



## Tutkintaselostus

B 2/2000 M

**ms FINNFELLOW, karilleajo Överön luona Ahvenanmaalla  
02.04.2000**

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.

**Onnettomuustutkintakeskus**  
**Centralen för undersökning av olyckor**  
**Accident Investigation Board Finland**

**Osoite / Address:** Yrjönkatu 36  
FIN-00100 HELSINKI

**Adress:** Georgsgatan 36  
00100 HELSINGFORS

**Puhelin / Telefon:** (09) 1825 7643  
**Telephone:** +358 9 1825 7643

**Fax:** (09) 1825 7811  
**Fax:** +358 9 1825 7811

**Sähköposti:** onnettomuustutkinta@om.fi tai etunimi.sukunimi@om.fi  
**E-post:** onnettomuustutkinta@om.fi eller förnamn.släktnamn@om.fi  
**Email:** onnettomuustutkinta@om.fi or forename.surname@om.fi

**Internet:** www.onnettomuustutkinta.fi

**Henkilöstö / Personal / Personnel:**

Johtaja / Direktör / Director

Kari Lehtola

Hallintopäällikkö / Förvaltningsdirektör / Administrative director

Pirjo Valkama-Joutsen

Osastosihteeri / Avdelningssekreterare / Assistant

Sini Järvi

Toimistosihtööri / Byråsekreterare / Assistant

Leena Leskelä

Illmailuonnettomuudet / Flygolyckor / Aviation accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief air accident investigator

Tero Lybeck

Erikoistutkija / Utredare / Aircraft accident investigator

Esko Lähteenmäki

Raideliikenneonnettomuudet / Spårtrafikolyckor / Rail accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief rail accident investigator

Esko Värhtiö

Erikoistutkija / Utredare / Rail accident investigator

Reijo Mynttinen

Vesiliikenneonnettomuudet / Sjöfartsolyckor / Maritime accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief maritime accident investigator

Martti Heikkilä

Erikoistutkija / Utredare / Maritime accident investigator

Risto Repo

---

ISBN 951-836-073-1

ISSN 1239-5323

Edita Oyj, Helsinki 2001



## LUKIJALLE

**Vesiliikenneonnettomuuksien tutkinta.** Onnettomuustutkintakeskus tutkii Suomessa vesiliikenneonnettomuudet, jotka ovat tapahtuneet:

- Suomen aluevesillä tai
- joissa osallisena on ollut suomalainen alus.
- Myös vesiliikenteessä tapahtunut vaaratilanne voidaan tutkia.

Veneilyssä tapahtunut onnettomuus tutkitaan kuitenkin vain, jos sen tutkiminen on erityisestä syystä perusteltua turvallisuuden lisäämiseksi tai uusien onnettomuuksien ehkäisemiseksi.

Onnettomuuksien tutkinta perustuu onnettomuustutkintalakiin (373/1985 ja 97/1997) sekä asetukseen onnettomuustutkinnasta (79/1996 ja 99/1997). Onnettomuuksien tutkinta tehdään IMO:n merionnettomuuksien tutkintaa koskevien päätöslauselmien A.849(20) and A.884(21) esittämien periaatteiden mukaan ja siinä otetaan huomioon EU direktiivi 1999/35/EY pakollisesta katsastusjärjestelmästä säännöllisen ro-ro-alusliikenteen ja suurnopeusmatkustaja-alusliikenteen turvallisen harjoittamisen varmistamiseksi. Onnettomuustutkinnan raportoinnissa käytetään Onnettomuustutkintakeskuksessa vakiintunutta muotoa ja tutkinnat julkaistaan joko erillisinä julkaisuina tai kokoomajulkaisussa "*Vesiliikenneonnettomuuksia ja vaaratilanteita*" sekä myös internet osoitteessa: <http://www.onnettomuustutkinta.fi>.

Tässä julkaisussa on tutkintaselostus:

*B 2/2000 M ms FINNFELLOW, pohjakosketus Överön luona Ahvenanmaalla 02.04.2000*

Helsinki 27.11.2001



## TIIVISTELMÄ

Suomalainen ro-ro matkustajalautta ms FINNFELLOW ajoi karille matkalla Kappelskäristä Naantaliin 2.4.2000 klo 02:32 Föglön pohjoispuolella Ahvenanmaan saaristossa. Aluksella oli 81 henkilöä, joista 58 oli matkustajia. Karilleajossa alus kulkeutui saaren rantaan noin 14 solmun nopeudella hyrräkompassin vikatoiminnan seurauksena. Karilleajo tapahtui pehmeästi ja vauriot rajoituivat aluksen keulapotkuriosastoon ja pariin viereiseen pohjatankkiin. Öljyvuotoa ei ollut.

Matka oli sujunut normaalisti. Näkyvyys oli ollut hyvä, yö pimeä ja pohjoistuulen nopeus keskimäärin 15 m/s. FINNFELLOWin kolmen hengen komentosiltamiehitys koostui vahtipäälliköstä, linjaluotsista ja tähystäjästä. Linjaluotsi ohjasi alusta integroidun navigointijärjestelmän autopilotilla.

FINNFELLOWin rakennusvuosi on 1973, mutta aluksen ohjailujärjestelmä oli uudistettu muutama vuosi sitten. Uudistusten yhteydessä komentosillalle oli asennettu sekä nykyaikainen integroitu navigointijärjestelmä että kaksi hyrräkompassia. Navigointijärjestelmään kuuluu kaksi tutkaa, jotka on sijoitettu rinnakkain istuttavaan ohjaamojärjestelyyn. Linjaluotsi ohjasi alusta oikeanpuoleiselta paikalta ja vahtipäällikkö valvoi toimintoja vasemmanpuoleiselta ohjauspaikalta.

Tapahtumat, jotka johtivat karilleajoon, alkoivat oikealle tehtävän käännöksen loppuvaiheessa. Kun kesken olleen käännöksen 50 asteen suunnanmuutoksesta oli jäljellä vain 2.5 astetta, aluksen autopilotille hyrräkompassilta tuleva suuntatieto jumiutui samaan lukemaan 66 sekunniksi. Autopilottia käytettiin tapahtumahetkellä nk. heading-moodissa, jossa käännökset tehdään vakiokaarresäteellä.

Koska autopilotille tuli väärä suuntatieto, jonka mukaan alus ei vielä ollut kääntynyt halutulle suunnalle, autopilotti alkoi oman ohjauslogiikkansa mukaisesti vähitellen suurentuvia peräsinkulmia käyttäen ohjata alusta oikealle. Tätä virheellistä käännöstä pois väylältä ei komentosiltahenkilöstö huomannut ajoissa. Siihen myötävaikuttivat aluksen kääntymisen hiljentyminen, hälytysten puuttuminen ja pimeä yö, jonka vuoksi näkyvissä oli vain muutama väylämerkintään kuulunut valo. Vahtipäällikkö huomasi aluksen kääntyvän oikealle noin 30 sekuntia hyrrän jumiutumisen jälkeen. Käännös vasemmalle ja aluksen hiljentäminen aloitettiin välittömästi, mutta niillä ei ollut toivottua tulosta ennen kuin FINNFELLOW ajoi saaren rantaan 85 sekuntia hyrrän jumiutumisen jälkeen.

Tutkinnassa ilmeni, että kompassihäiriön välitön syy oli radiotaajuinen häiriö. Häiriön täsmällistä taajuutta ei pystytty määrittelemään eikä myöskään järjestelmän sitä kohtaa, mistä häiriö pääsi vaikuttamaan kompassiin. Samoin todettiin niiden suojausjärjestelmien pettäneen, joiden tarkoitus oli estää virheen välittyminen navigointijärjestelmään. Konventionaalisen, IMO:n päätöslauselmaan A.424(XI) perustuvan, kompassijärjestelmän luotettavuus ei riittänyt ainoana suuntaa antavana sensorina. Konventionaalinen menetelmä on haavoittuva. Tästä syystä tutkintalautakunta suosittelee itse navigointijärjestelmän suojaamista ja rinnakkaisia suuntareferenssejä hyrräkompassille.



## SISÄLLYSLUETTELO

LUKIJALLE .....	I
TIIVISTELMÄ .....	III
LUETTELO LYHENTEISTÄ.....	VII
<b>1 ONNETTOMUUDEN TAPAHTUMAKUVAUS JA TUTKINTA .....</b>	<b>2</b>
1.1 Alus ja sen miehitys .....	2
1.1.1 Aluksen yleistiedot.....	2
1.1.2 Miehitys .....	2
1.1.3 Ohjaamo ja sen laitteet .....	3
1.2 Onnettomuustapahtumat .....	4
1.2.1 Sääolosuhteet .....	4
1.2.2 Onnettomuusmatka .....	4
1.3 Pelastustoimet.....	6
1.3.1 Pelastustoimien käynnistyminen.....	6
1.3.2 Matkustajien evakuointi.....	7
1.3.3 Aluksen pelastaminen ja sen vauriot .....	7
1.4 Onnettomuustutkinta .....	8
1.4.1 Tutkinnan aloittaminen ja tutkintalautakunnan asettaminen.....	8
1.4.2 Onnettomuustutkinnassa tehdyt erityistarkastelut .....	9
1.4.3 Merenkulkulaitokselle tehty turvallisuusilmoitus .....	10
1.4.4 Tutkintaselostusta koskevat lausunnot .....	10
<b>2 ANALYYSI.....</b>	<b>11</b>
2.1 Aluksen navigointi- ja ohjailulaitteet.....	11
2.1.1 Aluksen integroitu navigointijärjestelmä ja komentosillan laitejärjestely.....	11
2.1.2 Ohjailulaitteita ja niiden käyttöä koskevat määräykset ja käyttökokemukset .....	16
2.1.3 Kuvaus ms FINNFELLOWin hyrräkompassijärjestelmästä .....	18
2.1.4 Navigointilaitteiden asennusvaiheet ja laitteiden toimintahistoria.....	25
2.1.5 Hyrräkompassille suoritettut testaukset .....	28
2.2 Navigointi onnettomuusmatkalla.....	33
2.2.1 Skarpskärin käännös näyttölaitteissa.....	34
2.2.2 Karilleajon liikerata .....	42
2.2.3 Korjausmanööverit ja käytettävissä ollut aikamarginaali .....	45
2.2.4 Yhteenvedo navigointilaitteiden toiminnasta onnettomuuden yhteydessä.....	46
2.3 Suojausjärjestelmän pettäminen hyrräkompassin osalta .....	47



2.3.1	Valmistajan hyrrälle tekemä vika-analyysi.....	47
2.3.2	Kansainväliset säädökset .....	47
2.3.3	Kaksi kompassia ja suuntaerohälytin.....	48
2.3.4	Kompassin liitäntä automaattiohjaukseen .....	48
2.3.5	Järjestelmien jälkiasennukset .....	49
2.4	Häiriösuojaukset .....	50
2.4.1	Häiriösuojaukset onnettomuuden jälkeen.....	50
2.4.2	Häiriötestaukset laivalla .....	50
2.5	Navigointijärjestelmän suojaus .....	51
2.5.1	Hyrräkompassi ja kulmanopeushyrrä .....	51
2.5.2	Kalman suodatin. ....	51
2.5.3	Vapaan suuntahyrrän käyttö kompassina.....	52
3	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	55
3.1	Tekninen tapahtumaketju. ....	55
3.2	Toiminta komentosillalla.....	56
3.3	Hyrräkompassien suojausjärjestelmän pettäminen.....	56
3.4	Navigointijärjestelmän uusia suojauskeinoja .....	58
4	SUOSITUKSET.....	59
4.1	Hyrräkompassien toimintavarmuuden parantaminen.....	59
4.2	Navigointijärjestelmän toimintavarmuuden parantaminen .....	59

## LÄHDELIITTELUETTELO

Meriselitysasiakirjat

Tutkinta-asiakirjat

## LIITTEET

- Liite 1 ANS-rekisteröinti
- Liite 2 Simulco Oy:n raportti
- Liite 3 Kompassijärjestelmän kaapelointi- ja kytkentäkuva
- Liite 4 Kompassin vikakoodit
- Liite 5 Tulkinta Standard 20 kompassille tehdystä FMEA-analyysistä
- Liite 6 Automaattiohjaus ja integroitu navigointi
- Liite 7 Merenkululaitoksen lausunto
- Liite 8 Raytheon Marine GmbH:n lausunto
- Liite 9 SAM Electronics:n lausunto



## LUETTELO LYHENTEISTÄ

ANS	Advanced Navigation Software
ARPA	Automatic Radar Plotting Aid
CHL	Curved Headline, Autopilotin käännös suunnitelma ATLAS tutkan kuvauudulla.
COG	Course Over Ground, Suunta pohjan suhteen
COURSE MODE	TRACKPILOT automaattiohjauksen ohjailumoodi jossa suuntakäskyt tarkoittavat suuntaa pohjan suhteen.
DGPS	Differential Global Position System
DGPS CMG	DGPS:n mittaama suunta pohjan suhteen
DGPS SMG	DGPS:n mittaama nopeus pohjan suhteen
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FU	Follow-Up
HDG	Heading, Kompassisuunta
HEAD UP	Tutkan näyttö ilman kompassistabilointia 'keula ylös'
HEADING MODE	TRACKPILOT automaattiohjauksen ohjailumoodi jossa suuntakäskyt tarkoittavat kompassisuuntia veden suhteen.
IEC	International Electrotechnical Commission
IMO	International Maritime Organization
ISM-Code	International Safety Management Code
ISO	International Organization for Standardization
LOG BT	Bottom Track, liike pohjan suhteen
MRCC	Marine Rescue Co-ordination Center
MTBF	Mean Time Between Failures
NACOS	Navigation and Command System
NCC	Navigation Command Console
NEXT	Ohjelmoidun reitin suunta kahden seuraavan reittipisteen välillä
NMEA	National Marine Electronics Association
OOW	Officer Of the Watch
PREDICTOR	Aluksen liiketilan ennuste tutkalla
RADIUS	Autopilotin käyttämä kaarresäde
SOG	Speed Over Ground, Nopeus pohjan suhteen
SOLAS	Safety of Life at Sea konventio
STEP-kytkentä	Askelmuotoinen suuntatieto

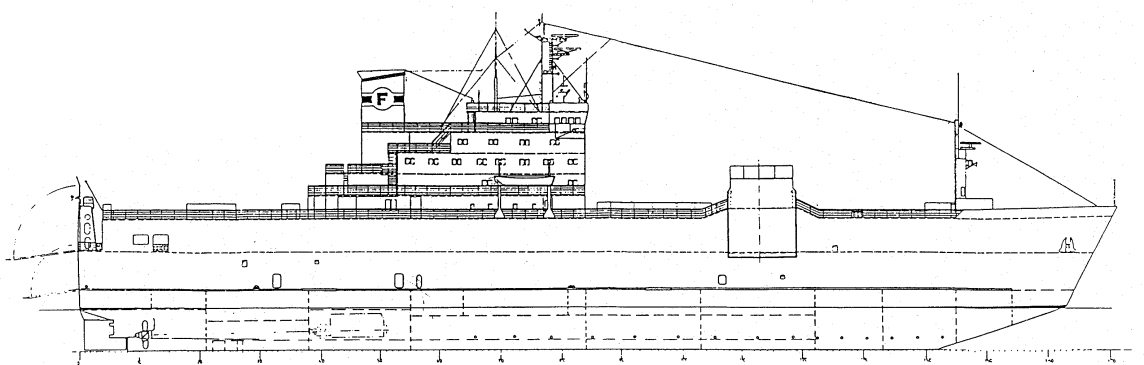


TMC	Transmitting Magnetic Compass
TRACK	Ohjelmoidun reitin suunta aluksen kohdalla kahden reittipisteen välillä
TRACKPILOT	Nacos automaattiohjauksen tyyppinimi
TRACK MODE	TRACKPILOT automaattiohjauksen ohjailumoodi joka seuraa automaattisesti ohjelmoitua reittiä
UHF	Decimetric waves, Ultra High Frequency
UTC	Coordinated Universal Time
VHF	Metric waves, Very High Frequency
VTS	Vessel Traffic Service
WP	Way Point, Reittipiste
XTD R tai L	Cross Track Distance metreinä oikealle tai vasemmalle





*Kuva 1. ms FINNFELLOW kuvattuna karilta irrotuksen jälkeen 05.04.2000*



*Kuva 2. ms FINNFELLOW yleisjärjestelypiirustus.*

## 1 ONNETTOMUUDEN TAPAHTUMAKUVAUS JA TUTKINTA

Tiedot aluksesta, onnettomuusmatkasta ja pelastustoimista perustuvat meriselitykseen ja sen liitteisiin sekä pelastusviranomaisten päiväkirjoihin ja tutkintalautakunnan suorittamaan miehistön kuulemiseen.

### 1.1 Alus ja sen miehitys

#### 1.1.1 Aluksen yleistiedot

Laivan nimi	ms FINNFELLOW
Kotipaikka	Helsinki
Tunnuskirjaimet	OIBS
IMO numero	7315143
Laji	Ro-ro matkustaja-alus/lastilautta/junalautta
Kansallisuus	Suomi
Rakennusvuosi ja paikka	1973 / Turku
Pituus	137,34 m
Leveys	24,57 m
Syväys	6,12 m
Kantavuus (kuollut paino)	4922 t
Koneteho	2 x 5149 kW
Nopeus	19,3 solmua

Aluksessa on kaksi säätösiipipotkuria ja yksi peräsin.

#### 1.1.2 Miehitys

Aluksen 6.9.1999 päivätty (voimassa 6.9.2004 saakka) miehitystodistus edellytti 15 hengen miehistöä. Aluksella oli onnettomuusmatkalla miehistöä 21 henkilöä + 2 oppilasta sekä matkustajia 58 henkilöä.

Onnettomuuden sattuessa komentosiltavahti koostui vahtipäälliköstä, linjaluotsista ja tähystäjästä. Vahtipäällikkö monitoroi linjaluotsin navigoidessa, tähystäjä suoritti tähystystehtävää. Vahtipäällikkö ja linjaluotsi olivat koulutukseltaan merikapteeneja sekä linjaluotsipätevyiden omaavia. Tämän lisäksi molemmilla oli erikoiskoulutus FINNFELLOWissa olevaan integroituun navigointijärjestelmään vuodelta 1997. Molemmilla oli lisäksi usean vuoden kokemus aluksesta sekä sen reitistä. Vahtipäällikkö oli aloittanut työskentelyn aluksella perämiehenä 23.7.1996, linjaluotsi luotsina 24.11.1997 ja tähystäjänä toiminut matruusi 18.01.1990.

### 1.1.3 Ohjaamo ja sen laitteet



Kuva 3. FINNFELLOWin ohjaamon integroitu navigointi- ja ohjailu -konsoli.

Integroitu navigointijärjestelmä	ATLAS NACOS 25-2
S-band, 10 sm meritutka	ATLAS 9600 ARPA, 2 kpl
X-band, 3 sm meritutka	ATLAS 9600 ARPA, 1 kpl
DGPS paikanmäärityslaite	TRIMBLE DSM PRO
DGPS paikanmäärityslaite	MAGNAVOX MX 200
Hyrräkompassi	RAYTHEON (ANSCHÜTZ) STANDARD 20, 2 kpl
Suuntaoikeamahälytin	RAYTHEON (ANSCHÜTZ)
Kurssipiirturi	IDE 3200
Magneetinkompassi	Krohn & Sons (ei liitettynä NACOS-järjestelmään)
Automaattiohjaus	ATLAS TRACKPILOT
Kaikuluoti	SIMRAD
Nopeuden ja matkan mittaus	ATLAS DOLOG 22 doppler
Elektroninen kartta	Advanced Navigation Software, ANS
Tuulimittari	THIES

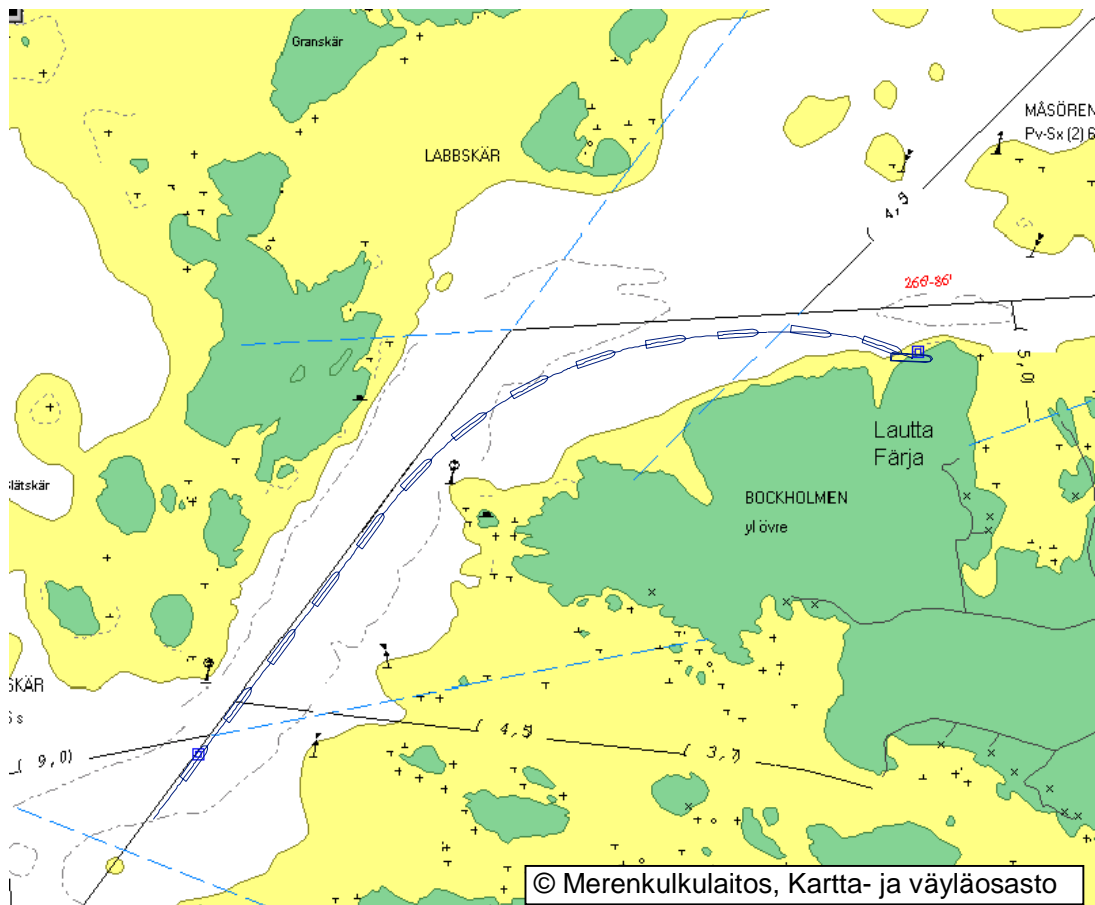
## 1.2 Onnettomuustapahtumat

### 1.2.1 Sääolosuhteet

Sää onnettomuusalueella oli pilvinen ja näkyvyys hyvä. Tuuli N-NNE keskimäärin 15 m/s. Vahtipäällystön mukaan matkalla huomioitiin seuraavat tuulen nopeudet: Ledfjärdin 16 – 18 m/s, Prästskär 12 m/s, Hjulgrund 17 m/s ja Skarpskär 12-14 m/s.

Noin tunti onnettomuuden jälkeen ms. AMORELLA ilmoitti pohjoistuulen nopeudeksi 17 m/s Nötön linjalla. Aallokko saaristossa oli pientä.

### 1.2.2 Onnettomuusmatka



Kuva 4 ms FINNFELLOWin karilleajo aluksen omien rekisteröintitietojen mukaan rekonstruoituna.

FINNFELLOW oli tavanomaisella reitillään matkalla Kapellskäristä Naantaliin 2 huhtikuuta 2000. Aluksen laivapäiväkirjan mukaan lähtö Kapellskäristä oli tapahtunut edellisenä iltana klo 23:10 ja alus on ohittanut Hjulgrundetin klo 02:12.

Aluksen komentosillalla onnettomuushetkellä oli kolme miehistön jäsentä, vahtipäällikkö, linjaluotsi ja tähystäjä. Linjaluotsi navigoi FINNFELLOWia oikean puoleiselta ohjauspai-



kalta käyttäen aluksen integroidun navigointijärjestelmän autopilottia. Vahtipäällikkö monitoroi navigointia vasemman puoleiselta ohjauspaikalta ja tähystäjä tähysti.

Aluksen lähestyessä Skarpskärin mutkaa (kuva 4) olivat molemmat tosiliiketutkat käytössä. Vasemmassa tutkassa oli 1,5 mailin ja oikeassa 0,75 mailin skaala. Tutkissa ei jälkihohde ollut päällä. Sekä tutkissa että ANS-karttanäytössä oli käytössä aluksen liiketilän ennuste ns. prediktori. NACOS-autopilotissa oli päällä HEADING-moodi. Suunnan antavaksi kompassiksi oli valittuna hyrrä nro 1 sekä paikanmäärityslaitteista Trimble DGPS. Aluksella oli täysi vauhti, noin 16 solmua.

Vastaantulevaa liikennettä ei ollut tullessa Skarpskärin mutkaan. Seuraavan vastaan tulijan FINNFELLOWin kanssa oli sovittu kohtaamisesta Deletin selällä.

Tuulen kompensoimiseksi Skarpskärin käänös oli aloitettu normaalia myöhemmin ja seuraavaksi kurssiksi oli valittu 85 astetta (suunnitelman mukainen on 86 astetta). FINNFELLOW kääntyy normaalisti hieman sisälle käänöksissä. Käänöksen aikana vahtipäällystö vertasi suuntaa yli pohjan NACOS-järjestelmän näytöltä sorron havaitsemiseksi. Tämä tehdään erityisesti HEADING-moodilla ajettaessa.

Käänöksen aikana tarkistettiin seuraavan linjan valot optisesti. Valot näkyivät hyvin ja ne kaikki toimivat. NACOS-järjestelmän näytöltä voitiin nähdä käänöksen loppupuolella FINNFELLOWin olevan 10 -12 m styyrpuurin puolella suunnitellusta reitistä. Ohjelmoitu reitti seurasi väylän keskiviivaa. Linjavalosta nähtiin, että aluksen keulasuunta osoitti niistä vasemmalle. Vertaamiseen käytettiin tutkanäytön päällä olevaa merkkitikkuja ja merkkiä ikkunassa.

Vahtipäällikkö huomasi näytöltä, että sivuttaisetäisyys reittiin oli kasvanut 15 -16 metriksi. Hän havaitsi myös, että keulan suunta oli liukunut linjavalojen oikealle puolelle. Samanaikaisesti huomattiin, että tutka-kartta ei ollut paikallaan kaikuihin verrattuna. Tämän jälkeen tutkakaiut lähtivät kääntymään vastapäivään ja kuva muuttui sameaksi. Tutkan prediktori näytti edelleen suoraan eteenpäin. Tässä vaiheessa vahtipäällikkö kehotti linjaluotsia siirtymään käsiohjaukseen. Hän huomasi ruorikulman olevan 20 astetta oikealla ja kasvavan edelleen. Ruori oli kaikki yli oikealle, kun linjaluotsi siirtyi käsiohjaukseen ja käänsi kaikki yli vasemmalle.

