



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jukka Penttinen

NMEA 2000-RETROMITTARI

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jukka Penttinen
Opinnäytetyön nimi	NMEA 2000 Retromittari
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	73 + 2 liitettä
Ohjaaja	Jukka Matila

Insinööriyössä oli tavoitteena rakentaa purjeveneeseen sähkötoiminen nopeusmittari. Purjeveneessä oli ennestään ollut mekaaninen nopeusmittari, jonka nopeusanturi oli vaurioitunut niin, että se ei ollut enää korjattavissa. Purjeveneen nopeutta oli seurattu veneessä olevasta navigointilaitteesta. Nopeusmittarin vaatimuksena oli, että mittari saisi nopeustietonsa veneessä olevasta NMEA 2000-verkosta (National Marine Electronic Association) ja näkymä käyttäjälle olisi samanlainen kuin vanhassa mekaanisessa mittarissa.

NMEA 2000 on merielektroniikan tiedonsiirrossa käytetty standardi. NMEA 2000-väylän teknologia perustuu CAN-väyläteknologiaan (Controller Area Network). CAN-väylää käytetään teollisuuden automaatiassa, koneissa ja ajoneuvoissa tiedonsiirtoon. NMEA 2000-standardi noudattelee SAE J1939-protokollaa, mikä on kokoelma eri standardeja. Mittarin ohjaukseen käytettiin kehitysalustaa, jossa oli Atmelin AT90CAN128-mikrokontrolleri. Tässä Atmelin mikrokontrollerissa on sisäänrakennettu CAN-kontrolleri.

Tässä lopputyössä tutustuttiin NMEA 2000-väylän rakentamiseen ja NMEA 2000-väylällä tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Työssä käytiin läpi melko laajasti CAN-väylään liittyvää teoriaa, koska se on olennainen osa NMEA 2000-standardia. Työssä tehtiin myös 3D-suunnittelua, koska joitakin mittarin osia valmistettiin 3D-tulostamalla. Askelmoottoria käytettiin nopeusmittarin viisarin liikuttamiseen.

Lopputuloksena oli käyttökelpoinen NMEA 2000-verkkoa hyödyntävä purjeveneen nopeusmittari. Mittarin testaus- ja kehitystyö kuitenkin jatkuu, jotta mittariin saadaan halutut muut ominaisuudet.

ABSTRACT

Author	Jukka Penttinen
Title	NMEA 2000 retro gauge
Year	2017
Language	Finnish
Pages	73 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Matila

The aim of this thesis was to build an electric speedometer for a sail boat. The sail boat already had a mechanical speedometer with a speed sensor. The speed sensor was damaged so that it was no longer repairable. The sail boat speed was monitored by an onboard navigation device. The speedometer requirement was that the speedometer should get speed data from the NMEA 2000 network (National Marine Electronics Association), and the view to the user would be similar as to what it was in the old mechanical speedometer.

NMEA 2000 is a communication standard used in marine electronics. NMEA 2000 bus technology is based on CAN-bus technology (Controller Area Network). CAN bus is used for communication in industrial automation, machinery and vehicles. NMEA 2000 standard is in line with the SAE J1939 protocol, which is a collection of different standards. The speedometer was controlled by a header board with a AT90CAN128 Atmel microcontroller. This Atmel microcontroller has an integrated CAN controller.

This thesis examined the NMEA 2000 network construction and NMEA 2000 data transfer on bus. The work reviewed topics related to the CAN bus theory extensively, because it is a relevant part of the NMEA 2000 standard. The work was also done as 3D design because some parts of the speedometer were produced using a 3D-printer. The stepper motor was used to move the speedometer pointer.

The end result was a useful NMEA 2000 network utilizing a sailboat speedometer. However, speedometer testing and development work continues in order to obtain the desired features of the speedometer and reliable operation.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
2	TIEDONSIIRTOVÄYLÄT VENEISSÄ.....	12
	2.1 NMEA 0183.....	12
	2.2 NMEA 2000®.....	13
	2.3 Raymarine, SeaTalk ^{ng}	14
	2.4 Ethernet.....	15
3	CAN- JA SAE J1939 -STANDARDI.....	16
	3.1 CAN-standardit.....	16
	3.2 Fyysinen kerros, OSI Physical layer.....	18
	3.2.1 Väylän rakenne.....	18
	3.2.2 Signaali väylällä.....	19
	3.3 Siirtokerros, OSI Data Link layer.....	21
	3.3.1 CAN viestit.....	22
	3.3.2 Sanomakehys, the Data Frame.....	23
	3.3.3 Kyselykehys, the Remote Frame.....	24
	3.3.4 Virhekehys, the Error Frame.....	25
	3.3.5 Ylikuormituskehys, the Over Load Frame.....	25
	3.4 Kilpavaraus, Bus Arbitration.....	26
	3.5 Ylemmän tason protokollat.....	27
4	SAE J1939.....	28
	4.1 SAE J1939 OSI-mallissa.....	29
	4.2 Laitteiden osoitteet.....	30
	4.3 Laitteiden nimet.....	31
	4.4 CAN tunnistekenttä.....	32
	4.5 Osoitevaade (Address Claiming).....	34
	4.6 Isokokoisten viestien lähettäminen.....	35
	4.6.1 Peer-to-Peer.....	35

4.6.2	Broadcast.....	37
5	NMEA 2000®	38
5.1	Fyysinen kerros	38
5.2	Siirtoyhteyskerros, Datalink layer	42
5.3	Sovelluskerros, Application layer	44
5.4	NMEA 2000-viestit.....	45
5.5	NMEA 2000-sertifiointi.....	46
6	KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	48
6.1	Mekaaninen ja sähkömekaaninen toteutus.....	48
6.2	Työkalut ja ohjelmistot	49
6.3	Komponentit	50
6.3.1	Olimex AVR-H128-CAN-kehitysalusta	53
6.4	CAN-kontrolleri.....	54
6.4.1	AT90CAN128 ominaisuudet	54
6.4.2	Viestiobjektit (MOB, Message Object)	54
6.4.3	Ajastin, CAN timer	55
6.4.4	Virheen hallinta, ERROR management	55
6.4.5	Keskeytykset	56
6.5	CAN-kontrollerin ja väylän alustaminen	56
6.6	Saapuvan CAN-viestin keskeytys.....	61
6.7	Nopeuden näyttäminen pääohjelmassa	63
7	TYÖN TULOKSET	65
7.1	Mittarin toiminta	65
7.2	Mittarin ominaisuudet.....	66
7.3	Mitattuja arvoja.....	67
8	YHTEENVETO	70
	LÄHTEET.....	71

LIITTEET

KUVALUETTELO

Kuva 1. NMEA 0183-standardissa ei määritellä verkon fyysistä kerrosta /2/.	13
Kuva 2: Tyypillinen SeaTalk ^{ng} -verkko /5/.	14
Kuva 3. CAN-väylään voi liittää useita solmuja /11/.	18
Kuva 4. High-Speed CAN- ja Low-Speed CAN-signaalitasot.	19
Kuva 5. Signaali mitattuna CAN Hi ja nollan väliltä /10/.	20
Kuva 6. Signaali mitattuna CAN Lo ja nollan väliltä /10/.	20
Kuva 7. CAN-kehykset /7/.	23
Kuva 8. Kyselykehys /10, s.3/.	24
Kuva 9. Virhekehys /10, s3/.	25
Kuva 10. CAN-väylän kilpavaraus /7/.	26
Kuva 11. CAN-kehysten tunnistekenttien perusteella tehdään kilpavaraus/10/.	26
Kuva 12. SAE J1939-osimalli /14/.	29
Kuva 13. Väylään liitettyjä solmuja ja niiden sovelluksia /14/.	30
Kuva 14. J1939 laitteen nimi on 8 tavua pitkä tietokenttä /14/.	31
Kuva 15. SAE J1939-nimikenttä /14/.	32
Kuva 16. Osoitevaade /14/.	34
Kuva 17. Osoitevaade, kun osoite on jo käytössä /14/.	35
Kuva 18. Peer-To-Peer-yhteys /14/.	36
Kuva 19. Broadcast-lähetys /14/.	37
Kuva 20. ”Light Cable”/Micro-C ja ”Heavy Cable”/Mini-C /15, s.8/.	39
Kuva 21. NMEA 2000-standardin kaapelit ja liittimet /15, s.8/.	40
Kuva 22. NMEA 2000-verkon topologia /15, s.9/.	41
Kuva 23. NMEA 2000-verkko veneeseen kuvattuna /16/.	41
Kuva 24. High Speed CAN 29-bittinen tunnistekenttä /17/.	42
Kuva 25. Osoitevaateen datakehys /18/.	43
Kuva 26. "Product information"-datakehys /18/.	43
Kuva 27. Parametriryhmän kenttien määrittely /15, s14/.	45
Kuva 28. Vain NMEA sertifioidut tuotteet voivat käyttää tätä logoa	47
Kuva 29. Mittarin toimintaperiaate.	48
Kuva 30. Mittarin komponentit pöydällä.	50
Kuva 31. Mittarin askelmoottori ja koneisto VID29-02P /20/.	51

Kuva 32. IR-optokytin.	51
Kuva 33. High-Speed CAN-lähetin/vastaanotin /22/.	52
Kuva 34. Olimex Header Board AT90CAN128 mikrokontrollerilla /23/.	53
Kuva 35. Nollauspyyntö /24, s.252/.	56
Kuva 36. CAN-kontrollerin ajoituksen valinta /24, s.257/.	57
Kuva 37. Nollataan MOb-viestiobjektit 0-5 /24, s.260-263/.	58
Kuva 38. Keskeytyksien salliminen /24, s.255-260/.	59
Kuva 39. CAN-tunnistesuodatus /24, s.265/.	60
Kuva 40. CAN-kanavan aktivointi /24, s.259 s.262/.	60
Kuva 41. Saapuvan viestin keskeytys /24, s.250/.	61
Kuva 42. Saapuvan viestin keskeytys.	62
Kuva 43. MOb-rekisterit keskeytysrutiinissa /24, s.260-263/.	63
Kuva 44. Mittarin nopeuden näyttäminen.	64
Kuva 45. Muutettu mittari koealustalla. Vieressä mittari ennen muutosta.	65
Kuva 46. Mittarin liitännät.	66
Kuva 47. Väylän signaalitasot väliltä CAN Hi ja CAN Lo.	68
Kuva 48. CAN Hi -signaalin tasot.	68
Kuva 49. CAN Lo-signaalin tasot.	69

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Raskas ja kevyt kaapelointi /15, s8/.	39
Taulukko 2. Kolme eri vaihtoehtoa viestien lähettämiseen /15, s.19/.	45
Taulukko 3. Tasojen A ja B vaatimukset /15, s.21/.	47
Taulukko 4. CAN-kellon asetukset /24, s.268/.	57

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Piirikaavio**LIITE 2.** Mittarin moottorin sekvenssi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja rakentaa purjeveneeseen NMEA 2000-verkkoa (National Marine Electronic Association) hyödyntävä nopeusmittari. Opinnäytetyössä rakennettava nopeusmittari asennetaan purjeveneeseen, jossa on jo valmiina NMEA 2000-verkko. Nopeustieto NMEA 2000-verkkoon saadaan verkkoon kytketystä Raymarine a67 monitoiminäytöstä (MFD, Multifunktion Display), mikä taas saa nopeustietonsa GPS-(Global Positioning System) paikallistamisjärjestelmästä.

Opinnäytetyön alkutavoitteeksi on asetettu, että NMEA 2000-verkkoa hyödyntävä nopeusmittari rakennetaan purjeveneessä olleen vanhan mekaanisen nopeusmittarin tilalle. Mittarin tulisi näyttää ulkoisesti käyttäjälle mahdollisimman paljon samanlaiselta kuin alkuperäinen nopeusmittari. Opinnäytetyössä rakennettavassa nopeusmittarissa hyödynnetään vanhan mekaanisen mittarin osia, jotta haluttu ulkonäkö saavutetaan.

Veneissä on yleistä, että navigointiin hyödynnetään erilaisia elektronisia navigointilaitteita. GPS-signaalista paikkatietonsa saavia ja elektronista karttaa näyttäviä navigointilaitteita kutsutaan yleisesti karttaplottereiksi. Kuitenkin on nykyään yleistä, että navigointilaitteella voidaan sijaintitiedon lisäksi tarkastella useita muitakin tietoja olosuhteista, esimerkiksi veden syvyyttä, lämpötiloja, tuulitietoja yms. Tämän lisäksi veneen teknisiä tietoja voidaan näyttää, kuten polttoaineen määriä, moottorin lämpötiloja ja kierrosnopeutta. Tästä syystä kehittyneempiä navigointilaitteita kutsutaan monitoiminäytöiksi (MFD).

Opinnäytetyön kantavana ajatuksena on ratkaista olemassa oleva ongelma ja kehittää siihen ratkaisu ennalta määrättyjen ehtojen rajoissa. Opinnäytetyön kohteena olevasta purjeveneestä on aikaisemmin rikkoutunut mekaaninen, yleisesti tunnettu ja perinteinen Sumlog-merkkinen nopeusmittari. Tämän jälkeen nopeutta purjeveneessä on seurattu Raymarine a67-monitoiminäytöltä, koska vanhoihin mekaanisiin mittareihin uusia varaosia ei ole saatavilla. Nopeusnäyttö monitoiminäytöllä kuitenkin vie varsin suuren osan kartan näkymästä ja ei siksi ole täysin ongelmaton tapa nopeuden seurantaan. Tästä syystä nopeuden seuranta halutaan

palauttaa alkuperäiseen viisarinäyttöiseen mittariin ja vapauttaa monitoiminäyttö täysin kartan esittämiseen.

Opinnäytetyössä ongelman ratkaisussa on päädytty hyödyntämään GPS - paikannusta ja NMEA 2000-verkkoa, koska tällöin veneen pohjaan ei tarvitse nopeusanturille tehdä läpivientä. Tämän lisäksi opinnäytetyö antaa tekijälleen osaamista rakentaa NMEA 2000-verkkoon yhteensopivia laitteita. NMEA 2000-verkossa voidaan välittää laajalti erilaista informaatiota ja siksi verkkoon liitettävien laitteiden kirjo ja ominaisuudet voivat olla mitä moninaisimmat. Opinnäytetyön mittari toimii helpon jälleenohjelmoitavuutensa takia koealustana myös muille NMEA 2000-sovelluksille, sekä verkon datan seurantaan.

2 TIEDONSIIRTOVÄYLÄT VENEISSÄ

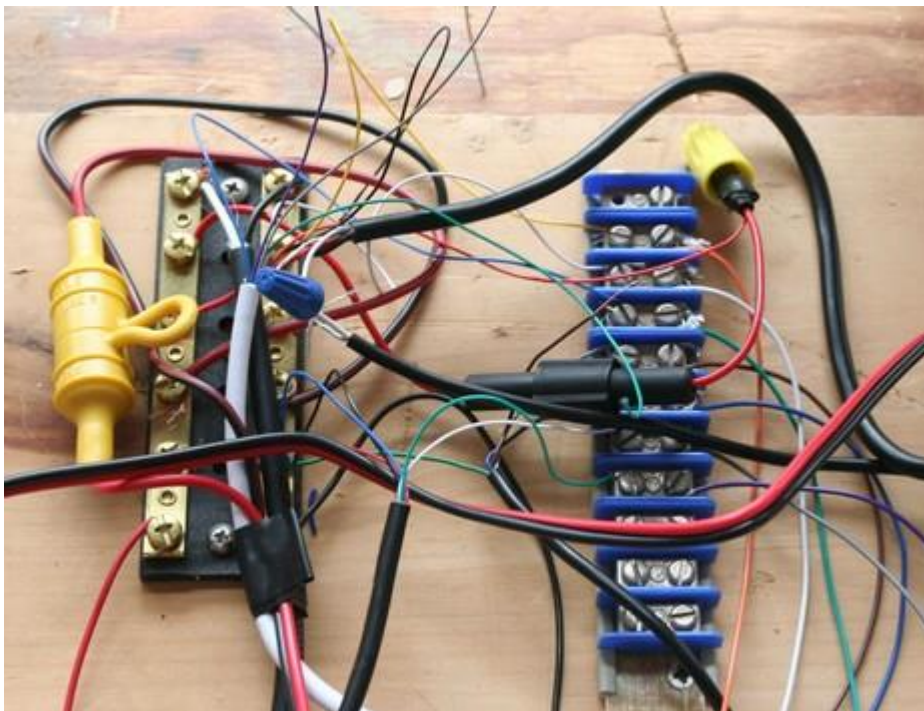
Veneissä käytettävien elektronisten laitteiden tiedonsiirtoon on valmistajien omien tekniikoiden lisäksi olemassa kolme yleisesti tunnettua protokollaa. Veneissä eri elektronisten laitteiden väliseen kommunikointiin on kehitetty National Marine Electronic Associationin (NMEA) toimesta NMEA0183-standardi ja nykyään yleinen NMEA 2000-verkkostandardi. Näiden lisäksi veneissä tiedonsiirtoon käytetään Ethernet-pohjaisia toteutuksia, joissa käytetään Cat5-standardin mukaista kaapelointia.

2.1 NMEA 0183

New Yorkin venenäyttelyssä vuonna 1957 perustettiin National Marine Electronic Associationin (NMEA), kun ryhmä elektroniikan jälleenmyyjiä kokoontui miettimään, kuinka voisi vahvistaa elektroniikka valmistajien yhteistyötä. Kahdeksankymmentäluvun alussa NMEA kehitti rajapinnan digitaaliseen tiedonsiirtoon veneissä käytettävien elektronisten laitteiden välille. NMEA 2.00 0183-standardi julkaistiin tammikuussa 1992. /1/

NMEA 0183-standardi väylän rajapinnasta määrittelee tiedonsiirtosignaalin sähköiset vaatimukset, datan protokollan ja aikamääreet tiedonsiirrossa ja datalausekkeet. Tiedon siirtoon käytetään 4800 baudin asynkronista sarjaväylää. Jokaisella väylällä voi olla vain yksi lähettäjä, mutta monta vastaanottajaa. Tiedonsiirrossa käytettävä data on ASCII-muotoista ja sillä voidaan välittää tietoja nopeudesta, sijainnista, syvyydestä ja muuta navigointiin liittyvää tietoa /2/.

