

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2020

Antti Jylhänkangas

# NMEA 2000 GNSS - VASTAANOTTIMEN OHJELMISTO



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tieto- ja viestintäteknikka

2020 | 29 sivua

Antti Jylhänkangas

## NMEA 2000 GNSS -VASTAANOTTIMEN OHJELMISTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa NMEA 2000 -väylällä kommunikoiva GNSS-vastaanottimen ohjelmisto. Laitteen tarkoitus on tarjota kymmenen kertaa sekunnissa päivittyvää sijaintitietoa veneissä oleviin NMEA 2000 -näyttölaitteisiin. Laitteen ohjelmisto toteutettiin C++-ohjelmointikielellä ja siinä hyödynnettiin FreeRTOS-reaaliaikaiskäyttöjärjestelmää tehtävien aikatauluttamiseen.

Työssä tutkittiin merenkäynnin tiedonsiirtostandardeja NMEA 0183:a ja NMEA 2000:a sekä satelliittipaikannuksen periaatteita. NMEA 2000 -standardi pohjautuu vahvasti ajoneuvoissa käytettyyn CAN-väyläteknologiaan.

Lopputuloksena oli toimiva NMEA 2000 -verkossa kommunikoiva GNSS-vastaanotin. Laitteen toimivuus testattiin käyttämällä sitä karttaplotterin kanssa. Työ tehtiin osana toimeksiantajan projektia ja laitteen kehitys jatkuu opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

ASIASANAT:

satelliittipaikannus, NMEA 2000, NMEA 0183, CAN

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communications Technology

2020 | 29 pages

Antti Jylhänkangas

## NMEA 2000 GNSS RECEIVER

The aim of this thesis was to implement the software of an NMEA 2000 -compatible GNSS receiver. The device was required to send GPS fix information at 10Hz on the NMEA 2000 network. The software was implemented on C++ and it utilizes FreeRTOS real-time operating system to schedule different tasks.

This thesis studied marine communication standards NMEA 0183 and NMEA 2000 in addition of satellite navigation. NMEA 2000 standard is largely based on CAN bus technology used on road vehicles.

The result was a functional GNSS receiver operating on NMEA 2000 network. The device was tested by using it with a chart plotter. The thesis was part of my employer's project and the development of the device will continue after completing this thesis.

### KEYWORDS:

satellite navigation, NMEA 2000, NMEA 0183, CAN

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 GNSS-PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ</b>	<b>9</b>
2.1 Toimintaperiaate	9
2.2 Konstellatit	10
<b>3 NMEA 0183 -STANDARDI</b>	<b>11</b>
3.1 Kommunikointi väylällä	11
3.2 NMEA 0183 -viestiformaatti	11
<b>4 CAN- JA SAE J1939 -STANDARDI</b>	<b>13</b>
4.1 Fyysinen kerros	14
4.2 Siirtokerros	15
4.2.1 CAN 2.0 A -viestikehys	15
4.2.2 CAN 2.0 B -viestikehys	16
4.3 Parametriryhmänumerot	17
4.4 Osoitevaade	18
<b>5 NMEA 2000 -STANDARDI</b>	<b>19</b>
5.1 Fyysinen kerros	19
5.2 Siirtokerros	20
5.3 NMEA 2000 -sertifiointi	20
<b>6 TOTEUTUS</b>	<b>21</b>
6.1 Vaatimusmäärittely	21
6.1.1 Pakolliset parametriryhmänumerot	21
6.1.2 Lähetettävät navigointiparametriryhmänumerot	21
6.2 Arkkitehtuuri	24
6.2.1 Alustusrutiini	24
6.2.2 Kommenttien lähettäminen GPS-moduulille	24
6.2.3 Vastaanotettujen NMEA 0183 -viestien jäsentäminen	25
6.2.4 NMEA 2000 -protokollan toteutus	25

6.3 Laitteen testaaminen	26
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>28</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>29</b>

## KUVAT

Kuva 1. SAE J1939 ei määrittele esitystapakerrosta tai istuntokerrosta [5]	13
Kuva 2. CAN-väylän topologia [11]	14
Kuva 3. Signaali CAN-väylällä [5]	14
Kuva 4. normaali CAN-viestikehys [4]	16
Kuva 5. Laajennettu CAN-viestikehys [4]	17
Kuva 6. Laajennettu tunnistikehys sisältää parametriryhmänumeron [7]	17
Kuva 7. NMEA 2000 -liitin [8]	19
Kuva 8. NMEA 2000 -verkon topologia [8]	20
Kuva 9. PGN 129029 GNSS Position Data [9]	22
Kuva 10. PGN 129025 Position, Rapid Update [9]	22
Kuva 11. PGN 129026 COG & SOG, Rapid Update [9]	23
Kuva 12. PGN 129540 GNSS Sats in View [9]	23
Kuva 13. Testauksessa käytetty karttaplotteri Q Experience [12]	26
Kuva 14. GPS-antennin antama sijainti kartalla. Koordinaatteja on sensuroitu	27
Kuva 15. Satelliittien määrä ja kymmenen parasta signaali-kohinasuhdelukua	27

## TAULUKOT

Taulukko 1. RMC-lauseen sisältö [3, s.132]	12
--	----

## KÄYTETYT LYHENTEET

ASCII	7- bittinen tietokoneiden merkistö (American Standard Code for Information Interchange)
CAN	CAN-väylä, ajoneuvoissa ja teollisuuslaitteissa laajalti käytetty kommunikaatiostandardi (Controller Area Network)
FreeRTOS	Sulautetuissa järjestelmissä yleisesti käytössä oleva reaaliaikainen käyttöjärjestelmä (Real-time Operating System)
GNSS	Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System)
GPS	Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä paikannusjärjestelmä (Global Positioning System)
HAL	Laitteiston abstrahointikerros, joka tarjoaa rajapinnan laitteiston ohjaamiseen (Hardware Abstraction Layer)
NMEA	Merenkäynnin elektronisten laitteiden kommunikaation standardoinnista vastaava kauppayhdistys (National Marine Electronics Association)
PRN	Jokaiselle GNSS -konstellatioihin kuuluvalla satelliitille annettava uniikki koodi indentifiointia varten (Pseudorandom Noise)
SBAS	Satelliittipohjainen parannusjärjestelmä (Satellite Based Augmentation System)
SNR	Signaali-kohinasuhde, ilmoitetaan desibeleinä (Signal-to-Noise Ratio)
USART	Sarjaliikenteen lähetys- ja vastaanotto piiri (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver-Transmitter)

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään satelliittipaikannukseen ja merenkäynnissä käytettyihin kommunikaatiostandardeihin sekä kuvataan näitä hyödyntävän GNSS-vastaanottimen ohjelmiston suunnittelu ja toteutus.

Satelliittipaikannus vaatii kunnolla toimiakseen esteettömän näkymän taivaalle. Tämän vuoksi etenkin katetuissa veneissä näyttölaitteiden eli nk. karttaplotterien sisäiset vastaanottimet saattavat kärsiä heikosta signaalista. Tarkempaa sijaintitietoa voidaan tarjota ulkoisella vastaanottimella, joka asennetaan veneen katolle.