Välittömästi kehotuksen jälkeen vahtipäällikkö yritti vaihtaa suunnan antavaa hyrrää, mutta ei ehtinyt koska hyrrähälytys tuli päälle. Hyrrän vaihtaminen ei ole mahdollista ennen hälytyksen kuittausta. Samalla linjaluotsi sanoi aluksen törmäävän maihin, jolloin vahtipäällikkö jätti hyrräpaneelin. Hän siirtyi konekäskyvälittimille (ks. kuva 7) ja veti tässä vaiheessa paapuurin koneen nolille hidastaakseen oikealle kääntymistä. Alus kääntyi edelleen hitaasti oikealle. Överön sataman valot olivat noin 20 astetta vasemmalla aluksen keulasta. Käänös pysähtyi, ja vahtipäällikkö havaitsi että törmäys olisi väistämätön, joten hän veti molemmat koneet pakille, "täysi taakse" – asentoon. Alus alkoi kääntyä hitaasti vasemmalle, mutta vahtipäällikkö huomasi sen olevan liian myöhäistä. Alus ehti kääntyä ennen törmäystä noin 10-15 astetta vasemmalle.

Vahtipäällikkö varoitti kaikkia sillalla olleita tulevasta törmäyksestä. Aluksen vauhti oli hiljentynyt noin 14 solmuun. FINNFELLOW törmäsi Bockholmenin pohjoisrantaan (kuvat 4 ja 5). Vahtipäällikön mukaan tuntui 2 tömähdystä ja Överön sataman valot olivat nyt oikealla puolella aluksen keulasta.



Kuva 5. ms FINNFELLOW karilla Bockholmenin rannassa.

### 1.3 Pelastustoimet

#### 1.3.1 Pelastustoimien käynnistyminen

**Toimenpiteet FINNFELLOWilla.** Välittömästi karilleajon jälkeen klo 02:35 vahtipäällikkö teki ilmoituksen aluksen päällikölle ja linjaluotsi VHF-kanavalla 71 Archipelago VTS:lle. Päällikkö, yliperämies ja stuerti tulivat komentosillalle. Stuerti teki matkustajille ilmoituksen karilleajosta yleiskuulutuksella klo 02:42. Päällikkö soitti varustamoon tapahtuneesta klo 02:45. Aluksen vaurioiden tarkastaminen aloitettiin yliperämiehen johdolla.

**Archipelago VTS.** VTS teki tapahtumasta edelleen ilmoitukset Turku Radiolle ja merivartiostolle. Lisäksi VTS tiedotti välittömästi alueella liikkuville aluksille tilanteesta. Tässä ilmoituksessa aluksia pyydettiin ottamaan tarvittaessa yhteys FINNFELLOWiin VHF-kanavalla 71 ja ilmoitettiin, että väylä karilleajopaikalla on käytettävissä mutta sivuutettava hiljaa. VTS:stä oltiin lisäksi puhelinyhteydessä FINNFELLOWiin klo 02:40.

**MRCC Turku** sai klo 02:38 ilmoituksen, jonka mukaan FINNFELLOW oli karilla Överön lauttasataman kohdalla. MRCC:ssä tilanne luokiteltiin hälytystilanteeksi. Sieltä soitettiin alukselle ja tiedusteltiin tilannetta sekä saatiin tieto, että aluksella oli 23 miehistöön kuuluvaa ja 58 matkustajaa. Lisäksi alukselta kerrottiin, että siellä selvitetään aluksen tilaa.

MRCC ilmoitti klo 02:41 merivartiolaiva TURSAKSELLE tapahtumasta ja käski sen siirtymään onnettomuuspaikalle, minne vartiolaivan arvioitu matka-aika oli kolme tuntia. Ahvenanmaan merivartioasemalle tehtiin ilmoitus klo 02:46. Merivartioasemalta hälytettiin partiovene PV-220, joka saapui FINNFELLOWin lokikirjan mukaan paikalle klo



03:35. Komentosillalla olleet puhallutettiin. Tulokseksi saatiin kaikilla nolla promillea. PV 220 haki merenkulun tarkastajan alukselle klo 05:50.

### 1.3.2 Matkustajien evakuointi

Stuertti johti evakuointiryhmää, joka tarkisti heti karilleajon jälkeen, ettei matkustajille ollut tapahtunut mitään. Matkustajat koottiin tämän jälkeen messiin.

Matkustajien siirtäminen läheiseen Överön lauttasatamaan aloitettiin paikalle tulleella Ahvenanmaan meripelastusyhdistyksen veneellä klo 10:50 ja siirto saatiin päätökseen klo 12:25. Matkustajien siirtoon tarvittiin useita matkoja. Kaikki 58 matkustajaa ja kaksi harjoittelijaa sekä kaksi miehistön jäsentä evakuoitiin alukselta tässä vaiheessa. Överön lauttasatamasta matkustajat siirrettiin Maarianhaminan kautta Turkuun. Varustamon turvallisuuspäällikkö ilmoitti MRCC:lle matkustajien evakuoinnista klo 13:45.

### 1.3.3 Aluksen pelastaminen ja sen vauriot

**Vauriot ja niiden toteaminen.** Vaikka FINNFELLOWin nopeus karilleajossa oli vielä noin 14 solmua, tapahtui ajautuminen saaren rantaan yllättävän pehmeästi. Aluksen päällystö kuvasi karilleajoa seuraavasti: "karilleajo oli pehmeä", "nousi pari kertaa niiaten ylös" ja "kaksi köykäistä tömähdyistä, keula nousi ylös". Tämän "pehmeän" karilleajon selittää suurelta osalta aluksen erittäin loiva keularanka, joka nousi rannalle (kuva 5.). Tämän tyyppinen perinteinen jäänmurtajakeula, joka näkyy aluksen yleisjärjestelykuvassa 2, on yleinen FINNFELLOWin ikäisissä jäävahvistetuissa aluksissa (rakennusvuosi 1973).

Yliperämies ja konepäällikkö ryhtyivät heti karilleajon jälkeen selvittämään FINNFELLOWin vaurioita. Yliperämies oli ollut nukkumassa karilleajon tapahtuessa, mihin hän kuitenkin heräsi. Käytyään komentosillalla ja ilmoitettuaan siellä päällikölle lähdistään vaurioita tarkastamaan hän meni lastitoimistoon, jossa on aluksen painolastimittarit.

Pursimies oli juuri merkinnyt mittareihin punaisella tussilla painolastitankkien pinnankorkeuden karilleajohetkellä. Seurattuaan noin 15 minuuttia tankkien tilannetta voitiin todeta seuraavaa keulatankkien osalta:

- tankki n:o 2 oli tyhjä aiemman 110 tonnin sijasta,
- tankki n:o 3 oli täynnä (normaalitila),
- tankin n:o 4 vedenpinta alkoi nousta hitaasti (80 tonnia/10 min).

Konehuoneessa peilattiin välittömästi siellä olevat tankit, joiden todettiin olevan ehjät. Myöskään konehuoneessa ei ollut vuotoja. Potkuriakselien kytkimet aukaistiin klo 02:40 ja pääkoneet pysäytettiin klo 02:45.

Konepäällikkö tuli kansitoimistoon ja yhdessä yliperämiehen kanssa he tarkistivat alaruumat 1 ja 2, joissa ei tässä vaiheessa havaittu vuotoja. Autokannen kautta he siirtyivät

keulaan ja tarkastivat keulapotkurihuoneen, jossa vettä oli noin 1.5 metrin korkeudella. Keulapotkurihuoneessa ja tankki n:o 4:ssä ei vesi enää tästä voinut nousta, koska keula oli karilleajossa noussut ylös (ks. kuva 5). Kaikki tiedot vaurioista välitettiin komentosillalle sitä mukaan, kun niitä saatiin.

Yliperämies ja puosu peilasivat tämän jälkeen kaikki em. tankit. Kun nyt uudemman keran mentiin alaruumaan n:o 1, havaittiin vettä sen pohjalla. Näiden tarkastusten aikana ei havaittu mitään ääniä tai aluksen liikkumista. Lasti ei ollut liikkunut karilleajossa.

Käsipeilausten jälkeen yliperämies teki Onboard NAPA -vakavuuslaskentaohjelmalla vuotovakavuuslaskelmat. Aluksen irrotuksen yhteydessä näitä vakavuuslaskelmia tehtiin uudestaan.

Päällikkö totesi vaurioryhmän ja PV 220:n selvitysten jälkeen, ettei vaaraa uppoamisesta eikä ympäristöriskistä ei ollut. MRCC siirsi johtovastuun alukselle tulleelle merenkulun tarkastajalle aamulla klo 07:40.

**Aluksen pelastaminen.** Partiovene PV 220 teki FINNFELLOWin ympärillä luotauksia ja luki aluksen syväydet. TURSAKSEN sukeltajat tarkastivat vaurioita heti vartiolaivan paikalle saapumisen jälkeen. He eivät havainneet aluksen pohjassa reikiä, mutta selvittivät aluksen keulan olevan karilla kaariin 125-132 saakka.

Ensimmäinen hinaaja saapui paikalle samana päivänä klo 16:25. Pelastussopimus tehtiin samana iltana ja pelastusyhtiön käytössä olleet hinaajat EMIL, LENNE ja TEKLA sekä proomu MURSU saapuivat FINNFELLOWin luo tiistaina 04.04. aamuyöllä. Seuraavana iltana 14 rekkaa siirrettiin MURSUun. Jäljellä oleva lasti siirrettiin aluksen peräosaan seuraavan yön aikana.

FINNFELLOWin irrotus kahden hinaajan ja aluksen omien koneiden avulla aloitettiin 05.04. klo 09:48. Irti karilta alus saatiin klo 11:20, minkä jälkeen alus ankkuroitiin.

Aluksen vauriot tarkastettiin sukeltamalla samana iltana, minkä jälkeen siirryttiin omilla koneilla ensin Naantaliin ja lasti purkamisen jälkeen Turkuun korjaustelakalle.

## 1.4 Onnettomuustutkinta

### 1.4.1 Tutkinnan aloittaminen ja tutkintalautakunnan asettaminen

Onnettomuustutkintakeskuksen päivystäjä sai asiasta tiedon MRCC:ltä Turusta heti karilleajon jälkeen 02.04.2000 klo 03:00. Päivystäjä teki tämän jälkeen ilmoituksen vesiliikenneonnettomuuksien johtavalle tutkijalle. Tilannetta seurattiin yöllä ja seuraavana päivänä olemalla yhteydessä MRCC:hen ja varustamon turvallisuuspäällikköön.

Onnettomuustutkintakeskus päätti 03.04.2000 asettaa tutkintalautakunnan. Lautakunnan puheenjohtajaksi määrättiin johtava tutkija Martti **Heikkilä** Onnettomuustutkintakeskuksesta sekä lautakunnan jäseniksi suostumuksensa mukaisesti DI Heikki **Tissari**



Kværner Masa Yardsilta ja merikapteeni Per-Olof **Karlsson** Yrkeshögskola Sydvästistä. Lautakunnan asiantuntijana on toiminut merikapteeni Kari **Larjo**.

Tutkijat kävivät aluksella sen ollessa vielä karilla 05.04.2000. Tässä yhteydessä kuultiin aluksen päällikköä sekä komentosiltavahdissa olleita. Aluksen päällikkö antoi meriselityksen onnettomuuden johdosta Turun käräjäoikeudelle 16.05.2000. Tutkintalautakunta hankki käyttöönsä meriselityksiäkirjat.

#### 1.4.2 Onnettomuustutkinnassa tehdyt erityistarkastelut

Onnettomuustutkinta edistyi nopeasti, koska aluksen eri navigointilaitteista saatiin tutkinnalle oleellista sähköisesti rekisteröityä tietoa. Rekisteröidyn datan pohjalta tehtyjen selvitysten avulla pystyttiin muutamassa viikossa varmistamaan aluksen navigointijärjestelmän tekninen toiminta ja hyrräkompassivian osuus karilleajoon. Taustalla olleen hyrräkompassivian selvittäminen vei sen sijaan huomattavasti pidemmän ajan. Onnettomuustutkintaan liittyvät tekniset selvitykset tehtiin tiiviissä yhteistyössä FINNFELLOWin varustamon FG-Shipping Oy Ab:n kanssa.

**Rekisteröintidata laivalta.** Alukselta saatu sähköisesti rekisteröity data oli: aluksen kulukema rata, nopeus ja suuntakulma, jotka rekisteröityivät elektroniseen karttaan sekä hyrräjärjestelmän rekisteröimät vikatilanteet ja hälytykset.

**Aluksen laitteiden alustava tutkinta laivalla.** Hyrräjärjestelmän kokoonpano, asennus ja liitännät sekä laitteissa olleet hälytys- ja virheloki selvitettiin aluksella sen jälkeen, kun se oli irrotettu karilta ja siirretty Turun korjaustelakalle. Tutkinnan asiantuntijana selvityksessä oli Instrumentointi Oy. Lisäksi paikalla oli hyrrän valmistajan edustaja. Näiden tutkimusten jälkeen hyrrä ja sen ohjauksikkö siirrettiin Instrumentointi Oy:n toimitiloihin Tampereelle jatkotutkimuksia varten.

**Autopilotin tutkinta ja simuloinnit..** Autopilotin toimintaa selvitettiin VTT Valmistustekniikan simulaattorissa Espoon Otaniemessä samoin rekonstruointiin karilleajo ja aluksen ohjailukäyttäytyminen onnettomuuden kaltaisessa vikatilanteessa. VTT:n simulaattorissa on täsmälleen samanlainen integroitu navigointijärjestelmä kuin FINNFELLOWissa.

Tässä autopilotin toiminnan tutkinnassa ja karilleajon rekonstruoinnissa aluksella rekisteröidyt liiketilaa koskevat tiedot olivat avainasemassa. Simulco Oy rekonstruoi tämän pohjalta simulaattoriin rekisteröintitiedoston, jonka pohjalta voitiin analysoida integroidun navigointijärjestelmän näyttöjä ennen karilleajoa.

Simulaattorissa selvitettiin myös, millainen korjausmanööveri olisi ollut mahdollinen hyrrän jumiuduttua. Aluksen päällikkö sekä komentosillan vahtihenkilöstö kutsuttiin simulaattoriin 02.05.2000 ja heidän kanssaan käytiin läpi onnettomuustapahtumat.

**Hyrräkompassin tutkinta.** Elektronisen kartan rekisteröimä kompassisuunta johdatti tutkinnan toiseen pääsuuntaan eli hyrräkompassiasennuksen ja kompassin toiminnan selvittämiseen. Onnettomuushetkellä käytössä ollut hyrräkompassi ja sen keskusyksikkö

testattiin Instrumentointi Oy:ssä Tampereella. Näissä tutkimuksissa hyrräjärjestelmälle tehtiin lämpö- ja värinätestejä sekä erilaisia sähköisiä häiriötestejä.

Lisäksi vuoden 2000 syksyllä laitevalmistaja teki samanlaiselle kompassijärjestelmälle sähköisiä häiriötestejä tehtaallaan Kielissä Saksassa. Tutkintalautakunta vieraili tehtaalla joulukuussa 2000. Vierailun yhteydessä lautakunnan jäsenet keskustelivat laitevalmistajan asiantuntijoiden kanssa hyrrän vikaantumisen mahdollisista syistä ja seurasivat kompassijärjestelmälle radiotaajuisilla häiriöillä tehtyjä testejä.

#### **1.4.3 Merenkululaitokselle tehty turvallisuusilmoitus**

Tutkintalautakunta lähetti 10.10.2000 merenkululaitokselle ja hyrrämerkin maahan-tuojalle ilmoituksen havaitsemastaan vakavasta hyrräjärjestelmän ongelmasta ms FINNFELLOWin karilleajon yhteydessä. Tässä turvallisuusilmoituksessa ehdotettiin hyrrien ohjelmaversioiden tarkistamista ja päivittämistä.

#### **1.4.4 Tutkintaselostusta koskevat lausunnot**

Tutkintaselostuksen luonnos lähetettiin onnettomuustutkinta-asetuksen 24 §:n mukaista lausuntoa varten Merenkululaitoksen merenkulkuosastoon. Mahdollisia kommentteja varten tutkintaselostus lähetettiin myös FINNFELLOWin päällikölle, vahtipäällikölle ja linjaluotsille sekä aluksen varustamoon, Turun meripelastuskeskukseen, Saaristomeren liikenteenohjauskeskukseen, Saaristomeren merenkulkupiiriin, AT-Marine Oy:hyn ja Polartec Oy:hyn. Kahden viimeksi mainitun kautta tutkintaselostuksen englanninkielinen versio lähetettiin kommentteja varten hyrräkompassin valmistajalle Raytheon Marine GmbH:lle ja integroidun navigointijärjestelmän valmistajalle SAM Electronics GmbH:ille.

Onnettomuustutkintakeskus sai suosituksista lausunnon Merenkululaitoksen merenkulkuosastolta. Kommentteja tutkintaselostuksesta saatiin aluksen vahtipäälliköltä ja varustamosta sekä molemmilta laitevalmistajilta. Tutkintalautakunta on hyväksynyt osan kommentteista ja tekstiä on tarkennettu niiden perusteella. Vahtipäälliköltä saatiin myös lista FINNFELLOWin hyrräkompassijärjestelmässä havaituista vioista ja tehdyistä huolloista. Merenkulkuosaston ja laitevalmistajien lausunnot ovat tutkintaselostuksen liitteenä.



## 2 ANALYYSI

M/S FINNFELLOWilla oli Advanced Navigation Software (ANS) tutkakartta- ja reitti-suunnitelmaohjelma, jolla satelliittinavigaattorin tiedot ja hyrräkompassin lukeman tallennettiin (Liite 1). Se oli onnettomuuden rekonstruoinnin kannalta ratkaiseva.

ANS-ohjelma tallensi seuraavat tiedot joka toinen sekunti:

- UTC aika,
- Latitudi ja longitudi kolmen desimaalin tarkkuudella, Satelliitivastaanottoimeen oli liitetty differentiaalikorjaaja (DGPS), jolla paikanmäärittelyn tarkkuus oli muutama metri.
- Nopeus pohjan suhteen (Speed Over Ground, SOG),
- Suunta pohjan suhteen (Course Over Ground, COG),
- Hyrräkompassin suunta (Heading, HDG),
- Aluksen sorto eli hyrräkompassin suunnan ja pohjan suhteen mitatun liikkeen ero (HDG - COG).

Rekisteröinti ei selvittänyt onnettomuuskäännöstä kokonaisuudessaan, koska kompassi oli osan aikaa toimintakyvytön. Simulco Oy rekonstruoi tutkintalautakunnan toimeksiantosta kompassilukemat ajalle, jolloin kompassisuunta oli jumiutunut (Liite 2).

VTT Valmistustekniikan ATLAS NACOS -simulaattorissa Espoossa testattiin kaksi viikkoa onnettomuuden jälkeen NACOS-autopilotin toimintaa. Simulointitilaisuudessa oli paikalla varustamon sekä navigointijärjestelmän ja kompassijärjestelmän toimittajien edustajat. Simuloinneilla todettiin autopilotin ohjaavan aluksen Bockholmenin pohjoisrantaan onnettomuustilanteessa eli suuntasignaalin jumiutuessa Skarpskärin käännöksen lopussa.

Aluksen rekisteröidystä radasta ja korjatusta kompassisuunnasta rekonstruointiin onnettomuustilanne VTT:n simulaattoriin. Aluksen päällystö tutustui rekonstruointiin ja totesi sen vastaavan onnettomuustilannetta. ANS rekisterin ja ATLAS NACOS simulaattorin avulla päästiin hyvin lähelle onnettomuustilannetta.

### 2.1 Aluksen navigointi- ja ohjailulaitteet

#### 2.1.1 Aluksen integroitu navigointijärjestelmä ja komentosillan laitejärjestely

**Komentosillan laitejärjestely.** Komentosillan etuseinälle asennettiin pitkä suora laitepulpetti aluksen rakennusvaiheessa vuonna 1973 (kuvat 7 ja 8). Aluksen keskilinjalla on konekäskynvälitin, kaikuluoti, painelokin näyttö. Konsolin vasemmalla puolella on navigoinnin ja ohjailun kannalta vähemmän tärkeitä laitteita. Aluksen keskilinjalla oli ruorimiehen pylväs, jossa oli hyrräkompassin näyttölaite, peräsinkulman osoitin ja peräsin-koneeseen liittyvät hälytykset.

Etuseinän pulpetin oikealle puolelle asennettiin vuonna 1997 ATLAS NACOS 25-2 integroitu navigointijärjestelmä. Yksi tutkan näyttölaite asennettiin pulpetin vasempaan päähän. Keskilinjän oikealle puolelle asennettiin kaksi tutkaa ja autopilotin näyttö niiden väliin (kuva 3). NACOS järjestelmän laitekaavio on esitetty kuvassa 6.

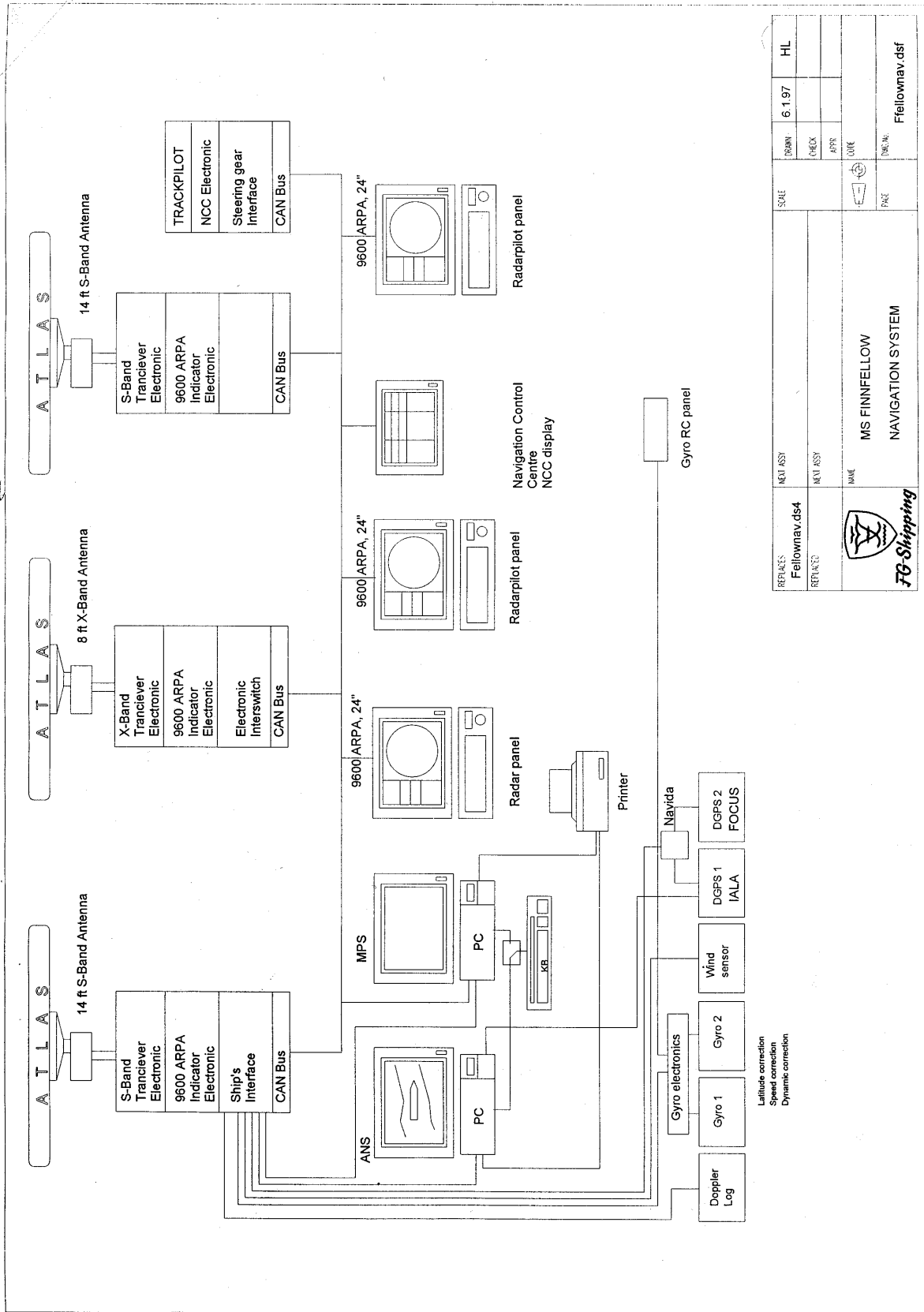
**Integroidun navigointijärjestelmän kuvaus.** FINNFELLOWin navigointijärjestelmään oli kytketty kaksi satelliitivastaanotinta, tuulimittari, kaksiakselinen pohjan suhteen mittaava doppler loki ja kaksi hyrräkompassia. Asennuksessa oli pyritty takaamaan, ettei yhden kompassin häiriötilanne vaaranna turvallista navigointia.

NACOS järjestelmään ohjelmoidaan matalan veden raja murtoviivoina. Merimerkit ja tutkassa näkyvät kohteet ohjelmoidaan symboleina. Luotsattavat reitit, jotka koostuvat suorista osuuksista, kaarteista ja reittiin liittyvistä vakiorutiineista, tallennetaan tiedostoiksi. Satelliittipaikannuksen avulla symboleista ja viivoista muodostettu kartta asetetaan tutkan kuvaputkella tutkamaalien päälle muutaman metrin tarkkuudella. Kartta asetettu näytölle maantieteellisesti oikealle pohjoissuunnalle.

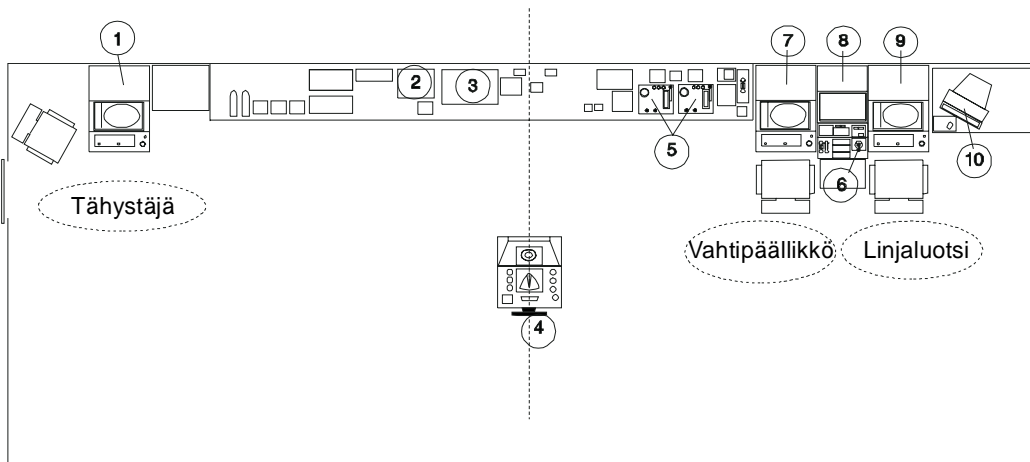
Tutkan mittaamat kaiut asettuvat kuvaputkelle suhteellisesti keulaviivasta mitattuna. Keulaviivan suunta saadaan hyrräkompassista, jonka mittaamassa suunnassa on virhettä. Hyrräkompassin virhe aiheuttaa sen, että suhteelliseen mittaukseen perustuvat tutkakaiut ja satelliittinavigointiin perustuvan maantieteellisen koordinaatiston symbolikartta eivät asetu kuvaruudulla toistensa päälle kuten tarkoitus on. Kompassin virhe saattaa olla  $\pm 2,5^\circ$  (ks. kohta 2.1.2). Hyrräkompassi on integroidun navigoinnin epätarkin sensori. Kompassivirheen korjaaminen on integroidun navigoinnin kannalta ehdoton edellytys. Virhe aiheutuu nykyisten merenkulun hyrräkompassien pohjoiseen hakeutuvan järjestelmän toimintaperiaatteesta. Tämä toimintaperiaate on sama kaikilla laitevalmistajilla ja perustuu IMO:n sääntöihin. Anshütz yhtiö on kehittänyt vuonna 1990 nk. ballistisen korjaimen, jonka ansiosta virhe on vain noin  $0,6^\circ$ . Tällaisella kompassitarkkuudella tutkamaalit ja tutkakartta pysyvät päällekkäin.