NMEA 0183-standardissa ei määritellä väylän liittimiä (Kuva 1). Tästä syystä eri valmistajat käyttävät omanlaisiaan liittimiä ja usein väylä kytketään vain pelkillä johdoilla ja ruuviliittimillä toisiinsa. Seatack on Raymarinen vastaava tiedonsiirtoväylä ja on yhteensopiva NMEA 0183-laitteiden kanssa.



Kuva 1. NMEA 0183-standardissa ei määritellä verkon fyysistä kerrosta /2/.

2.2 NMEA 2000®

National Marine Electronics Association (NMEA) aloitti vuonna 1994 kehittämään NMEA 2000-standardia. Vesialusten elektronisten laitteiden sarjaliikenneverkkostandardi NMEA 2000® valmistui ja julkaistiin vuonna 2001.

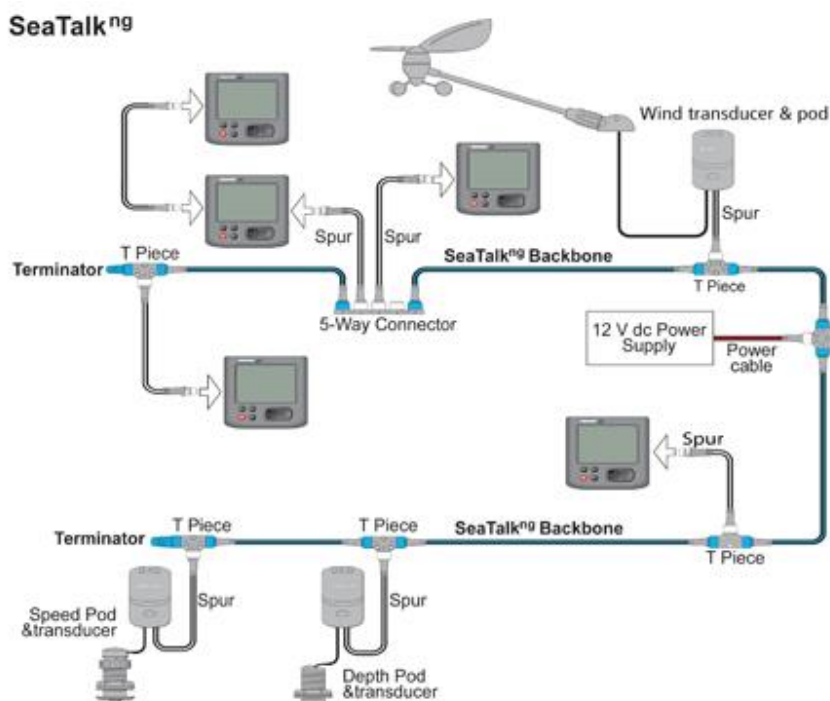
NMEA 2000-verkko perustuu Controller Area Network (CAN) verkkotekniikkaan. CAN-verkko on kehitetty alun perin autoteollisuuden tarpeisiin ja CAN-verkko löytyykin nykyään jo valtaosasta ajoneuvoista. CAN-verkkoa käytetään muussa teollisuudessa.

NMEA 2000-verkko koostuu runkoverkosta ja siihen haarakaapelilla kytkettävistä laitteista. Runkoverkon molemmat päät on päätetty 120Ω päätevastuksin. NMEA 2000-verkko toimii 250 kbit/sekuntinopeudella ja pituudeltaan yksi yhteys voi olla maksimissaan 200 metriä.

Kun NMEA 0183 määrittää standardin verkon ja laitteiden rajapinnasta, niin NMEA 2000 määrittää verkkostandardin laajemmin. NMEA 2000-standardissa otetaan kantaa myös verkon fyysiseen kerrokseen, kuten liittimiin, kaapeleihin, virtalähteisiin jne. Tästä syystä verkkoon asennettavat laitteet ovat yhteensopivia ja verkko on helposti rakennettavissa /3/.

2.3 Raymarine, SeaTalk^{ng}

NMEA-standardi mahdollistaa vesielektroniikan valmistajille suunnitella itse liittimiä ja kaapeleita, jos ne vain täyttävät tietyt vaatimukset. Raymarinella CAN-tekniikkaan perustuvaa ja NMEA 2000-verkkoa vastaavaa verkkoa kutsutaan SeaTalk^{ng} -verkoksi. SeaTalk^{ng} -verkon laitteet ovat kytkettävissä NMEA 2000-verkkoon adapterikaapelin avulla (Kuva 2). Verkon liittimet ovat värikoodattuja. Runkokaapelin liittimet ovat sinisiä ja haarakaapelit verkkoon liitettäville laitteille ovat valkoisia /4/.



Kuva 2: Tyypillinen SeaTalk^{ng}-verkko /5/.

2.4 Ethernet

Kun NMEA:n elektroniikan valmistajajäsenet alkoivat käyttää omia Ethernet-verkkoratkaisujaan NMEA-verkon viestien välittämiseen, päädyttiin taas tilanteeseen, jossa eri valmistajien laitteet eivät olleet yhteensopivia Ethernet-verkkokäytössä.

National Marine Electronics Association (NMEA) määrittäi verkon rajapintastandardin, mikä perustuu IEEE 802.3 Ethernet-standardin päälle. Verkon rajapintastandardin rekisteröity tavaramerkki on OneNet®.

OneNet ei ole tarkoitettu korvaamaan NMEA 2000-verkkoa, vaan täydentämään ja toimimaan NMEA 2000-verkon rinnalla. Siinä missä NMEA 2000-verkko pysyy yhdistämään maksimissaan 50 laitetta, voidaan OneNet-verkkoon kytkeä yli 65 000 laitetta. OneNet tukee myös videon siirtoa, käyttäen Ethernet-videoprotokollaa. Näin voidaan seurata liikkuvaa kuvaa, esimerkiksi konehuoneesta, kannelta tai muuta valvontaa. NMEA 2000-verkossa ei riitä kapasiteetti videon siirtämiseen /6/.

3 CAN- JA SAE J1939 -STANDARDI

CAN (Controller Area Network) kehittäminen aloitettiin 80-luvun alussa tiedonsiirtoväyläksi ajoneuvoihin. CAN -väylän on kehittänyt ja suunnitellut ajoneuvoelektroniikkaa valmistava saksalainen yritys R. Bosch GmbH. Nykyään CAN -väylää sovelletaan laajasti myös muussa teollisuudessa, kuten hisseissä, maatalouskoneissa, roboteissa, kappaletavara-automaatiossa jne. CAN sopii hyvin lyhyiden sanomien tiedonsiirtoon, mutta ei esimerkiksi videokuvan ja muiden suurta dataa vaativien tiedostojen siirtämiseen /7/.

Bosch aloitti CAN kehittämisen vuonna 1983 ja CAN v 1.0 määriteltiin vuonna 1985. Vuotta myöhemmin 1986 aloitettiin työstämään ISO-(International Organization for Standardization) standardisointia. Vuonna 1991 määriteltiin laajennettu CAN 2.0-protokolla. Ensimmäinen ISO-standardointi saatiin valmiiksi vuonna 1994. Nämä ISO-standardit olivat high-speed ja low-speed CAN. Vuonna 2003 myös japanilaisissa ja amerikkalaisissa autoissa oli käytössä CAN-väylät /8, s.16/.

3.1 CAN-standardit

ISO-(International Organization for Standardization) ylläpitää ja jakaa ISO-standardeja. ISO standardeja voi ladata itselleen maksua vastaan onlinepalveluna verkkosivuilta <http://www.iso.org/iso/store.htm> tai suomenkielisiä versioita standardeista voi hakea verkkosivuilta <https://sales.sfs.fi/>.

CAN-standardista yleisesti puhuttaessa tarkoitetaan ISO 11898-1-standardissa määriteltyä protokollaa ja fyysistä kerrosta, mikä on määritelty standardissa ISO 11898-2. CAN-väylää käsitteleviä standardeja on kuitenkin paljon enemmän ja tässä alla muutama niistä.

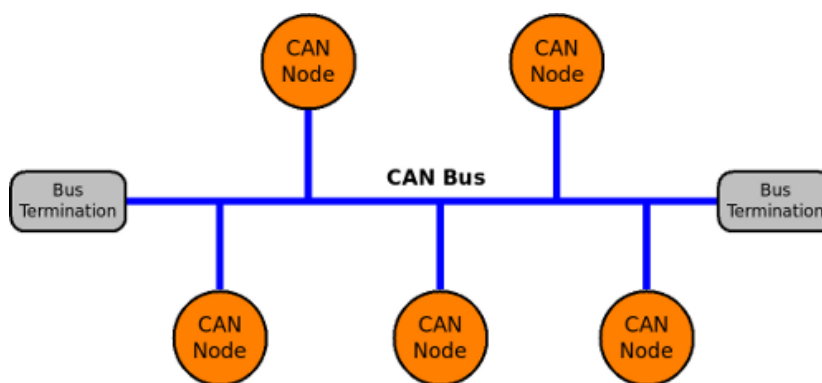
- CAN-standardit:
 - ISO 11898-1 – CAN-protokolla, siirtoyhteyskerros ja fyysinen signaalointi
 - ISO 11898-2 – High-speed CAN fyysinen kerros
 - ISO 11898-3 – Low-speed fault-tolerant CAN fyysinen kerros (vikasietoinen)
 - ISO 11898-4 – Time-Triggered CAN (TTCAN)
 - ISO 11898-5 – ”High-speed medium access unit with low-power mode”, high-speed CAN-väylään yhdistäminen ja virransäästötila
 - ISO 11519-2 – Vanhentunut ja korvattu standardilla ISO 11898-3
- ISO 14230 – ”Keyword Protocol 2000”, useita osia, jotka määrittelevät diagnostiikkaa sarjaväylällä, mikä kuitenkaan ei ole CAN.
- ISO 15765 – Tämä standardi määrittää diagnostiikkaa CAN-väylällä. Periaatteessa ”Keyword 2000” CAN-väylällä.
- J1939 – SAE:n (Society of Automotive Engineers) määrittelemä ylemmän kerroksen protokolla, joka on tarkoitettu rekkoihin ja linja-autoihin liittyvään standardisointiin. Standardi on jaettu osiin ja niissä määritellään muun muassa OSI-mallin fyysinen kerros, siirtokerros, verkkokerros sekä useita ennalta määrättyjä viestejä.
- ISO 11783 – Traktorit ja muut maa- ja metsätalouskoneet (perustuu J1939:n).
- ISO 11992 – Määrittelee kuorma-auton ja perävaunun rajapinnan.
- NMEA 2000 – NMEA komitean määrittelemä protokolla meriliikenneelektroniikan tarpeisiin, mikä perustuu J1939-standardiin /8, 9/.

3.2 Fyysinen kerros, OSI Physical layer

CAN-standardit määrittelevät useita erilaisia toteutuksia fyysisistä kerroksista, joissa määritellään väylän sähköiset ominaisuudet, väylän rakenne, väylän impedanssi ja muita vastaavia ominaisuuksia. Tässä työssä tarkastellaan yleisintä CAN-väylätyyppiä, jonka fyysinen kerros on määritelty ISO 11898-2-standardissa. Tämä CAN tunnetaan myös yleisesti nimellä ”high-speed CAN” /10, s.5/.

3.2.1 Väylän rakenne

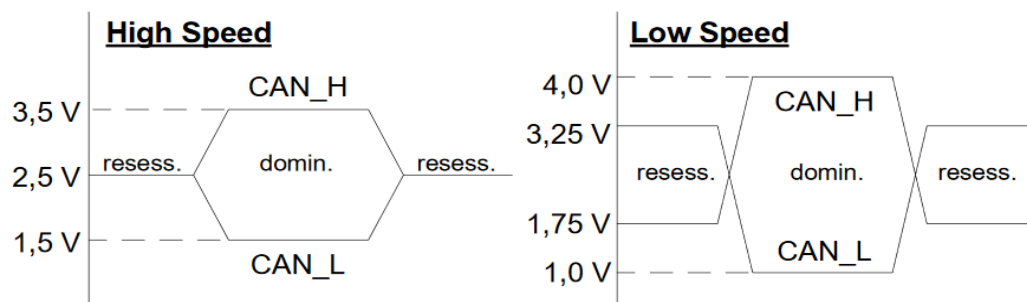
Väylä on rakenteeltaan suojattu tai suojaamaton kierretty parikaapeli, joka on molemmista päistään päätetty 120Ω päätevastuksin. Signaalikoodauksessa käytetään ”NRZ (Non-Return To Zero) with bit-suffing”-tyyppistä koodausta. Tässä ”bit-stuffing” tarkoittaa, että jos bittijonossa on peräkkäin viisi samaa bittiä, niin kuudes bitti on eri. Tämä kuudes bitti poistetaan viestistä vastaanottavassa päässä /7/.



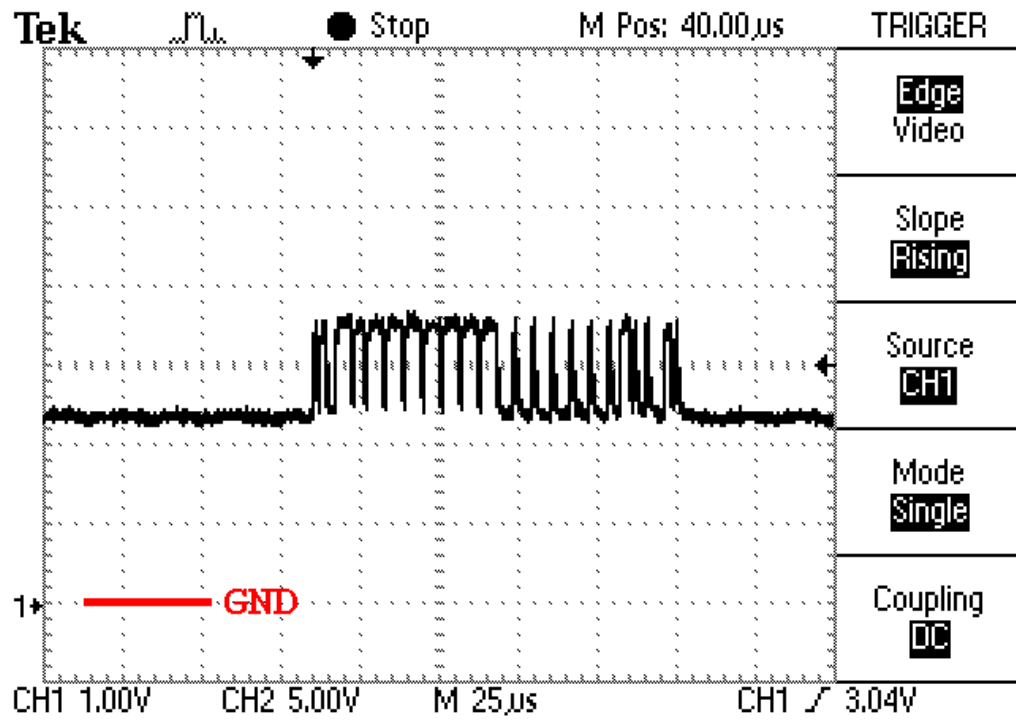
Kuva 3. CAN-väylään voi liittää useita solmuja /11/.

3.2.2 Signaali väylällä

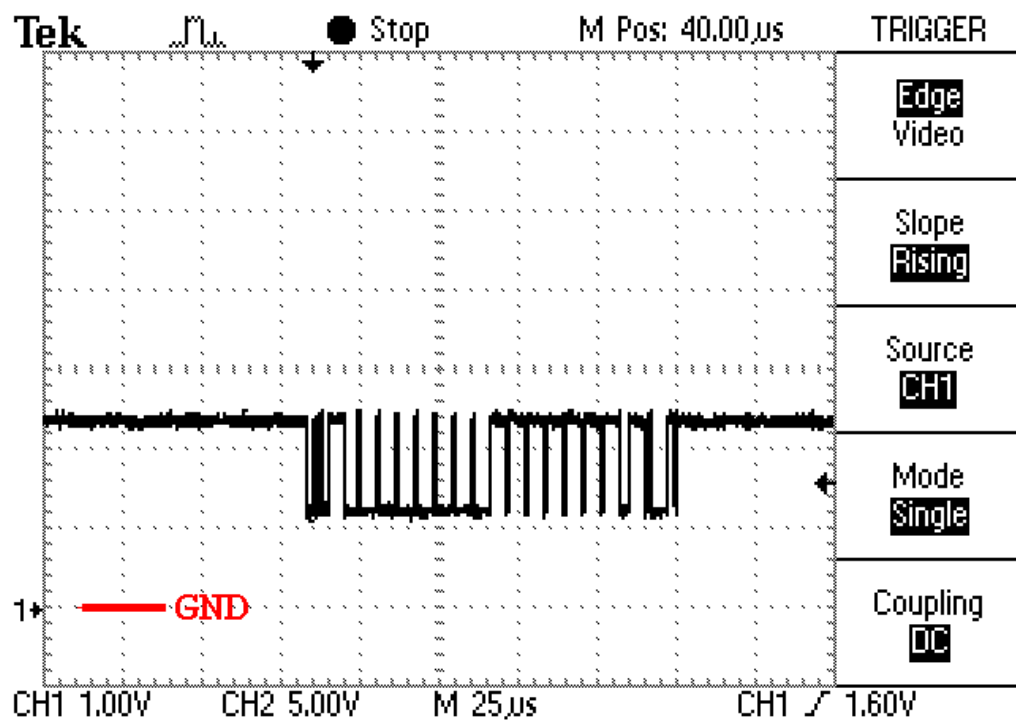
Laitteet eli solmut CAN-väylällä on kytketty siten, että jos yksikin solmu lähettää väylälle loogisen nollan, niin koko väylä on loogisessa nolatilassa. Väylän tila pysyy nollassa, vaikka joku tai jotkut toiset solmut yrittäisivät lähettää samaan aikaan väylälle loogista ykköstä. Toisin sanoen, väylällä on kaksi eri tilaa, joista toinen on dominantti ja looginen nolla. Toinen tila väylällä on ominaisuudeltaan väistyvä eli resessiivinen. Resessiivinen tila väylällä on looginen ykkönen. Tilojen sähköiset tasot riippuvat siitä, mitä standardin fyysistä kerrosta noudatetaan. Vaihtoehtoja on useita. Standardissa ISO 11898-2 ”high-speed CAN”-väylän tilassa dominantti (looginen 0) on jännitetaso noin 3.5 voltia ja resessiivisessä tilassa noin 2.5 voltia (Kuva 4). /7, 10/.



