



Tutkintaselostus

C1/2006M

MS ESTRADEN ja MT WOLGASTERN, yhteentörmäys Kielin kanavassa 2.2.2006

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.

TIIVISTELMÄ

WOLGASTERN lähti Kielin kanavan Holtenau-sulusta 1.2.2006 klo 23.32. Aluksen 9 metrin syväyksestä johtuen sen suurin sallittu nopeus oli 12 km/t (6,5 solmua). Alus lähestyi Audorf-Rade ohituspaikkaa hiljentäen vauhtia päästääkseen takana tulevat kolme laivaa (TURCHESE, ANTJE ja ESTRADEN) ohitseen. ESTRADEN lähti Kielin kanavan Holtenau sulusta 2.2.2006 klo 00.35 aluksen syvyyksen ollessa 5,9 m. Matkaa tehtiin kolmen laivan letkassa, ESTRADENIN ollessa letkan viimeinen. Letkan suurin sallittu kulkunopeus oli 15 km/t (8,1 solmua).

WOLGASTERNIN komentosillalla tehdyn suunnitelman mukaisesti Audorf-Rade ohituspaikan suoralla oli tarkoitus myös kohdata vastaan tulevat kaksi pienempää alusta LENA ja RIROIL 5. ESTRADEN lähti ohittamaan WOLGASTERNia sen vasemmalta puolelta vastaan tulevan LENAN kohtaamisen aikana. WOLGASTERN alkoi kääntyä oikealle, mutta käännös saatiin korjattua ohjailutoimenpitein. ESTRADENin nopeus oli tuolloin noin 8,9 solmua ja WOLGASTERNin noin 4,6 solmua.

Kun ESTRADEN oli noin puoli laivan mittaa WOLGASTERNin keulan ohitse, vastaan tuli RIROIL 5. Tuolloin alusten nopeudet olivat lähes samat: ESTRADEN 6,0 solmua, WOLGASTERN 6,5 solmua ja RIROIL 5 6,5 solmua. Sivuuituksen jälkeen ESTRADENin ohjattavuus heikkeni, ja se alkoi kääntyä vasemmalle. ESTRADENin nopeutta lisättiin. Samanaikaisesti WOLGASTERNin komentosillalta ilmoitettiin WOLGASTERNIN kääntyvän vasemmalle ja kehoitettiin ESTRADENia yhä lisäämään nopeuttaan. WOLGASTERN lisäsi myös vauhtia ohjailukykyänsä parantamiseksi koska aluksen todettiin käyttäytyvän levottomasti. Tällöin aluksia oli kolme rinnakkain onnettomuutta edeltävänä hetkenä 100–110 metriä leveällä (tällä leveydellä syvyys oli vähintään 10,5 m) kanavan osuudella.

WOLGASTERNin keula osui noin klo 02.36 ESTRADENin keskilaivaan, minkä jälkeen WOLGASTERNin perä kääntyi vasemmalle ja törmäsi ESTRADENin peräosaan. Törmäyshetkellä alusten nopeudet olivat noin 8 solmua. Törmäyksen voimasta ESTRADEN alkoi kääntyä oikealle ja sen peräosa lähestyi vasemman puolen rantaa. ESTRADENin päällikkö otti välittömästi ohjailun itselleen. Vasemman puolen koneella peräytettiin, oikean puolen koneen toimiessa eteenpäin estääkseen perän ajautumisen vasemmalle kohti kanavan penkkaa. Tämä toimenpide pudotti ESTRADENin nopeutta siten, että WOLGASTERN alkoi liukua ESTRADENin oikeata sivua pitkin. WOLGASTERNin komentosillan vasen siipi osui ESTRADENin oikean puoleiseen kansirakenelmaan, messiin ja päällikön hyttiin. Näissä tiloissa ei ollut ihmisiä, joten henkilövahingoilta välttyttiin. WOLGASTERN liukui ESTRADENIN ohitse ja ajautui kanavan vasemman puoleiseen penkkaan keula edellä.

Tutkintalautakunta pitää onnettomuuden syynä yhteentörmäneiden alusten joutumista pitkäksi aikaa liian lähelle toisiaan liian suurella nopeudella ajettaessa, johtuen kahdesta peräkkäisestä vastaan tulevan laivan kohtaamisesta. Ohitusta varten WOLGASTERN joutui kulkemaan lähellä kanavan oikeaa reunaa, mikä vaikeutti sen ohjailua. Alusten ohjailun vaikeutuessa, nopeuksia nostettiin, mikä edelleen lisäsi vuorovaikutusvoimia alusten lähekkäisyyden vuoksi.

Tutkintalautakunta antaa turvallisuussuosituksen Wasser- Und Schifffahrtsdirection Nord:lle ohitussääntöjen täsmentämiseksi kanavassa. Turvallisuussuosituksia annetaan myös sekä kanavis-



sa liikennöivien alusten varustamoille että muille kanavanavigoinnista vastaaville tahoille lisäkoulutuksen antamisesta koskien rajoitetun vesialueen vaikutusta alusten liikkeisiin. Lisäksi suositetaan merenkulun koulutusyksiköjä täydentämään koulutustaan koskien rajoitetun vesialueen vaikutusta aluksen navigointiin.

SAMMANDRAG

WOLGASTERN avgick från slussen vid Holtenau i Kielkanalen 1.2.2006 kl. 23.32. På grund av fartygets djupgående på 9 meter var dess största tillåtna hastighet 12 km/t (6,5 knop). WOLGASTERN närmade sig Audorf-Rade omkörningsställe och saktade in för att släppa förbi de tre fartyg som befann sig bakom fartyget (TURCHESE, ANTJE och ESTRADEN). ESTRADEN avgick från slussen vid Holtenau kl. 00.35 2.2.2006; fartygets djupgående var 5,9 meter. Man färdades i en kö bestående av tre fartyg, varav ESTRADEN var det sista. Köns största tillåtna hastighet var 15 km/t (8,1 knop).

Enligt en plan utarbetad på WOLGASTERNs kommandobrygga var det meningen att på raksträckan av Audorf-Rade omkörningsställe möta de två mindre fartygen LENA och RIROIL 5. ESTRADEN började köra om WOLGASTERN på dess babordssida då LENA kom emot. WOLGASTERN började gira mot styrbord vilket man lyckades rätta till genom manövreringsåtgärder. ESTRADENS hastighet var då ca 8,9 knop och WOLGASTERNs ca 4,6 knop.

När ESTRADEN hade passerat WOLGASTERN med ca en halv skeppslängd kom RIROIL 5 emot. Då var fartygens hastighet nästan lika: ESTRADEN 6,0 knop, WOLGASTERN 6,5 knop och RIROIL 5 6,5 knop. Efter passerandet blev ESTRADENS manövrerbarhet sämre, och fartyget började gira mot babord. Man ökade ESTRADENS hastighet. Samtidigt anmälde man från WOLGASTERNs kommandobrygga att WOLGASTERN skulle vända mot babord och uppmanade ESTRADEN att ytterligare öka sin hastighet. Också WOLGASTERN ökade sin hastighet för att förbättra sin manövrerbarhet eftersom man noterade att fartyget betedde sig instabilt. Alldeles innan olyckan inträffade fanns det således tre fartyg bredvid varandra på en kanalsträcka som är 100–110 meter bred (med denna bredd är djupet minst 10,5 meter).

WOLGASTERNs för träffade midskeppet på ESTRADEN ca kl. 02.36, efter vilket WOLGASTERNs akter svängde mot babord och stötte ihop med ESTRADENS akter. Då sammanstötningen inträffade var fartygens hastighet ca 8 knop. Sammanstötningen fick ESTRADEN att börja gira mot styrbord och dess akter närmade sig stranden på babordssidan. ESTRADENS befälhavare tog omedelbart över manövreringen. Man backade med babords maskin då styrbords maskin verkade framåt för att förhindra fartygets akter från att driva babord mot kanalkanten. Denna åtgärd sänkte ESTRADENS hastighet på så sätt att WOLGASTERN började glida längs ESTRADENS styrbords sida. Babords vinge på WOLGASTERNs kommandobrygga träffade ESTRADENS styrbordssida däckbyggnad, mäss och befälhavarens hytt. Det fanns inga personer i dessa utrymmen, så man undgick personskador. WOLGASTERN gled förbi ESTRADEN och drev med fören först i den babordssida kanten av kanalen.

Undersökningskommissionen anser att orsaken till olyckan berodde på att de kolliderade fartygen hamnade med för stor hastighet för nära varandra under för lång tid, vilket berodde på att man hade mött två fartyg efter varandra. För omkörningens skull var WOLGASTERN tvungen att köra nära kanalens styrbordssida kant, vilket gjorde det svårare att manövrera fartyget. Då det blev svårare att manövrera fartyget ökade man hastigheten, vilket ytterligare ökade de växelverkande krafterna därför att fartygen var så nära varandra.



Undersökningskommissionen ger en säkerhetsrekommendation till Wasser und Schiffartsdirektion Nord för att precisera reglerna för omkörning i kanalen. Säkerhetsrekommendationer ges också både till de rederier vilkas fartyg trafikerar i kanalen och till andra parter som ansvarar för kanalnavigering för att ge vidare utbildning i hur ett begränsat vattenområde påverkar fartygens rörelser. Därtill rekommenderas det att utbildningsenheterna inom sjöfart kompletterar sina utbildningar i fråga om den inverkan som ett begränsat vattenområde har på fartygets navigering.



SUMMARY

The WOLGASTERN left the Holtenau lock of the Kiel-Canal at 23.32 on 1st February 2006. Due to the 9-meter draught of the vessel, her highest allowed speed was 12km/h (6.5 knots). The vessel approached the siding area of Audorf-Rade slowing down to let three ships (TURCHESE, ANTJE and ESTRADEN) behind it pass her. The ESTRADEN left the Holtenau lock of the Kiel-Canal at 00.35 on 2nd February with a draught of 5.9 m. Three vessels were sailing one behind the other with the ESTRADEN as the last one. Their speed limit was 15 km/h (8.1 knots).

According to the joint plan worked out in the bridge of the WOLGASTERN, the purpose was, at the straight of Audorf-Rade also to encounter the two smaller vessels, the LENA and the RIROIL 5. The ESTRADEN started to pass the WOLGASTERN from her portside while meeting the LENA. The WOLGASTERN started to turn starboard, but the correction succeeded with manoeuvring measures. At that time, the speed of the ESTRADEN was about 8.9 knots and that of the WOLGASTERN about 4.6 knots.

When the ESTRADEN was about half her length ahead of the WOLGASTERN, they encountered the RIROIL 5. At that point, the speeds of the two vessels were about the same: the ESTRADEN 6.0 knots, the WOLGASTERN 6.5 knots and the RIROIL 5 6.5 knots. After the meeting, the manoeuvrability of the ESTRADEN weakened, and she started turning to port. The ESTRADEN increased the speed of the vessel. At the same time it was notified from the bridge of the WOLGASTERN that the WOLGASTERN was turning portside and it was suggested that the ESTRADEN further increases her speed. The WOLGASTERN also increased her speed to improve her manoeuvrability as it was noticed that the vessel was restless. At that moment preceding the accident there were three vessels side by side in a part of the canal with a width of 100–110 m (for that width depth of water was at least 10.5 m).

The bow of the WOLGASTERN hit the ESTRADEN midships at about 02.36, whereupon the stern of the WOLGASTERN turned portside and collided with the aft part of the ESTRADEN. At the time of the collision the speeds of the vessels were about 8 knots. Due to the strength of the impact, the ESTRADEN started to turn to starboard and her aft part approached the portside bank. The Master of the ESTRADEN immediately took charge of the steering. Portside engine was reversed while the starboard engine was in ahead-position to prevent the aft from drifting portside towards the bank of the canal. This measure dropped the speed of the ESTRADEN so that the WOLGASTERN started to slide along the starboard side of the ESTRADEN. The portside wing of the bridge of the WOLGASTERN hit the starboard deckhouse, mess and Master's cabin of the ESTRADEN. There were no people in these premises so personal damage was avoided. The WOLGASTERN slid past the ESTRADEN and drifted to the portside bank of the canal bow first.

The investigation commission considers the reason of the accident the lengthy stay of the colliding vessels too close to each other at too high a speed due to meeting two encountering vessels one after the other. During the overtaking, the WOLGASTERN had to sail close to the right-hand side of the canal, which made its manoeuvrability more difficult. When the manoeuvring of the vessels became more difficult, their speeds were increased, which increased further the interaction forces due to the closeness of the vessels.



The investigation commission addresses safety recommendations to the Wasser- Und Schifffahrtsdirection Nord to specify rules concerning overtaking situations in the canal. Safety recommendations are also addressed to the owners operating in the canals and to other bodies in connection with the canal navigation to estimate additional education needs of their personnel concerning the effects of restricted waters. In addition the committee recommends that maritime training institutes should complete their training concerning the effect of confined waters in ship navigation.

KÄYTETYT LYHENTEET

AIS	Automatic Identification System
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
BSU	Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung
DGPS	Differential Global Positioning System
Dwt	Aluksen kantavuus
GL	Germanischer Lloyd
GPS	Global Positioning System
GT	Gross tonnage
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
IMDG	International Maritime Dangerous Goods (Code)
IMO	International Maritime Organization
ISM	International Safety Management (Code)
kn	Knot
kVA	kiloVolttiAmpeeria
kW	kiloWatti
LR	Lloyds Register
OOW	Officer on watch
RPM	Revolutions per minute
SMG	Speed Made Good
SOG	Speed Over Ground
VHF	Very High Frequency
VTs	Vessel Traffic Service
UTC	Universal Time Coordinated

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
SAMMANDRAG.....	III
SUMMARY	V
KÄYTETYT LYHENTEET	VII
ALKUSANAT	XI
1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET	1
1.1 MS ESTRADEN	1
1.1.1 Yleistiedot.....	1
1.1.2 MS ESTRADENin miehitys.....	2
1.1.3 Ohjaamo ja sen laitteet.....	2
1.1.4 Koneistot.....	3
1.1.5 ESTRADENIN lasti	3
1.2 MT WOLGASTERN	3
1.2.1 Yleistiedot.....	3
1.2.2 MT WOLGASTERNin miehitys	4
1.2.3 Ohjaamo ja sen laitteet.....	4
1.2.4 Koneistot.....	4
1.2.5 WOLGASTERNin lasti	4
1.2.6 Muut alukset	5
1.3 Onnettomuustapahtuma.....	5
1.3.1 Onnettomuusmatka	5
1.3.2 Tapahtuma	7
1.3.3 Tapahtumapaikka	11
1.3.4 Sääolosuhteet.....	11
1.3.5 Alusten vahingot	12
1.3.6 Rekisteröintilaitteet	14
1.3.7 Valvonta- ja VTS-järjestelmien toiminta	14
1.3.8 Toimenpiteet tapahtuman jälkeen.....	14
1.4 Pelastustoiminta	14
1.4.1 Hälytystoiminta	14
1.5 Käynnistetyt tutkinnat	15
1.5.1 Tutkimukset onnettomuusaluksessa ja tapahtumapaikalla	15



1.5.2	Rajoitetun vesialueen vaikutukset	15
1.5.3	Miehistön toiminta ESTRADENILLA.....	18
1.6	Toimintaa ohjaavat säädökset ja määräykset	19
1.6.1	Kansallisia sääntöjä.....	19
1.6.2	Varustamon ohjeet	20
1.6.3	Kansainväliset sopimukset ja suositukset	20
2	ANALYYSI.....	21
2.1	Yleinen liikennetilanne	21
2.2	Komentosiltayhteistyö	21
2.3	Ohitustilanne	21
2.4	Rajoitetun vesialueen vaikutukset.....	22
2.5	Muita huomioita	23
3	JOHTOPÄÄTÖKSET	25
4	SUOSITUKSET	27

LIITTEET

- Liite 1. ESTRADEN ja WOLGASTERN kanavassa
- Liite 2. Onnettomuustilastoa
- Liite 3. WOLGASTERNin varustamon lausunto

ALKUSANAT

Onnettomuustutkintakeskus sai tiedon ESTRADENIN ja WOLGASTERNIN yhteentörmäyksestä 2.2.2006. Onnettomuustutkintakeskus oli yhteydessä Saksan merenkulkuviranomaisiin saaden välitöntä tietoa onnettomuudesta.

Onnettomuustutkintakeskus asetti 10.2.2004 tutkintaryhmän tutkimaan onnettomuutta. Tutkijoiksi nimettiin suostumuksensa mukaan Onnettomuustutkintakeskuksen asiantuntijat merikapteeni Juha **Sjölund** johtamaan tutkintaa ja jäseneksi merikapteeni Heikki **Koivisto**. Asiantuntijaksi tutkintaan nimettiin tekn. lisensiaatti Olavi **Huuska**. Suomen tutkintaviranomaiset toimivat kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n onnettomuustutkintaa koskevan päätöslauselman A.849(20) mukaisena tutkintaa johtavana osapuolena.

Tutkijat kuuluivat ESTRADENin päällikköä ja vahdissa ollutta perämiestä ESTRADENilla 23.2.2006. WOLGASTERNin päällikköä ja perämiestä eivät tutkijat päässeet kuulemaan, mutta tutkijat saivat tutustua heidän kirjallisiin luottamuksellisiin lausuntoihinsa tapahtuneesta. ESTRADENin päällikkö luovutti aluksen elektronisen kartan tallenteen onnettomuustutkinnan tarkoitukseen. Tutkijat saivat Kielin kanavaviranomaisilta onnettomuuspaikan syvyyssiedot. Tutkijoilla oli mahdollisuus tutustua Saksan onnettomuustutkintaviranomaisten (BSU) salassa pidettävään tutkimusaineistoon.

Tutkija oli seuraamassa ESTRADENin meriselitystilaisuutta, joka pidettiin Turussa 17.2.2006. Tutkijoilla oli mahdollisuus tutustua salaiseen meriselityspöytäkirjaan ja sen liitteisiin.

Tutkintaselostusta koskevat lausunnot. Tutkintaselostuksen lopullinen luonnos lähetettiin onnettomuuksien tutkinnasta annetun asetuksen (79/1996) 24 §:ssä tarkoitettua lausuntoa varten Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord Kielille, Lotsenbrüderschaft NOK II/ Kiel, varustamoille ja merenkulkualan koulutusyksiköille, kommentteja varten alusten päälliköille ja luotseille sekä tiedoksi Suomen merenkululaitokselle ja Isle of Man merenkululaitokselle. Lausunto saatiin WOLGASTERNin varustamolta ja se on tutkintaselostuksen liitteenä.

Saksan onnettomuustutkintaviranomaisten raportti 315/03 MV GERMAN ja MV ESTCLIPPERin yhteentörmäys 13.10.2003 Kielin kanavan Schwartenbek sivuutuspaikassa on ollut avuksi tätä raporttia laadittaessa.

Tutkintaselostuksessa on käytetty paikallista aikaa UTC + 1.

1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET

1.1 MS ESTRADEN



Kuva 1. MS ESTRADEN

(© Lähde: varustamon esite)

1.1.1 Yleistiedot

Laivan nimi	MS ESTRADEN
Laji	Ro-Ro
Kansallisuus	Suomi
Omistaja	Rederi Ab Engship
Kotipaikka	Nagu
Tunnuskirjaimet	OJIL
IMO numero	9181077
Rakennusvuosi ja – paikka	1999 Rauma
Luokituslaitos	Lloyds Register of Shipping
Luokka	LR +100 A1, Roll On–Roll Off Cargo ship L1
Bruttovetoisuus	18205
Nettovetoisuus	5462
DWT	9700 t
Pituus, suurin	162,7 m
Pituus, B.P.P.	149,4 m
Leveys	25,7 m
Syväys	6,60 m
Koneteho	2 x 7240 kW
Keulapotkurit	2 x 1100 kW
Nopeus	19 solmua
Liikenneryhmä ¹	5

¹ Tiettyjen Kielin kanavan liikennerajoitusten vuoksi laivat on jaettu liikenneryhmiin 1–6 perustuen niiden päämittoihin

1.1.2 MS ESTRADENin miehitys

ESTRADENilla oli 14 hengen suomalainen miehitys. Päälikkö on lähtenyt merille vuonna 1971 ja toiminut päälikkönä vuodesta 1989. ESTRADENilla hän on ollut päälikkönä sen valmistumisesta 1999 lähtien. Kielin kanavan läpi hän on kulkenut satoja kertoja. Vahdissa ollut I-perämies on valmistunut merimieskoulusta 1991 ja vuonna 1997 hän valmistui perämieheksi, mistä lähtien hän on palvellut perämiehenä Engship-varustamossa. ESTRADENilla hän on palvellut vuosina 1999–2003 sekä jälleen vuodesta 2004 eteenpäin. Kielin kanava on tullut hänelle tutuksi Pohjanmeren ja Itämeren liikenteessä. Aluksella oli kolme perämiestä, jotka ajoivat 4–8 vahtia, jossa työjakson pituus on 4 tuntia ja vapaajakson pituus 8 tuntia.

Komentosillalla oli ennen yhteentörmäyshetkellä vahtiperämies, saksalainen luotsi ja saksalainen ruorimies.

1.1.3 Ohjaamo ja sen laitteet

Tutkat;	1 kpl DECCA-arpa 10 cm (bridge master E) 1 kpl DECCA-arpa 3 cm (bridge master II) 1 kpl FURUNO FR-1932 1 kpl EMRI SEM-200
Ohjailulaitteet;	1 kpl ULSTEIN TENFJORD STEERING PANEL 1 kpl AUTOPILOT ELECTRIC UNIT 1 kpl vaihtokytkin GPS/GYRO 2 AUTOPILOT 1 kpl vaihtokytkin GYRO 1/GYRO 2 AUTOPILOT 1 kpl ULSTEIN OVERRIDE CONTROL 4 kpl ULSTEIN TENFJORD RUORIKULMAINDIKAATTORI 2 kpl PANORAMA RUORIKULMAINDIKAATTORI 1 kpl EMRI ROT INDIKAATTORI
Kaikuluotain, loki;	1 kpl SKIPPER GDS101 1 kpl CONSILIUM SAL IMCOR2 2 kpl CETREK Multifunction DEPTH näyttö 1 kpl DEIF MALLING WINDDISPLAY INSTRUMENT 1 kpl DEIF MALLING WINDSENSOR
Kompassit;	2 kpl TOKIMEC TG6000 gyrocompass 2 kpl gyro compass control unit 1 kpl gyrorepeater (analog) 2 kpl gyrorepeaters 5 kpl gyrorepeaters (digital) 1 kpl BROENDBERG&TANDRUP A/S magnetic compass 1 kpl repeater (analog) 1 kpl repeater (digital)

1.1.4 Koneistot

Pääkoneet; 2 x Wärtsilä Vasa 8L46A-14480 kW/ 500 rpm

Nopeus 19 solmua suunnittelusyväyksellä 2 x 6516 kW (akseligeneraattori 400 kW)

Alennusvaihdet; 2 x Valmet MIHBC-950+5600 RATIO 3.32:1

Potkurit; 2 KaMeWa 121 XF5/4 4300 mm-156 rpm

Apukoneet; 2 x Caterpillar 3508B 1712 kW/ 1500 rpm

Akseligeneraattori; 2 x Leroy Somer LSA 52 S5/4p 1500 kVA

Keulapotkuri 1100 kW

1.1.5 ESTRADENIN lasti

Lastina aluksella oli lastikontteja, mafeja ja trailereita yhteensä 4833 tonnia, josta IMDG lastia 45 tonnia. Raskasta polttoainetta oli 257 tonnia ja kevyttä polttoainetta 52,1 tonnia. Syväys keulassa oli 5,9 m ja perässä 5,8 m.

1.2 MT WOLGASTERN



Kuva 2. MT WOLGASTERN.

(© Seafoto Hannu Laakso.)

1.2.1 Yleistiedot

Laivan nimi	MT WOLGASTERN
Laji	Kemikaali- / tuotesäiliöalus
Kansallisuus	Man saaret
Omistaja	Wolgastern
Operaattori	RIGEL SHIFFAHRTS GMBH&Co.KG
Kotipaikka	Douglas
Tunnuskirjaimet	MZBO7
IMO numero	9183817
Rakennusvuosi ja – paikka	1999 Puola
Luokitustilat	Germanischer Lloyd
Luokka	GL + 100 A5 E3 Chemical Tanker Type 2/Oil Tanker, ESP *MC AUT E3 INTER

Bruttovetoisuus	14400
Nettovetoisuus	6937
DWT	20660 t
Pituus, suurin	162,16 m
Pituus, B.P.P.	155,0 m
Leveys	27,0 m
Syväys	9,00 m
Konetehto	7860 kW
Keulapotkuri	590 kW
Nopeus	15,0 kn
Liikenneryhmä	5

1.2.2 MT WOLGASTERNin miehitys

Aluksen päällikkö on lähtenyt merille 1981 ja purjehtinut useilla eri aluksilla. Marraskuusta 2005 lähtien hän on toiminut WOLGASTERNin päällikkönä. Vahdissa ollut perämies on lähtenyt merille 1975 ja palvellut pääasiassa säiliöaluksilla. Vuonna 1977 hän on saanut 3-perämiehen pätevyyden ja vuonna 1983 2-perämiehen pätevyyden ja palvellut edelleen lähinnä säiliöaluksilla. Vuodesta 2003 hän on ollut Rigel-varustamon palveluksessa ja marraskuusta 2005 lähtien WOLGASTERNillä. Kielin kanavan läpi hän on kulkenut 20–30 kertaa.

Aluksella oli 18 hengen miehistö. Komentosillalla oli yhteentörmäyshetkellä päällikkö, vahtiperämies, saksalainen luotsi ja saksalainen ruorimies.

1.2.3 Ohjaamo ja sen laitteet

Atlas Elektronik NACOS 34-3
1 kpl Leica Geosystem Satellite MX 400B DGPS
1 kpl Atlas Elektronik 9600 ARPA x-band
1 kpl Atlas Elektronik 9600 ARPA s-band

1.2.4 Koneistot

pääkone 1 kpl H. Cegielski/ MAN B&W, tyyppi 6S46MC-C
MCR 7860 kW, rpm 129
1 kpl säätölapapotkuri
1 kpl akseligeneraattori 900 kVA
3 kpl diesel H.Cegielski/MAN B&W 7L16/24, 830 kVA
1 kpl keulapotkuri 590 kW

1.2.5 WOLGASTERNin lasti

Aluksella oli lastina 20545 tonnia kaasuöljyä ja syväys oli keulassa 8,99 m ja perässä 9,00 m.