Kompassin luotettavuus on tärkeä, koska NACOS-järjestelmä integroi kulmanopeuden kompassista. Autopilotti sovittaa käännöstä toteuttaessaan kulmanopeuden sellaiseksi, että kulmanopeuden ja aluksen nopeuden välinen suhde vastaa reittisuunnitelman kääntösädettä. Kompassihäiriöillä olisi välitön vaikutus peräsimen ohjaukseen.

ATLAS NACOS 25-2 järjestelmään ohjelmoidaan noin 400 kerrointa eli parametria, eli jokainen asennus on yksilöllinen. Kertoimet liittyvät autopilottiin, automaattiseen nopeudensäätäjään ja tapaan, jolla tiedot esitetään kuvaruuduilla.



Kuva 6 NACOS-järjestelmän kuvaus (sisältäen liitännät kompassiin)



1. ATLAS NACOS 9600 ARPA tutka, johon ei ollut liitetty automaattiohjausta.
2. Talk-Back käskynvälitin.
3. SIMRAD kaikuluodin piirturi.
4. Ruorimiehen ohjauspöytä.
5. KaMeWa potkurien nousujen ja kierroslukujen säätö.
6. Matka ohjaus eli Follow-Up (FU) ruorivipu.
7. ATLAS NACOS 9600 ARPA tutka, johon oli liitetty automaattiohjaus.
8. ATLAS autopilotin näyttöruutu, Navigation Command Console (NCC).
9. ATLAS NACOS 9600 ARPA tutka, johon oli liitetty automaattiohjaus.
10. Navigointitietokone, Advanced Navigation Software (ANS).

Kuva 7 FINNFELLOWin komentosillan laitepiirros



Kuva 8 FINNFELLOWin komentosilta

**Autopilotin ohjailumoodit.** NACOS autopilotin tyyppinimi on TRACKPILOT. Sen ohjailumoodit ovat automaattinen reittiohjaus, automaattinen sarron korjaus ja konventionaalinen automaattiohjaus.

TRACK MODE ohjaa alusta automaattisesti reittisuunnitelman mukaan. Tämä ohjailutapa on erittäin hyvä pitkällä suorilla kapeilla väyläosuuksilla. Luotsi tai perämies kuittaa kääntymisluvan 30 sekuntia ennen jokaisen käännöksen alkua ja autopilotti aloittaa käännöksen reittisuunnitelman mukaan. Tämä asettaa suuret vaatimukset paikanmäärittämiselle. Kaikki paikanmäärittäykseen ja kaksiakseliseen doppler-lokiin liittyvät hälytykset on huomioitava ohjailussa.

COURSE MODE ei ole riippuvainen paikanmäärityslaitteesta. Autopilotti ottaa reittitiedostosta seuraavan kaarteeseen ja uuden suunnan. Tutkalla alus työntää kaarevaa rataa edellään. Navigaattori päättää itse käännöskäskyn. TAKE OVER käskyllä kaarre lukkiutuu paikalleen tutkan kuvaputkella ja automaatti ohjaa pitkin sitä käyttäen hyväksien kulmanopeutta, doppler lokista saatavaa pitkittäis- ja poikittaisnopeutta sekä korjaa aluksen aseman radalle. Tämä ohjailutapa antaa navigaattorille vapauden sovittaa käännös väylälle haluamallaan tavalla. Autopilotti säilyttää silti ominaisuutensa ohjata kaarteessa pitkin ennalta ohjelmoitua rataa maantieteellisesti oikein. Course mode - ohjailun heikoin lenkki on doppler lokin sivukeilaan liittyvät häiriöt, mutta niistä tulee hälytys.

HEADING MODE on NACOS automaattiohjauksen matalin automaatiikkataso. Se käyttää vain doppler lokin kolin suuntaista komponenttia. Käännöskomento käyttää kääntöympyrän sädettä, mutta autopilotti ei korjaa aluksen asemaa takaisin kaarteelle jos siitä on poikettu. Navigaattorin on korjattava poikkeumat itse. Autopilotti ohjaa laskennallista ympyrän kaarta. Autopilotilla ei ole maantieteellistä kytkentää. HEADING MODEn etu on sen tekninen varmuus, koska satelliitti paikanmäärityksen ja doppler lokin hälytykset ja häiriöt eivät häiritse ohjailua. Tästä syystä HEADING MODE on luotsaustilanteessa hyvin suosittu. FINNFELLOWin karilleajon yhteydessä käytössä oli juuri HEADING MODE. **Kompassin luotettavuudella on ratkaiseva osuus kaikissa ohjailumodeissa.**



Kuva 9. Automaattiohjauksen HEADING MODE ruutu (NCC).

ATLAS Navigointijärjestelmän oikealla puolella FINNFELLOWilla oli navigointitietokone Advanced Navigation System (ANS), joka esittää aluksen paikan elektronisella kartalla. Kartalla näkyy sama reittisuunnitelma kuin tutkalla, sekä aluksen liiketilan ennuste eli aluksen tuleva sijainti. ANS ohjelmaa käytetään myös tutkalla näytettävien symbolikarttojen päivittämiseen ja testaamiseen simuloimalla. ANS rekisteröi aluksen kulkeman radan.

**Yhtiön ohjeistus ohjausjärjestelmästä ja päällystön koulutus.** Ennen järjestelmän käyttöönottoa päällystö koulutettiin käyttämään ATLAS NACOS 25-2 järjestelmää. Koulutus käsitti aluksi kahden päivän teoriakoulutuksen. Koulutus jatkui kahden päivän simulaattorikoulutuksena. Simulaattorissa ryhmä oli jaettu kolmeen osaan, jolloin yksi ryhmä toimi simulaattorissa, toinen ryhmä sai koulutusta ANS ohjelman käytössä ja kolmas ryhmä keskittyi sääntöpohjaisiin työtapoihin eli 'proseduureihin' sekä monitorointiin. Yhtiöllä oli ISM koodin perusteella luotsausta koskevat ohjeet, jossa edellytettiin reittisuunnittelua ja luotsauksen monitorointia.

**Yhteenvetona** voidaan todeta, että komentosiltajärjestely ja yhtiön ohjeistus tarjosivat hyvät edellytykset luotsaukselle.

## 2.1.2 Ohjailulaitteita ja niiden käyttöä koskevat määräykset ja käyttökokemukset

IMO esitti **automaattiohjauksen tekniset vaatimukset** ensi kerran vuonna 1975<sup>1</sup>. Päätöslauselma uusittiin 1996<sup>2</sup>, siihen ei tehty teknisiä muutoksia. Lisäykset koskivat ergonomisia seikkoja laitteen käytössä. Uuden päätöslauselman mukaan automaattiohjauksen on pystyttävä suorittamaan käännökset joko kääntöympyrän säteellä tai vakio- kulmanopeudella. Tällä perusteella nykyisillä autopiloteilla voi käännöksen tehdä ennalta suunnitellun kääntöympyrän säteen mukaisesti. Saman päätöslauselman mukaan automaatin on otettava sen hetkinen kompassisuunta ohjauskäskyksi, kun se kytketään päälle. NACOS TRACKPILOT täyttää päätöslauselman vaatimukset. Automaattisen reittiohjauksen yleiset vaatimukset esitettiin ensi kerran vuonna 1998<sup>3</sup>.

**Hyrräkompassin tekniset vaatimukset** esitettiin vuonna 1979. Aluksen ollessa kulusa, tarkkuuden tulee pysyä latitudilla 60° seuraavissa rajoissa:

Säännön kohta	Virheen laatu Performance standards for Gyro-Compasses Res. A.424 (XI), Nov. 1979.	Sallittu virhe latitudilla 60°
5.2.2.	Sallittu 'settle point error' on $\pm 1^\circ \times$ sekantti latitudi	$\pm 2,0^\circ$
5.2.3.1	Suunnan muutoksen vaikutus 20 solmun nopeudella ei saa olla suurempi kuin $\pm 0,25^\circ \times$ sekantti latitudi sen jälkeen virhe on korjattu	$\pm 0,5^\circ$
5.2.3.2	Sallittu virhe äkkinäisen 20 solmun nopeuden muutoksen jälkeen	$\pm 2,0^\circ$
5.2.3.3	Sallittu virhe 180° suunnan muutoksen jälkeen nopeuden ollessa 20 solmua	$\pm 3,0^\circ$
5.2.3.4	Virhe ei saa ylittää $\pm 1^\circ \times$ sekantti latitudi aluksen ollessa harmonisessa liikkeessä aallokossa	$\pm 2,0^\circ$
5.2.4	Pääkompassin suunnan ja tytärkompassien sallittu ero	$\pm 0,5^\circ$

<sup>1</sup> Res. A.342 (IX), 1975.

<sup>2</sup> Res. MSC.64(67). Dec. 1996.

<sup>3</sup> Res. MSC.74(69), Annex 2. May 1998.





Hyrräkompassin oppikirjat eivät tunne 'settle point' virhettä. Yleisesti käytetty oppikirja selvittää, että 'settle level' on pohjoisilla latitudeilla horisontin yläpuolella oleva taso, johon hyrrän akseli asettuu. 'Settle point error' on horisontin tasossa, mutta se korjataan kompassin vaimennuksella<sup>4</sup>. Päätöslauselman mukaan virhettä saa olla kaksi astetta (säännön kohta 5.2.2).

Aluksen ohjailuliikkeiden aiheuttama ballistinen virhe aiheuttaa parin asteen virheen käännöksessä matalallakin kulmanopeudella, mutta sääntö sallii vain puolen asteen virheen (säännön kohta 5.2.3.1). Toisaalta säännöt sallivat rajuille ohjailuliikkeitä suuret virheet (säännön kohdat 5.2.3.2 ja 5.2.3.3).

Aallokön aiheuttama virhe ei vaikuta luotsauksessa (säännön kohta 5.2.3.4). Pääkompassin ja tytätkompassien välistä eroa (säännön kohta 5.2.4) ei ole digitaalisessa kompassissa.

Käytännön arvio säännön asettamasta vaatimuksesta normaaliolosuhteissa luotsauksen aikana on  $\pm 2,5^\circ$ . Integroidussa navigoinnissa tarkkuuden tulisi olla alle asteen. ANSCHÜTZ STD 20 kompassin tarkkuus on alle asteen ballistisen korjaajan ansiosta. Tarkkuus ylittää IMO:n vaatimukset moninkertaisesti.

Samassa päätöslauselmassa<sup>5</sup> edellytetään myös, että hyrräkompassi on suojattava sähkömagneettisilta häiriöiltä niin hyvin kuin se on käytännössä mahdollista. Mitään raja-arvoja ei kuitenkaan ole määritelty.

FINNFELLOWin navigointilaitteet täyttivät SOLAS-sopimuksen V-luvun vaatimukset. Aluksella tulee olla yksi magneetikompassi ja yksi hyrräkompassi<sup>6</sup>.

**Autopilotin käyttöön liittyvät määräykset** on esitetty sopimuksessa ihmishengen turvaamisesta merellä. Kommentosillan työjärjestelyssä tulee ottaa huomioon, että tarvittaessa voidaan nopeasti siirtyä käsiohjaukseen<sup>7</sup>. Lisäksi vaaditaan käsi- ja hätäohjauksen säännöllinen kokeilu. Nämä säännöt täytettiin yhtiön ISM-koodissa.

**Käsiohjauksessa** navigointijärjestelmä ei voi näyttää tulevaa kaarretta, mutta reittisuunnitelma voidaan aina pitää näkyvässä. Autopilotin tapaa ohjata pitkin kaarteita voidaan noudattaa liiketilan ennusteella, jota ATLAS NACOS järjestelmässä kutsutaan PREDICTORiksi. Prediktorin avulla peräsinkulma voidaan asettaa siten, että aluksen toivottu asema väylällä saavutetaan. Sen avulla suodatetaan käsiohjauksen virheelliset peräsinkulmat ja ennakoitua peräsinkulman vaikutusta aluksen liikkeisiin. Täten käsiohjauksella saavutetaan kapeilla väylän osuuksilla automaattiohjausta parempi tarkkuus, koska navigaattori voi soveltaa ohjaukseen omaa kokemustaan.

<sup>4</sup> Grant & Klinkert 1970, sivu 399.

<sup>5</sup> Res. A.424 (XI), Nov. 1979, parag. 7.1: 'All steps should be taken to eliminate as far as practicable the causes of, and to suppress, electromagnetic interference between the gyro-compass and other equipment on board.'

<sup>6</sup> IMO:n päätöslauselmassa MSC.64(67) on vaatimus ohjausjärjestelmään liitettävästä suuntatiedon erillisestä tarkistamisesta riippumattoman suuntatiedon avulla. Tämä pätee 1.1.1999 jälkeen asennettuihin ohjausjärjestelmiin. FINNFELLOWin integroitu navigointijärjestelmä oli asennettu vuonna 1997.

<sup>7</sup> SOLAS Consolidated Edition 1997, Capt. V, Reg 19.

FINNFELLOWilla oli ohjailulaitteiden puolesta hyvät edellytykset luotsaukselle.

### 2.1.3 Kuvaus ms FINNFELLOWin hyrräkompassijärjestelmästä

**Anschütz hyrräkompassin historia.** Hyrräkompassin keksijä oli tohtori Herman Anschütz-Kaempfe. Hän patentoi hyrräkompassin vuonna 1904. Ensimmäisessä sovelluksessa oli vain yksi hyrrä. Anschütz-yhtiö perustettiin vuonna 1905<sup>8</sup>. Fyysikko Max Schuler keksi hyrrän pohjoiseen hakeutuvan menetelmän vuonna 1911. Kompassissa oli vuonna 1912 kolme hyrrää<sup>9</sup>. Päähyrrä osoitti pohjoiseen ja apuhyrrät olivat suunnilla 330° ja 030°.

Vuonna 1922 tehtiin lopulliset tekniset päätökset ja päädyttiin kahteen hyrrään, jotka olivat levossa 90° toisiaan vasten. Pallo, jossa hyrrät olivat (hyrräpallo), kellui ulomman pallon sisällä. Ulommasta pallosta oli mekaaninen yhteys kompassikaappiin. Kompassin pohjoiseen kääntävä vaimennus- eli painojärjestelmä sijoitettiin hyrräpallon sisään. Herman Anschützin kanssa ystäväystynyt fyysikko Albert Einstein suunnitteli hyrräpalloon käämin, jonka avulla hyrräpallon asento voitiin lukea ja kääntää ulkopallo samaan suuntaan kuin täysin vapaasti kelluva hyrräpallo<sup>10</sup>. Hyrräpallo kääntyi kammiossa pohjoissuunnalle ja ulkopallo käännettiin askelmoottorilla samaan suuntaan, jonka jälkeen kompassisuunnan pystyi lukemaan ulkopallon asennosta. Vuoden 1925 Anschütz Standard I kompassi oli kolmen kuuluisan tiedemiehen saavutus. Se on säilynyt teknisiltä ratkaisuiltaan saman kaltaisena meidän päiviimme saakka.

Toisen maailmansodan jälkeen tuotanto käynnistyi toden teolla vasta vuonna 1954<sup>11</sup>, jolloin markkinoille tulivat Anschütz Standard 3 ja 4 kompassit. Standard 4 tuli kuuluisaksi toimintavarmuudestaan, jonka edellytyksenä oli, että vuosihuolto tehtiin säännöllisesti. Hyrräpallon ikä oli 3 - 7 vuotta, joten sen vaihto oli myös ennustettavissa.

Anschütz Standard 20 (STD 20) tuli markkinoille vuonna 1994. Hyrräpallon koko pieneäni, mutta sen toimintaperiaate säilyi samana.

Hyrräkompassien tarkkuusvaatimusten kiristyessä, juuri Anschütz teki ballistisen virheen korjaajan, joka mahdollisti integroidun navigoinnin. Aluksi Nautocourse Plus korjaajaa myytiin erillisenä. Se liitettiin myöhemmin 'Standard 20' kompassin vakiovarustukseen.

**Anschütz Standard 20 hyrräkompassin tekninen kuvaus.** FINNFELLOWin kompassisysteemi koostui kahdesta Standard 20 tyyppisestä hyrräkompassista, keskusyksiköstä (control unit), tytätkompassista (repeaters) ja laivan kulmanopeuden (rate of turn) osoittimesta.

Seuraavassa kuvataan lyhyesti Standard 20 hyrräkompassin toimintaperiaate.

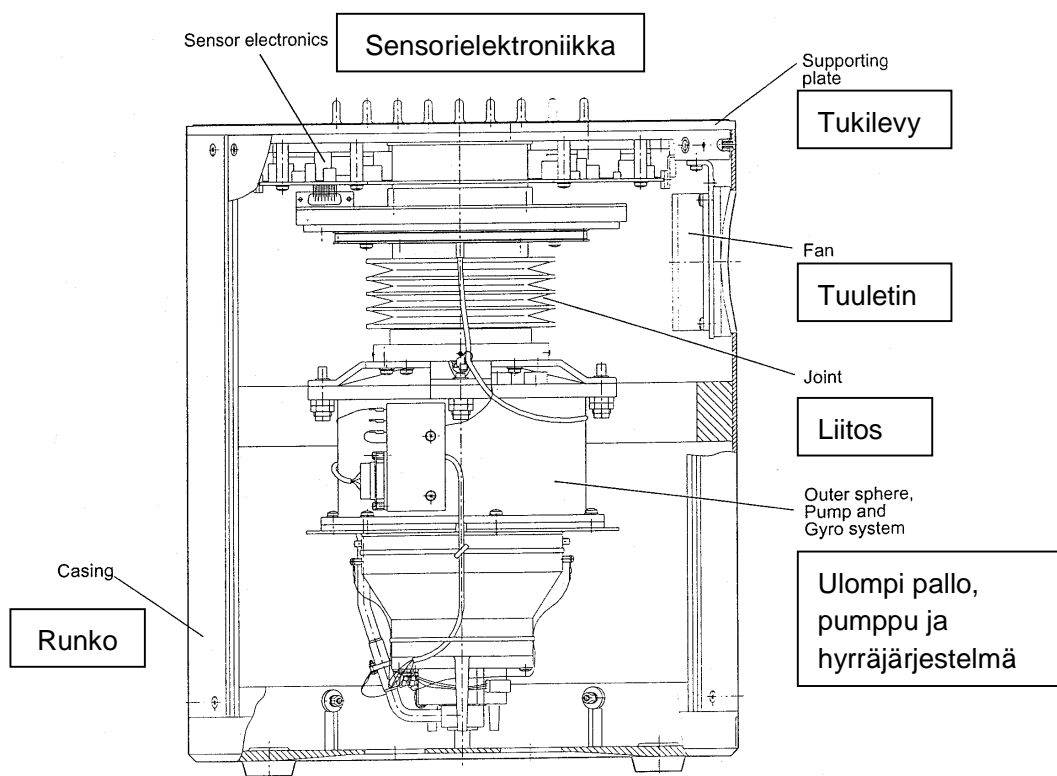
<sup>8</sup> Lohmeier ja Schell, 1992. s. 103

<sup>9</sup> Lohmeier ja Schell, 1992. s. 23.

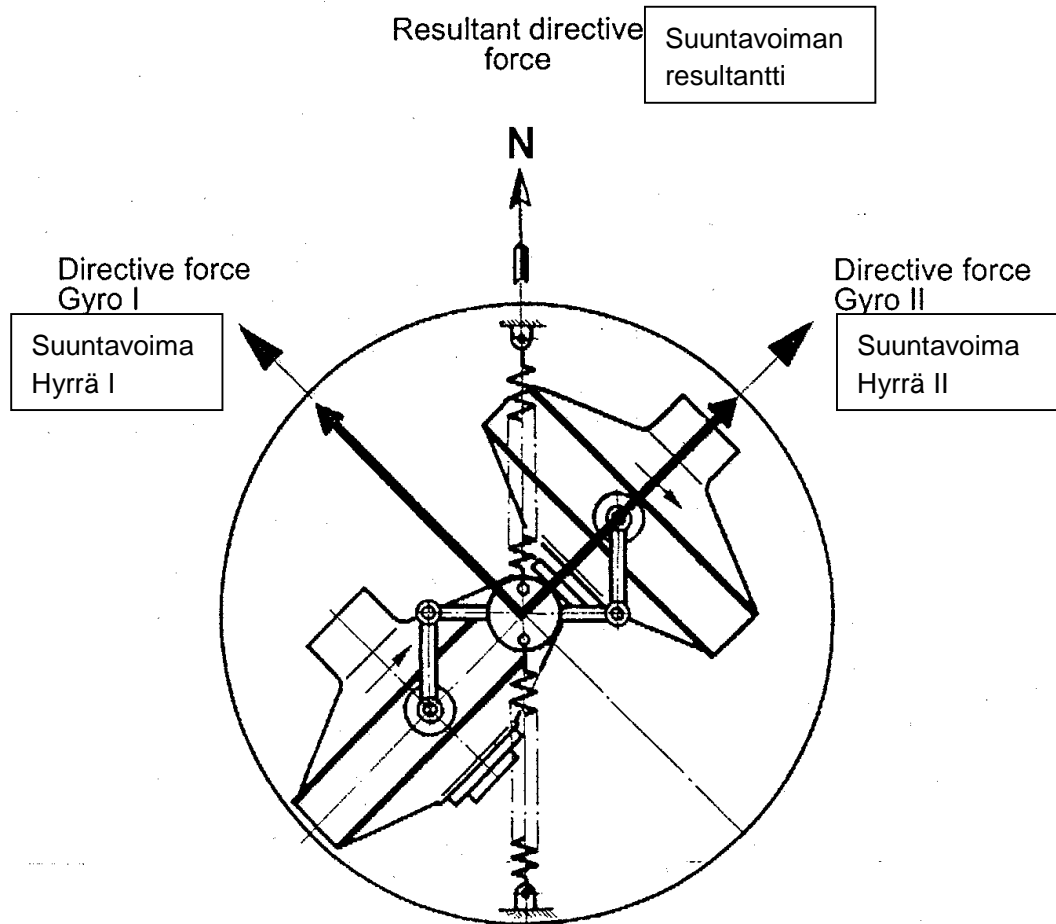
<sup>10</sup> Lohmeier ja Schell, 1992. s. 178, 205.

Grant ja Klinkert 1970. s. 426.

<sup>11</sup> Raytheon Marine GmbH, Compass Digest ja Bernhardt Schellin haastattelu joulukuussa 2000.



Kuva 10 Hyrräkompassin osat.



Kuva 11 Hyrräpallon periaatekuva.

Kuvassa 10 on esitetty hyrräkompassin keskeisimmät osat.

Toiminnassa oleva hyrräpallo kelluu vapaasti nesteessä ulkopallon sisällä. Hyrräpallo muodostaa pohjoista indikoivan systeemin, jonka periaate on esitetty kuvassa 11.

Kaasutiiviin hyrräpallon sisälle on asennettu kaksi sähkökäyttöistä hyrrää. Maapallon pyörimisen ja gravitaatiovoiman yhteisvaikutus aiheuttaa voiman, joka asettaa hyrräpallon maantieteelliselle pohjois-etelä -suunnalle. Kun hyrräpallo kytketään toimintaan alkavat hyrräpallon hyrrien roottorit pyöriä ja hyrräpallon suunta hakeutuu vaimenevasti heilahdellen pohjois-etelä suuntaan (prekessioliike). Hyrräpallon suunnan tasaantumisaika on noin kolme tuntia.

Hyrräkompassin ohjauselektronikka ajaa ulkopallon askelmoottorin avulla samaan suuntaan hyrräpallon kanssa, jos kompassin suuntaseuranta on päällä. Laivan kulkuun mitataan ulkopallon suunnasta. Keskusyksikkö käsittelee mittaustiedot ja lähettää suuntatiedon laivan navigointijärjestelmään kuuluville laitteille. Ulkopallo on kotoitettu siten, että käyttäjä ei voi nähdä sen suuntaa.

Hyrräpallon hyrrien mekaaninen asennus on suoritettu siten, ettei laivan keinunta tai jyskintä (pitkittäissuuntainen keinunta) aiheuta suuntavirhettä.

Kaikki hyrräkompassin rungon ja ulkopallon väliset sähköliitännät tapahtuvat liukurenkaiden välityksellä.

Hyrräpallo hakeutuu nesteessä aina pystyasentoon siten, että hyrrien akselit ovat vaakatasossa. Hyrräpallo on kokonaan nesteessä ja sähkösyöttö hyrräpallon hyrrille tapahtuu ulkopallosta hyrränesteen välityksellä. Ulkopallossa oleva pumppu kierrättää hyrräpallon ympäröivää hyrränestettä koko ajan. Neste pumpataan hyrräpallon alaosaan päin ja nesteen paluuvirtaus otetaan ulkopallon yläkalotista. Hyrräpallon korkeuteen ulkopallon sisällä vaikuttaa nesteen tiheys ja nestevirtaus alhaalta ylöspäin ulkopallon ja hyrräpallon välissä. Hyrränesteen tiheys ja hyrräpallon noste ovat riippuvaisia hyrränesteen lämpötilasta.

Lämmönsäätöjärjestelmä pyrkii pitämään nesteen lämpötilan välillä 48-50 °C. Lämpötilan asetusarvo on 50 °C. Lämpötila-anturi sijaitsee ulkopallossa. Lämpötila-anturin signaali on viety liukurenkaiden välityksellä hyrräkompassin rungossa sijaitsevalle elektronikkakortille (sensor electronic PCB). Lämpötilan ollessa alle 50 °C nestettä lämmitetään pulssimaisesti ja nesteen lämpötilan noustessa yli 51 °C käynnistyy hyrräkompassin puhallin alkaen jäähdyttää ulkopalloa. Mikäli nesteen lämpötila laskee alle 45 °C käynnistyy nesteen jatkuva lämmitys (HEATING), jolloin hyrräkompassin suuntaseuranta kytkeytyy pois päältä. Kannatinnesteen lämpötilan laskiessa hyrräpallon noste kasvaa ja pallo voi joutua kosketukseen ulkopallon kanssa mistä voi seurata virheitä suuntanäyttöön ja jopa pallon vioittumisen. Tämä on syy miksi suuntaseuranta kytketään pois päältä lämpötilan laskiessa alle 45 °C.

**Anschütz STD20 tyyppihyväksyntä.** FINNFELLOWissa oli asennettuna kaksi STANDARD 20 tyyppistä hyrräkompassia, joiden molempien tyyppinumero oli 110-222 ja ohjelmaversio P002E02.01. Tyyppihyväksynnän saaneen STANDARD 20 hyrräkompassin ohjelmaversio ei ole sama kuin FINNFELLOWin hyrräkompassissa.

Saksassa merenkulun laitteiden tyyppihyväksynnän suorittaa Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Tutkintalautakunnan laitevalmistajalta saamassa dokumentoinnissa on BSH:n tyyppihyväksyntä dokumentit STANDARD 20 hyrräkompassista, jonka tyyppinumero on 110-222 ja ohjelmaversio 110-222.P002E01.xx.

BSH on tyyppitestannut ja hyväksynyt STANDARD 20 hyrräkompassin seuraavat säännöt ja standardit (voimassa 1.1.1999) huomioiden:

sääntö

IMO-Resolution A.821 (19)

IMO-Resolution A.424 (XI)

testausstandardi

EN 8728

EN 60945

EN 61162-1

BSH:n tyyppihyväksyntätesteissä oli mukana hyrräkompassi (tyyppi no. 110-222), hyrrän emopiirilevyn (Sensor PCB) tyyppinumero oli 110-222.101 ja hyrräpallon tyyppinuo-

mero oli 111-006. Laitteiden tyyppinumerot vastaavat FINNFELLOWissa ollutta laitteistoa.

