

Arto Nyrhinen

Integroidun navigointi- ja säähavaintojärjestelmän tuottama mittaustieto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Automaatioteknologia

Opinnäytetyö

23.1.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Arto Nyrhinen Integroidun navigointi- ja säähavaintojärjestelmän tuottama mittaustieto 40 sivua + 4 liitettä 11.2.2015
Tutkinto	Insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	Automaatioteknologian koulutusohjelma
Ohjaaja(t)	Laivueen järjestelmäinsinööri Ville Heino Yliopettaja Kari Vierinen
<p>Opinnäytetyössä tallennettiin säähavaintojärjestelmän tuottamaa mittaustietoa ja analysoidtiin sen oikeellisuutta eri osajärjestelmissä. Työssä kerrotaan yleisesti nykyaikaisen laivan komentosillan rakenteesta ja selitetään tarkemmin säähavaintojärjestelmän rakenteesta sekä säätilainformaation siirtoon käytetyistä protokollista.</p> <p>Työn tärkein osuus kertoo mittaustiedon tallennuksesta, mistä paikoista tallenteet tehtiin ja miksi näihin ratkaisuihin päädyttiin. Mittaustiedon tallennukset tehtiin osittain integroidun navigointijärjestelmän toimittajan ohjelmalla ja osittain eri järjestelmiin sisäänrakennettujen tallennusmahdollisuuksien avulla. Osajärjestelmistä otetut tallenteet muokattiin taulukkomuotoon, jotta tulosten lukeminen olisi helpompaa. Tarkoituksena on myös lisätä ymmärrystä tietovirran tallennuksesta ja tallennusjärjestelyistä sekä luoda pohja mittausjärjestelyiden kehittämiseksi.</p> <p>Keskeisenä tuloksena havaittiin tietovirran kulun tärkeys perille asti kokonaisuudessaan ja mahdolliset yllättävätkin seikat, jotka vaikuttavat tietoliikenteeseen. Analysoimalla taulukkomuotoon muokattuja tallenteita, saatiin kuva siitä, millä tavalla eri järjestelmän osat muuttavat tietoa. Käyttäjien toimesta huomattiin katkoksia tietovirrassa ja tärkeimpänä asiana olikin löytää katkoksien aiheuttaja. Tässä tehtävässä onnistuttiin useiden tallenteiden analysoinnin jälkeen.</p>	
Avainsanat	säähavaintojärjestelmä, navigointijärjestelmä, mittausjärjestelmä, tiedon tallennus, verkottaminen

Author(s) Title	Arto Nyrhinen Measurement information produced by integrated weather observation station and navigation system
Number of Pages Date	40 pages + 4 appendices 11 February 2015
Degree	Master of Engineering (YAMK)
Degree Programme	Automation Technology (YAMK)
Instructor(s)	Ville Heino , System Engineer Of Squadron Kari Vierinen , Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to record measurement information produced by weather observation system. The recordings were analyzed to find out correctness of the measurement information in different subsystems. The thesis gives an overview of a structure of a modern ship's bridge. The structure of the weather observation system and the protocols which are used to transfer the measured weather information are explained in more detail.</p> <p>The most important part of the thesis tells about recording the measurement information, locations where recordings were made at and why those solutions were chosen. Some of the recordings were made by using a program supplied by a manufacturer of the integrated navigation system. The rest of the recordings were made by using recording possibilities integrated in subsystems. The recordings were edited to matrix form to make it easier to look at the results. Another aim is also to increase the understanding of the information recording and recording arrangements. This thesis also creates also a basis for the development of recording arrangements.</p> <p>The importance of information flow till the end was one of the main things which were noticed in this thesis. Users noticed interruptions in the information flow and the most important thing was to find out reason of the interruptions. After a lot of analysis the task was successfully done and the reason was found.</p>	
Keywords	weather station, navigation system, measurement system, information recording, making networks

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustat	2
1.2	Tavoitteet	3
2	Navigointijärjestelmä	4
2.1	Navigointijärjestelmän päätehtävät	5
2.2	Säähavaintojärjestelmä	6
3	Mittausjärjestelmä	7
3.1	Yleistä	7
3.2	Tiedonkeruun järjestelyt	8
3.2.1	Käytetyt protokollat	9
3.2.2	GPS/DGPS	18
3.2.3	Tuulianturi	21
3.2.4	Kosteus- ja lämpötila-anturi	24
4	Kenttäkokeet	26
4.1	PLC:ltä tulevan mittaustiedon tallennus	26
4.2	Kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän mittaustiedon tallennus	28
5	Päätelmät ja yhteenveto	32
	Lähteet	38

Liitteet

Liite 1. NMEA laitenimet

Liite 2. NMEA

Liite 3. NMEA tuulilauseke

Liite 4. NMEA Extended message

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

AIS	<i>Automatic Identification System</i> , laivojen tunnistusmenetelmä
A/C	<i>analog to digital</i> , lyhenne analogisen tiedon muuttamisesta digitaaliseksi
COLREGs	<i>Convention on the International Regulations for Preventing Collision at Sea</i> , meriturvallisuuden liittyvä säännöstökokoelma
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i> , GPS – paikan tarkentamiseen kehitetty palvelu
ECDIS	<i>Electronic Chart Display & Information Service</i> , elektroninen merikartta- ja informaatiojärjestelmä
GPS	<i>Global Positioning System</i> , satelliittipaikannusjärjestelmä
HAT	<i>Harbour Acceptance Test</i> , satamassa suoritettava järjestelmän testaus
IMO	<i>International Maritime Organization</i> , Kansainvälinen merenkulkujärjestö
INTAPP	<i>Interface application</i> , ohjelmistomoduuli
IP	<i>Internet protocol</i> , protokollan nimi
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , kansainvälinen standardoimisjärjestö
LWE	<i>Light Weight Ethernet</i> , standardin nimi
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i> , laitteiden väliseen kommunikointiin käytetty standardi
OSI	<i>Open Systems Interconnection Reference Model</i> , tiedonsiirtoprotokollien kuvaustapa OSI-malli
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> , ohjelmoitava logiikka
PROXY	<i>Proxy application</i> , ohjelmistomoduuli
SAT	<i>Sea Acceptance Test</i> , merellä suoritettava järjestelmän testaus
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i> , kansainvälinen meriturvallisuutta käsittelevä sopimus
SNR	<i>Signal Noise Ratio</i> , signaali kohina suhde
SPS	<i>Standard Positioning Service</i> , GPS:ssä käytettävä standardi
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> , tiedonsiirtoprotokollan nimi

UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , tiedonsiirtoprotokollan nimi
VTS	<i>Vessel Traffic Services</i> , alusliikennepalvelu

1 Johdanto

Suomen puolustusvoimat koostuvat kolmesta itsenäisestä puolustushaarasta: maa-, meri- ja ilmavoimat. Kullakin puolustushaaralla on komentaja ja he vastaavat puolustushaaransa valmiudesta, suorituskyvystä ja kehittämisestä sekä puolustushaaran operaatioiden suunnittelusta ja toimeenpanosta. Puolustusvoimille on laissa säädettyjä tehtäviä. Merivoimien osalta nämä tehtävät on jaettu kolmeen kokonaisuuteen: Suomen sotilaallinen puolustaminen, muiden viranomaisten tukeminen ja osallistuminen kansainväliseen sotilaalliseen kriisinhallintaan (Laki puolustusvoimista 11.5.2007/551).

Sotilaallisena puolustamisena merivoimat torjuu alueloukkaukset merialueella, suojaa meriyhteydet sekä torjuu mereltä suuntautuvat hyökkäykset valtakunnan ja Puolustusvoimien kannalta tärkeille alueille. Merivoimat on erikoistunut toimimaan rannikon ja saariston vaativissa olosuhteissa. Tärkeimmät voimavarat ovat motivoitunut ja hyvin koulutettu henkilöstö sekä nykyaikaista huipputekniikkaa edustava kalusto. Päivystys-, vartiointi- ja valvontakyky ylläpidetään vuoden ympäri jokaisena päivänä. Esimerkiksi alueellisen koskemattomuuden turvaamisen (AKT) valmiutta ylläpidetään taistelualuksilla 52 viikkoa vuodessa.

Merivoimat muodostuu esikunnasta sekä neljästä joukko-osastosta laitoksesta ja joukko-osastosta, joista esimerkkeinä Turun Pansioon ja Kirkkonummen Upinniemeen sijoittuvat ohjus- ja miinalaivueiden tukikohdat. Vuoden 2015 alussa puolustusvoimissa astui voimaan organisaatiomuutos ja Merivoimien osalta se tarkoitti esimerkiksi sitä, että Saaristomeren ja Suomenlahden meripuolustusalueet lakkautettiin ja muodostettiin Rannikkolaivasto. Tältä osin palattiin vanhaan nimeen, koska Rannikkolaivasto toimi vuosina 1980–1992. Muita muutoksia on muun muassa puolustushaarojen eli ilma-, meri- ja maavoimien materiaalitoimintojen yhdistäminen puolustusvoimien logistiikkalaitokseksi. Merivoimissa työskentelee yhteensä 1400 henkilöä ja tehtävävalikoima on laaja, esimerkiksi aluksen päällikkö, insinööri, varusmiesten kouluttaja ja lakimies.

Tunnetuimmat merivoimien alukset lienevät Hamina- ja Rauma-luokan ohjusveneet, Hämeenmaa-luokan miinalaivat sekä viimeisimmät hankinnat eli Katanpää-luokan miinantorjujat. Näiden kaikkien alusten kotisatamat sijaitsevat joko Turussa tai Kirkkonummella. Merivoimien esikunta sijaitsee Turussa.

Merivoimien huipputekniikkaa edustavissa taistelulaivoissa on paljon nykyaikaista tekniikkaa. Nykyaikainen elektroniikka on mahdollistanut erilaisten asioiden automatisoinnin ja erilaisten käytännön työtä helpottavien laitteiden kehittämisen. Tällaisten laitteiden suuri määrä saattaa aiheuttaa tilahtausta ja sekavuutta varsinkin, mikäli kullakin laitteella on oma näyttölaite. Ajan mittaan on kehitetty erilaisia tietoverkkoja, joiden yli laitteet voivat kommunikoida keskenään ja näin ollen yhdeltä näytöltä saadaan luettua useamman järjestelmän tuottama tieto. Tällaisesta erilaisten laitteiden verkottamisesta yksi hyvä esimerkki on laivan komentosilta.

Aikoinaan eri valtiot ovat käyttäneet erilaisia menetelmiä navigointiin. Nykyaikana kansainväliset standardit sekä IMO (International Maritime Organization) ovat yhtenäistäneet tapoja, joten suuria eroja eri valtioiden välillä ei ole.

Nykyinen teknologia on myös tuonut paljon helpotuksia ja komentosillalta nähdään kaikki tarvittava merenkulkuun liittyvä tieto. Esimerkiksi merenkulkuututka tuottaa tilanekuvaa laivan lähetyvillä olevista muista aluksista, merimerkeistä, saarista ja niin edelleen. Loki antaa tiedon veden syvyydestä sekä nopeuden pohjaan ja veteen nähdessä. Gyro-järjestelmän seuranta ja kontrollointi kertoo liikesuunnan muutoksista, kompassin avulla saadaan selville kuljettu suunta sekä sähköiseen merikarttaan saadaan suunniteltua reittiä.

Edellä on mainittu vain muutamia ominaisuuksia, lisäksi on omat järjestelmänsä moottori- ja sähköjärjestelmien kontrollointiin ja säätöön. Koska komentosilta on täynnä erilaisia laitteita, joiden tulee keskustella keskenään, on kommunikoinnille pitänyt kehittää yhteinen protokolla. Yksi yleisesti käytetyistä protokollista on NMEA:n (National Marine Electronics Association) kehittämä NMEA 0183 sekä protokollan uudempi versio NMEA 2000. NMEA on organisaatio, joka on määritellyt standardeja merenkulussa käytettävien elektronisten laitteiden väliseen kommunikaatioon.

1.1 Tutkimuksen taustat

Nykyaikaisissa aluksissa useat eri osajärjestelmät lukevat toistensa tuottamaa tietoa. Tästä hyvänä esimerkkinä on tässä opinnäytetyössä tutkittavana oleva säähavainto-asema, joka mittaa ilmanpaineen, -lämpötilan, -kosteuden sekä tuulen suunnan ja no-

peuden. Mittaukset tehdään sähköisillä anturijärjestelmillä, joiden avulla tulokset saadaan siis heti sähköiseksi signaaliksi ja signaalit saadaan syötettyä väylään muiden osajärjestelmien käyttöön.

Kaikkia tietyn informaation käyttäjiä ei ole kuitenkaan aina mahdollista tai mielekästä liittää samaan väylään informaation tuottajan kanssa. Hyvin usein on tilanne, jossa tietoa tarvitseva laite ei osaa suoraan hyödyntää signaalia, jota anturijärjestelmä tuottaa. Tällöin anturin ja tietoa tarvitsevan laitteen välille tarvitaan muunnin ja adapteri, joka muuttaa tiedon oikeaan muotoon. Joidenkin tietoformaattien välille on kehitetty standardiadaptereita, jotka tekevät pelkästään tietyn muutostyön. On kuitenkin mahdollista valjastaa tähän tehtävään myös tietokone tai mikrokontrolleri, joka tekee muutostyön lisäksi myös muita toimintoja.

Koska antureilla tuotettu sähköinen tieto kulkee erilaisten verkkojen ja laitteiden läpi ja järjestelmien protokollat muuttuvat, niin on tärkeä olla selvillä kokonaisuudessaan järjestelmän arkkitehtuurista. Tärkeää on myös tietää missä muodossa informaatio on milloinkin sekä tuntea eri protokollien ominaisuudet.

1.2 Tavoitteet

Päätavoite on selvittää järjestelmän tila nykyhetkellä ja etsiä mahdollisten virheiden aiheuttaja. Osatavoitteena on eri osajärjestelmistä saatujen tallenteiden avulla tutkia sensoreiden tuottaman informaation laatua eri kohdissa järjestelmää. Kokonaisjärjestelmän ilmoitusten perusteella on havaittu, että antureiden tuottaman informaation kulku kaikille osajärjestelmille ei ole vaaditun kaltainen, joten järjestelmien välillä liikkuvan tiedon tallenteita tutkimalla pyritään löytämään vian aiheuttajia.