1.2.6 Muut alukset

Eräät muut alukset vaikuttivat eri tavoin WOLGASTERNin ja ESTRADENin navigointiin. Ensin TURCHESE ja ANTJE ohittivat WOLGASTERNin. Pian ANTJEn jälkeen LENA tuli ESTRADENia ja WOLGASTERNiä vastaan ja vähän myöhemmin niitä vastaan tuli RIROIL 5. TAVASTLAND ja CROWN BREEZE lähestyivät Audorf-Rade ohitusaluetta lännestä. Alusten päätiedot ovat taulukossa 1. Onnettomuuden kannalta merkityksellisten alusten tarkemmat tiedot on esitetty liitteen taulukossa 1.

Taulukko 1. Alusten päätiedot, (LR tarkoittaa liikenneryhmää, pituus on L_{OA}).

Aluksen nimi	Brutto	Pituus, m	Leveys, m	Syväys, m	LR
LENA	8388	151,6	20,6	6,3	4
RIROIL 5	4606	129,3	16,5	5,02	3
TURCHESE		136	20	6,2	5
ANTJE		117,9	18,15	4,5	3
TAVASTLAND		137,5	21,3	9,36	5
CROWN BREEZE		87,8	12,5	5,42	3

1.3 Onnettomuustapahtuma

Onnettomuustapahtuman kuvaus perustuu ESTRADENin päällikön ja perämiehen kuulemiseen sekä ESTRADENin elektronisen merikartan tallenteisiin ja meriselityspöytäkirjaan. WOLGASTERNin päällikkö ja perämies antoivat kirjalliset lausunnot tapahtuneesta, mutta luotsi kieltäytyi kommentoimasta tapahtunutta. ESTRADENin ja WOLGASTERNin konekäskynvälittimen tulosteita ei ollut tutkinnan käytettävissä². Tutkijoilla oli mahdollisuus tutustua Saksan onnettomuustutkintaviranomaisten tutkinta-aineistoon, joka sisälsi useiden alusten luotsien ja ruorimiesten lausuntoja ja kuulemisia, VTS:n VHF-tallenne (Kanava 3) kirjallisena ja WOLGASTERNin GPS-tiedosto paperiversiona.

Lisäksi saatiin Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenaun lyhyt kuvaus yleisestä liikennetilanteesta³.

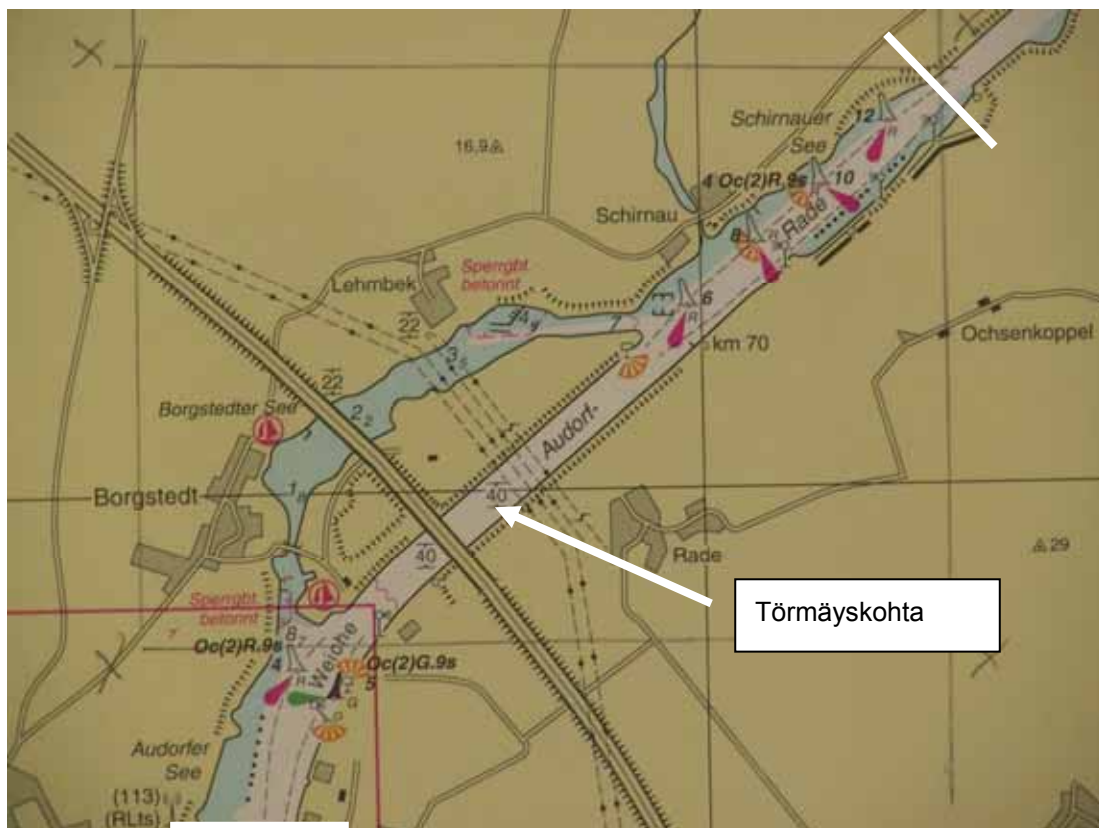
1.3.1 Onnettomuusmatka

WOLGASTERN oli matkalla Vysotskista Dunkirkiin. Kielin kanavan Holtenau-sulusta alus lähti 1.2.2006 klo 23.32. Aluksen 9 metrin syvyyksestä johtuen suurimmaksi sallituksi nopeudeksi oli määrätty 12 km/t (6,5 solmua). Aluksen komentosillalla oli matkan aikana pääsääntöisesti saksalainen luotsi ja saksalainen ruorimies sekä vahtiperämies. Päällikkö oli matkan aikana ajoittain pois komentosillalta. Alus lähestyi Audorf-Rade siivutuspaikkaa hiljentäen vauhtia päästääkseen takana tulevat kolme alusta ohitseen. WOLGASTERNin päällikkö oli tullut komentosillalle 8–10 minuuttia ennen yhteentörmäystä.

² ESTRADENin konekäskynvälittimen muisti oli niin pieni, että se oli asetettu tallentamaan vain hälytykset, eikä tulostin ollut käytössä.

³ Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau 4-331.5 SU 02/06 23.8.2007

ESTRADEN oli matkalla Turusta Bremerhaveniin. Alus oli Kielin kanavan Holtenausulussa kello 00.20–00.35 välisen ajan, jonka jälkeen se lähti kanavamatkalle kohti Brunsbütteliä aluksen syvyyksen ollessa 5,9 m. Päällikölle kerrottiin, ettei pysäytyssignaaleja ollut odotettavissa, jonka jälkeen päällikkö meni hyttiinsä lepäämään. Komentosillalle jäi vahtiperämies, saksalainen luotsi ja saksalainen ruorimies. Matkaa tehtiin kolmen laivan letkassa, ESTRADENin ollessa letkan viimeinen. Letkan ensimmäinen alus oli TURCHESE ja toinen alus ANTJE. Alukset lähestyivät Audorf-Rade ohituspaikkaa tarkoituksenaan ohittaa hitaampi WOLGASTERN. ESTRADENin elektronisen kartan tallenteen mukaan alus joutui ennen ohitusta nostamaan nopeuttaan WOLGASTERNin saavuttamiseksi. Nopeus oli maksimissaan hetkellisesti 22,8 km/t (12,3 solmua).



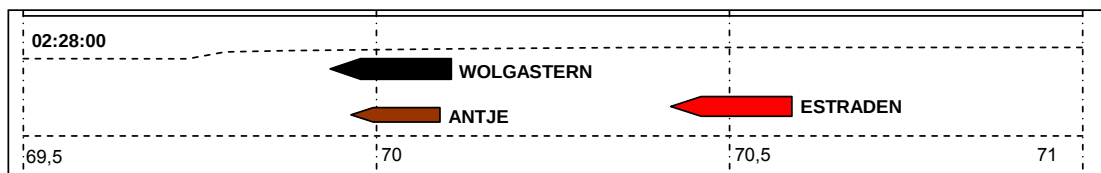
Kuva 3. Karttakuva alueesta. Ohitusalueen rajat on esitetty valkoisilla viivoilla (pituus 5,7 km, päätepisteet 66,093 km ja 71,749 km kohdalla). (© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg-Rostock)

Kommunikointi Kielin kanavassa liikenteen ohjauksen ja muiden alusten välillä käytiin ainoastaan saksan kielellä. ESTRADENin vahtipäällikkö ei ollut saksan kielentaitoinen, joten hän ei kyennyt tarkoin seuraamaan luotsien ja liikenteen ohjauksen välistä keskustelua. Onnettomuusalueen kartta on kuvassa 3.

1.3.2 Tapahtuma

Yleinen liikennetilanne. Kaikille länteen kulkeville aluksille näytettiin jatkuvaa pysäytyssignaalia Audorf-Rade ohitusalueelle klo 01.25 ("punaista vilkkuvaa valoa", joka tarkoittaa, että poistuminen Audorf-Rade ohitusalueelta oli kiellettyä aluksilta, joiden liikenneryhmä oli kolme tai sitä suurempi, koska lännestä oli tulossa aluksia). VTS NOK II ilmoitti VHF:llä kaikille aluksille vallinneen ja tulevan liikennetilanteen Kielin kanavassa klo 01.50. Matkan arvioitiin jatkuvan klo 03.10, koska oli odotettava TAVASTLANDin ja CROWBREEZin saapumista ohitusalueelle. Tämä pysäytyssignaali johtuu saksalaisista liikennesäännöistä SeeSchStrO⁴, jotka määrittävät, että liikenneryhmien maksimi summa Audorfin ja Shülpin⁵ ohitusalueiden välillä saa kohtaustilanteissa olla enintään kuusi⁶.

Onnettomuus. WOLGASTERINin komentosillalla tiedettiin, että pysäytyssignaali oli odotettavissa Audorf Rade ohitusalueella. WOLGASTERN oli vielä ohituspaikan itäpäässä, kun laivue oli saavuttanut sen. TURCHESE kysyi VHF-kanavalla 73 WOLGASTERNilta sivuutuslupaa, johon WOLGASTERN vastasi myöntävästi pyytäen, että myös ANTJE ja ESTRADEN menisivät ohi. WOLGASTERNin varustamon mukaan kyseessä ei kuitenkaan ollut päällikön pyyntö, vaan suostumus ohitukseen. Audorf-Rade ohituspaikalle tullessa oli tarkoitus myös kohdata vastaan tulevat pienemmät alukset LENA ja RIROIL 5. Alukset olivat yhteydessä keskenään näiden operaatioiden aikana VHF:n kautta. Kello 02:28 ANTJE ohitti WOLGASTERNin ja ESTRADEN oli jo lähestymässä, kuva 4. WOLGASTERN joutui kulkemaan lähellä kanavan oikeaa reunaa.



Kuva 4. ANTJE ohittamassa WOLGASTERNiä.

LENAn huomautukseen aluksensa koosta VHF-radiokanavalla 73, että LENAkaan ei olisi ihan pieni laiva, ei tullut mitään vastausta. LENA hidasti vauhtiaan reilusti ja ajoi niin oikealle kuin mahdollista. Myös keulapotkuri kytkettiin päälle turvallisuussyistä. ANTJE väisti oikealle, WOLGASTERNin eteen, kuva 5.



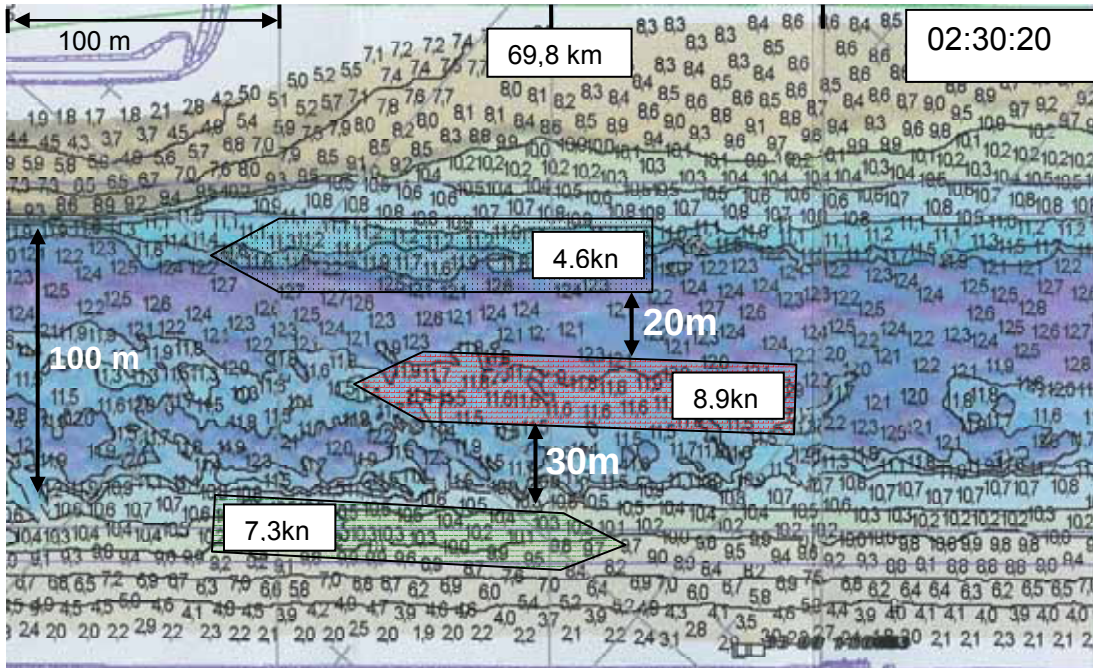
Kuva 5. ANTJE on ohi WOLGASTERNin ja LENA on tulossa vastaan.

⁴ Seeschiffahrtstrassenordnung, German Traffic regulations for navigable Maritime Waterways, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.

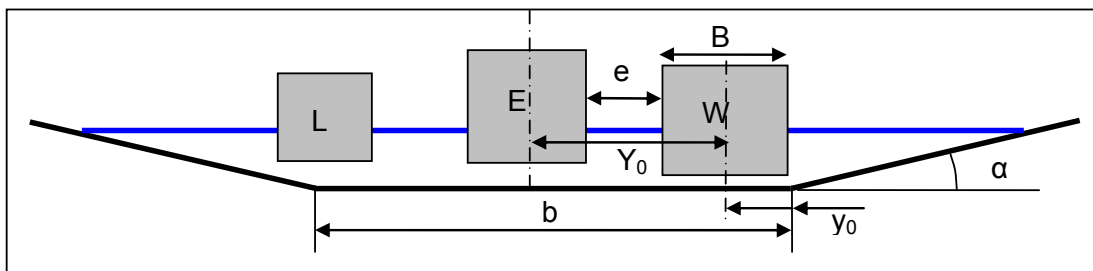
⁵ Shülpin on seuraava sivuutusalue länteen päin, sijaiten kilometrien 57–58 kohdalla.

⁶ SeeSchStrO, § 24,11. Estääkseen kohtaamisia jotka ei ole sallittuja, liikenteen ohjauskeskus (VTS NOK II) asettaa signaalit ohitusalueiden loppuun. Nämä signaalit näyttävät millä liikenneryhmä numeroihin kuuluvilla aluksilla on kiellettyä tai sallittua poistua ohitusalueelta.

ANTJEn komentosillalla tiedettiin, että heille oli pysäytyssignaali Audorf-Radessa. TURCHESE oli jo aiemmin ohittanut WOLGASTERNin. TURCHESElle oli pysäytyssignaali, joten se hiljensi aluksen vauhtia Raden ison sillan alla. Eräiden alusten sijainti noin klo 02.30 väylällä on kuvissa 6 ja 7. Nähdään myös, että WOLGASTERNin oikea puoli oli 1,5–2 m matalammassa vedessä kuin vasen puoli. WOLGASTERN oli samalla tulossa kanavan kohtaan, jossa sille riittävän syvä vesialue kapeni.



Kuva 6. LENA on sivuuttamassa ESTRADENia ja WOLGASTERNia. Tutkijat ovat sijoittaneet alukset siten, että kylkietäisyydet olisivat mahdollisimman suuret (tarkat sijainnit eivät ole tiedossa). Alusten leveydet ovat: WOLGASTERN 27 m, ESTRADEN 27,7 m ja LENA 20,6 m.



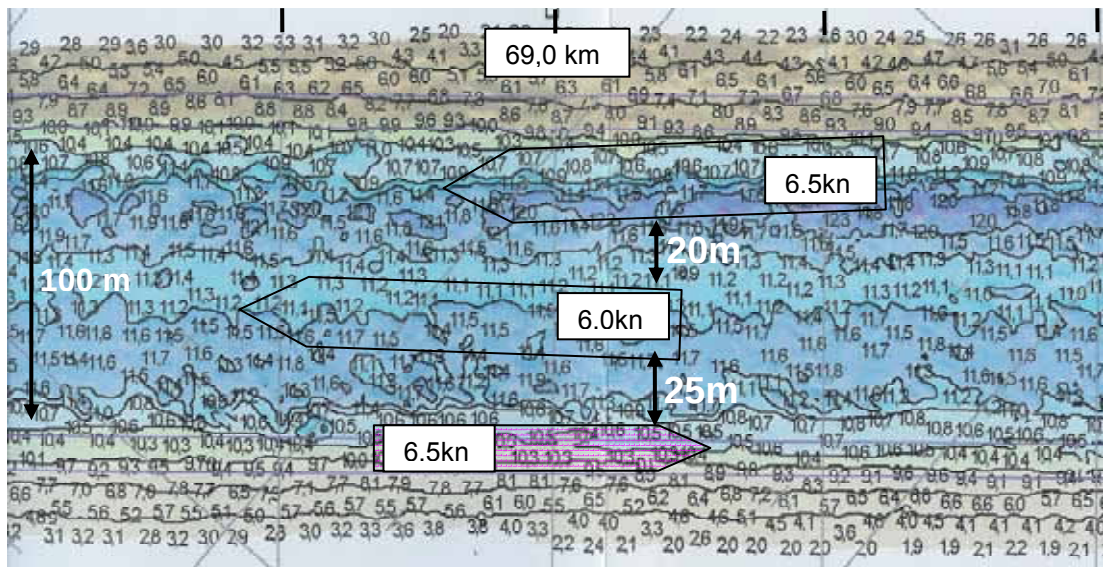
Kuvat 7. Tutkijoiden näkemys alusten sijainnista väylällä klo 02:30:00. W on WOLGASTERN, E on ESTRADEN ja L on LENA. Kuvassa on lisäksi näytetty eräitä asiaan liittyviä parametreja. Alusten kylkien välinen etäisyys on e , keskiviivojen välinen etäisyys Y_0 , etäisyys y_0 kanavan reunasta on määritelty kuvan esittämällä tavalla. Parametrit esiintyvät liitteen 1 laskelmissa. Väylän pohjan leveys b vaihtelee 100 m ja 150 m välillä riippuen pitkittäisestä sijainnista. Kaltevuus kulma α on noin 13 astetta. Väylän syvyys vaihtelee 10,5–13 m välillä.

ESTRADENIN nopeus oli hetkellisesti noin 14 km/t (7,6 solmua) ja WOLGASTERNin noin 7,4 km/t (4,6 solmua). Alukset olivat tällöin kanavan kohdassa 70 km. ESTRADEN lähti ohittamaan WOLGASTERNin vastaantulevan LENAn kohtaamisen aikana. WOLGASTERN alkoi kääntyä oikealle, joka saatiin korjattua ruorikomennolla yli vasemmalle samalla antaen koneella tehoa käännökselle. ESTRADENin jatkaessa WOLGASTERNin ohitusta alukset kohtasivat samanaikaisesti vastaantulevan RIROIL 5:n, joka jäi ESTRADENin vasemmalle puolelle, kuvat 8 ja 9.



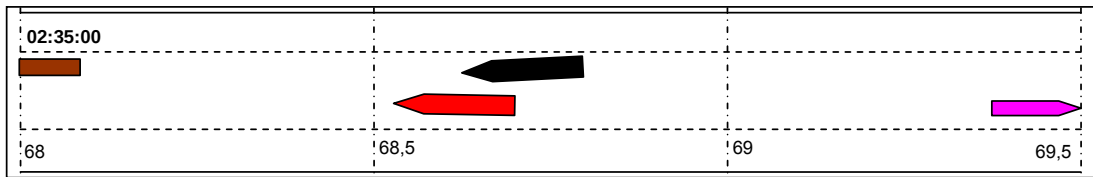
Kuva 8. RIROIL 5 tulossa ESTRADENia ja WOLGASTERNiä vastaan.

Aluksia oli kolme rinnakkain onnettomuutta edeltävänä hetkenä 100 metriä nimellislevydyeltään olevan kanavan osuudella, kuva 9. RIROIL 5:ssä tehdyn havainnon mukaan sivuutushetkellä RIROIL 5:n keula oli samalla tasolla ESTRADENin ja WOLGASTERNin perien kanssa ja sivuutusetäisyys oli näiden alusten välillä pienempi kuin ESTRADENin ja RIROIL 5:n.



Kuva 9. Tutkijoiden näkemys alusten sijainnista kanavassa klo 03:33:20.

Kello 02.35 ESTRADEN oli edelleen vain noin puoli laivan mittaa WOLGASTERNin keulan edellä, kuva 10. ESTRADENin komentosillalla todettiin, että aluksen ohjattavuus heikkeni. ESTRADENilla oli samanaikaisesti taipumus kääntyä vasemmalle. ESTRADEN nosti nopeutta niin, että nopeus oli elektronisen kartan tallenteen mukaan 8,1 solmua (kuvat 19 ja 20). Samanaikaisesti WOLGASTERNiltä ilmoitettiin kanavalla 73 aluksensa kääntyvän vasemmalle ja kehoitettiin ESTRADENia yhä lisäämään nopeuttaan. WOLGASTERN lisäsi myös nopeutta noin 8 solmuun (kuvat 19 ja 20) ohjailukykyä parantamiseksi, koska aluksen havaittiin käyttäytyvän levottomasti.



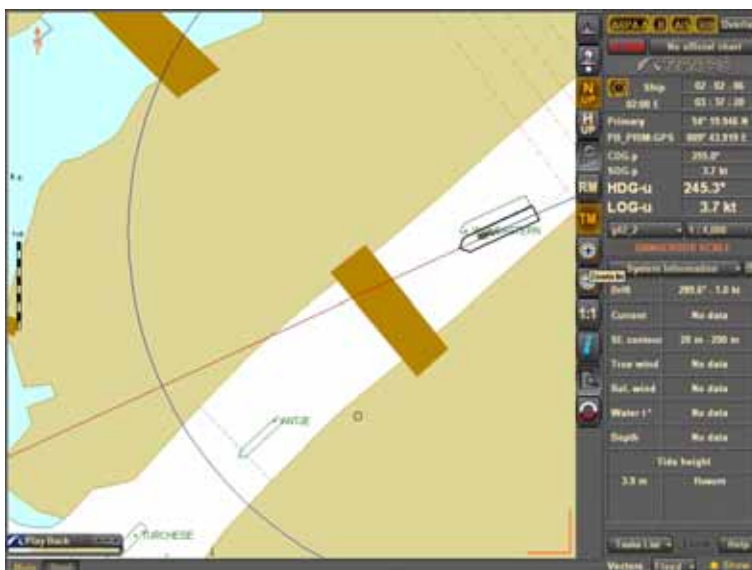
Kuva 10. Alusten sijainnit hetkeä ennen yhteentörmäystä. Oikealla RIROIL 5 ja vasemmalla vielä ANTJE.

ESTRADENin päällikkö hälytettiin komentosillalle koska perämies katsoi muuttuvan tilanteen niin vaativan. Ohjailutoimenpiteistä huolimatta WOLGASTERN kääntyi edelleen vasemmalle. ESTRADENin päällikkö tunsu kiirehtiessään komentosillalle ensimmäisen törmäyksen, WOLGASTERNin keulan osuessa ESTRADENin keskilaivaan noin klo 02.36, kuva 11.



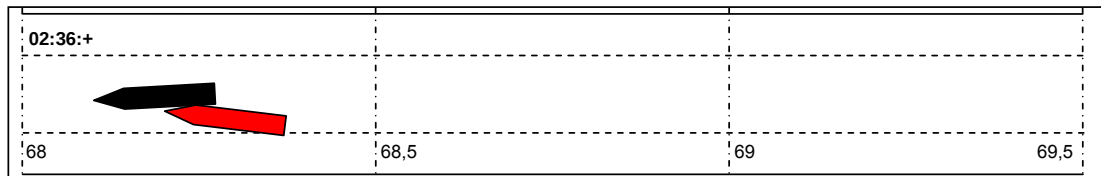
Kuva 11. Alukset yhteentörmäyksen ensivaiheessa.

Tämän jälkeen WOLGASTERNin perä kääntyi vasemmalle ja alus osui ESTRADENin peräosaan. Törmäyksen voimasta ESTRADEN alkoi kääntyä oikealle ja sen peräosa lähestyi vasemman puolen rantaa. ESTRADENin päällikkö otti välittömästi ohjailun itselleen. Päällikkö otti aluksen ohjailun paapuurin siivelle ja asetti koneet käymään ristiin siten että vasemmanpuolinen kone oli 60–70 % pakilla ja oikeanpuolinen kone 40 % eteen oikean peräsimen ollessa yli vasemmalle. Tällä toimenpiteellä vältettiin perän ajautumisen penkkaan. Toimenpide pudotti ESTRADENin nopeutta siten, että WOLGASTERN alkoi liukua ESTRADENin oikeaa sivua pitkin, kuva 12a.



Kuva 12a. WOLGASTERN on liukumassa ESTRADENin kylkeä pitkin ESTRADENin elektronisella karttanäytöllä. (Kellonajat näytöllä suomen aikaa)

WOLGASTERNin komentosillan vasen siipi osui ESTRADENin oikean puoleiseen kansi-rakennelmaan messiin ja päällikön hyttiin, kuva 12b. Kummassakaan tilassa ei ollut ihmisiä, joten henkilövahingoilta välttyttiin.