Kuva 4. High-Speed CAN- ja Low-Speed CAN-signaalitasot.



Kuva 5. Signaali mitattuna CAN Hi ja nollan väliltä /10/.



Kuva 6. Signaali mitattuna CAN Lo ja nollan väliltä /10/.

CAN-väylän maksimipituus riippuu käytettävästä tiedonsiirtonopeudesta. Signaalin on edettävä kaukaisimpaan solmukohtaan ja takaisin nopeammin, mitä näytteen ottaminen signaalista vie aikaa. Väylän pituuden rajoittava tekijä tietyllä nopeudella on valon nopeus, joten sen kasvattaminen ei nykytietämyksen mukaan ole mahdollista /10/.

Standardin mukaan CAN-väylän maksiminopeus on 1 Mbit/sekunnissa ja tällöin väylän maksimipituus on noin 40 metriä. Seuraavassa noin arvoja maksimipituuksista väylälle eri nopeuksilla:

- 40 m nopeudella 1000 kbit/sek
- 100 m nopeudella 500 kbit/sek
- 200 m nopeudella 250 kbit/sek – NMEA 2000
- 500 m nopeudella 125 kbit/sek
- 6 km nopeudella 10 kbit/sek /10/.

3.3 Siirtokerros, OSI Data Link layer

CAN-väylä on broadcast tyyppinen väylä. Tämä tarkoittaa sitä, että väylällä ei ole mahdollista lähettää viestiä vain tietylle solmulle, vaan kaikki solmut saavat kaikki viestit. CAN tarjoaa kuitenkin laitteistotason paikallista suodatusta, jolloin solmu suodattaa ja lukee vain sitä itseä kiinnostavat viestit /7/.

3.3.1 CAN viestit

CAN-väylä on tarkoitettu lyhyiden viestien lähettämiseen, joiden pituus, ”hyötykuorma”, voi olla maksimissaan 94 bittiä ja josta sanomakehyksen osuus voi olla maksimissaan 64 bittiä. CAN-väylän asemilla ei ole varsinaisia osoitteita, vaan viestit numeroidaan ja lähetetään väylälle kaikkien saataville. Väylällä olevien asemien on tiedettävä, mikä tunnistenumero kuuluu millekin solmulle. Samaa tunnistenumeroa ei voi olla usealla solmulla /7/.

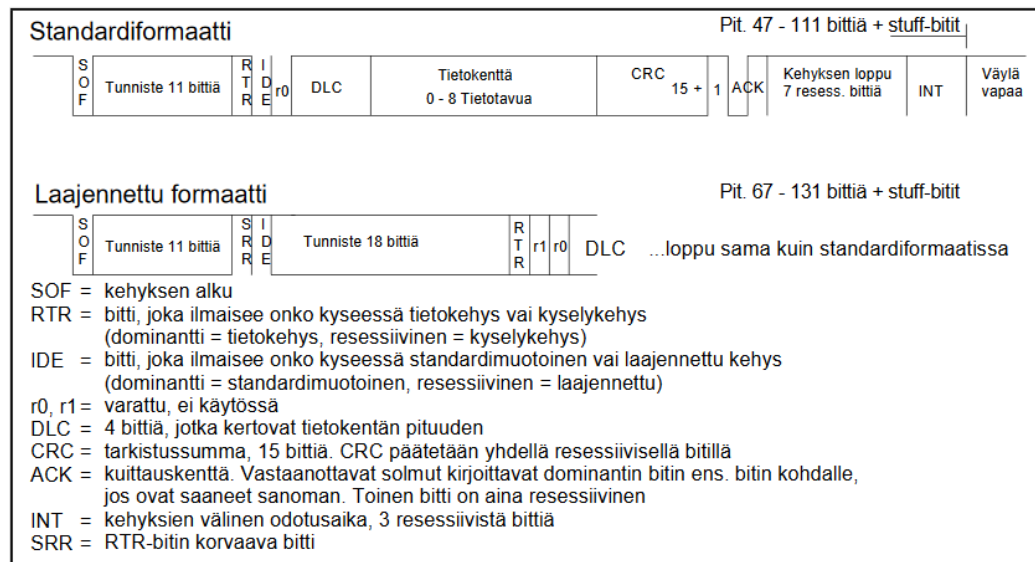
CAN-protokolla määrittelee neljä erityyppistä viestiä eli kehystä, joita väylällä voi käyttää.

- the Data Frame, sanomakehys
- the Remote Frame, kyselykehys
- the Error Frame, virhekehys
- the Over Load Frame, ylikuormituskehys /10, s2/.

3.3.2 Sanomakehys, the Data Frame

Sanomakehys on CAN-väylällä yleisin käytetty viestikehys. Sanomakehys voidaan jakaa seuraaviin pääosiin:

- Tunnistekenttä (Arbitration Field), jonka avulla voidaan määritellä myös viestin prioriteetti väylällä, jos useampi solmu yrittää samaan aikaan väylälle (ks. Kilpavarustelu).
 - CAN 2.0A, 11-bittinen tunnistekenttä (standardiformaatti)
 - CAN 2.0B, 29-bittinen tunnistekenttä (laajennettu formaatti)
- Tietokenttä (the Data Field), joka voi olla 0-8 tavua pitkä.
- Tarkistus summa (the CRC Field). 15-bittinen kenttä virheen tarkistukseen.
- Kuittauskenttä (Acknowledgement Slot). Jos vastaanottaja saa sanoman oikein, se lähettää väylälle heti yhden dominantin bitin. Sanoman lähettäjä odottaa tätä kuittausbittiä. Jos lähettäjä ei kuittausta saa, se lähettää sanoman uudestaan /10, s.2/.

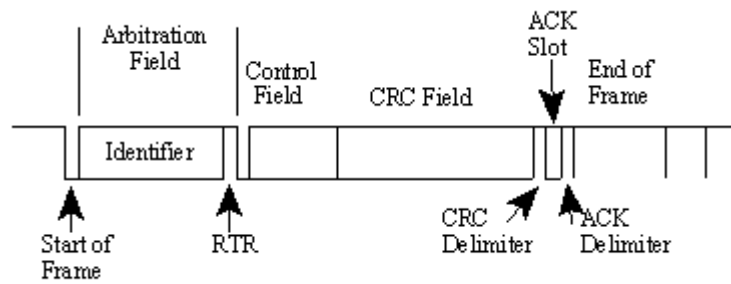


Kuva 7. CAN-kehukset /7/.

3.3.3 Kyselykehys, the Remote Frame

Kyselykehysten avulla solmu voi pyytää toista solmua lähettämään haluamansa sanomakehyksen. Esimerkiksi jos solmu A lähettää väylälle kyselykehysten tunnistekentällä 123, niin vastaavalla tunnistekentän numerolla oleva solmu vastaa väylälle sanomakehyksellä, jonka tunnistekentän numero on 123. Käytännössä CAN-väylissä käytetään kyselykehystä melko harvoin. Kyselykehys eroaa sanomakehyksestä kahdella tavalla:

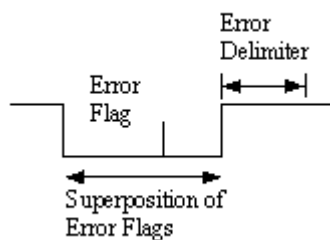
- Kyselykehysten ilmaisemiseksi RTR-bitti on resessiivinen.
- Tietokenttää ei ole /10, s.3/.



Kuva 8. Kyselykehys /10, s.3/.

3.3.4 Virhekehys, the Error Frame

Solmun havaitessa virheen viestissä, se lähettää CAN-väylälle virhekehysten. Virhekehys koostuu virhelipusta (Error Flag, 6-bittiä dominanttia) ja virheerotimesta (Error Delimiter, 8-bittiä resessiivistä) (Kuva 9). Kuusi perättäistä dominanttia bittiä CAN-väylällä rikkoo viestikehysten sääntöjä. CAN määrittelee, että viiden saman peräkkäisen bitin jälkeen tulee lähettää vastakkainen bitti. Näin muutkin solmut saavat virheellisen viestin ja lähettävät myös virhekehysten. Lähettäjä lähettää virheellisen viestin uudelleen. Virhe-erotin antaa aikaa muille solmuille lähettää virhekehys /10, s3/.



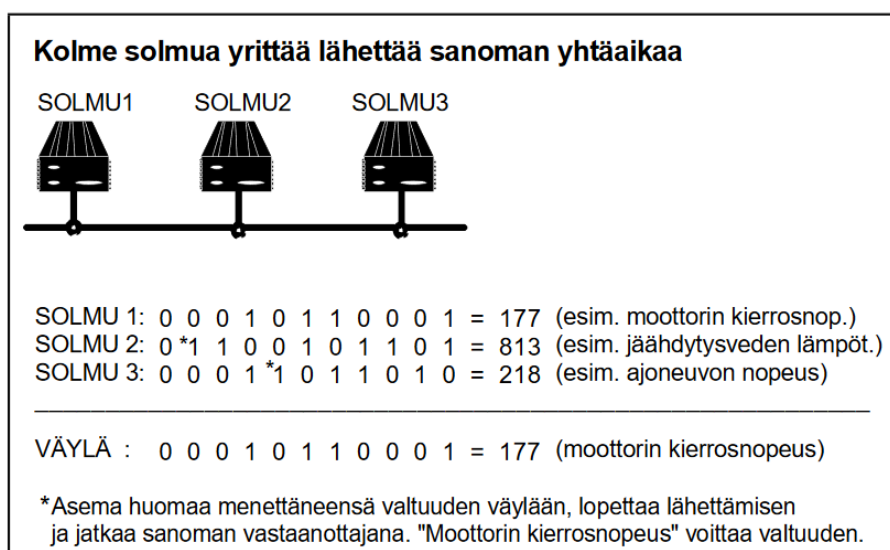
Kuva 9. Virhekehys /10, s3/.

3.3.5 Ylikuormituskehys, the Over Load Frame

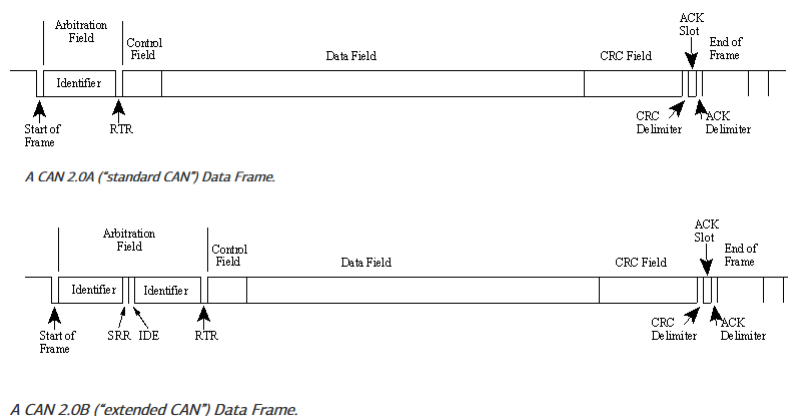
Ylikuormituskehys on tarkoitettu antamaan lisää aikaa CAN-kontrollerille viestin käsittelyyn. Ylikuormituskehys on muodoltaan samanlainen kuin virhekehys. Nykyaikaisilla CAN-kontrollereilla on kuitenkin hyvin aikaa käsitellä viestejä, joten tämä sanomakehys ei käytännössä ole enää käytössä.

3.4 Kilpavaraus, Bus Arbitration

Solmu voi lähettää CAN-väylälle viestin, kun se havaitsee väylän olevan vapaa. Jos useampi solmu yrittää lähettää samaan aikaan viestin väylälle, on ratkaistava mikä solmu viestin saa lähettää. Sanoman prioriteetti- ja lähetysjärjestys määräytyy sanoman tunnistenumeron perusteella. Lähettävä solmu tarkkailee väylän tilaa samalla, kun se lähettää viestiä väylälle. Jos väylä on dominantissa tilassa silloin, kun lähettävä solmu on lähettämässä resessiivistä bittiä, poistuu solmu välittömästi väylän kilpavarauksesta ja siirtyy vastaanottamaan väylän viestejä /7/.



Kuva 10. CAN-väylän kilpavaraus /7/.



Kuva 11. CAN-kehiksen tunnistekehtien perusteella tehdään kilpavaraus/10, s.2/.

3.5 Ylemmän tason protokollat

CAN-standardi määrittelee vain laitteiston OSI-mallin fyysisen kerroksen ja siirto-kerroksen. CAN-väylälle on kuitenkin olemassa useita ylemmän tason protokollia (OSI-mallin sovelluskerros), jotka mahdollistavat esimerkiksi solmujen osoitteiston, yli 8 tavun suuruisten viestien lähettämisen, käynnistys rutiinit jne. Yleisimmät protokollat listattuna alla:

- CanKingdom
- CANopen
- CCP/XCP
- DeviceNet
- J1939
- MilCAN
- NMEA 2000®
- OSEK/VDX
- SDS
- EnergyBus /12/.

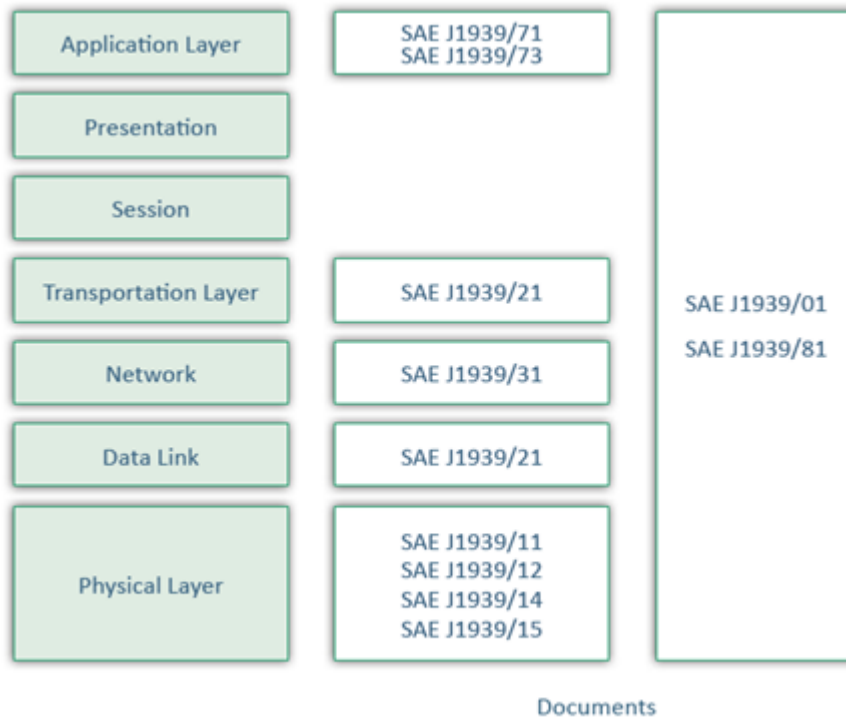
4 SAE J1939

SAE (Society of Automotive Engineers) on määritellyt SAE J1939:n, mikä on koelma standardeja hyötyajoneuvojen, kuten rekkojen ja linja-autojen tiedonsiirtoväylien käyttöön. SAE J1939 on CANin päälle rakennettu korkeamman tason protokolla. SAE J1939:n erityispiirteitä ovat:

- CAN 2.0B, 29-bittinen tunnistekenttä.
- Väylän nopeus 250 kbit/s.
- Peer-to-Peer ja Broadcast-yhteydet.
- Kuljetusprotokolla aina 1785 databittiin asti.
- Verkon hallinta.
- Määrittely hyötyajoneuvojen parametriryhmille (Parameter Groups) ja muille alueille, kuten vesikulkuneuvot (NMEA 2000).
- Valmistajan omat parametriryhmät tuettuja.
- Diagnostiikka ominaisuudet /14/.

4.1 SAE J1939 OSI-mallissa

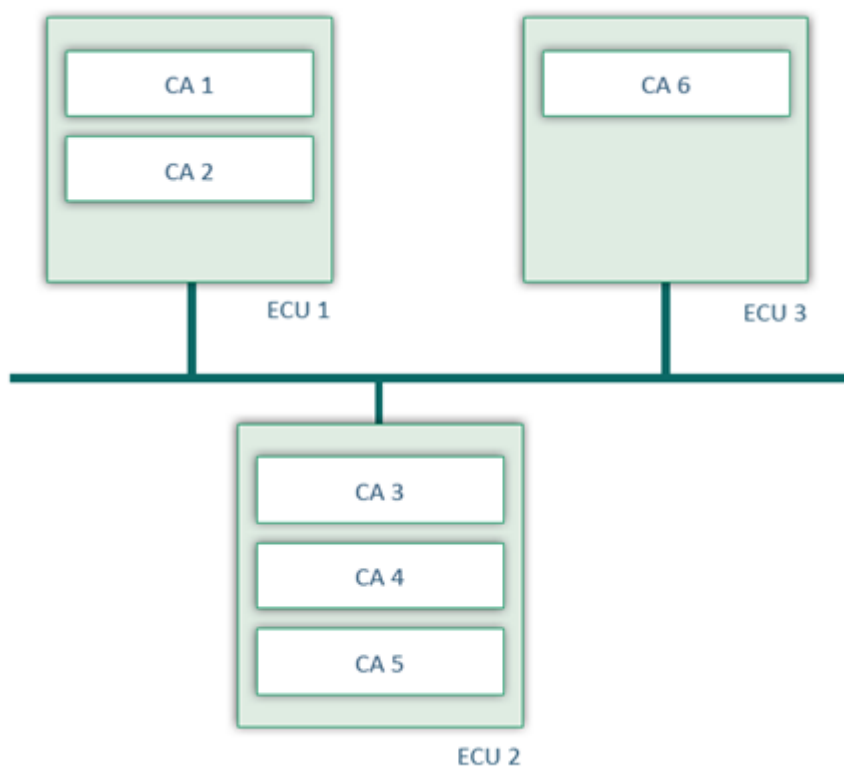
SAE J1939-standardia määrittävät dokumentit jakautuvat OSI-mallissa usealle eri kerrokselle. Dokumentin numeron loppuosa viittaa siihen, mitä OSI-mallin kerrosta dokumentti käsittelee. OSI-mallin kerrokset 5 ja 6 on jätetty pois, koska mikään väyläprotokollan kenttä ei vastaa näiden kerroksien kuvauksia /14/.