BSH:n tyyppi hyväksyntä sertifikaatti (no. 6297/002/99-S4211) on päivätty 14.07.1999.

BSH on suorittanut tyyppi hyväksyntätestaukset STANDARD 20 hyrräkompassille aikavälillä 20.01.1994 - 03.02.1995. Hyrräkompassi läpäisi seuraavien standardien ja sääntöjen mukaiset testit:

- ISO 8728 (elokuu 1987)
- IEC 945 (1988) / EN 60945 (1993)
- IMO-Resolution A.424 (XI)
- IMO-Resolution A.694 (17)

Testattu laitteisto läpäisi kaikki suoritettavat testit hyväksyttävästi. Testeihin kuului muun muassa elektromagneettiset häiriötestit, sähköisiä häiriötestejä ja ympäristötestejä. Testiraportissa todetaan, että elektromagneettiset häiriöt on eliminoitu.

Suoritetuissa elektromagneettisissa säteilyhäiriötesteissä oli häiriökentän voimakkuus 10V/m taajuusalueella 400KHz---300MHz ja 30V/m taajuusalueella 1,5MHz----30MHz. Maksimi häiriökentän taajuus testeissä oli siis 300MHz.

Tyyppi hyväksyntä dokumentissa mainitaan, että kaikki muutokset laitteistoon tai sen dokumentointiin on hyväksyttävä BSH:lla. Laitevalmistajalta saadun tiedon mukaan tämä ei koske vähäisiä ohjelmistomuutoksia.

**Anschütz STD20 asennusohjeet ja asennus FINNFELLOWilla.** Raytheonilla on ohjeet ja piirustukset kompassijärjestelmään kuuluvien laitteiden asennuksesta, kytkennöistä sekä laitteiden ja kaapelien maadoituksista. FINNFELLOWissa ei ollut käytetty kaikilta osin piirustusten mukaisia kaapeleita. Kompassijärjestelmän keskusyksiköstä tytärkompassille peräsinkonehuoneeseen ja komentosillan molemmille siiville johtavissa kaapeleissa oli käytetty lähes kokonaan entisiä häiriösuojaamattomia kaapeleita. Kaapelointi- ja kytkentäpiirustus on esitetty liitteessä 3. Korjatussakaan piirustuksessa ei ollut merkittynä suojaamattomia kaapeleita.

Raytheon ei tee kaapelointi- eikä kytkentäpiirustuksia kompassisysteemistä muihin navigointijärjestelmän laitteisiin, jos heillä ei ole kokonaisvastuuta laivan koko navigointijärjestelmästä. FINNFELLOWin navigointijärjestelmästä kantoi kokonaisvastuun Polartec, joka on järjestelmän valmistajan STN Atlaksen valtuuttama laite-edustaja Suomessa. Kompassisysteemin asennukset, kytkennät ja käyttöönoton hoiti FINNFELLOWissa Polartec. Kompassisysteemin valmistajalle (Raytheon) ei lähetetty FINNFELLOWin navigointijärjestelmän kaapelointi- ja kytkentäpiirustuksia, koska Raytheon ei ollut vastuussa navigointijärjestelmän asennuksista.

STANDARD 20 kompassisysteemistä on mahdollista saada laivan kurssi sarjaliikenne muodossa ja STEP lähtöinä. Kompassisysteemin valmistaja ei ole antanut määräyksiä kummassa muodossa kurssitieto autopilottiin tulee viedä. FINNFELLOWissa oli kurssitieto viety NACOS -systeemiin STEP lähtöjä käyttäen, jotka jumiutuivat vanhaan ar-

voonsa suunnan antavan hyrräkompassin virhetoiminnassa (HEATING-tila) ennen karilleajoa. STEP lähtöjen jumiutuminen HEATING tilanteessa johtui FINNFELLOWin hyrräkompassin ohjelmaversiosta. Sarjaliikennelähdöt menivät vikatilaa HEATING tilanteessa, jolloin suuntanäytöt tytärkompasseilta hävisivät.

Samaa STEP kurssisignaalia käytti FINNFELLOWissa NACOS Autopilotin lisäksi myös tutkat ja ANS rekisteröintisysteemi. Liitteessä 3 on esitetty FINNFELLOWin navigointijärjestelmän korjattu kaapelointi ja kytkentäpiirustus. Laivalla ollut hyrräjärjestelmän dokumentointi ei vastannut kompassisysteemin todellisia asennuksia.



*Kuva 12 FINNFELLOWin kompassiasennus kuvattuna testien yhteydessä telakalla karilleajon jälkeen. Vasemmanpuoleisen hyrräkompassin nro 1 takana näkyy vyyhdellä oleva signaalikaapeli.*

**FINNFELLOWin kompassiliityntä NACOSiin.** FINNFELLOWissa oli kurssitieto viety NACOS navigointijärjestelmään STEP-lähtöjä käyttäen. STEP-lähtöjen käytössä ei nähty asennusvaiheessa ongelmia varustamon eikä laiteasennuksista vastanneen Polartec:n taholta. STEP-lähtöjen toimintaa vikatilanteessa ei ollut riittävästi selvitetty kompassivalmistajalta saadussa dokumentoinnissa. Kompassisysteemin valmistaja ei luokitellut hyrräyksikön HEATING-tilaa lainkaan vikatilanteeksi, vaikka hyrrän suuntaseuranta on jumiutuneena HEATING-tilassa.

STEP-lähtöjen toiminta HEATING-tilassa on riippuvainen hyrräyksikön ohjelmaversiosta<sup>12</sup>. Suoritetuissa testauksissa FINNFELLOWilla olleessa ohjelmaversiossa STEP-lähdöt jumiutuivat HEATING-tilan ajaksi arvoon, joka oli ennen HEATING-tilan alkamista. FINNFELLOWin sisäaruksessa FINNMAIDissa menevät STEP-suuntalähdöt

<sup>12</sup> Kompassin valmistajan mukaan "STEP-tieto syntyy jakoyksikössä, joka on osa keskusyksikköä. Täten jakoyksikön ohjelmaversio määrää STEP-signaalien toimivuuden."

HEATING-tilanteessa vikatilaa, jolloin navigointijärjestelmä antaa hälytyksen suuntatiedon katoamisesta.

**FINNFELLOWin kompassisysteemin ohjelmaversiot.** Hyrräyksikön ja keskusyksikön käytössä olevat ohjelmaversiot poikkeavat toiminnallisesti toisistaan huomattavasti. Ohjelmaversiosta riippuen voivat hälytystoiminnot, häiriöiden suodatus, hyrräyksikön suojaustoiminnot, hälytyksien viiveet ja hälytysrajat j.n.e vaihdella eri ohjelmaversioiden välillä. Näyttää siltä, ettei aina laivan miehistö tai kompassisysteemin huoltoja suorittavat henkilökään tienneet varmuudella laivalle asennetun ohjelmaversioiden toimintoja. Laivalla oleva dokumentointi oli puutteellinen etenkin ohjelmistossa tapahtuneiden päivitysten osalta.

FINNFELLOWilla olleesta kompassisysteemin dokumentoinnista ei voinut yksiselitteisesti päätellä, miten kompassisysteemistä NACOSiin kytketty STEP-kurssitieto käyttäytyy, kun suuntatiedon antava hyrräyksikkö ajautuu HEATING-tilaan. FINNFELLOWilla suoritetuissa testauksissa STEP lähtöjen todettiin lukkiintuvan arvoon, joka oli ennen HEATING-tilan alkamista. Laivalla olleesta dokumentoinnista STEP-lähtöjen toimintaa HEATING-tilassa ei ollut selvitetty yksiselitteisesti.

FINNFELLOWissa oli käytössä kaksi hyrräkompassia (konfiguraatio G-G). Laivalle asennettua magneetikompassia ei ollut kytketty NACOSiin.

FINNFELLOWin kompassisysteemin ohjelmaversiot:

- hyrrä no.1: tyyppi no. 110-222, ohjelmaversio P002E02.01 (FINNMAIDissa P002E02.03)
- hyrrä no.2: tyyppi no. 110-222, ohjelmaversio P002E02.01
- keskusyksikkö: tyyppi no. G401-U010002, ohjelmaversio 01-001.P01E00.07

FINNFELLOWin sisäluksessa FINNMAIDissa on käytössä yksi hyrräkompassi ja yksi magneetikompassi (konfiguraatio G-M).

FINNMAIDissa on samanlainen hyrräkompassi kuin FINNFELLOWissa, mutta eri ohjelmaversio. FINNMAIDin hyrrässä on käytössä ohjelmaversio P002E02.03, mutta keskusyksikkö ja sen ohjelmaversio ovat samat kuin FINNFELLOWissa. Myös FINNMAIDissa on suuntatieto kompassisysteemistä NACOSiin viety STEP -lähtöjä käyttäen.

Kun FINNMAIDissa simuloitiin suunnan antavalle hyrrälle HEATING -tilanne menivät STEP lähdöt välittömästi vikatilaa, NACOS systeemistä hävisi suuntatieto ja kymmenen sekunnin viiveen kuluttua antoi NACOS hälytyksen suuntatiedon puuttumisesta. FINNMAIDissa hävisi suunnan antavan hyrrän HEATING tilanteessa suuntanäytöt myös repeatereilta kuten FINNFELLOWissakin.

Verrattaessa FINNFELLOWin ja FINNMAIDin ohjelmaversioiden toimintoja keskenään havaitaan lisäksi seuraavat eroavaisuudet:

1. FINNFELLOWissa hyrrän seurantasysteemi kytkeytyy pois päältä, kun hyrränesteen lämpötila alittaa 45 astetta, ja seuranta palaa nesteen lämpötilan ylittäessä 45 astetta.





FINNMAIDissa seurantasysteemi kytkeytyy pois päältä nesteen lämpötilan alittaessa 40 astetta, ja seuranta palaa lämpötilan ylittäessä 45 astetta.

2. FINNMAIDissa on muutettu seurantasysteemin ja nesteen lämpötila-anturin siisääntulon suodatusta FINNFELLOWin ohjelmaversioon nähden.

Kummassakaan laivassa ei kompassisysteemi anna minkäänlaista äänihälytystä hyrrän HEATING-tilasta.

Oleellisin ja ratkaiseva ero näiden kahden sisarlaivan STEP -lähtöjen toiminnassa on niiden käyttäytyminen hyrrän HEATING-tilassa. FINNFELLOWissa STEP lähdöt jumituivat hyrrän HEATING tilanteessa, jolloin NACOS -systeemikään ei voinut antaa hälytystä. FINNMAIDissa menivät STEP-lähdöt hyrrän HEATING tilanteessa vikatilaa, jolloin suuntanäyttö NACOSista hävisi ja se antoi hälytyksen.

Uusinta hyrräyksikön ohjelmakehitysversiota P002.E02.04 testataan parhaillaan laitevalmistajan toimesta. Tässä ohjelmaversiossa seurantasysteemi kytkeytyisi pois päältä, jos nesteen lämpötila alittaisi 40 asteen alarajan vähintään kymmenen minuutin ajan. Tämä muutos edellyttäne myös käytetyn hyrränesteen tiheyden muuttamista.

On luonnollista ja oikein kehittää laitteistoa ja sen ohjelmistoja havaittujen virheiden korjaamiseksi ja tuotteen pitämiseksi kilpailukykyisenä. Tutkintalautakunta ei ole saanut laitevalmistajalta yksiselitteistä selvitystä, miksi yllämainitut ohjelmakorjaukset on tehty tai ovat testattavana. Ainoana syynä muutoksiin laitevalmistaja esitti hyrrän liukurenkaisissa joskus esiintyneet ongelmat.

**Varmistus kahdella hyrräkompassilla.** FINNFELLOWin tapauksessa kahden hyrräkompassin asennus tarjosi mahdollisuuden manuaalisesti vaihtaa vikaantunut suunnan antava hyrrä toimivaan varalla olevaan hyrräkompassiin. Jotta miehistöllä olisi mahdollisuuksia vaihtaa viallisen suunnan antava kompassi toimintakuntoiseen, on viasta saatava hälytys. Selkeä hälytys mahdollistaa miehistön oikeat ja nopeat toimenpiteet. FINNFELLOWissa ei tullut lainkaan hälytystä suunnan antavan hyrrän lopettaessa suunta-seurannan. Hyrrän vaihto tapahtuu ohjauspaneelista, joka on kuvassa 26 (kohta 2.2.1).

#### 2.1.4 Navigointilaitteiden asennusvaiheet ja laitteiden toimintahistoria

Laivan navigointijärjestelmä uusittiin vuonna 1997, jolloin siihen asennettiin NACOS 25-2. Järjestelmään kytkettiin magneetikompassin lisäksi uusi Anschütz:n hyrräkompassi tyyppiä Standard 20. Tämä hyrräkompassi n:o 1 asennettiin laivaan 09.03.1997. Hyrräkompassi 1:een vaihdettiin hyrräpallo 19.11.1999 sen toiminnassa esiintyneiden ongelmien eliminoimiseksi.

Kompassisysteemiin kuulunut magneetikompassi korvattiin samanlaisella Standard 20 tyyppisellä hyrräkompassilla 02.03.1999. Tähän hyrräkompassi n:o 2:een ei ole tehty mitään peruskomponenttien vaihtoa laivaan asentamisen jälkeen.

**Vikatilanteet ja hälytykset ennen onnettomuutta.** Ennen onnettomuutta oli kompassisysteemissä esiintynyt useita suuntakulman näyttövirheitä, jotka huoltokäyntien yhteydessä oli hoidettu normaaleilla huoltotoimenpiteillä.

Kaikki suuntakulmavirheet olivat esiintyneet hyrrällä n:o1. Perämiehen mukaan virheet olivat jopa yli 20 astetta. Raportoidut suuntakulmavirheet olivat maksimissaan +/-10 astetta. Viimeinen huolto ennen onnettomuutta hyrräkompassille n:o1 suoritettiin 19.11.1999.

Hyrrän toiminnan kannalta kohtalokkaaksi osoittautunut HEATING-tila on esiintynyt useita kertoja jo ennen onnettomuutta hyrräkompassi 1:llä. HEATING-tilan aikana hyrrän suuntaseuranta lakkaa ja STEP-lähdöt, jotka antoivat suuntatiedon autopilotille ja tutkille, jumiutuivat samaan arvoon, mikä oli ennen HEATING-tilan alkamista. FINNFELLOWin kompassisysteemi ei käsitellyt HEATING-tilaa hälytyksenä, josta johtuen komentosillalle ei tullut mitään ääni- tai valohälytystä kompassin jumiutumisen vuoksi. Autopilottiin ei antanut hälytystä, koska STEP -suuntatieto jumiutui vanhaan arvoonsa eikä mennyt vikatilaan. HEATING-tilan aikana on suuntaerohälytys (differential alarm) hyrrien välillä lukittu, mikä esti myös tämän hälytyksen toiminnan HEATING-tilan aikana. Meriselityksen mukaan hyrräkompassien vaihto kompassien ohjauspaneelista ei onnistunut, koska juuri ennen vaihtotoimenpidettä tuli hälytys, joka esti toimivan kompassin vaihtamisen. Tämän hälytyksen päällikkö kuittasi vasta karilleajon jälkeen. Kompassien vaihto onnistuu ilman kuittausta kompassien ohjauspaneelista, jos ei ole aktiivista hälytystä. Aktiivinen hälytys on kuittattava ennen kuin toimivan kompassin voi vaihtaa. Miehistö ei ehtinyt katsoa, mikä hälytys tuli kompassien ohjauspaneeliin vähän ennen karilleajoa. Myöskään päällikkö ei katsonut, mikä oli hänen kuittaamansa hälytys. Keskusyksikön muistista Turun Korjaustelakalla puretussa tiedostossa ei ollut mitään hälytyksiä. Välittömästi ennen karilleajoa oli suunnan antaneella hyrräkompassi 1:llä kaksi HEATING-jaksoa. Suuntaerohälytyksiä on voinut tulla kaksi, sillä laiva oli tällöin kääntymässä liikkeessä.

HEATING-tilan aikana kompassijärjestelmä antoi ennen onnettomuutta seuraavat suuntatiedot:

- autopilotti: suunta jumittui 82.5 asteeseen (arvo ennen HEATING-tilan alkua)
- tytärkompassit: suuntatiedot hävisivät (vain kolme viivaa kussakin näytössä)
- tutkat: suuntatieto jumiutui 82.5 asteeseen ja tutkakuva alkoi vääristyä.
- kompassijärjestelmän ohjauspaneeli: suuntatiedon tilalle tuli teksti HEATING
- kulmanopeusnäyttö: oli nollassa, vaikka laiva oli kääntymässä.

Suuntatieto tytärkompassien näytöille ja kompassijärjestelmän ohjauspaneeliin tulee sarjaliikenteellä, joka katkeaa HEATING-tilassa. Miehistö ei havainnut suuntanäyttöjen häviämistä, koska siitä ei ollut mitään hälytysindikoitua.

Seuraavat HEATING-jaksot olivat taltioituneet kompassijärjestelmän keskusyksikön muistiin hyrrästä 1 (Message Log STD20 ):

- 25.03.00 HEATING päällä 4sek.



- 30.03.00 HEATING päällä 10sek.
- 01.04.00 HEATING päällä 1min 7 sek + toinen HEATING-jakso 44 sek.

Onnettomuuden kannalta merkittäviä ovat kaksi viimeisintä HEATING-jaksoa, joiden tarkat ajankohdat ovat (ajat ovat UTC aikoja):

- HEATING alkoi 01.04.00 klo 23:29:39 ja päättyi klo 23:30:46. Kesto 1 min 7 s
- HEATING alkoi 01.04.00 klo 23:31:30 ja päättyi klo 23:32:14. Kesto 44 s

Näiden kahden HEATING-jakson väli oli 44 sekuntia.

Karilleajo kirjattiin tapahtuneeksi 01.04.00 klo 23:32:10 (ANS). Kelloajat laivan eri järjestelmien välillä erosivat toisistaan (esim. ANS / kompassijärjestelmä).

Hyrrä 1:n muistiin oli tallentunut kolme samaa vikaa (E4) indikoivaa hälytystä. Koska näissä hälytyksissä ei ole aikaleimausta ei niiden ajoittumista karilleajoon nähden voida määrittellä.

**Huollot ja tarkastukset.** FINNFELLOWin navigointilaitteiden huolto on hoidettu tekeväällä säännöllisiä vuosihuoltoja ja huoltoja laivalta raportoitujen vikojen tai ongelmien korjaamiseksi. Jäljempänä mainitut huollot ja asennusmuutokset on suorittanut Polartec Oy.

Tässä keskitytään hyrräkompassisysteemiin kohdistuviin huoltoihin, korjauksiin ja asennusmuutoksiin. Seuraavassa on lueteltu kirjatut viat ja toimenpiteet:

1. 09.03.1997. Asennettu hyrräkompassi 1, tehty tarvittavat kytkennät ja testattu toiminnot.
2. 18.09.1998. Suoritettu huolto hyrräkompassille 1. Muun muassa vaihdettu hyrrän neste.
3. 02.03.1999. Asennettu hyrräkompassi 2. Samalla on magneettikompassi kytketty irti integroidusta navigointijärjestelmästä.
4. 06.11.1999. Kompassisysteemin ohjauspaneeliin jäi hälytys "no telegram". Tämä hälytys saatiin kuitattua kompassisysteemin ohjausyksiköstä. Samanlainen tilanne oli esiintynyt 11.08.1998.
5. 14.11.1999. Suoritettu huolto hyrräkompassi 1:lle. Syynä huoltoon oli kompassin suuntatiedossa esiintyneet 10 asteen virheet. Huollon yhteydessä vaihdettu muun muassa hyrrän neste.
6. 19.11.1999. Suoritettu huolto hyrräkompassi 1:lle. Syynä huoltoon oli kompassin suuntatiedossa esiintyneet +/- 5 asteen virheet. Huollon yhteydessä vaihdettiin hyrräpallo. Hyrräpallon vaihdon jälkeen toiminta oli normaali.
7. 03.03.2000. Suoritettu vuosihuolto hyrräkompassi 2:lle.

Raytheon Marine ilmoittaa Standard 20 hyrräkompassin huoltoväliksi 3 vuotta ja MTBF-arvoksi (Mean Time Between Failures = keskimääräinen aika vikojen välillä) 40000 tuntia. Todellinen huollon tarve laivalla olleelle hyrräkompassille numero 1 oli huomattavasti

tiheämpi. Syy hyrräkompassi 1:n suuntavirheille ei välttämättä ollut se mihin huoltotoimenpiteet kohdistuivat.

### 2.1.5 Hyrräkompassille suoritettut testaukset

**Tarkistukset ja testaukset Turun Korjaustelakalla karilleajon jälkeen.** Tarkastuksissa luettiin ja kirjattiin parametrien arvot kompassista sekä kompassisysteemin ohjauspaneelista. Kaikki parametriarvot olivat sallituissa rajoissa. Lisäksi luettiin kompassisysteemin keskusyksikön taltioimat tapahtumat (message log) ja hälytykset sekä hyrräyksiköiden muistissa olleet hälytykset. Hyrrän numero 1 muistiin oli taltioitunut vikakoodi E4 kolme kertaa. Näillä vikakoodeilla ei ole aikaleimausta, joten niiden ajoitusta ei voida määrittellä. Hyrräyksikön vikakoodit on selvitetty liitteessä n:o 4. Keskusyksiköstä tulostettu tapahtuma ja hälytyslista sisälsi myös aikaleimaukset. Se mahdollisti HEATING tapahtumien ajallisen kytkennän karilleajotapahtumiin. Kappaleessa 2.1.4 on selvitetty tarkemmin tulostettujen tapahtumien ja hälytysten ajoittumista ja merkitystä.

Lisäksi tarkastettiin kompassijärjestelmään ja siihen kytkeytyvien muiden järjestelmien kytkennät sekä kaapeloinnit, joiden todettiin eroavan laivalla olleista piirustuksista. Laivalla olleita kompassi- ja navigointijärjestelmän piirustuksia ei oltu pidetty ajan tasalla eikä piirustuksissa oltu huomioitu täsmällisesti viimeisimpiä asennus- ja laitemuutoksia. Kaikki kompassi- ja navigointijärjestelmän laitteet oli kuitenkin kaapeloitu ja kytketty oikein noudattaen senhetkistä laitekantaa ja laitevalmistajien vaatimuksia<sup>13</sup>. Merkittävin ero laivalla olleen piirustuksen ja todellisen asennuksen välillä oli suuntasignaalin kytkennässä kompassijärjestelmän keskusyksiköltä NACOS -navigointijärjestelmään. Piirustuksen mukaan suuntatieto oli viety sarjalinjaa käyttäen, mutta todellisuudessa suuntatieto välitettiin kompassijärjestelmään STEP-lähtöjä käyttäen. Korjattu todellisia asennuksia ja kytkentöjä vastaava piirustus on liitteenä n:o 3.

Tarkastuksissa laivalla ei havaittu mitään löysiä tai irronneita johdinliitoksia tai kaapelien liittimiä. Kaikki elektroniikkakortit ja pistoliittimet oli kiinnitetty tukevasti ruuvilukituksella. Tutinnan edustajat kiinnittivät huomiota hyrräkompassin n:o 1 takana olleeseen vyyhdelle asennettuun pitkään hyrräkompassi n:o 1:n ja keskusyksikön väliseen signaalikaapeliin (ks. kuva 12).

Kompassisysteemin keskusyksikön prosessorikortin asetuksissa oli magneetikompassi poistettu käytöstä, ja käytössä oli vain kaksi hyrräkompassia.

Hyrrien liukurenkaissa ei havaittu katkoksia tai muuta virheellisyyttä, mikä todettiin pyörittämällä käsin hyrrien ulkopalloja.

---

<sup>13</sup> Kaapelityypit eivät täysin noudattaneet valmistajan suosituksia. Katso myös **Anschütz STD20 asennusohjeet ja asennus FINNFELLOWilla** kohdassa 2.1.3.



HEATING vikatilanteen simuloimista varten asetettiin hyrräkompassit päällekkäin samaan kulmaan, ja toimivaksi suunnan antavaksi kompassiksi valittiin hyrräkompassi no 1 (ks. kuva 13).

Hyrrän n:o 1 HEATING-toiminto simuloitiin jäädyttämällä sen nesteen lämpötilaa mittaavaa anturia kylmäsprayllä, jolloin lämpötilan laskiessa alle 45 °C tuli kompassisysteemin ohjauspaneeliin teksti HEATING, ja samalla tytätkompassien näytöt hävisivät (kolme viivaa). Mitään äänihälytystä ei tullut, ja suuntanäyttö säilyi ennallaan autopilotissa ja tutkien näytöissä. Kun HEATING-tilan aikana käännettiin molempia hyrriä yhtä paljon eivät suuntanäytöt muuttuneet autopilotin näytöllä, joten suuntatieto oli jumiutunut arvoon ennen HEATING-tilan alkamista. Kun hyrränesteen lämpötila ylitti 45 °C suuntakulmanäytöt tytätkompassille palasivat ja autopilotin näyttö vaihtui näyttämään oikeaa suuntakulmaa. Hyrrien välinen suuntaerohälytys tuli aina, jos hyrriä oli käännetty HEATING-tilan aikana yli seitsemän astetta. Suuntaerohälytystä ei löytynyt keskusyksiköstä karilleajon jälkeen tehdystä tulostuksesta. Suuntaerohälytys ei toimi lainkaan HEATING-tilan aikana. Suunnanantava hyrräkompassi on mahdollista vaihtaa HEATING-tilan aikana, koska kompassijärjestelmä ei tulkitse HEATING-tilaa hälytykseksi. Komentosiltamiehistö ei voinut reagoida heti kompassijärjestelmän vioittumiseen, koska oleellisen tärkeä äänihälytys puuttui.



*Kuva 13 Hyrräkompassit sijoitettuna päällekkäin testausten aikana Turussa.*

**Testaukset Instrumentointi Oy:ssä Tampereella.** Onnettomuushetkellä käytössä ollut hyrräkompassi ja sen keskusyksikkö testattiin Instrumentointi Oy:ssä Tampereella. Näissä tutkimuksissa hyrräjärjestelmälle tehtiin seuraavassa kuvatut lämpö- ja värinätestit sekä sähköiset häiriötestit. Testauksissa käytettiin tulostukseen hyrrän valmistajan tutkinnan käyttöön luovuttamaa huoltopäätettä ohjelmistoinen.

1. Kompassijärjestelmän laitteiden, johdotuksen ja liitännöiden visuaalinen tarkastus

Laivalla ollut kompassijärjestelmä sisältäen virheellisesti toimineen hyrräkompassin n:o 1, keskusyksikön ja ohjauspaneelin tarkastettiin yksityiskohtaisesti Instrumentointi Oy:n toimesta ja tiloissa Tampereella. Mitään rikkoontunutta osaa, liitintä tai muuta vikaa, joka olisi ollut syynä hyrräkompassin n:o 1 virheelliseen toimintaan ei tarkastuksessa havaittu.

2. Sähköiset mittaukset

Elektroniikkayksiköiden liittimet ja liukurenkaiden kunto mitattiin ja niiden todettiin olevan moitteettomassa kunnossa.

Lisäksi kompassijärjestelmän vikavalvontaa ja hälytystoimintaa testattiin tekemällä johdinkatkoksia kaikkiin järjestelmän toiminnan kannalta kriittisiin osiin. Mikään vikatilanne ei antanut samanlaista HEATING-vikatilaa, joka aiheutti FINNFELLOWin karilleajon.

