



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RENGASPAINNEEN VALVONTAJÄRJESTELMÄN TOIMINTA

Ossi Savolainen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Ajoneuvotekniikka
Älykkäät koneet

SAVOLAINEN OSSI:
Rengaspaineen valvontajärjestelmän toiminta

Opinnäytetyö 33 sivua
Toukokuu 2018

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää rengaspaineen valvontajärjestelmän toimintaa ja sitä koskevaa lainsäädäntöä. Työssä käytiin läpi aktiivisen ja passiivisen järjestelmän toiminta, mutta tarkempi tutkimus keskittyi rengaspainetta mittaavaan aktiiviseen järjestelmään.

Rengaspaineen valvontajärjestelmä on lain vaatima varuste uusissa autoissa. Lainsäädäntö ei pakota autonvalmistajia tiettyyn toteutustapaan rengaspainevalvonnassa. Järjestelmälle on kuitenkin määrätty vähimmäisvaatimukset, jotka sen tulee täyttää. Euroopassa ja Yhdysvalloissa on omat lainsäädäntönsä rengaspaineen valvontajärjestelmän toimintaa kohtaan.

Työn käytännön osuudessa tutkittiin yhden ajoneuvon rengaspaineen valvontajärjestelmän toimintaa. Käytännön tutkimuksessa käytettiin aktiivisella järjestelmällä varustettua vuosimallin 2017 henkilöautoa. Auton omien antureiden lisäksi tutkittiin Alcarin S3A101-tarvikeantureita, jotka pystyttiin ohjelmoimaan tutkittavaan autoon. Antureiden lähettämiä viestejä kuunneltiin eri tilanteissa ja viesteistä pyrittiin purkamaan ajoneuvolle lähetetyt tiedot.

Tutkimuksessa saatiin selvitettyä paineanturin lähettämät tiedot lähes kokonaan. Tarkempi selvitys olisi vaatinut toisenlaisen laitteiston ja kattavammat lähtötiedot.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Vehicle Engineering
Intelligent Machines

SAVOLAINEN OSSI:
The Operation of a Tyre Pressure Monitoring System

Bachelor's thesis 33 pages
May 2018

The purpose of this thesis was to figure out how a tyre pressure monitoring system functions. The thesis covered direct and indirect systems, but the main focus was on the direct system, that actually measures tyre pressure.

Tyre pressure monitoring system is a compulsory system in new cars in Europe and the United States of America. Legislation does not force a certain way of implementation, but gives requirements on how the system should perform. Europe and the U.S. have their own legislations which differ only slightly.

The work includes a practical study where the operation of the tyre pressure monitoring system was investigated. The car used in the study was a 2017 model passenger car, with a direct tyre pressure monitoring system. In addition to the car's own pressure sensors, Alcar S3A101 sensors were studied as well. They could be programmed to work with the car. Messages sent by the pressure sensors were intercepted in different environments and driving scenarios.

The content of the messages was decoded to almost a full extent. A further study would have required different equipment and more information to begin with.

Key words: TPMS, pressure sensor, tyre pressure monitoring system, legislation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA	6
3	TOIMINTAPERIAATE	8
	3.1 Passiivinen järjestelmä (indirect-järjestelmä)	8
	3.2 Aktiivinen järjestelmä (direct-järjestelmä)	9
	3.2.1 BMW:n TPMS-järjestelmä 3/2011 alkaen.....	11
	3.2.2 BMW I01 (i3) 2013 TPMS-järjestelmä	12
	3.3 Paineanturin viestin rakenne	13
4	LAINSÄÄDÄNTÖ	15
	4.1 USA FMVSS 138	15
	4.1.1 Testaus USA:ssa	16
	4.2 EU ECE(GRRF-65-40).....	17
	4.2.1 Testaus EU:ssa	17
	4.3 Suomi	19
5	KÄYTÄNNÖN TUTKIMUS.....	20
	5.1 Laitteet ja ohjelmistot	20
	5.2 Viestin sisällön selvitys	24
	5.3 Auton antureiden kuuntelua ajossa.....	26
	5.4 Rengaspaineanturin viestin sisältö.....	26
	5.5 Anturin ohjelmointi.....	28
6	POHDINTA.....	30
	6.1 Jatkotutkimukset	30
	6.2 Opinnäytetyöprosessin arviointi	30
	LÄHTEET.....	32

1 JOHDANTO

Auton rengaspaineen valvontajärjestelmän tehtävä on seurata rengaspaineita ja ilmoittaa mahdollisista muutoksista. Valvontajärjestelmiä on sekä passiivisia, että aktiivisia. Passiivinen järjestelmä päättelee rengaspaineiden muutoksen pyörien pyörintänopeuksien perusteella ja aktiivinen järjestelmä mittaa rengaspaineet langattomilla antureilla. Järjestelmistä käytetään yleisesti lyhennettä TPMS (Tyre Pressure Monitoring System).