Työn tavoitteena on toteuttaa kilpailukykyinen NMEA 2000 -verkossa kommunikoiva GNSS-vastaanotin veneilykäyttöön, jota verkossa valmiiksi olevat näyttölaitteet voivat hyödyntää. Laitteen tulee päivittää sijaintitietoa kymmenen kertaa sekunnissa sekä lähettää tietoa veneen suunnasta, nopeudesta ja nähdyistä satelliiteista. Työ toteutetaan tuotekehitysprojektina, jossa antennin elektroniikka suunnitellaan osana toista opinnäytetyönä.

## 2 GNSS-PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ

Maailmanlaajuisesta satelliittipaikannusjärjestelmästä käytetään nimitystä GNSS. Satelliittipaikannusta käytetään tarjoamaan paikka- ja aikatietoa GNSS-vastaanottimille. GNSS kattaa usean eri tahon satelliittipaikannusjärjestelmän, joista tunnetuin lienee Yhdysvaltain puolustusvoimien kehittämä GPS. Muita yleisessä käytössä olevia järjestelmiä, nk. konstellaatioita ovat venäläinen GLONASS, kiinalainen BeiDou sekä EU:n hallinnoima Galileo. Kukin konstellaatio koostuu vähintään 20 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 000 - 25 000 kilometrin korkeudella maanpinnasta. [1]

### 2.1 Toimintaperiaate

Satelliitit lähettävät sisäisten atomikellojensa tarjoamaa tarkkaa aikasignaalia maassa oleville vastaanottimille. Vastaanotin laskee lähetysajan ja oman kellonsa antaman vastaanottoajan erotuksen ja kertoo tämän valon nopeudella, jolloin tuloksena on satelliitin pseudoetäisyys. Luotettavaan paikannukseen tarvitaan kuitenkin vähintään neljä saman konstellaation satelliittia, koska vastaanottimen kello ei ole epätarkkuudesta johtuen suoraan verrannollinen atomikelloon nähden. Paikannustieto on sitä tarkempaa, mitä enemmän satelliitteja on käytössä.

Paikkatiedossa on usean eri tekijän vuoksi epätarkkuutta. Esimerkiksi GPS-järjestelmä kykenee ilmoittamaan paikan noin 5 m:n tarkkuudella, myöhemmin kehitetty Galileo jopa metrin tarkkuudella. Epätarkkuutta aiheuttaa mm. signaalin vääristyminen, heijastuminen ja vaimeneminen. Lisäksi satelliittien välisiä aikaeroja ja kiertoratoja on mahdoton ennustaa täydellisesti. Suurempaa tarkkuutta vaativiin sovelluksiin, esimerkiksi ilmailuun tai maanmittaukseen, on kehitetty erilaisia avustepalveluita. Tarkkuutta voidaan parantaa esimerkiksi kiinteillä maassa olevilla tukiasemilla, tai SBAS-avustesatelliiteilla. SBAS-satelliitit tarjoavat korjauksia GNSS:n mittaus- ja laskuvirheisiin. SBAS-satelliitit eivät toimi kansainvälisesti, joten eri alueilla ja valtioilla on omat avustejärjestelmänsä, esimerkiksi EU:n hallinnoima EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay) tai USA:n WAAS (Wide Area Augmentation System). [1]

## 2.2 Konstellaatiot

Maailman käytetyin GNSS-paikannusjärjestelmä on yhdysvaltalainen GPS. Järjestelmä on ollut käytössä vuodesta 1978 aluksi asevoimien tarpeisiin ja avautui globaaliin käyttöön vuonna 1994. Paikannuksen tarkkuutta yksityiskäytössä rajoitettiin vuoteen 2000 asti. Konstellaatiossa on parhaillaan (vuonna 2020) toiminnassa 31 satelliittia.

Venäläinen GLONASS koostuu 24 satelliitista. Järjestelmän kehitys alkoi vuonna 1976, satelliittien laukaiseminen alkoi vuonna 1982 ja konstellaatio saavutti tavoitemäärän satelliitteja vuonna 1995. GLONASS on tarkkuudeltaan suunnilleen samaa luokkaa kuin GPS eli noin viisi metriä.

Kiinalaisen BeiDoun ensimmäinen satelliitti laukaistiin vuonna 2000. Tämän jälkeen järjestelmä on jo ehtinyt kolmanteen sukupolveen. Kolmesta satelliitista koostunut ensimmäinen sukupolvi BeiDou-1 palveli vuoteen 2012 asti lähinnä Kiinassa ja sen lähialueilla. Toisen sukupolven BeiDou-2 aloitti toimintansa vuonna 2011 kymmenellä satelliitilla ja tarjoaa edelleen paikkatietoa Aasian ja Tyynenmeren alueella. Ensimmäinen kolmannen sukupolven satelliitti laukaistiin vuonna 2015. Kolmannen sukupolven myötä BeiDou laajeni globaaliksi paikannusjärjestelmäksi.

Neljästä maailmanlaajuisesta konstellaatiosta nuorin on EU:n Galileo-järjestelmä. Edellä mainituista järjestelmistä poiketen Galileo on siviilihallinnallinen järjestelmä, muiden ollessa puolustushallintojen hallinnoimia. Galileo on ollut toiminnassa vuodesta 2016 lähtien. Järjestelmään on suunniteltu kuuluvaksi 30 satelliittia, joista 24 on aktiivisessa käytössä ja 6 varalla. [1]

### 3 NMEA 0183 -STANDARDI

NMEA 0183 on National Marine Electronics Association -yhdistyksen kehittämä standardi merenkäynnin laitteiden väliseen tietoliikennöintiin. Standardi määrittelee elektronisen rajapinnan sekä tietoliikenneprotokollan. NMEA 0183 on tekstiprotokolla, eli sarjaliikenteen viestit ovat ASCII-muodossa. [2]

#### 3.1 Kommunikointi väylällä

Siirtonopeus NMEA 0183 -väylällä on tyypillisesti 4800 baudia. Uudempi 0183-HS -standardi käyttää nopeampaa 38 400 baudin siirtonopeutta. NMEA 0183 -laitteet toimivat joko puhujana, kuuntelijana tai molempina. Standardin määritelmän mukaisesti väylällä voi olla vain yksi puhuja ja useita kuuntelijoita. [2]

#### 3.2 NMEA 0183 -viestiformaatti

NMEA 0183 -lauseet alkavat "\$"-merkillä ja päättyvät vaununpalautus- ja rivinvaihtomerkkeihin (<CR><LF>). Seuraavat kaksi merkkiä kertovat puhujan tunnisteeseen (talker ID) ja kolme seuraavaa sisältää lauseen tunnisteeseen. Tätä seuraa lauseen tunnisteeseen määrittelemä määrä tietokenttiä, jotka on erotettu toisistaan pilkulla. Mikäli kentän tietoa ei ole tarjolla, jätetään kenttä tyhjäksi. Kentät erottelevat pilkut lähetetään tästä huolimatta, joten eri lauseissa on aina vakioitu määrä kenttiä.

Tietokenttien jälkeen lauseessa on "\*" -symbolilla alkava tarkistussumma. Itse tarkistussumma on kaksi heksadesimaalinumeromerkkiä, joka saadaan suorittamalla XOR-operaatio kaikille merkeille "\$"- ja "\*" -symbolien välissä.