3. Lämpötila- ja värinätestit

Lämpötila- ja värinätestien tavoitteena oli selvittää hyrräkompassin emopiiriilevyllä mahdollisesti olevia komponenttien kylmäjuotoksia, johdinkatkoksia tai muita mahdollisia vikoja. Lisäksi värinätestit suoritettiin keskusyksikölle mahdollisten katkosten ja kosketushäiriöiden selville saamiseksi.

Näiden mittausten aikana hyrräkompassi oli asetettu keinuvalle (+/-3 astetta) alustalle.

Lämpötilatestaukset suoritettiin lämpötila-alueella -10 °C...+55 °C. Värinätestaukset tehtiin ISO8728 mukaisilla taajuus- ja amplitudialueilla ja lisäksi laivan potkurin resonanssitaajuusalueilla.

Näiden testien aikana ei ilmennyt mitään kompassijärjestelmän virhetoimintoja.

4. Ulkoisten sähköisten häiriöiden vaikutuksen testaus

Nämä testaukset tehtiin *DNV, Rules for ships, HSSL / MOU Jan. 1999; P74 Ch 5 sec. 5.* -säännön mukaisesti.

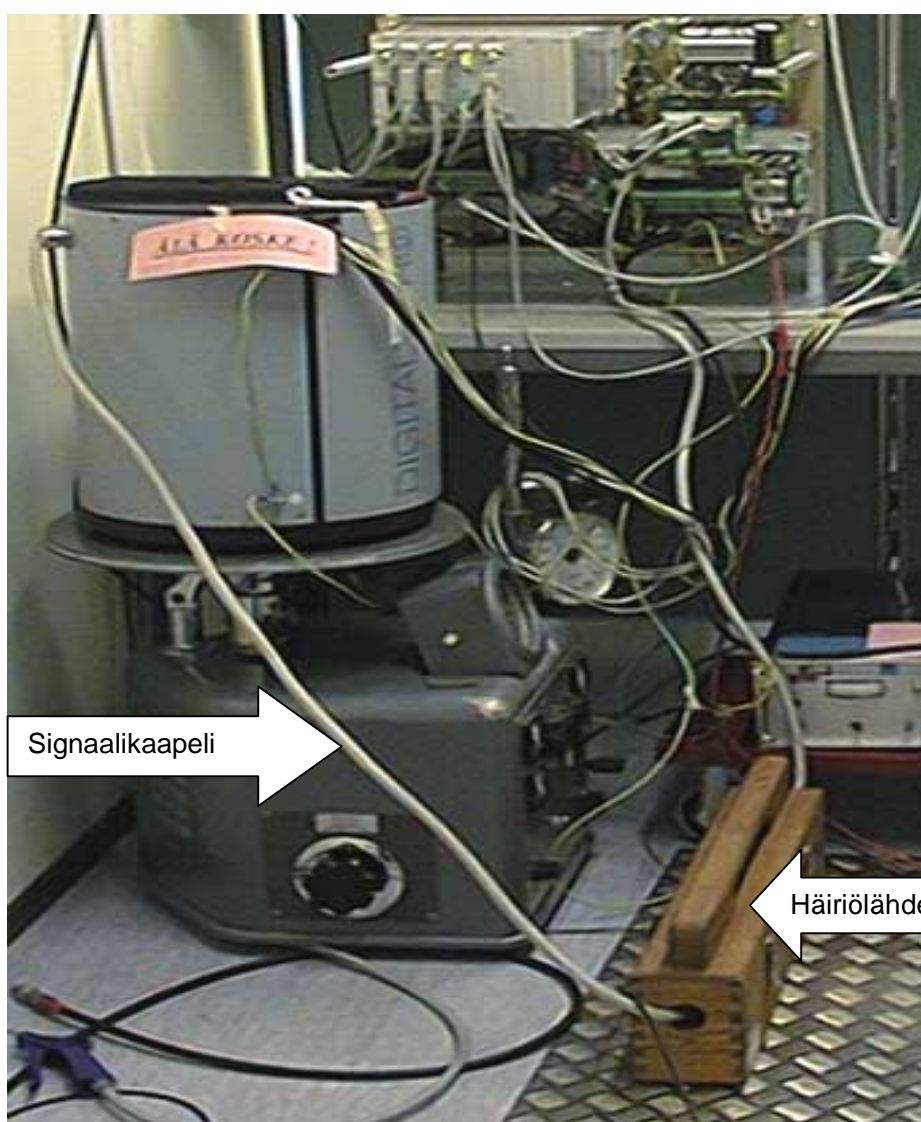
4.1 Testaukset johtuvalla radiotaajuus häiriöllä taajuusalueella 150KHz...80MHz (hyrräkompassin emopiiriilevy hyrräyksikön ulkopuolella koteloimattomana).

Hyrränesteen lämpötilaindikoitua laskevasti vaikutti eniten häiriötaajuusalue 7.6 - 8.8MHz. Nesteen todelliseen lämpötilaan häiriöt vaikuttivat nostavasti johtuen siitä, että lämpötilaindikoinnin laskiessa alle 50° C hyrrän lämmönsäätöjärjestelmä ryhtyi lämmittämään nestettä, vaikka nesteen todellinen lämpötila oli reilusti yli 50° C. Hyr-

rän kannalta kriittinen lämpötila on 45° C, jonka alapuolella FINNFELLOWissa käynnistyi HEATING-toiminto. HEATING-toiminnon aikana hyrrän suuntaseuranta ei toimi eikä myöskään suuntaeron valvonta varalla olevaan hyrrään. Lisäksi FINNFELLOWissa käytössä olleilla ohjelmaversioilla STEP-suuntatieto autopilottiin jumitui arvoon, joka oli ennen HEATING-toiminnon alkamista.

Suoritetuissa testeissä aiheutti taajuus 7.9MHz hyrränesteen lämpötilaindikoinnin tipahtamisen alle 45° C, jolloin HEATING toiminto käynnistyi ja suunta jumitui kuten karilleajo tilanteessakin. Mitään hälytyksiä ei tullut vain ilmoitus HEATING kompassisysteemin ohjauspaneeliin.

Suuntakulman näyttöön tuli virheitä ja huojuntaa taajuusalueella 4 - 9.3MHz.



Kuva 14 FINNFELLOWin hyrräkompassi radiotaajuushäiriön testauksessa. Häiriötaso suunnattiin hyrräkompassin ja keskusyksikön väliseen suojattuun signaalikaapeliin.

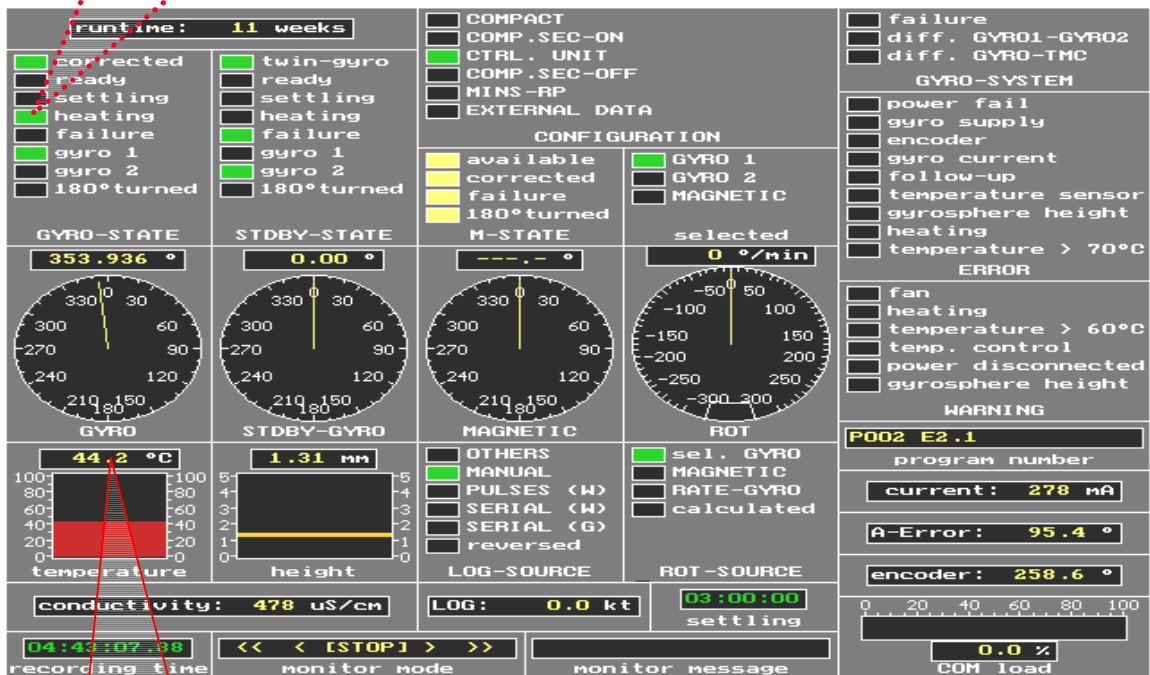
Kun kompassijärjestelmän laitteet koteloitiin eivät yllä olevat häiriötaajuudet enää merkittävästi vaikuttaneet hyrränesteen lämpötilaindikointiin eikä myöskään suuntakulman indikointiin. Testiasennuksesta puuttui laivassa kompassijärjestelmään liittyvä kaapelointi keskusyksiköstä komentosillalle ja muihin tiloihin.

Häiriöt saattavat laiva-asennuksessa siirtyä kaapeloinnin kautta kompassijärjestelmään.

4.2 Säteilöhäiriötestaukset (hyrräkompassin emopiirilevy hyrräyksikön ulkopuolella kotoimattomana)

Kompassijärjestelmän antama suuntatieto lähti vaeltelemaan 160MHz:n taajuudella(meri VHF taajuus). Tällä taajuudella tuli suuntakulmaan häiriötasosta riippuen joko muutaman asteen pysyvä virhe tai suuntakulma lähti holtittomasti heilumaan jopa +/-90 astetta.

**HEATING**



**44,2 °C**  
(49...50°C)

Kuva 15 Ulkoisen häiriön aiheuttama HEATING-tila kuvattuna Anschütz'in huolto-päätteen näytöltä.





Testattaessa taajuudella 160MHz oli lämmönsäätöpiiri jo rikkoontunut, joten emme tiedä, mitä olisi tapahtunut lämpötilaindikoinneille tällä taajuudella. Lämmönsäätöpiiri rikkoontui "surge" testin aikana, jolloin DNV:n sääntöjen mukainen 1KV:n häiriö syötettiin kompassijärjestelmän syöttöjännitteeseen.

Muut häiriötaajuudet eivät aiheuttaneet näissä testeissä sanottavia virheindikoiteja.

**Muita radiohäiriötestauksia.** Matkustaja-alus FENNIALla suoritettiin aluksen ollessa laiturissa radiohäiriötestejä. Näissä häiriötesteissä aiheutti UHF radiopuhelin (taajuus 457,525MHz) hyrränesteen lämpötilaindikoinnin putoamisen alle 45 °C. Myös VHF taajuudella laski hyrränesteen lämpötilaindikointi maksimissaan useita asteita. Suuntakulmanäyttöihin eivät nämä testit aiheuttaneet virheitä.

Häiriötestilaitteiden ollessa poiskytkettyinä putosi FENNIA:n hyrräkompassin nesteen lämpötila yllättäen yhden asteen ilmeisesti johtuen radiohäiriöstä, joka tuli mahdollisesti toisesta samassa satamassa olleesta laivasta. Laivojen etäisyys oli tällöin ollut 40 metriä.

**Testaukset Raytheonilla Saksassa.** Vuoden 2000 syksyllä laitevalmistaja teki samantyyppiselle kompassijärjestelmälle sähköisiä häiriötestejä tehtaallaan Kielissä Saksassa. Tutkintalautakunta vieraili tehtaalla joulukuussa 2000. Vierailun yhteydessä kompassijärjestelmälle tehtiin radiotaajuisilla häiriöillä testejä.

Suoritetuissa säteilyhäiriötesteissä aiheuttivat tietyt häiriötaajuudet virheitä hyrränesteen lämpötilaindikoiteihin. UHF- ja VHF-radiopuhelimet aiheuttivat myös häiriöitä indikoiteihin, jos hyrrän huoltoluukku oli auki.

**Yhteenveto hyrräkompassille suoritetuista tarkastuksista ja testauksista.** Missään karilleajon jälkeen suoritetuissa tarkastuksissa ja testeissä ei löydetty virheellisesti toimineesta FINNFELLOWin hyrräkompassi n:o1:stä mitään rakenteellista vikaa. Myös kaapeloinnit ja sähköiset kytkennät olivat kunnossa. Hyrräkompassin toiminnalliset parametrit olivat kaikki sallituissa rajoissa.

Suoritetuissa sähkömagneettisissa häiriötesteissä havaittiin tiettyjen taajuuksien laskevan hyrränesteen lämpötilaindikoiteita. Sähkömagneettisten häiriötestien aikana syntyi laboratorio-olosuhteissa myös tilanne, jossa hyrränesteen lämpötila alitti 45°C aiheuttaen hyrräkompassille HEATING-tilan ja suuntaseurannan jumiutumisen. Suunnanantavan hyrräkompassin ajautuminen HEATING-tilaan aiheutti FINNFELLOWin karilleajon. Testeissä havaittiin joidenkin häiriötaajuuksien aiheuttavan suuntaindikointiin pysyvän virheen tai suuntaindikointi lähti vaeltelemaan.

Tehtyjen testien perusteella voidaan päätellä, ettei FINNFELLOWin hyrräkompassin sähkömagneettinen häiriösuojaus ollut riittävä.

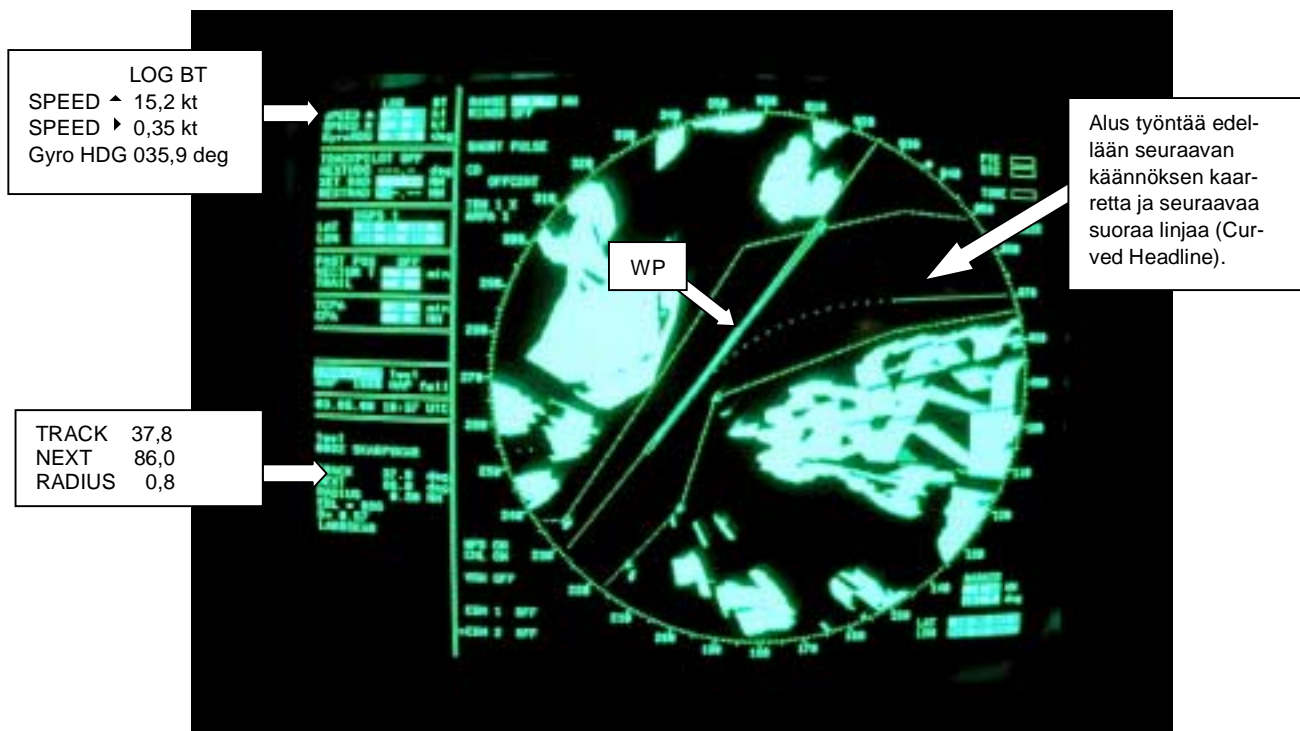
## 2.2 Navigointi onnettomuusmatkalla

Analyysi perustuu laivalla automaattisesti rekisteröityyn tietoon. Karttanäyttöohjelma ANS suorittaa FINNFELLOWilla tämän rekisteröinnin integroidun navigointijärjestelmän

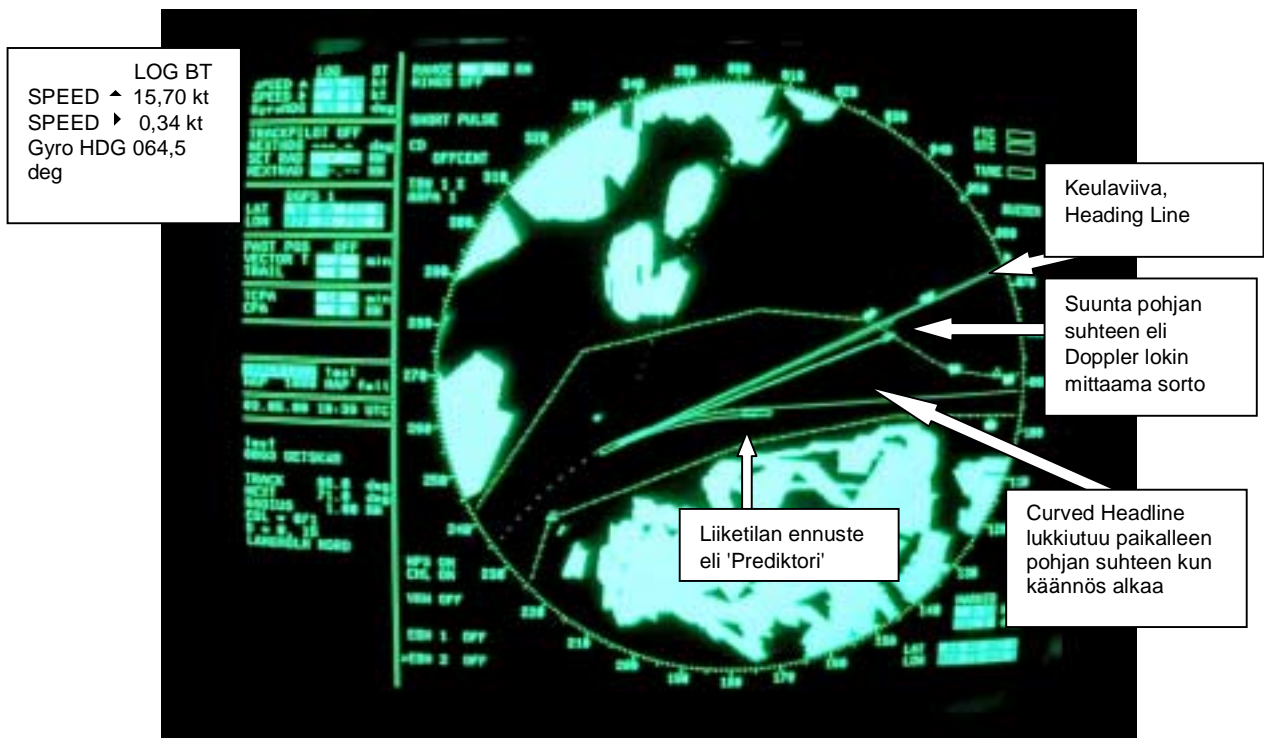
NACOSin "Ship's interface"-liittymästä. Rekisteröidyt suureet ovat: UTC-aika, latitudi, longitudi, nopeus pohjan suhteen (speed over ground SOG), suunta pohjan suhteen (course over ground COG), kompassisuunta (keulasuunta) ja sortokulma. Kompassin jumiutumisen aikana tämä rekisteröity kompassisuunta oli virheellinen 66 sekuntia. Simulco Oy rekonstruoi ANS-rekisteröinnistä VTT:n simulaattorin nauhoitustiedoston FINNFELLOWin karilleajosta. Simulaattorin nauhoitteen avulla voitiin analysoida NACOS-järjestelmän näyttöjä ennen karilleajoa. Seuraavan osan kuvat 16 – 25 on kuvattu simulaattorirekonstruktion yhteydessä.

### 2.2.1 Skarpskärin käänös näyttölaitteissa

FINNFELLOW kääntyi Skarpskärin luona suunnalta 036° suunnalle 086°. Autopilottiin oli valittu ohjausmoodiksi HEADING MODE. Kuvassa 16 näkyy tutkakuva aluksen ollessa suunnalla 036 juuri ennen käänöksen alkua. Matalan veden turvaraja on esitetty tutkakartalla murtoviivoina. Neliömäiset symbolit edustavat merimerkkejä. Skarpskärin reittipiste (WP) ei näy kuvassa, koska se on keulaviivan, dopplerin mittaaman liikevektorin ja 'prediktorin' viivojen alla. (Termit on selitetty kuvassa 17.) Reittiviivat eivät olleet näkyvissä. Alus työnsi Skarpskärin käänöksen kaarretta edellään (Curved Headline, CHL). Kuvasta 16 on myös nähtävissä, että luotsi ajoi käänöksen hieman yli, koska kokemuksesta tiedettiin, että alus joutuu käänöksessä hieman kaarteen sisäpuolelle.



Kuva 16. Alus on suunnalla 036°. Simulaattorissa kuvattu ATLAS-tutkan kuva juuri ennen käänöksen alkua.



Kuva 17. Käännös on meneillään. Simulaattorissa kuvattu ATLAS-tutkan kuva käännöksen aikana. Kuva vastaa kellonaikaa 02:30:30 (UTC 23:30:30).



Kuva 18. Autopilotin näyttöruutu NCC. Kuva vastaa tutkakuvan 17 tilannetta.

Aluksen liiketiedot on esitetty tutkan kuvaruudun vasemmassa yläreunassa. LOG BT tarkoittaa Doppler lokin mittaamaa liikettä pohjan suhteen. Kuvan vasemmassa alareunassa TRACK tarkoittaa ohjattavaa suuntaa. NEXT ja RADIUS tarkoittavat käännösuunnitelman seuraavaa suuntaa ja kaarresädettä. Integroidussa navigoinnissa Curved Headline korvaa siirrettävän etäisyysrenkaan ja elektronisen suuntiman. Perämiehen tutkan mitta-alue oli 1,5' ja linjaluotsin 0,75'. Kaikki tässä esitetyt tutkakuvat on valokuvattu 0,75' mitta-alueella.

Navigation Command Console (NCC) ei lukenut simulaattorissa nauhoitteen yhteydessä automaattisesti reittisuunnitelman asetusarvoja SET HEADING, NEXT HEADING, SET RADIUS ja NEXT RADIUS. FINNFELLOWilla ne olivat kuitenkin olleet näkyvillä ja autopilotti oli toteuttanut ne.

DGPS vastaanottimen mittaama suunta pohjan suhteen (Course Made Good, CMG) ja nopeus pohjan suhteen (Speed Made Good, SMG) näytetään keskellä ruudun oikealla puolella NCC-näytössä (kuva 18). Alimmaisessa ruudussa oikealla näkyy DGPS-paikkaan perustuva sivuttaisetäisyys reittisuunnitelmasta (Cross Track Distance, XTD).

Käännös on loppuillaan kuvassa 19. Curved Headline (CHL) on hävinnyt kuvasta. Tutkan kuvalle on otettu reittipisteet yhdistävät viivat. Tutkan video on kääntynyt 2° vastapäivään. IMO sallii tämän suuruisen virheen. Virhettä ei huomaa vielä.

Kuvat 19 ja 20 vastaavat tilannetta, jolloin hyrrä on ollut 15 sekuntia jumiutuneena. Autopilotti näyttöruutu NCC näytti kompassin jumiututtua väärää suuntatietoa:

- NCC ruudun yläreunassa Gyro HEADING oli jumiutunut suunnalle 082.4° (oikea lukema oli 82.5°<sup>14</sup>).
- Oikeassa reunassa kulmanopeus näytti nollaa, koska NACOS laskee kulmanopeuden hyrräkompassin antamasta suunnasta.

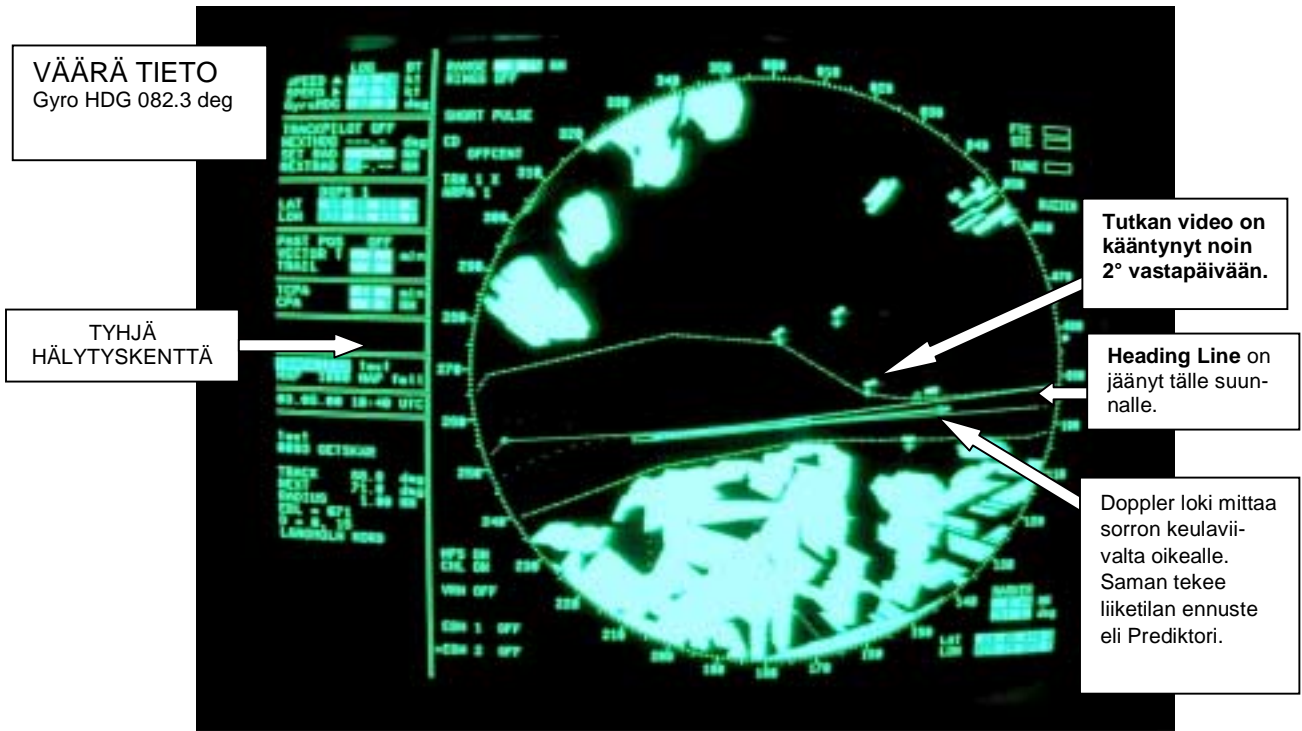
DGPS näytti oikeaa suuntaa 085.5° pohjan suhteen. Järjestelmä ei pystynyt ilmaisemaan vahtipäällystölle eri numeeristen arvojen merkitystä.