Nykyisin rengaspaineiden valvontajärjestelmä on lain vaatima varuste uusissa autoissa. Lakimuutos on lähtenyt liikkeelle Yhdysvalloista vuonna 2007 ja tullut voimaan Euroopassa vuonna 2014. Yksi syy lakimuutokseen on ollut rengasrikot liian matalista rengaspaineista johtuen, jotka ovat aiheuttaneet jopa kuolonkolareita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä rengaspaineiden valvontajärjestelmän toimintaan ja sitä koskevaan lainsäädäntöön. Opinnäytetyö keskittyy rengaspainemittaukseen perustuvaan aktiiviseen valvontajärjestelmään henkilöautoissa. Työssä pyritään selvittämään valvontajärjestelmän toimintaperiaatetta sekä tiedonsiirto-ominaisuuksia, kuten signaalin rakennetta ja protokollaa. Työssä on myös käytännön osuus, jossa otetaan tutkittavaksi yksi ajoneuvo, jonka tiedonsiirtoa tarkastellaan lähemmin.

Opinnäytetyön aihe on lähtöisin Nokian Renkailta ja on toteutettu Nokian Renkaiden tiloissa.

2 TEORIA

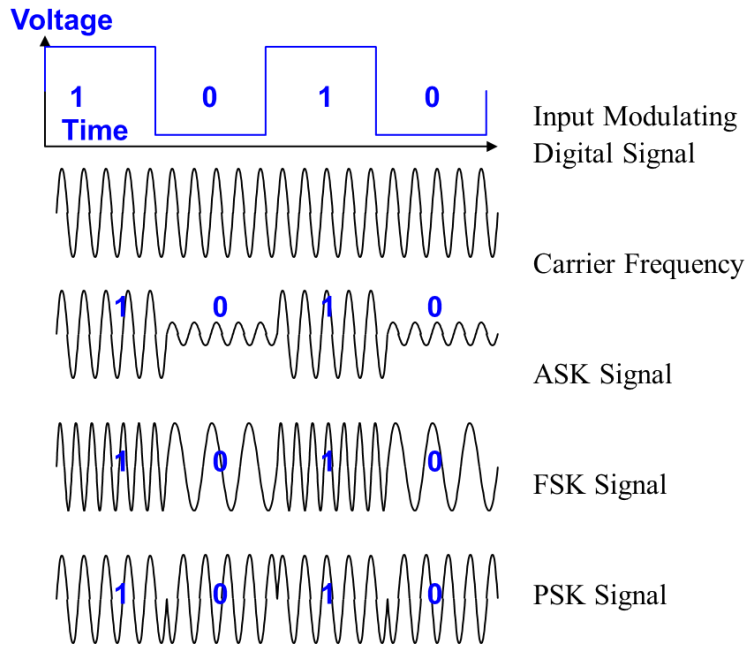
Aktiivisen rengaspaineen valvontajärjestelmän tutkimisessa oleellimmat taustatiedot liittyvät langattomaan tiedonsiirtoon. Jotta valvontajärjestelmän lähettämiä viestejä päästään tutkimaan, täytyy ne ensin saada vastaanotettua.

Langattomassa tiedonsiirrossa käytetään usein hyväksi modulaatiota. Analogisessa modulaatiossa lähetettävällä signaalilla moduloidaan eli muokataan kantaaltoa, eli varsinainen datasiinaali yhdistetään kantaaltoon. Esimerkiksi perinteisessä radiolähetyksessä kanavan taajuus tarkoittaa kantaaltoa, jolla lähetys lähetetään. Tähän kantaaltoon on moduloitu lähetysten äänisignaali, eli kantaaltoa on muutettu äänisignaalilla. Vastaanotin viritetään kantaallon taajuudelle ja demoduloimalla eli purkamalla vastaanotettu lähete, saadaan lähetetty äänisignaali esille. (Radio Academy 2018.)

Digitaalinen modulaatio toimii samalla periaatteella kuin analoginen. Tiedonsiirrolle valitaan haluttu kantaalto, jota moduloimalla saadaan tieto lähetettyä. Kantaallon ja modulaation valintaan vaikuttaa käyttökohde, esimerkiksi lähetettävä etäisyys ja ympäristön häiriöt. Kuvassa 1 on havainnollistettu eri digitaalisia modulaatiota, joista oleellimmat TPMS-järjestelmän kannalta ovat ASK- ja FSK-modulaatiot.

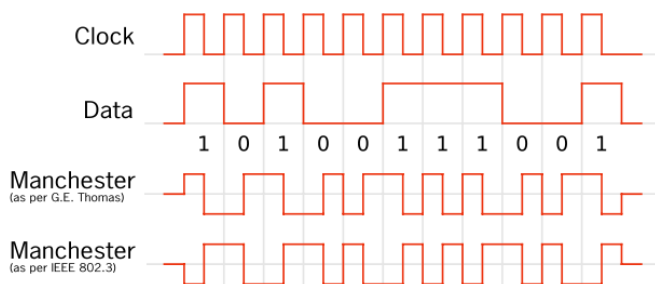
ASK-modulaatiossa eli vaihtoamplitudiavainnuksessa kantaaltoon syötetään dataa amplitudia muokkaamalla. Data voidaan syöttää siten, että tietty amplitudi vastaa digitaalista bittiä yksi (1) ja toinen amplitudi bittiä nolla (0). Modulaatio on esitetty kuvassa 1 kohdassa ASK Signal. (Faruque 2017.)