Kuva 12b. WOLGASTERNin kansirakennus osuu ESTRADENin komentosiltaan.

WOLGASTERN liukui ESTRADENIN ohitse ja ajautui kanavan vasemman puoleiseen penkkaan keula edellä.

1.3.3 Tapahtumapaikka

Onnettomuuspaikalla (Audorf-Rade-ohituspaikka), kanavan syvyys on vähintään 10,5 m ja leveys vaihtelee välillä 100–110 m Schirnauer Seen (kuva 3) ulkopuolella ja sen kohdalla välillä 110–150 m. Levein kohta on kilometrien 70 ja 71 välissä. Nimellissyvyydellä 11 m väylä on 10–40 m kapeampi kuin 10,5 m syvyydellä⁷. Syvyys vaihteli sekä pituus-, että poikittaissuunnassa 10,5–13,5 m välillä, kuvat 6 ja 9. Kuvassa 7 on esitetty poikki-leikkaus kohdassa, joissa aluksia oli kolme rinnan LENAn vastaantulon aikana. Kuvassa 3 on alueen kartta. ESTRADEN ja WOLGASTERN törmäsivät juuri ennen Audorf-Rade ohitusalueen suoran osuuden loppua, lähellä siltaa.

Kielin kanava (Nord-Ostsee-Kanal) on 98,6 km pitkä, kulkee Jyllannin niemimaan poikki ja yhdistää Itämeren Pohjanmereen. Se on yksi maailman vilkkaimmista vesireiteistä. Vuonna 2006 tärkeimmät liikenneluvut olivat: alusten lukumäärä 41472 kpl, tavaramäärä 95,8 Mt ja rekisteritonnimäärä 149,9 miljoonaa⁸. Vuorokaudessa aluksia kulkee keskimäärin siis noin 114 kpl eli joka tunti 4–5 alusta. Kanavaluotseja on (2006) 135 henkeä⁹.

Vuonna 2005 ilmoitettiin 65 onnettomuutta ja vuonna 2006 96 kpl, joista alusten törmäyksiä 23 kpl ja reunakosketuksia ilman vaurioita 34 kpl⁸. Kattavampaa tilastoa on liitteessä 2¹⁰.

1.3.4 Sääolosuhteet

Onnettomuushetkellä tuuli oli vaihtelevaa 3–4 m/s. Oli pimeää ja alusten sekä kanavan valot olivat normaalit. Sää ei aiheuttanut näkyväsyyshaittoja. Tutkijoiden käsityksen mukaan sääolosuhteilla ei ollut vaikutusta onnettomuuteen.

⁷ Wasser- und Schifffahrtsdirection Nord, Nordostseekanal, Verkehrssicherungspeilung, KM 68,94 bis KM 73,10, Stralsund, den 28.7.2005

⁸ Jahreskurzbericht 2006 der Wasser- und Schifffahrtsämter Brunsbüttel und Kiel-Holtenau

⁹ Lotsenbrüderschaft Nord-Ostsee-Kanal I, kotisivu

¹⁰ Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau, sähköposti 30.5.2007.

1.3.5 Alusten vahingot

ESTRADEN

Alus sai useita painaumia sekä 4 pienehköä repeämää pääkannen oikeanpuolen yläpuoliseen laidoitukseen. Asuintilojen oikealta puolelta messin ja päällikön hytin seinä repeytyi auki ja sisustus vaurioitui. Komentosillan oikeanpuolen siipi vääntyi osittain sekä sen kansi vääntyi auki.



Kuva 13. ESTRADENin vaurioita SB-puolella.

(kuva BSU:n puolesta)



Kuvat 14 ja 15. Päällikön hytin ja messin ulkoseinä (kuva 14, vasemmalla). Messin sisäpuolelta (kuva 15, oikealla).

(kuvat BSU:n puolesta)

WOLGASTERN

Aluksen keulakorokkeen vasemman puoleinen laidoitus vääntyi ja vasemman puoleisen laidoitukseen tuli useampi painauma. Komentosillan vasemman puoleinen siipi ja siinä oleva ohjauslaitekonsoli vaurioituivat pahoin.



Kuva 16. Aluksen vasen siipi.
(kuvat BSU:n puolesta)



Kuva 17. Vasen ohjauslaitekonsoli.



Kuva 18. WOLGASTERNin kyljessä olevia vaurioita.

(kuva BSU:n puolesta)

1.3.6 Rekisteröintilaitteet

Kummallakin aluksella on elektroninen karttajärjestelmä, johon tallentuvat aluksen paikka, suuntaa ja nopeutta koskevat tiedot. Tutkijat saivat ESTRADENilta onnettomuutta ja sen jälkeistä tilannetta koskevan tallenteen tutkintatarkoituksiin. Tutkijat saivat tutustua WOLGASTERNin elektronisen kartan numeeriseen paperitulosteeseen.

1.3.7 Valvonta- ja VTS-järjestelmien toiminta

VTS:ssä ei tallenna liikennettä koskevia tietoja, mutta radioliikenteen tallenteeseen tutkijat saivat tutustua. Kielin kanavan VTS valvoo liikennettä tutkan avulla, mutta tätä ei tallenneta muistiin¹¹.

1.3.8 Toimenpiteet tapahtuman jälkeen

ESTRADEN ja WOLGASTERN jatkoivat matkaansa kohti Brunnsbütteliä. ESTRADEN kiinnittyi tiktaaleihin klo 09:40 viranomaisten ja luokituslaitoksen tarkastuksia varten. ESTRADEN siirtyi Elbehaveniin 3.2 aamulla, jossa sille tehtiin luokituslaitoksen vaatimat tilapäiskorjaukset. Korjaukset saatiin päätökseen 3.2 illalla ja alus pääsi jatkamaan matkaa.

1.4 Pelastustoiminta

Alusten henkilökuntien tekemien tarkastusten perusteella pelastustoimenpiteitä ei tarvinnut tehdä.

1.4.1 Hälytystoiminta

ESTRADEN antoi välittömästi ilmoituksen onnettomuudesta Kielin kanavan VHF-kanavalla 3 ja VTS ilmoitti edelleen muulle liikenteelle, että kanavasta ei sillä hetkellä pääse läpi.

WOLGASTERNin henkilökunta ilmoitti pienestä palosta ja kehotti sijaintiinsa vedoten kutsumaan palokunnan, joten palokunta hälytettiin. "Palo" osoittautui tulevan komentosil-
lan siivellä yhteentörmäyksestä lauenneesta savumerkinantolaitteesta. ESTRADENilla vahinkojen tarkistus tapahtui asianmukaisesti ja tilanne oli nopeasti hallinnassa. Alukset olivat yhteydessä VHF:llä toisiinsa sekä liikenteen ohjaukseen. Kun tilanne oli hallinnassa, matkaa jatkettiin klo 03.50.

¹¹ VTS-keskuksilla hyödynnetään yleisesti AIS-järjestelmän mukanaan tuomaa hyötyä kuten aluksen nimi, nopeus, suunta, paikka, kääntymisnopeus.

1.5 Käynnistetyt tutkimukset

1.5.1 Tutkimukset onnettomuusalueella ja tapahtumapaikalla

Tutkijat kävivät kahdesti ESTRADENilla Naantalin telakalla tutustumassa vaurioihin ja kuulemassa aluksen henkilökuntaa. WOLGASTERNiin tutustumiseen ja henkilökunnan kuulemiseen tutkijat eivät saaneet varustamon lupaa.

1.5.2 Rajoitetun vesialueen vaikutukset

ESTRADENin ja WOLGASTERNin yhteentörmäys tapahtui Kielin kanavassa 2.2.2006. Kyseessä on vesialue, jonka leveyden ja syvyyden rajoitukset vaikuttavat merkittävästi alusten liikkeisiin. Jo yhden aluksen navigoinnissa on otettava huomioon matalan veden vaikutukset navigointiin. Tehtävä tulee vaativammaksi, kun väylällä on lähekkäin kaksi tai useampia aluksia. Ohitus- ja kohtaamistilanteissa alusten aiheuttamat veden virtaus-tilan muutokset vaikuttavat alusten liikkeisiin. Jatkuva molempiin suuntiin kulkeva liikenne synnyttää aaltoja ja muuttuvia virtauksia, jotka vaikeuttavat alusten ohjailutoimenpiteitä.

Syvän veden koeajo-olosuhteisiin on olemassa IMO:n vaatimukset alusten ohjailulle¹². Vastaavia vaatimuksia tai ohjeita ei ole rajoitetuille vesialueille, vaikka navigointi niissä on vaativampaa ja onnettomuusriskit suurempia. IMO:n kriteerien täytyminen ei takaa hyviä ohjailuominaisuuksia rajoitetuilla vesialueilla, vaan niille olisi luotava omat ohjailuvaatimukset¹³. Väyläkohtaisesti on olemassa ohjeita ja käytäntöjä. Suuri merkitys on alusten päälliköille, perämiehille ja luotseille kertyneellä kokemuksella. Alusten liikkeen määrittämiseen kanavissa ei ole toistaiseksi olemassa yleistä laskentamenetelmää. Tilanteeseen liittyy liian monia muuttujia. Edistyksellisillä hydrodynaamisilla ohjelmistoilla (CFD, computational fluid dynamics) on jo laskettu eräitä tapauksia. On tehty runsaasti teoreettista tutkimusta ja mallikokeita, mutta vain vähän täysmittakaavamittauksia. Varsinkin väyläkohtaisesti on useita mallikoetuloksia käytettävissä. Liitteessä 1 on tarkemmin käsitelty rajoitetun vesialueen vaikutuksia alusten liikkeisiin ja esitetty aiheeseen liittyvät parametrit sekä tutkimuksessa käytetty kirjallisuus samoin kuin tähän tapaukseen parhaiten soveltuvat tulokset. Näin on saatu laadullinen yleiskuva tapahtumien kulusta ja paikoin myös numeroarvoja.

Rajoitettu vesialue vaikuttaa alusten liikkeisiin seuraavasti. 1) Syväys kasvaa, ilmiötä kutsutaan nimellä squat. Se koostuu pystysuorasta painumasta ja viippauksen muutoksesta. 2) Ohjailuominaisuudet muuttuvat. Aluksen kääntyminen hidastuu, suuntavakavuus muuttuu parempaan tai huonompaan suuntaan. 3) Aluksen vastus kasvaa. 4) Potkurin jättövirtaus muuttuu. 5) Kanavan seinämien lähellä ilmenee imu- tai työntövaikutus (bank effect). 6) Usean aluksen ollessa rinnan kanavassa, edellä mainitut ilmiöt korostuvat. 7) Aallonmuodostus muuttuu matalassa vedessä. Kanavan seinämiä heijastuneet aallot saattavat vaikuttaa häiritsevästi ohjailuun.

¹² IMO Resolution MSC.137(76), Standards for Ship Manoeuvrability, adopted on 4 December 2002.

¹³ Dand, I.W. Low Speed Manoeuvring Criteria: Some Considerations, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability, MARSIM '03, 25th-28th August 2003, Kanazawa, Japan.

Kun **kaksi alusta** liikkuu toistensa lähellä, niiden virtauskentät kohtaavat ja vaikuttavat toisiinsa. Vaikutus ilmenee aluksia siirtämään pyrkivinä voimina tai niitä kääntämään pyrkivinä momentteina. Riippuen alusten keskinäisestä asemasta ja suhteellisesta nopeudesta, pitkittäiset voimat vaikuttavat liikkeen suuntaan tai sitä vastaan, poikittaiset pyrkivät lähentämään aluksia tai siirtämään niitä kauemmas toisistaan. Kääntävät momentit pyrkivät kääntämään aluksia kohti toisiaan tai poispäin. Näiden voimien ja momenttien maksimiavot riippuvat voimakkaasti alusten absoluuttisista ja suhteellisista nopeuksista, pituussuuntaisesta keskinäisestä asemasta, kylkien välisestä etäisyydestä, alusten mitoista, veden syvyydestä, virtauksista, tuulesta ja aalloista. Merkittävä vaikutus on myös alusten toisten kylkien etäisyydellä kanavan seinämistä.

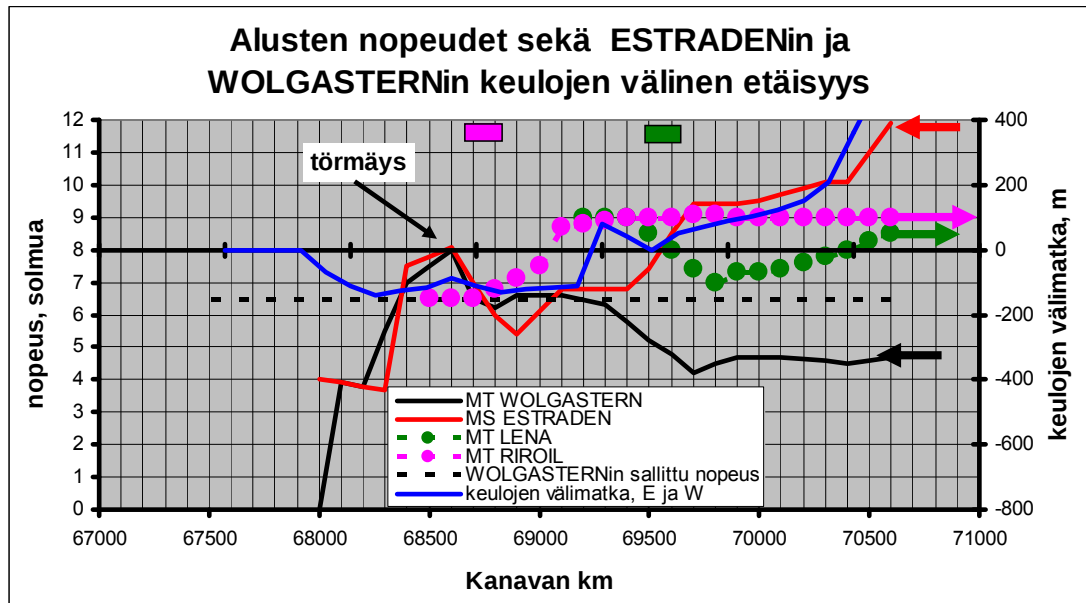
Näin ollen, kun alusten keskinäinen asema muuttuu, voimien ja momenttien suuruus ja suunta voivat muuttua hyvin nopeasti.

Alusten kohtaamiset 2.2.2006

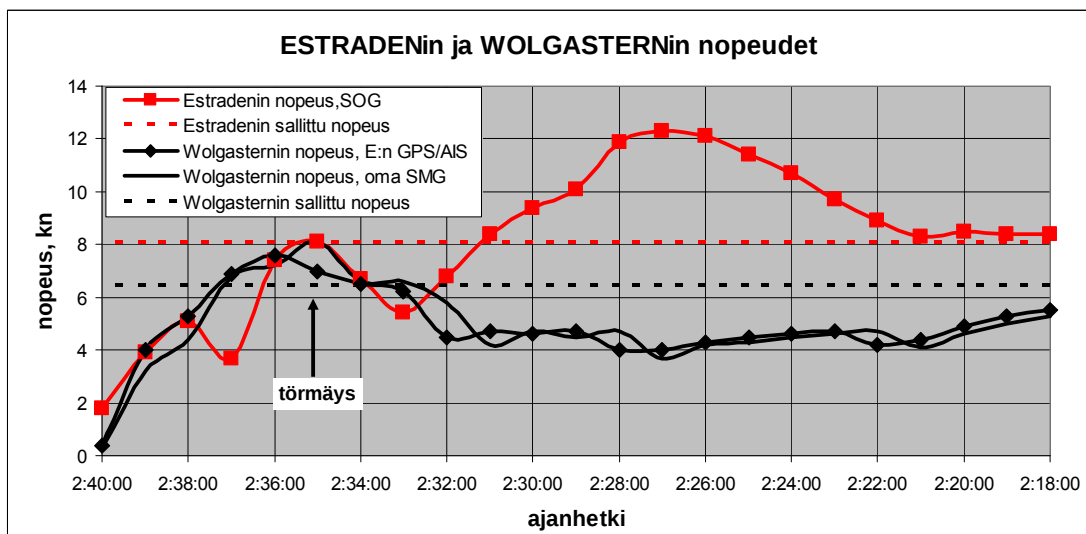
Tutkinnassa on käytetty hyväksi ESTRADENin elektronisen kartan tallenteita. Kuvallisessa tallenteessa näkyy kanavan reunat, mittakaava, kellonaika, aluksen nopeus, ja muiden alusten sijainti. Elektronisessa kartassa esiintyy epätarkkuuksia alusten keskinäisten sijaintien sekä väylän suhteen. Tutkinnassa on oletettu, että alusten sijainnit pituussuunnassa ovat riittävän luotettavat ja täsmäävät alusten henkilökuntien kuulemistien ja lausuntojen kanssa. GPS-tallenteista on saatu alusten nopeudet ja suunnat kymmenen sekunnin välein, lukuun ottamatta ESTRADENia, jonka tallenteesta ko. tiedot on poimittu. ESTRADENin tiedot on saatu minuutin välein.

Tutkinnan laskelmissa nopeuden yksikkönä on käytetty solmua ja paikoin m/s vaikka Kielin kanavan käytäntö on km/h.

Nopeudet ja asema. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty tutkijoiden käsitys alusten nopeuksista ja keskinäisestä pituussuuntaisesta asemasta ennen onnettomuutta ja sen aikana. Alusten pituussuuntainen asema toisiinsa nähden on ilmoitettu niiden keulojen välimatkalla. Kolmen aluksen kohtaamisissa vastaan tuleva alus oli pienentänyt nopeuttaan. ESTRADEN ja WOLGASTERN kulkivat likimain samalla nopeudella noin 4 minuuttia ennen törmäystä samalla kun molemmat nostivat nopeuttaan. Sallitut nopeudet ylittyivät aika ajoin.

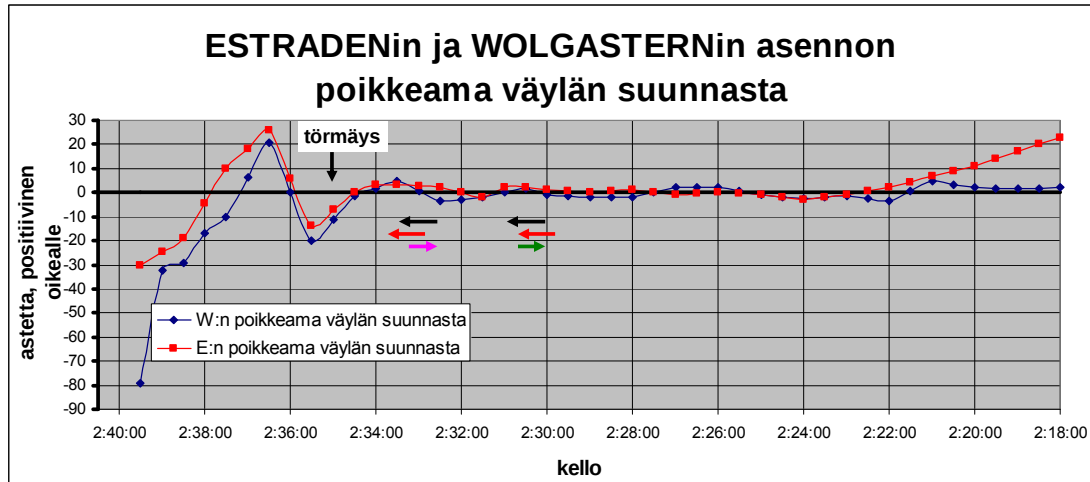


Kuva 19. Alusten nopeudet ja ESTRADENin ja WOLGASTERNin keskinäinen pituus-suuntainen etäisyys. Kohtaamistilanteet on merkitty pienillä suorakaiteilla.



Kuva 20. ESTRADENin ja WOLGASTERNin nopeudet

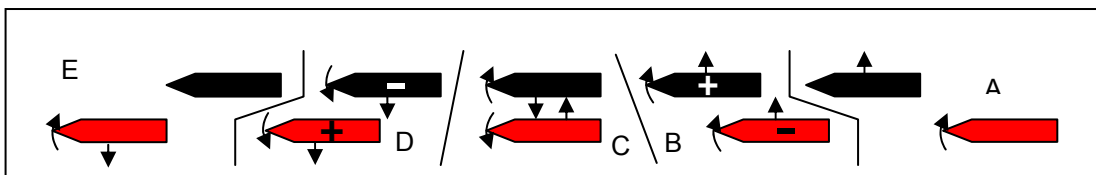
Alusten asento. Kuvassa 21 on esitetty ESTRADENin ja WOLGASTERNin asento ennen törmäystä ja sen jälkeen. Aluksilla tehtyjen ohjailutoimenpiteiden ja keskinäisen vuorovaikutuksen vaikutusten erottaminen ei ole selvää. Nähdään kuitenkin, että varsinkin RIILOIL 5 kohtaamisen jälkeen alusten asennot alkoivat muuttua aiempaa voimakkaammin.



Kuva 21. ESTRADENin ja WOLGASTERNin asennot. LENAn ja RIROIL 5 vastaantulot on myös näytetty.

Voimat ja momentit.

Kuvassa 22 on esitetty kirjallisuudesta löydettyihin mallikokeisiin ja teoreettisiin laskelmiin perustuen voimien ja momenttien periaatteelliset suunnat aluksen ohittaessa hitaasti toista. Itse asiassa pienestä nopeuserosta ja alusten läheisyydestä johtuen ohitus ei onnistu. Pitkittäissuuntaisten voimien (vastuksen) muutokset olivat sellaiset, että alukset jäivät toistensa vangiksi. Kun ESTRADEN tuli WOLGASTERNin rinnalle (asema B), sen vastus pieneni ja jälkimmäisen kasvoi. Kun ESTRADEN oli yrittämässä edelle (asema D), voimien suunnat muuttuivat. Mustalla aluksella (WOLGASTERN) h/T-suhde on 1,2, punaisella (ESTRADEN) 2,0, minkä johdosta vaikutus ilmenee voimakkaammin mustalla aluksella. Nopeuden lisääminen voimisti tätä "vankeutta". Plus-merkki tarkoittaa aluksen vastuksen lisäämistä ja miinus-merkki vastuksen vähenemistä. WOLGASTERNiin ohjattavuuteen vaikutti lisäksi kanavan seinämän läheisyys.



Kuva 22. Periaatteelliset voimien ja momenttien suunnat alusten kulkiessa lähes samalla nopeudella.

1.5.3 Miehistön toiminta ESTRADENILLA

Heti törmäyksen jälkeen yliperämies ja kansimiehistö lähetettiin tutkimaan mahdollisia vuotoja ja vaurioita. Konepäällikkö ja konehenkilökunta tarkastivat konehuoneen. Yliperämies ilmoitti, että rungossa on pienempiä reikiä pääkannen yläpuolella. Alaruumassa eikä muissa osastoissa havaittu vuotoja. Samoin konepäällikkö ilmoitti klo 02.45 kaiken olevan kunnossa ja että konehuoneen toiminnot ovat normaalit. Painolastitankkien peilaukset olivat muuttumattomia ja kofferidameissa ei havaittu vuotoja.



1.6 Toimintaa ohjaavat säädökset ja määräykset

1.6.1 Kansallisia sääntöjä

Kielin kanava on yksi Saksan sisäisistä vesiväylistä, liikenne on Saksan vesiväylien navigointisääntöjen (Seeschiffahrtsstraßen-Ordnung, tunnetaan lyhenteestä SeeSchStrO) lisäksi kansainvälisten merenkulkusäännösten alainen. SeeSchStrO § 23 sisältää seuraavaa tekstiä¹⁴.

- (1) *Sääntönä on, että ohittavan aluksen on sivuutettava ohitettava alus jälkimmäisen aluksen paapuurin puolelta. Jos tilanne niin vaatii, ohittava alus voi sivuuttaa ohitettavan aluksen styyrpuurin puolelta.*
- (2) *Ohittavan aluksen tulee yhdenmukaisesti Kansainvälisten sääntöjen yhteentörmäysten estämiseksi merellä 1972, täydennyksineen, säännön 9(e) ja säännön 13 mukaan, vähentää nopeuttaan niin paljon ja vastaavasti annettava ohitettavalle alukselle niin leveästi tilaa, ettei vaarallista imua tai työntöä voi syntyä ja ettei vastakkaisesta suunnasta saapuvaa alusta saateta mihinkään varaan koko ohituksen keston aikana. Ohitettavan aluksen tulee helpottaa ohittavan aluksen toimenpidettä parhaalla mahdollisella tavalla.*

Nämä säännöt sisältävä ohjeita ohitukselle Kielin kanavan ohitusalueilla, mutta SeeSchStrO ei mainitse ohittavien tai ohitettavien alusten maksimi liikenneryhmiä eikä kuinka suuri voi ohituksen aikana samanaikaisesti vastaantuleva alus olla. Rinnakkain olevien alusten lukumäärää ohitusalueilla ei ole säädetty eikä SeeSchStrO määritä koska ohitettava alus on kiinnitettävä tiktaaleihin ohituksen ajaksi. Yksittäiset tilanteet määrittävät mitä tehdä. Aluksen päällikön on vastuullisena henkilönä päätettävä luotsin kanssa onko ohitus mahdollinen, välttämätön tai hyödyllinen. Jos hän haluaa ohittaa vaikeassa tilanteessa, hänen on kiinnitettävä huomiota varmistaakseen meriliikenteen turvallisuus ja vältettävä altistamista toista alusta vahingolle tai haitalle. (SeeSchStrO section 3).

Rinnakkain olevien alusten minimietäisyyden määrittämiseksi on päälliköiden harkittava, kuinka hydrodynaamiset vaikutukset otetaan huomioon. Tätä ei ole tuotu esiin SeeSchStrOssa muutoin kuin hyvänä merimiestaitona.

Toisaalta, rajoituksia on annettu ohitukseen tai kohtaamiseen ohituspaikkojen ulkopuolella¹⁵.

SeeSchStrO mukaan ESTRADEN kuului kanavasääntöjen mukaiseen liikenneryhmään 5 ja WOLGASTERN samoin¹⁶. ESTRADENin sallittu maksiminopeus kanavassa oli 15 km/t (8,1 kn). WOLGASTERNin sallittu maksiminopeus oli aluksen syväyksestä (yli 8,5 m) johtuen 12 km/t (6,5 kn)¹⁷. Myöskään ohitustilanteessa ei sallittua nopeutta saa ylittää. Audorf-Rade -ohitusalueen rajat ovat kilometrit 66,093–71,749¹⁸.