NCC:n hälytyskenttä oli tyhjä. Keulaviiva osoitti suuntaa, johon aluksen oletettiin ja hallittiin menevän. Alus oli myös hieman reittiviivan eteläpuolella, joten suunta 82.5° sopi tilanteeseen hyvin.

Kuvissa 21 ja 22 (30 sekuntia kompassin jumiutumuksesta) aluksen oikea suunta oli noin 5° oikealle näyttöruudun HEADING suunnasta. Autopilotti yritti kääntää oikealle suunnalta 082,5° pyydetylle suunnalle 085°.

---

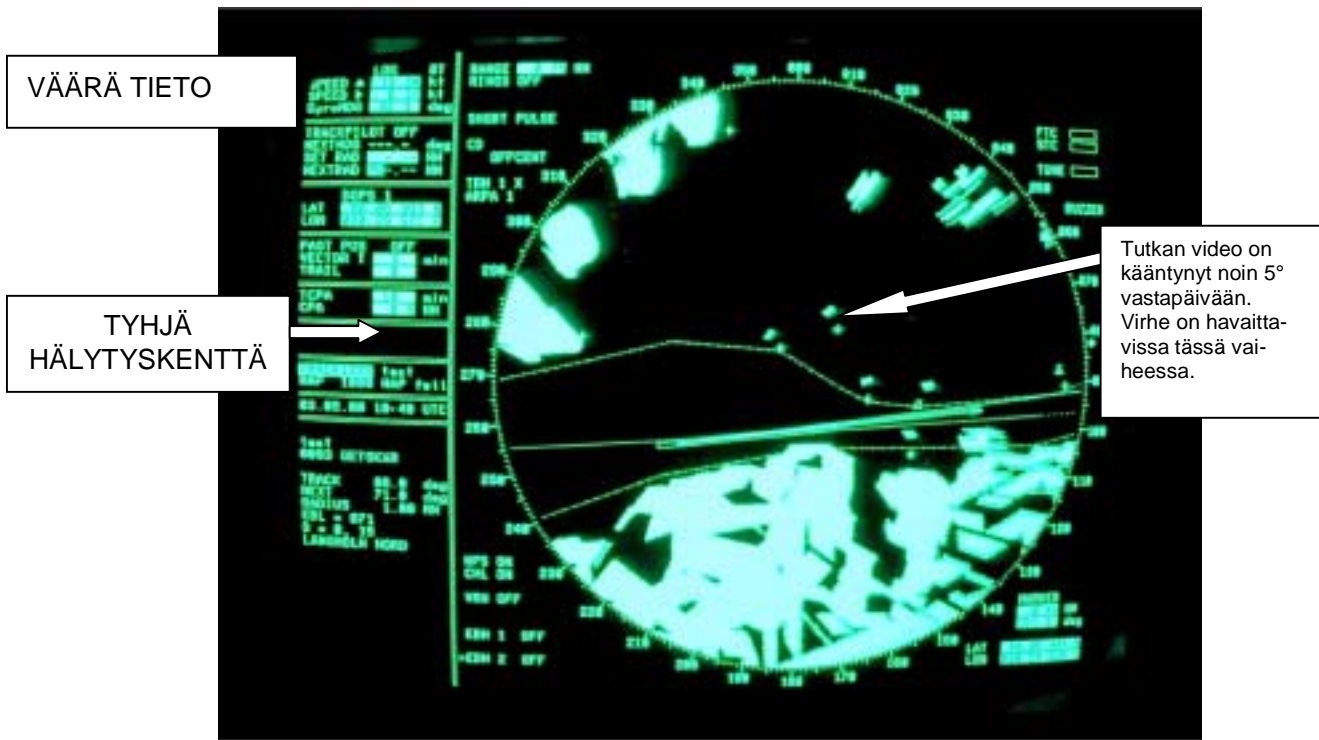
<sup>14</sup> Rekonstruoinnissa simulaattorin NCC- ja tutkanäytöistä otetuissa valokuvissa jumiutuneen kompassilukeman arvo vaihtelee pari asteen kymmenesosaa aluksella rekisteröidystä 82.5 asteesta.



Kuva 19. Kompassi on ollut 15 sekuntia 'jumissa'. Mikään ei ilmoita kompassin virheestä. Kuvausaika vastaa 02:31:17 (UTC 23:31:17).



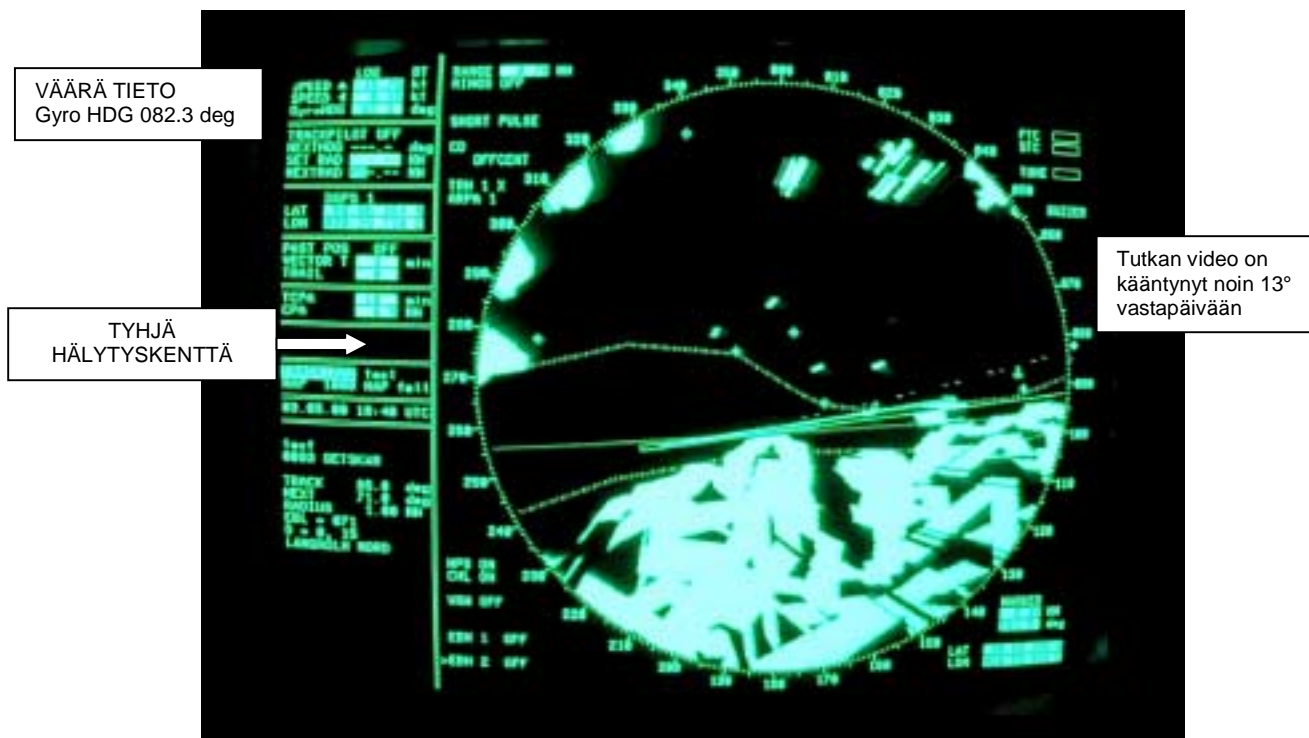
Kuva 20. Kompassi on ollut 15 sekuntia jumissa. Kuva vastaa tutkakuvan 19 tilannetta.



Kuva 21. Kompassi on ollut 30 sekuntia 'jumissa'. Kuvausaika vastaa kellonaikaa 02:31:32 (UTC 23:31:32). Virhe on jo näkyvässä.



Kuva 22. Kompassi on ollut 30 sekuntia jumissa. Kuva vastaa tutkakuvan 21 tilannetta.



Kuva 23. Kompassi on ollut jumissa 45 sekuntia. Kuvausaika vastaa kellonaikaa 02:31:47 (UTC 23:31:47). Virhe näkyy selvästi kuvassa.



Kuva 24. Kompassi on ollut 45 sekuntia jumissa. Kuva vastaa tutkakuvaa 23.

Kuvan 23 tilanteesta, jolloin on 45 sekuntia hyrrän jumiutumista, virheen huomaa selvästi, koska tutkakartan matalan veden raja menee syvälle maakaikujen päälle. Integroidun navigointijärjestelmän näyttöruuduilta kuvassa 24 virheen syy ei käynyt ilmi.

Linjaluotsin oikealla puolella oli Advanced Navigation Software (ANS) ohjelman näyttöruutu. Ohjelman käyttötarkoituksia ovat reittisuunnitelmien editointi, satamaohjailun simulointi, aikataulujen ja nopeusprofiilien laatiminen sekä kuljetun matkan rekisteröinti.

Ajon aikana rekisteröinti on aina toiminnassa ja näyttöruudulla on navigointisivu. Ohjelmaan on kytketty hyrräkompassi ja DGPS. Kuvaruudulla esitetään sama reittisuunnitelma, symbolit ja matalan veden turvaraja kuin tutkallakin (kuvat 25 ja 27).

ANS-ohjelman yksi käyttötapa ajon aikana on aikataulun monitorointi. Ohjelma näyttää silloin kuuden seuraavan reittipisteen sivuutusajan ottaen huomioon reittipisteisiin ohjelmoidut nopeudet. Siihen tarkoitukseen ohjelmaa käytettiin myös onnettomuuden tapahtuessa. Kun kaikki laitteet toimivat ei ANS anna dynaamisessa tilanteessa navigointimielessä lisätietoa integroidulle navigointijärjestelmälle. Oli luonnollista, että linjaluotsi ei katsonut ANS ohjelmaa käynnöksen aikana. Hänellä oli kaikki informaatio NACOS -näyttöruuduilla.

Kompassisuunnan jumiutuminen paikalleen käynnöksessä aiheuttaa NACOS-järjestelmän ja ANS-ohjelman näytöillä erilaiset tulokset. Kumpikin ohjelma laskee kulmanopeuden hyrräkompassin antamasta suunnasta.

- NACOS ohjelma laskee aluksen liikkeen pohjan suhteen hyrräkompassin antamasta suunnasta ja Doppler lokin kolin suuntaisen ja poikittaisen nopeuden avulla. Kompassitiedon jumiutuessa sorto piirretään keulaviivan vanhasta eli virheellisestä suunnasta. Aluksen keulaviiva, liikevektori ja liiketilän ennuste (prediktori) näyttävät väärin (kuva 23).
- ANS-ohjelma laskee aluksen liikkeen pohjan suhteen pelkästään DGPS:n avulla. Liiketilan ennusteen (prediktori) suunta ei siis perustu kompassi suuntaan, vaan kaarteeseen hetkelliseen tangentiin. ANS ei voi näyttää ennustetta kaarteeseen muodossa, koska kulmanopeus on nolla laskettuna hyrräkompassin suunnasta. Prediktori näyttää aluksen liikkeen suunnan oikein (kuva 25).

ANS näyttölaite kuvasi selkeämmin kuin tutkan kuvaputki todellisen tilanteen. Kuvat 23 ja 25 esittävät samaa tilannetta.





Kuva 25. ANS ohjelman näyttö 45 sekuntia kompassin jumiutumisen jälkeen. Kuva vastaa kuvien 23 ja 24 ajankohtaa.



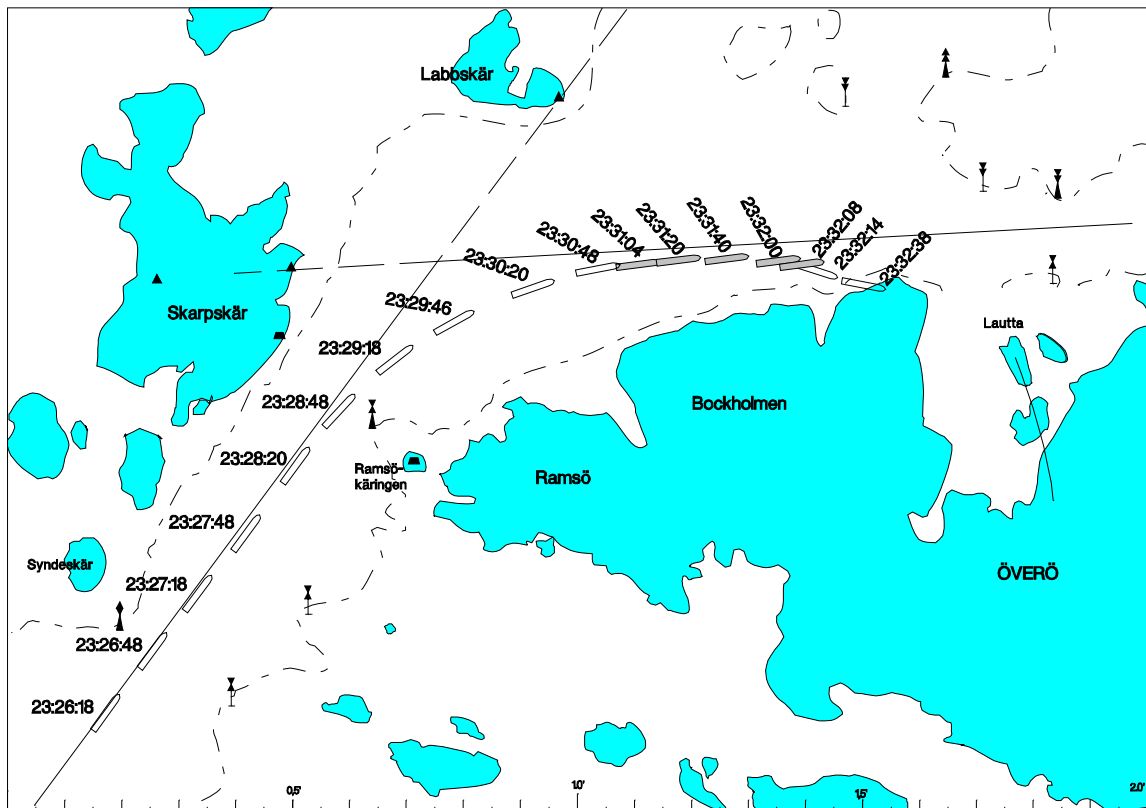
Kuva 26. FINNFELLOWin hyrrien ohjauspaneeli (Control panel). Kuvan tilanteessa on käytössä oleva hyrrä HEATING-tilassa ja varalla oleva hyrrä (stand-by-tila) näyttää oikein.

NACOS-järjestelmän ja ANS-ohjelman näyttöjen lisäksi on FINNFELLOWin ohjauspai-  
kalla keskikonsolissa NCC-näytön alla hyrräkompassien ohjauspaneeli (Control panel)  
(Paneelin sijainti näkyy kuvassa 3). Kuvassa 26 on tässä ohjauspaneelissa esitettyä  
tilanne, jossa käytössä oleva hyrrä on HEATING-tilassa ja varalla oleva hyrrä (stand-by-  
tila) näyttää oikein. Tätä näyttöä ei käytetä navigoinnissa, vaan se huomioidaan vasta  
hyrrähälytyksen tullessa. Hyrrähälytystä ei tullut HEATING-tilasta.

**Yhteenvetona** voidaan todeta, ettei tutkista, NCC-näytöstä eikä myöskään ANS-  
ohjelman näytöstä selvinnyt, että kompassissa oli vika. Kompassien ohjauspaneelissa ei  
ollut hälytystä, joten sitä ei ollut aihetta katsoa vaikka näytössä olisi ollut pienellä tekstillä  
HEATING-tila ja suluissa varalla olleen hyrrän oikea suunta.

## 2.2.2 Karilleajon liikerata

ANS-ohjelma rekisteröi kompassisuunnan ja DGPS paikan joka toinen sekunti. Kuva 27  
esittää FINNFELLOWin rekisteröidyn kulkuradan kuvattuna aluksen symboleilla Skarps-  
kärin käänöksessä. Kompassilukema jumiutui paikalleen klo 23:31:02 ja kompassi alkoi  
välittää oikeaa suuntaa jälleen klo 23:32:08. Tämä 66 sekuntia kestänyt katkos oli koh-  
talokas. ANS-rekisteröinti ja Simulco Oy:n raportti siitä ovat tutkintaselostuksen liitteinä.



Kuva 27. ANS ohjelman rekisteröimät tiedot Skarpskärin käänöksestä. Kompassi-  
suunta oli jähmettynyt paikalleen aikavälillä 23:31:02 - 23:32:08.



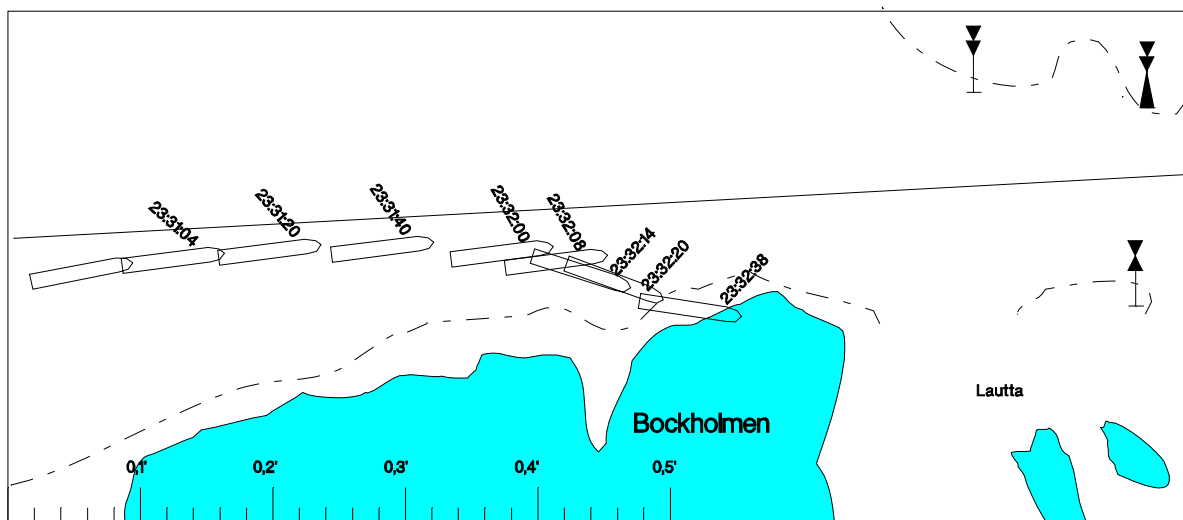
Skarpskärin käännöksen alku meni suunnitelman mukaan (kohta 2.2.1 ja kuvat 16 - 18). Vaikka käännös aloitettiin hieman normaalia myöhemmin, leikkasi aluksen rata hieman kaarteeseen sisään. Automaattiohjauksen HEADING MODE on taipuvainen tähän ja pohjoistuuli auttoi hieman asiaa.

Autopilotin suuntakäskey oli 085°. Koska alus jäi hieman linjan eteläpuolelle, linjaluotsi varautui korjaamaan suuntaa hieman vasemmalle. Aluksen nopeus hiljeni kääntymisen vuoksi. Kompassi lukkiutui suunnalle 082,5° klo 23:31:02. Hälytyksiä ei tullut. Autopilotti näytti suorittavan käännöksen suunnitelman mukaan.

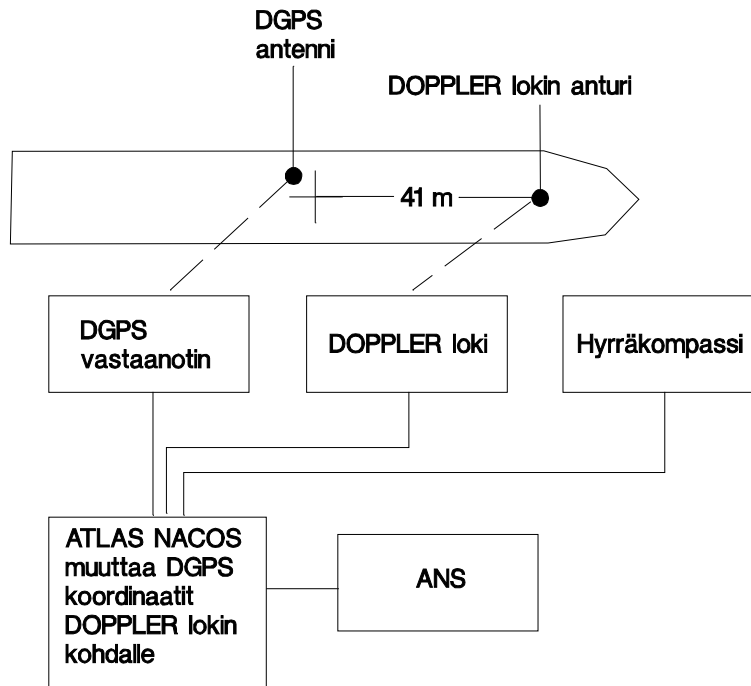
ANS-rekisteröinti näyttää luonnottomalta aikavälillä 23:31:02 - 23:32:08 (kuvan 27 tummennetut symbolit ja kuva 28). Alus siirtyi tällä alueella sivuttain oikealle suurella sortokulmalla.

NACOS muuttaa DGPS antennin maantieteelliset koordinaatit Doppler-lokin anturin koordinaateiksi, koska sen paikka toimii NACOS-järjestelmän origona (kuva 29). Järjestelmä lähettää Dopplerin koordinaatit myös kaikille oheislaitteilleen. Tämän johdosta myös ANS-ohjelma rekisteröi Doppler anturin maantieteellisen paikan. Koordinaattien muutoksella ei ole merkitystä kompassin toimiessa virheettömästi. Kompassisuunnan lukkiutuessa ja laivan kääntyessä, NACOS siirsi paikkakoordinaatit GPS antennilta kompassisuuntaan 082,5°, mutta aluksen suunta kääntyi huomaamatta oikealle aina suunnalle 110°. Rekisteröity paikka joutui tällä tavoin aluksen todellisen aseman ulkopuolelle. ANS rekisteröinti on kopioitu kuvaan 28.

ANS näyttölaite esitti käännöksen lopun kuvan 28 esittämällä tavalla (ks. myös kuva 25). Tutkan keulaviiva näytti suuntaa 082,5° ja tutkan vektori näytti sortoa oikealle. Näytöt olivat harhaanjohtavia.

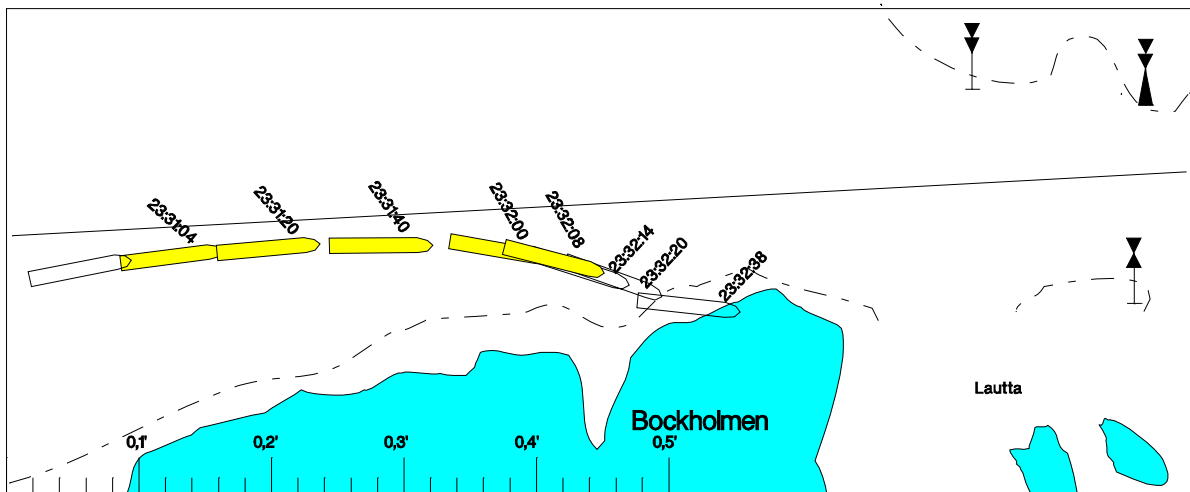


Kuva 28. ANS ohjelman rekisteröinti vääristyi kun kompassi lakkasi toimimasta. Symbolit aikavälillä 23:31:02- 23:32:08 eivät osoita aluksen todellista suuntaa.



Kuva 29. NACOS-järjestelmän origo on Doppler anturi.

Aluksen todellinen tilanne ei ollut nähtävissä millään näyttölaitteella. Todellinen käänнос on rekonstruoitu kuvaan 30. Simulco Oy määritteli tosisuunnat aikavälille, jolloin kompassin näytöt olivat jumiutuneet paikalleen<sup>15</sup>. Kulkuradan rekonstruointi suoritettiin siten, että alussymbolit käännettiin tosisuunnille aluksen keskipisteen suhteen. Tummennetut alussymbolit kuvassa 30 on käännetty korjatun suuntamäärittelyn mukaiseksi. Mikäli kompassi olisi toiminut, ANS-rekisteröinti olisi ollut kuvan 30 mukainen.



Kuva 30. Karilleajo esitettynä rekonstruoitujen todellisten kompassisuuntien avulla. Tummennetut alussymbolit esittävät matkaa, jonka kompassisuunta oli jumiutunut paikalleen.

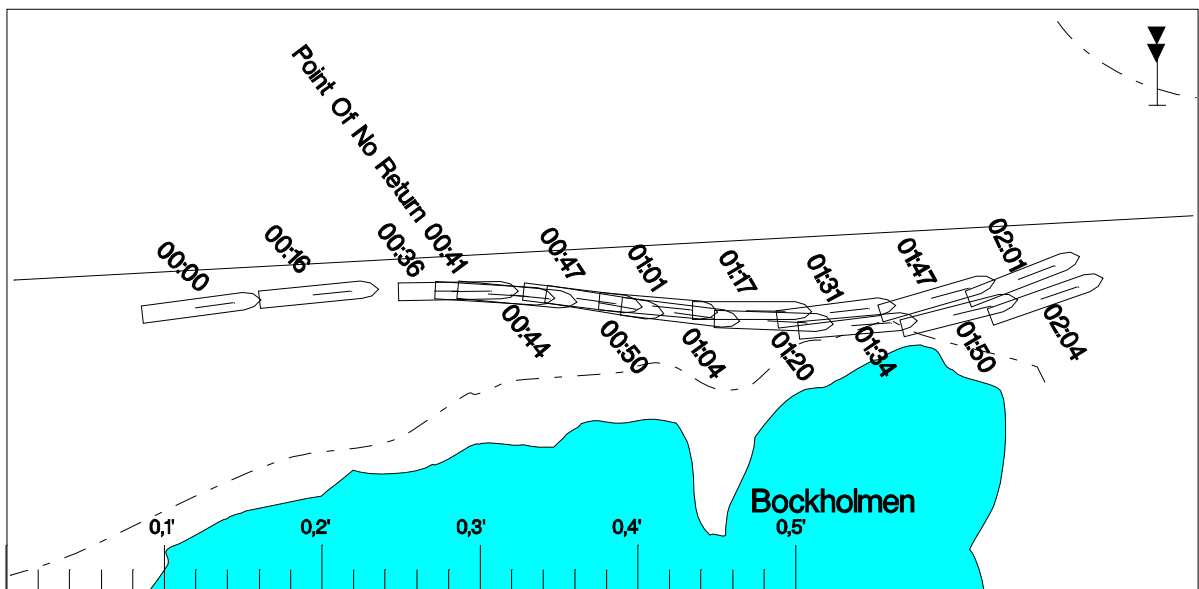
<sup>15</sup> Simulco Oy:n raportti liitteenä.