FSK-modulaatio eli vaihtotaajuusavainnuksessa kantaallon taajuutta muutetaan. Yksi taajuus vastaa digitaalista bittiä yksi (1) ja toinen taajuus bittiä nolla (0). Modulaatio on esitetty kuvassa 1 kohdassa FSK Signal. (Faruque 2017.)



KUVA 1. Digitaaliset modulaatiot (Faruque 2017)

Manchester-koodaus on menetelmä, jolla lisätään langattoman tiedonsiirron luotettavuutta ja joka ei vaadi erillistä kello-signaalia toimiakseen. Tässä työssä tutkitut paineanturit lähettivät viestinsä Manchester-koodattuina. Koodauksessa digitaaliset bitit yksi (1) ja nolla (0) esitetään tilamuutoksena. G.E. Thomas Manchester-koodauksessa tilamuutos nollassa (0) yhteen (1) esittää bittiä 0 ja tilamuutos yhdestä (1) nolnaan (0) esittää bittiä 1. Manchester-koodaus kaksinkertaistaa tiedonsiirron kaistanleveyden. Kuvassa 2 on havainnollistettu Manchester-koodaukset. (Maxim Integrated 2005.)



KUVA 2. Manchester-koodaus (Wikipedia 2018)

3 TOIMINTAPERIAATE

Rengaspaineiden valvontajärjestelmät voidaan jakaa kahteen toteutustapaan: aktiivinen (direct) ja passiivinen (indirect). Passiivinen järjestelmä ei mittaa rengaspaineita suoraan, vaan päättelee renkaan tyhjentymisen auton muiden anturitietojen perusteella. Aktiivinen järjestelmä vuorostaan mittaa renkaiden paineet ja ilmoittaa ne kuljettajalle.

3.1 Passiivinen järjestelmä (indirect-järjestelmä)

Passiivinen järjestelmä päättelee rengaspaineiden muutoksen renkaiden pyörintänopeuksien perusteella. Järjestelmä ei siis mittaa renkaiden paineita, eikä se vaadi erillisiä antureita renkaisiin. Ilman erillisiä antureita, passiivinen järjestelmä on halvempi toteuttaa kuin painetta mittaavat aktiiviset järjestelmät. (Löhndorf & Lange 2013, 56.)

Passiivinen järjestelmä käyttää hyväksi ABS-järjestelmän pyörintänopeusantureita. Järjestelmä vertaa renkaiden pyörintänopeuksia ja päättelee niiden perusteella, onko jokin rengas tyhjentynyt. Renkaan tyhjentyessä sen dynaaminen halkaisija pienenee, jonka myötä renkaan pyörimisnopeus kasvaa. Tyhjentyneen renkaan havaitsemiseen kuluu aikaa, koska ajotilanteet ja tienpinta voivat vaikuttaa pyörimisnopeuteen. Järjestelmä ei voi tulkita jokaista yksittäistä muutosta tyhjentyneeksi renkaaksi, vaan se joutuu vertaamaan arvoja pidemmältä ajalta. (Löhndorf & Lange 2013, 56.)

Kehittyneemmät passiiviset järjestelmät poimivat pyörintänopeusanturin signaalista pyörän värähtelyn ominaistajuuden. Rengaspaineen muutos muuttaa anturisignaalin taajuutta, jota järjestelmä vertaa ominaistajuuteen. Pyörintänopeustiedon ja taajuuden perusteella järjestelmä voi päätellä mahdollisen rengaspaineen muutoksen. Koska pyörintänopeusantureiden sijainnit ajoneuvossa tiedetään, järjestelmä pystyy myös ilmoittamaan tyhjentyneen renkaan sijainnin. Passiivisen järjestelmän tarkkuutta voidaan parantaa yhdistämällä siihen myös ajoneuvon kiertokulmatieto. Kun ajoneuvo kääntyy, sisemmän ja ulomman puolen pyörät pyörivät eri nopeuksilla. Kiertokulmatiedon avulla järjestelmä osaa päätellä, etteivät nopeuserot johdu rengaspaineiden muutoksesta, vaan kääntymisestä. (Persson, Gustafsson & Drevo 2002, 3–8.)