NMEA 0183 -lauseet ovat pituudeltaan maksimissaan 80 merkkiä sekä aloitusmerkki "\$" ja vaununpalautus- sekä rivinvaihtomerkit. [2]

Seuraavassa esimerkissä on NMEA 0183 -lause:

```
$GPRMC,083559.00,A,4717.11437,N,00833.91522,E,0.004,77.52,091202,,A,V*57
```

Esimerkkilauseen sisältö on eritelty alla olevaan taulukkoon (Taulukko 1). Lause sisältää kellonajan, päivämäärän, sijaintitiedon, nopeuden, tosisuunnan, magneettisen vaihtelun ja indikaattorin sijaintitiedon statuksesta (A = sijaintitietoa voidaan käyttää, V = sijaintitietoa ei voida käyttää) [3]

Taulukko 1. RMC-lauseen sisältö [3, s.132]

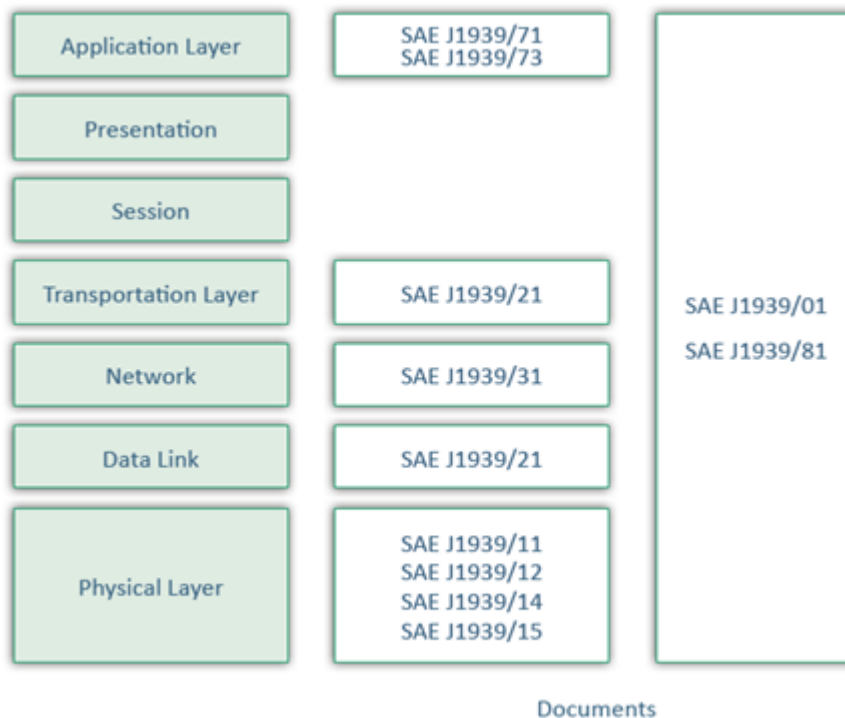
Kenttä	Sisältö	Formaatti		Esimerkkiarvo
1	UTC-aika	hhmmss.ss		083559.00
2	Status	kirjain		A
3	Latitudi	ddmm.mmmmm		4717.11437
4	Latitudin suunta, pohjoinen (N) tai eteläinen (S)	kirjain		N
5	Longitudi	dddmm.mmmmm		00833.91522
6	Longitudin suunta, itäinen (E) tai läntinen (W)	kirjain		E
7	Maanopeus solmuina	desimaali		0.004
8	Tosisuunta asteina	desimaali		77.52
9	Päivämäärä	ddmmyy		091202
10	Magneettinen vaihtelu	desimaali		-
11	Magneettisen vaihtelun suunta, itäistä (E) tai läntistä (W)	kirjain		-
12	Sijainnin tila	kirjain		A
13	Navigoinnin status (vain NMEA 4.10 ja uudemmat)	kirjain		V
14	Tarkistussumma	heksadesimaali		*57
15	Vaununpalautus ja rivinvaihto	kirjain		<CR><LF>

## 4 CAN- JA SAE J1939 -STANDARDI

CAN-automaatioväylä julkaistiin vuonna 1986 yhdysvaltalaisen autoalan standardijärjestö SAE:n toimesta. Alun perin CAN-väylä kehitettiin käytettäväksi moottoriajoneuvoissa, mutta myöhemmin sitä on alettu hyödyntämään myös muissa kulkuneuvoissa, koneissa ja teollisuuden laitteissa vikasietoisuutensa ansiosta. CAN-väylä mahdollistaa laitteiden välisen kommunikation ilman isäntätietokonetta.

SAE J1939 on kokoelma standardeja ohjainlaitteiden välisen tiedonsiirron helpottamiseksi. CAN ei alun perin kuulunut standardikokoelmaan, vaan se lisättiin vasta myöhemmin.

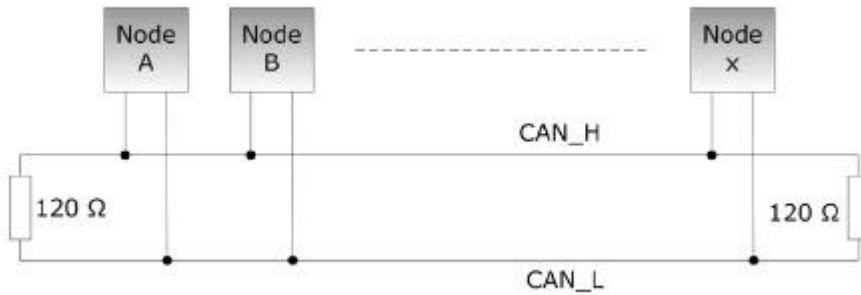
OSI-mallin mukaisista tasoista CAN-standardi määrittelee fyysisen kerroksen (määritelty ISO 11898-2:ssa) sekä siirtokerroksen (ISO 11898-1). SAE J1939 määrittelee viisi tasoa seitsemästä sisältäen CAN-standardin määritelmän kahdelle alimmalle tasolle. [5]



Kuva 1. SAE J1939 ei määrittele esitystapakerrosta tai istuntokerrosta [5]

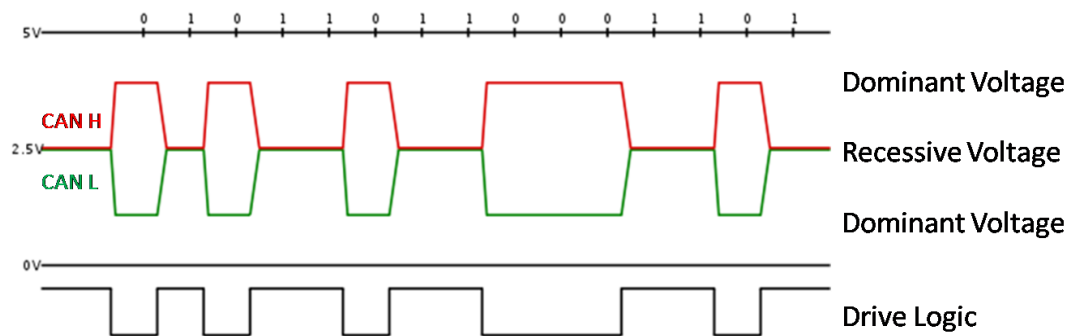
## 4.1 Fyysinen kerros

CAN-väylä hyödyntää tiedonsiirtoon kaksinapaista kierrettyä parikaapelia. ISO 11898-2:n määrittelyn mukaan kaapelin tulee olla impedanssiltaan 120 Ω. Toimiakseen väylä tarvitsee myös 120:n ohmin päätevastukset heijastusten estämiseksi. [5]