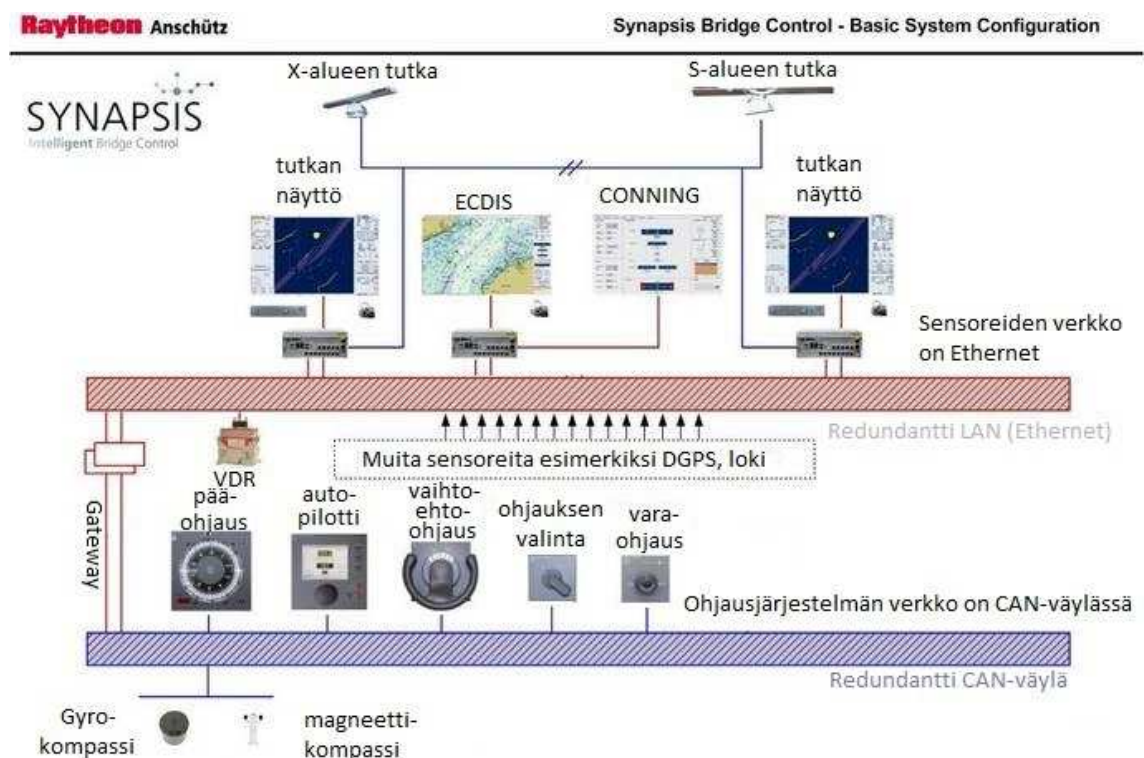
Samalla oli mahdollista ja osittain myös tarpeellista tutustua järjestelmän arkkitehtuuriin ja komponentteihin entistä syvällisemmin. Laitevalmistajia haastatteleamalla saatiin myös pieni visio siitä, miten järjestelmää voi ja mahdollisesti myös miten kannattaa päivittää sekä kehittää tulevaisuudessa.

2 Navigointijärjestelmä

Navigoinnilla tarkoitetaan yleisesti minkä tahansa aluksen tai ajoneuvon paikan ja kulkusuunnan määrittämistä, joka ei kuitenkaan ole riippuvainen mistään tietyistä menetelmistä. Navigointi yhdistetään kuitenkin varsin yleisesti merenkulkuun [1].

Elektroniikan kehityksen myötä myös navigoinnin avuksi on tullut yhä enemmän elektronisia apuvälineitä. Apuvälineinä voi olla esimerkiksi gyro-anturi, sähköinen kompassi, merenkulikututka, GPS-laite, AIS-laite (Automatic Identification System) tai ECDIS (Electronic Chart Display & Information Service) tai kaikki yhdessä.

Kuvassa 1. on esitettyä Raytheonin Anschütz:n ratkaisu, jossa näkyy kaksi kappaletta merenkulikututkia, sekä X-alueen, että S-alueen. Riippuen laivan koosta, on myös mahdollista, että laivassa on vain X-alueen tutka. Suuremmissa laivoissa vaaditaan molemmat eli S-alueen ja X-alueen tutkat. X-alueen taajuus on noin 9 GHz ja S-alueen taajuus on noin 3 GHz.



Kuva 1. Esimerkki Raytheonin Anschütz:n tekemästä integroidusta komentosillasta [2].

2.1 Navigointijärjestelmän päätehtävät

Navigointijärjestelmän päätehtävä on pitää alus sille asetetussa kurssissa. Navigointijärjestelmään on liitetty erilaisia osajärjestelmiä, joista osa on IMO:n määritelmien mukaan pakollisia, riippuen aluksen koosta. Esimerkkinä pakollisista asioista on merikartat, jotka määrittävät SOLAS (Safety of Life at Sea) kappale V (sääntö 20) [3]. Paperisten merikarttojen lisäksi myös sähköinen merikartta eli ECDIS-järjestelmä on tulossa pakolliseksi [4]. Pakollisuus astuu voimaan eri aikoina riippuen esimerkiksi aluksen koosta ja käyttötarkoituksesta [5].

AIS (Automatic Identification System) on järjestelmä, jota käyttävät laivat ja VTS-keskukset (Vessel Traffic Services) lähinnä alusten tunnistamiseen ja sijainnin määrittämiseen. Navigoinnissa AIS-järjestelmää käytetään ensisijaisesti yhteentörmäysten välttämiseen, AIS-tietoja voi seurata myös Internetissä [6][7]. VTS eli alusliikennepalvelu on palvelu, jonka avulla pyritään parantamaan meriliikenteen sujuvuutta, tehokkuutta ja merenkulun turvallisuutta [8].

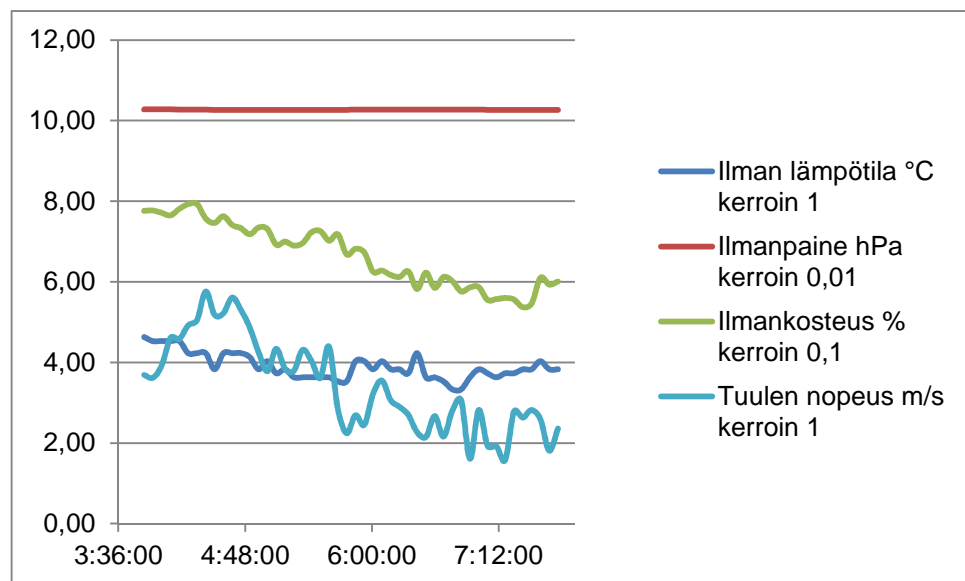
AIS:n avulla laivat voivat vaihtaa läheisten laivojen ja VTS-keskusten kanssa elektronisesti alustietoja, kuten tunnistustiedot, sijainti, suunta ja nopeus. Nämä tiedot näkyvät AIS-laitteen omalla näytöllä, ECDIS-laitteen tai merenkulutuslaitteen näytöllä ja tietenkin myös kaikilla yhtä aikaa. AIS:n avulla merenkuluviranomaisilla on mahdollisuus jäljittää ja tarkkailla alusten liikkeitä. AIS toimii VHF-taajuuksilla ja integroimalla standardoitu lähetinvastaanotin elektroniseen navigointilaitteeseen, saadaan AIS-tiedot järjestelmille. Navigointijärjestelmä voi olla yhteydessä LORAN-C:hen, GPS-vastaanottiin tai johonkin muuhun aluksen navigointilaitteeseen (gyrokompassiin, rotindikaattoriin, tms.) [6].

Radiotekniikan rajoituksista johtuen ja koska kaikkia aluksia ei ole varustettu AIS:llä, järjestelmää on COLREGs-määräysten (Convention on the International Regulations for Preventing Collision at Sea) mukaan tarkoitettu käyttää ensisijaisesti tähyystysapukeinona ja yhteentörmäyksen määrittämiseen, eikä automaattisena törmäyksen välttämisyjärjestelmänä [6]. AIS-tietojen lisäksi tärkeää tietoa tulee säähavaintojärjestelmästä. Esimerkiksi nykyajan sota-alukset käyttävät säätietoja ammunnan ballistisiin laskuihin.

2.2 Säähavaintojärjestelmä

Säähavaintojärjestelmä koostuu säähavaintoasemasta, joka on oma itsenäinen tietokonepohjainen järjestelmä, johon on liitetty tuulianturi ja ilmankosteus-, lämpötila- sekä ilmanpaineanturi. Säähavaintoasemassa on oma näyttöpäätte, josta nähdään esimerkiksi ilmanpaineen kehitys viimeisen kahden tunnin aikana, samoin tuulitiedot ja lämpötilan muutokset. Kaikki tämä auttaa sääennustuksissa ja näin voidaan varautua mahdolliseen kelin huononemiseen. Säähavaintoasema kerää antureilta saamansa mittaustiedot omaan tietokantaansa. Koska anturijärjestelmät ovat liitetty NMEA-väylään, niin anturijärjestelmien tuottama mittaustieto on kuitenkin myös muiden osajärjestelmien käytössä silloinkin kun itse säähavaintoasema on poissa käytöstä.

Kuvassa 2 on graafisesti esitetty säähavaintoaseman mittamaa säähavaintotietoa. Tulokset on saatu tallenteesta, joka on tehty huhtikuun 25. päivä vuonna 2014. Tallennus on aloitettu kello 3:50 ja lopetettu kello 7:45.



Kuva 2. Säähavaintoaseman mittaamaa säähavaintotietoa.

Tallenteessa mittausarvot ovat yhden sekunnin välein ja informaatiota muokattiin siten, että valittiin tallenteen tiedot viiden minuutin välein. Näin harva näytteenottoväli riittää näyttämään säätilan kehityksen neljän tunnin mittaisessa ajanjaksossa. Huomioitavaa kuvassa on se, että kaikki mitatut arvot tulostuvat samalle numeeriselle asteikolle. Graafisen esityksen selkeyttämiseksi ilmanpaine on ilmoitettu kertoimella, joka on täs-

sä tapauksessa 0,01 ja ilmankosteuden kerroin on 0,1. Ilmanpaineen arvo on välillä 1026 ja 1028 hPa ja ilmankosteusprosentti on välillä 53 – 73 %. Ajanjaksolla ilmanpaine on pysynyt vakaana ja ilman lämpötila on pysytellyt neljän asteen tuntumassa. Tuulen nopeus on laskenut portaittain, aluksi on tuullut noin viisi metriä sekunnissa. Sitten tuulen nopeus on laskenut neljään metriin sekunnissa ja lopuksi noin kahteen metriin sekunnissa. Ilman kosteus on laskenut noin 80 %:sta lähelle 50 %:a.

3 Mittausjärjestelmä

Tässä luvussa kerrotaan kohteesta kerätyn informaation keräämisen kannalta olennaisimpien protokollien rakenne, kerrotaan antureiden rakenne ja tekniikka sekä kerrotaan käytetyt verkkotekniikat sekä tapa, miten tietoa kerättiin.

3.1 Yleistä

Kohteessa säähavaintoasema on asennettu komentosillalle ja säähavaintoanturit ovat myös lähellä. Kaikki anturitiedon tallennuspisteet valittiin siten, että tallennuspisteet olivat helppoissa paikoissa ja informaation keräys onnistui lähes kaikissa paikoissa ilman erityisjärjestelyitä. Yhdessä tallennuspisteessä käytettiin apuna keskitintä, jonka käyttö helpotti tallennuslaitteiden sijoittelua.

Käyttäjien toimesta huomattiin, että säähavaintojärjestelmän tuottama tieto ei välittynyt jatkuvana virtana kaikille osajärjestelmille, vaan tieto välittyi katkonaisesti. Informaatiovirran kulun katkeaminen tapahtui kuitenkin erittäin harvoin ja satunnaisesti, eikä se kestänyt kahta sekuntia kauempaa. Ilmiö ei estänyt laitteiden normaalia käyttöä millään tavalla, mutta informaatiovirran katkoksista tuli ilmoitus käyttäjälle. Epätietoisuus siitä, miksi informaatiovirta ei kulkeutunut osajärjestelmille, aiheutti ensin hämmennystä ja vian aiheuttajaa etsittiin pitkään. Lähes jokainen kokonaisuuteen kuuluva järjestelmä olisi voinut aiheuttaa katkoksen. Ensimmäiset tietovirran testikeräykset olivat hakuamunnaa, koska ei tiedetty tarkasti mistä lähteä hakemaan vikaa. Mittaustiedon tallennuksia tehtäessä eri paikoista ja tutkittaessa informaatiovirtaa, katkoksen aiheuttaja kuitenkin selvisi.

3.2 Tiedonkeruun järjestelyt

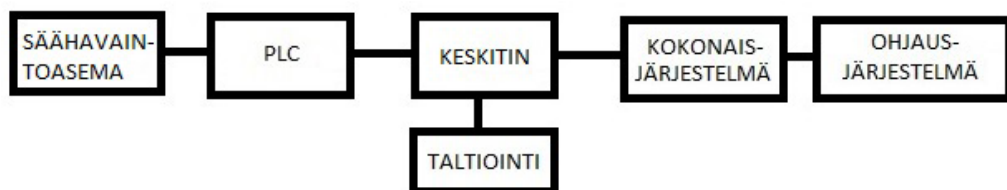
Kuvassa 3 on esitetty periaatepiirroksena laitteiden muodostama verkko ja laitteiden liittyminen toisiinsa. Laitteista säähavaintoasema ja PLC (Programmable Logic Controller) sijaitsevat keskenään samassa tilassa ja kokonaisjärjestelmä sekä ohjausjärjestelmä sijaitsevat omissa tiloissaan. Periaatetasolla järjestelmä on kuvan 3 kaltainen:



Kuva 3. Eri osajärjestelmien muodostaman kokonaisuuden periaatepiirros.

PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välissä kulkee TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) sekä UDP/IP muotoinen (User Datagram Protocol / Internet Protocol) liikenne, kuten myös kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän välinen tietovirta muodostuu molemmista protokollista. Sähavaintojärjestelmän antureiden tuottama mittausinformaatio tulee PLC:lle NMEA-protokollan mukaisena ja muutetaan PLC:ssä UDP-liikenteeksi, joten TCP-liikenteestä ei tarvinnut huolehtia. Lisää UDP-protokollasta kerrotaan myöhemmin tässä luvussa.

Sähavaintojärjestelmän tuottamaa NMEA-tietoa ei missään vaiheessa tallennettu, koska muiden tallennusten perusteella selvisi, ettei tarvetta tallennukseen ole. Kuvassa 4 on esitetty periaatepiirroksena PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välinen taltiointijärjestely.



Kuva 4. PLC:n ja kokonaisjärjestelmän väliseen Ethernet-kaapeliin yhdistettiin tietovirran taltioiva kannettava tietokone.

PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välistä tietovirtaa tallennettiin PLC:n toimittaneen yrityksen ohjelmalla, joka asennettiin kannettavaan tietokoneeseen. PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välillä on Ethernet-kaapeli, joka normaalisti on suoraan kokonaisjärjestelmässä kiinni.

Kuvassa 5 on keskitin, jollaista käytettiin tallennuksen apuna. Kokonaisjärjestelmään normaalisti kiinni tuleva Ethernet-kaapeli kytkettiin ulkoiseen neljä porttisen keskittimen porttiin numero 1.



Kuva 5. Kuvassa on neljä porttinen keskitin. Kuvassa olevaa keskitintä ei käytetty tässä työssä.

Keskittimen portista numero kaksi kytkettiin Ethernet-kaapeli kokonaisjärjestelmään ja portista numero kolme kytkettiin Ethernet-kaapeli kannettavaan tietokoneeseen, jossa mittausinformaation tallennus tapahtui. Tällä tavalla tallennus saatiin paikkaan, jossa se oli helppo ja vaivaton suorittaa. Keskitin valittiin, koska laite välittää porttiin sisään tulevan liikenteen samanlaisena kaikkiin muihinkin portteihin. Keskittimessä ei ole erikseen sisääntuloporttia ja ulosmenoportteja, vaan jokainen portti toimii molempiin suuntiin. Tällaista laitetta käytettäessä voitiin olla varmoja, että taltioiva tietokone näkee saman tietovirran kuin kokonaisjärjestelmä.

Lisäksi suoritettiin mittaustiedon tallennus kokonaisjärjestelmässä ja ohjausjärjestelmässä. Molemmissa järjestelmissä on valmistajan tekemä ohjelma, jolla voidaan tallentaa sisään tuleva tietovirta aikaleimallisena.

3.2.1 Käytetyt protokollat

Ihmiset käyttävät kommunikointiin kieliä ja samaan tapaan tietokoneet käyttävät kommunikointiin protokollia. Yksinkertaistettuna protokolla on ohjelma, joka määrittelee laitteiden tai ohjelmistojen välisen yhteyden [9]. Konkreettisesti asian voisi mieltää vaikkapa siten, että tietokoneiden käyttämät eri protokollat ovat ihmisten käyttämiä eri kieliä. Lisäksi protokollat määritellään muun muassa yhteydellisiin ja yhteydettömiin. Protokollia on paljon ja niitä on kehitetty eri tarpeisiin esimerkiksi verkkotulostusta var-

ten. Osa on laitevalmistajakohtaisia (esimerkiksi Hewlett Packardin kehittämä Jet-Send), osa ohjelmistovalmistajakohtaisia (esimerkiksi Microsoftin kehittämä NetBEUI) ja osa on saanut laajempaa kannatusta, esimerkiksi Internetissä käytettävät TCP, UDP ja IP. Näistä edellä mainituista protokollista esitellään tässä luvussa UDP, IP ja NMEA, koska kyseiset protokollat liittyvät tähän opinnäytetyöhön.

Yksi yhteydellisistä protokollista on TCP. Yhteydellinen protokollan voisi selittää vaikkapa puhelinkeskusteluna. Eli yhteyden avaaja sanoo:

"Hei, olen Matti Soneralta"

Ja vastapäässä sanotaan:

"Hyvää päivää!"

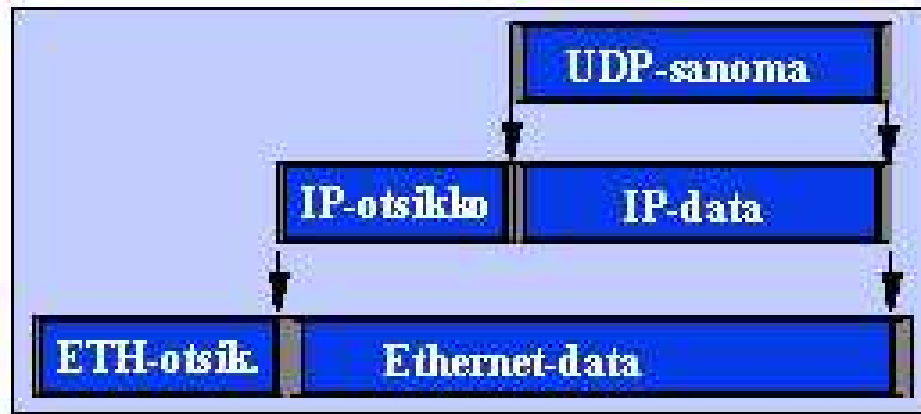
Keskustelu jatkuu siten, että yhteyden aloittaja on äänessä suurimman osan ajasta, mutta vastapäässä viesti kuitataan aina välillä, että viesti on tullut perille. Näin keskustelun aloittaja voi olla varma siitä, että viesti on mennyt perille. Mikäli johonkin sanomaan ei tule kuittausta, niin kyseisen sanoman lähetystä jatketaan niin kauan, kunnes kuittaus saadaan. Yhteydellistä protokollaa käyttävien ohjelmien ei siis itse tarvitse huolehtia liikenteen välittymisestä oikeanlaisena vastaanottajalle.

Yhteydetön protokolla kuten UDP tai IP ei taas vaadi minkäänlaista kuittausta, vaan yhteyden aloittaja vain sanoo asiansa ja yhteys lopetetaan. Näin ollen yhteyden avaaja ei voi olla varma siitä, onko viesti mennyt perille.

Teknisemmin kerrottuna TCP, UDP ja IP ovat eri tietoverkkoprotokollia. ISO:n (International Organization for Standardization) määrittelemän OSI-mallia (Open Systems Interconnection Reference Model) mukailleen on kehitetty TCP/IP - ja UDP/IP-protokollat, jotka nimensä mukaisesti koostuvat TCP:stä ja IP:stä tai UDP:stä ja IP:stä. TCP/IP-viitemalli koostuu neljästä portaasta. IP on alemmalla verkkokerroksella ja TCP sekä UDP ylemmällä kuljetuskerroksella [10].

Puhuttaessa esimerkiksi UDP/IP-protokollasta, tarkoitetaan sitä, että tietopaketti sisältää näitä molempia protokollia. Asian voisi havainnollistaa esimerkiksi lava-autosta. Eli UDP-protokolla on lava-auto, jonka lavalla on protokollan kuljettama hyötykuorma. IP on tässä vertauksessa taas rekka, jonka kyytiin UDP eli lava-auto lastataan. IP eli rekka kuljettaa UDP:tä eli lava-autoa ja jossain vaiheessa rekka puretaan ja sen jälkeen lava-auton kuorma puretaan.

Kuvassa 6 on havainnepiirroksena esitetty Ethernet-verkossa liikkuvan liikenteen rakenne. Tällaisesta rakenteesta käytetään nimitystä kapselointi. Tietopaketit rakentuvat pelkän tiedon lisäksi otsikkoinformaatiosta. Erilaiset ominaisuudet käyvät ilmi tarkasteltaessa lähemmin itse protokollia ja niiden otsikkokenttiä.



Kuva 6. Ethernet – verkossa kulkevan IP - sanomarakenteen havainnollistava kuva. Kuvassa UDP – pakettia kuljettava IP – paketti on osa Ethernet-dataa.

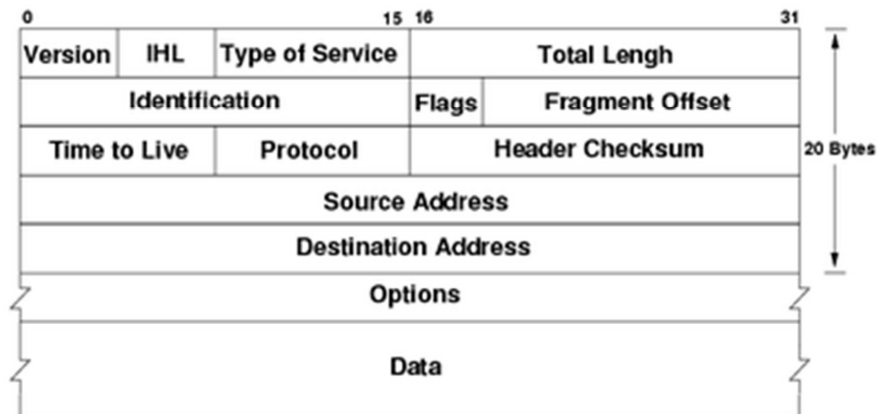
3.2.1.1 IP-protokolla

OSI-mallin mukaisen verkkokerroksen tehtävä on välittää ylempien kerrosten tietoliikennepaketteja tietokoneiden välillä. IP-protokolla hoitaa tämän siten, että kullekin IP-verkossa olevalle laitteelle on määritelty yksilöllinen IP-osoite. IP-osoitteita on vanhempaa IPv4-muotoa, jonka osoitteen pituus on 32-bittiä sekä uudempaa IPv6-muotoa, jonka osoitteen pituus on 128-bittiä. IPv6 on kehitetty vanhemman IPv4:n seuraajaksi, muttei vielä ole saanut laajaa kannatusta Internetissä [10]. Yksi syy siihen, miksi halutaan siirtymistä uudempaan IPv6-muotoon, on IP-osoitteiden lukumäärä, joka on huomattavasti suurempi IPv6:ssa kuin IPv4:ssä. Opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin vain vanhempaan IPv4:ään, koska työssä esitellyt järjestelmät käyttävät tätä versiota IP-protokollasta.

IP-protokolla ei takaa yksittäisen paketin perille pääsyä, vaan protokollan tehtävä on pakettien välitys [11]. Paketit saattavat mennä eri reittejä pitkin, saattavat kadota, kopioidua tai vaihtaa järjestystä. Ylempien kerrosten tehtävä on hoitaa nämä tilanteet.

IPv4-paketin suurin mahdollinen koko on 65 535 tavua [12]. Luku ilmoittaa suurimman mahdollisen IP-paketin koon, otsikko mukaan luettuna, joten luvusta pitää vähentää otsikon koko 20 tavua, että saadaan IP-paketin suurin mahdollinen hyötykuorma eli 65 515 tavua. Seuraavaksi esitellään kenttien nimet ja käyttötarkoitus.

Kuvassa 7 näkyvässä IPv4:n otsikosta näkyy, että otsikko muodostuu 12 kentästä sekä mahdollisista optioista.



Kuva 7. Kuvassa on IPv4-paketin rakenne ja otsikkokenttien nimet. Joidenkin kenttien pituudet bitteinä näkyy kuvassa.

Kentillä on oma tehtävänsä ja ne ovat eripituisia. Joidenkin kenttien sisältö ja/tai pituus riippuu muiden kenttien sisällöstä. Version-niminen kenttä sisältää tiedon kyseessä olevan IP-paketin versiosta. IPv4-versiossa kyseisen kentän arvo on neljä nimensä mukaisesti ja binäärijärjestelmällä ilmoitettuna se on 0100. Kentän pituus on siis neljä bittiä [12].

IHL (Internet Header Length) kentän pituus on neljä bittiä ja kentän tehtävä on ilmoittaa IP-otsikon pituus 32 bittisinä sanoina. Paketin kuljettamaa hyötykuorma-osiota ei siis lasketa tähän mukaan. Otsikossa on mahdollista käyttää myös optioita, mutta mikäli näitä ei käytetä, niin tämän kentän arvo on viisi. Kuvasta 7 nähdään, että ilman optioita otsikossa on 32 bitin pituisia rivejä 5 kappaletta. Tästä saadaan $5 \cdot 32$ bittiä = 160 bittiä, eli 20 tavua [12].

Type of Service eli palveluluokka niminen kenttä ilmoittaa nimensä mukaisesti toivomuksen palveluluokasta. Tämän kentän pituus on kahdeksan bittiä. Nykypäivän tekno-

logioilla on erilaisia tarpeita. Esimerkiksi Voice over IP (VoIP) ilmoittaa tällä kentällä tarvitsevansa interaktiivista tiedonvaihtoa [12].

Total Length eli kokonaispituus nimisen kentän tehtävä on ilmoittaa paketin kokonaispituus mukaan lukien otsikko ja hyötykuorma. Kentän pituus on 16 bittiä ja koska 16 bitillä voidaan ilmaista suurimmillaan desimaaliluku 65 535, niin tästä muodostuu IPv4-paketin suurin mahdollinen koko tavuina [12].

Identification-niminen kenttä suomennetaan joissain lähteissä sanaksi *fragmenttitunnus*. Käytännössä tarkoittaa sitä, että mikäli lähetettyä informaatiota joudutaan katkomaan matkan varrella useammiksi paketeiksi, niin tämän kentän tietojen perusteella tuo katkottu informaatio saadaan kasattua alkuperäistä vastaavaksi [12].

Flags eli liput liittyy identification kenttään. Flags kenttä on kolmen bitin pituinen, joista ensimmäisen täytyy aina olla 0. Toinen bitti ilmoittaa, mikäli pakettia saa paloitella. Paloitteilupaa ilmoitetaan bitin arvolla 1 ja arvolla 0 lupa ei anneta. Kolmas bitti ilmoittaa, onko alun perin pilkotun paketin palasia vielä tulossa. Bitin arvo on 1, mikäli lisää palasia on vielä tulossa ja 0 mikäli kyseessä on paketin viimeinen palanen [12].

Fragment Offset eli fragmentin paikka ilmoittaa, mihin kohtaan kokonaisuudesta mikin paloitellun paketin osa kuuluu. Tämänkin kentän sisältämä tieto on siis tekemisissä kahden edellisen kentän kanssa. Kentän pituus on 13 bittiä [12].