¹⁴ Käännetty Saksan viranomaisten laatimasta sääntöjen englanninkielisestä versiosta.

¹⁵ SeeSchStrO §23,9

¹⁶ SeeSchStrO § 2,5.7

¹⁷ SeeSchStrO § 26,12.13.1

¹⁸ Wasser-und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau, Sachbereich 4-Schifffahrtswesen, kirje 4-331.5 SU 02/06 30.5.07

SeeSchStrO 3 §:n mukaan on päällikön seurattava VTS-tiedonantoja jotka annetaan saksankielellä ja pyydettyäessä englanniksi.

1.6.2 Varustamon ohjeet

ESTRADEN

Rederi AB Engship turvallisuusjohtamisjärjestelmän kohdassa merivahti ahtaalla väylällä kohdassa 29.4.2 kuvataan ohjeet luotsin ollessa laivassa. *Mikäli käsiruoria käytetään luotsi antaa ruorikomennot jotka ruorimies toistaa ja noudattaa. Päällikkö/vahtiperämies valvoo että ruorimies suorittaa komennot oikein. Mikäli automaattiohjausta käytetään, ohjaa luotsi/vahtiperämies. Vahtiperämies valvoo luotsin toimintaa ja puuttuu tähän tai avustaa tarpeen mukaan. Yhteydenpito paikalliseen liikennevalvontaan hoidetaan paikallisen käytännön mukaan. Vahtipäällikkö tekee laivapäiväkirjaan ja merikorttiin merkinnät. Ellei päällikkö ole komentosillalla, tulee hänen olla välittömässä valmiudessa saapua sinne.*

Varustamon ohjeistus ei sisällä erillisiä ohjeistuksia Kielin kanavassa navigoinnille.

WOLGASTERN

RIGEL-varustamon ohjeistuksia ei ollut käytettävissä. Päällikkö oli komentosillalla.

1.6.3 Kansainväliset sopimukset ja suositukset

Kansainvälisten sääntöjen yhteentörmäysten estämiseksi merellä 1972, täydennyksiin, sääntö 9 käsittelee ahtaita kulkuväyliä. Säännön e) 1) kohdassa mainitaan että *milloin ahtaassa kulkuväylässä ohitus voi tapahtua ainoastaan ohitettavan aluksen ryhdyttyä toimenpiteisiin turvallisen ohituksen varmistamiseksi, ohitusta aikovan aluksen on ilmaistava aikomuksensa antamalla 34 säännön c kappaleen 1 kohdassa määrätty asianmukainen äänimerkki. Ohitettavan aluksen on jos, se suostuu ohitukseen annettava 34 säännön c kappaleen 2 kohdassa määrätty asianmukainen äänimerkki ja ryhdyttävä toimenpiteisiin turvallisen ohituksen varmistamiseksi. Epäroidessään se voi antaa 34 säännön d kappaleessa määrätyn äänimerkin. 2) Tämä sääntö ei vapauta ohittavaa alusta 13 säännössä määrätystä velvollisuudesta.*

Sääntö 13 käsittelee ohitusta. Säännön a) osassa mainitaan että *jokaisen aluksen joka ohittaa toista alusta on väistettävä ohitettavaa alusta. Säännön d) kohdassa mainitaan että mikään myöhempi muutos näiden kahden aluksen suuntimassa ei tee ohittavasta aluksesta alusta, joka näiden sääntöjen mielessä leikkaa toisen aluksen suunnan, eikä vapauta sitä velvollisuudesta pysytellä erillään ohittamastaan aluksesta ennen kuin se on lopullisesti ohittanut tämän ja selviytynyt siitä.*

Ohituksesta sovittiin VHF puhelimella kyseessä olevien alusten kesken ja myös VTS NOK II kanssa saksaksi. Tämä on sallittua SeeSchStrO 23 §:n mukaan mikäli siinä mainitut olosuhteet täyttyvät.

2 ANALYYSI

2.1 Yleinen liikennetilanne

Kaikille länteen päin meneville aluksille näytettiin jatkuvaa pysäytyssignaalia Audorf-Rade ohituspaikalla klo 01.25. Tämä signaali tarkoitti, että Audorf-Rade ohitusalueelta poistuminen oli kiellettyä aluksilta, joiden liikenneryhmä oli kolme tai sitä korkeampi. Tämä liikennetilanne ja VTS NOK II:n tulevat aikomukset ilmoitettiin VHF:llä kaikille aluksille klo 01.50. Näin kaikilla kyseessä olevilla länteen päin kulkevilla aluksilla oli tieto odotettavissa olevasta noin 30 minuutin viiveestä Audorf-Raden ohituspaikalla.

Matkan otaksuttiin jatkuvan klo 03.10, koska TAVASTLANDia ja CROWNBREEZEä oli odotettava. Kohdattuaan RIROIL 5:en klo 02.33, ESTRADEN olisi voinut ohittaa WOLGASTERNin suhteellisen turvallisesti enemmän kuin puolen tunnin ajan, ilman samanaikaisesti vastaantulevaa liikennettä. ESTRADENilla oli mahdollisuus kulkea WOLGASTERNin perässä kunnes LENA ja RIROIL 5 olisi sivuutettu. WOLGASTERNin ei olisi silloin tarvinnut mennä liian lähelle kanavan reunaa ja ESTRADENin ja WOLGASTERNin sivujen etäisyys olisi voitu pitää turvallisena.

2.2 Komentosiltayhteistyö

ESTRADENin komentosiltayhteistyöllä ei ollut mahdollisuutta toteutua joustavasti, koska kommunikointi luotsin ja ruorimiehen välillä sekä WOLGASTERNin kanssa tapahtui saksan kielellä, eikä ESTRADENin vahtiperämies tätä täysin ymmärtänyt. Kommunikointi kanavan liikenteenohjauksen kanssa käytiin myös saksan kielellä paikallisen käytännön mukaisesti. Kun vahtiperämies alkoi epäillä, että jotain erikoista oli tekeillä, hän tiedusteli sitä luotsilta englannin kielellä. SeeSchStrO:n mukaan kaiken tiedon olisi voinut pyytää englannin kielellä, mutta tätä ei hyödynnetty ESTRADENilla eikä WOLGASTERNillä.

Aluksen päällikkö on vaikeassa asemassa tämän kaltaisessa tilanteessa. Toisaalta hän on vastuussa aluksestaan, mutta toisaalta kanavahallinnon laivalle määräämät luotsi ja ruorimies ohjailevat alusta käytännössä täysin itsenäisesti. Kanavassa kulun aikana komentosillalla on yleensä aluksen vahtiperämies. Päällikkö tulee paikalle vahtiperämiehen kutsusta ja voi sitten puuttua ohjailuun, jos näkee siihen aihetta. Tällöin saattaa olla jo liian myöhäistä.

Kanavaluotsauksen alkaessa päällikön tulisi sopia luotsin kanssa, mitkä tiedot hänen tulee saada englanniksi. Tällaisia tietoja ovat mm. tulevat ohitustilanteet.

2.3 Ohitustilanne

ESTRADEN ei täysin pystynyt täyttämään velvollisuuksiaan ohittavana aluksena, koska WOLGASTERNin ohituksen alkaessa ensin LENA ja sitten RIROIL 5 tulivat vastaan ja ne kohdattiin samanaikaisesti vasen sivu vasenta sivua vasten ESTRADENin kanssa. LENA on suhteellisen leveä (20,6 m), joten se vaati myös oman tilansa sivuutukseen.

LENA huomautti aluksen koosta, mutta sivuutus toteutettiin siitä huolimatta. ESTRADEN ei päässyt jatkossakaan siirtymään riittävästi vasemmalle, koska RIROIL 5 oli tulossa vastaan.

Tutkijoiden käsityksen mukaan WOLGASTERN kokoisen aluksen ohitus ESTRADENin kokoisella aluksella tulisi saada toteuttaa ilman vastaantulevaa suurikokoista alusliikennettä. Tämä olisi toteutunut, mikäli WOLGASTERN olisi aiemmin aloittanut nopeuden alentamisen tai LENA ja/tai RIROIL 5 olisi määrätty odottamaan tai hiljentämään riittävän aikaisin. ESTRADENin aloittama ohitus olisi voitu keskeyttää ja odottaa kunnes vastaantulevat alukset oli kohdattu. Tehokkaammalla VTS:n liikenneohjauksella tämä olisi voitu toteuttaa.

WOLGASTERN kiihdytti vauhtiaan tarkoituksenaan ohjailun parantaminen. Tämä on periaatteessa oikean suuntainen toimenpide, mutta tässä tilanteessa se pidensi ESTRADENin ohitusyrityksen vaatimaa aikaa. Sen johdosta aluksen kulkivat pitkään (kuusi minuuttia) rinnakkain, mistä noin neljä minuuttia lähes samalla, kasvavalla nopeudella. Tämä johti voimakkaiden keskinäisten vuorovaikutusten kehittymiseen.

Ensimmäisen kosketuksen jälkeinen ESTRADENin vauhdin pudotus johti siihen, että WOLGASTERN liukui pitkin ESTRADENin kylkeä, mistä aiheutui lisävaurioita molempiin aluksiin. Toisaalta näin vältettiin ESTRADENin ajautuminen väylän reunaan, josta olisi mahdollisesti syntynyt peräsimille ja potkureille vaurioita.

2.4 Rajoitetun vesialueen vaikutukset

Rajoitetun vesialueen vaikutuksia alusten liikkeisiin ja ohjailuun on käsitelty liitteessä 1, jossa on kirjallisuusselvityksen pohjalta päädytty alla oleviin näkemyksiin.

Jo TURCHESEn ja ANTJEn tekemät ohitukset olivat pakottaneet WOLGASTERNin siirtymään väylän oikeaan reunaan. Tällöin vesialue oli vielä leveä, vaikka WOLGASTERN ei suuren syväyksensä vuoksi voinutkaan täysin käyttää alueen leveyttä hyväkseen. Se joutui pysymään lähellä väylän oikeaa reunaa, koska vastaantulevien alusten sallittiin sivuuttaa se ja jo sen vierellä oleva ESTRADEN. WOLGASTERNin oikea sivu oli 1,5–2 m matalammassa vedessä kuin vasen sivu, mikä saattoi lisätä kanavan seinämän läheisyyden aiheuttamia ohjailuvaikeuksia. Heti LENAn kohtaamisen jälkeen WOLGASTERN eteni väylän kapeampaan osaan, missä sillä ei ollut yhtään tilaa oikealle siirtymiseen. Siirtyminen ahtaampaan väylään todennäköisesti vaikeutti ohjailua.

Varavesi (aluksen ja väylän pohjan välinen etäisyys) vaihteli myös kanavan pohjan epätasaisuuksien johdosta. Tästä syystä WOLGASTERNin painuma eli squat vaihteli. Lisäksi kasvanut nopeus lisäsi squatia. Tutkinnassa arvioitu squat on esitetty liitteen 1 kuvassa 5. Nämä seikat aiheuttivat osaltaan ennakoimattomia muutoksia aluksen ohjailuominaisuuksiin. ANTJE joutui vastaantulevan LENAn vuoksi siirtymään melko nopeasti WOLGASTERNin eteen, mikä saattoi lisätä jo havaittuja ohjailuvaikeuksia. WOLGASTERNin h/T-suhde vaihteli sellaisella välillä (noin 1,2–1,4), että yllättävät ohjailuominaisuuksien muutokset olivat mahdollisia. Ne saattoivat osittain johtua myös potkurin toiminnan muutoksista matalassa vedessä.

Vastaantulevien LENAn ja RIROIL 5:en sallittiin kohdata jo vierekkäin olevat ESTRADEN ja WOLGASTERN, minkä johdosta ESTRADEN joutui olemaan liian lähellä WOLGASTERNiä, joka ei voinut siirtyä yhtään oikealle. Tämän seurauksena alusten väliset vuorovaikutusvoimat ja momentit tulivat niin suuriksi, että ohjailuvoimilla ei enää pystytty kumoamaan niitä. Alukset jäivät lisäksi toistensa vangiksi pituussuunnassa. Voimien ja momenttien suunnat vaihtuivat ennakoimattomasti alusten keskinäisen pituussuuntaisen aseman muuttuessa, eivätkä ohjailuvoimat ehtineet vaikuttaa aluksen kääntymiseen liittyvän hitauden vuoksi. Yritykset nostaa nopeutta, jopa yli sallitun, ohjailuvoimien suurentamiseksi, eivät riittäneet, koska vuorovaikutusvoimat kasvoivat likimain verrannollisena nopeuden neliöön.

Jälkimmäisen vastaantulevan aluksen, RIROIL 5:en, jälkeen ESTRADEN jäi edelleen lähelle WOLGASTERNiä, vaikka sillä olisi nyt ollut tilaa siirtyä kauemmas. Toisaalta, tällöin aluksiin vaikutti vasemmalle siirtävä voima ja vasemmalle kääntävä momentti, mikä olisi vaikeuttanut yritystä siirtyä kauemmas.

Tutkijoiden käsityksen mukaan sillalla olleet eivät ehkä kysyneet arvioimaan tilanteen riskejä. Alukset päästettiin liian lähelle toisiaan liian suurella nopeudella. LENAlla ihmeteltiin kolmen aluksen rinnakkain oloa yhtä aikaa, jonka paljastaa kommentti ”LENAkaan ei ole pieni alus”. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut tilanteen uudelleenarviointia. Melko lyhyen ajan kuluessa tapahtui useita kohtaamisia ja sivuutuksia, jotka veivät sillalla olleiden huomion siinä määrin, että kenelläkään ei ollut mahdollisuutta tehdä kokonaisarviota tilanteen kehittymisestä ja siihen liittyvistä mahdollisista riskeistä. Kunkin aluksen sillalla tarkasteltiin tilannetta oman aluksen kannalta. On todennäköistä, että jo ANTJEn tekemä WOLGASTERNin ohitus ja heti sen jälkeen toteutunut LENAn kohtaaminen synnyttivät ESTRADENin ja WOLGASTERNin ohjailuun epästabiilisuuksia ja aktiivisen ohjailun tarvetta, mikä vain paheni alusten kulkiessa jatkuvasti rinnan yhä kasvavalla nopeudella.

Saksan vesiväylien navigointisäännöt (SeeSchStrO) rajoittavat alusten sivuuttamista ja ohittamista sekä paikan, että koon (liikenneryhmä) mukaan. Ohitusalueen ulkopuolella WOLGASTERNin ohittaminen ei ollut sallittua. Kaikki tämän onnettomuuden yhteydessä tarkastellut ohitukset ja kohtaamiset tapahtuivat ohitusalueella. SeeSchStrO säännöissä on vain yleisluonteisia ohjeita useiden alusten kohtaamistilanteita varten ohitusalueilla. Tutkijoiden käsityksen mukaan tähän tapaukseen liittyvien alusten kokoluokilla kolmen aluksen rinnakkainolo sisälsi vaaratekijän. Väylän täyttymäaste¹⁹ oli noin 3,3, mikä on selvästi alle 15, jota pienemmillä arvoilla kanava alkaa tuntua aluksille ahtaalta.

2.5 Muita huomioita

Nopeus. Tutkinnassa on käynyt ilmi, että Kielin kanavaa koskevia nopeusrajoituksia rikottiin. ESTRADEN oli kulkenut ajoittain vähintään 22,2 km/ (12 kn), kun suurin sallittu nopeus oli 15 km/h (8,1 kn). WOLGASTERN oli ylittänyt sille asetetun maksiminopeuden 12 km/h (6,5 kn) nostamalla nopeuttaan juuri ennen yhteentörmäystä arvoon 14,8 km/h (8 kn). Tutkijoilla ei ole tiedossa, onko alusten päälliköille tai omistajille joitain seu-

¹⁹ Katso liite 1, s. 3.

raamuksia ylinopeudesta tai kuinka kanavan liikennevalvonta tarkkailee ja säätelee alusten nopeuksia.

Kielin kanavassa on ensisijaisena **nopeuden yksikkönä** käytössä km/h. Kuitenkin meriliikenteessä solmu (kn) on tavallisempi yksikkö. Useimmiten navigointilaitteet esittävät nopeuden solmuissa. Tämä kahden yksikön rinnakkainen käyttö aiheuttaa ylimääräistä muunnostarvetta nopeutta arvioitaessa, mikä voi joissain tilanteissa johtaa virhearviointiin. Tutkijoiden mielestä kahden yksikön tai yhden merenkulussa vieraan yksikön käyttö on turhaa ja ylimääräinen vaaratilanteita luova riskitekijä.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aluksia oli ajoittain liikaa vierekkäin, jolloin niiden välit muodostuivat liian pieniksi ja ne jäivät toistensa vangeiksi. Ohitettava alus, WOLGASTERN, joutui kulkemaan pitkän aikaa liian lähellä kanavan reunaa useiden ohitusten ja vastaantulojen vuoksi. Yleisen liikennetilanteen antamat mahdollisuudet, jotka olisivat tehneet LENAn ja RIROIL 5:en kohtaamiset tarpeettomiksi ESTRADENin ohittaessa WOLGASTERNiä, jäivät huomiotta. Nopeuksien lisäysten johdosta alukset imeytyivät yhteen. Luotseilla ei ollut todennäköisesti riittävän selvää käsitystä hydrodynaamisten voimien vaikutuksista tässä erityistilanteessa (useita vastaantuloja ja ohituksia lyhyen ajan sisällä, kolme alusta hetkellisesti vierekkäin), eikä niitä ole painotettu SeeSchStrO säännöissä niin voimakkaasti kuin pitäisi.

Kanavasäännöissä ei ole täsmällisiä ohjeita ohitustilanteita varten ohitusalueella, kuten esimerkiksi minkä kokoiset laivat ja kuinka monta laivaa saa olla rinnakkain. Lopullinen vastuu on päälliköllä. Alusten nopeudet ylittivät hetkittäin niille asetetut suurimmat sallitut nopeudet. Tästä voi saada käsityksen, että ohitusta ei ollut suunniteltu riittävän ajoissa. Kanavahallinto ilmeisesti sallii nopeuksien ylitykset liikenteen sujumisen takaamiseksi. Tämän tapauksen johdosta Riegel Schiffarts -varustamo on päättänyt, että se ei yleisesti ottaen enää liikennöi Kielin kanavassa, jos aluksen syväys on 8,5 metriä tai enemmän.

Alusten ohjailusta päättäminen on pääosin luotsin ja ruorimiehen harteilla. Aluksen päällikkö on kuitenkin vastuussa aluksestaan. Aluksen päällikön kielitaidosta riippuu, kuinka hyvin hän pystyy seuraamaan tapahtumia, koska kanavahallinnon henkilöstö käyttää saksaa. Englannin kielen käyttö antaisi aluksen henkilökunnalle paremmat mahdollisuudet puuttua asioiden kulkuun hyvissä ajoin. Liikennetiedotteet saa pyydettyä myös englanniksi, mutta alusten henkilökunnat eivät näitä pyytäneet. Saksalaisten viranomaisien mukaan he eivät ole tässä vaiheessa halukkaita saamaan englantia komentosillan kieleksi. Aluskohtaisesti luotsi ja ruorimies voivat vastata kysymyksiin englanniksi.

Liikenteen ohjaus ei puuttunut näihin ohitustilanteisiin. Mitään alusta ei määrätty pysähtymään ja odottamaan. Jouduttiin tilanteeseen, jossa kolme alusta oli kahdesti rinnakkain. Tilanteista selviäminen jäi luotseille.

Merenkulussa yleisin nopeuden yksikkö on solmu. Merenkulkulaitteet kuten loki ja elektroninen kartta näyttävät nopeuden solmuina, mutta Kielin kanavassa on käytössä yksikkö km/h. Tämä seikka on omiaan hämmentämään nopeuden seuraamista ja sen pohjalta tehtäviä päätöksiä.

4 SUOSITUKSET

Tutkinnassa on tullut ilmi, että alusten ohitukseen liittyvät käytännöt sivuutusalueilla ovat melko vapaita ilman täsmentäviä rajoituksia. Navigointisäännöt SeeSchSt-rO antavat navigointiin ohitusalueen sisällä vain yleisohjeita ilman tarkentavia rajoituksia. Ohitustilanteessa kohdattiin vastaantulevaa liikennettä, jonka kohtaamiskokoa ei ole kanavasäännöissä rajoitettu eikä liikenteen ohjaus tässä tapauksessa sitä rajoittanut. Suurimmat sallitut nopeudet ylitettiin. Aluksiin vaikuttavat voimat ja momentit ovat verrannollisia nopeuden neliöön, joten nopeusrajoitusten noudattaminen parantaa navigoinnin turvallisuutta. Tämän johdosta tutkinta lautakunta suositaa Wasser- Und Shiffahrtssdirection Nord:lle, että:

1. *Vastaavia sääntöjä täsmennetään siten, että ohitustilanteet voidaan toteuttaa turvallisesti vastaantulevan liikenteen sitä vaarantamatta. Alusten sallittuja nopeuksia tulisi valvoa tehokkaammin.*

Tietämys rajoitetun vesialueen vaikutuksista aluksen ohjailuun näyttää olevan merenkulkijoiden keskuudessa ja luotseilla jokseenkin puutteellista, joten tutkintalautakunta suositaa, että:

2. *Kanavissa liikennöivät varustamot ja muut kanavanavigoinnista vastaavat tahot arvioivat henkilökuntansa lisäkoulutustarpeen, koskien rajoitetun vesialueen vaikutuksia aluksen liikkeisiin ja lisäävät koulutusta tarpeen mukaan.*
3. *Merenkulkualan koulutusyksiköt täydentävät mahdollisen puutteen rajoitetun vesialueen vaikutuksesta aluksen ohjailuun teorian ja käytännön osalta. Opetussuunnitelmia uudistettaessa tulee tämä aihepiiri ottaa huomioon.*

Saksassa annetaan erikoiskoulutusta varustamoille ja luotseille Kielin kanavan koulutuskeskuksessa ja Wismarin korkeakoulun merenkulkualan koulutus- ja harjoittelukeskuksessa. Tällaista on esimerkiksi interaktiivinen koulutus monimutkaisissa liikennetilanteissa, joka perustuu kokemuksiin Kielin kanavassa.

Helsingissä 15.10.2007



Juha Sjölund



Heikki Koivisto



Olavi Huuska

Liite 1. ESTRADEN ja WOLGASTERN kanavassa

1 Alusten keskinäiset ja alusten ja väylän väliset vuorovaikutukset yleensä

MS ESTRADENin ja MT WOLGASTERNin yhteentörmäys tapahtui Kielin kanavassa 2.2.2006. Kyseessä on vesialue, jonka leveyden ja syvyyden rajoitukset vaikuttavat merkittävästi alusten liikkeisiin. Jo yhden aluksen kulussa on otettava huomioon rajoitetun vesialueen vaikutukset navigointiin. Tehtävä tulee vaativammaksi, kun väylällä on lähekkäin kaksi tai useampia aluksia. Ohitus- ja sivuutustilanteessa veden virtaustilan monimutkaiset muutokset alusten ympärillä aiheuttavat voimia, jotka vaikuttavat alusten ohjailuun. Jatkuva molempiin suuntiin kulkeva liikenne synnyttää aaltoja ja muuttuvia virtauksia, jotka vaikeuttavat alusten ohjailutoimenpiteitä.

Syvän veden koeajo-olosuhteisiin on olemassa IMO:n vaatimukset alusten ohjailulle²⁰. Vastaavia vaatimuksia tai ohjeita ei ole rajoitetuille vesialueille, vaikka navigointi niissä on vaativampaa ja onnettomuusriskit suurempia. IMO:n kriteerien täytyminen ei takaa hyviä ohjailuominaisuuksia rajoitetuilla vesialueilla, vaan niille olisi luotava omat ohjailuvaatimukset²¹. Väyläkohtaisesti on olemassa ohjeita ja käytäntöjä. Suuri merkitys on alusten päälliköille, perämiehille ja luotseille kertyneellä kokemuksella, esimerkkinä matalan veden vaikutuksia hyväkseen käyttävä ”Texas Chicken” menettely kahden suuren aluksen tullessa vastakkain²².

Tutkimuksen koskien alusten navigointia rajoitetulla vesialueella tavoitteena on pystyä määrittämään turvalliset nopeudet ja alusten keskinäiset etäisyydet sekä etäisyydet väylän seinämiin ja pohjaan erilaisissa tilanteissa. Alan tiedon taso ei kuitenkaan ole riittävä, jotta pienille nopeuksille rajoitetuille vesialueille olisi mahdollista määrittää ohjailunormit. Syynä on se, että alusten liikkeisiin ja ohjailuun rajoitetulla vesialueella liittyy huomattavasti enemmän muuttujia kuin rajoittamattomassa vesialueessa. Hydrodynaamiset laskentamenetelmät (CFD, computational fluid dynamics) ovat kehityksessä nopeasti, mutta niiden oikeellisuutta ei ole voitu todentaa täysmittakaavakokeiden ja standardisoitujen mallikokeiden vähäisyyden vuoksi. Vertailut laskelmien ja mallikokeiden antamien tulosten välillä ovat jo useissa tapauksissa antaneet lupaavan yhteneviä tuloksia (katso viiteluettelo). Eri tahoilla on kehitetty laskelmiin ja mallikokeisiin perustuvia ohjailun simulointimalleja, joissa kuitenkin on vielä runsaasti parannettavaa. Varsinkin aluksen rungon peräosan, potkuri(e)n ja peräsim(i)en monimutkaiset vuorovaikutukset edellyttävät lisäselvityksiä (esim. viitteet 14, 18, 19 ja 22). Tavoitteena on kehittää alusten käyttöön yksinkertainen PC-ohjelma, jolla päällikkö voi selvittää tulevan väylän riskitekijät ja suunnitella kulkunsa vastaavasti.