3.2 Aktiivinen järjestelmä (direct-järjestelmä)

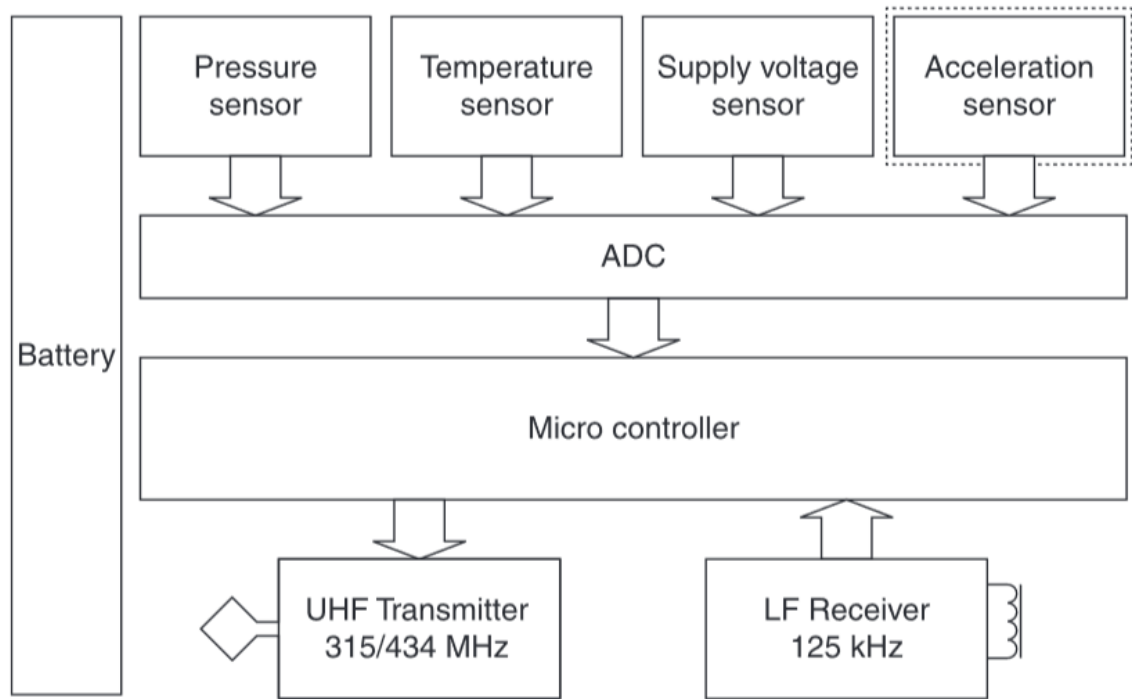
Aktiivinen järjestelmä mittaa rengaspaineet langattomilla antureilla, jotka ovat yleensä kiinnitetty vanteeseen venttiilin avulla. Anturit lähettävät tiedot ajoneuvon keskusyksikölle vapailla radiotaajuualueilla, jotka ovat Euroopassa 433,92 MHz:ä ja Yhdysvalloissa 315 MHz:ä. Mahdollinen tiedonsiirto antureille on toteutettu 125 kHz:n taajuudella. Järjestelmän keskusyksikkö valvoo antureita ja varoittaa kuljettajaa tyhjentyneestä renkaasta. Kuvassa 3 on vanteeseen asennettava paineanturi. Harmaa osa on vanteeseen kiinnitettävä venttiilin varsi ja musta osa koteloi varsinaisen elektroniikan.



KUVA 3. Alcar S3A101 -rengaspaineanturi

Renkaiden sisällä sijaitsevat anturiyksiköt sisältävät yleensä kuvan 4 mukaisesti:

- akun
- paineanturin
- lämpötila-anturin
- mikro-ohjaimen
- 315/434 MHz:n lähettimen
- 125 kHz:n vastaanottimen
- (kiihtyvyyssanturin)



3.3 Electrical components of a battery-based TPMS module.

KUVA 4. Paineanturin kaavio (Löhndorf & Lange 2013)

Anturityyppejä on erilaisia ja toiminnot saattavat vaihdella valmistajasta riippuen. Peruseriaatteena anturit lähettävät autolle renkaan painetiedon määrätyn väliajoin. Mikäli rengaspaine laskee, tietoa lähetetään tiheämmin. Joissain järjestelmissä ajoneuvo voi myös tiedustella antureilta painetietoja lähettämällä antureille pyynnön eli herätteen. Anturit mittaavat myös lämpötilaa, jotta lämpötilan muutoksesta aiheutunut paineenmuutos voidaan huomioda. Mikäli rengaspaine laskee, järjestelmä sytyttää kuljettajalle merkkivalon.

Paineantureissa on 125 kHz:n vastaanotin, jonka avulla anturi voi vastaanottaa herätteen tai ohjelmointidataa. Asennettujen paineantureiden tiedot voi kopioida uuteen tarvikkeanturiin erillisellä ohjelmointilaitteella käyttäen 125 kHz:n taajuutta. (Freescale Semiconductor 2015.)

Mikäli autossa on 125 kHz:n lähettimet, ne on sijoitettu pyöränkoteloihin lähelle antureita, joten järjestelmä pystyy erottelemaan antureiden sijainnit. Vaihtoehtoisesti joissain järjestelmissä voi olla 315/434 MHz vastaanottimet pyöränkoteloissa, jotka kuuntelevat vain yhtä anturia, jolloin antureiden sijainnit tiedetään. Joissain järjestelmissä ajoneuvon vastaanottimena toimii kaukosäätöisen keskuslukituksen vastaanotin, joka yleensä toimii samalla taajuudella kuin rengaspaineanturit. Uusimmissa järjestelmissä on yleensä vain

paineanturi jokaisessa renkaassa ja yksi vastaanotin kuuntelemassa niitä. Näin päästään pienimpään komponenttimäärään ja järjestelmän hintaa saadaan laskettua. (Ribbens 2017.)

Seuraavien alaotsikkojen alla on esitelty aktiivisten järjestelmien toimintaa kahden eri järjestelmän avulla. Esimerkeiksi valittiin BMW:n järjestelmät, sillä kyseisistä järjestelmistä löytyi hyvin tietoa.