Kuva 2. CAN-väylän topologia [11]

Parikaapeleista käytetään nimityksiä "high" ja "low". Väylällä on kaksi eri tilaa: resessiivinen ja dominantti. CAN-väylällä käytetään käänteistä logiikkaa, joten resessiivisessä tilassa väylälle lähetetään looginen arvo yksi ja dominantissa tilassa looginen nolla. Resessiivisessä tilassa molempien johtojen jännite on 2,5 V ja dominantissa tilassa high-johdon jännite on 3,5 V, low-johdon jännitteen ollessa 1,5 V. [5]



Kuva 3. Signaali CAN-väylällä [5]

## 4.2 Siirtokerros

CAN-verkossa viestit lähetetään jokaiselle solmulle. Mikäli useampi solmu haluaa kommunikoida väylällä samanaikaisesti, voittaa korkeimman prioriteetin omistava viesti. Tätä prosessia kutsutaan kilpavaraukseksi. Solmut tarkkailevat väylän liikennettä bitti kerrallaan. Mikäli resessiivisen bitin lähettämistä yrittävä solmu havaitsee väylän olevan dominantissa tilassa, häviää se kilpavarauksen ja siirtyy kuuntelemaan väylän liikennettä. [4]

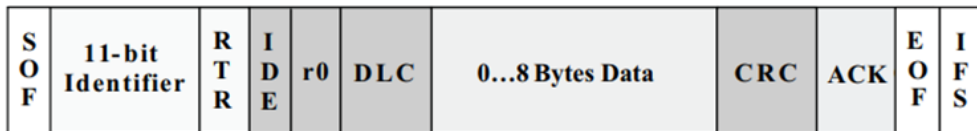
### 4.2.1 CAN 2.0 A -viestikehys

CAN 2.0 A ("standard CAN") -viestikehys muodostuu seuraavista bittikentistä:

- SOF – "Start of frame" on yksi dominantti bitti, joka merkitsee kehyksen alkua. Synkronisoi väylällä olevat solmut väylän oltua käyttämättä.
- 11-bittinen tunniste – Sisältää viestin prioriteetin, joka määrittelee viestin tärkeyden neuvottelutilanteessa. Prioriteetti on sitä korkeampi, mitä pienempi tunnisteen arvo on.
- RTR – "Remote transmission request" -bitti on dominantti, mikäli toiselta solmulta vaaditaan tietoa. Solmu, jolta tietoa halutaan, on määritelty tunnistekentässä.
- IDE – "Identifier extension" -bitti on dominantti, mikäli lähetettävän viestikehyksen tunnisteosa on CAN 2.0 A-muotoinen.
- r0 – yksi varattu bitti
- DLC – "Data length code" sisältää lähetettävän datan pituuden. Kenttä on pituudeltaan neljä bittiä.
- Data – Nollasta kahdeksaan tavua lähetettävää dataa
- CRC – "Cyclic redundancy check" sisältää viestin tarkistussumman, jota hyödynnetään virheentunnistuksessa. Kentän pituus on 16 bittiä.

- ACK – "Acknowledgement" -bitti lähetetään resessiivisenä. Kaikki viestin vastaanottavat solmut ylikirjoittavat tämän bitin dominanttina merkitsemään vastaanotettua virheetöntä viestiä. ACK-kenttä on pituudeltaan kaksi bittiä, joista jälkimmäinen on kentän erotinmerkki.
- EOF – "End of frame" -kenttä merkitsee kehyksen loppua. Kenttä on pituudeltaan 7 bittiä ja on aina resessiivinen.
- IFS – "Interframe space" on 7 bitin kenttä, joka sisältää tarvittavan ajan vastaanottajalle siirtää viesti omaan puskuriinsa. [4]

#### Standard CAN



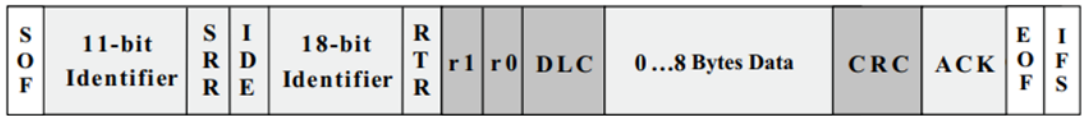
Kuva 4. normaali CAN-viestikehys [4]

#### 4.2.2 CAN 2.0 B -viestikehys

CAN 2.0 B ("Extended CAN") -viestikehys sisältää edellisten lisäksi seuraavat kentät:

- SRR – "Substitute remote request" -bitti sijoittuu viestikehyksessä 11-bittisen tunnisteiden jälkeen ja korvaa lyhyemmässä viestikehyksessä käytetyn RTR-bitin. Bitti lähetetään aina resessiivisenä varmistamaan, että neuvottelutilanteessa lyhyemmän viestikehyksen viestillä on pidennettyä formaattia korkeampi prioriteetti, mikäli viestien prioriteetti on sama 11-bittisessä tunnisteessa. RTR-bitin paikka pidennetyssä formaatissa on 18-bittisen tunnisteiden jälkeen.
- IDE – CAN 2.0 B -formaatissa tämä bitti on resessiivinen ja sen tarkoituksena on ilmaista, että viesti sisältää 18-bittisen tunnisteiden.
- 18-bittinen tunniste – Toinen osa pidennetyn formaatin 29-bittisestä tunnisteesta.
- r1 – Varattu bitti, joka lähetetään RTR-kentän jälkeen [4]