Hydrodynaamisissa laskelmissa ja mallikokeissa alukset on useimmiten pakotettu kulkemaan väylän seinämien suuntaisesti. Kääntyminen ja sivusuuntaan siirtyminen on estetty. Tällöin voimat ja momentit tilanteessa eivät vastaa todellista tilannetta, jossa alus pyritään pitämään halutulla kurssilla ohjailutoimenpitein. Kuitenkin käytännössä aktiiviset ohjailutoimenpiteet kääntävät ja siirtävät alusta jonkin verran pois suunnitellulta reitiltä, jolloin mitatut

²⁰ IMO Resolution MSC.137(76), Standards for Ship Manoeuvrability, adopted on 4 December 2002

²¹ Dand, I.W. Low Speed Manoeuvring Criteria: Some Considerations, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability, MARSIM '03, 25th-28th August 2003, Kanazawa, Japan.

²² Luotsit käyttävät tätä menettelyä Houstonin kanaalissa (Houston Ship Channel). Kaksi suurta alusta ajaa vastakkain ja noin 800m ennen kohtaamista luotsit sopivat miten väistetään. (Pilots see long life for Texas Chicken, August 22, 2002, Reporter News.Com, Texas).

Liite 1/2 (25)

tai lasketut tulokset eivät ole oikeita. Aluksen ohjaajan suorittamat ohjailutoimenpiteet eivät ole mukana tuloksissa. Samoin aluksen ohjailulaitteiston ominaisuudet jäävät huomiotta. Joissain laskelmissa on mukana ohjailuvakiota, mutta esim. kahden laivan tapauksessa ei kahden ruorimiehen ohjailuun tuomaa keskinäistä takaisinkytkentää ole toistaiseksi mukana missään matemaattisessa mallissa. Viitteen 22 mukaan mallikokeet tulisi tehdä itseksellävällä mallilla, mikä on toistaiseksi ollut harvinaista. Lisäksi mallin ja täysmittakaavan välinen mittakaavavaikutus matalassa vedessä on eräs selvittämätön seikka²³. Toisaalta saat-
taa olla mahdollista, että kertyneen kokemuksen mukanaan tuoman osaamisen johdosta käytännössä toteutuneet turvallisuusreservit ovat pienempiä kuin mallikokeiden ja laskelmien perusteella arvioidut.

Edellä mainituista syistä seuraavassa esitettyjä mallikokeiden tai laskelmien tuloksia on sovellettava varoen; tuloksia voidaan useimmiten pitää ainoastaan suuntaa antavina. Tämän onnettomuuden tutkinnassa tehtiin lyhyt kirjallisuusselvitys. Sen perusteella on valittu tähän tapaukseen parhaiten soveltuvat kirjalliset lähteet. Onnettomuustutkijoiden käsityksen mukaan näin on saatu laadullinen yleiskuva tapahtumien mahdollisesta kulusta ja paikoin myös numeroarvoja. Kirjallisuusluetteloon valitut lähteet on kommentoitu ja on kerrottu, miten kyseinen viite soveltuu tähän tapaukseen.

1.1 Rajoitetun vesiväylän vaikutukset alusten liikkeisiin

Matalassa vedessä aluksen ja väylän pohjien välinen etäisyys²⁴ on pieni. Veden nopeus aluksen ja väylän pohjan välillä kasvaa, minkä johdosta paine pienenee Bernoullin lain mukaisesti. Tämän johdosta veden pinta aluksen kohdalla laskee, jolloin varavesi pienenee. Bernoullin laki vaikuttaa myös kahden aluksen tai aluksen ja kanavan seinämän välillä.

Aluksen liikkeessä kanavassa tapahtuu mm. seuraavaa:

- i. Alus painuu syvemmälle, koska sen kohdalla veden pinta laskee. Voidaan ajatella, että aluksen syväys kasvaa; ilmiötä kutsutaan nimellä squat. Se koostuu pystysuorasta painumasta ja viippauksen muutoksesta.
- ii. Ohjailuominaisuudet muuttuvat. Aluksen kääntyminen vaatii enemmän tilaa. Kääntöympyrän halkaisija saattaa kasvaa huomattavasti, kun syvästä vedestä siirrytään matalaan veteen (leveillä ja matalakulkuisilla aluksilla voi kääntymiskyky parantua). Suuntavakavuus sen sijaan voi muuttua parempaan (erittäin matalassa vedessä) tai huonompaan suuntaan
- iii. Aluksen vastus kasvaa.
- iv. Potkurin jättövirtaus muuttuu (potkurin kuormitus muuttuu suhteesta h/T riippuen).
- v. Seinämien lähellä ilmenee imu- tai työntövaikutus (bank effect). Seinämän muodolla ja pinnan rakenteella ja materiaalilla on merkittävä vaikutus syntyvien voimien ja momenttien suuruuteen. Kanavan seinämä voi olla:
 1. pystysuora ja seinämät ylittävät veden pinnan. Työntövaikutus voi syntyä seinämästä heijastuneen aallon interferenssistä. Yleensä keula työntyy seinämästä pois. Samalla keski- ja perälaivaan kohdistuu voimakas imu-

²³ Yleiskatsauksia alan tutkimuksen tilaan kirjallisuusviitteineen ovat esimerkiksi:

- ITTC2002, 23rd International Towing Tank Conference 2002, Venice, Appendix A
- ITTC2005, 24th International Towing Tank Conference 2005, Edinburgh, The Manoeuvring Committee. Konferenssien raportit ovat osoitteessa <http://itc.sname.org/proceedings.htm>.
- Gray, W.O., Waters, J.K., Blume, A.L., Landsburg, A.C., "Channel Design and Vessel Maneuverability: Next Steps", Marine Technology, vol. 40, No 2, April, p. 93-105, (2003)

²⁴ Aluksen pohjan ja väylän pohjan välinen etäisyys.

vaikutus. Jos peräsimellä kompensoidaan kääntävä momentti, alus on vaarassa imeytyä seinämään kiinni. Hydrodynaamiset laskelmat ja mallikokeet käsittelevät useimmiten tätä kanavamuotoa.

2. kalteva, jollainen se oli tässä tapauksessa. Muita vaihtoehtoja on sen vuoksi tarkasteltu tässä onnettomuustutkinnassa vain vertailun vuoksi.
3. vedenalainen väylä

Kahdessa viimeisessä vaihtoehdossa imu- ja työntövaikutus ilmenevät heikompi-

- vi. Täyttymäaste (blockage), katso alempana.
- vii. Aluksen aallonmuodostus muuttuu sen siirtyessä syvästä matalaan veteen.

Vesi määritellään matalaksi eri tavoin. Vesi on matalaa, kun väylän pohjan läheisyys alkaa vaikuttaa alukseen ohjailuun.

- i. Suhteellista syvyyttä mitataan suhteella h/T (veden syvyyden suhde aluksen syvyyteen), jonka eräät rajat ovat:²⁵
 - $h/T > 3$, syvä vesi
 - $1,5 < h/T < 3$, keskisyvä vesi
 - $1,2 < h/T < 1,5$ matala vesi
 - $h/T < 1,2$, erittäin matala vesi

Veden syvyys on mitattu ennen aluksen aiheuttamaa häiriötä²⁶. Käytössä on myös suhdeluku $(h-T)/T$ (varavesi jaettuna syvyyksellä).

- ii. Suhteellista nopeutta matalassa vedessä mitataan Frouden syvyydellä $F_{nh} = V/(gh)^{1/2}$, jossa $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ja V on aluksen nopeus [m/s]. Kun Frouden syvyydellä on yli 0,1, pieni squat on huomattavissa. Merkittävämmäksi se tulee, kun luku on yli 0,3. Vastus kasvaa selvästi, kun syvyydellä on yli 0,7. Kun luku < 1 kyseessä on alikriittinen alue ja kun se > 1 kyseessä on ylikriittinen alue. Tässä tapauksessa on kyseessä alikriittinen alue, sillä Frouden syvyydellä oli alle 0,6.

Aluksen suhteellista kokoa väylään nähden mitataan seuraavilla tunnusluvuilla.

- i. Väylän leveyden suhde aluksen pituuteen, b/L . Jos suhde on alle 0,35, väylän seinämistä mahdollisesti heijastuvat aluksen aallot osuvat siihen takaisin. Väylän seinämien kaltevuus ja pinnan rakenne vaikuttavat aaltojen heijastumiseen.
- ii. Väylän leveyden suhde aluksen leveyteen, b/B . Tämä suhde antaa kuvan siitä kuinka hyvin alus mahtuu väylään. Tämä suhde kertoo myös aaltojen heijastumisesta, koska normaaleilla aluksilla suhde L/B on melko vakio.
- iii. Täyttymäaste (blockage). Väylän pinta-alan ja aluksen vedenalaisen poikkipinta-alan suhde, $A_{CH}/A_S = n$. Kun se on alle 15, alkaa väylän ahtaus näkyä.
- iv. Aluksen poikittaissuuntainen sijainti väylällä, aluksen keskiviivan ja kanavan reunan välisen etäisyyden suhde väylän leveyteen, y_0/b . Suhteen minimi on hieman alle 0,5 riippuen suhteesta h/T ja väylän seinämien kaltevuudesta. Kanavan seinämän ollessa kalteva, y_0 mitataan kaltevan kohdan alkuun. Toisenlainen tapa on esitetty viitteessä 23.

²⁵ ITTC2002, 23rd International Towing Tank Conference 2002, Venice, Appendix A.

²⁶ Laskelmissa käytettävän veden syvyyden määrittely on sovitettava, koska väylän pohjan profiili ei yleensä ole tasainen, esim. viite 23.

1.2 Alusten keskinäiset vuorovaikutukset kanavassa

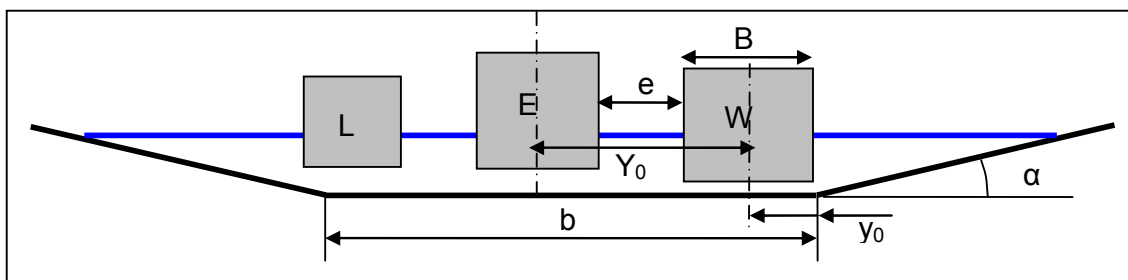
Kun kaksi alusta liikkuu toistensa lähellä, niiden virtauskentät (niitä ympäröivät painekentät) kohtaavat ja vaikuttavat toisiinsa. Vaikutus ilmenee aluksia siirtämään pyrkivinä voimina tai niitä kääntämään pyrkivinä momentteina. Riippuen alusten keskinäisestä asemasta ja liikesuunnasta, pitkittäiset voimat vaikuttavat liikkeen suuntaan tai sitä vastaan, poikittaiset pyrkivät lähentämään aluksia tai siirtämään niitä kauemmas toisistaan. Kääntävät momentit (johtuvat poikittaisvoimien vaikutuspisteiden paikasta) pyrkivät kääntämään aluksia kohti toisiaan tai pois päin. Näiden voimien ja momenttien maksimiarvot riippuvat voimakkaasti alusten suhteellisista ja absoluuttisista nopeuksista, pituussuuntaisesta keskinäisestä asemasta (keulojen välinen etäisyys), kylkien välisestä etäisyydestä, alusten mitoista ja muodoista, veden syvyydestä, virtauksista, tuulesta ja aalloista sekä ohjailutoimenpiteistä (potkurin kierrosluku, peräsimen ja ohjailun ominaisuuksista). Merkittävä vaikutus on myös alusten toisten kylkien etäisyydellä kanavan seinämistä. Tähän tapaukseen soveltuvat vaikutukset näkyvät kuvassa 9a²⁷. Tässä tutkinnassa on valittu seuraavat merkinnät seuraten viitteiden 1–5 käytäntöä.

- i. Alusten keskiviivojen välinen etäisyys Y_0 suhteessa alusten leveyteen, Y_0/B tai pituuteen, Y_0/L . Leveys tai pituus on yleensä ohitettavan aluksen. Käytetään myös kylkietäisyyttä e .
- ii. Alusten keskinäinen suhteellinen pituussuuntainen asema, keulojen välinen etäisyys, X_0 jaettuna ohitettavan aluksen pituudella, X_0/L . Melko usein käytetään myös alusten keskipisteiden välistä etäisyyttä. (Kohtaamistilanteissa suhde X_0/L on nolla, kun keulat ovat tasan, mutta keskipisteiden avulla laskettuna se on 1). Etäisyys X_0 on positiivinen liikkeen suunnassa, ja se on ohitettavan aluksen keulan x -koordinaatti miinus ohittavan aluksen keulan x -koordinaatti.
- iii. Alusten välinen suhteellinen nopeus, jota voidaan mitata suoraan nopeuserona solmuissa tai m/s, nopeuksien suhteena tai Frouden syvyysslukujen erotuksena F_{nhR} . Vastakkaisiin suuntiin kulkevilla aluksilla suhteellinen nopeus on suuri jolloin keskinäinen vuorovaikutus ehtii vaikuttaa vain lyhyen aikaa. Esimerkiksi tässä tapauksessa (molempien alusten pituus 160m) 7 solmun nopeudella tehty 4 solmun nopeudella kulkevan aluksen ohitus kestää noin 3½ minuuttia. Näillä nopeuksilla vastaantulo kestää noin minuutin.

Nämä parametrit on määritelty vaihtelevilla tavoilla tutkinnassa viitatuissa lähteissä. Onnettomuustutkijat ovat yrittäneet harmonisoida käytetyt tulokset vastaamaan viitteitä 1–5. Eräitä parametreja on kuvassa 1, joka vastaa tilannetta, jossa LENA oli kohtaamassa ESTRADENin ja WOLGASTERIN. Kirjallisuustutkimus on osoittanut, että mallikoetulosten ja laskelemien tulosten vertailu on toisinaan ongelmallista; mallikoetulokset saattavat olla vanhoja eikä niistä ole ollut riittävästi tietoja saatavilla vertailua varten. Mallikoemenetelmät ja laitteistot ovat toisistaan poikkeavat. Lisäksi on viitteitä siitä, että matalan veden mallikokeissa mittakaavavaikutus on epäselvää²⁸.

²⁷ Viite 4, kuvat 2 ja 3.

²⁸ ITTC2005, 24th International Towing Tank Conference 2005, Edinburgh, The Manoeuvring Committee, § 6.6.



Kuva 1. Alusten sijaintiin väylällä liittyviä parametreja.

1.3 Alusten päätiedot

Välittömästi osallisina oli neljä alusta: WOLGASTERN, ESTRADEN, LENA ja RIROIL 5. ESTRADEN yritti ohittaa WOLGASTERNin vasemmalta. ESTRADENin vasemmalla puolella vastaan tuli ohituksen alussa LENA ja ohituksen lopulla RIROIL 5. Hieman aikaisemmin WOLGASTERNin olivat ohittaneet TURCHESE ja ANTJE. Näiden alusten tiedot ja tunnusluvut ovat taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Alusten päätiedot. Otsikossa nimi kautta liikenneryhmä.

	WOLGASTERN/5	ESTRADEN/5	RIROIL 5/3
L_{OA} , m	162,16	162,7	129,3
L_{PP} , m	155	149,4	123,2
B , m	27	25,2	16,5
T_{max} , m	9	5,9	5,0
Konetehto, kW	7860	2x7240	1800
Suurin nopeus, kn	15	19	10,5
V , kn	4,5–8	4,5–12,3	
C_B		0,68	
Uppouma, t	28710	18200	9440
F_n	0,06–0,11	0,06–0,17	
Y_0 , m	36–46	36–46	
Y_0/B	1,3–1,7	1,4–1,8	
h , m	11–12,5	12,0	7–12
h/T	1,22–1,39	2,03	1,4–2,4
F_{nh}	0,21–0,40	0,21–0,58	
	LENA/4	TURCHESE/5	ANTJE/3
L_{OA} , m	151,6	136	117,9
L_{PP} , m	noin 145	noin 130	
B , m	20,6	20	18,15
T_{max} , m	6,3	6,2	4,5
Konetehto, kW			
Suurin nopeus, kn			
V , kn	7,3	8	
C_B			
Uppouma, t		noin 13500	
F_n	0,10	0,12	
Y_0 , m	48–53		
Y_0/B	2,3–2,6		
h , m	8–12	12,0	11–12,5
h/T	1,26–1,90	1,94	2,4–2,8
F_{nh}	0,35–0,42	0,38	

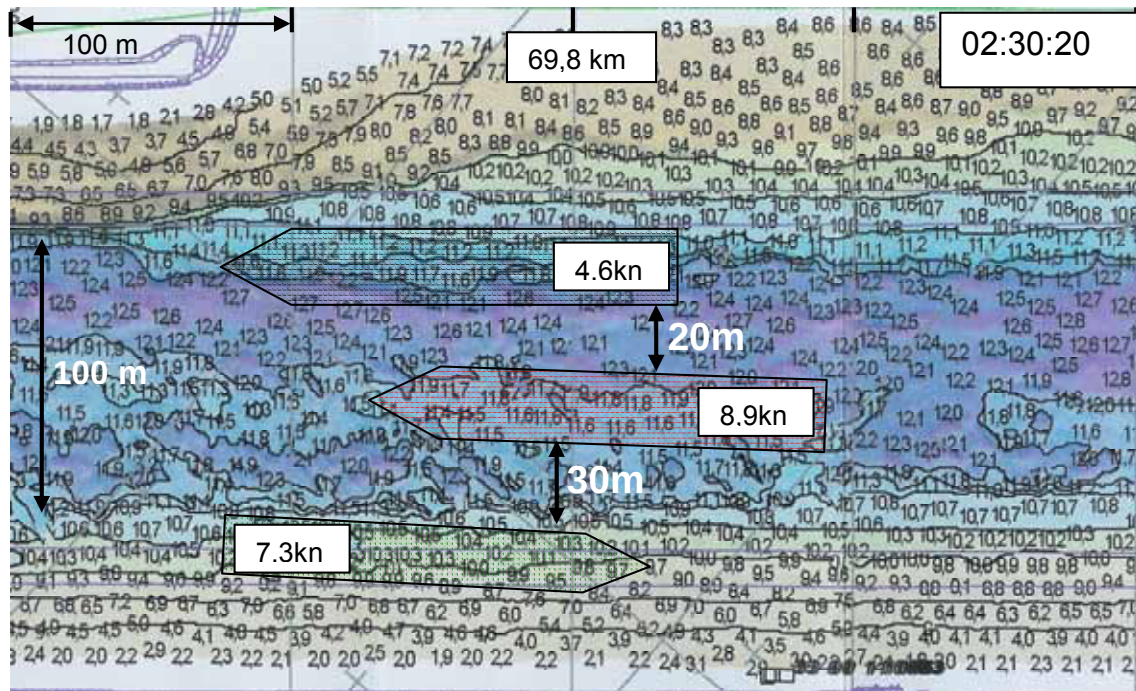
Liite 1/6 (25)

Taulukko 2. Suuren aluksen maksimisyvyys, desimetreinä. Ote säännöistä SeeSchStrO.

Ship's length in m	Ship's breadth in m								
	20	21	22	23	24	25	26	27	28
160	95	95	95	95	95	95	95	95	94
163	95	95	95	95	95	95	95	94	93

Väylän leveys pohjassa vaihtelee kanavan pituussuunnassa. Audorf-Raden ohituspaikalla Schirnauer-järven alueen ulkopuolella leveys on 100–110 m, kun vedensyvyys on vähintään 10,5 m. Schirnauer-järven kohdalla kilometrien 70–71 välillä leveys vaihtelee välillä 110–150 m. Syvyys vaihtelee välillä 10,5–13 m, kuva 2, joka on sama tilanne kuin kuvassa 1. Väylän reunat nousevat noin 13 asteen kulmassa. Veden pinnan leveys on kanavassa noin 200 m, Schirnauer-järven kohdalla, kanavan pohjoispuolella enemmän.

Aluksen suurin pituus, syvyys ja leveys määrittävät Kielin kanavan säännöissä rajoituksia (esim. suurin sallittu nopeus ja ohittaminen). Alukset jaetaan liikenneryhmiin 1–6 seuraavasti: Ryhmä 3: 120/19 tai 140/17 (L_{OA}/B) ja syvyys 6,1. Ryhmä 4: 132/23 tai 160/20 ja 9,5. Ryhmä 5 200/28 tai 210/27 ja syvyys taulukosta 2.



Kuva 2. LENA kohtaa ESTRADENin ja WOLGASTERNin. Alusten paikat perustuvat tutkintalautakunnan arvioon. Alukset on yritetty sijoittaa sivusuunnassa niin kauas toisistaan kuin mahdollista. LENAn syvyys, 6,3 m, sallii sen sijoittamisen matalampaan veteen, h/T on noin 1,6. WOLGASTERNin oikea puoli on noin kaksi metriä matalammassa vedessä kuin vasen puoli, h/T on keskimäärin noin 1,25. ESTRADENilla, jonka syvyys oli 5,9 m, h/T oli noin 2,0. LENAn kohtaaminen kesti noin 40 sekuntia.

2 ESTRADEN-WOLGASTERN yhteentörmäyksen arviointi

Tutkinnassa on katsottu tarpeelliseksi tarkastella seuraavia vuorovaikutuksia:

1. ESTRADENin tekemää WOLGASTERNin ohitusyritystä
2. RIROIL 5:n kohtaamista ESTRADENin ja WOLGASTERNin kanssa
3. LENAn kohtaamista ESTRADENin ja WOLGASTERNin kanssa
4. WOLGASTERNin ja väylän pohjoisreunan välistä vuorovaikutusta. Myös WOLGASTERNin ja LENAn sekä RIROIL 5 väliset vuorovaikutukset.
5. TURCHESEN tekemää WOLGASTERNin ohitusta
6. ANTJEn tekemää WOLGASTERNin ohitusta
7. LENAn ja ANTJEn kohtaamista

Vuorovaikutus 1 oli varsinainen onnettomuustilanne, jossa alukset törmäsivät. Muilla kohtaamisilla on ollut kullakin oma vaikutuksensa tähän yhteentörmäykseen.

2.1 Aallot

Kanavassa aallot olivat alusten synnyttämiä. Alukset kulkivat niin lähellä toisiaan, että niiden synnyttämät matalan veden aallot kohtasivat toisensa ja toisen aluksen. Aallot olivat kuitenkin lyhyitä ja matalia, koska vesi oli matalaa ja nopeudet pieniä. Lisäksi kanavan liuskat olivat kaltevat, joten aaltojen heijastumiset olivat vähäiset. Näistä syistä aaltojen merkitys tässä tapauksessa on arvioitu vähäiseksi. Viitteen 22 mukaan veden pinnan muutoksella on merkitystä vuorovaikutuksissa²⁹. Toteutuneilla Frouden syvyyksiluvuilla vallitseviksi tulevat aluksen perässä syntyvät poikittaiset aallot³⁰.

2.2 Virta

Virtauksista ei ole raportoitu, joten niillä ei ole arvioitu olleen vaikutusta tässä tapauksessa.

2.3 Tuuli

Raportoitu tuulen suunta vaihteli lännen ja luoteen välissä. Väylän suunta oli 229, joten aluksiin vaikuttava tuulivoima oli 70–100% maksimistaan. Tuulen nopeus oli eri raportojien mukaan 8 solmua, 1–2 bf. Tutkinnassa on valittu tuulen nopeudeksi 3–4 m/s, minkä johdosta aluksiin vaikuttava tuulivoima oli pieni. Suurin vaikutus tuulella oli ESTRADENiin sen suuren tuulipinnan vuoksi. Tämäkin pieni tuulivoima vähensi törmäysriskiä.

2.4 Alusten koko

TURCHESE, ESTRADEN ja WOLGASTERN olivat pituudeltaan ja leveydeltään lähes samankokoiset. Kahden edellisen syväys oli noin 5,9 m, WOLGASTERNin noin 9 m. LENA oli niitä jonkin verran pienempi, ANTJE ja RIROIL 5 selvästi pienempiä. Alusten koot on otettu huomioon valittaessa tähän tapaukseen soveltuvia tutkimustuloksia. Alusten mitat ovat tau-lukossa 1. Erityisesti on otettava huomioon, että suhteellisia veden syvyyksiä h/T oli samanaikaisesti useita (kuva 2 ja kohta 2.6).

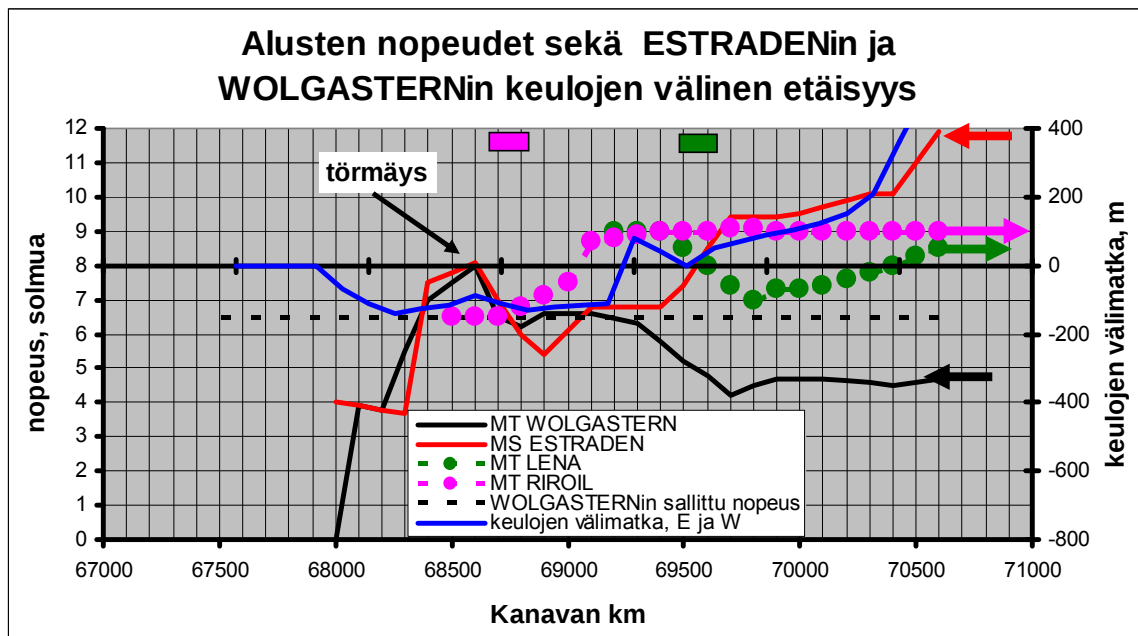
²⁹ Katso myös: Simonsen, C.D., Stern, F., Agdrup, K., CFD with PMM Test Validation for Manoeuvring VLCC2 Tanker in Deep and Shallow Water, MARSIM 2006.