3.2.1 BMW:n TPMS-järjestelmä 3/2011 alkaen

BMW:n järjestelmään kuuluu TPM-ohjainyksikkö (tyre pressure monitoring), jossa on sisäänrakennettu vastaanotin, ja pyörissä sijaitsevat paineanturit. Paineantureiden paristojen käyttöikä on arvioitu noin 7,5 vuotta. Paristojen varaustilan pystyy tarkistamaan auton diagnostiikan kautta. (BMW Technical Training 2012.)

Ajossa anturiyksiköt heräävät yli 20 km/h nopeudessa ja lähettävät yhteensä 25 viestiä 2 sekunnin välein. Tämän jälkeen anturit siirtyvät valmiustilaan ja lähettävät anturitiedot 18 sekunnin välein. Anturit palaavat lepotilaan 5 minuutin paikallaanolon jälkeen. Mikäli rengaspaine laskee yli 20 kPa, paineanturi alkaa lähettää painetietoa sekunnin välein. Järjestelmä varoittaa kuljettajaa, jos rengaspaine laskee yli 25 %. (BMW Technical Training 2012.)

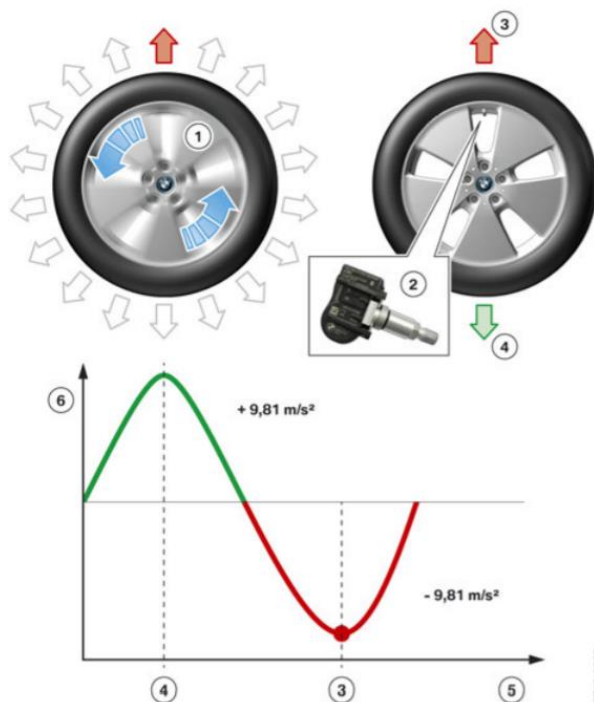
Opetustilassa järjestelmä hakee antureiden sijainnit ajoneuvossa ja antureiden sen hetkiset paineet määritetään vertailupaineiksi. Opetustila käynnistetään ajoneuvon valikosta. Järjestelmä tunnistaa antureiden sijainnit niiden lähettämien kiihtyvyydestietojen perusteella. Kiihtyvyyden perusteella voidaan päätellä, kummalla puolella autoa anturi sijaitsee. Antureilta vastaanotettujen signaalien vahvuuksia vertaamalla järjestelmä päättelee, sijaitseeko anturi edessä vai takana. TPM-ohjainyksikkö sijaitsee ajoneuvon takaosassa, joten vahvemman signaalin anturit sijaitsevat ajoneuvon taka-akselilla. (BMW Technical Training 2012.)

3.2.2 BMW I01 (i3) 2013 TPMS-järjestelmä

Järjestelmä sisältää 4 rengaspaineanturia ja vastaanottimena toimii kaukolukituksen vastaanotin. Paineantureiden paristojen käyttöiäksi on ilmoitettu noin 10 vuotta tai 300000 kilometriä. Paristojen varaustilan pystyy tarkastamaan ajoneuvon diagnostiikan kautta. Järjestelmä varoittaa kuljettajaa, mikäli rengaspaine putoaa yli 20 % tai alle 1,6 bar:in. (Bmwtech 2014.)

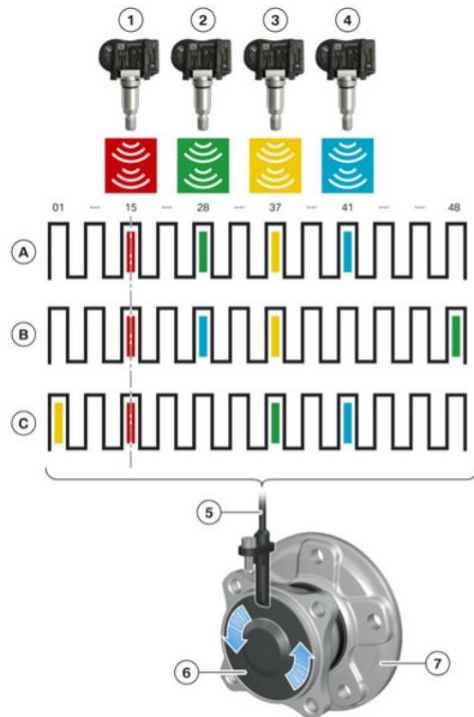
Paineantureilla on kolme eri toimintatilaa: lepotila (Sleep), valmiustila (Standby) ja opetustila (Teach-in). Anturi pysyy lepotilassa, kun rengaspaine ei muutu, eikä auto liiku yli 30 kilometrin tuntinopeudella. Anturi ei lähetä viestejä kyseisessä tilassa. Kun autolla ajetaan yli 30 km/h paineanturit siirtyvät opetustilaan, mikäli autolla ei ole ajettu 8 minuutin aikana. Muuten anturit siirtyvät valmiustilaan, jossa ne lähettävät viestin 64 sekunnin välein. (Bmwtech 2014.)