Kuva 12. SAE J1939-osimalli /14/.

4.2 Laitteiden osoitteet

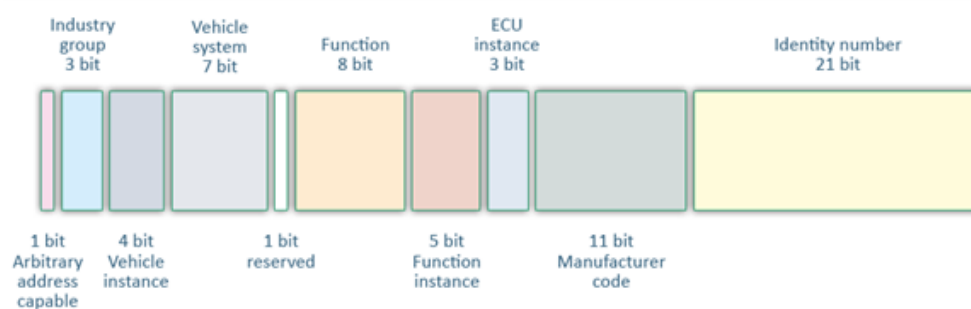
Väylään liitetyillä solmuilla eli laitteilla (ECU, Electronic Control Unit) voi olla useita ECU:n sisäisiä sovelluksia (CA, Controller Application), joilla kaikilla on oma yksilöllinen osoite ja siihen liittyvän laitteen nimi. Jokainen viesti, joka on lähetetty CA:lla, sisältää tämän lähettäjän osoitteen. J1939-standardissa osoitteet ovat väliltä 0 – 255, jossa osoite 255 on globaali /14/.



Kuva 13. Väylään liitettyjä solmuja ja niiden sovelluksia (CA, Controller Application) /14/.

4.3 Laitteiden nimet

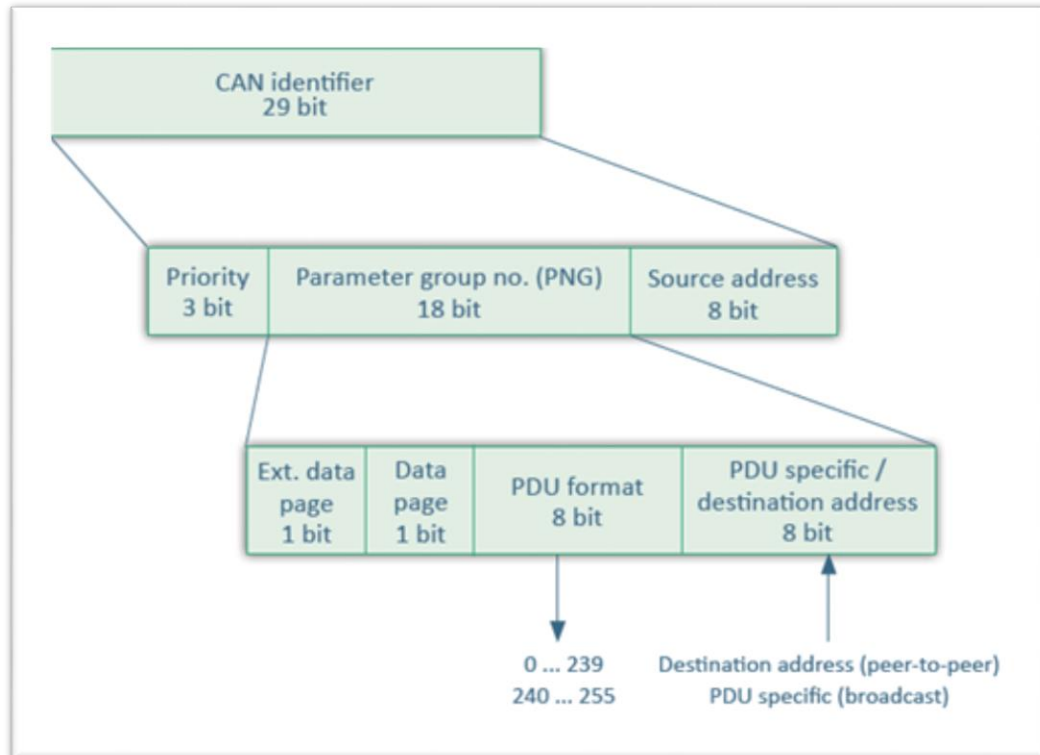
Laitteiden nimi on kuvattu 64-bittisellä tunnisteella, minkä avulla voidaan yksilöidä laite ja sen toiminnot. Laitteen nimi on jaettu osiin, joista toiset kentät ovat toisistaan riippuvaisia ja toiset kentät ovat itsenäisiä. Riippumattomilla kentillä kuvataan teollisuusryhmä (Industry Group, 3bittiä) ja valmistajan tunnus (Manufacturer Code, 11-bittiä). Teollisuusryhmännumero määrittää, liittyykö laite hyötyajoneuvoihin, maatalouteen vai merenkulkuun. Valmistajatunnus on haettava SAE:lta /14/. IXXAT + kuva



Kuva 14. J1939 laitteen nimi on 8 tavua pitkä tietokenttä /14/.

4.4 CAN tunniste kenttä

SAE J1939 määrittelee viestit 29-bittisellä tunniste kentällä. SAE J1939 perustuu CAN 2.0 B ”Extended Frames”-määritelmään, mikä on kuvattu alla /14/.



Kuva 15. SAE J1939-nimikenttä /14/.

- Priority 3-bit. Viestin prioriteetti, jossa korkein prioriteetti on arvoltaan 0.
- Extended Data Page (EDP) 1-bit ja Data Page 1-bit.

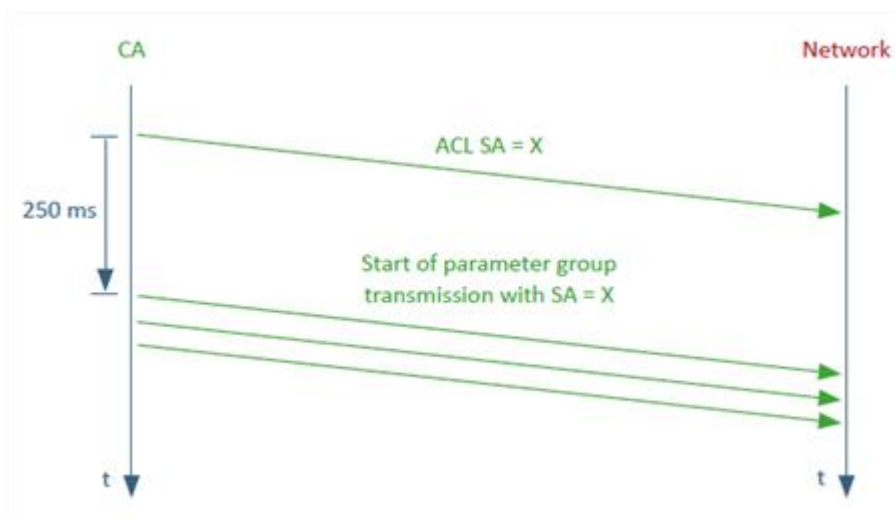
Näillä biteillä voidaan valita viesteille neljästä eri parametrisryhmästä (Parameter Group):

EPD	DP	Kuvaus
0	0	SAE J1939 Parametrisryhmät
0	1	NMEA 2000 määritelmä
1	0	SAE J1939 varattu
1	1	ISO 15765-3 määritelmä

- Protocol Data Unit Format (PDU F) 8-bit. ”PDU F”-kenttä määrittelee, onko viesti tarkoitettu verkossa kaikille, vai vain tietyille laitteille. Jos kentän arvo on alle 240, viesti osoitetaan jollekin tietyille laitteille, muuten viesti on tarkoitettu kaikille laitteille verkossa eli on broadcast tyyppinen viesti.
- Protocol Data Unit Specific (PDU S) 8-bit. Tällä kentällä on kaksi merkitystä, mitkä riippuvat ”PDU F”-kentän arvosta. Jos ”PDU F”-kentän arvo on alle 240, niin kentän ”PDU S” arvo on viestin kohdeosoite ”Destination Address Field” (PDU 1).
Jos ”PDU F”-kentän arvo on 240 tai suurempi, kenttä on laajennusosa broadcast ryhmäviesteille ”Group Extension Field” (PDU 2).
- Source Address Field 8-bit. Kenttä kertoo viestin lähettäjän osoitteen /14/.

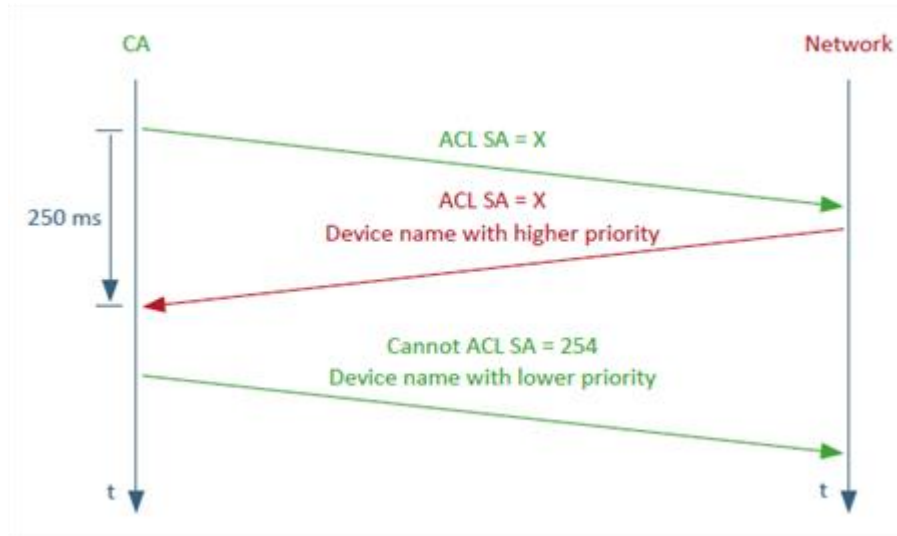
4.5 Osoitevaade (Address Claiming)

Ennen kuin solmun CA (Controller Application) voi käyttää väylällä osoitetta, sen on vaadittava sitä. Tätä toimintoa kutsutaan osoitevaateeksi (Address Claiming, ACL). Ensin CA lähettää osoitevaateen (ACL, PGN 00EE00_{hex}) väylälle ja odottaa tietyn ennalta määritellyn ajan. Jos tänä aikana ei tule samalle osoitteelle muita osoitevaateita, voi CA aloittaa normaalin viestinnän väylällä /14/.



Kuva 16. Osoitevaade /14/.

Jos väylällä on jo vaadittava osoite käytössä toisella CA:lla, saa se CA-osoitteen käyttöönsä, kummalla on laitenimessään korkeampi prioriteetti. CA, mikä jää ilman osoitetta, voi joko hakea itselleen uuden osoitteen väliltä 128-247 tai jos CA ei kykene muuttamaan osoitettaan ”non slef-configurable”, se lähettää väylälle ”Cannot Claim Address”-parametriryhmänumeron lähettäjäosoitteella 254 /14/.



Kuva 17. Osoitevaade, kun osoite on jo käytössä korkeammalla prioriteetillä /14/.

4.6 Isokokoisten viestien lähettäminen

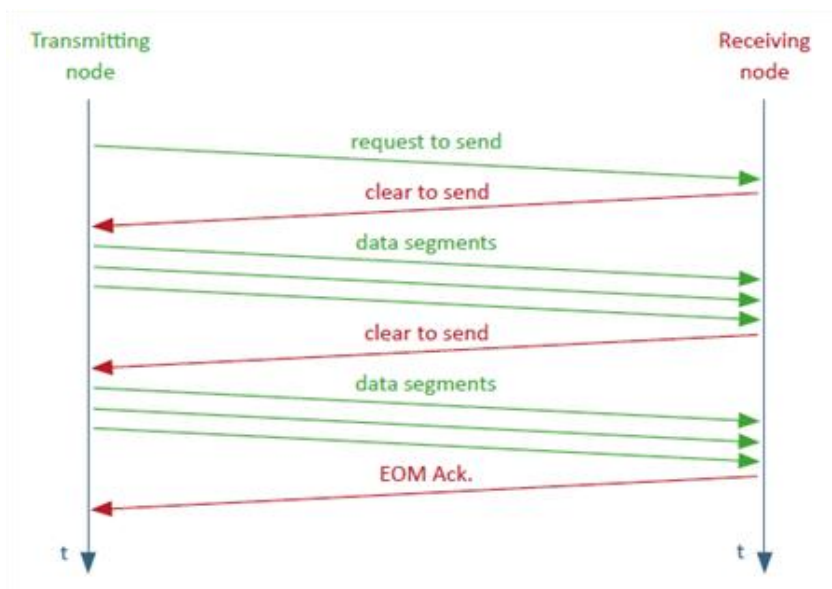
Suurenpien kuin 64-bittisten (8 tavua) viestien lähettäminen SAE J1939-standardissa tapahtuu jakamalla viestit osiin. Viestit voidaan lähettää joko tietylle osoitteelle (Peer-to-Peer) tai kaikille solmuille väylällä (Broadcast). Näiden lähetystapojen erot on selvitetty seuraavana /14/.

4.6.1 Peer-to-Peer

Peer-to-Peer-yhteydessä viesti osoitetaan tietylle osoitteelle (Destination Address) ja viestin perilletulo vahvistetaan. Peer-to-Peer yhteyttä hallitaan viiden eri viestikomennon avulla.

- RTS (Request To Send). Lähetyksen pyyntö.
- CTS (Clear To Send). Lähetysluvan myöntäminen. Vastaanottaja määrittää tässä myös lähettäjälle, kuinka monta datalohkoa lähettäjä voi lähettää CTS(0-255). Vastaanottaja voi pyytää lähettäjää odottamaan pyytämällä nollaa datalohkoa (CTS 0, "Hold").
- CA (Connection Abort). Yhteys keskeytetty.

- EOM (End Of Message acknowledgement). Kuittaus viestin päättymisestä annetaan lähettäjälle merkiksi siitä, että lähetys on päättynyt ja saatu onnistuneesti perille.
- DTM (Data Transfer Message). Datansiirto viesti /14/.

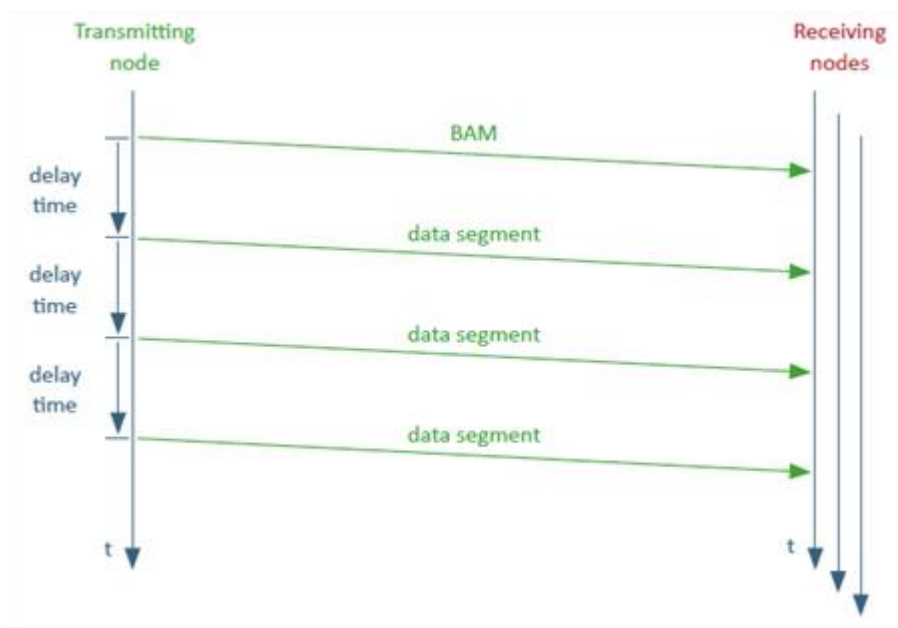


Kuva 18. Peer-To-Peer-yhteys /14/.

4.6.2 Broadcast

Broadcast-lähetysessä ei ole määritelty viestin vastaanottajaa, eikä viestin perillepääsyä varmisteta mitenkään (No flow control).

- BAM (Broadcast Announce Message). Broadcast-lähetysten aloittamisen ilmoittaminen. BAM-viesti sisältää seuraavat tiedot:
 - Tavujen lukumäärä
 - Datalohkojen lukumäärä
 - PGN, parametriryhmän numero
- DTM (Data Transfer Message). Datan siirtoviesti.
- Viive viestien välillä on vähintään 50 ms. Viiveen tarkoitus on antaa vastaanottajalle aikaa käsitellä ja vastaanottaa viesti.
- Vaikka vastaanottaja ei saa viestiä perille, se ei voi keskeyttää tiedon siirtoa (CA, Connectin Abort), koska usein viestin vastaanottajia on useita. /14/.



Kuva 19. Broadcast-lähetys /14/.

5 NMEA 2000®

NMEA 2000 on merenkulkuun kehitetty tietoverkkostandardi, mikä on korvannut aikaisemmin tiedonsiirtoon käytetyn NMEA 0183-standardin. NMEA 2000 perustuu CAN-teknologiaan (ISO 11898) ja korkeamman kerroksen protokollat perustuvat SAE J1939 ja ISO 11783. NMEA 2000-standardin määrittelyä käsitellään 8 asiakirjassa:

- Pääasiakirja
- Liite A Versio (Sovelluskerros)
- Liite B Versio (Tietokanta viesteistä)
- Liite C Versio (Sertifioinnin kriteerit ja testaus menetelmät)
- Liite D Versio (Sovelluskerroksen ohjeet)
- Liite E ISO 11783-3 Siirtoyhteyskerros, Data Link Layer
- Liite F ISO 11783-5 Verkon hallinta, Network Management
- Liite G ISO 11898 CAN (Controller Area Network) /15, s.2/.