### 2.2.3 Korjausmanööverit ja käytävissä ollut aikamarginaali

**Tehty korjausmanööveri.** Autopilotti pyrki suunnalle 085°, kuten käsky oli ja suunta alkoi muuttua yhä jyrkemmin oikealle. Tutkan videon kiertyminen vastapäivään oli ensimmäinen osoitus hyrrän häiriöstä. Kuvan kiertyminen ilmaisi, että jotain oli vialla. Kokeemus on osoittanut, että kompassivian havaitseminen on vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että kompassi on kytketty kaikkiin laitteisiin muodostaen koko järjestelmän perustan. Ensimmäinen reaktio ei ole, että koko navigointijärjestelmä on kaatunut.

Vahtipäällikkö huomasi, että aluksen sivuttaisetäisyys linjalle oli noin 15 metriä ja että keulan suunta oli liukunut linjavalojen oikealle puolelle. Hän oli juuri mainitsemaan sitä linjaluotsille, kun hän huomasi, että tutka-kartta ei ollut paikallaan ja ymmärsi, että vika oli kompassissa. Tutkan kuva oli muuttunut sameaksi. Peräsin oli 20° oikealla. Linjaluotsi käänsi peräsimen käsin täysin vasemmalle. Kohtaa jossa peräsin käännettiin, ei pysty tarkasti määrittelemään, mutta käänös oikealle pysähtyi klo 23:32:25 ja alus alkoi kääntyä vasemmalle.

**Simulaattorissa analysoitu korjausmanööveri.** Simulaattorissa ajettiin väistömanöövereitä, joiden avulla määriteltiin kuinka vähän aikaa oli reagoida vikatilanteeseen. Kuva 31 esittää tilannetta, jossa peräsin käännettiin vasemmalle 44 sekuntia kompassin jumiutumisen jälkeen.



Kuva 31. Kompassi jumiutumisaika on merkitty kuvassa nollaksi. Simuloitu väistömanööveri alkoi 00:44, mutta se on hieman liian myöhäistä. Peräsin on käännettävä vasemmalle noin kolme sekuntia aikaisemmin. 'Point Of No Return' on 41 sekuntia kompassin jumiutumisen jälkeen.

Simulaattoriin ei oltu ohjelmoitu väylän reunan matalikkoimua (bank effect). Aluksen perä olisi luultavasti näin lähellä rantaa joutunut voimakkaan matalikkoimun vaikutuksen alaiseksi, mikä vuoksi simuloitu käänös rekonstruointiin alkamaan kolme sekuntia aiemmin eli klo 00:41. Peräsin oli käännettävä vasemmalle viimeistään 41 sekuntia kompassin jumiutumisen jälkeen. Jos HEATING-tilasta olisi tullut hälytys ja kompassi olisi näyttänyt täysin oikein, olisi päällystöllä ollut käytettävissä tämä aika. Tätä teoreettista aikamarginaalia tarkastellaan seuraavassa ensin sääntöjen ja sitten käytännön kannalta.

**Käytettävissä ollut aikamarginaali.** Pääteltäessä kuinka paljon aikaa päällystöllä oli käytettävissä, on otettu huomioon IMO:n sallima kompassivirhe ja se kuinka nopeasti autopilotti on sääntöjen mukaan voitava kytkeä pois päältä. Kompassia koskeva päätöslauselma<sup>16</sup> sallii  $\pm 2.5^\circ$  virheen, jonka saavuttamiseen kului kompassin jumiutumisen jälkeen noin 15 sekuntia. Tilanne 15 sekuntia kompassin jumiutumisen jälkeen on esitetty kuvassa 19. IMO:n autopilottia koskeva päätöslauselma<sup>17</sup> vaatii, että automaatiohjaus on voitava kytkeä irti kolmessa sekunnissa. IMO:n säännöt sallivat siis 18 sekunnin viiveen. IMO:n sallima kompassivirhe ja kytkentäviive käsiohjaukseen jättävät aikaa 23 sekuntia korjausmanööverin aloittamiseen.

Viivettä ei voi tarkastella pelkästään sääntöjen perusteella, koska hälytystä ei tullut. Vahtipäällystön oli pääteltävä poikkeama reitiltä optisesti tai tutkalta. Tutkakuvista 19 ja 21 on nähtävissä tilanne 15 ja 30 sekuntia kompassin jumiutumisesta, jolloin kompassivirheet olivat vastaavasti  $2^\circ$  ja  $5^\circ$ . Tutkinnan mielestä on tutkakuvasta pääteltävissä, että navigointijärjestelmässä on tekninen vika, kun kompassin virhe on yli  $5^\circ$ .

Integroitu navigointijärjestelmä näyttää kompassivirheen hämäävästi, sillä kartta säilyttää suuntansa, mutta tutkamaalit kääntyvät (kuva 23). On vaikea päätellä nopeasti kumpi on oikein kartta vai tutka. Vika voisi olla myös tutkan antennissa. On vaikea arvioida, kuinka kauan vian syyn selvittäminen vie aikaa. Tässä tapauksessa vahtipäällikkö toimi nopeasti, mutta aika ei riittänyt.

#### 2.2.4 Yhteenveto navigointilaitteiden toiminnasta onnettomuuden yhteydessä

Satelliittinavigaattori toimi virheettömästi onnettomuuden tapahtuessa. Se voidaan todeta aluksella rekisteröidystä tiedosta. Samoin doppler-loki toimi virheettömästi.

Integroitu navigointijärjestelmä toimi suunnitellulla tavalla. Sen autopilotti teki oikeat korjaustoimenpiteet kompassisuunnan perusteella, mutta autopilotti ei saanut tietoa siitä, että kompassisuunta oli jumiutunut.

Anschütz STD 20 hyrräpallo toimi oikein seurantapallon sisällä. Hyrräkompassin suuntaseuranta jumiutui kompassisuunnalla  $082,5^\circ$  klo 23:31:04 (UTC). Suuntaseuranta palautui jälleen klo 23:32:12 (UTC), jolloin kompassisuunta siirtyi yhtäkkiä oikealle suunnalle  $100,8^\circ$ . Hyppäys oikealle suunnalle osoitti, että hyrräpallossa ei ollut vikaa. Se oli ollut oikealla suunnalla koko ajan, mutta sen suuntaseuranta oli ohjelmallisesti katkaistu.

<sup>16</sup> IMO res. A.821(19) 23 Nov. 1995. par. 4.

<sup>17</sup> IMO res. MSC.64(69) 4 dec. 2000. par. 4.1.



## 2.3 Suojausjärjestelmän pettäminen hyrräkompassin osalta.

Kompassisuunnan välittymistä oikeana kompassista muihin järjestelmiin on pyritty varmistamaan säädöksillä, teknisillä ratkaisuilla ja vika-analyysillä. Ne muodostavat suojausjärjestelmän, johon onnettomuuksiin johtavan tapahtumaketjun oletetaan pysähtyvän. FINNFELLOWin tapauksessa suojausjärjestelmä petti.

### 2.3.1 Valmistajan hyrrälle tekemä vika-analyysi.

Raytheon yhtiö oli tehnyt Anschütz STD 20-kompassille Failure Mode and Effect analyysin (FMEA)<sup>18</sup>. Tämän vuonna 1998 tehdyn analyysin tulos on esitetty lyhennellynä liitteessä 5. Kansainvälisen FMEA<sup>19</sup> standardin mukaisen analyysin tarkoitus on määritellä laitevikojen seuraukset.

FINNFELLOWilla esiintynyt HEATING-tila on vain yksi kymmenestä vikatilanteesta, joiden seurauksena suunnan lähettäminen navigointijärjestelmälle katkaistaan ohjelmallisesti.

Useat näistä vikatilanteista ovat sellaisia, että niissä hyrräjärjestelmä valvoo suureita esim. lämpötilaa, nesteen korkeutta, virran syöttöä etc. Välittömästi rajan ylittämisen tai alittamisen jälkeen on mahdollista, että kompassin hyrräpallo toimii vielä mekaanisesti täysin oikein, koska hyrrällä on suuri inertia tai suureen muutos tapahtuu hitaasti. Tällöin ohjelma katkaisee suuntatiedon oheislaitteilta, vaikka järjestelmää on kohdannut vikatilanne, joka ei vaikuta itse hyrräpallon suuntaan. Vikatilanteiden määrää lisäävät keskusyksikön (Control Unit) vikatilanteet, joissa järjestelmä katkaisee suuntatiedon autopilotilta samalla tavalla.

**Yhteenvetona** FMEA-analyysistä voidaan todeta, että vikatilanteista ei ole tehty johtopäätöksiä. Vikatilanteita on punnittu ainoastaan kompassijärjestelmän omalta kannalta. Analyysissä ei ole otettu kantaa suuntatiedon katoamisen aiheuttamiin seurauksiin, eikä sen vaikutusta aluksen turvallisuuteen ole käsitelty.

### 2.3.2 Kansainväliset säädökset

Hyrräkompassia koskeva IMO:n päätöslauselma suositteli vuonna 1979, että hyrräkompassi on suojattava elektromagneettisilta häiriöiltä ja vakavan vikatilanteen sattuessa on annettava hälytys<sup>20</sup>. Tämä on yksityiskohtainen säädös, joka on toteutettavissa käytännössä.

<sup>18</sup> Tämä FMEA-analyysi suoritettiin Raytheon Marine Integrated Bridge System (IBS) -laitteistolle, joka sisälsi myös STANDARD 20 kompassin.

<sup>19</sup> International Electrotechnical Commission, IEC, Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). Publication 812, 1985.

<sup>20</sup> IMO res. A.424(XI) 15 nov. 1979, par. 7.1 "All steps should be taken to eliminate as far as practicable the causes of, and to suppress, electromagnetic interference between the gyro-compass and other equipment on board" ja par. 9.3. "An automatic alarm should be provided to indicate a major fault in the compass system"

ISM-koodi vaatii, että varustamon on laadittava ohjeistuksen muodossa suojausjärjestelmä kaikkien riskien varalle<sup>21</sup>. Tämä yleisluontoinen vaatimus on vaikeasti toteutettavissa.

FINNFELLOWin karilleajo osoitti, että laiteturvallisuutta ei voi saavuttaa nykyisillä säädöksillä, suosituksilla, turvallisuusanalyysillä ja todistuksilla. Tyyppihyväksynnässä yksittäiset laitteet testataan elektromagneettisilta häiriöiltä laboratorio-olosuhteissa. Alusasennuksissa näitä testejä ei tehdä, eikä vuosittainen säädöspohjainen laitekat-sastus myöskään korjaa tilannetta.

### 2.3.3 Kaksi kompassia ja suuntaerohälytin

SOLAS vaatii FINNFELLOWin kokoiselta alukselta sekä magneetti- että hyrräkompassin<sup>22</sup>, mutta varustamo oli varmistanut laiteturvallisuuden toisella hyrräkompassilla. Kompassisuunnan luotettavuus oli varmistettu keskusyksikön toiminnolla, joka hälyttää suuntaerosta kompassien välillä<sup>6</sup>. Suuntaeron vertailu toimi vain silloin, kun molemmat kompassit toimivat normaalisti. Vikatilanteessa ei tullut hälytystä. Ainoa ilmoitus oli teksti HEATING ohjauspaneelissa, kuva 26 (kohta 2.2.1).

Kompassijärjestelmä oli ohjelmoitu siten, että HEATING-vikatilannetta pidettiin normaalina toimintona, josta ei annettu hälytystä. Samalla vikaa pidettiin kuitenkin häiriönä, joka edellytti kompassisuunnan seurannan lopettamista oheislaitteilta. Kun suunnan seuranta oli lopetettu, esti keskusyksikön oma ohjelma suuntaerohälytyksen toiminnan.

FMEA-analyysi ei ollut vaikuttanut suuntaerohälyttimen toiminnan ohjelmointiin. Kaksi hyrräkompassia ja suuntaerohälytin eivät lisänneet turvallisuutta. Järjestelmä toimi aivan kuin siinä olisi ollut vain yksi kompassi.

### 2.3.4 Kompassin liitettä automaattiohjaukseen

Raytheon-yhtiö vastaa kompassin kytkentäkaavioista oheislaitteisiin, jos laitteet ovat oman yhtymän valmistetta. Mikäli Anschütz-kompassi asennetaan esimerkiksi NACOS navigointijärjestelmään, Raytheon ei ota vastuuta kytkennästä, eikä tee siihen liittyviä kytkentäohjeita.

Perinteisesti kompassi on aina liitetty oheislaitteisiin analogisella STEP-signaalilla. Tämä edellyttää, että jokainen oheislaitte asetetaan erikseen oikealle suunnalle. STANDARD 20 kompassin STEP-signaali voi käyttäytyä vikatilanteessa kahdella tavalla riippuen hyrräkompassin ohjelmaversiosta. Toisessa suuntasignaali jumiutuu ja toisessa sitä ei lähetetä (ks. kohdan 2.1.3 alakohdat "FINNFELLOWin kompassiliityntä NACOSiin" ja "FINNFELLOWin kompassijärjestelmän ohjelmaversiot" ss. 23-24).

<sup>21</sup> IMO res. A.788 (19), 23 nov. 1995, Annex par. 2.2.2: to establish safeguards against all identified risks;

<sup>22</sup> SOLAS1974 (1997), Chapt. V, reg. 12.





STANDARD 20 kompassi antaa suunnan myös digitaalisesti sarjamuodossa. Protokollana on NMEA 183. Sen etuna on, että oheislaitteet saavat automaattisesti oikean suunnan. Vikatilanteessa suuntatietoa ei lähetetä oheislaitteisiin.

FINNFELLOWilla oli kytketty vain STEP-signaali. Raytheon-yhtiö ei vaatinut kompassin asennusohjeessaan sarjamuotoisen signaalin käyttöä.

Kompassisignaalin katkeaminen vaikuttaa NACOS integroituun navigointilaitteistoon siten, että tutkat menevät HEAD-UP-näytölle välittömästi. HEAD-UP-näyttöä ei nykyään käytetä, joten tutkan esittäessä yllättäen HEAD-UP-kuvan aiheuttaa sekaannuksen, joka voi johtaa onnettomuuteen. Mikäli HEAD-UP ilmestyy yllättäen sumussa käännöksen aikana tai ajettaessa etelään kapeaa väylää, muodostuu hätätilanne. Sarjamuotoinen signaali ei takaa turvallisuutta kaikissa tilanteissa. Navigaattorin on toimittava ilman viivytystä seuraavalla tavalla:

1. Follow-Up käsiohjaus on kytkettävä välittömästi.
2. On ohjattava magneetikompassilla ja tutkan Head-Up näytöllä.
3. Vasta sen jälkeen, kun aluksen suunta on hallinnassa ja ympärillä on tarpeeksi vettä, kytketään toinen hyrräkompassi järjestelmään.
4. Automaattiohjaus pannaan päälle vasta sen jälkeen, kun varmistutaan kaikkien näyttöjen oikeellisuudesta.

FINNFELLOW ajoi kapeasta Hjulgrundetin salmesta kaksikymmentä minuuttia ennen onnettomuutta. Salmi on vain 90 metriä leveä. Jos kompassihäiriö olisi tapahtunut sillä kohdalla ja kompassisuunnan lähetys olisi katkennut, olisivat tutkat hypänneet äkisti HEAD-UP näytölle. Tässä paikassa yllättäen tapahtunut tutkien hyppääminen HEAD-UP-näytölle olisi ollut vaarallinen. Jumiutunut STEP-signaali ei olisi ollut siinä tilanteessa yhtä vaarallinen.

### 2.3.5 Järjestelmien jälkiasennukset

Osa teknistä suojausjärjestelmää on vanhojen tai vanhentuneiden järjestelmien uusiminen. Tutkinnassa kävi ilmi, että jälkiasennukset voivat aiheuttaa uusia ongelmia. Karilleajon jälkeen suoritetuissa testauksissa todettiin useilla laivoilla yksiselitteisesti, että radiotajuiset häiriöt aiheuttavat toiminnallisia virheitä Standard 20-tyyppiseen hyrräkompassiin.

Tutkituissa laivoissa hyrräkompassit oli asennettu jälkiasennuksina, jolloin on normaalia hyödyntää laivoilla jo ollut kaapelointia, missä se suinkin on mahdollista. Jälkiasennustilanteessa sattuu helposti etteivät kaapelityypit, niiden häiriösuojaus ja johtimien poikkipinnat sovellu uudelle laitetypille.

**Yhteenveto suojausjärjestelmien pettämisestä.** FINNFELLOWin tapauksessa suojausjärjestelmät pettivät. Kompassijärjestelmä on yleensä rakennettu siten, että se on käytännössä vain yhden kompassin varassa silloinkin, kun siinä on useampia kompasveja. Tällöin kumpi tahansa edellä kuvattu suuntasignaalin vikaantuminen on vaarallinen. Kompassin pettäminen on aina vaaratilanne.

FINNFELLOWin tapaus on osoittanut, että kompassisignaalien standardisointia tarvitaan.

## **2.4 Häiriösuojaukset**

### **2.4.1 Häiriösuojaukset onnettomuuden jälkeen**

FINNFELLOWin karilleajon jälkeen Raytheonin yhtiö ryhtyi toimenpiteisiin radiotaajuisten häiriöiden vaikutuksen eliminoimiseksi. Useiden alusten STANDARD 20-hyrräkompassien häiriösuojauksista on parannettu testatuissa jälkiasennuksissa seuraavilla tavoilla:

1. Kompassisysteemin laitteet maadoitettiin mahdollisimman lyhyillä maadoitusjohtimilla ( tätä ei vaadita laitevalmistajan asennusohjeissa).
2. Kaikki kaapelien häiriösuojat maadoitettiin, mikäli mahdollista.
3. Käyttämätön hyrräkompassiin kytketty kiepillä ollut varakaapeli poistettiin.
4. Hyrräkompassin aluslevyn päälle asennettiin metalliverkko, joka kytkettiin hyrräkompassin runkoon.
5. Hyrräkompassin rungossa oleva puhaltimen ilma-aukko suojattiin metalliverkolla, joka maadoitettiin itsestään tarttuvalla kuparifoliolla hyrräkompassin runkoon.
6. Hyrräkompassin kansiosan sivussa runkoa vasten oleva kumitiiviste päällystettiin kuparifoliolla, joka kytkettiin hyrräkompassin runkoon.
7. Hyrräkompassin huoltoluukku puhdistettiin lakasta niiltä kohdista, jotka olivat kosketuksessa runkoon ja kosketuspinnat peitettiin kuparifoliolla. Vastaavat kosketuspinnat rungossa peitettiin myös kuparifoliolla.

Suoritetuissa testeissä havaittiin yllä olevien toimenpiteiden riittävän eliminoimaan radiotaajuisten häiriöiden vaikutuksen STANDARD 20-hyrräkompassin toimintaan.

### **2.4.2 Häiriötestaukset laivalla**

Tutkimus on osoittanut, että laboratorio-olosuhteissa tehdyt häiriötestit ovat välttämättömiä. Laboratorio-olosuhteissa ei voida kuitenkaan huomioida aluksen kaapelointia, maadoituksia ja asennusympäristöä, jotka vaikuttavat ratkaisevasti systeemin häiriökäyttäytymiseen. Pelkät laboratoriokokeet eivät ole riittäviä.

Tästä syystä sähkömagneettisten häiriöiden vaikutus hyrräkompassin toimintaan tulee testata myös laiva-asennuksessa laitteiston käyttöönoton yhteydessä. Testit tulisi tehdä käyttäen häiriötaajuuksia ja kentänvoimakkuuksia, joita voi esiintyä merenkulussa.



## 2.5 Navigointijärjestelmän suojaus

Nykyisen merenkulkukulttuurin mukaiset suojausjärjestelmät pettivät FINNFELLOWin karilleajossa. Perinteisiä kompassisuunnan luotettavuuden varmistamisessa käytettyjä suojausjärjestelmiä on kuvattu kohdassa 2.3. Kohdassa 2.4 on käsitelty kompassin suojaamista radiohäirinnältä. Navigointijärjestelmä on suojattava siten, että suunta saadaan oheislaitteille siitä huolimatta, vaikka perinteinen kompassin suojausjärjestelmä pettää. Aluksen olisi turvallisempaa käyttää kahta toimintaperiaatteeltaan erilaista pääkompassia kahden täysin samanlaisen asemasta.

Navigointilaitteet voidaan suojata liittämällä kulmanopeushyrrä automaattiohjaukseen ja käyttämällä Kalman-suodinta. Lisäksi voidaan ottaa käyttöön suuntahyrrään perustuva kompassi. Esitetyt menetelmät ovat yleisesti tunnettuja, mutta niitä ei ole käytetty, koska sen enempää käyttäjät kuin säännökset eivät niitä vaadi.

### 2.5.1 Hyrräkompassi ja kulmanopeushyrrä

Ensimmäisiin saaristonavigointiin suunniteltuihin autopilotteihin liitettiin 1970-luvulla kulmanopeushyrrä. Ajatuksena oli yhdistää jokiliikenteen kulmanopeus automaatti (Rate Pilot) ja konventionaalinen meriliikenteen hyrräkompassiin perustuva autopilotti. Käännökset suoritettiin kulmanopeushyrrällä ja suorat ajettiin hyrräkompassilla<sup>23</sup>.

Yhdistelmä tarjosi hyrräkompassin kannalta sen edun, että kompassin toimintahäiriöitä voitiin valvoa kulmanopeushyrrällä. Hyrrän toimiessa epänormaalisti autopilotti hälytti, että kompassin toiminta ei vastannut kulmanopeushyrrän arvoa. Autopilottit tulivat epävarmemmaksi 1980-luvulla, kun kulmanopeushyrrästä luovuttiin kustannussyistä ja kulmanopeus derivoitiin hyrräkompassista. Tämä on muuttunut tavaksi navigointilaitteellisuudessa. Hyrräkompassin toimintaa valvoo pelkästään kompassijärjestelmä itse. Tärkeä suojausmekanismi katosi.

### 2.5.2 Kalman suodatin.

Vikatilanteen sattuessa integroidussa navigoinnissa on vaikea havaita mikä oheislaitte on viallinen. Suunnan tai nopeustiedon katoaminen on tällä hetkellä integroidun navigoinnin suurin riskitekijä.

Suunnan välittyminen järjestelmään kompassihäiriön sattuessa voidaan varmistaa Kalman-suodattimella. Kalman-suodatin toimii niin, että ensin ennustetaan kaikkien suuntaa ilmaisevien laitteiden tulevat suunta-arvot ja niitä verrataan havaittuihin arvoihin. Tämän jälkeen karsitaan täysin poikkeavat arvot ja annetaan sensoreille luotettavuuskerroin. Lopuksi arvoja verrataan keskenään ja integroidulle navigointilaitteelle lähetetään kaikkien sensoreiden ilmaisemasta suunnasta luotettavin suunta-arvo.

<sup>23</sup> Hagelstam, Larjo, Sten 1976.

Suuntatiedon lähteinä voidaan käyttää seuraavia laitteita:

- IMO:n sääntöjen mukainen hyrräkompassi. Pelkkä vauhtivirhekorjaus ei ole riittävä integroidussa navigoinnissa. Paras tarkkuus saavutetaan, jos käytetään ballistista korjausta.
- Magneetikompassi (Transmitting Magnetic Compass, TMC) ja siihen liitetty erannon ja eksymäkäyrän korjaaja.
- DGPS:ltä saatava kulkusuunta pohjan suhteen (Course Over Ground) korjattuna siihen liitettyllä sortokulmalla, joka saadaan Doppler lokista.
- Vapaa suuntahyrrä, jota Kalman-suodatin päivittää.
- GPS kompassi, jota vapaa suuntahyrrän inertia vakauttaa ja suodattaa.
- Kulmanopeushyrrä.

Käytettäessä Kalman-suodatinta estetään yhden suuntatiedon katoamisen aiheuttama ohjattavan suunnan jumiutuminen tai sen häviäminen. Hyrräkompassin voittuessa Kalman suodatin antaa hälytyksen ja järjestelmä pystyy laskemaan suunnan muiden sensoreiden avulla. Kalman-suodattimella voidaan varmistaa kahden kompassin 'redundanssi'.

### 2.5.3 Vapaan suuntahyrrän käyttö kompassina

Hyrräkompassia koskevien IMO:n päätöslauselmien sanamuodot viittaavat kompassiin, joka hakeutuu pohjoissuunnalle maapallon pyörimisliikkeen mukaan. NykYTEKNIikka antaa mahdollisuuden käyttää muita tarkempia ratkaisuja.

**Hyrräkompassia** käsittelevät oppikirjat mainitsevat, että maapallon pyörimisliikkeen perusteella pohjoiseen hakeutuva hyrräkompassi soveltuu vain hitaisiin kulkuneuvoihin kuten laivoihin<sup>24</sup>. Laivat eivät enää liiku hitaasti. Integroitu navigointi on myös nostanut kompassien käytännön tarkkuusvaatimuksen ohi IMO:n suositusten. Käytännössä tarkkuuden tulee olla yhden asteen rajoissa.

**Vapaa suuntahyrrä** soveltuu kulkuneuvoihin, jotka liikkuvat suurella nopeudella ja tekevät jyrkkiä suunnanmuutoksia. Lentokoneissa suuntahyrrää käytetään suodattamaan sähköistä magneetikompassia, joka on altis häiriöille. Maastojoneuvoissa, jotka tarvitsevat tarkan suunnan, suuntahyrrän suunnan päivitys toteutetaan maastokohteiden ja kartan avulla. Tekninen kehitys antaa nykyään myös merenkulussa mahdollisuuden käyttää suuntahyrrää, koska tarkan paikanmäärityksen kautta on saatu tarkka suunta-referenssi.

Suuntahyrrä on teknisesti hyrräkompassia yksinkertaisempi. Se säilyttää suuntansa avaruuden suhteen. Aluksen suunnan ja nopeuden vaihtelu eivät vaikuta suuntahyrrään. Suuntahyrrään liitetään kellolaite, joka kääntää hyrrää maapallon pyörimisliikkeen mukaan  $15^\circ \times \sin(\text{latitudi})$  tunnissa. Hyrrä säilyttää suuntansa maapallon meridiaanin suhteen, mutta sillä ei ole pohjoiseen hakeutuvaa ominaisuutta. Hyväkuntoinen suuntahyrrä ryömii noin asteen tunnissa, joten se on päivitettävä säännöllisesti.

---

<sup>24</sup> Machover vol.2, s. 1-98.

**Säännöt.** Konventionaalisessa aluksessa suuntahyrrää ei lueta IMO:n SOLAS sopimuksen täyttäväksi kompassiksi<sup>25</sup>. IMO:n nopeakulkuisia aluksia koskevassa säännössä (High Speed Craft-Code, HSC-koodi) vaaditaan, että kompassin on oltava tarpeeksi tarkka vastatakseen nopean aluksen ohjailuominaisuuksia<sup>26</sup>. Tämä voidaan tulkita siten, että HSC-koodi hyväksyy epäsuorasti suuntahyrrän käytön. Koodi asettaa käytännön tarpeen tarkkuusvaatimukseksi. Koodia seurannut tekninen vaatimus nopeakulkuisen aluksen kompassista ei kuitenkaan toteuta tätä vaatimusta, sillä se<sup>27</sup> perustui edelleen vuoden 1979 kompassipäätöslauselmaan. IMO:ssa ei ole vielä määritelty integroituun navigointilaitteeseen liitettävän kompassin tarkkuusvaatimuksia.