Time to Live (TTL) eli paketin elinaika. Tämän kentän pituus on kahdeksan bittiä ja niin ollen kentän suurin arvo desimaalilukuna ilmaistuna on 255. Käytännössä kullekin paketille annetaan jokin arvo ja paketin kulkiessa esimerkiksi reitittimen läpi pienennetään arvoa yhdellä. Mikäli arvo menee nolnaan ennen perille pääsyä, niin paketti hävitetään ja lähettäjälle ilmoitetaan ettei paketti päässyt perille asti. Ominaisuus on tärkeä, ettei verkkoon jää paketteja kuormittamaan verkkoa turhaan. Tällainen tilanne saattaa tulla esimerkiksi silloin, kun yritetään lähettää tietoa tietokoneelle, jonka yhteys verkkoon on katkennut eikä yhteyttä näin ollen enää saada. Mikäli paketin hävittämisoimaisuutta ei olisi, niin verkkoon jäisi paljo paketteja ilman kohdetta ja verkon välityskapasiteetti loppuisi pian [12].

Protocol eli protokolla. Tämä kenttä on 8 bittiä pitkä ja kertoo hyötykuorma osiossa olevan paketin protokollan. Kuljetettava paketti voi olla esimerkiksi TCP:tä tai UDP:tä tai paketti voi edustaa jotain muuta protokollaa [12].

Header Checksum eli tarkistussumma. Tällä 16 bittiä pitkällä kentällä ilmoitetaan IP-paketin otsikon tarkistussumma, jotta havaitaan onko paketti tullut perille oikeanlaisena. Tieto on tärkeä jo esimerkiksi tiedon paloitteluun liittyvän tiedon kannalta [12].

Source Address on 32 bittiä pitkä ja kenttä ilmoittaa lähdeosoitteen. Tässä piilee tietoturvan osalta heikkous, koska IP-osoitteen väärennös on niinkin helppoa, että lähettäjä asettaa tämän kohdan otsikosta itse ja siten väittää olevansa joku muu. Destination Address on myös 32 bittiä pitkä kenttä ja ilmoittaa kohdeaseman osoitteen [12].

Options-kenttää ei nykyisin käytetä. Optio-kentän avulla voidaan kuitenkin manipuloida pakettien reititystä, jonka takia tietojärjestelmiin murtautujat käyttävät tätä kenttää tarkoituksiinsa. Tämän kentän täytyy olla 32 bitin monikerran kokoinen eli optioita käytettäessä täytyy huolehtia kentän oikeasta koosta. Otsikon jälkeinen Data – kenttä sisältää IP – paketin sisältämän hyötykuorman. Paketin pituus riippuu otsikon pituudesta. [12].

3.2.1.2 UDP-protokolla

Koska UDP on yhteydetön protokolla kuten IP-protokolla, niin se ei tarjoa luotettavaa yhteyttä järjestelmien välillä [13]. UDP:tä käyttävät sovellukset joutuvat siis itse toteuttamaan luotettavuuden ja ruuhkanhallinnan esimerkiksi perille menneiden pakettien kuittaukset.

IP-protokollan tavoin UDP-protokollan paketti koostuu otsikosta ja paketin sisältämästä hyötykuormasta. TCP:hen verrattuna otsikko on kuitenkin paljon lyhyempi ja yksinkertaisempi, pituudeltaan vain 8 tavua eli 64 bittiä. Lyhyimmillään UDP-paketin koko on tuo 8 tavua, eli paketti voi olla pelkästään otsikko, mikäli hyötykuormaa ei ole. IPv4 – protokollan kuljettamana paketin koko voi suurimmillaan olla 65 535 tavua, mutta käytännössä tuosta täytyy vielä vähentää UDP – ja IP – protokollien otsikoiden pituus. Eli 65 535 – 8 tavua UDP – 20 tavua IPv4 eli 65 507 tavua. Tuo on siis UDP – protokollan suurin mahdollinen hyötykuorma [13].

Kuvassa 8 näkyy tarkemmin UDP – paketin rakenne, joka koostuu neljästä kentästä. Paketin otsakkeessa olevat source port ja destination port–kentät kertovat lähetys ja vastaanotto päässä käytetyn UDP–portin numeron.



Kuva 8. UDP – paketin rakenne ja otsikkokenttien nimet.

Kummatkin kentät ovat pituudeltaan 16 bittiä pitkiä. Tämän porttinumeron avulla voidaan osoittaa lopullinen kohde eli prosessi, jonka kanssa halutaan keskustella. Vastapäässä kuunnellaan jotain tiettyä porttia, joten on tärkeää, että porttien numerot ovat oikein.

Length–kenttä kertoo kyseisen sanoman pituuden kahdeksan bitin tavuina. Sanoman pituuteen lasketaan mukaan sekä otsikko, että varsinainen datakenttä. Koska otsikko ei sisällä minkäänlaisia optiokenttiä, niin otsikon pituus on aina samanpituisen. Length–kentän pituus on 16 bittiä [13].

Checksum–kenttä on vapaaehtoinen ja pituudeltaan se on 16 bittiä. Mikäli kyseistä kenttää ei käytetä, merkitään kaikki bitit nolliksi. Mikäli tarkistussummaa käytetään, lasketaan tarkistussumma koko UDP–paketista eli myös hyötykuormakentästä. Koska IP–protokolla ei tarkista mitenkään oman hyötykuormakentän oikeellisuutta, on UDP–tarkistussumman käyttö ainoa tapa taata paketin oikeellisuus siirron jälkeen [13].

TCP–paketin otsake on 20 tavun mittainen, kun taas UDP–paketin otsake on kahdeksan tavun mittainen [14]. UDP–protokolla on tietoliikenteen kannalta huomattavasti

kevyempi vaihtoehto, mutta tiedon perille menemisen kannalta myös epävarmempi. UDP-protokolla käyttäen tieto saadaan nopeammin perille, koska paketti voi siirtää enemmän hyötykuormaa. TCP-protokollaa käyttävät sovellukset voivat antaa protokollan hoitaa liikenteen, kun taas UDP:tä käyttävät sovellukset joutuvat itse ottamaan kantaa liikenteeseen.

3.2.1.3 NMEA 0183

NMEA 0183 -protokolla on sarjaliikennettä ja standardin mukaan nopeus on 4800 bittiä sekunnissa. Väylässä voi olla vain yksi lähettäjä, mutta monta vastaanottajaa [15]. Tarkkaan ottaen väylä on EIA-422 standardin mukainen, mutta laitteet ovat yleensä yhteensopivia myös RS232-standardin kanssa. Myös yhteysnopeutta voidaan muuttaa joissain päätelaitteissa, mutta standardin mukaan se on 4800 bit/s. NMEA-paketin rakenne on 8 data bittiä, ei pariteettia ja yksi stop bitti [16]. Kuten kuvan 8 alareunassa lähes keskellä näkyy, yhteysnopeus on 9600 bit/s.

Kaikki lauseet alkavat aina dollarimerkillä (\$) ja lauseet ovat puhdasta ASCII-tekstiä, joten mikäli tietokoneella kaappaa NMEA-dataa, on se suoraan luettavissa selväkielisenä helposti ihmisen ymmärtämässä muodossa. Dollarimerkin jälkeen kaksi ensimmäistä kirjainta ilmoittavat, miltä laitteelta lause tulee. Kuvassa 8 oleva tietovirta tulee GPS - laitteelta, koska lähdeettä indikoivat kirjaimet ovat GP [16]. Tarkempi lista laitteista löytyy liitteestä 1: NMEA laitteet.

Lauseen kolme seuraavaa kirjainta yksilöivät lauseen eli kertovat, mitä tietoa lause sisältää. Esimerkiksi GGA tarkoittaa "Global Positioning System Fixed Data". Tämän jälkeen tulee itse data, jonka pituus ja muoto vaihtelevat sen mukaan, miltä sensorilta tulevaa informaatiota lause pitää sisällään [16].

Kuvassa 9 näkyvässä NMEA-lauseke-esimerkissä on GPS-laitteen tuottamaa NMEA - muotoista informaatiota. Alin rivi: \$GPVTG,176.90,T,,M,3.68,N,6.81,K,A*36 on auki kirjoitettuna taulukkoon 1.

Kuvassa 9 näkyvässä NMEA-lauseke-esimerkissä on GPS-laitteen tuottamaa NMEA-muotoista informaatiota. Alin rivi: \$GPVTG,176.90,T,,M,3.68,N,6.81,K,A*36 on auki kirjoitettuna taulukkoon 1.

```

$GPGSA,A,3,29,25,31,14,,,,,,,,,2.36,2.14,1.00*08
$GPGSV,2,1,05,14,66,287,16,39,30,261,,31,16,195,29,29,15,163,23*75
$GPGSV,2,2,05,25,07,143,30*49
$GPRMC,120036.000,A,0958.9308,N,07617.0537,E,4.34,174.42,231112,,A*6D
$GPVTG,174.42,T,,M,4.34,N,8.04,K,A*36
$GPGGA,120037.000,0958.9305,N,07617.0539,E,1,4,6.53,47.2,M,-93.4,M,,*4E
$GPGSA,A,3,29,25,31,14,,,,,,,,,12.26,6.53,10.38*04
$GPRMC,120037.000,A,0958.9305,N,07617.0539,E,4.29,173.81,231112,,A*6B
$GPVTG,173.81,T,,M,4.29,N,7.95,K,A*35
$GPGGA,120038.000,0958.9302,N,07617.0540,E,1,4,6.53,47.2,M,-93.4,M,,*48
$GPGSA,A,3,29,25,31,14,,,,,,,,,12.27,6.53,10.39*04
$GPRMC,120038.000,A,0958.9302,N,07617.0540,E,4.28,171.76,231112,,A*66
$GPVTG,171.76,T,,M,4.28,N,7.94,K,A*3F
$GPGGA,120039.000,0958.9299,N,07617.0541,E,1,4,2.14,47.3,M,-93.4,M,,*4D
$GPGSA,A,3,29,25,31,14,,,,,,,,,2.36,2.14,1.00*08
$GPRMC,120039.000,A,0958.9299,N,07617.0541,E,4.24,170.43,231112,,A*6E
$GPVTG,170.43,T,,M,4.24,N,7.85,K,A*34
$GPGGA,120040.000,0958.9296,N,07617.0539,E,1,4,6.55,47.6,M,-93.4,M,,*47
$GPGSA,A,3,29,25,31,14,,,,,,,,,12.30,6.55,10.41*0B
$GPRMC,120040.000,A,0958.9296,N,07617.0539,E,3.68,176.90,231112,,A*67
$GPVTG,176.90,T,,M,3.68,N,6.81,K,A*36

```

Kuva 9. Esimerkki GPS:n tuottamasta NMEA muotoisesta informaatiosta [17].

Taulukko 1. NMEA-lauseke auki kirjoitettuna.

\$GP	Kaikki rivit alkavat aina \$-merkillä ja GP tarkoittaa, että informaatio tulee GPS-laitteelta
VTG	nopeus ja suunta maanpintaan nähden
176.90	suunta
T	T kirjain tarkoittaa, että edellinen suunta on tosipohjaiseen nähden
M	M kirjain tarkoittaa suuntaa magneettipohjaiseen nähden, tässä lauseessa edeltävä kenttä on tyhjä eli suuntaa ei ole määritetty
3.38, N	maanopeus solmuina (knots), kirjain N ilmaisee yksikön
6.81, K	maanopeus km/h, kirjain K ilmaisee yksikön
A*36	lausekkeen tarkistussumma

Liitteessä 2 on lista muutamista lyhenteistä ja niiden tarkoituksista. Jotkin NMEA lauseet pitävät sisällään tiedon siitä, onko lausekkeiden sisältämä informaatio luotettavaa

vai ei. Esimerkiksi liitteessä 3 on NMEA 0183:n tuuliviestistä esimerkki, jossa ilmoitetaan kirjaimella viestin status. A, mikäli tuulitieto on pystytty mittaamaan ja V, mikäli viesti ei pidä sisällään tuulitietoa.

3.2.2 GPS/DGPS

Yhdysvaltain puolustusministeriö kehitti satelliittipaikannusjärjestelmän, jonka tarkoituksena oli luoda sotilas – ja siviilikäyttöön tarkka, reaaliaikainen ja yksisuuntainen paikannusmenetelmä. Tätä järjestelmää kutsutaan nimellä GPS [18].

Järjestelmä koostuu kolmesta segmentistä, jotka ovat avaruus, kontrolliverkko ja käyttäjäosa. Avaruussegmentin muodostuu satelliiteista, joita on 24 kappaletta noin 20200 km:n korkeudessa. Satelliitit kiertävät maapallon kaksi kertaa vuorokaudessa ja lähettää signaalia ja GPS-vastaanotin mittaa aikaa, joka signaalilta kuluu siirtyessä satelliitista vastaanottimeen. Jotta vastaanottimen paikka voidaan laskea, tarvitaan usea satelliitti lähettämään signaaleja. Koska satelliittien paikat tunnetaan, voidaan vastaanottimen paikka laskea eri satelliiteista tulevan signaalien aikaerojen avulla [18].

Kontrolliverkon päävalvontakeskus sijaitsee Yhdysvalloissa ja siellä tarkkaillaan satelliittien tilaa, ratoja ja toimintoja. Päävalvontakeskuksen lisäksi päiväntasaajan lähellä on neljä tarkkailuasemaa. Käyttäjäosa muodostuu miljoonista GPS-vastaanottimista [18].

Satelliiteissa on tarkka atomikello, jonka aikaa satelliitti lähettää navigointisignaalin lisäksi. Vastaanottimen kello ei ole kovin tarkka ja vastaanottimen paikka halutaan selville ja varsinkin maalla ollessa on tärkeää saada tietoon koordinaattien lisäksi korkeus. Näin saadaan siis neljä tuntematonta eli pituus- ja leveyskoordinaatit, korkeus ja aika. Neljä tuntematonta saadaan ratkaistua, mikäli vastaanottimella on yhteys neljään satelliittiin. Tällöin saadaan yksiselitteinen vastaus. Vastauksesta saadaan sitä tarkempi, mitä useampaan satelliittiin ollaan yhteydessä [18].

Päätelaite laskee vastaanottamistaan signaaleista joko pseudoetäisyyttä tai kantoaalion vaihetta. Satelliittisignaalin päälle moduloituja pseudosatunnaiskoodeja (PRN) käyttämällä lasketaan pseudoetäisyys, jonka ratkaisu perustuu olennaisesti signaalin kulkuajan mittaukseen. Paikkaratkaisu pystytään tekemään C/A-koodista (coarse ac-

quisition) eli salaamattomasta koodista. P-koodi eli salattu koodi tuottaa paremman paikkaratkaisun, koska P-koodi lähetetään toisella radiotaajuudella. Molempia (koodi ja kantoaalto) voidaan käyttää paikannukseen, mutta koska kantoaallon laskentaa ei voida tehdä reaaliajassa, kantoaaltoa käytetään vain monimutkaisissa geodeettisissa GPS-tarkkuusvastaanottimissa [18].