Opetustilassa määritetään antureiden sijainnit autossa. Anturit lähettävät toisistaan riippumattomia viestejä noin 16 sekunnin välein. Anturi lähettää viestin sen ollessa pyörässä kello 12:ssa kuvan 5 mukaisesti. Anturi tunnistaa sijainnin pyörässä kiihtyvyyssiedon perusteella. Kun anturi sijaitsee pyörän ylimmässä kohdassa, painovoima pienentää pyörimisestä johtuvaa kiihtyvyyttä. (Bmwtech 2014.)



KUVA 5. Paineanturin sijainnin määrittely pyörähdyksessä (Bmwtech 2014)

Antureiden viesteille määritetään kohdat ABS-antureiden kehiltä kuvan 6 mukaisesti. Kuvassa 6 näkyy neljän anturin viestit ja yhden ABS-anturin signaalit kolmelta lähetykskerralta. Anturi numero 1 pyörii samassa pyörässä kyseisen ABS-anturin kanssa. (Bmwtech 2014.)



KUVA 6. Paineanturin lähetyksen yhdistäminen ABS-signaaliin (Bmwtech 2014)

Koska anturit lähettävät viestit aina samassa kohtaa pyörän pyörähdystä, voidaan jokaiseen anturiin yhdistää ABS-signaali. ABS-antureiden sijainnit autossa tiedetään, joten niiden perusteella voidaan määrittää paineantureiden sijainnit. Pyörien pyörimisnopeudet eroavat toisistaan kaarreajon ja luiston seurauksena, joten paineantureiden ajoitukset ylimpään kohtaan pyörää vaihtelevat. Opetustila kestää maksimissaan 10 minuuttia, jonka jälkeen anturit siirtyvät valmiustilaan. (Bmwtech 2014.)

3.3 Paineanturin viestin rakenne

Tiedonsiirto anturilta ajoneuvolle on toteutettu 315 MHz:n tai 433,92 MHz:n taajuisella radiolähetyksellä. Tiedonsiirrossa käytetään FSK- ja/tai ASK-modulointia. Manchesterkoodauksen käyttö on myös mahdollista. Kuvassa 7 on esitetty paineanturin tyypillinen

viestirakenne. Viestin alkuosa synkronoi lähettimen ja vastaanottimen. Sen jälkeen lähetetään anturin ID eli tunnistetieto, jotta vastaanotin tietää miltä anturilta viesti on. ID:n jälkeen tulee renkaan paine- ja lämpötilatiedot. Seuraavaksi tuleva tilatieto voi sisältää esimerkiksi tiedon paineanturin akun varauksesta.

Tarkistussumma (Check sum) on viestin sisällön tarkastus, jolla voidaan varmistaa, että viesti on vastaanotettu oikein. Tarkistussumma voi olla esimerkiksi vastaus tiettyyn yhtälöön, joka muodostetaan määrätystä osasta viestiä. Paineanturi luo lähetettävän tarkastuksen tietyllä kaavalla ja auton keskusyksikkö tarkistaa vastaanotetun viestin ja tarkastuksen samalla kaavalla. Tarkistuksen jälkeen tulee vielä ilmoitus viestin päättymisestä. Esitetty viestirakenne on esimerkki. Viestin rakenne voi vaihdella valmistajakohtaisesti, eikä järjestelmän tiedonsiirrolle ole olemassa virallista protokollaa tai standardia.

Table 3.2 Typical RF datagram of current TPMS module

Byte	Description	Comments
1	Synchronization	Synchronization bytes for the receiver
2	Synchronization	
3	Identification ID3	Unique 32 bit ID number
4	Identification ID2	
5	Identification ID1	
6	Identification ID0	
7	Pressure	Pressure value
8	Temperature	Temperature value
9	Diagnostics	Status information
10	Check sum	CRC
11	End of message	1–2 bits

KUVA 7. Rengaspaineanturin tyypillinen viestirakenne (Löhndorf & Lange 2013)

4 LAINSÄÄDÄNTÖ

Lainsäädäntö ei pakota auton valmistajia tiettyyn toteutustapaan rengaspainevalvonnassa. Järjestelmälle on määrätty vähimmäisvaatimukset, jotka sen tulee täyttää. Rengaspaineen valvontajärjestelmän tulee varoittaa rengaspaineen muutoksesta säädettyssä ajassa. Järjestelmälle on myös säädetty nopeusalueita, joilla sen tulee toimia.