5.1 Fyysinen kerros

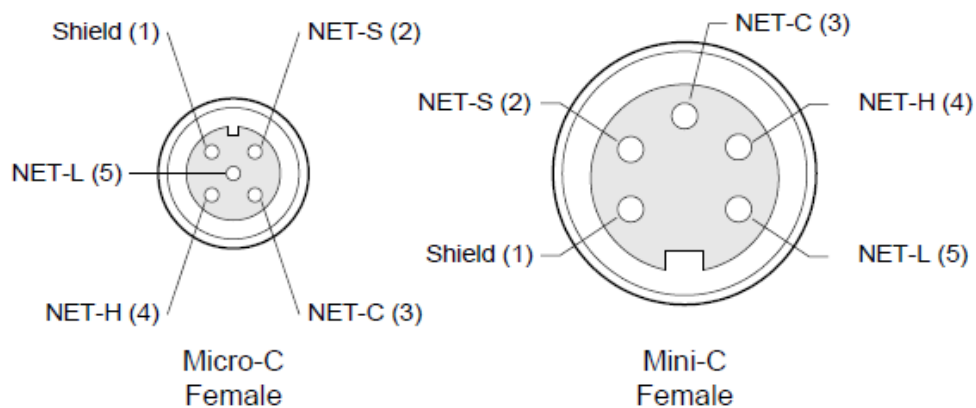
NMEA 2000 määrittelee fyysisellä kerroksella verkon mekaaniset ja sähköiset ominaisuudet. Seuraavassa väylän ominaisuuksista:

- Perustuu ”High-Speed CAN” ISO 11898-2
- Tiedonsiirtonopeus 250 kbit/s
- Maksimipituus 200 metriä
- Verkkoon voi liittää maksimissaan 50 solmua
- 254 verkko-osoitetta
- Kaapeli on suojattu kierretty pari neljällä johtimella
 - Signaali (NET-H ja NET-L)
 - Verkon syöttöjännite (NET-S/+12VDC ja NET-C/GND)
- Verkon laitteiden tulee toimia jännitealueilla 9-16VDC
- Verkko on päätetty 120Ω päätevastuksin molemmista päistään.

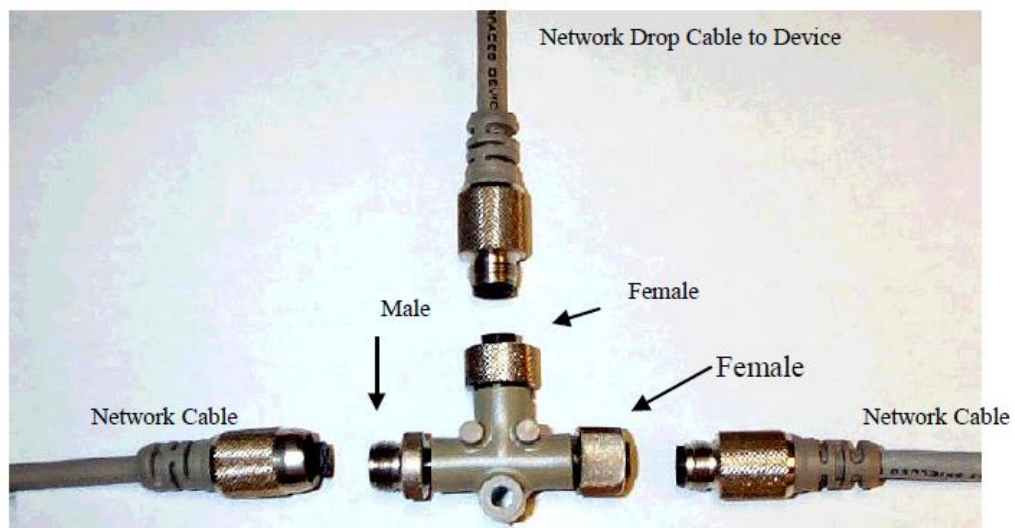
NMEA 2000-standardissa kerrotaan, että verkossa käytettävien kaapeleiden ja liittimien on täytettävä Open DeviceNet Vendor Association (ODVA) ”Volume Three Edition 1.1” vaatimukset. ODVA Specification-standardissa määritellään kaapelit ja liittimet muun muassa autoteollisuuteen, robotiikkaan ja muihin vaativiin olosuhteisiin. Standardi määrittää kaapeleille IP67 luokituksen ja liittimien layoutin. NMEA 2000 on määrittänyt verkolle kahdentyyppisen kaapeloinnin, raskaan ja kevyen /15, s.6-9/.

Taulukko 1. Raskas ja kevyt kaapelointi /15, s8/.

	Light Cable(Micro)	Heavy Cable (Mini)
Signal Wire Gauge	24 AWG	18 AWG
Power Wire Gauge	22 AWG	16 AWG
Power Wire Resistance	5.7 ohms per 100 meters	1.6 ohms per 100 meters
Maximum Current	3 amps	8 amps



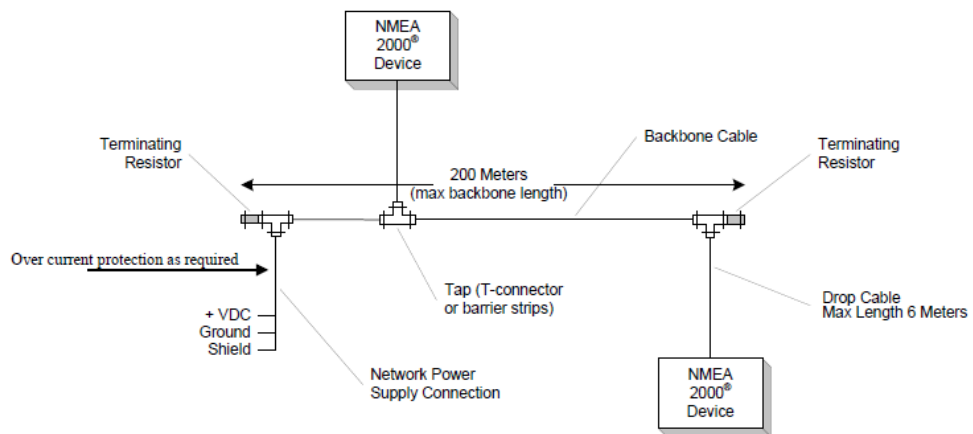
Kuva 20. Liittimien layout. ”Light Cable”/Micro-C ja ”Heavy Cable”/Mini-C /15, s.8/.



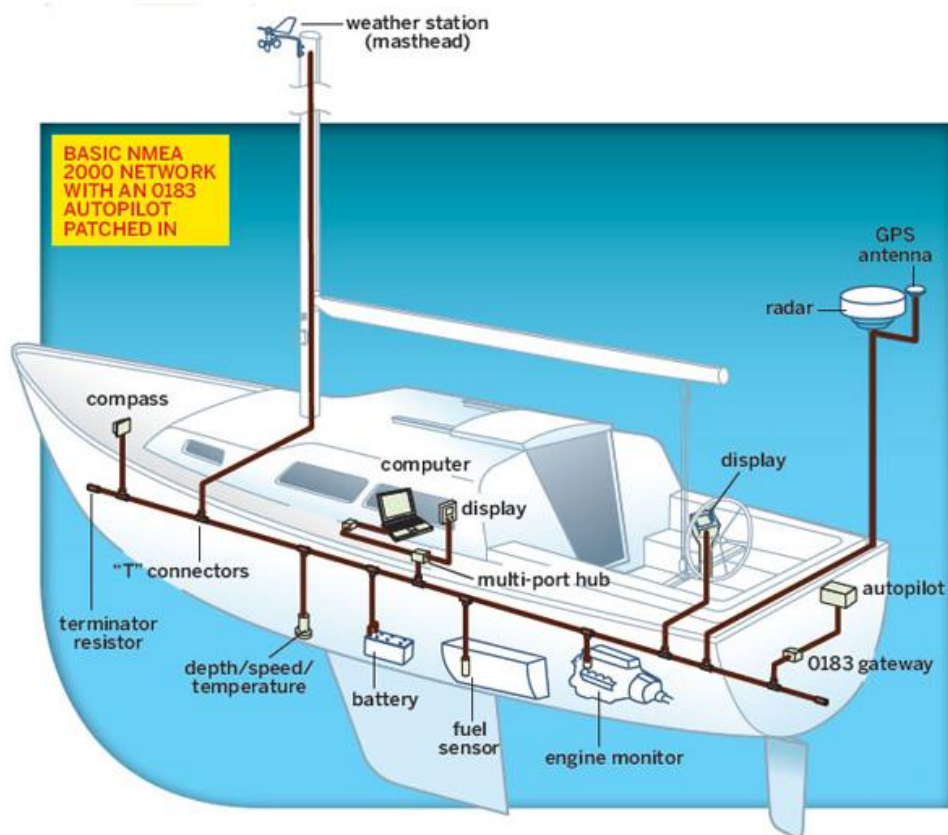
Kuva 21. NMEA 2000-standardin kaapelit ja liittimet /15, s.8/.

NMEA 2000-verkon syöttöjännitteen kokonaiskuorma on otettava huomioon verkkoa suunniteltaessa. Verkossa oleville laitteille on määritelty tehontarvetta kuvaava luku LEN (Load Equivalence Number). LEN on kokonaisluku, mikä vastaa 50mA:n kulutusta. Esimerkiksi, jos laite tarvitsee 100 mA, sen kulutus on 2 LEN. Laite määritellään kulutukseltaan 3 LEN, jos se ottaa verkosta 101mA. Suurin sallittu LEN-arvo on 20 LEN (1.0A) /15, s.10/.

Topologiaaltaan NMEA 2000-verkko on väylätyyppinen ”Backbone and Drop”. Verkko koostuu runkokaapelista, johon laitteet on liitetty t-haarojen ja yhdyskaapeleiden avulla. Runkokaapeli on molemmista päistään terminoitu 120Ω päätevastuksin. Tällä vältetään signaalin takaisinheijastuksia /15, s.9/.



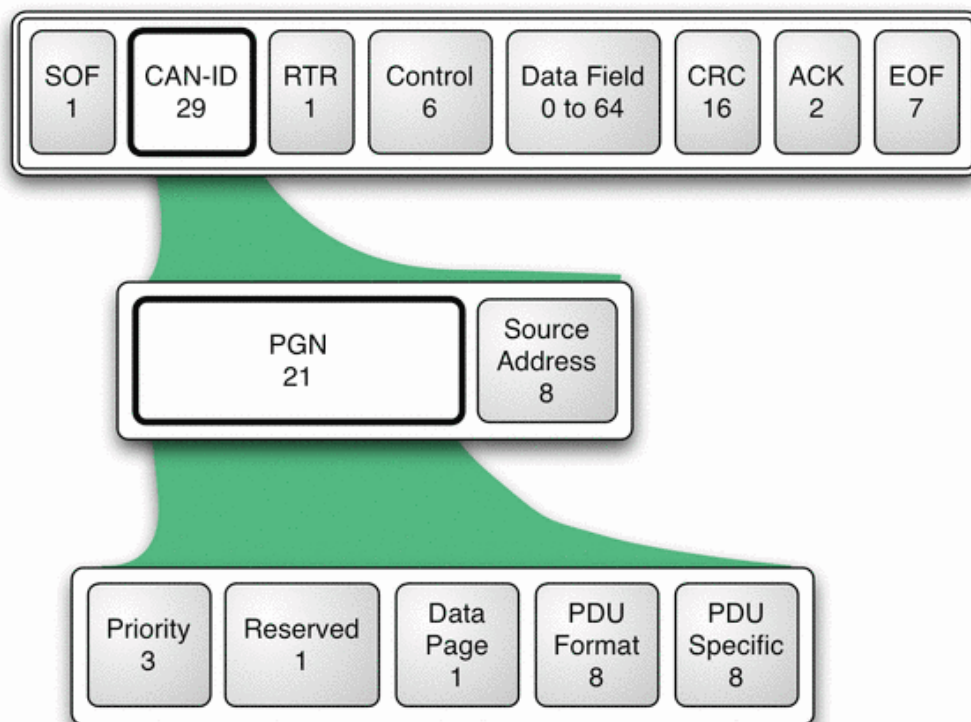
Kuva 22. NMEA 2000-verkon topologia /15, s.9/.



Kuva 23. NMEA 2000-verkko veneeseen kuvattuna /16/.

5.2 Siirtoyhteyskerros, Datalink layer

Siirtoyhteyskerros NMEA 2000-väylällä noudattelee ISO 11783-3 standardia, mikä on ulkoisesti samanlainen kuin SAE J1939-21. Tämän lisäksi NMEA 2000-standardiin on lisätty ominaisuuksia, jotka tukevat merenkulussa käytettävien laitteiden välistä tiedonsiirtoa. NMEA 2000-väylällä käytetään sarjamuotoista datakehystä, jossa on 29-bittinen tunnistekehtä ja 0-64 databittiä. Nämä ominaisuudet tulevat CAN 2.0B ”High Speed CAN”-verkkoteknologiasta /15, s.11/.



Kuva 24. High Speed CAN 29-bittinen tunnistekehtä /17/.

NMEA 2000-verkon hallinta on samanlainen kuin ISO 11783-5, mikä perustuu SAE J1939-81-standardiin. Verkossa jokaisella laitteella on oltava osoite. Osoitevaraus on 0-255, joista osoitteet 252-255 ovat varattuja. Verkon hallinta vastaa seuraavista:

- Verkon osoitteet ja osoitevaateet (Address Claim)

- Verkkoon kytkettyjen laitteiden tunnistaminen
- Verkon alustaminen käynnistettäessä.

Osoitteen lisäksi laitteen tunnistamista NMEA 2000-verkossa voidaan lisätä viesteillä, jotka sisältävät laitteesta tarkempaa informaatiota, kuten mallinumero, laiteversio, ohjelmiston versionumero, tuettu NMEA 2000-versio ja muuta. Näiden tietojen perusteella voidaan kartoittaa, mitä laitteita verkossa on ja mitkä ovat käytettävissä olevat tietolähteet /15, s.12-13/.

060928 ISO Address Claim

This network management message is used to claim network address, reply to devices requesting the claimed address, and to respond with device information (NAME) requested by the ISO Request or Complex Request Group Function. This PGN contains several fields that are requestable, either independently or in any combination.

Field #	Field Description
1	Unique Number (ISO Identity Number)
2	Manufacturer Code
3	Device Instance Lower (ISO ECU Instance)
4	Device Instance Upper (ISO Function Instance)
5	Device Function (ISO Function)
6	Reserved
7	Device Class
8	System Instance (ISO Device Class Instance)
9	Industry Group
10	Reserved (ISO Self Configurable)

Kuva 25. Osoitevaateen datakehys /18/.

126996 Product Information

Provides product information onto the network that could be important for determining quality of data coming from this product.

Field #	Field Description
1	NMEA 2000 Database Version
2	NMEA Manufacturer's Product Code
3	Manufacturer's Model ID
4	Manufacturer's Software Version Code
5	Manufacturer's Model Version
6	Manufacturer's Model Serial Code
7	NMEA 2000 Certification Level
8	Load Equivalency

Kuva 26. "Product information"-datakehys /18/.

5.3 Sovelluskerros, Application layer

Kaikki NMEA 2000-verkossa lähetetyt viestit määritellään sovelluskerroksessa. Kaikki viestit otsikoidaan parametriryhmännumerolla (Parametr Group Number, PNG). PNG on CAN-tunnistekentässä joko 8 bittinen tai 16 bittinen, riippuen siitä onko viesti broadcast tyyppinen vai ei. Jos viestin pituus ylittää 8 tavua, tarvitaan viestin kuljettamiseen useampi kuin yksi CAN-kehys. Parametriryhmänumerot (PGN) on määritelty NMEA 2000-standardin liitteessä B /15, s13/.

Parametriryhmälle kuvaavia ominaisuuksia:

- Frame Count. Jos parametriryhmä sisältää yli 8 tavun datakehysten, se on jaettava osiin. Osissa lähetettävät parametriryhmät lähetetään oletuksena ”Fast Packet Protocol”.
- Priority. Korkeammalla prioriteetilla lähetetty PGN on etusijalla, riippumatta PGN:stä tai lähdeosoitteesta.
- Destination. Parametriryhmä voidaan lähettää tiettyyn osoitteeseen tai kaikille (broadcast).
- Query Support. Parametriryhmän kentät, joita voidaan kysyä verkossa, jos tämä ominaisuus on kentälle optiona.
- Field Definitions. Jokainen parametriryhmän kenttä määritellään nimen ja kentän sisältämän datan kuvauksella. Mittayksikkönä tietokentissä käytetään SI-järjestelmän mukaisia yksiköitä /15, s13/.

ISO Acknowledgment**PGN: 059392**

This message is provided by ISO 11783 for a handshake mechanism between transmitting and receiving devices. This message is the possible response to acknowledge the reception of a "normal broadcast" message or the response to a specific command to indicate compliance or failure. The application layer is responsible for determining when this message is desired, outside of network management requirements specified by this standard (e.g. response to ISO Request message). This message will always be sent with a destination address of 255.

Single Frame: **Yes** Priority Default: **6** Default Update Rate: **NA** milliseconds Frequency: **NA** cycles per second

Destination: **Address** Query Support: ACK Rqmnts:

Field #	Field Name	Byte Field Size:	Bit Field Size:	Request Parameter	Original Reference ID # 64
1	Control Byte 0x00 = Positive Acknowledgment; 0x01 = Negative Acknowledgment; 0x02 = PGN supported but access denied; 0x03 to 0xFF = Reserved		8	No	
2	Group Function Value Group Function of PGN being acknowledged. This field identifies for a device the specific group function of a PGN being acknowledged or declined. This field is not used if the PGN being acknowledged or declined is not a group function PGN.		8	No	
3	Reserved Bits Variable number of reserved bits, all set to logic "1"		resv 24	No	
4	PGN of Requested Information 24-bit Parameter Group Number (PGN) expressed in binary, LSB is transmitted first		24	No	

Kuva 27. Parametriryhmän kenttien määrittely /15, s14/.

5.4 NMEA 2000-viestit

NMEA 2000-viestit on määritelty parametriryhmänumeroihin (PGN). Erilaisia PGN viestejä on tällä hetkellä yli sata ja niiden määrä kasvaa koko ajan. NMEA 2000-viestit ovat binäärimuotoisia, kun taas aikaisemmat NMEA 0183-lauseet olivat ASII muotoisia. NMEA 2000-verkossa voidaan käyttää suurempiin (yli 8 tavua) jaettuihin viesteihin kahta eri metodologiaa. Verkossa voidaan lähettää viestejä kolmella eri metodilla, jotka on esitelty taulukossa 2:

Taulukko 2. Kolme eri vaihtoehtoa viestien lähettämiseen /15, s.19/.