Maanmittauslaitos käyttää termiä suhteellinen paikanmääritys ja se perustuu satelliittien signaalien kantoaallon hyväksikäyttöön. Mittauksessa määritetään koordinaattieroja vastaanottimien välillä ja sen takia paikanmääritykseen tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta, joista toinen on koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä. [19].

Suhteellisessa paikanmäärityksessä vastaanottimen lukkiutuessa satelliitin signaaliin vastaanotin mittaa sen hetkisen kantoaallon vaiheen. Vastaanotin alkaa laskea kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää signaalin lukitushetkestä alkaen. Satelliitti liikkuessa radallaan, vastaanottimen laskemien saapuneiden aallonpituuksien lukumäärässä näkyy satelliitin etäisyys. Aallonpituuksista voidaan laskea satelliitin etäisyys vastaanotimesta, kunhan useampaa satelliittia on havaittu jonkin aikaa [19]. Tällä menetelmällä saadaan laskettua erittäin tarkka paikka, mutta koska laskeminen vie aikaa, niin menetelmä ei sovellu liikkuvien laitteiden paikan määritykseen.

Aluksi Yhdysvaltojen puolustusministeriö tahallisesti heikensi satelliittien siviilikäyttäjille lähettämät rataelementit ja kellon käyntitiedot (SA, selective availability). Tuo heikennys poistui kuitenkin 1.1.2000. Ennen tuota päivämäärää siviilikäyttöön tarkoitetut päätelaitteiden tarkkuus oli vaakasuunnassa noin 100 metrin luokkaa ja korkeussuunnassa 150 metrin luokkaa [18]. Paikannusvirhettä aiheuttavat useat asiat kuten satelliittien kellovirhe, ilmakehä, monitieheijastuminen, paikantimen virheet, tahallinen häirintä ja satelliittigeometria. Lisäksi satelliittien kova nopeus aiheuttaa doppler-ilmiötä, joten Doppler-korjaustakin tarvitaan.

Yhdysvaltojen hallitus tarjoaa nykyään GPS palveluja siviileille ja tarjottu suorituskyky määritellään GPS SPS (Standard Positioning Service) standardissa. Esimerkiksi GPS signaali avaruudessa huonoimmillaan tuottaa pseudoetäisyyden tarkkuudeksi 7,8 metriä (95% signaalin vahvuudella). Pseudoetäisyys tarkoittaa vastaanottimen ja satelliitin välistä etäisyyttä, eikä siis ole sama asia kuin käyttäjän laitteella näkyvä kolmiulotteinen tarkkuus [20].

GPS:ää kehitetään edelleen ja tällä hetkellä siviilien ja Yhdysvaltojen puolustusvoimien käytössä olevat GPS-laitteet erottuvat toisistaan siten, että siviileille tarkoitettussa signaalissa käytetään vain yhtä taajuutta ja Yhdysvaltojen puolustusvoimien versioissa kahta taajuutta. Kahdella taajuudella saadaan pienennettyä ilmakehästä aiheutuvia virheitä. Tulevaisuudessa myös siviileille tarkoitettu signaali tulee käyttämään kahta taajuutta ja tarkkuus tulee olemaan samaa luokkaa kuin Yhdysvaltojen puolustusvoimien versiossa. Yhdysvaltojen puolustusvoimien signaaliin tulee kuitenkin muita parannuksia, kuten lisää salausta ja häirinnän sietoa [20].

DGPS on kehitetty tarkentamaan GPS:n tuottamaa paikkatietoa, jota SA-häirintä aiheutti. Tämä oli tärkeää muun muassa merenkulkijoiden tarpeisiin, koska SA-häirinnän ollessa päällä, paikannustarkkuus oli noin 100 metriä. SA-häirinnän aiheuttamaa virhetä saatiin laskettua perustamalla niin kutsuttu referenssiasema, jonka sijainti oli tarkkaan tiedossa. Asema kuuntelee satelliittien lähettämää dataa ja vertaa sitä omaan tarkkaan paikkaansa. Tällä tavoin saadaan laskettua virheen suuruus. Virheen suuruus vaihtelee eri puolilla maapalloa ja siksi DGPS-asemia on useita. Esimerkiksi Itämeren alueella liikuttaessa eripuolilla on käytettävä eri referenssiasemia. Mikäli vastaanotin on kahden referenssiaseman kantoetäisyydellä, vastaanotin ei välttämättä tiedä kumpaa lähetystä tulisi kuunnella. Koska tällaisessa tapauksessa signaali saattaa jäädä kokonaan saamatta, DGPS-vastaanotin saattaa ilmoittaa, että koordinaatit eivät ole saatavilla. Itämerellä on tällainen kohta lähellä Gotlannin pohjoiskärkeä [18].

Koska referenssi asemia ylläpitävät kolmannet osapuolet, on korjaustietojen lähetys radioteitse usein maksullista. Digita Oy:n Fokus-palvelu lähettää Suomessa korjaustietoa. Merenkululaitokselta palvelun saa ilmaiseksi rannikkoalueiden vesillä liikuttaessa. Vaikka SA-häirintä on poistettu, auttaa DGPS-järjestelmä korjaamaan ilmakehän aiheuttamia häiriöitä. Vastaanottimesta riippuen tarkkuus on senttimetrien luokkaa reaaliaikaisissa vastaanottimissa [18].

Liikennevirasto on määrittänyt palvelun avulla saatavan paikannustarkkuuden < 10 metriä 95 % ajasta. Liikenneviraston sivuilla kerrotaan tarkkuuden olevan 1-2 metrin luokkaa 95 % ajasta [21].

Pystysuoran paikan eli korkeuden määritystarkkuus on huonompi kuin paikkakoordinaattien. Standardissa luvataan leveys- ja pituuskoordinaattien tarkkuudeksi alle yhdeksän metriä ja korkeuskoordinaatin tarkkuudeksi alle 15 metriä. Molemmat tarkkuu-

det on määritelty siten, että tarkkuus täyttyy 95 % ajasta laskettuna 24 tunnin keskiarvolla [22].

Suurin yksittäinen syy, miksi GPS:n korkeustarkkuus on huonompi, johtuu satelliittien sijainnista taivaalla eli satelliittigeometriasta. Koska kaikki satelliitit ovat yläpuolellamme, niin se johtaa yksipuoliseen geometriaan. Mikäli satelliitteja voitaisiin havaita alapuolelta eli maapallon läpi, niin korkeustarkkuus olisi paljon parempi [23].

Euroopan avaruusjärjestö ESA on kehittämässä omaa paikannusjärjestelmäänsä. Tuon järjestelmän nimi on GALILEO ja se on yhteensopiva GPS:n ja venäläisen GLONASS järjestelmien kanssa [24]. GALILEOn suunniteltiin alun perin olevan toiminnassa jo vuonna 2008, mutta kaikkia satelliitteja ei ole vielä taivaalla. Valmis järjestelmä koostuu 30 satelliitista, joista 27 on aktiivisia ja 3 on varalla [24]. GPS:n ja GLONASSin lisäksi Kiinalla on oma Beidou (Compass) järjestelmänsä ja Intialla on GPS:ään perustuva GAGAN, joka tarkoittaa GPS:n tarkkuutta Intian alueella. Samanlaisia GPS:ää apuna käyttäviä paikallista tarkkuutta parantavia järjestelmiä on muillakin mailla käytössä. Intia kuitenkin on ilmaissut halunsa kehittää täysin omaa paikannusjärjestelmäänsä [18].

3.2.3 Tuulianturi

Tuulianturin tehtävä on mitata tuulen suunta ja nopeus. Aluksissa nämä tiedot ilmoitetaan sekä relatiivisena että suhteellisena. Relatiivinen tuuli on tuulen suunta suhteessa tosipohjoiseen ja suhteellinen tuuli on tuulen suunta suhteessa aluksen kulkemaan suuntaan. Säähavaintojärjestelmän tuulianturina on Vaisalan ultraäänien etenemiseen perustuva anturi WS425, jossa on sisäänrakennettu mikrokontrolleri. Mikrokontrolleri kerää mittaussignaalit, prosessoi mittausinformaation ja välittää sarjaliikennemuodossa mittaustietoa eteenpäin. Tuulianturissa on kolme samanlaista ultraäänistä lähetinvastaanotin yksikköä 120 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Anturi mittaa ajan, joka ultraääneltä menee kulkiessaan yksiköstä toiseen. Aika mitataan molempiin suuntiin ja aika riippuu tuulen nopeudesta lähetinvastaanotinyksiköiden välissä. Nolla tuulessa mitattu arvo on sama molempiin suuntiin mitattaessa. Vastatuuleen mentäessä äänen kulkuai-ka kasvaa ja myötätuuleen mentäessä kulkuai-ka pienenee.

Mikrokontrollerin prosessori laskee tuulen nopeuden kulkuajoista käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$V_w = 0,5 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r} \right)$$

,jossa

V_w = tuulen nopeus

L = kahden yksikön välinen etäisyys

t_f = antureiden välinen kulku aika yhteen suuntaan

t_r = antureiden välien kulku aika toiseen suuntaan

Tekemällä kuusi mittausta saadaan laskettua tuulen nopeus kustakin yksiköstä. Näin saatu tuulen nopeus on riippumaton korkeudesta, lämpötilasta ja kosteudesta, koska ne karsiutuvat kuuden mittauksen takia pois [25].

Vääriä tuloksia saattaa aiheutua mikäli suuri sadepisara tai jäähile tippuu lähetinvastanotin yksikön päälle. Väärät tulokset saadaan kuitenkin eliminoitua oikeanlaisella signaalin käsittelyllä. Turbulenssien aiheuttamat virheet saadaan eliminoitua laskemalla tuulen suunta ja nopeus kahdesta parhaasta vektorista [25].



Kuva 10. Itse tuulianturi vasemmalla puolella ja oikealla puolella tuulianturi asennettuna paikoilleen.

Kuvan 10 tuulianturi on vastaavanlainen kuin työn tutkinnan kohteena olleen järjestelmän tuulianturi. Kyseisestä anturista ulostulo saadaan myös analogisena. Tätä tapaa voidaan käyttää esimerkiksi, mikäli anturia halutaan käyttää tavanomaisena tuulianturina, joka antaa hetkellisiä tuulitietoja. Tällöin sensori ei ole normaalisti päällä koko ajan ja kun se kytketään päälle, kestää noin kaksi sekuntia kunnes sensori on alustanut

itsensä ja vakautunut. Tämän jälkeen sensori ottaa 0,35 sekunnin mittaisen näytteen ja antaa analogiaulostuloon tuulen nopeuden ja suunnan. Ensimmäisen kerran jälkeen sama toistuu yhden sekunnin välein kunnes virta katkaistaan [25]. Analogiamoodissa voidaan tuulen nopeuden yksiköksi vaihtaa myös mailia tunnissa. SI-yksiköissä jokainen 0,894 m/s tuo näytteeseen 10 Hz lisää. 0Hz = 0m/s ja 625 Hz = 55,88 m/s [25].

Tuulen nopeus ilmaistaan kahtena skalaarinopeutena (X ja Y). X-akseli kuvaa nopeutta pohjois-eteläsuunnassa ja Y-akseli nopeutta itä – länsisuunnassa.

W_s = Wind Speed, tuulen nopeus

W_D = Wind Direction, tuulen suunta

$$X = W_s \cdot \cos(W_D)$$

$$Y = W_s \cdot \sin(W_D)$$

Mittaukset suoritetaan 1 sekunnin välein ja saatu tuulen nopeus lisätään edellisten nopeuksien summaan ja jaetaan mittausten määrällä eli sensori laskee aidon keskiarvon. Tuulen suunta on ympyrän muotoinen funktio, jolla on kuitenkin epäjatkuvuus suoraan pohjoisessa, koska 360 astetta on sama kuin 0 astetta. Esimerkiksi:

$$\theta = 359^\circ + 5^\circ = 4^\circ$$

$$\theta = 0^\circ - 5^\circ = 355^\circ$$

Mikroprosessori muuttaa ympyräfunktion lineaariseksi siten, että $\theta = 359^\circ + 5^\circ = 364^\circ$ ja $\theta = 0^\circ - 5^\circ = 355^\circ$. Näin tuulensuunnan keskiarvo pystytään esittämään, vaikka yksittäiset mittaukset olisivat eripuolilla 0 suuntaa [25].

NMEA-moodissa ei kuitenkaan taajuuksista tarvitse välittää, koska anturi tuottaa datan NMEA-muodossa. Asetuksissa pitää kuitenkin huomioida, että nopeus on 9600 bit/s NMEA standardin 4800 bit/s sijaan [25]. Liitteessä 3 on valmistajan NMEA standardin mukainen tuulitietolauseen rakenne sekä Vaisalan tekemä laajennus lausekkeeseen.

3.2.4 Kosteus- ja lämpötila-anturi

Kosteusanturina säähavaintojärjestelmässä on Vaisalan HMP45A, joka on suunniteltu mittaamaan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Kosteuden mittaus perustuu kapasitiiviseen ohutfilmi polymeeri sensoriin, jota Vaisala esittelee tuotemerkillä HUMICAP. Lämpötilan mittaus perustuu resistiiviseen platinallevyyn (Pt 1000).

Kuvassa 11 näkyvä kosteudenmittaussensori on rakennettu kuvan 12 anturin sisälle, joten päällepäin sitä ei fyysisesti näe. Samoin itse anturi on asennettu usein säteilysuojan sisälle.



Kuva 11. HUMICAP–kosteudenmittaussensori

Kuvassa 12 vasemmalla puolella näkyy anturi, joka tuottaa analogisessa muodossa tietoa kosteudesta ja lämpötilasta. Kuvan oikealla puolella anturi on asennettuna säteilysuojan sisälle. Säteilysuojan tehtävänä on minimoida auringon vaikutus lämpötilaan mittapaikalla.



Kuva 12. Kuvassa vasemmalla puolella HMP45A - anturi lämpötilan ja kosteuden mittaamiseen. Kuvassa oikealla puolella on anturi asennettuna säteilysuojan sisälle.

Kosteus- ja lämpötilatieto tulevat jännitesignaalina 0 – 1 V.

0 ... 1 V = - 40 ... + 60° C

0 ... 1V = 0 ... 100 % RH

Koska ilmankosteus- ja lämpötilatiedot tulevat anturilta jännitemuodossa, anturitieto muutetaan NMEA-muotoon erillisellä laitteella. Koska NMEA on digitaalista informaatiota, joudutaan anturin tuottama analoginen signaali muuttamaan digitaalseksi.