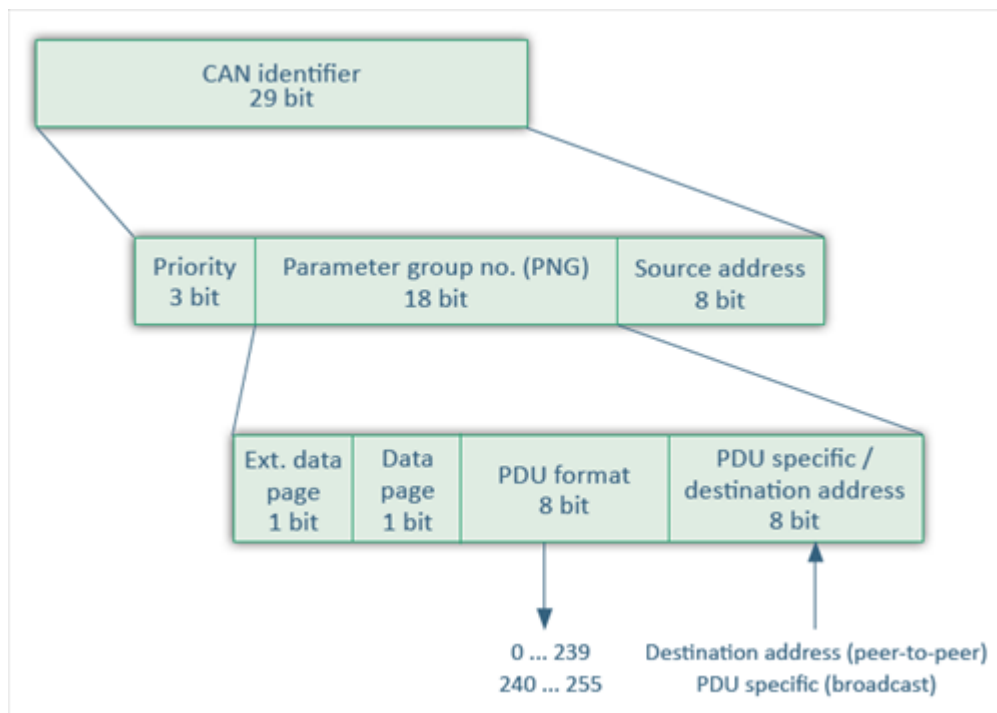
### Extended CAN



Kuva 5. Laajennettu CAN-viestikehys [4]

### 4.3 Parametriryhmänumerot

SAE J1939 hyödyntää parametriryhmiä, jotka määrittelevät tietokentän sisältämät parametrit. Parametriryhmänumero (PGN) sisältyy laajennetun CAN-viestikehysen 29-bittiseen tunnistekenttään ja kertoo vastaanottajalle tietokentän sisältämät parametrit ja näiden paikat tietokehyksessä. Parametriryhmänumerot on määritelty J1939/71 Vehicle Application Layer -dokumentissa.



Kuva 6. Laajennettu tunnistekehys sisältää parametriryhmänumeron [7]

Tunnistekehukseen kuuluvaan parametriryhmännumeroon koostuu seuraavista kentistä:

- Extended Data Page (EDP) ja Data Page (DP) tarjoaa neljä eri ryhmää, johon viesti voi kuulua:

EDP	DP	Description
0	0	SAE J1939 Parameter Groups
0	1	NMEA2000 defined
1	0	SAE J1939 reserved
1	1	ISO 15765-3 defined

NMEA 2000 -standardin määrittelemissä parametriryhmännumeroissa EDP-bitti on siis 0 ja DP-bitti on 1.

- PDU Format (PDU F) on 8-bittinen kenttä viestin vastaanottajan määrittelylle. Mikäli kentän arvo on suurempi kuin 240, on viesti tarkoitettu kaikille verkon laitteille. Arvon ollessa pienempi kuin 240 on viesti kohdennettu tietyille laitteille.
- PDU Specific (PDU S) on 8 bitin kokoinen kenttä, jonka sisältö riippuu edellisen kentän arvosta. Kentällä on kaksi eri käyttökohdetta:
  - o Jos PDU F -kentän arvo on pienempi kuin 239, tulkitaan PDU S -kenttä vastaanottavan laitteen osoitteena.
  - o PDU F -kentän arvon ollessa 240 tai suurempi, PDU S -kenttä toimii laajennusosana kaikille verkon laitteille lähetettävillä viesteillä. [7]

#### 4.4 Osoitevaade

Saadakseen käyttää osoitetta väylällä on solmun vaadittava sitä itselleen. Käynnistyesään solmu lähettää väylälle osoitevaateen (PGN 60928) ja odottaa ennalta määritellyn ajan. Mikäli toinen solmu ei vaadi samaa osoitetta, voi osoitevaateen tehnyt solmu aloittaa kommunikoinnin väylällä.

Mikäli väylällä on toinen samaa osoitetta käyttävä solmu, saa korkeamman prioriteetin laitenimessään omistava solmu osoitteen käyttöönsä. Mikäli solmulla on kyky vaihtaa osoitetta, voi se valita itselleen osoitteen väliltä 128-247. [7]

## 5 NMEA 2000 -STANDARDI

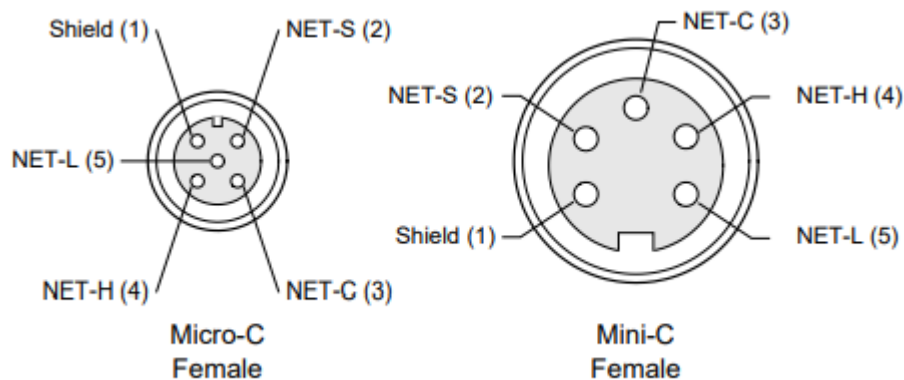
NMEA 2000 on merenkäynnin tarpeisiin kehitetty viestintästandardi, joka pohjautuu autoteollisuudessa laajalti käytettyyn CAN-teknologiaan. Protokollan korkeammat tasot perustuvat SAE J1939 -standardiin.

NMEA 2000 on niin sanottu "plug-and-play" -standardi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että standardin mukaiset laitteet pystyvät keskustelemaan keskenään heti runkoverkoon liittyttyään riippumatta laitteen valmistajasta.

Standardin sisältö ei ole kokonaisuudessaan ilmaiseksi saatavilla. NMEA-organisaatio tarjoaa ilmaiseksi tietoa olemassa olevista parametrisryhmistä ja niiden sisältämistä tietokentistä, mutta ei kenttien tietotyypeistä tai koosta. NMEA-organisaatio myy sivuillaan tarkempaa tietoa sisältävää dokumentaatiota. [8]

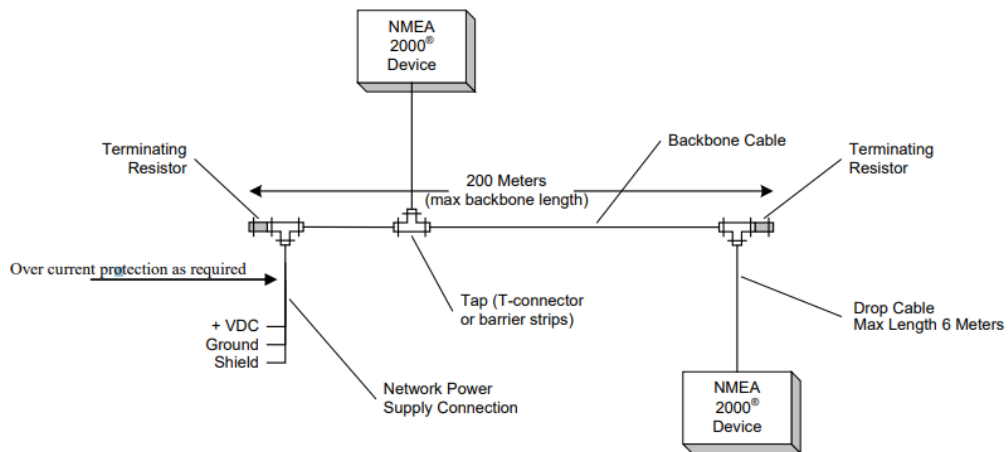
### 5.1 Fyysinen kerros

NMEA 2000 -standardi määrittelee laitteiden väliset sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet, kuten kaapelit, liittimet sekä tiedonsiirrossa käytettävän jännitteen.