Single Frame	ISO 11783 Multi-Packet	NMEA 2000 Fast Packet
8 bytes of data	Can convey up to 1,785 bytes of data	Limited to 223 bytes of data
Destination only as defined by PGN	Can be used to send any broadcast PGN (greater than 8 bytes) to a specific device	Destination only as defined by PGN
No handshaking	Contains "handshaking" (i.e., smart transfer methods)	No handshaking
No Transfer Protocol Delays	Takes longer to send the same amount of data as Fast Packet	Takes less time to send up to 223 bytes; no Transfer Protocol Delays
Implemented by all industries	Implemented by all industries	NMEA 2000 and adopted by ISO for GNSS Con/Ag applications

5.5 NMEA 2000-sertifiointi

NMEA 2000-sertifioidut laitteet jaetaan kahteen luokkaan ja nämä luokat jaetaan vielä kahteen eri tasoon, A ja B tasoon.

- Class 1. Tämän luokan laitteissa on yksi NMEA 2000 rajapinta, jota käytetään laitteiden väliseen kommunikaatioon.
- Class 2. Tämän luokan laitteissa on kahdennettu järjestelmä. Luokan 2 laitteissa on kaksi NMEA 2000 rajapintaa ja tiedonsiirto tapahtuu rinnakkain kahta eri runkokaapelia pitkin.

Tasot A ja B perustettiin, jotta NMEA 2000-verkossa voitaisiin käyttää laajempaa valikoimaa erilaisia laitteita. Taso B luotiin yksinkertaisemmille laitteille, joiden tiedon prosessointikyky ja muistin määrä on pienempi.

Taulukko 3. Tasojen A ja B vaatimukset /15, s.21/.

PG Number (PGN)	Description	Level A	Level B
59392	ISO Acknowledgement – Used to acknowledge the status of certain requests addressed to a specific ECU	X	X
59904	ISO Request – Request the transmission of a specific PGN, addressed or broadcast	X	X
60160	ISO Transport Protocol, Data Transfer – Used to transmit large PGNs with from 9 to 1,785 data bytes as a multiple frame message	X	
60416	ISO Transport Protocol, Connection Management – Connection setup and handshaking for data transfers using Transport Protocol	X	
60928	ISO Address Claim – Used to identify to other ECUs the address claimed by an ECU	X	X
126996	Product Information – NMEA 2000® Database Version Supported, Manufacturer's Product Code, NMEA 2000® Certification Level, Load Equivalency Number, and other product-specific information	X	X
126208	Command/Request/Acknowledge Group Function	X	
126464	Transmit/Receive PGN List	X	
N/A	Fast Packet Protocol – Used to transmit large PGNs with from 9 to 233 bytes of data.	X	X



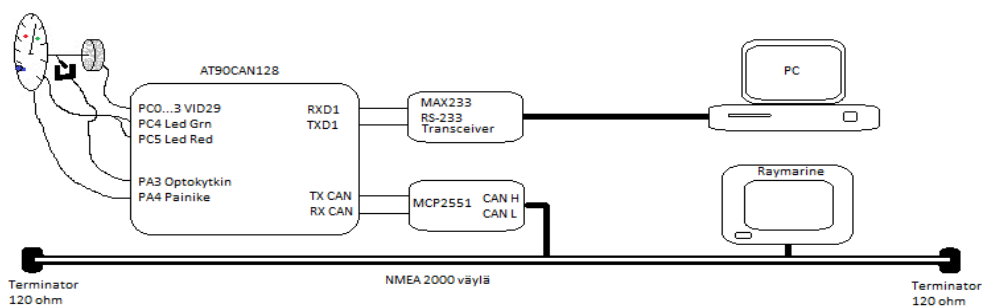
Kuva 28. Vain NMEA sertifioidut tuotteet voivat käyttää tätä logoa

6 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Tässä työssä purjeveneen mekaaninen nopeusmittari muutettiin sähköllä toimivaksi. Mittari ottaa nopeustiedon veneessä jo olevasta NMEA 2000-väylästä. NMEA 2000-väylälle nopeustiedon antaa Raymarine a67-mallinen MFD (Multi Funktion Display).

6.1 Mekaaninen ja sähkömekaaninen toteutus

Mittarin näyttö on viisarilla, jota liikutetaan askelmoottorilla. Askelmoottori on suoraan kytketty Olimex-kehitysalustan portteihin PC0...PC3. Askelmoottori ajetaan mittarin käynnistysrutiineissa referenssiin apuviisarin ja optokytkimen avulla. Näyttötaulussa on punainen ja vihreä ledi erilaista indikointia varten. Testauksessa ledejä käytettiin ilmoittamaan tietyistä PGN-viesteistä ja liikenteestä yleensä NMEA 2000-väylällä. NMEA 2000-väylään mittari on yhteydessä MCP2551 High-Speed CAN-lähetin/vastaanotinpiirin välityksellä. Tietokoneeseen oleva RS-232-sarjaliikenneväylän viestit kulkevat MAX233-piirin kautta. Mittarissa on virtakytkin ja erillinen virtaliitin. Käyttöjännite on suoraan veneen akusta +12V. Mittarin käyttöjännitteen olisi voinut ottaa myös NMEA 2000-väylältä, mutta tässä mittarissa se ei ole käytössä.



Kuva 29. Mittarin toimintaperiaate.

6.2 Työkalut ja ohjelmistot

Työssä käytettiin erityyppisiä ohjelmistoja ja laitteita sähkösuunnitteluun ja mittarin mekaanisten osien suunnitteluun ja valmistukseen. Seuraavassa lyhyesti opinnäytetyössä käytetyistä ohjelmistoista ja laitteista.

- **Atemel Studio 7.0.** Atemel Studio 7.0-ohjelmisto käyttää alustanaan Visual Studio 2015-kehitysympäristöä.
- **AVRISP MkII.** Mikrokontrollerin ohjelmointi tehtiin Atmelin AVRISP MkII-ohjelmointityökalulla. Ohjelmointityökalu kytketään tietokoneen USB-porttiin ja toinen pää kytketään mikrokontrollerille 9-napaisella liittimellä. Ohjelmoinnissa käytettiin ISP-rajapintaa. Kytkentäjohtimeen 1 (MISO, Master in/Slave out) kytkettiin $68k\Omega$ vastus maahan alavetovastukseksi. Ohjelmointi ei onnistunut ilman tätä vastusta.
- **Vscom USB-COM Mini.** Tiedonsiirrossa mikrokontrollerin ja tietokoneen välillä käytettiin RS-232-sarjaporttia. Koska nykyisistä tietokoneista ei tätä porttia yleensä löydy, väliin tarvitaan USB-RS232-adaptteri.
- **Real Term.** Sarjaportin liikennettä voidaan hallita Real Term-ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan lukea sarjaportin liikennettä ja lähettää sinne viestejä. Sarjaliikenteessä käytettiin seuraavia asetuksia: 9600 bit/s, ei pariteettibittä, 8 databittä.
- **KiCad.** Piirikaavion suunnitteluun käytettiin KiCad-ohjelmaa, mikä on piirilevynsuunnitteluohjelma (LIITE 1).
- **Freecad ja ReplicatorG.** Mittariin tarvittiin myös muutamia mekaanisia osia, joita tulostettiin 3D-tulostimella. Tulostettavat kuvat suunniteltiin ilmaisella FreeCad 3D-suunnitteluohjelmalla. Suunnitellut 3D-kuvat mallinnettiin mesh-muotoon ja tallennettiin .stl päätteellä. 3D-tulostukseen käytettiin ReplicatorG 0040-3D-tulostusohjelmaa.
- **CTC 3D-tulostin.** Osien tulostamiseen käytettiin CTC-merkkistä 3D-tulostinta, mikä on kopio MakerBot Replicator 2:sta. Tulosteiden laatu oli riittävä näihin tarpeisiin.

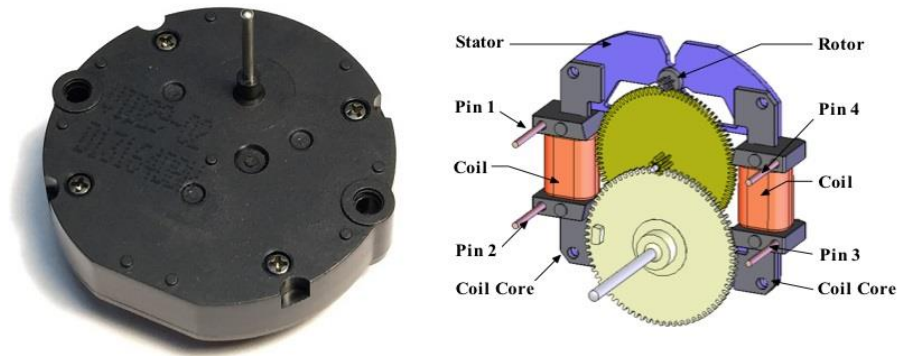
6.3 Komponentit

Mittariston pääkomponentteja ovat runko, näyttötaulu, viisarin moottori, mikrokontrollerin ”Header Board”, optokytin, sarjaväyläkortti, CAN-väyläkortti, kytkin ja liittimet. Koska mittari oli prototyyppi, niin kaikki kytkennät tehtiin kytkentäjohtoilla. Komponentit yhdelle piirilevyille integroituna, tilan tarve olisi ollut huomattavasti vähäisempi. Aikataulusyistä tähän ratkaisuun ei kuitenkaan päädytty.



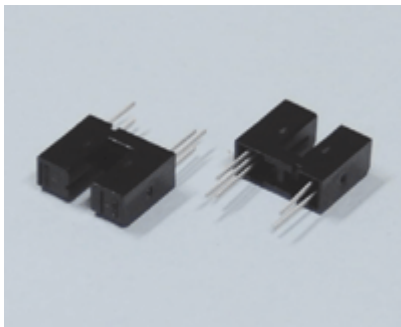
Kuva 30. Mittarin komponentit pöydällä.

Nopeusnäytön viisarin liikuttamiseen käytettiin mittarikäyttöön tarkoitettua askelmoottoria. Moottorissa on valmiina alennusvaihde. Moottori soveltui suoraan kytkettäväksi mikrokontrollerin porttiin (LIITE 2).



Kuva 31. Mittarin askelmoottori ja koneisto VID29-02P /20/.

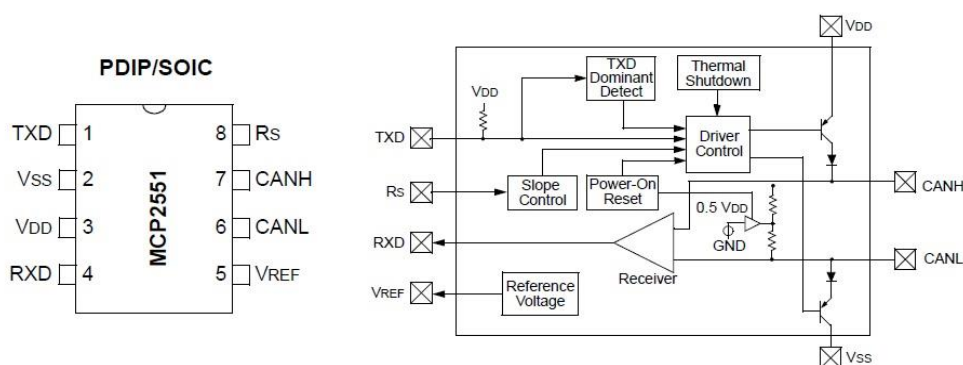
Mittarin asennon referenssin hakemiseen käytettiin haarukkamallista IR-optokytintä. Kun haarukan väliin tulee este, mikä katkaisee infrapunavalolennon, optokytin menee johtavaan tilaan. Optokyttimeen käytettiin ”apuviisaria”, mikä katkaisee valokennon, kun mittari on tietystä asennossa.



Kuva 32. IR-optokytin.

Tietokoneen ja mittarin välinen datayhteys toteutettiin RS-232-sarjaväylällä. Tätä yhteyttä käytettiin rakennusvaiheessa NMEA 2000-väylän dataliikenteen seurantaan. Yhteyttä voi hyödyntää myöhemmin väylältä saatavien tietojen seurantaan. MAX233 on rajapinta sarjaväylälle ja sen avulla mikrokontrollerilla voi lähettää ja vastaanottaa viestejä rs-232-väylältä. MAX233-piirissä on kaksi lähetintä ja kaksi vastaanottoporttia /21/.

Mikrokontrollerilla NMEA 2000-väylälle lähetetään ja vastaanotetaan viestejä high-speed CAN-lähetin/vastaanotinpiirin avulla. Tässä työssä käytetty MCP2551-lähetin/vastaanotin voi toimia maksimissaan 1 Mbit/s tiedonsiirtonopeudella. NMEA 2000-väylällä tiedonsiirtonopeutena käytetään 250 kbit/s. MCP2551 toteuttaa ISO-11898-standardin fyysisen kerroksen vaatimukset /22/.



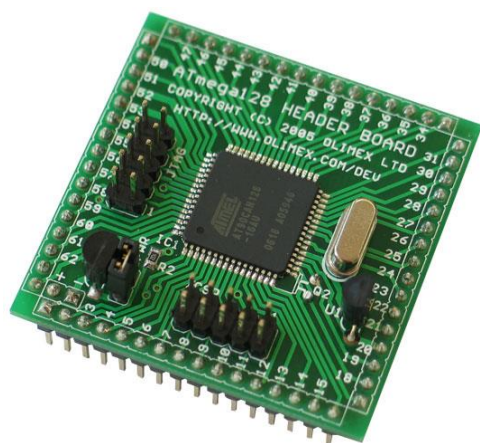
Kuva 33. High-Speed CAN-lähetin/vastaanotin /22/.

6.3.1 Olimex AVR-H128-CAN-kehitysalusta

Mittarissa käytettiin ”Olimexin AVR-H128-CAN Header Board”-kehitysalustaa. Koska AT90CAN128-mikrokontrolleria on saatavana vain pintaliitoskomponenttina, niin kehitysalustassa olevat valmiiksi kytketyt pinnit helpottavat kytkentätöitä ja mahdollistavat erilaisia koekytkeäjä. Tässä Olimexin kehitysalustassa on seuraavat ominaisuudet:

- AT90CAN128-16AU mikrokontrolleri
- 128kB Flash muisti
- 4kB RAM,
- 4kB EEPROM
- CAN-kontrolleri
- +5V jänniteregulaattori, LM78L05

/23/



Kuva 34. Olimex Header Board AT90CAN128 mikrokontrollerilla /23/.

6.4 CAN-kontrolleri

Tässä kappaleessa kerrotaan pääpiirteittäin AT90CAN129 CAN-kontrollerin ominaisuuksista ja CAN väylänhallinnan mekanismeista.

6.4.1 AT90CAN128 ominaisuudet

AT90CAN128 mikrokontrollerin CAN-kontrolleri noudattaa CAN 2.0A- ja CAN 2.0B-standardimäärittelyjä. CAN-kontrolleri pystyy käsittelemään kaikentyyppisiä viestikehyksiä (Data, Remote, Error ja Overload) aina 1 Mbit/s nopeuteen asti. CAN-kontrollerin ominaisuuksia:

- CAN 2.0A ja CAN2.0B standardit
- 15 MOB (Message Object)
 - Tunniste (Identifier tag), 11bit (CAN 2.0A) tai 29bit (CAN 2.0B)
 - Tunnistemaski (Identifier mask), 11bit (CAN 2.0A) tai 29bit (CAN 2.0B)
 - Data buffer (8 tavua, staattinen muistinvaraus)
 - Tx, Rx, kehyspuskurointi tai automaattinen vastaus
 - Aikaleima
- 1Mbit/s maksimi tiedonsiirtonopeus 8 MHz kellotaajuudella
- TTC-ajastin
- Kuuntelutila (Listening mode) /24, s.234/.

6.4.2 Viestiobjektit (MOB, Message Object)

MOB-viestiobjekti kuvaa CAN-kehysten sisältämää tietoa objektimuodossa. MOB on numeroitu väliltä 0-14. Mobin käyttötilat ovat:

- Ei käytössä
- Lähetystila
- Vastaanottotila
- Automaattivastaus
- Kehyspuskurointi, vastaanottotila /24, s.243/.

6.4.3 Ajastin, CAN timer

Ohjelmoitavaa 16-bittistä ajastinta käytetään viestien aikaleimaamiseen ja aika-laukaistuun viestintään (TTC, Time Trigger Communication) /24, s.247/.

6.4.4 Virheen hallinta, ERROR management

Kaikki solmut väylällä yrittävät tunnistaa virheitä viesteistä. Jos virhe löytyy, niin väylälle lähetetään "Error Flag". Jokainen solmu ylläpitää kahta virhelaskuria (TEC, Transmit Error Counter ja REC, Receive Error Counter). CAN-kanava voi olla kolmessa eri tilassa, mikä riippuu virhelaskurien suuruudesta: /25/

- Error Active (oletus)
 - $TEC < 128$ ja $REC < 128$
 - CAN-kanava on mukana väylän viestinnässä
 - Jos virhe havaitaan, lähetetään väylälle "Active Error"-kehys
- Error Passive
 - $TEC > 127$ tai $REC > 127$
 - CAN-kanava on mukana väylän viestinnässä
 - Jos virhe havaitaan, lähetetään väylälle "Passive Error"-kehys
- Bus Off
 - CAN-kanava ei saa olla missään vaikutuksessa väylän kanssa /24, s.248/.

6.4.5 Keskeytykset

Erilaisia keskeytyksiä ovat:

- Vastaanotto valmis ja OK
- Lähetys valmis ja OK
- Virhe (bit error, stuff error, CRC error, form error, ACK error)
- Kehyspuskuri täynnä
- ”Väylä kiinni”-asetus
- CAN-ajastimen ylitys /24, s.249/.

6.5 CAN-kontrollerin ja väylän alustaminen

CAN-kontrollerin alustuksessa määritellään esimerkiksi nopeudet, viestintään käytettävä CAN-standardi ja alustetaan rekistereitä. Tässä kappaleessa tarkastellaan tässä työssä määriteltyjä rekistereitä ja asetuksia.