³⁰ Jiang, T., Henn, R., Sharma, S.D., Wash Waves Generated by Ships Moving on Fairways of Varying Topography, 24th Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, Japan, 8-13 July 2002.

2.5 Alusten nopeus

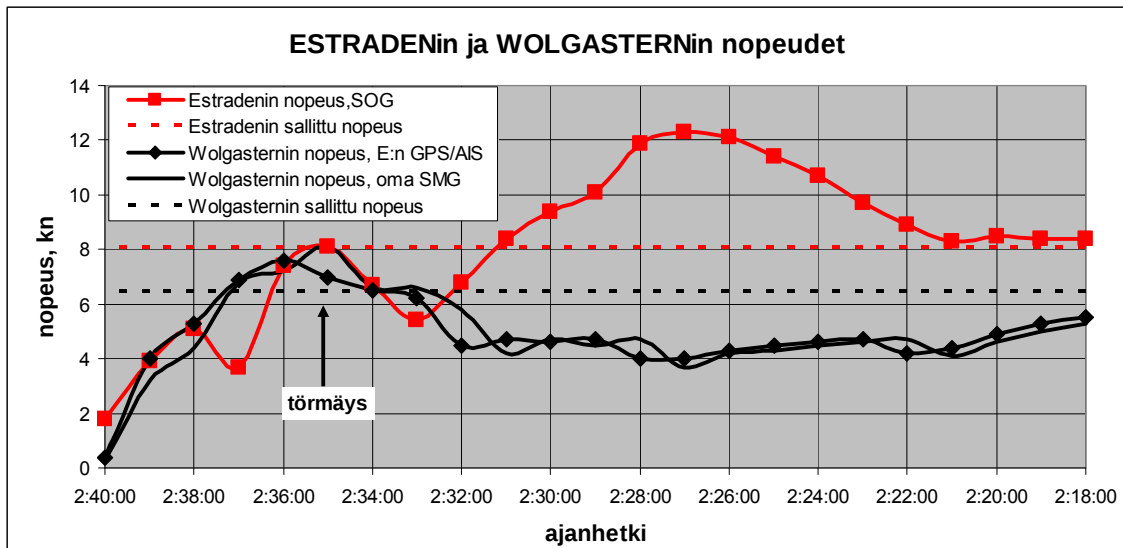
Kielin kanavassa on voimassa nopeusrajoituksia³¹. Aluksen ohjailuun vaikuttavat voimat ja momentit riippuvat nopeuden neliöstä. Näin ollen, nopeus on erittäin tärkeä turvallisuustekijä. WOLGASTERNin syväys oli yli 8,5 m, joten sen maksiminopeus oli 6,5 solmua. Muiden alusten maksiminopeus oli 8,1 solmua. Eräiden alusten nopeudet on näytetty kuvassa 3. ESTRADENin ja WOLGASTERNin nopeudet ovat myös kuvassa 4. Paikoin sallitut nopeudet ylittyivät, kuten kuvista on nähtävissä. Suhteellinen Frouden syvyysluku ($F_{nhR} = F_{nhE} - F_{nhW}$) oli ESTRADENin alkaessa ohittaa WOLGASTERN noin 0,27. Ohitus ei onnistunut ja sen vuoksi suhteellinen Frouden syvyysluku oli noin nolla muutaman minuutin ajan yhteentörmäykseen saakka.

Kielin kanavassa käytetään nopeuden yksikkönä km/h. Säännöissä nopeus on annettu km/h ja sulkumerkeissä solmuina. Tästä huolimatta kahden yksikön käyttö kanavakulun aikana saattaa olla hämmäntävää, koska laivoissa on totuttu solmuihin (luotsit ja kanavahallinnon perämies käyttävät km/h, aluksen päällikkö ja perämiehet solmua). Navigointilaitteet näyttävät normaalisti nopeuden solmuina. Tulkintavirhe voi johtaa ylinopeuteen. ESTRADENin tutkakuvanäytön kopiassa on nopeuden yksikkönä kt, joka on tulkittu solmuiksi. ESTRADENin sallittu maksiminopeus kanavassa oli 15 km/h eli 8,1 solmua. Tutkinnassa suurin havaittu nopeus oli 12,3 solmua. Ohitusyrityksen aikana nopeus oli alimmillaan 5,4 solmua. WOLGASTERNin sallittu nopeus oli 12km/h eli 6,5 solmua. WOLGASTERNin kiihdyttäessä vauhtiaan, sen nopeus ylitti tämän rajan ennen törmäystä. Myös LENAn ja RIROIL 5 nopeudet ylittivät ajoittain sallitun rajan, 8,1 solmua. Alusten nopeuksien nosto lisäsi niiden yhteentörmäysvaaraa.



Kuva 3. Alusten nopeuksia sekä ESTRADENin ja WOLGASTERNin keulojen välimatka. Pienet suorakaiteet näyttävät kolmen aluksen kohtaamiset. Kuten nähdään, vastaantulevat alukset alensivat nopeuttaan kohtaamisessa.

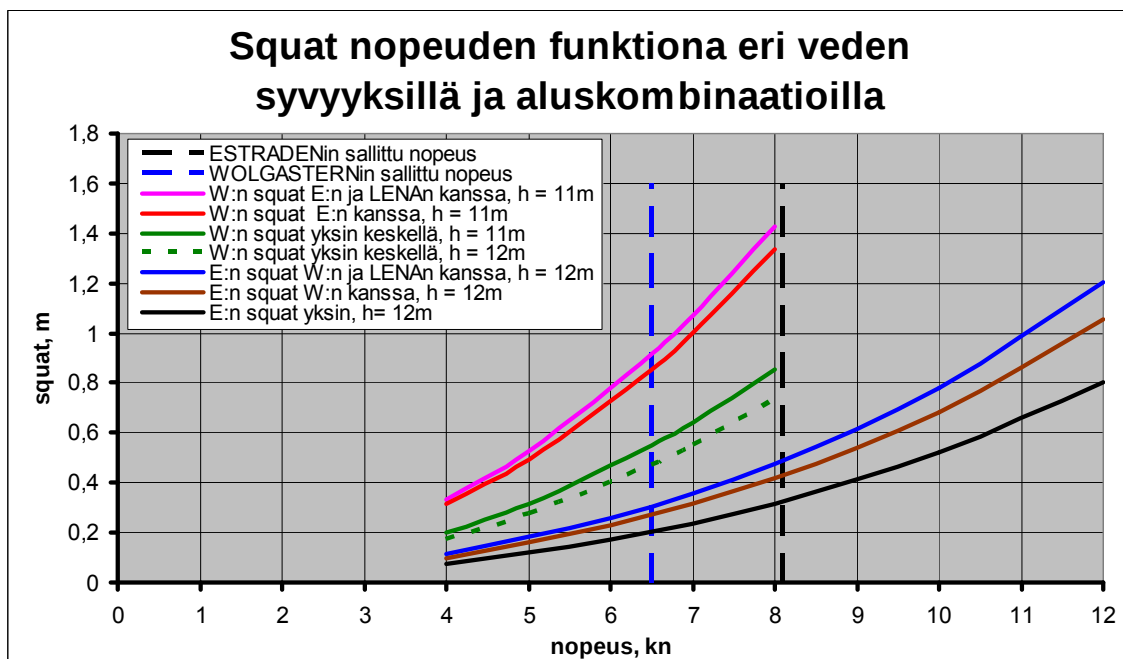
³¹ SeeSchStrO § 26,12.13.1.



Kuva 4. *ESTRADENin ja WOLGASTERNin nopeudet ja sallitut nopeudet. Törmäyksen ensi vaihe tapahtui noin kello 02:35.*

2.6 Veden syvyys ja squat

Veden syvyys vaihteli sekä kanavan pituus-, että poikittaissuunnassa, minkä johdosta squat, voimat ja momentit muuttuivat alusten sijainnin mukaan. Squat on arvioitu viitteen 10 avulla, kuva 5. LENAn ja RIROIL 5 kohtaamisten aikainen squat on ehkä yliarvioitu, koska kohtaamiset kestivät vain noin minuutin. WOLGASTERNin squat kasvoi huomattavasti nopeuden noustua; noin 0,4 metristä lähes metriin. Tämä seikka on ollut yhtenä syynä havaittuihin ohjailuvaikeuksiin.



Kuva 5. *Eri kohtaamisissa arvioitu squat.*

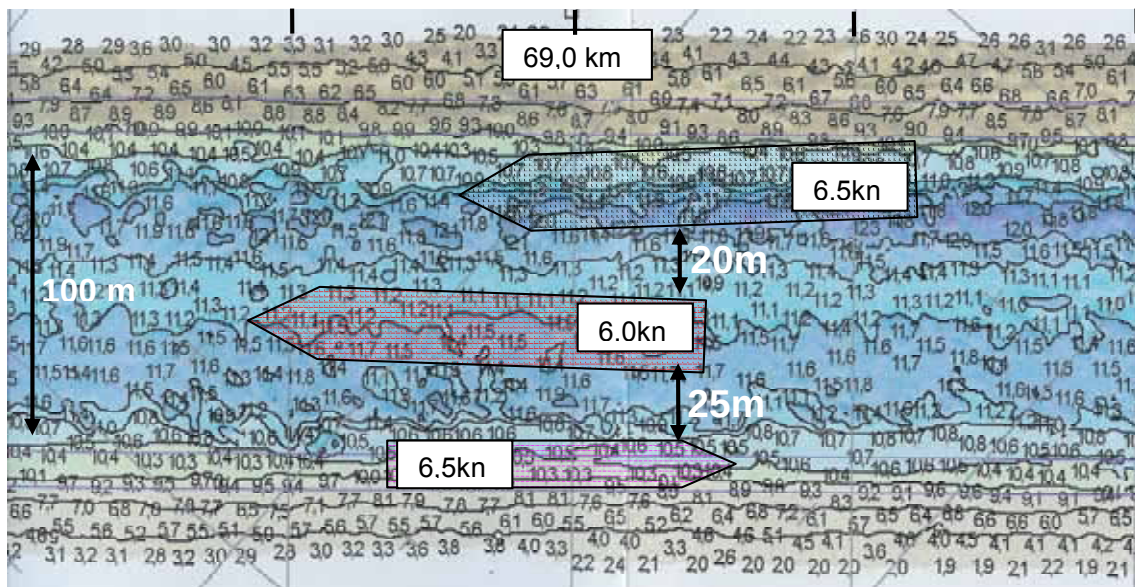
WOLGASTERN kulki, koska oli ohitettava alus, kanavan pohjoisreunaa. Sen oikea puoli kulki noin kaksi metriä matalammassa vedessä kuin vasen puoli, kuvat 2 ja 6. Tällä sijainnilla on ilmeisesti ollut ohjailua haittaavaa vaikutusta, jota on arvioitu kohdassa 2.9. Suhde

Liite 1/10 (25)

h/T vaihteli välillä 1,17 ja 1,39, ollen keskimäärin noin 1,25. LENAn ja RIROIL 5 syväydet olivat pienet, minkä vuoksi ne saattoivat antaa tilaa ESTRADENille ja WOLGASTERNille, kuvat 2 ja 6. LENAlla suhde h/T oli kohtaamisen aikana noin 1,5, RIROIL 5:llä likimain sama ja ESTRADENilla noin 2,0.

2.7 Alusten keskilinjojen (kylkien) välinen etäisyys

ESTRADEN ja WOLGASTERN kohtasivat kahdesti toisen aluksen. Tämän vuoksi niiden välinen kylkietäisyys oli suurimmillaan vain noin 20 m. Kun aluksia oli kolme rinnan, ne täytivät noin 130 metrin käytettävissä olleesta pohjaleveydestä 50–55 %. Onnettomuustutkijoiden käsityksen mukaan kuvissa 2 ja 6 näytetyt kylkietäisyydet olivat aivan liian pienet. Viitteeseen 9 mukaan WOLGASTERNin (4,5 kn) ja ESTRADENin (7,5 kn) väliset voimat ja momentit noin kaksinkertaistuvat, kun kylkien välinen etäisyys pienenee 33 metristä 9 metriin. Raportoitu kylkietäisyys oli 10–20 m. RIROIL 5 sivuutuksen jälkeen alusten kylkietäisyydeksi olisi saatu yli 50 m, mikä olisi pienentänyt voimia ja momentteja ainakin 50 %, jos ESTRADEN olisi siirtynyt kohti väylän eteläistä reunaa. WOLGASTERNin ei olisi tarvinnut ohjailun tehostamiseksi lisätä nopeuttaan ja ESTRADEN olisi päässyt ohi.



Kuva 6. Toinen kolmen aluksen kohtaaminen. RIROIL 5 kohtaa ESTRADENin ja WOLGASTERNin.

2.8 Kohtaamisten analysointi

Kuvaan 7 on koottu alusten asemat minuutin välein törmäyshetkeen asti. ESTRADENin ja WOLGASTERNin asento on esitetty kuvassa 8. WOLGASTERN on kulkenut lähes vakionopeutta, 4,5 solmua, kello 02:32 asti. Tuolloin ESTRADEN oli jo menossa ohi. Joitakin minuutteja ennen ohitusta, ESTRADEN kulki suurinta sallittua nopeutta, noin 8 solmua. Kello 02.22 se alkoi nostaa nopeuttaan tarkoituksenaan ohittaa WOLGASTERN ohitusalueella. Ohitusyrityksen aikana sen nopeus pieneni suunnilleen samaksi kuin WOLGASTERNin.

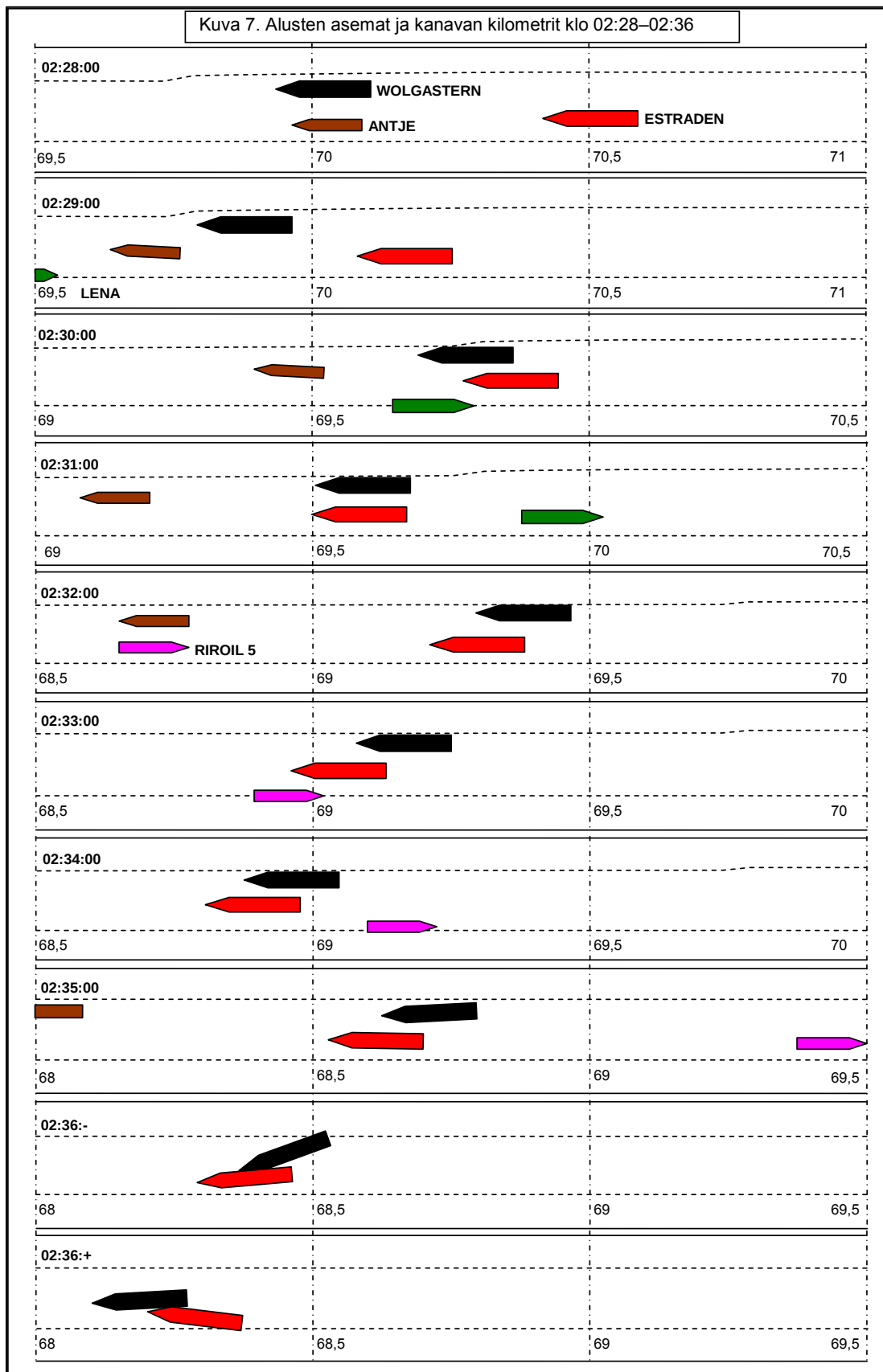
TURCHESEn tekemä WOLGASTERNin ohitus klo 02.20–02.23 näkyy WOLGASTERNin asennossa: ohituksen alkuvaiheessa se kääntyi oikealle, loppuvaiheessa vasemmalle. Samanlainen trendi on näkyvissä ANTJEn suorittamassa ohituksessa klo 02.26–02.29. To-

dennäköisesti molemmilla kerroilla oli mukana myös ohjailutoimenpiteiden vaikutus. Kello 02:28 ANTJE oli ohittamassa WOLGATERNiä ja ESTRADEN saavutti niitä noin 12 solmun nopeudellaan. ANTJEn päästyä ohi se joutui nopeasti siirtymään kohti oikea reunaa vastaan tulevan LENAn vuoksi. ANTJEn taakseen jättämä potkurin jättövirtaus ja takaa lähes tyvän ESTRADENin sekä vastaan tulevan LENAn synnyttämät virtausmuutokset aiheuttivat todennäköisesti WOLGASTERNille sen luotsin ja perämiehen raportoimat ohjailuvaikeudet. Ne jatkuivat, koska rinnalla kulki ESTRADEN, joka ei päässyt kauemmas vasemmalle vastaan tulevan RIROIL 5 vuoksi. ESTRADEN pyrki nostamaan nopeuttaan, mikä lisäsi sen aiheuttamaa vuorovaikutusta WOLGASTERNin kanssa. Se puolestaan nosti potkurin kieroksia ohjailuvoiman kasvattamiseksi, mikä nosti myös sen nopeutta. Alukset olivat kuitenkin niin lähellä toisiaan, että pitkittäisvoimat olivat vanginneet ne toisiinsa eikä ESTRADEN päässyt ohi. Molemmat alukset nostivat nopeuksiaan, mikä kasvatti vuorovaikutusvoimia. Lopulta ohjailuvoimat eivät olleet riittäviä ja alukset törmäsivät.

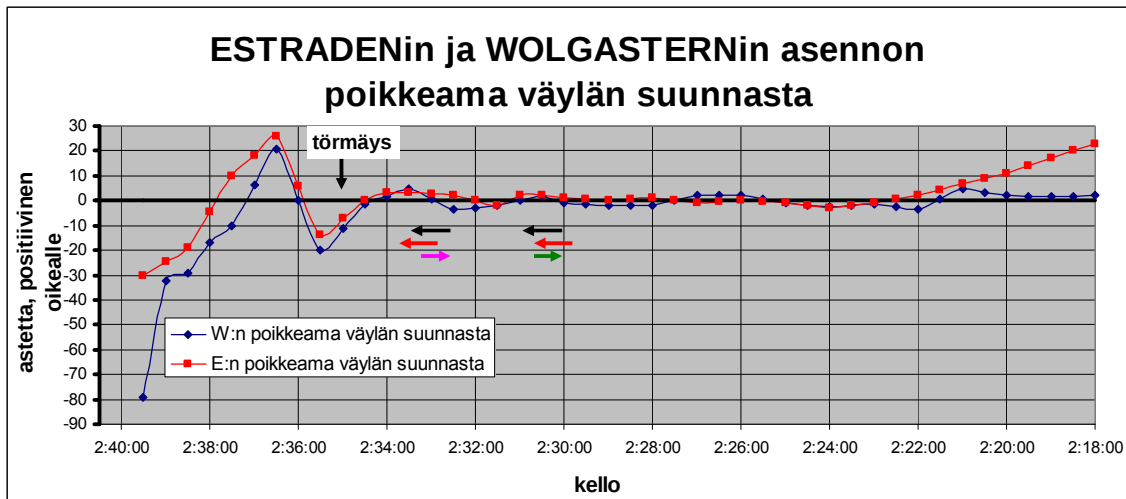
Törmäyksen tarkka ajankohta ei ole selvillä. Törmäys tapahtui useassa vaiheessa, kaikkiaan aikaa kului noin minuutti. Sen vuoksi kuvan 7 kahdessa viimeisessä osakuvassa ei ole näytetty sekunteja.

Seuraavassa kohtaamistilanteet on käsitelty tarkemmin.

Liite 1/12 (25)



Seuraava kuva 8 esittää alusten asennon poikkeamaa väylän suunnasta, joka on Audorf-Raden ohituspaikan suoralla 229 astetta.



Kuva 8. *ESTRADENin ja WOLGASTERNin asennon poikkeama väylän suunnasta 229 astetta. Kuvaan on myös merkitty LENAn ja RIROIL 5 kohtaaminen. ESTRADEN tuli kanavan suoralle osalle vasta noin kello 02:23.*

2.8.1 Ohitustilanne ESTRADEN/WOLGASTERN

Alusten väliset vuorovaikutusvoimat ja momentit on esitetty kuvissa 9–11. Toisiinsa törmänneet alukset kulkivat samaan suuntaan. Aluksi E:n nopeus oli suurempi, mutta ohitustilanteessa W nosti nopeuttaan ja alukset alkoivat kulkea samalla nopeudella. Tästä syystä kuvissa on esitetty kahdessa ohitustilanteessa periaatteelliset, hieman yksinkertaistetut käyrät: alukset kulkevat samalla nopeudella (katkoviiva) ja aluksilla on eri nopeus (ehjä viiva). Alusten pituussuuntaisen aseman funktiona on näytetty molempien aluksien toisiinsa aiheuttamat voimat ja momentti, kun ne kulkevat eri nopeudella. Samalla nopeudella kulkiessa on näytetty WOLGASTERNiin vaikuttavat voimat ja momentti. Pituussuuntainen voima on joko vastustava tai kiihdyttävä ja poikittaissuuntainen on joko työntö- tai imuvoima. Kääntävä momentti pyrkii kääntämään alusten keulat toisiaan kohti tai poispäin toisistaan. Kuvat perustuvat pääasiassa viitteisiin 4, 5, 7 ja 8. Niistä on valittu tähän tapaukseen matalan veden parametreiltaan parhaiten sopivat. Yleisesti ottaen, muut mallikokeet ja laskelmat tukevat näiden käyrien käyttöä. Kuten aiemmin on todettu, nämä tulokset antavat vain laadullisen kuvan vuorovaikutuksista. Annetut numeroarvot antavat vain kuvan mahdollisesta suuruusluokasta, koska mallikoetulokset eivät yleensä sovi juuri tähän tilanteeseen.