IMO:n kompassisääntö viittaa kompassiin, joka hakeutuu pohjoissuunnalle maapallon pyörimisliikkeen ja painovoiman avulla. Kompassisääntö ilmoittaa johdannossaan, että kompassin tulee osoittaa maantieteellinen pohjoissuunta<sup>28</sup>. Määritelmässä ilmaistaan, että hyrräkompassin tulee käsittää koko suunnan määrittelyyn tarvittavan laitteiston kokonaisuus<sup>29</sup>. Suuntahyrrään perustuva kompassi olisi sääntöjen mukainen, jos sen pohjoiseen hakeutuva osa muodostaisi hyrrän kanssa yhtenäisen kokonaisuuden. High Speed Craft koodi viittaa enemmän suuntahyrrään kuin hyrräkompassiin<sup>30</sup>.

**Kokeita suuntahyrrällä.** Saaristoliikenteessä suoritettiin kokeiluja vuonna 1989 Siemens suuntahyrrällä<sup>31</sup>, joka oli ollut saksalaisessa lentokoneessa vuonna 1944. Kokeet osoittivat, että Siemens-suuntahyrrä vastasi nykyaikaista hyrräkompassia tarkkuuden ollessa 1° - 2° tunnissa. Suuntahyrrän päivittäminen oikealle suunnalle tehtiin manuaalisesti kerran tunnissa.

Suuntahyrräkokeita jatkettiin vuonna 1991 maa-ajoneuvoille suunnitellulla TELDIX suuntahyrrällä. Hyrrään kuului prosessori, joka muutti hyrrän korjauskerrointa jokaisen suunnan korjauksen jälkeen. TELDIX-hyrrä ryömi saaristo-olosuhteissa vain 0.25° tunnissa.

Kokeet osoittivat, että teknisesti menetelmä toimi, mutta suuntakorjauksen olisi tullut olla automaattinen.

**Automaattisen suuntakorjauksen** voi toteuttaa satelliittipaikannukseen perustuvalla suunnan mittaamisella. GPS-kompassissa on kolme tai neljä antennia, jossa antennit ovat noin metrin päässä toisistaan ja suunta lasketaan radioaallon vaihe eron perusteella. Eräällä kahta GPS-vastaanotinta käyttävällä kinemaattisella mittausjärjestelmällä on saavutettu 0,2° tarkkuus<sup>32</sup>. Ainakin yksi kauppa-aluksiin soveltuva satelliittikompassijärjestelmä on jo markkinoilla.

<sup>25</sup> IMO, res. A.424(XI) 1979. Säännön tarkkuusmääritykset viittaavat kompassiin, jonka prekessioliike kääntää pohjoissuunnalle gravitaation avulla, par.5.2.

<sup>26</sup> IMO, HSC CODE 1995 Chapt. 13, par. 13.2.6: 'be provided with a gyro-compass which should be suitable for the speed and motion characteristics and area of operation of the craft'.

<sup>27</sup> IMO res. A.821(19) 1995.

<sup>28</sup> IMO. Res. A.424(XI) 1979, par. 1.

<sup>29</sup> IMO. Res. A.424(XI) 1979, par. 2.1.

<sup>30</sup> IMO, HSC Code, Res. MSC.36(63) 1994. Chapter 13, par.13.2.6.

<sup>31</sup> Kurskreisel Bauert SAM - LKü4. Gerät.no.127-210 A-2. Werkstelle Siemens Apparaten und Maschinen.

<sup>32</sup> PILOTMATE, ARINC Inc. 1998. PILOTMATE, A GPS based accurate positioning and Heading system.



Suuntahyrrän suunta voidaan päivittää automaattisesti tasaisin väliajoin satelliittinavigaattorin avulla. Vaikka satelliitin signaali katkeaisi, jatkaa suuntahyrrä suunnan lähettämistä autopilotille. Tätä ei ole tehty ilmeisesti siksi, että GPS on USA:n puolustusministeriön järjestelmä. Säätöihin perustuvan kompassin on tukeuduttava siviiliviranomaisten päätösvaltaan. Euroopan Unionin GALILEO-satelliittijärjestelmä valmistuu viimeimpien tietojen mukaan vuonna 2008<sup>33</sup>. Uuden kompassijärjestelmän kehittäminen voisi edetä GALILEO-järjestelmän kehityksen kanssa.

---

<sup>33</sup> GALILEO Get Go-Ahead (?), NAVIGATION NEWS Nov/Dec. 2000, Magazine of the Royal Institute of Navigation



### 3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Integroitu laitteisto tarvitsee toimiakseen maantieteellisen paikan, suunnan ja nopeuden. Paikkatiedon vaihtuminen GPS paikasta merkintäpaikaksi aiheutti inhimillisen erehdyksen USA:n itärannikolla vuonna 1995<sup>34</sup>. Nopeustiedon vaihtuminen manuaaliseksi aiheutti karilleajon Ruotsin saaristossa samana vuonna<sup>35</sup>. Kompassisuunnan jumiutuminen aiheutti FINNFELLOWin karilleajon.

Nykyään paikkatiedot välittyvät satelliittinavigaattorista integroituun navigointilaitteistoon luotettavasti, mutta suunnan ja nopeustiedon välitys on vielä puutteellinen sensoreiden oman luotettavuuden tähden.

#### 3.1 Tekninen tapahtumaketju.

- FINNFELLOWissa hyrräkompassin suuntaseuranta jumiutui hyrränesteen lämpötilaindikoinnin laskiessa alle 45°C:n (HEATING-tila) radiotaajuuden häiriön seurauksena.
- Mitään hälytystä ei tullut, vaikka suuntatieto autopilotille oli yhä enemmän virheellinen.
- HEATING-tila ei aiheuttanut hälytystä, koska hyrräkompassin valmistajan mukaan se oli normaali tila.
- Hyrräkompassien välinen suuntaerohälytys ei ollut toiminnassa HEATING-tilan aikana eikä muulloinkaan, jos toinen kompassista oli vioittunut.
- Suuntatieto (STEP-kytkentä) jumiutui HEATING-tilan aikana ja FINNFELLOWin kompassisysteemi lähetti autopilotille virheellistä suuntatietoa ilman minkäänlaista hälytysindikointia komentosillalla.
- Suuntatiedon kulku hyrräpallosta navigointijärjestelmään katkesi ohjelmoidun logiikan tarkoittamalla tavalla. Navigointijärjestelmässä suuntatieto tutkille ja autopilotille lukkiintui samaan lukemaan 67 sekunniksi.
- FINNFELLOW oli tekemässä 50 asteen käännöstä oikealla integroidun navigointijärjestelmän autopilottiohjauksessa, kun HEATING tila syntyi. Lukittuminen tapahtui 2.5 astetta ennen käännöksen päättymistä.
- Automaattiohjaus jatkoi käännöksen loppuunsaattamista oikealle oman logiikkansa mukaisesti. Se lisäsi peräsinkulmaa oikealle, koska sen saama suuntatieto ei muuttunut.

Tämä tekninen tapahtumaketju aiheutti onnettomuuden.

<sup>34</sup> National Transportation Safety Board, Grounding of m/s Royal Majesty, 10.6.1995.  
<http://www.nts.gov/Publictn/1997/MAR8701.htm>

<sup>35</sup> Onnettomuustutkintakeskus, M/S Silja European karilleajo, tutkintaselostus 1/1995, sivu 67.

### 3.2 Toiminta komentosillalla

- Onnettomuuden edellytykset syntyivät, kun mitään hälytystä ei tullut.
- Aluksen todellinen kulkutilanne ei ollut nähtävissä millään näyttölaitteella. Alusta ohjannut linjaluotsi ja vahtipäällikkö eivät huomanneet autopilotin lisänneen peräsin-kulmaa oikealle.
- Vahtipäällikkö huomasi tutkasta, että hyrräkompassi ei toiminut oikein.
- Korjaustoimenpiteet tulivat liian myöhään, sillä väylä kulki lähellä rantaa.
- Korjausmanööveristä ja pysäytyksen aloittamisesta huolimatta FINNFELLOW ajautui rantaan 14 solmun nopeudella yksi minuutti 30 sekuntia kompassisignaalin lukit-tumisesta.

Komentosiltahenkilökunta ei voinut katkaista onnettomuuden teknistä tapahtumaketjua, koska aikaa oli liian vähän.

### 3.3 Hyrräkompassien suojausjärjestelmän pettäminen

Sekä FINNFELLOWin navigointijärjestelmä että hyrräkompassin mekaniikka toimivat oi-kein. Jopa hyrräkompassin ohjelma, jonka toimintalogiikassa oli virhe, toimi suunnitel-lulla tavalla. Suojausjärjestelmän pettäminen salli radiohäirinnän aiheuttaman virheen käynnistää onnettomuuteen johtaneen tapahtumaketjun.

**Säännöt** eivät vaadi autopilotin käyttämän suuntatiedon automaattista varmistamista suunnan antavan hyrräkompassin vioittuessa tai suuntaseurannan jumiutuessa. FINN-FELLOWin karilleajotilanteessa suuntavirhe ylitti reilusti IMO:n sääntöjen salliman mak-simivirheen 2,5 astetta, joten suuntavirheestä olisi pitänyt tulla hälytys komentosillalla.

IMO:n päätöslauselma vaati elektromagneettista suojausta ja äänimerkkihälytystä vika-tilanteessa, mutta se ei vaikuttanut suojaavalla tavalla laitteen tyyppihyväksynnästä ja vuosittaisesta katsastuksesta huolimatta. Sääntöjen yleisluonteisuus jättää suojauksen heikoksi.

**Tyyppihyväksynnän testeissä** hyrräkompassin radiotaajuiset häiriötestit ulottuivat vain taajuusalueelle 300MHz, joten merenkulussa yleisesti käytettyjen taajuusalueiden 450MHz, 900MHz, 3GHz jne. vaikutusta hyrräkompassin toimintaan ei testattu lainkaan.

**Kompassijärjestelmän toiminta ja ohjelmaversiot.** FINNFELLOWin kompassijärjes-telmä lähetti autopilotille HEATING-tilan aikana virheellistä suuntatietoa ilman minkään-laista hälytysindikointia komentosillalla. Suuntatieto (STEP-kytkentä) jumiutui HEATING-tilan aikana. STEP-kytkennän toimintatapa riippuu käytetystä hyrräkompassin ohjelma-versiosta.

**Suuntaerohälytys** ei toiminut. Hyrräkompasseihin oli asennettu ohjelmaversio, joka ju-miutti suuntaseurannan HEATING-tilan aikana ja joka hyrräkompassin valmistajan mu-





kaan oli normaali tila. Hyrräkompassien välinen suuntaerohälytys ei ollut toiminnassa HEATING-tilan aikana. Kompassijärjestelmässä on useita muitakin tiloja, joissa suuntaerohälytys ei ole toiminnassa. Suuntaerovirtaus ei pystynyt täyttämään tehtävänsä. Säännöt eivät vaadi kompassin suuntaerohälytystä. Päällystö odottaa kuitenkin sen toimivan, jos se on asennettu alukselle.

**Hälytys virheellisestä suuntatiedosta.** Kompassisuunnan lähettämisen katkeaminen tai tiedon jumiutuminen ovat aina vakavia hätätilanteita. Kompassin tai minkä tahansa navigointijärjestelmään kuuluvan laitteen vioittuminen ajettaessa kapealla väylällä aiheuttaa aina vaaratilanteen. Tilanne muuttuu vakavammaksi, jos laiteviasta ei saada minikäänlaista hälytystä kuten oli tilanne FINNFELLOWilla kompassisuunnan jumiutuessa yli minuutiksi vanhaan arvoonsa. Virheellisestä suuntatiedosta pitää tulla hälytys, mutta virheellinenkin suuntatieto on edelleen johdettava navigointijärjestelmään ellei kompassia vaihdeta automaattisesti.

**Laitteiden uusiminen** on yksi osa suojausjärjestelmää, jolla turvallisuutta pyritään lisäämään. Jälkiasennuksissa pyritään hyödyntämään mahdollisimman paljon laivalla jo olevaa kaapelointia. Tällöin käyttöön otetaan kaapeleita, joiden häiriösuojaus ja/tai johtimien poikkipinnat eivät aina vastaa valmistajan antamia vaatimuksia. Kaapelien ja laitteiden maadoitukset voivat myös olla puutteellisia. Riskiä voi aiheuttaa myös se, että laitteet testataan puutteellisesti. FINNFELLOWissa kompassijärjestelmän keskusyksiköstä tytätkompassille peräsinkonehuoneeseen ja komentosillan molemmille siiville johtavissa kaapeleissa oli käytetty lähes kokonaan entisiä häiriösuojaamattomia kaapeleita.

**Asennusohjeet.** Kompassien, nopeussensorien ja paikanmäärityslaitteiden valmistajien tulee tehdä kattavat ja selkeät asennusohjeet, jotta laitteiston toimintavarmuus on taattu myös jälkiasennuksissa. Asennusohjeiden tulee kattaa kytkennät myös muiden laitevalmistajien laitteisiin. Jälkiasennusten kaapelointi- ja kytkentäpiirustukset tulee lähettää hyväksyttäväksi laitevalmistajalle. Laitevalmistajan edustajan tulee tarkistaa myös kaapeliverkon uusimisen tarve.

**Huoltotoiminnalla** on keskeinen rooli laitteiden toimintakunnon ja laivan turvallisen navigoinnin ylläpidossa. Toimintavirheiden ilmaantuessa voi todellisen syyn selvittäminen jäädä tekemättä, koska lähtökohtana on, että asennettu laite tai systeemi on vikaantunut.

FINNFELLOWissa hyrräkompassin toistuvia suuntavirheitä korjattiin muun muassa vaihtamalla hyrrän neste ja hyrräpallo. Saattaa olla, että nämäkin hyrräkompassin suuntavirheet olivat radiotaajuisten häiriöiden aiheuttamia. Hyrräkompassille suoritettuisa radiohäiriötesteissä on ilmennyt vastaavia kompassin suuntavirheitä.

Huoltoreportit tulee lähettää myös laitevalmistajalle, jotta heillä on mahdollisuus reagoida, jos havaitut viat vaikuttavat normaalista poikkeavilta.

**Dokumentointi** sisältäen käyttöohjeet, toimintakuvauksen sekä kaapelointi ja kytkentäpiirustukset on pidettävä laivalla aina ajan tasalla. FINNFELLOWilla olleesta hyrräkom-

passin dokumentoinnista ei ilmennyt miten suuntatieto käyttäytyy HEATING-tilan aikana. Jos järjestelmään ja sen ohjelmiin tehdään toimintaan liittyviä muutoksia, on kaikkien käyttäjien saatava siitä tieto. Myös käyttöohjeet pitää uusia.

### 3.4 Navigointijärjestelmän uusia suojauskeinoja.

Merenkulkuosasto on FINNFELLOWin onnettomuustutkimuksen suosituksia koskevassa lausunnossaan todennut olevan suositeltavaa, että vaikeilla saaristoväylillä säännöllisesti liikennöivät alukset käyttävät parasta mahdollista tekniikkaa.

Kompassijärjestelmän suojaaminen radiohäirinnältä ei riitä, koska kompassijärjestelmä aiheuttaa suuntakatkoksen monessa tapauksessa. Suuntatieto navigointijärjestelmään tulee suojata myös käyttämällä toimintaperiaatteeltaan erilaisia ratkaisuja. Kulmanopeushyrrän käyttö autopilotissa, Kalman-suodatin ja suuntahyrrä ovat yleisesti tunnettuja ratkaisuja, mutta niitä ei ole systemaattisesti käytetty merenkulussa.

**Kulmanopeushyrrä** ei ole saanut merenkulun autopiloteissa suurta suosiota, vaikka kulmanopeustieto vaaditaan. Tavaksi on tullut jättää kulmanopeushyrrä hankkimatta, koska kulmanopeus voidaan derivoida hyrräkompassista. Tärkeä turvallisuustekijä on jäänyt käyttämättä, koska autopilotti ei voi verrata hyrräkompassin ja kulmanopeushyrrän toimintaa toisiinsa. Autopilottiin liitetty kulmanopeushyrrä varmistaisi hyrräkompassin oikean suunnan ja antaisi hälytyksen.

**Kalman-suodatin** on tarpeellinen integroidussa navigoinnissa, sillä nopeus- ja suuntatiedon häiriötön syöttö tulee varmistaa. Yhden suuntasensorin virheellinen tieto ei saa vaikuttaa koko järjestelmään. Suomen merenkululaitos esitti Kalman-suodattimen käyttöä IMO:lle vuonna 1998<sup>36</sup>. FINNFELLOWin onnettomuus osoitti esityksen tarpeellisuuden.

**Suuntahyrrä toisena kompassityyppinä.** Konventionaalinen IMO:n tarkkuuskriteerin mukainen hyrräkompassi ei riitä integroidussa navigoinnissa. Aluksen olisi turvallisempaa käyttää kahta toimintaperiaatteeltaan erilaista pääkompassia kahden täysin samanlaisen asemasta. Tällainen vaihtoehtoinen kompassi voi perustua esimerkiksi suuntahyrrään, jonka suunta pohjoisen suhteen päivittyy automaattisesti tasaisin väliajoin satelliittinavigaattorin avulla.

---

<sup>36</sup> Operational and Design Standards for Integrated Bridge Systems, IMO, NAV 44/INF.3 24 April 1998. par. 4, 'Ship's heading shall be derived with Kalman filtering techniques'.



## 4 SUOSITUKSET

### 4.1 Hyrräkompassien toimintavarmuuden parantaminen

Kompassien, nopeussensorien ja paikanmäärityslaitteiden valmistajien tulee tehdä kattavat ja selkeät asennusohjeet, jotta laitteiston toimintavarmuus on taattu myös jälkiasennuksissa. Kaapeloinnista tarvitaan valmistajan antamat vaatimukset, joita häiriösuojauksen ja/tai johtimien poikkipintojen tulee vastata. Samoin tarvitaan ohjeet kaapeliin ja laitteiden maadoituksista. Asennusohjeiden tulee kattaa kytkennät myös muiden laitevalmistajien laitteisiin.

Hyrräkompassit tulee suojata sähkömagneettisten häiriöiden varalta IMO:n päätöslauselman A.424(XI) kohdan 7.1 mukaan. Säännön toteutumista voidaan tukea suorittamalla radiohäirintätestejä aluksilla, jotta mahdolliset asennusten aiheuttamat ongelmat voidaan eliminoida.

Laivoilla olevien laitteiden toimintaselostusten ja käyttöohjeiden tulee olla ajan tasalla. Myös huoltotoimenpiteitä varten tarvitaan ajan tasalla olevat piirustukset laitesijoituksista, asennuksista ja kaapeloinnista. Laitemuutokset tulee myös hyväksyttää tyyppihyväksynnän tehneellä viranomaisella.

Tutkintalautakunta suosittaa, että hyrräkompassivalmistajat

1. *sisällyttävät laitteittensa asennusohjeisiin laitesijoittelun ja kaapeloinnin varmistamisen siten, että sähkömagneettisten häiriöiden vaikutukset pyritään eliminoidaan.*

Tutkintalautakunta suosittaa, että laitevalmistajat ja valtuutetut edustajat

2. *testaavat laivalla sähkömagneettisten häiriöiden vaikutuksen hyrräkompassin toimintaan myös laitteiston käyttöönoton yhteydessä käyttäen häiriötaajuuksia ja kentänvoimakkuuksia, joita voi esiintyä merenkulussa.*
3. *tarkistavat ja saattavat ajan tasalle laivoilla olevat käyttöohjeet, toimintakuvaukset ja muut dokumentit suoritettujen laite- ja asennusmuutosten jälkeen. Edellä mainitut dokumentit on myös toimitettava laitteen tyyppihyväksyneelle viranomaiselle.*

### 4.2 Navigointijärjestelmän toimintavarmuuden parantaminen

Autopilotti tarvitsee kulmanopeustiedon täyttääkseen IMO:n vaatimukset<sup>37</sup>, koska säännöt vaativat käännosten suorittamista ennalta asetetulla kulmanopeudella tai kaarresäteellä. Kulmanopeustieto on käytännössä derivoitu kompassista, mikä tuskin on sääntöjen tarkoitus. IMO:n säädöksissä ei vaadita erillistä kulmanopeushyrrää, josta olisi

<sup>37</sup> IMO, Res. MSC.64(67), 1996. Annex 3, par. 3.2.

hyötyä hyrräkompassin tilan valvomisessa. Muutos tulisi lisätä IMO:n autopilottia ja sen häilytyksiä koskevaan ohjeistukseen<sup>38</sup>.

Tutkintalautakunta suosittaa, että laitevalmistajat

4. *tekevät mahdolliseksi kytkeä autopilottiin kulmanopeushyrrä, jonka kulmanopeutta verrataan hyrräkompassista derivoituun kulmanopeuteen.*

Kalman-suodattimella voidaan suojata navigointijärjestelmää sensorien virheiltä. Suomi on esittänyt IMO:n Safety of Navigation alakomiteassa Kalman-suodattimen käyttämisestä integroiduissa navigointijärjestelmissä. Näin varmistetaan, että autopilotti saa aina varman kompassisuunnan ja nopeustiedon.

Tutkintalautakunta haluaa tuoda laitevalmistajien tietoon, että

5. *IMO käsittelee sääntöjä integroidun navigoinnin varmistamiseksi. Autopilotissa käytettävä kompassisuunta ja nopeus tulee esityksen mukaan ottaa Kalman-suodattimen kautta.*

IMO:n hyrräkompassisääntö on rajannut hyrräkompassin kehittämisen painovoimaan perustuvaan järjestelmään. Nykytekniikalla tarkkan kompassin voi toteuttaa vapaalla suuntahyrrällä, jota automaattisesti päivitetään satelliittijärjestelmän avulla.

IMO:n High Speed Craft koodi vaatii, että aluksen kompassi on tarpeeksi tarkka kyseiseen liikenteeseen. Koska IMO:n hyrräkompassisäännön määrittelemä minimitarkkuus ei käytännössä riitä integroidussa navigoinnissa Suomi on esittänyt Safety of Navigation alakomiteassa, että suuntahyrräperiaatteella toimiva kompassi sallittaisiin integroitujen navigointilaitteiden yhteydessä<sup>39</sup> IMO:n High Speed Craft koodin periaatteen mukaisesti.

Tutkintalautakunta haluaa tuoda laitevalmistajien tietoon, että

6. *IMO käsittelee sääntöjä integroidussa navigoinnissa käytettävän kompassisuunnan varmistamiseksi ja sen tarkkuuden parantamiseksi. Suuntahyrräperiaatteella toimiva kompassi esitetään sallituksi kompassivaihtoehdoksi integroidun navigointijärjestelmän yhteydessä edellyttäen, että hyrrän suunta päivitetään automaattisesti paikanmäärityslaitteella.*

<sup>38</sup> IMO, Res. MSC.64(67), 1996. Annex 3, par. 6.2.

<sup>39</sup> Operational and Design Standards for Integrated Bridge Systems, IMO, NAV 44/INF.3 24 April 1998. par. 4, 'A directional gyro can be used instead of a north seeking gravity gyro-compass. The direction gyro shall be north stabilized with magnetic or position sensors.'

B 2/2000 M

ms FINNFELLOW, karilleajo Överön luona Ahvenanmaalla 02.04.2000

---



Helsingissä 27.11.2001

Martti Heikkilä

Heikki Tissari

Per-Olof Karsson

Kari Larjo

## Lähteet

- 1 A.E. Fanning, *Steady as She Goes, A History of the Compass* Department of the Admiralty, Her Majesty's stationery office, London 1986, ISBN 0 11 290425.
- 2 G.A.A. Grant and J. Klinkert, *The Ship's Compass*, Routledge and Kegan Paul Ltd. 1970 SBN 7100 6522 1.
- 3 H.W. Sorg, *From Serson to Draper - Two Centuries of Gyroscopic Development*, NAVIGATION Vol. 23 1976-77 No. 4. Journal of the Institute of Navigation, Washington, DC.
- 4 Dieter Lochmeier, Bernhardt Schell; *Einstein, Anschütz und der Kieler Kreiselkompass*. Westholstrinisghe Verlagsanstalt Boyens & Co. Heide in Holstein. 1992. ISBN 3-8042-06066-9.
- 5 *FMEA - Analyses techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis*, International Electro technical Commission IEC Standard, Publication 812. 1985.
- 6 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, Raytheon Marine GmbH, High Seas Products, 3300F.DOC042. Edition 07. Oct.1998
- 7 Frank van Graas and Michael Braasch, *GPS Interferometric Attitude and Heading Determination: Initial flight Test Results*, Journal of the institute of Navigation, Vol 38, no.4 1991
- 8 L. Hagelstam, K. Larjo and L. Sten; *Controlled Radial Steering. A new simple method for precise steering of a ship through turns*. Ship Operation Automation, Second International Symposium, Washington, D.C. 1976. ISBN 07204 0542 4.
- 9 Carl Machover, *Basics of Gyroscopes*, John F. Rider Publisher, Inc. New York, 1960. Library of Congress Catalog Card Number 60-10471

## LÄHDELIITTELUETTELO

Seuraavat lähdeliitteet on taltioituna Onnettomuustutkintakeskuksessa:

### Meriselitysassiakirjat

1. Turun käräjäoikeuden pöytäkirja n:o 00/3358/16.5.2000. Liitteinen

### Tutkinta-asiakirjat

- 2:1 Merionnettomuusilmoitus 07.04.2000.
- 2:2 Kopio, MRCC Turku, päiväkirjaote 02-04.04.2000.
- 3:1 ms FINNFELLOW ANS-rekisteröinti, 03.04.2000 (disketti).
- 3:2 *Selvitys M/S FINNFELLOWin liiketilasta ennen pohjakosketusta 02.04.2000.* Raportti R2604001. Simulco Oy:
- 3:3 *Muisto aluksella suoritetusta selvitystyöstä.* 16.05.00, Instrumentointi Oy.
- 3:4:1 *Lausunto 15.06.2000.* Instrumentointi Oy.
- 3:4:2 *Lausunto 28.08.2000.* Instrumentointi Oy.
- 3:5 *MS Finnfellow tutkinta-aineisto (CD-ROM).* Instrumentointi Oy.
- 3:6 *FINNFELLOW:n GYRO kompassien tarkastus Turun Korjaustelakalla 7.4.2000.* Muistio, Heikki Tissari.
- 3:7 *Finnfellow:n onnettomuustutkinta. Hyrrän häiriöttestaukset Instrumentointi Oy:llä Tampereella 17-18.08.2000.* Muistio, Heikki Tissari.
- 3:8 *Ms Finnfellowin karilleajon simulaattorirekonstruointi.* Tutkimusselostus VAL34-001528/14.7.2000. VTT Valmistustekniikka.
- 4:1 *Software History Standard 20.xls.* Raytheon Marine GmbH, 4.5.2000. (Excel file)
- 4:2 *Failure Mode and Effect Analysis.* Raytheon Marine GmbH, 3338E.DOC042 Edition: 28.SEP.1999.
- 4:3 *M/V Finnfellow material.* Provided by Raytheon Marine GmbH, December 2000.
- 4:4 *Baumusterprüfungs- und Zulassungszeugnis Nr 06 812, Kreiselkompaßanlage, STANDARD 20 PLUS, Raytheon Anschütz GmbH, Kiel.* Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 27.02.95.
- 5 Turvallisuusilmoitus: *VAKAVA HYRRÄJÄRJESTELMÄN ONGELMA MS FINNFELLOWIN KARILLEAJON YHTEYDESSÄ.* Onnettomuustutkintakeskus 10.10.2000.