On hyvä huomioida, että Euroopassa ja Yhdysvalloissa on omat lainsäädäntönsä rengaspaineiden valvontajärjestelmän toimintaa kohtaan. Lainsäädännöt eivät kuitenkaan merkittävästi eroa toisistaan, minkä vuoksi universaali järjestelmä on mahdollista toteuttaa. Alla on kuvattu pääpiirteet Euroopan ja Yhdysvaltojen lainsäädännöstä ja testauksesta. Tarkemmat tiedot löytyvät kyseisistä lakiteksteistä.

4.1 USA FMVSS 138

USA:n lainsäädäntö vaatii rengaspaineen valvontajärjestelmän vuoden 2007 jälkeen valmistettuihin ajoneuvoihin, joiden suurin massa on alle 4536 kg (10,000lb). Laki ei koske ajoneuvoja, missä jollain akselilla on paripyörät. Järjestelmän tulee havaita yhden (1) tai useamman renkaan tyhjenemisen, neljään (4) renkaaseen asti. Järjestelmän tulee toimia nopeusvälillä 50-100 km/h. Järjestelmän tulee varoittaa kuljettajaa 20 minuutin sisällä, jos: yhden tai useamman renkaan paine laskee yli 25 % vertailupaineesta, tai yhden tai useamman renkaan paine laskee alle kuvan 8 ilmoittaman paineen. Vertailupaine on valmistajan ilmoittama täyttöpaine kylmässä renkaassa. Järjestelmän tulee ilmoittaa toimintaviasta kuljettajalle 20 minuutin sisällä sen tapahtumisesta. Häiriövalot/-ilmoitukset tulee poistua vasta, kun vika/viat on korjattu järjestelmästä. (Title 49 CFR §571.138.)

TABLE 1—LOW TIRE PRESSURE WARNING TELLTALE—MINIMUM ACTIVATION PRESSURE

Column 1—tire type	Column 2—maximum or rated inflation pressure		Column 3—minimum activation pressure	
	(kPa)	(psi)	(kPa)	(psi)
P-metric—Standard Load	240,	35,	140	20
	300, or	44, or	140	20
	350	51	140	20
P-metric—Extra Load	280 or	41 or	160	23
	340	49	160	23
Load Range C	350	51	200	29
Load Range D	450	65	240	35
Load Range E	550	80	240	35

KUVA 8. Sallitut minimipaineet (Title 49 CFR §571.138 2018)

4.1.1 Testaus USA:ssa

Järjestelmän hyväksyntätestaus tulee suorittaa Treadwear Test Coursen eteläisellä osuudella. Treadwear Test Course on lainsäätäjien määrittämä tieosuus Yhdysvalloissa, jossa järjestelmää testataan. Ilman lämpötilan tulee olla 0 ja 40 celsiusasteen välillä ja tien tulee olla kuiva. Ajoneuvon painon tulee olla omamassan plus 180 kg (lightly loaded vehicle weight) ja valmistajan ilmoittaman kokonaismassan välillä. TPMS-järjestelmä kalibroidaan ja testataan nopeusvälillä 50-100 km/h. Järjestelmä tulee testata renkailla, joilla autoa aiotaan myydä. (Title 49 CFR §571.138.)

Testaus aloitetaan täyttämällä renkaat valmistajan ilmoittamiin rengaspaineisiin. Jos järjestelmän voi nollata, tulee se tehdä valmistajan ohjeiden mukaisesti ennen varsinaista testausta. Testaus aloitetaan järjestelmän kalibrointiajolla. Ajoneuvoa ajetaan maksimissaan 15 minuuttia yhteen suuntaan ja vähintään 5 minuuttia toiseen suuntaan, jotta saadaan 20 minuutin kumulatiivinen ajo. Ajon ei tarvitse olla jatkuvaa. Ajon jälkeen yksi tai useampi rengas tyhjenetään 7 kPa alle vaaditun paineen, mistä järjestelmän tulisi varoittaa. Autolla tulee ajaa yhteen suuntaan 10-15 minuuttia viiden minuutin sisällä renkaan/renkaiden tyhjentämisestä. Suuntaa vaihdetaan ja ajetaan, jotta saadaan kumulatiiviseksi ajoajaksi 20 minuuttia. Järjestelmän tulee varoittaa kuljettajaa tämän 20 minuutin aikana. (Title 49 CFR §571.138.)

Kun järjestelmä on varoittanut kuljettajaa, sammutetaan autosta virrat viideksi (5) minuutiksi ja laitetaan virrat päälle, jotta varmistutaan, että järjestelmä edelleen varoittaa tyhjentyneestä renkaasta. Autoa pidetään tunti sammuksissa, jonka jälkeen kaikki renkaat täytetään valmistajan määrittämiin paineisiin. Mikäli TPMS-järjestelmän voi nollata manuaalisesti, se tulee tehdä valmistajan ohjeiden mukaisesti. Ajoneuvolla ajetaan, kunnes järjestelmän varoitukset poistuvat. (Title 49 CFR §571.138.)