Analoginen signaali on jatkuvaa ja digitaalinen signaali muodostuu käytännössä analogisesta signaalista otetuista näytteistä. Analoginen signaali muutetaan digitaalseksi A/D-muuntimella (analog to digital). A/D-muunnin ottaa analogisesta signaalista näytteitä niin usein kun näytteenottotaajuus määrittelee. Näytteenottotaajuus voi olla käyttäjän säädettävissä tai A/D-muuntimen valmistaja on sen päättänyt. Digitaalinen signaali siis muuttuu portaittain eikä ole jatkuvaa, kuten analoginen signaali. Portaan koko riippuu tuon näytteistykseen tekevästä A/D-muuntimesta. 12 bitillä voidaan esittää $2^{12} = 4096$ eri numeerista arvoa eli porrasta. Mikäli A/D-muunnin on 12 bittinen ja jännitealue on unipolaarinen 0 - 5 V, niin resoluutioksi eli portaan kooksi saadaan $\frac{5V}{4096} = 1,22 \text{ mV}$. Mikäli siis analogisen jännitteen muutos on 1,22 mV, niin tämä muutos aiheuttaa digitaalisessa signaalissa yhden portaan muutoksen. Mitattavana voi olla jokin muukin suure, kuten esimerkiksi virta tai resistanssi. Lisäksi näytteistykseen liittyy näytteenottotaajuus eli kuinka usein näytteitä otetaan analogisesta signaalista. Usein näytteenottotaajuus ilmoitetaan Hertseinä eli kuinka monta näytettä voidaan ottaa sekunnissa. Lämpötila-anturi ja suhteellista kosteutta mittaavat anturit ovat luonteeltaan hitaita, eivätkä pysty mittaamaan nopeita muutoksia. Näin ollen tiheää näytteenottoväliä ei kannata valita tämäntapaiseen muutokseen.

Valmistajan ilmoituksen mukaan anturin tarkkuus on +20°C:ssa kalibroituna suolaliuoksia vastaan (ASTM E104-85) $\pm 2\%RH$ (0...90%RH) ja $\pm 3\%RH$ 90...100%RH. Eli ilman suhteellisen kosteuden ollessa välillä 0 - 90 %, anturin tarkkuus on ± 2 %. Suhteellisen kosteuden ollessa välillä 90 - 100 %, anturin tarkkuus on huonompi $\pm 3\%$. Tyypillinen pitkän ajan stabiilius on parempi kuin 1 % RH vuodessa. Vasteaika anturilla 15 sekuntia (90 %) +20 °C liikkumattomassa ilmassa sintratulla suotimella.

Anturille on määritelty tarkkuus mitta-alueelle -40 - +60 °C. +20 °C tarkkuus on $\pm 0,2$ astetta ja tarkkuus muuttuu lineaarisesti liikuttaessa +20 °C:sta kohti ääripäitä. -40 °C mittaustarkkuus on $\pm 0,5$ °C ja +60 °C tarkkuus on $\pm 0,4$ °C.

Vaikka anturit antavat järjestelmälle mittaustuloksia nopeasti, niin ilman lämpötilamuutokset sekä ilman kosteuden eikä ilmanpaineen muutokset tapahdu tosielämässä nopeasti. Tuulitieto sen sijaan muuttuu nopeasti ja varsinkin aluksen ollessa liikkeessä suhteellinen tuulitieto muuttuu eli tuulen suunta suhteessa aluksen suuntaan. Laivan käännökset sekä laivan nopeuden muutokset vaikuttavat suhteelliseen tuuleen. Ohjelmistoteknisistä syistä kuitenkin kaikkia tietoja lähetetään järjestelmälle yhtä usein.

4 Kenttäkokeet

Tässä luvussa kerrotaan mitä tallenteita tehtiin ja miksi päädyttiin kuhunkin ratkaisuun.

4.1 PLC:ltä tulevan mittaustiedon tallennus

Työ aloitettiin taltioimalla UDP/IP-liikennettä PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välistä. Luvussa 3.2 kerrotaan taltiointijärjestelystä verkon ja laitteiston osalta. Kun mittausinformaation taltiointijärjestely itse verkon osalta saatiin ratkaistua, voitiin keskittyä laitteistotoimittajan taltiointiohjelmaan. Vaikka ohjelman käyttö on helppoa, niin tiedon tallennus tuotti hieman hankaluuksia. Ohjelma näyttää kaiken antureilta tulevan informaation näytöllä, mutta ohjelmassa on myös ominaisuus, jolla sama tieto saadaan tallennettua suoraan tiedostoon. Tallennusominaisuuden käyttö ei ollut kovin helppoa ja ensimmäisiin tallenteisiin ei saatu kaikkea haluttua informaatiota tallennettua.

Kaikkea tietoa ei ole mielekästä tallentaa, koska tällöin ohjelman tuottama tiedosto sisältää paljon ylimääräistä informaatiota, jolla ei ole mitään lisäarvoa samoin tiedoston koko kasvaa sekä halutun tiedon etsiminen hankaloituu. Ohjelmassa on kuitenkin mahdollisuus valita, mitä tietoja halutaan tallentaa ja päädyttiin tallentamaan vain sää-tietoihin liittyvät asiat. Erikseen piti kuitenkin valita vielä tapahtumahetken ajan tallennus, jotta olisi mahdollista tarkastella anturin tuottamaa mittaustietoa oikealla ajan hetkellä.

PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välinen informaatiovirta saatiin heti tekstitiedostoon ja helposti ymmärrettävään muotoon. Ongelman kuitenkin vielä aiheutti se, ettei aikaleimaa saatu tallennettuun mittausinformaatioon. Vaikka tietokatko aiheutti hälytyksen

ja antoi aikaleiman, niin tallennetusta tekstitiedostosta ei kohtaa saatu selville, koska aikaleimaa ei ollut. Tässä vaiheessa ainoa keino olisi ollut kahden hengen ryhmä, joista toinen henkilö katsoo koko ajan yhtä ruutua ja ilmoittaa, koska virheraportti ilmestyy. Toisen henkilön olisi pitänyt keskittyä mittaustiedon tallennukseen ja pysäyttää tallennus välittömästi, mikäli virheraportti ilmestyy. Kuvassa 13 on muutama rivi ohjelman tuottamasta tallenteesta. Tallenteesta näkyy, että aikaleiman ilmestymisen jälkeen ilmoitetaan kaikki tieto, mikä sillä hetkellä on ollut saatavilla.

```

Time seconds 16.5
Data age 0.50 s
Wind speed, true 13.65
Wind direction, true 108.01 deg
Outside temperature 12.0 C
Air pressure 996.5 hPa
Humidity 81.6 % relative
Ship's speed 14.76 knots
Time seconds 16.6
Data age 0.60 s
Air pressure 996.6 hPa
Humidity 81.8 % relative
Time seconds 16.7
Data age 0.70 s
Outside temperature 11.8 C
Air pressure 996.5 hPa
Humidity 81.7 % relative
Time seconds 16.8
Data age 0.80 s
Outside temperature 12.0 C
Air pressure 996.6 hPa
Humidity 81.8 % relative

```

Kuva 13. PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välinen mittaustieto aikaleimattuna.

Koska virheen ilmestyminen ei ollut mitenkään ennakoitavista ja virheiden ilmestyminen oli erittäin harvinaista, ei tuo kahden hengen tiimi olisi ollut mahdollista eikä mielekäästä. Perehtymällä tallennustiedoston mahdollistamaan ohjelmaan, saatiin aikaleima kuitenkin talletettuun mittausinformaatioon.

Aikaleimaan ei saatu tunteja mukaan, mutta se ei estänyt analyysin tekoa. Minuuttien ja sekuntien näkeminen riitti mittausinformaation analysointiin, koska tiedettiin tunti, milloin mittaustiedon tallennus on aloitettu. Tallenteessa näkyy minuutit, sekunnit ja sekunnin kymmenykset. Tekstitiedostoksi saatu mittausinformaatio ajettiin vielä Microsoft Excel – ohjelmaan ja muokattiin vielä hieman helpommin luettavaan muotoon,

jotta saatiin samalla sekunnin kymmenyksellä tapahtuneet muutokset samalle riville. Näin oli helppo nähdä, mikäli jonkin tiedon päivitysväli oli liian pitkä.

Taulukossa 2 on yhden sekunnin mittainen näyte PLC:n välittämästä mittaustiedosta muokattuna Excel- taulukkolaskentaohjelmalla taulukkomuotoiseksi. Taulukosta nähdään, että sensorin tuottama mittaustieto ilmoitetaan aina, mikäli mittaustieto on muuttunut, muussa tapauksessa sekunnin välein.

Taulukko 2. PLC:n ja kokonaisjärjestelmän välinen aikaleimalla varustettu mittaustieto taulukkomuotoon muokattuna.

Minutes	Seconds	Ship's speed knots	Wind speed relative m/s	Wind direction relative degrees	Wind speed true m/s	Wind direction true degrees	Air temperature °C	Air pressure hPa	Air humidity %
49	13		32.65	-322.36	16.33	294.83	9.2	1008.1	
	13.1							1008.0	51.2
	13.2						9.1		51.1
	13.3						9.2		51.2
	13.4						9.1		
	13.5								51.1
	13.6	21.96					9.2		51.2
	13.7						9.1	1008.1	51.3
	13.8						9.2	1008.0	51.2
	13.9						9.1		51.1
	14		33.23	-321.36	16.44	297.66	9.2	1007.9	51.3

Tallenteita tehtiin useita ja kaikissa tallenteissa päivitysväli pysyi koko ajan oikeana. Sensoreilta tulevat arvot olivat myös järkeviä, joten voitiin todeta, että antureilta tulevaa NMEA – tietoa ei tarvinnut tallentaa, koska PLC:ssä UDP:ksi muutettu mittaustieto oli oikeanlaista ja päivitysväli oli oikea. Tarkastelu tähän tallenteeseen tehtiin siis aina, kun saatiin ohjausjärjestelmältä tieto, että säätiedot puuttuvat ja tarkastelu kohdistettiin nimenomaan ennen aikaleimaa olevaan ajanhetkeen.

4.2 Kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän mittaustiedon tallennus

Työtä jatkettiin tallentamalla mittatietoa yhtä aikaa kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän sisäänrakennettujen tallennusmahdollisuuksien avulla. Ohjausjärjestelmä ilmoitti, että säähavaintojärjestelmän tuottama mittaustieto ei ole käytettävissä, joten tallentamalla kokonaisjärjestelmästä ja ohjausjärjestelmästä sisään tulevaa mittaustietoa yhtä aikaa saatiin selville, tuleeko kumpaankaan säähavaintojärjestelmän tuottamaa mittaustietoa vikailmoitushetkellä tai sitä ennen. Ohjausjärjestelmän teknisistä

manuaaleista selvisi, että järjestelmä tarvitsee paikkatiedon yhden sekunnin välein ja säätiedon kymmenen sekunnin välein. Asia varmistettiin vielä laitetoimittajan edustajalta ja saatiin vastaus, että tämä pitää paikkansa. Tarkennuksena kerrottiin, että laitteessa on vielä 2,5 kertainen varmuusvara. Eli paikkatieto vaaditaan 1 sekunnin välein, mutta mikäli paikkaa ei tule, niin 2,5 sekunnin jälkeen annetaan virheilmoitus. Sama koskee myös sääasemajärjestelmän lähettämää mittaustietoa, joka vaaditaan 10 sekunnin välein ja mikäli mittaustietoa ei saada, niin 25 sekunnin jälkeen annetaan virheilmoitus. Näin saatiin selvitettyä, mihin aikahaarukkaan tulee keskittyä. Kuvassa 14 on lyhyt näyte yhdestä tehdystä tallenteesta.

```
OwnShipDat;04:51:51.054;21930;60;22;1399524711.05425;False;True;1399524710.79999;0.613;-5.667;0.000;True;1399524710.20000;N59:zz:zz;E24:zz:zz;0.00000000;4182
```

```
MetData;04:51:51.316;21930;34;23;1399524711.00000;False;True;278.36;True;100800.00;True;93.60;True;1.522;8.04;2526
```

```
OwnShipDat;04:51:52.054;21930;60;22;1399524712.05387;False;True;1399524711.77999;0.688;-5.418;0.000;True;1399524711.09999;N59:zz:zz;E24:zz:zz;0.00000000;4911
```

```
MetData;04:51:52.196;21930;34;23;1399524712.00000;False;True;278.36;True;100790.00;True;93.60;True;1.520;8.05;2332
```

```
OwnShipDat;04:51:53.054;21930;60;22;1399524713.05389;False;True;1399524712.90000;0.650;-5.223;0.000;True;1399524712.09999;N59:zz:zz;E24:zz:zz;0.00000000;4697
```

Kuva 14. Ohjausjärjestelmällä tallennettu mittaustieto.

Ohjausjärjestelmässä olevan informaatiovirran tallennuksen mahdollistavassa sovelluksessa on myös mahdollisuus valita, mitä tietoja halutaan tallentaa. Kuvan 14 tietoja on muokattu aluksen paikkatietojen osalta. Tallennettavien tietojen valintamahdollisuuksia on paljon; oikeastaan kaikki laitteen sisällä liikkuvat tiedot voidaan tallentaa. Samoin suuri osa laitteen ulkopuolelta laitteen sisälle tulevista tiedoista voidaan valita tallennettaviksi.

Tässäkin tapauksessa päädyttiin karsimaan tallennettavaa mittausininformaatiota, koska kaiken mahdollisen tiedon tallentaminen ei olisi ollut mielekäästä. Tiedoston koko olisi kasvanut sekä tiedosto olisi sisältänyt paljon turhaa informaatiota, niinpä päädyttiin aluksi tallentamaan vain säähavaintojärjestelmältä tulevaa mittaustietoa sekä aluksen paikka.

Pelkästään näiden tietojen tallentaminen osoittautui riittäväksi, eikä asetuksia siis tarvinnut muuttaa tämän tallennuksen osalta. Tiedosto loi kuhunkin tapahtumaan automaattisesti aikaleiman, kuten kuvasta 13 nähdään. Tiedoston sisältämää informaatiota analysoimalla saatiin kuitenkin selville, että säähavaintojärjestelmän mittaustieto eikä aluksen paikka tulleet ohjausjärjestelmään virheilmoituksen aikana.

Taulukossa 3 on lyhyt näyte kokonaisjärjestelmän tuottamaa mittausinformaatiota. Mittausinformaatio on kuvassa jo muokatussa muodossa, muokkaamattomassa informaatiossa on kaikkien sensorien tuottama arvo numeerisena arvona, esimerkiksi ilmanpaine.