Tähän tapaukseen parhaiten soveltuvien mallikokeiden laivamallit olivat kooltaan lähes samankokoiset. Ohitettava alus oli hieman suurempi. Pituuksien suhde oli 1,19 (tässä 1,00 (suurin pituus) ja 1,04 (L_{PP}), leveyksien suhde 1,07 (tässä myös 1,07) ja syvyyksien suhde 1,28 (tässä 1,53). Alusten välinen suhteellinen etäisyys Y_0/L_W oli yhtä suuren nopeuden tilanteessa 0,252, mikä vastaisi 42m. Alusten kylkien välinen etäisyys olisi siten tässä tapauksessa 15,9 m ($42 - 0,5 \times (27 + 25,2)$). Tämä on melko lähellä raportoitua tietoa. Erisuurilla nopeuksilla tehdyissä mallikokeissa tämä etäisyys oli ilmoitettu suhteella Y_0/B , joka oli mm. 1,3 ja 2,2 vastaten kylkien välistä etäisyyttä 9m ja 33,3m. Ohitettavan aluksen tiedoilla suhde h/T oli mallikokeissa yhtä suurilla nopeuksilla 1,3 (tässä onnettomuudessa 1,2) ja eri nopeuksilla tulokset oli ilmoitettu kolmella h/T -suhteella, mm. 1,2 (tässä onnettomuudessa myös 1,2). Viitteen 4 mukaan, muunnettaessa mallikoetulokset täyteen mittakaavaan, voimien ja momenttien suuruusluokat ovat ESTRADENin ja WOLGASTERNin suuruisille aluksille noin kuuden solmun nopeudella: vastuksen muutos kymmeniä tonneja, poikittaisvoima

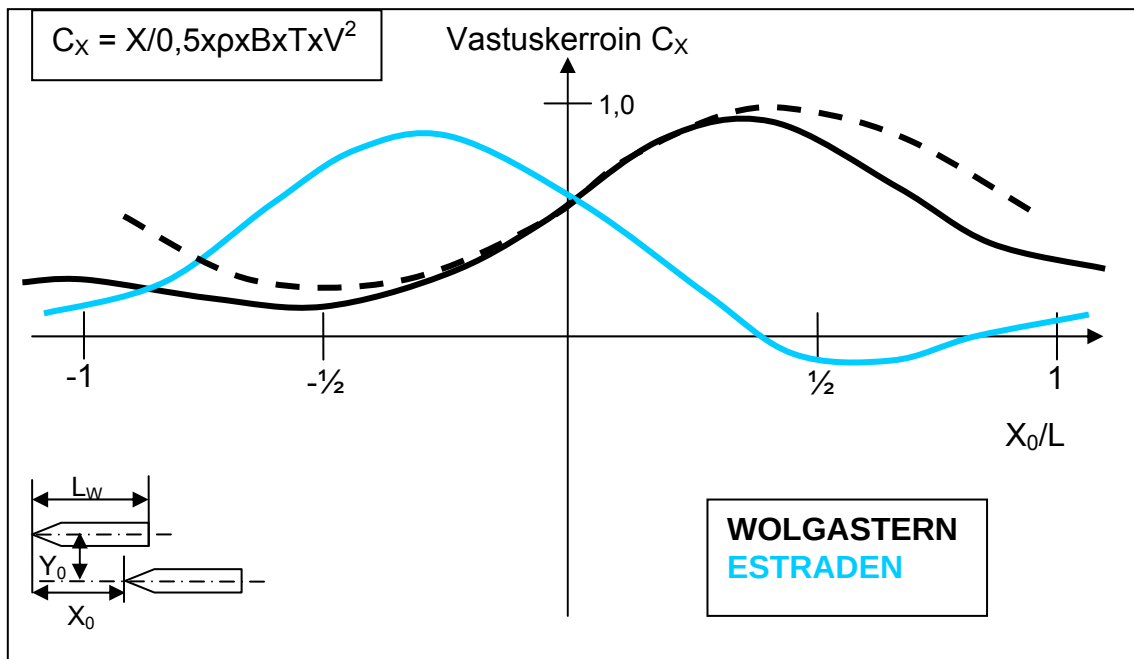
Liite 1/14 (25)

muutama sata tonnia ja momentti kymmenisen tuhatta tonnimetriä. Eräässä tutkimuksessa hieman WOLGASTERNia suurempi tankkialus ohitti 7 solmun nopeudella 30 m kylkietäisyydeltä suuren tankkialuksen matalassa vedessä. Tällöin suurempaan alukseen kohdistui noin 50 tonnin pitkittäinen ja 200 tonnin poikittainen voima sekä noin 12000 tonnimetrin kääntävä momentti³²

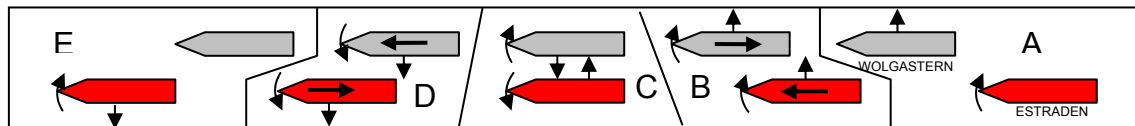
Kuvien 9–11³³ käyrissä ei ole mukana kanavan seinämien vaikutusta. WOLGASTERNin oikea kylki oli lähellä kanavan pohjoista reunaa. LENAn sivuutuksen aikana vesialue oli leveämpi kuin hieman myöhemmin, kuva 2. ESTRADENin ja WOLGASTERNin yhteenötörmäyksen aikana alukset olivat kanavassa, jossa syvän pohjan (10,5–12,5 m) leveys oli noin 100 m. Reunat muodostuivat noin 13 asteen kaltevuudella olleista luiskista. Viitteissä 4,20,21 ja 23 on joitain tietoja tällaisen kanavan seinämän aiheuttamien korjauskertoimet arvioimiseksi. Väylän kaltevan reunan vaikutusta on käsitelty kohdassa 2.9.

Nopeudet likimain yhtä suuret. ESTRADENin aloittama WOLGASTERNin ohitusyritys johti melko nopeasti asemaan D, kuva 9a Tässä kuvassa on esitetty aluksiin kohdistuvat pitkittäisvoimat. Jos alusten nopeudet tulevat liian lähelle toisiaan, ohitus ei onnistu: ESTRADENin vastus kasvoi ja WOLGASTERNin pieneni.

Kuvassa 10 on alusten keskinäinen vetovoima, kuvassa 11 kääntävä momentti.



Kuva 9. Pitkittäiset (vastus) voimat. Katkoviivoilla on esitetty tilanne yhtä suurilla nopeuksilla.



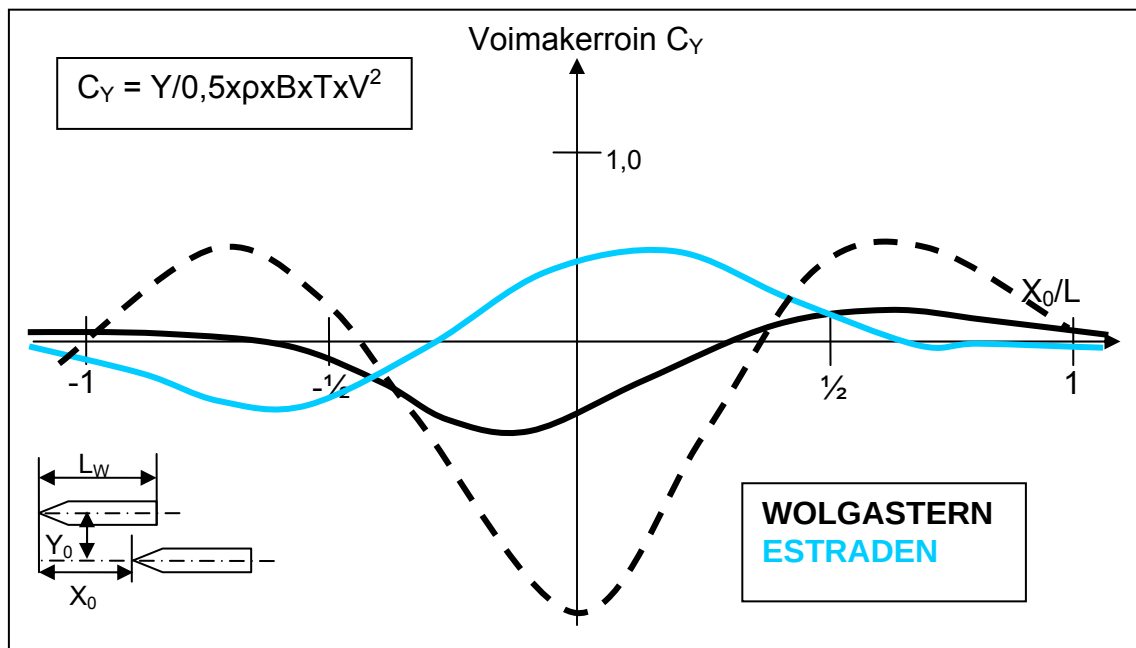
Kuva 9a. Periaatteelliset voimat ja momentit ohitustilanteessa.

³² Pinkster, J.A., Ruijter, M.N., The Influence of Passing Ships on Ships Moored in Restricted Waters, Offshore Technology Conference, 3-6 May 2004, Houston, Texas

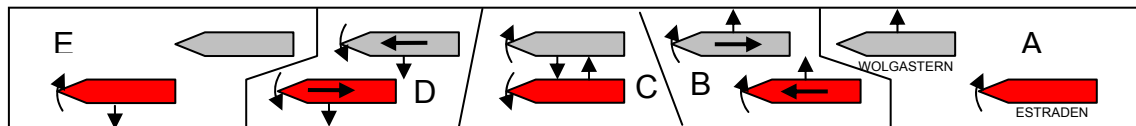
³³ Kuvissa 9-11 L on ilman alaindeksiä, koska ESTRADEN ja WOLGASTERN ovat lähes samanpituiset.

Alukset jäivät sidoksiin toisiinsa pituussuunnassa. Tämä ilmiö yhteentörmäyksen oli yksi syy. Tällöin voimat ja momentit vaikuttivat kuviin merkittyjen katkoviivojen mukaisesti (on näytetty vain WOLGASTERNiin vaikuttavat voimat ja momentit). ESTRADENin ollessa puoli aluksen mittaa edellä, WOLGASTERN vielä lisäsi nopeuttaan tarkoituksenaan välttää törmäys lisäämällä ohjailuvoimia. Alukset olivat kulkeneet liian lähellä toisiaan jo noin neljän minuutin ajan ja vuorovaikutus oli liian voimakas kompensoitavaksi ohjailulla.

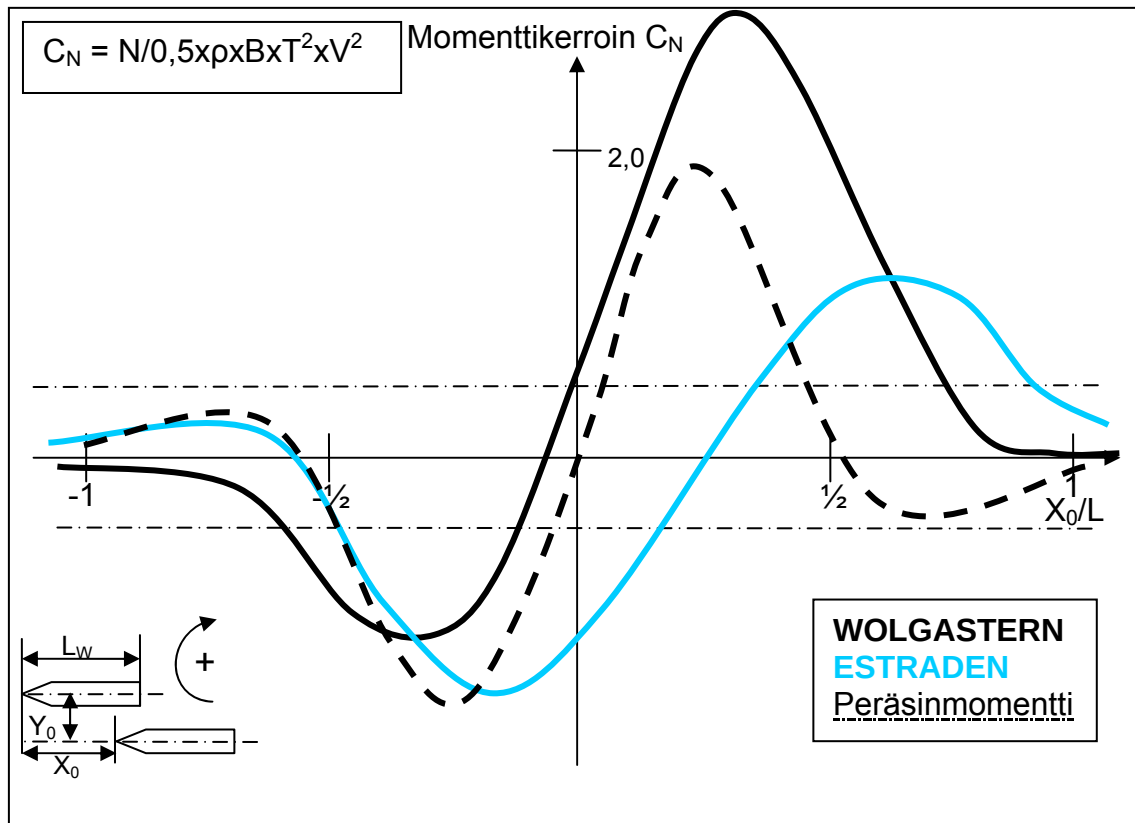
Huomataan, että rinnankulun aikana alukset pyrkivät lähestymään toisiaan. Tässä vaiheessa kääntävät momentit ovat melko pienet ja ohjailumomentit riittävät kumoamaan ne. Kun ESTRADEN pääsi hieman edelle, alkoivat kääntävät momentit kasvaa. Ne voivat kasvaa niin paljon, että ne ylittävät peräsimien ohjailumomentit. ESTRADENilla oli kaksi peräsimiä ja potkuria, joten sen ohjailumomentit saattoivat olla suuremmat kuin kuvassa. Toinen merkittävä tekijä, joka vaikeuttaa ohjailua, on kääntävien momenttien jyrkkä riippuvuus alusten keskinäisestä pituussuuntaisesta asemasta. Asemassa D WOLGASTERNillä oli taipumus kääntää keulansa ESTRADENia kohti. ESTRADEN pyrki kääntymään vastaavalla tavalla. Seurauksena WOLGASTERNin keula osui ESTRADENin keskilaivaan. Kääntävät momentit ylittivät peräsimien aikaansaamat momentit, joten törmäys ei tuossa vaiheessa ollut enää estettävissä. Kumpaankin alukseen vaikutti vasemmalle siirtävä voima. WOLGASTERNiin vaikutti lisäksi kanavan seinämän vaikutus, jota tarkasteltu kohdassa 2.9.



Kuva 10. Poikittaiset voimat. Katkoviivoilla on esitetty tilanne yhtä suurella nopeudella.



Kuva 9a. Kuva uudelleen.

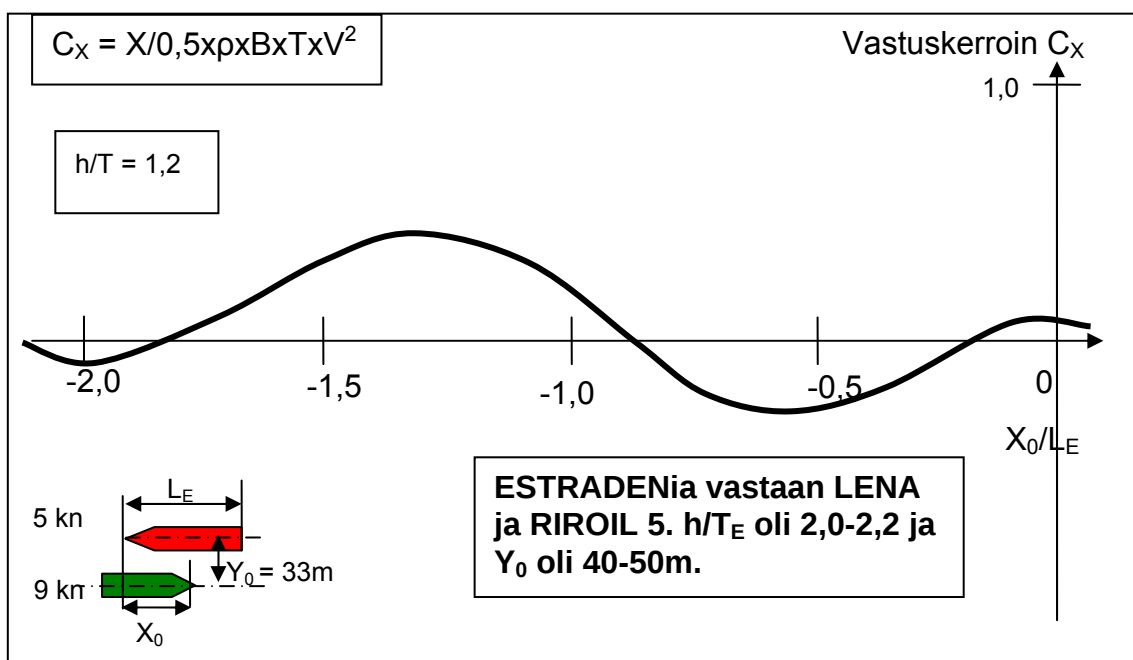


Kuva 11. Kääntävät momentit. Katkoviivalla on esitetty tilanne yhtä suurella nopeudella.

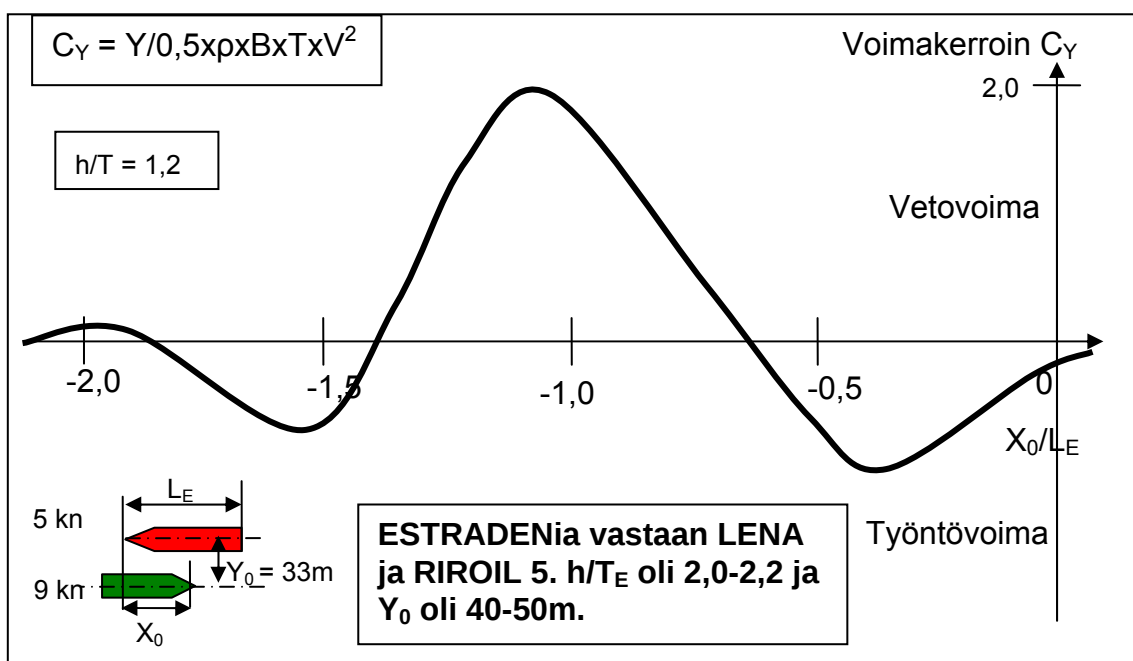
2.8.2 Alusten kulku vastakkain

LENA/RIROIL 5 ESTRADENia ja WOLGASTERNiä vastaan. ESTRADEN kohtasi kahdesti vastaan tulevan aluksen. Ensin LENAn ja sitten RIROIL 5. Seuraavissa kuvissa 12–14³⁴ on viitteen 4 mukaiset ESTRADENiin vaikuttavat voimat ja momentit tässä tilanteessa. Toiseen alukseen vaikutukset ovat päinvastaiset. Veden suhteellinen syvyys ja alusten välinen etäisyys mallikokeissa erosivat oleellisesti tästä tapauksesta. LENAn tai RIROIL 5 etäisyys ESTRADENista oli arviolta 40–50m (kylkietäisyys 20–25 m, kuvat 2 ja 6) eikä 33 m kuten mallikokeissa. Veden suhteellinen syvyys oli ESTRADENilla noin 2,0 ja LENAlla sekä RIROIL 5:llä noin 1,5, kun se mallikokeissa oli 1,2. Kuitenkin tulokset vastaavat yleispiirteiltään tilannetta Kielin kanavassa. Viitteen 5 mukaan veden syvyyden kasvu pienentää voimia momentteja noin kolmasosaan ja kylkietäisyyden kasvu vastaavasti noin 20 %. Kumpikin kohtaaminen kesti noin minuutin, eivätkä voimat ja momentit ehtineet kehittyä täyteen arvoonsa. Onnettomuustutkijoiden mielestä nämä kohtaamiset eivät siis sinänsä olleet vaarallisia riittävän veden syvyyden ja kylkietäisyyden ansiosta. Vaarallista oli sen sijaan se, että ESTRADEN joutui pysymään turhan keskellä lähellä WOLGASTERNiä näiden vastaan tulijoiden vuoksi.

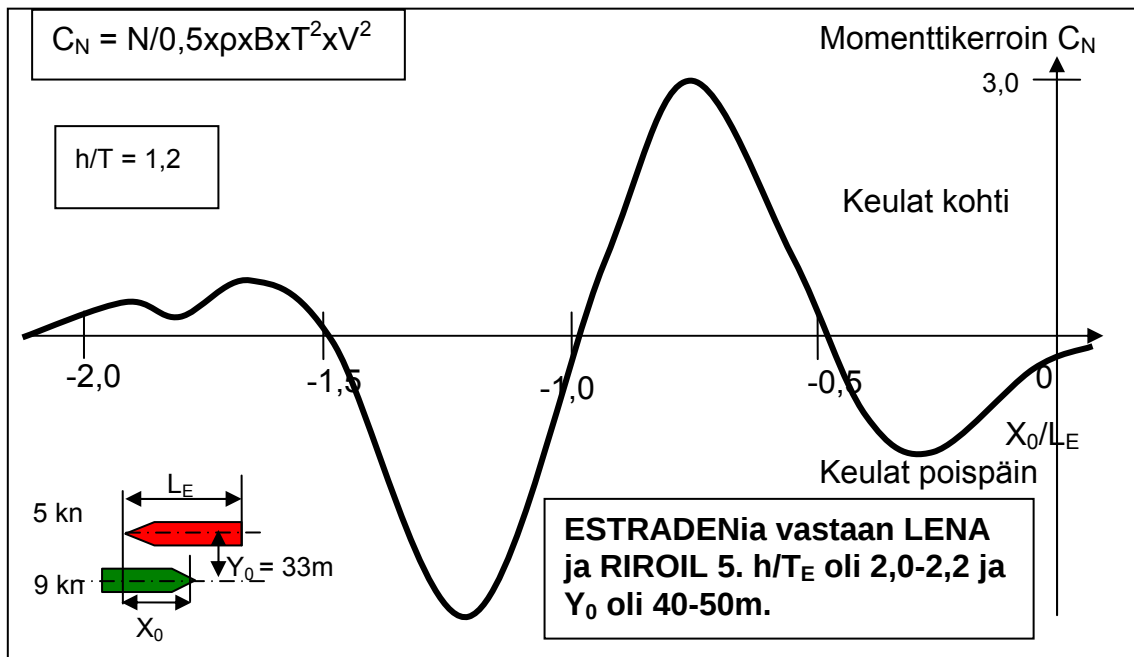
³⁴ Alaindeksi "E" näissä kuvissa tarkoittaa ESTRADENia.



Kuva 12. Hitaamman ja isomman aluksen vastusvoimat kohtaamisen aikana.



Kuva 13. Hitaamman ja isomman aluksen poikittaisvoimat kohtaamisen aikana.



Kuva 14. Hitaamman ja isomman aluksen kääntävä momentti kohtaamisen aikana.

Kolme alusta rinnan. Viitteessä 18 on laskettu tilanne, jossa alus tulee kahta samalla nopeudella, peräkkäin ja rinnakkaisia reittejä, kulkevaa alusta vastaan. Laskentatilanteessa näiden kahden kohdattavan aluksen pituussuuntainen etäisyys on 1,5 aluksen mittaa. Vastaantuleva alus kohtaa ensin siitä kauempana olevan. Tulokset on laskettu vain vastaantulevalle alukselle, muille on oletettu olevan voimassa kahden aluksen kohtaamistilanne. Tässä onnettomuudessa tilanne ei ollut tuollainen. Viitteen 12 tulosten pohjalta kolmen aluksen tilannetta ei ilmeisesti voi laskea summaamalle erilliset kahden aluksen vaikutukset.

LENAn kohtaaminen, kuva 2. ESTRADEN oli yli puoli laivan mittaa WOLGASTERNin rinnalla. Tällöin molemmat alukset kulkivat likimain yhtä suurella nopeudella ja niillä oli taipumus kääntyä oikealle. Lähestyvä LENA vahvisti aluksi tätä kääntymistä, mutta tultuaan rinnalle, vaikutus muuttui päinvastaiseksi. Alusten ollessa rinnakkain, niiden välillä vaikutti vetovoima. Ennen kuin LENA sivuutti kokonaan ESTRADENin, alukset pyrkivät kääntymään toisistaan poispäin. LENAn suoran vaikutuksen WOLGASTERNiin oletetaan olleen vähäinen, mutta sellainen, että ESTRADENin vaikutus WOLGASTERNiin mahdollisesti voimistui.

RIROIL 5 kohtaaminen, kuva 6. Tällöin ESTRADEN oli noin puoli laivan mittaa WOLGASTERNin edellä ja alukset kulkivat edelleen likimain samalla nopeudella. Tällöin molemmat alukset pyrkivät kääntymään vasemmalle, tosin melko heikosti. RIROILin alkaessa kohdata ESTRADENia, alusten keulat pyrkivät toisistaan poispäin, joten ESTRADENin taipumus kääntyä poispäin WOLGASTERNistä heikkeni. Kohtaamisen edetessä, ESTRADEN pyrki taas kääntymään vasemmalle ja kohtaamisen päättyessä oikealle. Myös RIROIL 5 suoranainen vaikutus WOLGASTERNiin oletetaan vähäiseksi. Epäsuora vaikutus, ESTRADENin kautta on mahdollisesti ollut samankaltainen kuin edellä mainitussa kohtaamisessa.

Muut kohtaamiset ja ohitukset. LENA tuli ANTJEa vastaan heti jälkimmäisen ohitettua WOLGASTERNin. ANTJE joutui nopeasti siirtymään WOLGASTERNin eteen, mikä saattoi

vaikeuttaa jälkimmäisen ohjailua. LENA oli tullut TURCHESEa vastaan kello 02:28 ja RIROIL 5 kello 02:31 ilmeisen normaalisti, koska oli hyvin tilaa. Minuuttia myöhemmin RIROIL 5 tuli ANTJEa vastaan myös ongelmitta. Kielin kanavassa on normaalia, että on jatkuvasti kohtaamisia ja ohituksia. Saattaa olla, että tiheiden kohtaamisten ja ohitusten synnyttämät veden virtaukset ja alusten väliset vuorovaikutukset vaikuttivat negatiivisesti ESTRADENin yrittäessä ohittaa WOLGASTERNiä.

2.9 Etäisyys kaltevan väylän reunasta

WOLGASTERN oli lähellä väylän liuskaosuutta ohituksen ajan. Sen oikea puoli kulki matalammassa vedessä kuin vasen puoli. LENA ja RIROIL 5 olivat lyhyen aikaa lähellä kanavan eteläpuolista luiskaa vastaavanlaisessa tilanteessa. LENAn kohtaamisen aikana WOLGASTERN tuli leveämmältä alueelta kapeampaan, kuva 2. Tässä asemassa keula pyrkii useimmiten kääntymään oikealle ja seinämä vetää alusta puoleensa. Vuorovaikutus on heikompi kuin pystysuoran seinämän tapauksessa. Hyvin matalassa vedessä vaikutukset voivat muuttua päinvastaisiksi. Mallikoetuloksia on kaltevalle seinämälle viime aikoihin saakka ollut hyvin vähän, minkä vuoksi menetelmiä tällaisen seinämän vaikutusten arvioimiseksi alusten ohjailuun ei ole ollut käytettävissä. Lähdeviitteissä 13, 14, 16, 19–21 on esitetty seinämävaikutuksen mallikokeilla saatuja tuloksia, mutta pääosin pystysuoran seinämän tai vedenalaisen väylän tapauksissa. Viite 23 sisältää runsaasti uusia tuloksia kaltevalle seinämälle yhden aluksen liikuessa kanavassa. Tulosten perusteella menetelmä voimien ja momenttien määrittämiseksi kaltevaseinäisessä kanavassa on kehitteillä Belgiassa³⁵.