Kuva 7. NMEA 2000 -liitin [8]

NMEA 2000 -verkko koostuu yhdestä runkoverkosta ("backbone"), johon laitteet liitetään standardin määrittelemien liittimin. Kuten CAN-verkossa, myös NMEA 2000- verkossa käytetään kahta 120  $\Omega$ :n resistoria verkon kummassakin päässä heijastusten estämiseksi. Verkko tarvitsee toimiakseen 9–16 V:n jännitteen. [8]



Kuva 8. NMEA 2000 -verkon topologia [8]

## 5.2 Siirtokerros

NMEA 2000 noudattaa ISO 11783-3:a siirtokerroksen määrittelyssä. Standardi on käytännössä identtinen SAE J1939-21:n siirtokerroksen määritelmän kanssa. NMEA 2000 käyttää laajennetun CAN-formaatin 29-bittistä tunnistekehtää. [8]

## 5.3 NMEA 2000 -sertifiointi

NMEA 2000 -sertifiointi vaaditaan, jotta tuotteen mainostamisessa saa käyttää NMEA 2000 -tavaramerkkiä. NMEA –organisaatio on määrittellyt vaadittavat testit tuotteen sertifiointiin “Appendix C – Certification Criteria and Test Methods” -asiakirjassa.

Taso A sisältää huomattavasti enemmän vaatimuksia kuin taso B. Alemman tason laite voi tästä huolimatta toteuttaa joitain vain tason A määrittelemiä vaatimuksia. Esimerkiksi alemman tason laitteen ei tarvitse toteuttaa “multi-packet” -protokollaa, joka mahdollistaa enimmillään 1,785 tavun pituisten viestien lähettämisen, mutta mikäli laitteen on lähetettävä yli 223 tavun pituisia viestejä, voi laite toteuttaa ko. protokollan. [10]

## 6 TOTEUTUS

### 6.1 Vaatimusmäärittely

Työn tavoitteena oli toteuttaa NMEA 2000 -sertifioidun läpäisevän GNSS-vastaanottimen ohjelmisto. Työssä käytettiin STM32F091CC-mikrokontrolleria, jossa on 32-bittinen, 48 MHz taajuudella toimiva ARM Cortex M0 -suoritin. Mikrokontrollerissa on 256 kilobittiä Flash-muistia ja 32 kilobittiä SRAM-muistia.

Antennimoduulina käytössä oli u-bloxin valmistama CAM-M8Q-moduuli. Vastaanotin pystyy samanaikaisesti vastaanottamaan kolmen eri GNSS-järjestelmän signaaleja.

Ohjelmisto toteutettiin C++ -ohjelmointikielellä käyttämällä Visual Studio Code -tekstieditoria. Ohjelmistossa käytettiin FreeRTOS -reaaliaikaiskäyttöjärjestelmää, joka vastaa tehtävien aikatauluttamisesta.

#### 6.1.1 Pakolliset parametriryhmänumerot

Lopputyön tuotteelle asetettiin tavoitteeksi läpäistä alempi NMEA 2000 Level B –sertifiointi. Saadakseen tason B sertifioidun, laitteen tulee toteuttaa seuraavat parametriryhmänumerot:

- Address claim (ISO 60928)
- Product Information (NMEA 2000® 126996)
- Acknowledgement (ISO 59392)
- Request (ISO 59904)

#### 6.1.2 Lähetettävät navigointiparametriryhmänumerot

Laite lähettää neljää NMEA 2000 -standardin määrittelemää parametriryhmänumeroa. Tärkein yksittäinen parametriryhmänumero on kerran sekunnissa lähetettävä PGN 129029, GNSS Position Data. Kyseinen PGN sisältää ajan ja päivämäärän, jotka ovat navigaatiotiedon kannalta välttämättömiä. Tämän lisäksi huomattavia ovat leveysasteet

ja pituusasteet, korkeus merenpinnasta ja käytettyjen satelliittien määrä. Edellä mainittujen kenttien lisäksi PGN sisältää paljon muutakin navigaatiotietoa. [9]

### 129029 GNSS Position Data

This parameter group conveys a comprehensive set of Global Navigation Satellite System (GNSS) parameters, including position information.

<i>Field #</i>	<i>Field Description</i>
1	SID
2	Position date
3	Position time
4	Latitude
5	Longitude
6	Altitude
7	Type of System
8	Method, GNSS
9	Integrity
10	Reserved Bits
11	Number of SVs
12	HDOP
13	PDOP
14	Geoidal Separation
15	Number of Reference Stations
16	Reference Station Type "1"
17	Reference Station ID "1"
18	Age of DGNSS Corrections "1"
19	Reference Station Type "n"
20	Reference Station ID "n"
21	Age of DGNSS Reference Station "n"

Kuva 9. PGN 129029 GNSS Position Data [9]

Sijaintitietoa lähetetään kymmenen kertaa sekunnissa parametriryhmänumerolla 129025. Tietokenttä on pituudeltaan 8 tavua, ja se mahtuu yhteen viestikehykseen. Puolet eli neljä tavua tietokentästä on varattu leveysasteilla ja toinen puolisko pituusasteille. [9]

### 129025 Position, Rapid Update

This PGN provides latitude and longitude referenced to WGS84. Being defined as single frame message, as opposed to other PGNs that include latitude and longitude and are defined as fast or multi-packet, this PGN lends itself to being transmitted more frequently without using up excessive bandwidth on the bus for the benefit of receiving equipment that may require rapid position updates.

<i>Field #</i>	<i>Field Description</i>
1	Latitude
2	Longitude

Kuva 10. PGN 129025 Position, Rapid Update [9]

Veneen nopeus ja suunta lähetetään neljä kertaa sekunnissa PGN 129026:lla. Kentällä numero 2 voidaan ilmoittaa, onko annettu suunta magneettista pohjoista vai maantieteellistä (todellista) pohjoista kohti. Parametrit vievät yhteensä kahdeksan tavua ja näin PGN voidaan lähettää yhden viestikehyksen kokoisena. [9]

### 129026 COG & SOG, Rapid Update

This parameter group is a single frame parameter group that provides Course Over Ground (COG) and Speed Over Ground (SOG).

Field #	Field Description
1	SID
2	COG Reference
3	Reserved Bits
4	Course Over Ground
5	Speed Over Ground
6	Reserved Bits

Kuva 11. PGN 129026 COG & SOG, Rapid Update [9]

PGN 129540 sisältää tietoa jokaisesta antennin havaitsemasta satelliitista. Kunkin satelliitin PRN, korkeus, atsimuutti, SNR eli signaali-kohinasuhde ja tarvittaessa vaihteluvälin jäännökset. Huomattavaa on, että aina satelliiteilta ei saada jokaisen kentän tietoa, jolloin kenttä lähetetään tyhjänä. PGN on vaihtelevan pituinen ja riippuvainen satelliittien määrästä. [9]

### 129540 GNSS Sats in View

GNSS information on current satellites in view tagged by sequence ID. Information includes PRN, elevation, azimuth, SNR, defines the number of satellites; defines the satellite number and the information.