Taulukko 3. Kokonaisjärjestelmän tuottama tallenne muokattuna.

time_of_measurement => 2014-05-08	06:31:43.100000Z	06:31:43.100000	06:31:43,1
own_ship_heading_valid => true,			,
own_ship_heading => (,
time_of_information => 2014-05-08	06:31:43.500000Z	06:31:43.500000	06:31:43,5
own_ship_turn_rate => (,
donar_clone::clone_t => (,
creation_time_real => 2014-05-08	06:31:43.613234Z,	06:31:43.613234	06:31:43,6
time_of_relative_wind => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7
time_of_true_wind => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7
time_of_average_wind => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7
time_of_air_temperature => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7
time_of_air_pressure => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7
time_of_relative_humidity => 2014-05-08	06:31:42.700000Z,	06:31:42.700000	06:31:42,7

Sensorien syöttämä mittaustieto oli kunnossa. Tarkastelemalla muokkaamatonta tiedostoa, saatiin selville, että kokonaisjärjestelmä saa sensoreilta informaatiovirtaa. Tiedostoa muokattiin suuren koon vuoksi, koska riippuen tallennuksen kestosta saattoi tiedoston koko olla jopa noin 200 Mt. Suuren koon vuoksi tiedostoa oli vaikea tarkastella tekstinkäsittelyohjelmalla. Vaikka aikaisemmin oli jo tallennettu mittausinformaatiota PLC:n ja kokonaisjärjestelmän väliltä ja todettu mittaustieto oikeanlaiseksi ja päivitysväli oikeaksi, niin tällä tallenteella saatiin vielä varmistettua, että tieto meni myös varmasti kokonaisjärjestelmään sisään samanlaisena kuin se lähti PLC:ltä.

Kokonaisjärjestelmä välittää sääasemajärjestelmän tuottaman mittaustiedon ohjausjärjestelmälle ja järjestelmistä otettuja tallenteita tutkiessa havaittiin, että ohjausjärjestelmän tallenteessa ei ole kaikkia tarvittavia tietoja. Vertaaminen oli helppoa, koska mo-

lemmillä järjestelmillä tehdyt tallenteet olivat aikaleimattuja. Näin voitiin keskittyä kokonaisjärjestelmän tuottamaan tallenteeseen virheen tapahtumahetkellä ja sitä edeltävään 30 sekuntiin, koska haluttiin nähdä varmasti ajankohta, jolloin virhe tietovirrassa mahdollisesti tapahtuu. Näin osattiin valita kokonaisjärjestelmän tuottamasta isosta ja raskaasta tiedostosta vain tietty ajankohta ja vain tietyt parametrit.

Parametreiksi valittiin tietyt aikaleima sekä sääasemajärjestelmästä mahdollisesti tuleva mittaustieto. Näin saatu muokattu tieto ohjattiin Microsoft Excel – taulukkolaskentaohjelmaan ja tietoa muokattiin edelleen laskemalla aikaleimojen välinen aika. Huomattiin, että sensoreilta tuleva mittaustieto on oikea-aikaista eikä poikkeamia ollut missään kohtaa tarkasteluvälillä. Muokkaamattomasta tallenteesta huomattiin lisäksi, että sensoreilta tuleva mittaustieto on oikeanlaista ja määrämuotoista. Taulukossa 2 olevaan näytteessä ei ole laskettuna aikaerotusta vaan kolmanteen sarakkeeseen on aika muokattu sekuntien kymmenysoisien tarkkuuteen. Ajan muokkauksen jälkeen aikaeron laskeminen ja lukeminen oli selvempää. Havaintona oli siis, että ohjausjärjestelmän ilmoittaessa tietovirran saantiongelmista, tulee tietovirta kuitenkin kokonaisjärjestelmään sisään oikeanlaisena.

Kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän välinen kommunikointi muodostuu kahdesta ohjelma moduulista, PROXY (Proxy application) ja INTAPP (Interface application). PROXY tuottaa tietoa INTAPP:lle ja INTAPP syöttää saamansa tiedon ohjausjärjestelmälle. INTAPP toimii kokonais- ja ohjausjärjestelmien välillä tiedon välittäjänä molempiin suuntiin. Kokonaisjärjestelmässä on mahdollisuus tallentaa INTAPP-moduulin välittämää tietoa. Näin saadusta loki-tiedostosta ei voida suoraan nähdä, mitä tietoa on välittynyt missäkin muodossa. Välitetyn tiedon tallennusominaisuus onkin lähinnä ohjelmistovalmistajan virheenetsintä ominaisuus, jolla nähdään eri järjestelmien välinen tila kommunikoinnin osalta.

Kuvassa 15 on INTAPP-moduulin tuottamasta tallenteesta lyhyt näyte. Tallenteen sisältämässä tiedossa on aikaleima ja lyhyt kuvaus siitä, mikä tapahtuma on rekisteröity.

```

Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:05.921860Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.053040Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.446396Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.577148Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.798386Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.972382Z
Sep 24 16:00:06 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN status, 2013-09-24T13:00:06.973114Z
Sep 24 16:00:08 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN HPI measurements, 2013-09-24T13:00:08.126450Z:
Delta training = 0.00148709, elevation = -8.91789e-05; Target X-pos = -1.9411, Y-pos = -2981.95, Z-pos =
290.38

Sep 24 16:00:08 10.128.2.1 intapp[1499]: received GUN HPI measurements, 2013-09-24T13:00:08.383881Z:
Delta training = 0.00213349, elevation = 0.000703812; Target X-pos = -1.94884, Y-pos = -2981.96, Z-pos =
290.358

```

Kuva 15. INTAPP-moduulin tuottamaa tallennetta.

Tämä ominaisuus oli kuitenkin riittävä selventämään yhteyden kuntoa ja auttoi tarkentamaan katkoksen aiheuttajaa. Tiedostosta näki aikaleiman, milloin kommunikaatiota on tapahtunut kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän välillä. Tätä tietoa analysoimalla saatiin selville, että kun ohjausjärjestelmä ilmoitti mittaustiedon puuttumisen, niin kokonaisjärjestelmän ja ohjausjärjestelmän välillä ei kulkenut tietoa. Kokonaisjärjestelmään tuli siis sääantureiden tuottamaa mittaustietovirtaa sisään koko ajan, mutta se ei lähtenyt ohjausjärjestelmälle virheen tapahtumahetkellä.

Koska kokonaisjärjestelmä kuitenkin näytti ohjausjärjestelmän tuottaman virheilmoituksen, voitiin päätellä, että yhteys säilyi järjestelmien välillä. Ongelmana ei siis voinut olla liittimen huono kontakti, vaan se, että PROXY-ohjelmamoduuli ei tuottanut virheen tapahtumahetkellä tietoa INTAPP-ohjelmamoduulille.

5 Päätelmät ja yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin tallentamalla mittausinformaatiota monella eri järjestelmällä erilaisiin tiedostoihin ja sen jälkeen analysoimalla kaikkia tiedostoja erikseen, mikäli ohjausjärjestelmä ilmoitti virheestä. Työ oli aikaa vievää, koska tiedostoissa oleva tieto oli eri formaateissa ja tiedostojen koot saattoivat olla suuria. Osittain tiedostojen sisältöä käytiin läpi käsin ja osittain tiedostojen käsittelyä saatiin automatisoitua.

Tietovirran tallennusta ja analysointia voisi edelleen kehittää tietyin reunaehdoin. Koska järjestelmät ovat erilaisia ja eri järjestelmien tuottamat tallenteet olivat erilaista sekä tallennettu tieto on erimuotoisena, on erittäin hankala kehittää reaaliaikainen järjestel-

mä, joka tallentaisi saadun tiedon heti oikeanlaiseksi ja mahdollisesti vielä näyttäisi tuloksen. Hankaluutta lisää vielä se, että osassa järjestelmissä on mahdollista valita tallennettavat tiedot. Nykypäivänä on tosin paljon erilaisia mikrokontrollereita, joiden avulla tiedon kerääminen saattaisi olla mahdollista. Tällaisen tallennus- ja analysointijärjestelmän kehittäminen vähentäisi kuormaa itse laitteelta. Esimerkkinä mainittakoon Linux-pohjainen Raspberry Pi, jonka ohjelmoinnissa käytetään hyvin paljon Python ohjelmointikieltä. Toinen tällä hetkellä suosittu järjestelmä on italiassa kehitetty Arduino, jonka ohjelmointiin käytetään ohjelmointikieli C:stä Arduinolle kehitettyä kieltä. Raspberry Pi:ssä on liitännät valmiina ulkoiselle näyttölaitteelle ja näppäimistölle sekä hiirelle. Tällaisella ratkaisulla saataisiin näytöltä seurattua graafisesti kunkin osajärjestelmän tietoja. Edellä mainituille kahdelle järjestelmälle löytyy Internetistä paljon erilaisia valmiita ohjelmia, joita muokkaamalla saa kehitettyä itselle sopivan ohjelmiston, mikäli ei viitsi itse opiskella kaikkea aivan alusta lähtien.

Mikäli mikrokontrolleri ratkaisua ei haluta rakentaa, niin mahdollista on myös kehittää analysoinnin helpottamiseksi ohjelma, joka yhdistää näistä eri järjestelmistä kerätyistä tiedostoista saadun datan samaan tiedostoon samanmuotoiseksi ja laittaisi tiedot aikaleiman perusteella oikeisiin paikkoihin. Analysointi pitää näin ollen tehdä aina jälkikäteen. Mikäli tallenteita tehdään osajärjestelmissä, niin ongelmana pysyy edelleen se, että loki-tiedoston kokoa pitää rajoittaa pysäyttämällä tiedoston tallennus käsin. Tuotakin ongelmaa voi mahdollisesti kiertää käyttämällä käyttöjärjestelmissä valmiina olevia ajastuspalveluita.

Yhtenä esimerkkinä eri tiedostoista keräävän materiaalin käsittelyyn voisi olla Microsoft Exceliin tehtävä makro, joka keräisi eri tiedostossa olevan tiedon ja laittaisi tiedot omiin sarakkeisiin ja aikaleiman perusteella oikeille riveille ja samalla keräisi taulukkoon vain tarvittavan tiedon. Tällä tavalla saataisiin nopeutettua analysointiin käytettävää valmistelua, koska tiedon keräys yhteen paikkaan saataisiin osittain automatisoitua.

Koko työn haastavin vaihe oli mittausinformaation kerääminen. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui varsinkin kokonaisjärjestelmällä tallennetun mittausinformaation suuri koko ja sen käsittely sekä oleellisen mittausinformaation suodattaminen. Koska tietokatkon tapahtuma aikaa ei voitu ennustaa, jouduttiin mittausinformaatiota tallentamaan koko ajan. Vaikka tallennusaikaa voitiinkin jaksottaa, tässä tapauksessa kahden tunnin pituisiksi jaksoiksi, tuli tallennetusta tiedostosta silti huomattavan suuri ja se aiheutti hankaluuksia tiedoston lukemisessa suuren koon takia. Tallennustapahtumaa ei voitu

jaksottaa automaattisesti, vaan jaksotus tehtiin käsin pysäyttämällä tallennus ja käynnistämällä tallennus heti uudelleen. Kokonaisjärjestelmällä tallennettu tieto saatiin kuitenkin muutettua tekstitiedostoksi ja sen muokkaaminen onnistui tässä tapauksessa Linux-käyttöjärjestelmällä käyttäen less- ja grep-komentojen erilaisia variaatioita.

Tulevaisuutta ja osin nykypäivääkin on langattomuus. Huviveneissä vaihtoehtona voisi olla langattomat sensorit, joiden avulla sensoreiden sijoitus on vapaampaa sekä kaapelointi nopeampaa. Tietyissä sovelluksissa sensoreille tarvittaisiin ainoastaan tehonsyöttö. Tehonsyöttö voidaan toki hoitaa paikallisesti myös paristoilla tai akuilla, mutta tällainen vaihtoehto ei ole yhtä huoltovapaa.

Langattomuudessa tulee lisähuolena tiedon yksityisyys ja mahdollinen häirintä. Mikäli langattomasti siirretään vain säätietoja, ei tieto varmaankaan ole kovin salaista. Kuitenkin vastaanottimia voidaan häiritä erilaisilla menetelmillä. Vastaanotin voidaan kyllästä lähettämällä siihen suuritehoista häirintäsignaalia vastaanottotaajuudella tai vastaanottimelle lähetetään väärää dataa. Tällöin esimerkiksi sota-aluksissa väärä säätieto voi aiheuttaa väärät ballistiset laskut ja aseiden osumatarkkuus huononee. Vastaavasti mikäli moottoritietojen lähetyksessä käytetään langattomia antureita ja tähän tietoon päästään käsiksi, voi mikä tahansa alus käyttää moottoreita liian suurella käyntinopeudella. Ilkeämielinen häiritsijä voisi rikkoa moottorit tai esimerkiksi ajattaa aluksen tahallaan karille.

Tutkat ovat kehittyneet viimeaikoina paljon ja nykyään on markkinoilla laajakaistatutkia. Laajakaistatutka ei yksinään kuitenkaan vielä riitä olemaan meripelastuksen ainoa tutka, laajakaistatutkien tekniikan vuoksi [26]. Uusimmissa tutkissa on kuitenkin mahdollista päästä eroon aaltoputkista. Furunolla on FAR-3000 sarja, joka jo antenniyksikössä muodostaa vastaanotetusta analogisesta signaalista digitaalisen. Digitaalinen signaali johdetaan Ethernet-kaapelia pitkin signaalin jatkokäsittelyyn, näin aaltoputki ei aiheuta signaaliin enää lisää vaimennuksia ja tutkan asennus helpottuu [27].

Erilaisten NMEA-laitteiden liittäminen muuttuu myös helpommaksi ja siitä esimerkkinä on myös Furunon ratkaisu, jossa on anturiadapteri verkossa. Adapteri muuntaa NMEA-liikenteen verkkoon sopivaksi ja välittää liikenteen eteenpäin [27]. Myös itse verkkoliikenne on muuttumassa IEC-61162-450 standardin mukaiseksi. Standardi on nimetty Light Weight Ethernet:ksi (LWE) [28].

Antureiden osalta suurin muutos kohdistuu kosteus- ja lämpötila-anturiin. Tämänhetkinen anturi on analoginen ja Vaisalalla on korvaava tuote HMP155. Korvaava anturi on prosessoripohjainen ja tukee myös sarjaliikennettä [29]. Tämä poistaisi tällä hetkellä olevan yksikön, joka muuttaa anturin analogiatiedon digitaaliseksi sarjaliikenteeksi. Tällä tavoin rakennetta saataisiin yksinkertaistettua sekä vikaantuvia laitteita vähennettyä.