Tämän bitin ollessa päällä, CAN-kontrolleri nollataan automaattisesti käynnistyksessä.

```
CANGCON = ( 1 << SWRES ); // Software reset
```

CAN General Control Register - CANGCON

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ABRQ	OVRQ	TTC	SYNTTC	LISTEN	TEST	ENA/STB	SWRES	CANGCON
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Kuva 35. Nollauspyyntö /24, s.252/.

CAN-ajastimen esijakajaa ei käytetä ja esijakaja asetetaan nolnaan (CANTCON). ”CAN Bit Timing Register, CANBT1..3”-rekisterien asetuksen on valittu vertaamalla taulukon arvoja käytössä oleviin CAN-väylän ja mikrokontrollerin arvoihin.

Taulukko 4. CAN-kellon asetukset /24, s.268/.

f _{clk_{io}} (MHz)	CAN Baudrate (Kbps)	Description			Segments				Registers		
		Sampling Point	TQ (μs)	Tbit (TQ)	Tprs (TQ)	Tph1 (TQ)	Tph2 (TQ)	Tsjw (TQ)	CANBT1	CANBT2	CANBT3
8.000	1000	63 % ⁽¹⁾		x	--- no data ---						
			0.125	8	3	2	2	1	0x00	0x04	0x12 ⁽²⁾
	500	69 % ⁽¹⁾	0.125	16	7	4	4	1	0x00	0x0C	0x36 ⁽²⁾
			75 %	0.250	8	3	2	2	1	0x02	0x04
	250	75 %	0.250	16	7	4	4	1	0x02	0x0C	0x37
			0.500	8	3	2	2	1	0x06	0x04	0x13
	200	75 %	0.250	20	8	6	5	1	0x02	0x0E	0x4B
			0.625	8	3	2	2	1	0x08	0x04	0x13
	125	75 %	0.500	16	7	4	4	1	0x06	0x0C	0x37
			1.000	8	3	2	2	1	0x0E	0x04	0x13
	100	75 %	0.625	16	7	4	4	1	0x08	0x0C	0x37
			1.250	8	3	2	2	1	0x12	0x04	0x13

```

CANTCON = 0x00;           // CAN timing prescaler set to 0;
CANBT1 = 0x06;           // Set baud rate = 250kb, IOclk = 8Mhz , Tbit = 8
CANBT2 = 0x04;           // ""
CANBT3 = 0x13;           // ""

```

CAN Bit Timing Register 1 - CANBT1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	BRP5	BRP4	BRP3	BRP2	BRP1	BRP0	-	CANBT1
Read/Write	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	-	
Initial Value	-	0	0	0	0	0	0	-	

CAN Bit Timing Register 2 - CANBT2

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	SJW1	SJW0	-	PRS2	PRS1	PRS0	-	CANBT2
Read/Write	-	R/W	R/W	-	R/W	R/W	R/W	-	
Initial Value	-	0	0	-	0	0	0	-	

CAN Bit Timing Register 3 - CANBT3

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	PHS22	PHS21	PHS20	PHS12	PHS11	PHS10	SMP	CANBT3
Read/Write	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	0	0	0	0	0	0	0	

Kuva 36. CAN-kontrollerin ajoituksen valinta /24, s.257/.

```

for ( int8_t mob=0; mob<6; mob++ ) {
    CANPAGE = ( mob << 4 );           // Selects Message Object 0-5
    CANCDMOB = 0x00;                 // Disable mob
    CANSTMOB = 0x00;                 // Clear mob status register;
}

```

CAN Page MOB Register - CANPAGE

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MOBNB3	MOBNB2	MOBNB1	MOBNB0	AINC	INDX2	INDX1	INDX0	CANPAGE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

CAN MOB Control and DLC Register - CANCDMOB

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	CONMOB1	CONMOB0	RPLV	IDE	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0	CANCDMOB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	-	-	-	-	-	-	-	

CAN MOB Status Register - CANSTMOB

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	DLCW	TXOK	RXOK	BERR	SERR	CERR	FERR	AERR	CANSTMOB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	-	-	-	-	-	-	-	

Kuva 37. Nollataan MOB-viestiobjektit 0-5 (status-, kontrolli- ja DLC-rekisterit) /24, s.260-263/.

Seuraavana valitaan CANPAGE-sivulle MOB 1 ja sallitaan MOB 1:lle keskeytykset. Tämän lisäksi sallitaan yleisesti keskeytykset (ENIT) ja vastaanoton keskeytys (ENRX).

```

CANPAGE = ( 1 << MOBNB0 );           // Select to MOB1
CANIE2 = ( 1 << IEMOB1 );           // Enable interrupts on mob1 for reception and transmission
CANGIE = ( 1 << ENIT ) | ( 1 << ENRX ); /*| ( 1 << ENTX)*/ // Enable interrupts on receive

```

CAN Page MOB Register - CANPAGE

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MOBNB3	MOBNB2	MOBNB1	MOBNB0	AINC	INDX2	INDX1	INDX0	CANPAGE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

CAN Enable Interrupt MOB Registers - CANIE2 and CANIE1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	IEMOB7	IEMOB6	IEMOB5	IEMOB4	IEMOB3	IEMOB2	IEMOB1	IEMOB0	CANIE2
	-	IEMOB14	IEMOB13	IEMOB12	IEMOB11	IEMOB10	IEMOB9	IEMOB8	CANIE1
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
Read/Write	-	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	0	0	0	0	0	0	0	

CAN General Interrupt Enable Register - CANGIE

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ENIT	ENBOFF	ENRX	ENTX	ENERR	ENBX	ENERG	ENOVRT	CANGIE
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Kuva 38. Keskeytyksien salliminen /24, s.255-260/.

”CAN Identifier Mask Register” määrittää CAN-tunnisteet, jotka suodatetaan. Tässä ei suodateta mitään, joten kaikki CAN-tunnisteet hyväksytään.

```

CANIDM1 = 0x00;           // Clear Mask, let all IDs pass
CANIDM2 = 0x00;           // ""
CANIDM3 = 0x00;           // ""
CANIDM4 = 0x00;           // ""

```

CAN Identifier Mask Registers - CANIDM1, CANIDM2, CANIDM3, and CANIDM4

V2.0 part A

Bit	15/7	14/6	13/5	12/4	11/3	10/2	9/1	8/0	
	-	-	-	-	-	RTRMSK	-	IDEMSK	CANIDM4
	-	-	-	-	-	-	-	-	CANIDM3
	IDMSK2	IDMSK1	IDMSK0	-	-	-	-	-	CANIDM2
	IDMSK10	IDMSK9	IDMSK8	IDMSK7	IDMSK6	IDMSK5	IDMSK4	IDMSK3	CANIDM1
Bit	31/23	30/22	29/21	28/20	27/19	26/18	25/17	24/16	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	-	-	-	-	-	-	-	

V2.0 part B

Bit	15/7	14/6	13/5	12/4	11/3	10/2	9/1	8/0	
	IDMSK4	IDMSK3	IDMSK2	IDMSK1	IDMSK0	RTRMSK	-	IDEMSK	CANIDM4
	IDMSK12	IDMSK11	IDMSK10	IDMSK9	IDMSK8	IDMSK7	IDMSK6	IDMSK5	CANIDM3
	IDMSK20	IDMSK19	IDMSK18	IDMSK17	IDMSK16	IDMSK15	IDMSK14	IDMSK13	CANIDM2
	IDMSK28	IDMSK27	IDMSK26	IDMSK25	IDMSK24	IDMSK23	IDMSK22	IDMSK21	CANIDM1
Bit	31/23	30/22	29/21	28/20	27/19	26/18	25/17	24/16	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	-	-	-	-	-	-	-	

Kuva 39. CAN-tunnistesuodatus /24, s.265/.

Seuraavaksi aktivoidaan vastaanottaminen, valitaan CAN-standardi 2.0B (ide=29 bits) ja valitaan datakentän pituus (8 tavua). CANGCON-rekisterillä valitaan CAN-kanava aktiiviseen tilaan (0=standby, 1=enable). Kanava siirtyy aktiiviseksi heti, kun se on vastaanottanut 11 resessiivistä bittiä.

```

CANCDMOB = ( 1 << CONMOB1 ) | ( 1 << IDE ) | ( 8 << DLC0 ); // Enable Reception 29 bit IDE DLC8

```

```

CANGCON |= ( 1 << ENASTB ); // Enable mode. CAN channel enters in enable mode once 11 recessive bits have been read

```

CAN MOB Control and DLC Register - CANCDMOB

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	CONMOB1	CONMOB0	RPLV	IDE	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0	CANCDMOB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	-	-	-	-	-	-	-	-	

CAN General Control Register - CANGCON

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ABRQ	OVRQ	TTC	SYNTTC	LISTEN	TEST	ENA/STB	SWRES	CANGCON
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Kuva 40. CAN-kanavan aktivointi /24, s.259 s.262/.

- Tarkistetaan, että lähetys on saapunut, OK.
- Tarkistetaan tietokentän pituus.
- Tarkistetaan, onko CAN-tunnistekettä haluttu.
 - Jos, niin luetaan ja talletetaan tietokenttä muistiin.
- Asetetaan/palautetaan CANCDMOB-rekisterin arvot.
- Nollataan CANSTMOB-rekisteri.
- Palautetaan ennen keskeytystä ollut CANPAGE takaisin.

```

..... Reception ISR .....
ISR ( CANIT_vect){ // use interrupts

  cli();
  int8_t length, savecanpage;
  savecanpage = CANPAGE; // Save current MOB

  CANPAGE = CANHFMOB & 0xF0; // Selects MOB with highest priority interrupt p.259 (AT90CAN-datasheet page number)

  if ( CANSTMOB & ( 1 << RXOK )){ // Interrupt caused by receive finished p.260

    length = ( CANCDMOB & 0x0F ); // DLC, number of bytes to be received p.261

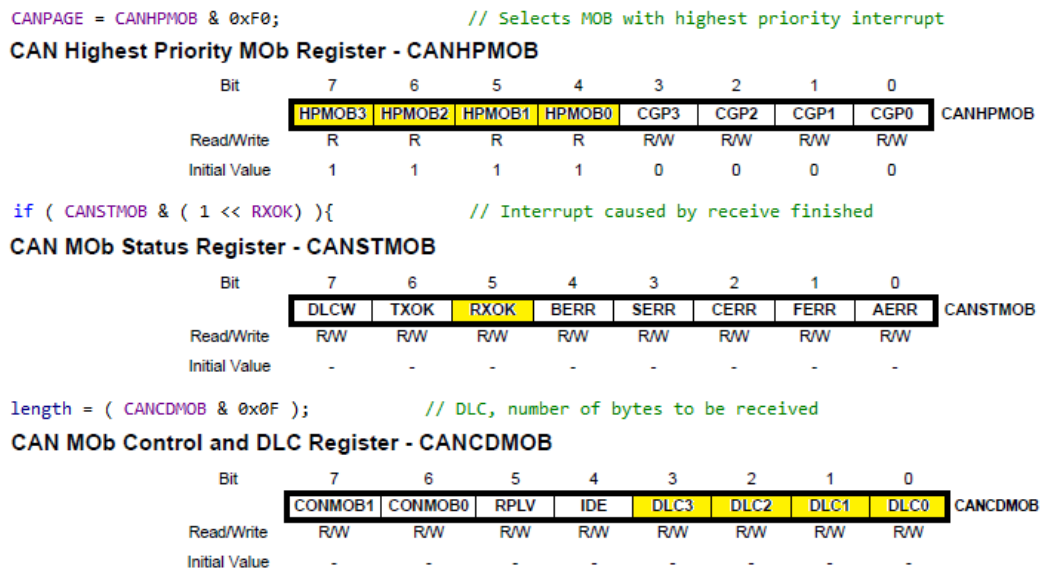
    PORTC = 0x10 ; //Message indicator, GREEN LED
    ..... Speed over ground, COG & SOG .....
    if (CANIDT1==0x4f && CANIDT3==0x10) //If PGN 129026
    {
      for ( int8_t i = 0; i < length; i++){

        data[i] = CANMSG; // Get data, INDX auto increments CANMSG
        value = data[i];
        if (i==4)
        {
          sog_speed = (uint16_t)value;
        }
        if (i==5)
        {
          sog_speed = (sog_speed|((uint16_t)value<<8));
        }
        PORTC = 0x30; //SOG speed indicator, RED+GREEN LED
        _delay_ms(50);
      } // for
    } // ENDIF SOG

    ..... IF SOG ends .....
    CANCDMOB = (( 1 << CONMOB1 ) | ( 1 << IDE ) | ( 8 << DLC0)); // Enable Reception 29 bit IDE DLC8 p.261
    // Note - the DLC field of the CANCDMO register is updated by the received MOB. If the value differs from expected DLC, an error is set
    // if
    CANSTMOB = 0x00; // Reset reason on selected channel
    CANPAGE = savecanpage; // Restore original MOB
    sei();
  }
}

```

Kuva 42. Saapuvan viestin keskeytys.



Kuva 43. MOB-rekisterit keskeytysrutiinissa /24, s.260-263/.

6.7 Nopeuden näyttäminen pääohjelmassa

Pääohjelman while-silmukan alussa nopeus muutetaan nopeusmittarin askelmootorin askeleiksi. Koska nopeustieto ei mennyt samassa suhteessa mittarin näyttötaulun kanssa, jouduttiin muunnoksessa käyttämään ohjelmassa käytettyä muunnoskaavaa. Kaava saatiin iteroimalla ja Exel-taulukkolaskentaohjelmaa apuna käyttäen. CAN-viestin tietokentässä nopeus (SOG) ilmoitetaan yksikössä m/s. Nopeusmittarin näyttötaulussa nopeuden yksikkö on solmu.

```

int main(void){
    .
    .
    while(1)
    {
        speed= ((sog_speed*23)/100)-6+(sog_speed/38)+VDO_CAL; // speed ms to steps + needle cal
        if (speed<1) speed=1; //0,35m/s
        if (speed>126) speed=75;

        if (kierros==100)
        {
            PORTC = 0x20;
            _delay_ms(500);
            can_tx_rq_speed();
            kierros = 0;
        }

        if(speed > speedold) //Move needle, knots up
        {
            cli();
            step= speed-speedold; //ms speed to needle steps
            for (uint16_t i=0;i<step;i++)//Move needle counter clockwise
            {
                vdo_clockwise_counter();
            }
            PORTC = 0x00;
            sei();
        } //if knot up ends

        if(speed < speedold) //Move needle, knots down
        {
            cli();
            step=speedold-speed; //ms speed to needle steps

            for (uint16_t i=0;i<step;i++)//Move needle counter clockwise
            {
                vdo_clockwise();
            }
            PORTC = 0x00;
            sei();
        } //if knot down ends

        speedold=speed;
        PORTC = 0x00;
        kierros ++;
        _delay_ms(20);

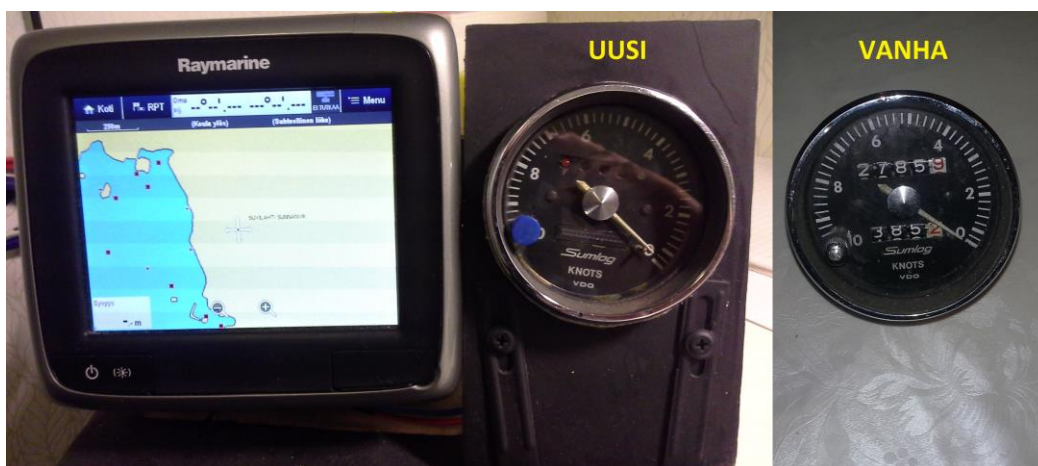
    } //While ends
} //Main ends

```

Kuva 44. Mittarin nopeuden näyttäminen.

7 TYÖN TULOKSET

Lopputyön tuloksena oli NMEA 2000-väylään liitettävä nopeusmittari. Mittari on ulkoisilta mitoiltaan lähes sama kuin ennen sen muuttamista mekaanisesta sähkötoimiseksi. Mittari sopii samaan asennusaukkoon kuin ennenkin. Käyttäjälle mittarin näyttötaulu on lähes samanlainen kuin ennen muutosta, lukuun ottamatta näyttötauluun lisättyjä ledejä ja matkanäyttämän poistumista. Yksi työn keskeisistä tavoitteista oli säilyttää mittarin ulkoinen olemus ennallaan ja tältä osin tavoite täyttyi kohtalaisen hyvin.



Kuva 45. Muutettu mittari koealustalla. Vieressä mittari ennen muutosta.