Field #	Field Description
1	SID
2	Mode
3	Reserve Bits
4	Number of SVs
5	PRN "1"
6	Elevation "1"
7	Azimuth "1"
8	SNR "1"
9	Range Residuals 1
10	PRN Status "1"
11	Reserved Bits
12	PRN "n"
13	Elevation "n"
14	Azimuth "n"
15	SNR "n"
16	Range Residuals "n"
17	PRN Status "n"
18	Reserved Bits

Kuva 12. PGN 129540 GNSS Sats in View [9]

## 6.2 Arkkitehtuuri

Ohjelmisto suorittaa samanaikaisesti kahta tehtävää. UART-tehtävä vastaanottaa GPS-moduulilta tulevan navigointitiedon NMEA 0183 -lauseina ja välittää ne NMEA 0183 -jäsentimelle. Nmea2K-tehtävä vastaa NMEA 2000 -liikenteestä suorittaen osoitevaateen, muodostaen lähetettävät NMEA 2000 -viestit ja jäsentäen vastaanotettavat viestit.

### 6.2.1 Alustusrutiini

Laitteen käynnistyessä alustetaan käytössä oleva laitteisto (laitteiston kello, CAN, UART) käyttämällä HAL-rajapintaa (laitteiston abstrahointikerros). Alustamisessa konfiguroidaan mm. oheislaitteiden käyttämät tiedonsiirtonopeudet, esimerkiksi virheiden etsimiseen käytetty debugUart asetetaan 115 200 baudiin sekunnissa. Tämän jälkeen luodaan tehtävät UART ja NMEA2K ja kutsutaan FreeRTOSin vTaskStartScheduler-funktiota, joka aloittaa tehtävien aikatauluttamisen.

### 6.2.2 Komentojen lähettäminen GPS-moduulille

CAM-M8Q-moduuli vastaanottaa paikkatietoa oletusarvoisesti 1 Hz:n taajuudella ja kommunikoi UART-väylällä 9 600 baudin tiedonsiirtonopeudella. Jotta NMEA2K-tehtävä voi lähettää paikkatietoa kymmenen kertaa sekunnissa, on GPS-moduulille lähetettävä UBX-protokollaa noudattavia komentoja navigaatiotiedon vastaanottamiseksi useammin. Komennot suoritetaan UART-tehtävän ensimmäisen suorituksen aluksi.

Jotta vaatimusmäärittely toteutuisi, lähetetään moduulille seuraavat komennot:

- Navigaatoratkaisuiden laskeminen 10 kertaa sekunnissa.
- GGA-lause vastaanotetaan 10 kertaa sekunnissa, RMC-lause 4 kertaa sekunnissa
- Muut lauseet (GLL, GSA, GSV, VTG) kerran sekunnissa

- Siirtonopeuden nostaminen 38 400 baudiin sekunnissa, jolloin voidaan vastaanottaa 4800 merkkiä sekunnissa. Tämä nopeus todettiin riittäväksi ja virhesietoisemmaksi kuin suuremmat nopeudet. Tämän jälkeen tulee myös gpsUart alustaa 38400 baudin sekuntinopeuteen.

### 6.2.3 Vastaanotettujen NMEA 0183 -viestien jäsentäminen

UART-väylän keskeytysrutiinia kutsutaan, kun väylältä on vastaanotettu kahdeksan bittiä, eli yhden tavun verran dataa. Vastaanotettu tavu talletetaan char-tyyppiseen muuttujaan ja siirretään uartRx-puskurin kautta UART-tehtävälle. Tehtävä tarkistaa vastaanotetun ASCII-merkin ja mikäli merkki on NMEA 0183 -lauseen aloitusmerkki "\$", aloitetaan kokonaisen lauseen tallentaminen puskuuriin, kunnes seuraava "\$"-merkki havaitaan.

Kun lause on kerätty kokonaan puskuuriin, se lähetetään NMEA 0183 -jäsentimelle. Lauseen jäsentäminen aloitetaan vasta, kun tarkistussumma on laskettu ja todettu oikeaksi. Mikäli tarkistussumma ei täsmää, palataan NMEA-tehtävän. Jos tarkistussumma täsmää, se tiputetaan pois ja lause jaetaan kenttiin.

Lauseet siirretään lausetunnisteen perusteella omille lausejäsentimilleen. Johtuen lauseiden vakioidusta kenttien määrästä ja järjestyksestä voidaan lauseiden sisältämä tieto tallentaa kaiken navigaatiotiedon sisältävän tietueen (struct) alaisiin muuttujiin kentän indeksin perusteella. Kenttien arvot tallennetaan käyttäen atoi- ja atof- funktioita, joilla muutetaan ASCII -merkit int- ja float -tyyppisiksi muuttujiksi. Vain kentät, jotka eivät ole tyhjiä, käsitellään. Bittimaskilla seurataan, mitä navigaatiotietoa on saatu jäsenettyä.

### 6.2.4 NMEA 2000 -protokollan toteutus

NMEA 2000 -protokollan toteutusta kuvataan tässä luvussa vain pintapuolisesti standardin tekijänoikeuksien takia.

NMEA2K -tehtävä vastaa NMEA 2000 -viestien vastaanottamisesta ja lähettämisestä. Tehtävän aluksi suoritetaan osoitevaade lähettämällä parametriryhmänumero 60928. Osoitteen saatuaan itselleen laite voi kommunikoida väylällä.

Luvussa 6.1.2 kuvatuille parametriryhmänumeroille on kullekin oma funktionsa, jossa niiden sisältämät tietokentät alustetaan, täytetään ja lähetetään kokonaisuudessaan. Ennen parametrin arvon asettamista tarkistetaan bittimaskista, että kyseinen arvo on tallennettu. Tyhjäksi jäävien kenttien kaikki bitit lähetetään loogisena ykkösenä.