Työn edetessä tuli esiin asioita, joita tulisi tehdä eri tavalla, esimerkiksi kosteusanturin kalibrointi. Tämänhetkisen käytännön mukaan antureita ei kalibroida, vaikka käyttöohjeessa kalibrointia suositellaan vuoden välein. Sähköpostitse käydyn keskustelun mukaan laitevalmistaja suosittelee antureiden kalibrointia vuoden välein ohjekirjassa. Käytännössä kalibrointi voidaan kuitenkin suorittaa useammin tai harvemminkin, kuitenkin kalibrointia ei pidä jättää suorittamatta. Varsinkin mikäli epäillään, että anturi ei toimi halutulla tavalla tai antaa väärää tietoa, kannattaa kalibrointi suorittaa heti. Kalibrointi voidaan suorittaa käyttäjän toimesta eikä laitevalmistajaa tarvita. Kuvassa 16 on kalibrointilaite. Kalibrointilaitteessa on digitaalinen näyttö ja johdon toiseen päähän on asennettu kalibroitava mittausanturi.



Kuva 16. Kalibrointilaite, jossa kalibroitava mittausanturi on kiinni.

Toinen merkittävä asia on asiakkaan vastuu hankinnoissa. Kun hankitaan uusia järjestelmiä, on hyvä tehdä testaussuunnitelma yhdessä järjestelmätoimittajan kanssa tai mahdollisesti useamman toimittajan kanssa, varsinkin jos järjestelmien tulee toimia

yhdessä. Usein järjestelmille tehdään laivaympäristössä kaksi testiä. Ensimmäinen suoritetaan rannassa, niin sanottu HAT (Harbour Acceptance Test), jossa lyhyesti kerrottuna laitteiden todetaan toimivan rannassa/laiturissa toivotulla tavalla.

Toinen testi SAT (Sea Acceptance Test) suoritetaan merellä ja on pääosin samanlainen katsaus, jossa laitteiden todetaan toimivan merellä oltaessa. Testeissä käydään läpi laitteiden eri toiminnallisuuksia. Molemmista testeistä laaditaan asiakirjat ja molemmat osapuolet allekirjoittavat testiasiakirjat, mikäli testi on mennyt läpi suunnitelmien mukaisesti.

Usein kuitenkin merikokeet tehdään varsin pian satamatestien jälkeen, eikä laajojen tietojärjestelmien kaikkia ominaisuuksia voida testata. Tämä on varmasti järjestelmätoimittajien etu, koska tällöin asiakas on ollut testeissä mukana ja hyväksynyt asiakirjalla, että laite toimii sovitusti ja asiakas suorittaa maksun toimitetusta järjestelmästä. Ongelmana on kuitenkin piilossa olevat viat, kuten tässä opinnäytetyössä tuli ilmi. Lyhyen ajan käytöllä ongelmaa ei huomaa, mutta pidempiaikaisessa käytössä esiintyy ongelmia.

Tässä työssä tutkittavana ollut järjestelmä on mahdollista päivittää tässä kappaleessa mainituilla komponenteilla. Esimerkiksi navigointijärjestelmän verkkoarkkitehtuurin päivittäminen nykyaikaisemmaksi muuttaisi mahdollisten vikojen etsimisen vähemmän aikaa vieväksi ja yksinkertaistaisi prosessia ja kaapelointia. Mahdollista esimerkiksi olisi PLC-laitteiden korvaaminen anturiadaptoreilla jolloin saataisiin verkkoa yksinkertaistettua, koska antureiden lähettämää tietoa ei tarvitsisi enää viedä sekä PLC:lle, että esimerkiksi ECDIS-laitteelle. PLC-laitteiden suorittama laskenta ja datan muunnokset voidaan suorittaa ECDIS-järjestelmän tietokoneella.

Vaikka laitteilla on takuu, niin yksi ratkaisu piilovikojen esiintymiseen ennen laitteiden virallista vastaanottoa on meritestien suorittaminen toimittajan läsnä ollessa vasta, kun järjestelmää on testattu pidemmän aikaa merellä omissa testeissä. Tällöin esimerkiksi liian lämmön tuottamat ongelmat ovat esiintyneet todennäköisesti jo omissa testeissä ja virallisessa laitetoimittajan kanssa suoritettussa meritestissä voidaan keskustella mahdollisista ongelmista.

Päättötyötä määriteltäessä asetin tavoitteeksi vian löytämisen ja vian korjaamisen, mikäli vika olisi laitteissa tai asetuksissa. Työn edistyessä ja vian tarkentuessa mukaan

haluttiin muidenkin ohjausjärjestelmien datan analysointia. Ongelma rajattiin kuitenkin vain yhteen ohjausjärjestelmään, koska ratkaisumalli on sovellettavissa kaikkiin muihinkin ohjausjärjestelmiin ja analysointi olisi päättötyössä tehdyllä tavalla vienyt paljon aikaa. Suurempaan analyysiin pitää kehittää ohjelma analysoinnin nopeuttamiseksi.

Onnistuneiden mittausaineistojen tallennuksen ja mittausinformaation analysoinnin jälkeen vikaa saatiin rajattua ja lopulta vika löydettiin kokonaan. Työn tuloksena saatiin tieto siitä, mikä aiheuttaa ongelman ja pohja seuraavalle insinööriyölle tai projektille.

Työssä havaittu tiedonvälitysongelma on haastava, koska ilman tallennusmahdollisuuksia on vaikea osoittaa, missä kohtaa järjestelmää vika on. Tällöin eri järjestelmien toimittajat syyttävät helposti toistensa järjestelmiä. Yksi mahdollisuus olisi ollut verkkoliikenteen seuraaminen, joka olisi vaatinut verkkoliikenteen tallentamista ja hexadesimaalien kääntämistä luettavaan muotoon.

Kuten yleensäkin hankinnoissa, tilaajalla on vastuu esittää ongelma ymmärrettävästi. Työssä esitettiin yksi tapa, jolla asiakas voi selvittää ennen työn tai järjestelmän vastaanottoa mahdollisia piilovikoja.

Lähteet

- 1 Navigointi. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Navigointi>>. Päivitetty 2.3.2014. Luettu 19.8.2014.
- 2 Integrated Navigation System. Verkkodokumentti. Raytheon Anschüts. <<http://www.raytheon-anschuetz.com/commercial-systems/integrated-navigation/system-architecture/>>. Luettu 19.8.2014.
- 3 Charts. Verkkodokumentti. International Maritime Organization. <<http://www.imo.org/OurWork/Safety/Navigation/Pages/Charts.aspx>>. Luettu 31.10.2014.
- 4 Aintila, Kari. 2014. System Sales Manager, Furuno Oy, Espoo. Keskustelu 29.10.2014.
- 5 SOLAS – Mandatory Requirements for ECDIS and BNWAS. Verkkodokumentti. West of England. <<http://www.westpandi.com/Publications/News/Archive/SOLAS---Mandatory-Requirements-for-ECDIS-and-BNWAS/>>. Updated 26 January 2006. Luettu 31.10.2014.
- 6 AIS-järjestelmä. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/AIS-j%C3%A4rjestelm%C3%A4>>. Päivitetty 13.6.2014. Luettu 19.8.2014.
- 7 Live Ships Map. Verkkodokumentti. Marinetraffic. <<http://www.marinetraffic.com/ais/home>>. Luettu 21.9.2014.
- 8 Vessel Traffic Service. Verkkodokumentti. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Vessel_Traffic_Service>. Päivitetty 28.7.2013. Luettu 19.8.2014.
- 9 Protokolla (tietoliikenne). Verkkodokumentti. Wikipedia. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Protokolla_\(tietoliikenne\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Protokolla_(tietoliikenne))>. Päivitetty 10.10.2013. Luettu 7.1.2015.
- 10 How OSI works. Verkkodokumentti. How Stuff Works. <<http://computer.howstuffworks.com/osi.htm>>. Luettu 20.8.2014
- 11 IP- ja ICMP-protokollat. Verkkodokumentti. Internetix. <http://oppimateriaalit.internetix.fi/fi/avoimet/6tekniikkatalous/verkko/ip_ja_icmp_protokollat>. Luettu 12.1.2015.
- 12 IPv4. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/IPv4>>. Updated 10 February 2015. Luettu 11.2.2015.
- 13 User Datagram Protocol. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol>. Updated 23 January 2015. Luettu 11.2.2015.
- 14 Transmission Control Protocol. Verkkodokumentti. Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol>. Updated 3 February 2015. Luettu 11.2.2015.

- 15 NMEA 0183 Standard. Verkkodokumentti. National Maritime Electronics Association
<http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp>. Luettu 19.8.2014.
- 16 NMEA data. Verkkodokumentti.
<<http://www.gpsinformation.org/da/nmea.htm>>. Luettu 19.8.2014.
- 17 What is NMEA 0183 protocol. Verkkodokumentti. rhydoLABS-blog.
<<http://www.rhydolabz.com/blog/?p=249>>. Updated 17 December 2012. Luettu 20.8.2014.
- 18 GPS. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/GPS>>. Päivitetty 23.10.2013. Luettu 14.9.2014.
- 19 Satelliittimittaus eli GPS-mittaus. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos.
<<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus>>. Luettu 19.10.2014.
- 20 GPS Accuracy. Verkkodokumentti. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics.
<<http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>>. Updated September 18 2014. Luettu 19.10.2014.
- 21 Radionavigaatiopalvelut. Verkkodokumentti. Liikennevirasto.
<http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/ammattiliikenteen_palvelut/liikkuminen_vesivaylilla/radionavigointi#.VEPZTle7b5M>. Päivitetty 12.6.2013. Luettu 19.10.2014.
- 22 GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD. Verkkodokumentti. United States of America Department of Defence. <<http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>>. 4th Edition September 2008. Luettu 9.1.2015.
- 23 Miten GPS-korkeudet poikkeavat vaaituista ?. Verkkodokumentti. Positio-lehti.
<http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=b64a7aed-5f7d-41ce-b334-8300338a791f&groupId=108478> 2008. Luettu 9.1.2015.
- 24 What Is GALILEO? Verkkodokumentti. European Space Agency.
<http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future_-_Galileo/What_is_Galileo>. Updated 27 June 2014. Luettu 9.1.2015.
- 25 USER'S GUIDE. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.
<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/WS425_User_Guide_in_English.pdf> 2010. Luettu 20.8.2014.
- 26 RACON. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/RACON>>. Päivitetty 5.4.2013. Luettu 30.10.2014.
- 27 CHART RADAR. Verkkodokumentti. FURUNO ELECTRIC CO, LTD.
<<http://www.furuno.com/files/Brochure/105/upload/far3000.pdf>> 2014. Luettu 30.10.2014.

- 28 IEC 61162. Verkkodokumentti. <http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61162>. Last modified 25 November 2013. Luettu 30.10.2014.
- 29 Industrial Measurements. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <<http://www.vaisala.com/en/industrialmeasurements/products/humidity/fixe/Pages/HMP155.aspx>>. Luettu 24.10.2014.

NMEA laitenimet

AG	Autopilot - General
AP	Autopilot - Magnetic
CD	Communications –Digital Selective Calling (DSC)
CR	Communications – Receiver / Beacon Receiver
CS	Communications –Satellite
CT	Communications –Radio-Telephone(MF/HF)
CV	Communications –Radio-Telephone(VHF)
CX	Communications –Scanning Receiver
DF	Direction Finder
EC	Electronic Chart Display & Information System (ECDIS)
EP	Emergency Position Indicating Beacon (EPIRB)
ER	Engine Room Monitoring Systems
GP	Global Positioning System (GPS)
HC	Heading –Magnetic Compass
HE	Heading –North Seeking Gyro
HN	Heading –Non North Seeking Gyro
II	Integrated Instrumentation
IN	Integrated Navigation
LC	Loran C
P	Proprietary Code
RA	RADAR and/or ARPA
SD	Sounder, Depth
SN	Electronic Positioning System, other/general
SS	Sounder, Scanning
TI	Turn Rate Indicator
VD	Velocity Sensor, Doppler, other/general
DM	Velocity Sensor, Speed Log, Water, Magnetic
VW	Velocity Sensor, Speed Log, Water, Mechanical
WI	Weather Instruments
YX	Transducer
ZA	Timekeeper – Atomic Clock
ZC	Timekeeper – Chronometer
ZQ	Timekeeper – Quartz

NMEA lauseen yksilöinti

AAM - Waypoint Arrival Alarm

ALM - Almanac data

APA - Auto Pilot A sentence

APB - Auto Pilot B sentence

BOD - Bearing Origin to Destination

BWC - Bearing using Great Circle route

DTM - Datum being used.

GGA - Fix information

GLL - Lat/Lon data

GRS - GPS Range Residuals

GSA - Overall Satellite data

GST - GPS Pseudorange Noise Statistics

GSV - Detailed Satellite data

MSK - send control for a beacon receiver

MSS - Beacon receiver status information.

RMA - recommended Loran data

RMB - recommended navigation data for gps

RMC - recommended minimum data for gps

RTE - route message

TRF - Transit Fix Data

STN - Multiple Data ID

VBW - dual Ground / Water Speed

VTG - Vector track and Speed over the Ground

WCV - Waypoint closure velocity (Velocity Made Good)

WPL - Waypoint Location information

XTC - cross track error

XTE - measured cross track error

ZTG - Zulu (UTC) time and time to go (to destination)

ZDA - Date and Time

Some gps receivers with special capabilities output these special messages

HCHDG - Compass output

PSLIB - Remote Control for a DGPS receiver

NMEA tuulilauseke

NMEA Standard

The standard variable length, comma-separated, MWV wind message is defined by NMEA 0183 V2.20 as follows:

```
$WIMWV,<dir>,<ref>,<spd>,<uni>,<sta>*<chk><cr><lf>
```

where

\$WIMWV = Fixed text

<dir> = Wind angle, 0 to 359 degrees

<ref> = Reference; R=Relative, T=True

<spd> = Wind speed

<uni> = Wind speed units; K = kmph [km/h], M = mps [m/s], N = kt

<sta> = Status; A = Data Valid, V = Invalid Data

* = Fixed text

<chk> = Checksum

(8-bit XOR, excluding \$ and *)

<cr> = Carriage return code, ASCII 0DH

<lf> = Line feed code, ASCII 0AH

NMEA Extended Message

Vaisala extension to the standard MWV wind message is defined as follows:

```
$P<id>MWV,<dir>,<ref>,<spd>,<uni>,<sta>*<chk><cr><lf>
```

where

\$P = Fixed text

<id> = Is the data ID; A ... Z

MWV = Fixed text

<dir> = Wind angle, 0 to 359 degrees

<ref> = Reference; R = Relative, T = True

<spd> = Wind speed

<uni> = Wind speed units; K = kmph [km/h],

M = mps [m/s], N = kt

<sta> = Status; A = Data Valid, V = Invalid Data

* = Fixed text

<chk> = Checksum (8-bit XOR, excluding \$ and *)

<cr> = Carriage return code, ASCII 0DH

<lf> = Line feed code, ASCII 0AH