7.1 Mittarin toiminta

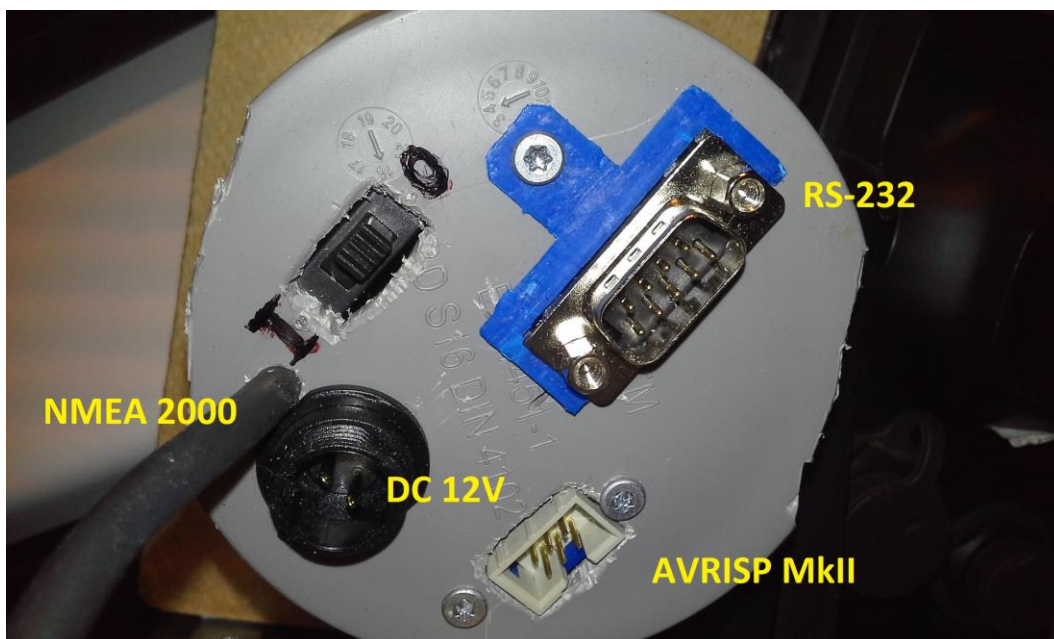
Kun mittariin kytketään virta, se aluksi hakee askelmoottorille referenssipisteen. Mittaritaulun takana oleva ”apuviisari” käy valokennolla n. 7 solmun kohdalla ja palaa takaisin näyttämään nollaa. Tämän jälkeen, kun NMEA 2000-väylältä nopeusviesti on saatavilla, mittari alkaa näyttää nopeutta.

Jos GPS-signaali on heikko tai nopeusvaihtelut ovat suuria, esim. kävelystä juoksuun ja takaisin, niin mittarin viisarin liikkeet eivät ole luonnollisia. Tämä johtuu nopeuden suhteellisen pitkästä päivitysvälistä. Purjeveneessä tämä ei kuitenkaan ole suuri ongelma, koska nopeuden vaihtelut ovat pieniä. Mittarin jouheampaa liikettä voi kuitenkin hakea viisarin nopeutta muuttamalla.

7.2 Mittarin ominaisuudet

Mittarissa on viisari ja kaksi lediä, joiden avulla informaatiota voidaan käyttäjälle antaa. Tällä hetkellä mittari näyttää viisarin avulla nopeutta, myöhemmin olisi tarkoitus lisätä myös syvyyden näyttämä. Mittarissa on yksi painike, jonka avulla mittaria voi kontrolloida. Ledit näyttävät tällä hetkellä vain NMEA 2000-väylän liikenteeseen liittyvää tietoa, mutta tarkoitus on lisätä esimerkiksi matalan veden varoitus, jolloin punainen led-merkkivalo syttyy.

Mittarin takana on virtakytkin, NMEA 2000-väyläkaapeli ja kolme liittintä (virtaliitin, RS-232-tietokoneelle ja ohjelmointiliitin AVRISP MkII:lle). RS-232-sarjaväylää on käytetty testauksessa NMEA 2000-väylän liikenteen seuraamiseen, mutta sitä voi käyttää myös muihin ulkoisiin sovelluksiin tulevaisuudessa. Mittarin runko on tehty viemäriputkesta (PVC).



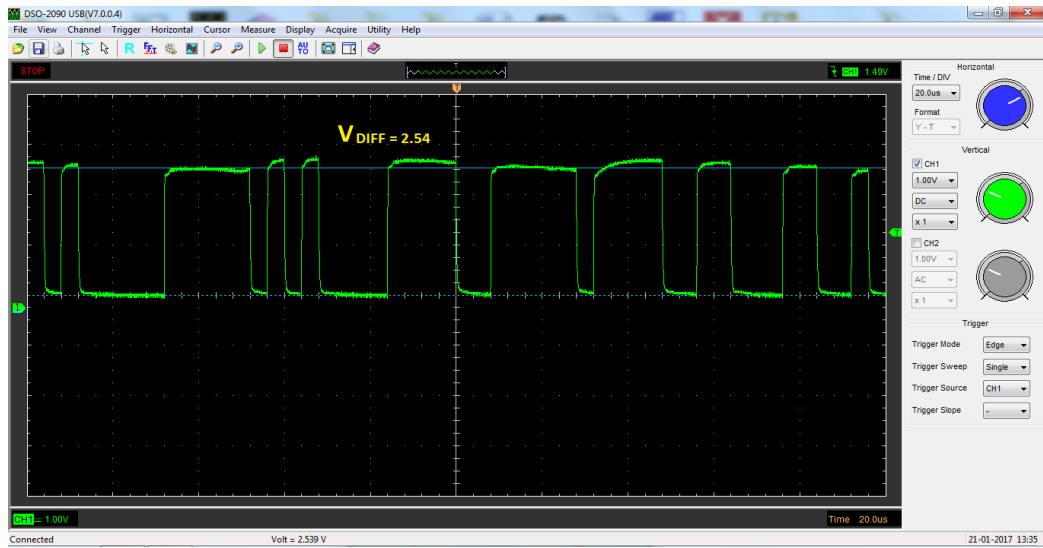
Kuva 46. Mittarin liittännät.

7.3 Mitattuja arvoja

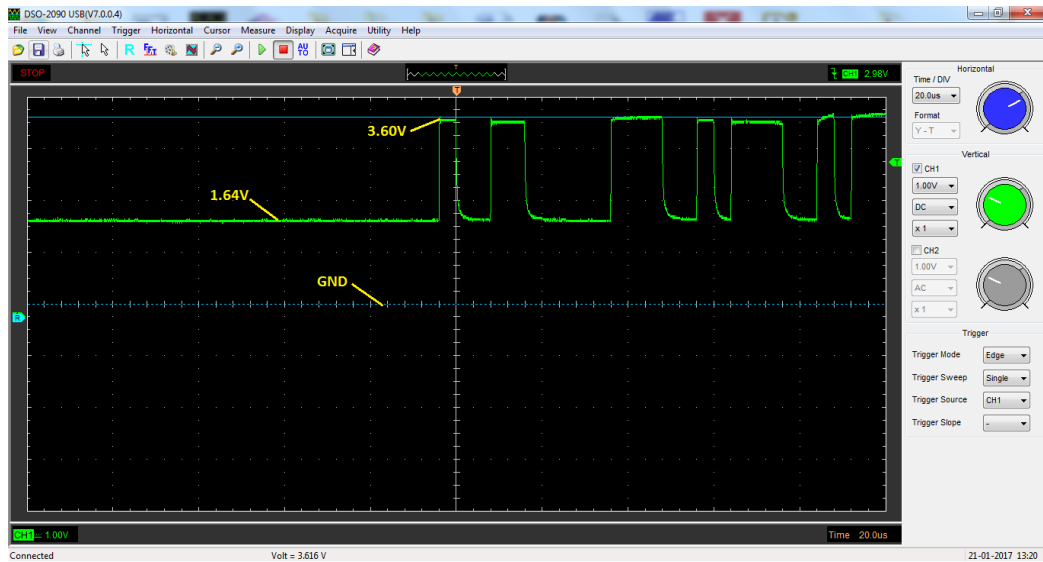
Nopeusmittarin ominaisuudet:

- Käyttöjännite 9-16V (NMEA 2000-standardi)
- Virran kulutus
 - Lepovirta 55,7 mA
 - Maksimivirta n.90 mA
 - LEN 2 (jos syöttöjännite otetaan väylältä)
- RS-232 sarjaväylä
 - 9600 bit/s
 - Ei pariteettibittiiä
 - Tietokentän koko 8 bittiiä
- Suurin näyttämä 10 solmua
- Tarkkuus ± 0.04 solmua (suhteessa GPS nopeuteen).

NMEA 2000-väylän signaalitasot mitattiin harrastekäyttöön tarkoitetulla ”Hantek DSO-2090” digitaalisella USB-oskilloskoopilla. Mittalaitteen tarkkuus on kuitenkin riittävä signaalitasojen toteamiseen. Kuvista voi lukea väylän resessiivisen tilan (1,64V) ja väylädominantin tilan ($H_i=3,60V$ ja $L_o=1,00V$).



Kuva 47. Väylän signaalitasot väliltä CAN Hi ja CAN Lo.



Kuva 48. CAN Hi -signaalin tasot.



Kuva 49. CAN Lo-signaalin tasot.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä tehtiin NMEA2000-väylään liitettävä nopeusmittari. Mittari valmistui ja toimi odotetulla tavalla. Työssä päästiin tavoitteisiin, koska mittari toimi NMEA 2000-verkossa ja näyttää nopeutta halutulla tavalla.

Lähtökohtana työlle oli muuttaa mekaaninen purjeveneen nopeusmittari sähköllä toimivaksi, nopeuden lähteenä toimii GPS-signaali. Veneessä oli jo valmiina edellytykset rakentaa NMEA 2000-verkko, koska veneessä oleva navigointilaite oli NMEA 2000 yhteensopiva. Tästä syystä nopeustieto haluttiin ottaa NMEA 2000-verkosta. Toinen syy verkon valintaan oli, että jos nopeusmittari osaa lukea NMEA 2000-viestejä, on mittarin toimintoja helppo laajentaa näyttämään muita veneen tietoja. Vaihtoehtoisina toteutustapoina nopeusmittarille oli NMEA 0183-rajapinta tai oma GPS-vastaanotin.

Lopputyössä tutustuttiin CAN-väylätekniikkaan ja siihen liittyviin standardeihin. Mikrokontrollerin ohjelmointi tehtiin Atmel Studio 7:lla ja kirjoitettiin C-kielellä. Mittarista piirrettiin kytkentäkaavio KiCad -piirilevynsuunnitteluohjelmalla. Nopeusmittariin osat suunniteltiin 3D -suunnitteluohjelmalla ja valmistettiin 3D-tulostamalla. Työssä käytettiin monipuolisesti erilaisia ohjelmistoja ja työkaluja.

Mittarin testaus- ja kehitystyötä voi vielä jatkaa eteenpäin. Ominaisuuksia voi parantaa ja NMEA 2000-verkon kommunikaatiota ja viestintää voi kehittää monipuolisemmaksi.

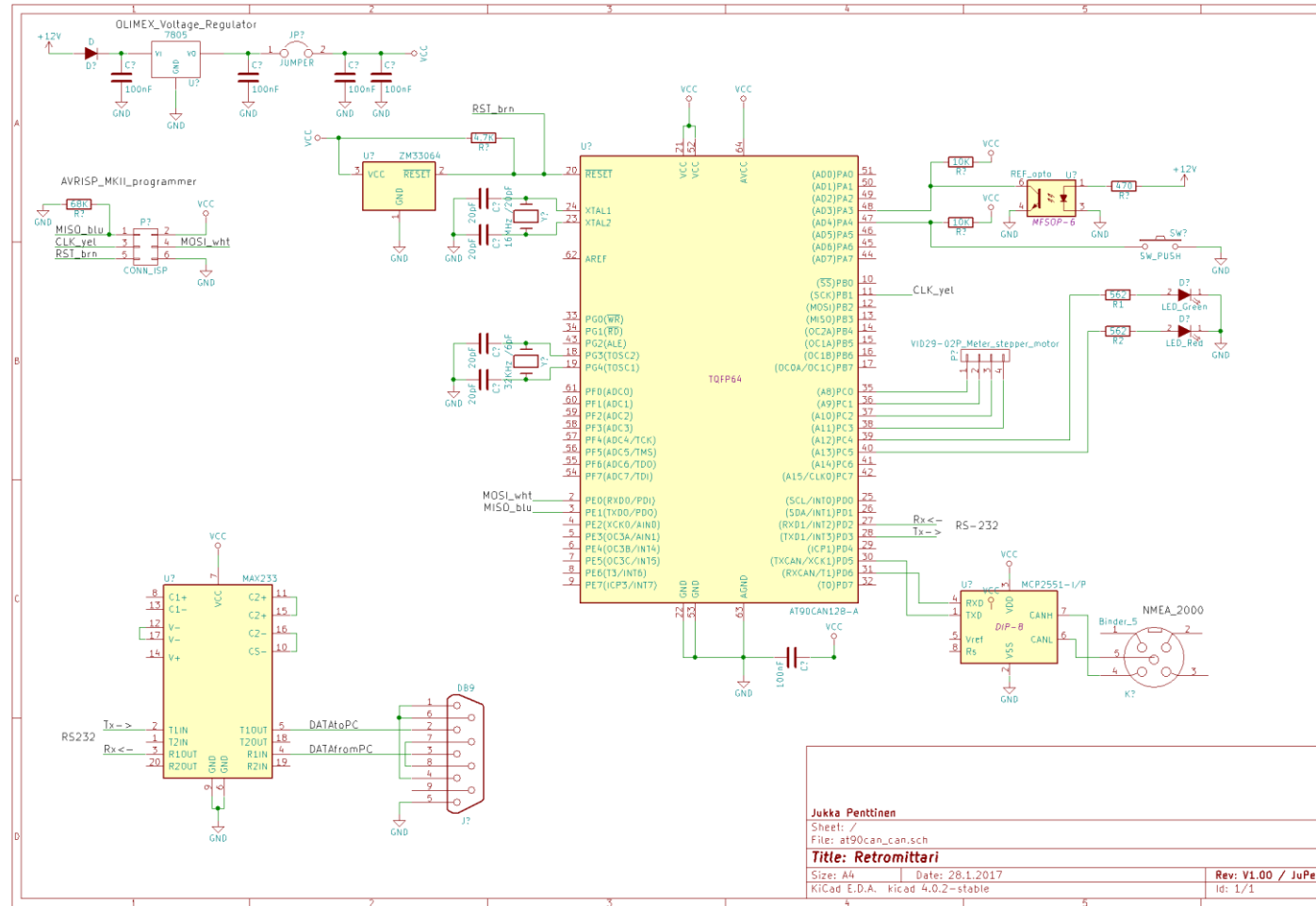
LÄHTEET

- /1/ National Marine Electronics Assososation. 2016. History of the NMEA. Viitattu 23.1.2017.
https://www.nmea.org/content/join_the_nmea/history.asp .
- /2/ Young, C. Marine Networking Guide. Viitattu 23.1.2017.
<http://www.digitalboater.com/home> .
- /3/ Wikipedia. 2016. NMEA 2000. Viitattu 23.1.2017.
https://en.wikipedia.org/wiki/NMEA_2000 .
- /4/ Raymarine. 2017. NMEA 2000/SeaTalk^{ng}. Viitattu 23.1.2017.
<http://www.raymarine.com/view/?id=5536> .
- /5/ Raymarine. 2017. Raymarine SeaTalk^{ng} kytkentä. Viitattu 23.1.2017.
<http://www.raymarine.com/view/?id=5536> .
- /6/ Spitzer, S. 2013. OneNet Summary for NMEA Board of Directors. National Marine Electronics Assososation. Viitattu 23.1.2017.
<http://www.nmea.org/Assets/20130628%20onenet%20summary.pdf> .
- /7/ Alanen, J. 2000. CAN-ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. Tampere. VTT Automaatio, koneautomaatio. Viitattu 23.1.2017.
http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf .
- /8/ Paret, D. 2005. Multiplexed Networks for Embedded Systems. Pariisi. Wiley.
- /9/ Kvaser. 2017. CAN Standards. Viitattu 24.1.2017.
<https://www.kvaser.com/about-can/can-standards/> .
- /10/ Kvaser. 2017. CAN Protocol Tutorial. Viitattu 24.1.2017.
<https://www.kvaser.com/can-protocol-tutorial/> .
- /11/ Total Phase. 2017. CAN Background. Viitattu 24.1.2017.
<http://www.totalphase.com/support/articles/200472276-CAN-Background>

- /12/ Kvaser. 2017. Higher Layer Protocols. Viitattu 24.1.2017.
<https://www.kvaser.com/about-can/higher-layer-protocols/> .
- /13/ Junger, M. 2010. Introduction to J1939. Saksa. Vector Informatic GmbH. Viitattu 24.1.2017.
https://vector.com/portal/medien/cmc/application_notes/AN-ION-1-3100_Introduction_to_J1939.pdf .
- /14/ IXXAT. 2016. SAE J1939 – a short introduction. Ruotsi. HSM Industrial Networks AB. Viitattu 24.1.2017.
<https://www.ixxat.com/technologies/fieldbuses/sae-j1939> .
- /15/ Spitzer, S. 2009. Past, Present and Future. National Marine Electronics Assososation. Viitattu 25.1.2017.
<http://www.nmea.org/Assets/20090423%20rtcm%20white%20paper%20nmea%202000.pdf> .
- /16/ Beek, C. 2012. NMEA 2000 and The Future of Onboard Networks. Sailmagazine. Viitattu 25.1.2017.
<http://www.sailmagazine.com/diy/electronics/nmea-2000-and-the-future-of-onboard-networks/> .
- /17/ Baxevanis, Y. 2012. J1939 Message format. Kreikka. Nuova Marea Ltd. Viitattu 25.1.2017.
<http://www.nuovamarea.net/blog/category/nmea%202000> .
- /18/ National Marine Electronics Assososation. 2015. NMEA 2000 Parameter Group Descriptions (messages) with Field Description. Viitattu 25.1.2017.
http://www.nmea.org/Assets/20151026%20nmea%202000%20pgn_website_description_list.pdf .
- /19/ Atmel. 2016. AVRISP MkII Users Guide. Viitattu 25.1.2017.
http://www.atmel.com/Images/Atmel-42093-AVR-ISP-mkII_UserGuide.pdf .

- /20/ Guy, C. 2012. Attack of the Switec Clones? Viitattu 25.1.2017.
<http://guy.carpenter.id.au/gaugette/2012/01/24/attack-of-the-switec-clones/>
- /21/ Maxim Integrated. 2015. MAX220-MAX249 Datasheet. Viitattu 25.1.2017. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf> .
- /22/ Microchip Technology Inc. 2010. MCP2551 Datasheet. Viitattu 25.1.2017.
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667f.pdf> .
- /23/ Olimex. 2017. AVR-H128-CAN. Viitattu 25.1.2017.
<https://www.olimex.com/Products/AVR/Header/AVR-H128-CAN/> .
- /24/ Atmel. 2008. AT90CAN128 Datasheet. Viitattu 25.1.2017.
<http://www.atmel.com/images/doc7679.pdf> .
- /25/ Kvaser. 2017. CAN Bus Error Handling. Viitattu 25.1.2017.
<https://www.kvaser.com/about-can/the-can-protocol/can-error-handling/> .

LIITE 1



LIITE 2

Driving Pulse in Partial Mode