2.10 Alusten lukumäärä vierekkäin

Kielin kanavan säännöt rajoittavat alusten sivuuttamista ja ohittamista sekä paikan, että koon (liikenneryhmä) mukaan. Ohitusalueen ulkopuolella WOLGASTERNin ohittaminen ei ollut sallittua. Kaikki tämän onnettomuuden yhteydessä tarkastellut ohitukset ja kohtaamiset tapahtuivat ohitusalueella. Säännöissä ei ole selvää mainintaa kolmen aluksen kohtaamisesta. Tutkijoiden käsityksen mukaan tähän tapaukseen liittyvien alusten kokoluokilla kolmen aluksen rinnakkain olo sisälsi vaaratekijän. Väylän täyttymäaste oli noin 3,3 ($11,5 \times (100 + 11,5 / \tan 13 = 1725$ jaettuna lausekkeella $9 \times 27 + 5,9 \times 25,2 + 6,3 \times 20,6 = 520$), mikä on selvästi alle 15, jota pienemmillä arvoilla kanava alkaa tuntua aluksille ahtaalta (lähdeviite 7).

2.11 Ohjailu

Tämän kohdan arviot perustuvat pääosin viitteisiin 1 ja 4. Peräsimen ohjailuvoimaan vaikuttaa merkittävästi siihen osuvan virtauksen nopeus. Tämä nopeus riippuu voimakkaasti potkurin jättövirtauksesta. Potkurin jättövirran merkitys korostuu matalassa ja rajoitetussa vesialueessa, jossa vesi liikkuu aluksen mukana, jolloin peräsimeen saadaan virtausta lähinnä potkurin vaikutuksesta. Tämän vuoksi on vaarallista pysäyttää potkuri matalassa vedessä. Ohjailun tehostamiseksi on oikein lisätä potkurin kierroksia matalassa vedessä. Voidaan siis todeta, että WOLGASTERNissä toimittiin periaatteessa oikein, kun kierroksia lisättiin. Kokonaisuudessaan tilanne oli kuitenkin päässyt kehittymään hallitsemattomaksi, koska alukset olivat liian lähellä toisiaan. Ilmeisesti WOLGASTERNin ohjaajat eivät ymmärtäneet ottaa tätä huomioon.

³⁵ Tutkimusprojektin tiedot <http://www.bankeffects.ugent.be/>

Liite 1/20 (25)

WOLGASTERN nosti nopeuttaan, jolloin sen matalan veden ohjailuominaisuudet saattoivat heiketä. Viitteen 1 mukaan aluksella saattaa olla kriittinen h/T – suhde. Kun suhde on lähellä arvoa tätä arvoa, aluksen ohjailuominaisuudet saattavat muuttua herkästi. Viitatuissa mallikokeissa tämä kriittinen arvo oli noin 1,4. WOLGASTERN kulki vaihtelevan syvyydessä vedessä (h/T suhde vaihteli välillä 1,15–1,40). On mahdollista, että WOLGASTERNillä h/T -suhde oli aika ajoin kriittinen.

Myös ESTRADEN nosti nopeuttaan ohittaakseen WOLGASTERNin ja parantaakseen ohjailuaan. Samaan aikaan WOLGASTERN pyysi ESTRADENia lisäämään nopeuttaan ohituksen loppuunsaattamiseksi. Näyttää siltä, että näillä aluksilla kukaan ei huomannut, että nopeuden nosto kasvatti voimakkaasti vuorovaikutusvoimia.

Alusten sivuuttaessa tai kohdatessa toisensa niiden väliset voimat ja momentit voivat muuttua vastaismerkkisiksi hyvinkin nopeasti alusten keskinäisen pituussuuntaisen aseman muuttuessa. Tämä aiheuttaa ohjailulle suuria vaatimuksia: olisi osattava ennakoida tuleva voiman/momentin suunnan muutos oikeaan aikaan. Luotsien ja perämiesten tulisi saada teoreettista lisäkoulutusta ja simulaattoriharjoitusta rajoitetun vesialueen navigoinnissa.

WOLGASTERN kulki lähellä kanavan reunaa ja vielä siten, että reunan puolella vesi oli matalampaa. Voisi olettaa, että tästä aiheutui jarruttava vaikutus, minkä johdosta alus pyrki kääntymään oikealle kohti reunaa. Viitteen 4 kuvissa 14 ja 15 on esitetty joitain tuloksia kanavassa, joka vastaa Audorf-Rade paikkaa. WOLGASTERNin nopeus oli noin 5 solmua, joten Frouden syvyytluku oli noin 0,23. WOLGASTERNiin vaikutti ulospäin kääntävä momentti, jonka suuruus oli noin viidesosa ohitustilanteen momentista. Ohittavan ESTRADENin vaikutus oli päinvastainen, kuten nähdään kuvasta 11. Nettovaikutus pyrki kääntämään WOLGASTERNiä oikealle, kuten on raportoitu. Tämän vaikutuksen kompensointi onnistui kääntämällä peräsin vasemmalle. Kun ESTRADEN oli puoli laivan mittaa edellä, kääntävä momentti muuttui päinvastaiseksi, ja se oli siinä vaiheessa niin suuri, että peräsinvoimat eivät enää riittäneet pysäyttämään WOLGASTERNin kääntymistä ESTRADENiin päin.

2.12 Propulsiokoneiston vaikutus

Viitteessä 1 on laajasti käsitelty potkurin vaikutusta aluksen ohjailuun matalassa vedessä. ESTRADENissa oli kaksi potkuriä ja kaksi peräsinä, joten sen voi olettaa olevan neutraali. Sen sijaan WOLGASTERNin oletettavasti oikeakätinen potkuri aiheutti alukselle vasemmalle kääntävän momentin, jota tuli peräsimellä kompensoida. Syvässä vedessä tämä kääntävä momentti kasvaa kun potkurin kierroksia nostetaan. Matalassa vedessä trendi on sama, mutta voi löytyä nopeuden ja suhteen h/T kombinaatio, jolla tämä momentti vaihtaa suuntaa tai häviää yllättäen aluksen ohjaajan.

3 Johtopäätökset

Tutkijat ovat edellä esitetyn perusteella tulleet seuraaviin johtopäätöksiin:

- a. ESTRADEN ja WOLGASTERN olivat liian lähellä toisiaan liian kauan.
- b. ESTRADEN joutui olemaan lähellä WOLGASTERNiä vastaantulevien alusten väistämiseksi.
- c. WOLGASTERN joutui kulkemaan pitkään liian lähellä kanavan seinämää.
- d. ESTRADEN ei väistänyt vasemmalle RIROIL 5 kohtaamisen jälkeen
- e. ESTRADENin ja WOLGASTERNin nopeudet ylittivät Kielin kanavan sääntöjen mukaiset rajat
- f. Suuren nopeuden vuoksi ohjailuvaikeudet kasvoivat

Suurten nopeuksien ja alusten pienen kylkietäisyyden vuoksi matalassa vedessä syntyneet vuorovaikutusvoimat ylittivät ohjailuvoimat ja WOLGASTERN törmäsi ESTRADENiin.

Kirjallisuusselvityksen perusteella näyttää siltä, että voimien ja momenttien arvioimiseksi tapauksessa, jossa kanavan seinämä on kalteva, ei ole käyttökelpoista menetelmää. Tämä on yllättävää, koska tämä seinämätyyppi on hyvin yleinen.

Hyvin teoreettisten ja matemaattisten tutkijakollegoille suunnattujen raporttien lisäksi erittäin hyödyllinen olisi yleinen katsaus ohjailuun rajoitetussa vesialueessa. Onnettomuustutkijoiden mielestä tohtori Dandin viite 4 on toistaiseksi paras tämän tyyppinen esitys.

4 Kirjalliset lähteet

Kirjallisuudesta on löydetty seuraavat tähän tutkintaan soveltuvat lähteet, joissa käsitellään kahden tai useamman aluksen välistä vuorovaikutusta syvässä ja matalassa vedessä, myös navigointia kanavassa mukaan lukien seinämävaikutus. Täsmälleen tämän tapauksen kaltaista ei löydetty, melko lähelle kylläkin. Dandin "klassisissa" mallikokeissa alukset oli pakotettu liikkumaan suoraa kurssia, mm. ohjailun vaikutusta ei ole mukana. Myöskään todellisen tilanteen voimien ja momenttien muutoksia aluksen pienten suunnan muutosten johdosta ei ole mukana. Eräissä uusimmissa laskelmissa on yritetty ottaa nämä seikat huomioon vaihtelevin tavoin. Eräs esimerkki on viite 15, mutta vastus on kuitenkin pidetty vakiona.

Dandin tulokset ovat edelleen käyttökelpoisimmat tässä onnettomuudessa. Kirjallisuudessa esitettyjä laskennallisia tuloksia on useimmiten verrattu juuri Dandin tuloksiin. Yleensä on saatu melko hyvä yhteensopivuus. Täysmittakaavamittausten vähyyden vuoksi todellista laskelmien ja mallikokeiden verifiointia ei toistaiseksi ole.

1. Dand (NMI R6), Hydrodynamic Aspects of Shallow Water Collisions, Nov. 1976.
2. Dand (NMI R7), Some aspects of Tug-Ship Interaction, January 1977.
3. Dand (NMI R8), Ship-Ship Interaction in Shallow Water, March 1977
4. Dand (NMI R38), The Physical Causes of Interaction and its Effects, April 1978
5. Dand (NMI R108), Some measurements of interaction between ship models passing on parallel courses, August 1981. Nämä raportit käsittelevät useita mallikokeita ja niiden tuloksia sekä aiheen teoriaa. Muuttujina ovat olleet alusten koko ja niiden nopeudet, niiden suhteellinen keskinäinen asema ja veden suhteellinen syvyys. Potkurin vaikutusta on myös käsitelty. NMI R38 sisältää hyvän yleiskatsauksen ilman monimutkaista matematiikkaa. (NMI = National Maritime Institute).
6. PNA, Principles of Naval Architecture, SNAME 1989, Part III, pp. 287,288. (This is based on a work by Newton, R.N. in 1960). Kahta mallia hinattiin syvässä vedessä vierekkäin pituussuuntaisen ja leveysuuntaisen aseman vaihdellessa. Täysmittakaavassa nopeusalue oli 10–20 solmua. Alusten nopeudet olivat yhtä suuret. Ei suoranaisesti vastaa tätä tapausta, mutta yleispiirteiltään vastaava.
7. Müller, E, Manövrieren bei Fahrwasserbeschränkung. Alus ohittaa toisen samankokoisen aluksen kanavassa. Tulokset on esitetty h/T -suhteella 2,0 ja kahdella etäisyydellä $Y_0/L = 0,227$ ja $0,454$. Pienempi etäisyys vastaa tässä tapauksessa noin 10 m kylkietäisyyttä. Etäisyyden kaksinkertaistuuessa voimien ja momentin maksimiarvot noin puolittuvat. Nopeudet ovat noin 50 % suuremmat kuin tässä tapauksessa. Kuitenkin yleispiirteet ovat samat kuin Dandilla.
8. P.Kaplan and K Sankaranarayanan, Hydrodynamic interaction of ships in shallow channels, including effects of asymmetry.

Teoreettisia laskelmia on verrattu mallikoetuloksiin. Kaksi Panamax bulkialuksen mallia ajoi vastakkaisiin suuntiin (kummankin nopeus täysmittakaavassa 7 solmua, $h/T = 1,15$ ja $1,225$, Y_0/B oli $1,25-2,0$). Yhdessä koesarjassa toinen alus oli paikallaan ($h/T = 1,225$, $Y_0/B=2,0$). Soveltuu vastaantulotilanteeseen; tulos samansuuntainen Dandin kanssa.
9. Katsuro Kijima, Manoeuvrability of ship in confined water.

Artikkeli esittelee teoriaa ja mallikoetuloksia. Suurempi alus ($L = 160$ m, $B = 26,84$ m) ohitti pienemmän ($L = 100$ m, $B = 16,77$ m), kanavassa, jonka leveys oli 200 m. Nopeudet olivat 4 ja 5 solmua, $h/T = 1,2$ ja $1,92$. Alusten keskiviivojen välinen etäisyys vaihteli välillä 30–100 m (vastaava kylkietäisyys oli välillä 8–78 m ja Y_0/B_2 oli 1,8–6). Tietyllä tavalla³⁶ suoritettun ohjailun avulla aluksia pyrittiin pitämään suoralla kurssilla. Tulos: Ohitettava pienempi alus kääntyi ohituksen loppuvaiheessa ohittavan perään tai keskilaivaan. Tässä simulaatiossa turvallisiksi kylkietäisyydeksi saatiin 50–60 m, joka on suhteen Y_0/B_1 avulla noin 2 ja suhteen Y_0/B_2 avulla noin 3,3. Alusten suuren kokoeron vuoksi tulokset eivät sovi tähän tapaukseen. Lisäksi nämä olivat pystyt.

Viitteet 8 and 9 ovat konferenssista: International Conference on Ship Manoeuvrability - Prediction and Achievement, 29–30 April and 1 May 1987, London, RINA

10. O. Huuska, On the evaluation of Underkeel Clearances in Finnish Waterways, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Otaniemi, Finland Report No 9, 1976. Käytetty squatin arviointiin.
11. Hamn-Ching Chen, Woei-Min Lin, Daniel A. Liut, Wie-Yuan Hwang, Validation and Application of Chimera RANS Method for Ship-Ship Interactions in Shallow Water and Restricted Waterway, 24th Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, Japan, 8–13 July 2002
12. Hamn-Ching Chen, Woei-Min Lin, Daniel A. Liut, Wie-Yuan Hwang, An advanced viscous flow computation method for ship-ship dynamic interactions in shallow and restricted waterway, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability, MARSIM '03, 25th–28th August 2003, Kanazawa, Japan.

Viitteet 11 ja 12 esittelevät edistyksellisellä laskentamenetelmällä saatujen tulosten vertailua Dandin mallikokeissa (esim. viite 5) saatujen tulosten kanssa sekä vastakain ajo-, että ohitustilanteessa ja lisäksi paikallaan olevan aluksen ohitustilanteessa. Tekijät toteavat, että melko hyvä yhteensopivuus saavutettiin (laskenta- ja mallikoetilanteet eivät kuitenkaan täysin vastanneet toisiaan). Lisäksi he simuloivat tilannetta, jossa alus oli laiturissa ja kaksi alusta ohitti sen yhtä aikaa. Tuloksena he toteavat, että useamman aluksen yhteisvaikutusta ei voida muodostaa laskemalla yhteen yhden aluksen yksin aiheuttamaa vaikutusta.

13. Marc Vantorre, Guillaume Delefortrie, Katrien Eloot, Erik Laforce, Experimental investigation of ship-bank interaction forces, sama konferenssi kuin edellinen. Mallikokein ja matemaattisen mallin avulla on tutkittu kolmella erilaisella aluksella väylän reunaetäisyyden vaikutusta voimiin ja momentteihin, kun väylän seinämä on pysty.
14. Vantorre, M., Laforce, E., Verzhbitskaya, E., Model test based formulations of ship-ship interaction forces for simulation purposes, IMSF 2001. Esittelee edellisen viitteen mallikokeita ja tuloksia. Tuloksia ei voi soveltaa tähän tapaukseen, koska nopeudet ovat liian suuret. Alusten pituussuuntaisen aseman määrittely eroaa tässä tutkinnassa käytetystä Dandin määrittelystä: tutkinnassa alusten keulojen välimatka, tässä viitteessä alusten puolivälien välimatka; tämän johdosta viitteen muuttujasta ξ on vähennettävä 1,0 kohtaamistilanteessa. Myös poikittaisvoiman ja momentin suunnan määrittelyt erosivat. Kun nämä erot otetaan huomioon, tulokset vastaavat periaatteessa Dandin ja tässä tutkinnassa käytettyjä.

³⁶ Peräsinkulma $\delta = \delta_0 + 5(\psi - \psi_0) + 5r'$, jossa ψ on heading ja r' peräsimen kulmanopeus. Alaindeksi 0 on alkuarvo.

15. Lee, C., K. and Kijima, K., "On the Safe Navigation Considering the Interaction Forces Between Ships in Confined Water", sama konferenssi kuin edellinen. Eri-tyyppisille aluksille on laskettu turvalliset ohitusetäisyydet riippuen nopeuseroista, veden syvyydestä, tuulesta ja käytetyistä maksimaalisista peräsinkulmista ja ohjailun erilaisilla säädöillä leveyssuunnassa rajoittamattomassa matalassa vesialueessa. Tulokset: Leveässä matalassa vesialueessa alusten keskiviivojen välinen etäisyys voi olla $0,3xL$ (ehkä allekin), jos käytetään ohjailuun yli 15 asteen peräsinkulmia. Jos nopeudet lähestyvät toisiaan, etäisyysvaatimus kasvaa.
16. Li, D.Q., Ottoson, P. and Trägårdh, P., "Prediction of Bank Effects by Model Tests and Mathematical Models", sama konferenssi kuin edellinen. Mallikoeohjelmaan sisältyi kaltevareunainen kanava, kolme syvyyssuhdetta (1,1, 1,2 ja 2,5). Kaksi ensimmäistä sopivat tähän tapaukseen WOLGASTERNin osalta. Koesarjan lautta-aluksella tehtiin mallikokeet kaltevaseinäisessä kanavassa. Potkurin kuormituksen todettiin vaikuttavan suoraan verrannollisena kääntävään momenttiin (keula ulospäin) ja imuvoimaan kohti kanavan seinämää.
17. Yasukawa, H., Simulation of Ship Collision Caused by Hydrodynamic Interaction between Ships, sama konferenssi kuin edellinen. Tekijä on muodostanut kahden lähellä toisiaan liikkuvan aluksen liikeyhtälöt mukaan lukien ohjailun matalassa vedessä. Yhtälöt on ratkaistu tapauksessa, jossa alukset ovat samanlaiset ja jossa $h/T = 1,2$, kylkien välinen etäisyys $= 0,25xB$ (vastaisi onnettomuustapauksessa noin 8m, ts. alukset ovat hyvin lähellä toisiaan). $F_n = 0,1$ ja alukset kulkivat samalla nopeudella. (Nopeus oli siten 7,6 solmua ja Frouden syvyysluku 0,465). Vastaa likimain tämän tapauksen loppuvaihetta. Toinen laskettu tapaus on ohitustilanne, alusten nopeuksien suhde on 2.
18. Varyani, K.S., McGregor, R.C., Wold, P., Identification of Trends in Extremes of Sway-Yaw Interference for several Ships Meeting in Restricted Waters, Schifftechnik Bd.49-2002/Ship Technology Research Vol. 49-2002. Teoreettisesti on laskettu kahden ja kolmen kohtaavan aluksen tilanne ja vertailtu muihin laskelmiin ja mallikokeisiin. Voidaan soveltaen käyttää kun ESTRADEN ja WOLGASTERN kohtasivat LENAn ja RIROIL 5:n.
19. Jianbo Hua, Towards a mixed solution for ship manoeuvre simulation in restricted water, SSPA Research Report 130, 2005. Raportti sisältää selostuksen tutkimuksista, joita SSPA:ssa on tehty usean vuoden aikana. Lisäksi se on hyvä yleiskatsaus rajoitetun vesialueen vuorovaikutusten numeeristen laskentamenetelmien nykytasosta.
20. Da-Qing Li, Experiments on Bank Effects under Extreme Conditions, SSPA Research Report 113, 2000.
21. Da-Qing Li, Development of Mathematical models for Predicting Bank Effects, SSPA Research Report 114, 2000. Nämä kaksi SSPA:n raporttia esittelevät mallikokeita seinämävaikutuksen tutkimiseksi. Niissä on sivuttaissiirtymisen ja kääntymisen voima- ja momenttikertoimia eräissä tilanteissa. Ainoa seinämän kaltevuus oli 30 astetta, mikä on enemmän kuin Kielin kanavassa.
22. Gronarz, A., Ship-Ship Interaction: Overtaking and Encountering of Inland Vessels on Shallow Water, MARSIM 2006, 25–30 June 2006, The Netherlands. Mallikokeiden ja niiden tulosten esittelyä. Lopulliset mallikokeet tehtiin itsekulkevalla mallilla sekä ilman, että autopilotin kanssa. Useiden parametrien aikahistoriat mitattiin. Yh-

teenveto toteaa, että propulsiolla on vaikutus navigointiin matalassa vedessä. Autopilotin avulla yhteentörmäys kyettiin välttämään pienemmällä kylkien välisellä etäisyydellä kuin ilman sitä. Kohtaamis- ja ohitustilanteet voidaan käsitellä samalla tavalla käyttäen sopivaa muunnosta. Lisäksi veden pinnan muodonmuutos tulisi ottaa huomioon.

23. E. Lataire, M. Vantorre, E. Laforce, K. Eloot, G. Delafortrie, Navigation in Confined Waters: Influence of Bank Characteristics on Ship-Bank Interaction, 2nd International Conference on Marine Research and Transportation, 28-30 June 2007, Ischia Naples, Italy. Projektin kotisivu on <http://www.bankeffects.ugent.be>.

Julkaisu esittelee mallikoetuloksia, joita on tehty Gentin yliopistossa Belgiassa kanavan seinämävaikutuksen arviointimenetelmän kehittämiseksi. Koesarja on sisältänyt noin 11000 ajoa. Yksi käytetyistä kanavan poikkileikkauksista on lähellä Kielin kanavan kaltevaa reunaa. Aluksen sivusuuntainen paikka suhteessa kanavan seinämään on määritetty uudella tavalla. Mittaukset on tehty yhden aluksen kulkiessa kanavassa, kolmella erilaisella mallilla. Tuloksista voidaan päätellä, että WOLGASTERN oli niin lähellä kanavan seinämää, että aluksen ja seinämän välinen vuorovaikutus oli merkittävä.

Liite 2. Onnettomuustilastoa

Damages Kiel-Canal (eastern part) 1996 - 2006											
Kind of Damages :	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Damages with Lock Facilities	13	11	5	7	3	7	11	7	16	9	10
Collisions Ship to Ship inside the Locks	2	0	3	5	4	1	3	3	3	3	4
Collisions Ship to Ship on the Kiel-Canal	6	2	2	2	7	4	0	3	5	6	4
Damages on the Kiel-Canal with Facilities	1	7	3	1	1	6	5	0	1	1	4
Damages on the Kiel-Canal with Dolphins (Siding Areas)	3	3	2	2	3	0	3	4	4	6	14
Grounding with Damage	1	3	2	0	1	4	3	0	0	2	1
Grounding without Damage	21	17	11	13	7	11	12	10	3	17	20
Damages with Pollution	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Number of Damages:	47	43	28	30	26	33	37	27	32	44	57
caused by technical failure :	6	9	8	4	6	8	5	3	6	11	15

C/M/S/ Hasche Sigle

Rechtsanwälte Steuerberater

SAAPUNUT

26-11-2007

523/5M

CMS Hasche Sigle
Partnerschaft von Rechtsanwälten
und Steuerberatern

Stadthausbrücke 1-3
D-20355 Hamburg

Tel.: +49 (0)40/3 76 30-0
Fax: +49 (0)40/3 76 30 40-600
www.cms-hs.com

Deutsche Bank AG Hamburg
BLZ 200 700 00
Kto. 484 727 300

Fax

Pages: 1

To: Accident Investigation Board
Att. Mr. Martti Heikkilä

Fax: 00358 9 1606 7811

Jan Wölper
Our ref.: WJ-asc-2006/19121
Office: Angelika Schmidt
Tel.: +49 (0)40/3 76 30-352
Fax: +49 (0)40/3 76 30 40 552
jan.woelper@cms-hs.com

23 November 2007

Collision MV ESTRADEN / MT WOLGASTERN - Kiel Canal 02.02.2006
Your Ref.: C 1/2006 M

Dear Mr. Heikkilä,

We are representing Rigel Schiffahrts GmbH as well as the master of MT WOLGASTERN in this matter. Your request for comments to the draft collision report 452/5M was passed on to us for response.

Without accepting the report in its entirety, we should just like one correction being made at the bottom of page 9 of the draft inasmuch as WOLGASTERN had not "requested ... that also the ESTRADEN should overtake her". The corresponding VHF call from the pilot of WOLGASTERN was a consent to an overtaking and by no means a request for taking any particular action at any particular time. The decision on how and where to overtake and to check if this can actually take place safely was, as usual, solely left in the hands of pilot and officer on watch of MV ESTRADEN.

Yours sincerely,

(Jan Wölper)

CMS Hasche Sigle Partnerschaft von Rechtsanwälten und Steuerberatern, AG Charlottenburg PR 316 B

CMS (EWIV): CMS Hasche Sigle Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, Köln, Leipzig, München, Stuttgart, Chemnitz, Dresden, Brüssel, Moskau, Shanghai
CMS Adoninno Ascoli & Cavaola Scamoni Rom, Mailand CMS Albiñana & Suárez de Lezo Madrid, Marbella, Sevilla CMS Bureau Francis Lefebvre Paris, Brüssel,
Buenos Aires, Bukarest, Casablanca, Lyon, Madrid, Montevideo, Moskau, Shanghai, Straßburg CMS Cameron McKenna LLP London, Aberdeen, Bristol, Brüssel, Budapest,
Bukarest, Hongkong, Moskau, Peking, Prag, Sofia, Warschau CMS DeBacker Brüssel, Antwerpen CMS Derks Star Busmann Utrecht, Amsterdam, Arnheim, Hilversum
CMS von Erlach Henrici Zürich CMS Reich-Rohrwig Hainz Wien, Bratislava, Brüssel, Kiew, Prag, Sofia, Zagreb
CMS Reich-Rohrwig Hasche Sigle d.o.o. Belgrad