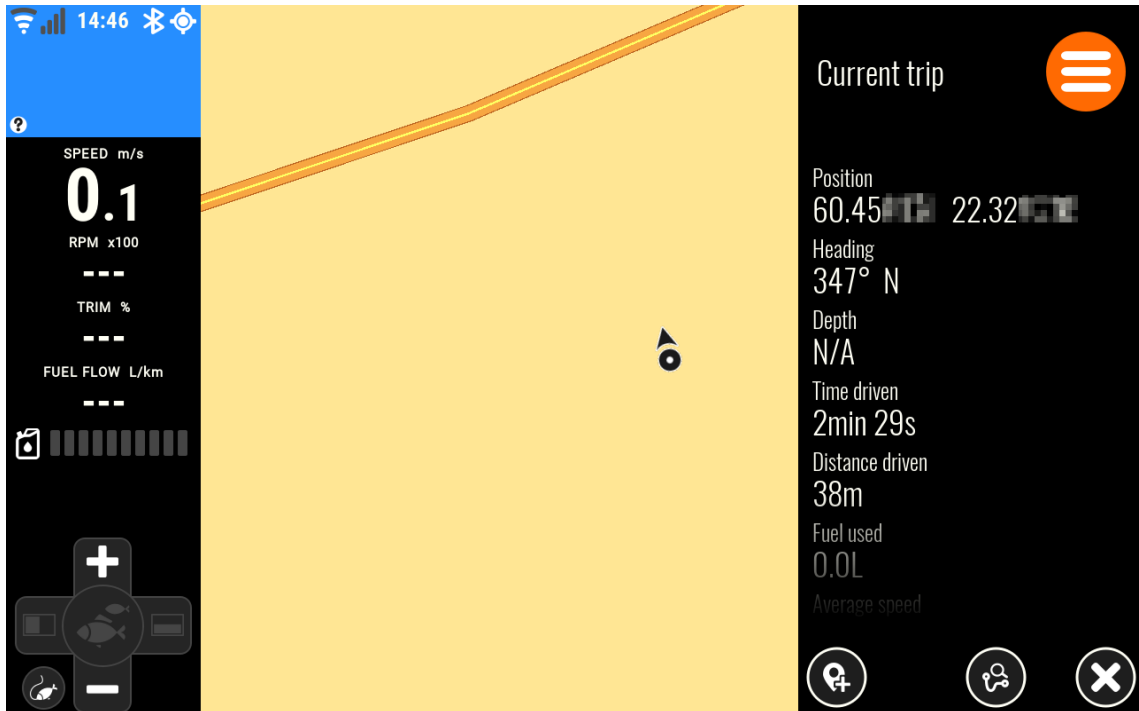
### 6.3 Laitteen testaaminen

GPS-antennia testattiin käytännössä käyttämällä sitä Q Experience -karttaplotterin kanssa (kuva 12). Laitteet kytkettiin NMEA 2000 -verkkoon testausta varten. Kuvassa 13 nähdään antennin antama sijainti (position), joka on 60°45' pohjoista leveyttä ja 22°32' itäistä pituutta. Tarkempia lukemia on sensuroitu yksityisyydensuojan takaamiseksi. Kuvasta nähdään myös suunta (heading), 347 astetta. GPS-moduulin ilmoittamaa suuntaa ei kuitenkaan voida pitää luotettavana paikallaan ollessa. Kuvan vasemmassa reunassa nähdään GPS-moduulilta saatu nopeus (speed m/s), 0.1 metriä sekunnissa.

Kirjoitushetkellä vallitsevan pandemiatilanteen takia antennin testausolosuhteet eivät olleet otolliset. Satelliittipaikannusta ei ole suunniteltu toimimaan sisätiloissa, ja signaaliin tulee helposti häiriötä. Tämän takia sijaintitieto ei ollut täysin tarkkaa ja sijainti kartalla heitteli jonkun verran. Antennia verrattiin kilpailevan yrityksen NMEA 2000 -antenniin ja sijainnin vaihtelun ei todettu olevan merkittävää.



Kuva 13. Testauksessa käytetty karttaplotteri Q Experience [12]



Kuva 14. GPS-antennin antama sijainti kartalla. Koordinaatteja on sensuroitu

Kuvassa 15 nähdään karttaplotterin ilmoittama määrä antennin havaitsemista satelliiteista ja näistä kymmenen parasta signaali-kohinasuhdelukua. Ihanteellinen SNR-lukema olisi 50 dB ja tätä ei aivan saavutettu. Antennin suorituskyvyn mittaaminen ei kuulu tällaisen opinnäytetyön laajuuteen.

Satellites	18
Number of satellites visible	
Signal-to-noise ratio	42 40 39 39 35 34 33 33 32 32
Indicator for GPS fix quality	

Kuva 15. Satelliittien määrä ja kymmenen parasta signaali-kohinasuhdelukua

## 7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ohjelmisto GNSS-vastaanottimeen käytettäväksi veneiden NMEA 2000 -verkossa. Työn lopputuloksena oli perusominaisuuksiltaan toimiva laite, jonka kehitys on keväällä 2020 edelleen käynnissä. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyönä toisen opinnäytetyön kanssa, joka keskittyi laitteen elektroniikkaan.

Laite todettiin toimivaksi testaamalla sen toimivuutta Q Experience -karttaplotterin kanssa sekä analysoimalla NMEA 2000 -verkon liikennettä Actisense NGT-1 -adapterilla. Kirjoitushetkellä vallitsevan pandemiatilanteen takia laitteen testaamismahdollisuudet olivat rajalliset, ja esimerkiksi NMEA 2000 -sertifiointia ei ehditty suorittamaan. Lisäksi huomioon oli otettava NMEA 2000 -standardin tekijänoikeuksien vaikutus siihen, mitä testituloksia raportissa voitiin esittää.

Opinnäytetyön kehitys tulee jatkumaan ja laitteessa on vielä korjattavia asioita. Laitteeseen tullaan mahdollisesti vielä kehittämään magneettianturia, kiihtyvyyssanturia ja gyroskooppia hyödyntävä 9-akselinen suunta-anturi, jolla suunta voidaan mitata veneen ollessa paikallaan. Laitteeseen tulee myös laiteohjelmiston päivitysominaisuus.

# LÄHTEET

[1] Maanmittauslaitos. Satelliittipaikannus

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

[2] Betke, K. The NMEA 0183 Protocol

<https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>

[3] u-blox 8 / u-blox M8 Receiver description

[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox8-M8\\_ReceiverDescrProtSpec\\_%28UBX-13003221%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/u-blox8-M8_ReceiverDescrProtSpec_%28UBX-13003221%29.pdf)

[4] Corrigan, S. Introduction to the Controller Area Network (CAN)

<http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>

[5] Dhananjayan, Working with automotive CAN protocol

<https://www.embien.com/blog/working-automotive-can-protocol/>

[6] Kvaser. J1939 standards overview

<https://www.kvaser.com/about-can/higher-layer-protocols/j1939-standards-overview/>

[7] Ixxat. SAE J1939 – a short introduction

<https://www.ixxat.com/technologies/fieldbuses/sae-j1939>

[8] National Marine Electronics Assososation. NMEA 2000 Past, Present and Future

<https://www.nmea.org/Assets/20090423%20rtcm%20white%20paper%20nmea%202000.pdf>

[9] National Marine Electronics Assososation. NMEA 2000 PGN field list

[http://www.nmea.org/Assets/july%202010%20nmea2000\\_v1-301\\_app\\_b\\_pgn\\_field\\_list.pdf](http://www.nmea.org/Assets/july%202010%20nmea2000_v1-301_app_b_pgn_field_list.pdf)

[10] National Marine Electronics Assososation. NMEA Advance notice of NMEA 2000® Level B Certification

<https://www.nmea.org/Assets/levelb.pdf>

[11] Voss, W. Controller Area Network (CAN Bus) - Physical Layer And Bus Topology

<https://copperhilltech.com/blog/controller-area-network-can-bus-physical-layer-and-bus-topology/>

[12] Nextfour Group Oy. The Q Experience

<https://www.theqexperience.com/fi/>