TPMS-järjestelmän tulee havaita siinä itsessään ilmenevä toimintavika ja ilmoittaa siitä kuljettajalle. Toimintavikaa voidaan simuloida katkaisemalla yhteys johonkin järjestelmän komponenttiin tai asentamalla pyörä, joka ei tue TPMS-järjestelmää. Toimintavian testauksessa autolla ajetaan maksimissaan 15 minuuttia yhteen suuntaan ja tietty aika toiseen suuntaan, jotta saadaan 20 minuutin kumulatiivinen ajoaika. Järjestelmän tulee varoittaa kuljettajaa viasta tämän ajon aikana. Kun järjestelmä varoittaa, käytetään autosta virtoja pois taas 5 minuuttia ja tarkastetaan, että varoitus ilmestyy taas, kun virrat laitetaan

päälle. Järjestelmä tulee palauttaa toimintakuntoiseksi ja autolla ajaa, kunnes varoitus poistuu. Testauksessa tulee simuloida vain yhtä vikaa kerrallaan. (Title 49 CFR §571.138.)

4.2 EU ECE(GRRF-65-40)

EU:ssa, 2014 lokakuun jälkeen käyttöön otetuissa, luokan M1 ja N1 ajoneuvoissa tulee olla TPMS-järjestelmä. Määräys koskee ajoneuvoja, joiden massa on alle 3500 kg. Järjestelmän tulee toimia vähintään 40 km/h nopeudesta, aina ajoneuvon rakenteelliseen maksiminopeuteen asti.

Järjestelmän toiminta on määritelty kahden eri tyhjenemistapahtuman kautta, jotka ovat äkillinen paineen putoaminen ja luonnollinen tyhjentyminen. Järjestelmän tulee varoittaa äkillisestä paineen putoamisesta viimeistään 10 minuutin kuluttua, jos paine laskee yhdessä renkaassa vähintään 20 % käytönaikaisesta paineesta tai, jos paine laskee alle 150 kPa:n. Sen tulee varoittaa viimeistään 60 minuutin kumulatiivisen ajon jälkeen, mikäli paine on laskenut yhdessä tai useammassa renkaassa yli 20 % käytönaikaisesta paineesta. Käytönaikaisella paineella tarkoitetaan rengaspainetta, johon valmistajan ilmoittama kylmäpaine nousee ajoneuvon käytön seurauksena. Järjestelmän tulee varoittaa siinä ilmenneestä viasta 10 minuutin kuluessa. (EUR-Lex. 2010.)

4.2.1 Testaus EU:ssa

TPMS-järjestelmän vaatimusten täyttyminen varmistetaan erikseen määritellyllä testauksella. Testauksessa ilman lämpötilan tulee olla 0-40 celsiusasteen välillä ja tien tulee olla pitävä ja kuiva. Auton kuormauksella ei ole väliä, kunhan valmistajan ilmoittamat akselipainot eivät ylity. Jos järjestelmää ei voi nollata, ajoneuvon tulee olla kuormaamaton. (EUR-Lex. 2010.)

Järjestelmä kalibroidaan ja testataan puhkeamistestissä nopeusvälillä 40-120 km/h tai ajoneuvon suurimmalla rakenteellisella nopeudella, jos se on alle 120 km/h. Luonnollinen

tyhjeneminen ja järjestelmän toimintavika testataan nopeusvälillä 40-100 km/h tai ajo-neuvon suurimmalla rakenteellisella nopeudella, jos se on alle 100 km/h. (EUR-Lex. 2010.)

Ennen testauksen aloittamista autoa tulee seisottaa vähintään tunnin suojattuna suoralta auringon paisteelta ja muilta lämmittäviltä ja jäädyttäviltä vaikutuksilta. Seisonnan jälkeen rengaspaineet tulee asettaa valmistajan ilmoittamiin kylmäpaineisiin. Tämän jälkeen TPMS-järjestelmä nollataan valmistajan ohjeiden mukaisesti, mikäli mahdollista. Nollauksen jälkeen ajetaan 20 minuutin opetusvaihe. Tämän aikana autolla ajetaan 70-90 km/h keskinopeudella, käyttäen aikaisemmin mainittua nopeusväliä. Nopeusväliltä voi poiketa ajon aikana 2 minuutin kumulatiivisen ajon ajaksi. Mikäli ajo suoritetaan ovaalilla radalla tai radalla, jossa käännetään vain yhteen suuntaan, tulee molempiin suuntiin ajaa yhtä kauan (+/- 2 minuuttia). Renkaiden lämminpaine tulee mitata viiden (5) minuutin sisällä opetusvaiheen päättymisestä. (EUR-Lex. 2010.)

Puhjennun renkaan testauksessa yksi rengas tulee tyhjentää seuraavista korkeampaan: Lämminpaine - 20 % tai 150 kPa. Tyhjennys tulee tehdä 5 minuutin kuluessa lämpimän paineen mittauksesta. Paineen annetaan tasaantua 2-5 minuuttia, jonka jälkeen se tarkastetaan ja tarvittaessa korjataan määrättyyn. Autolla ajetaan 10 minuutin kumulatiivinen ajo, jonka aikana järjestelmän tulee varoittaa alhaisesta rengaspaineesta. (EUR-Lex. 2010.)

Luonnollisen tyhjentymisen testauksessa kaikista neljästä (4) renkaasta vähennetään 20 prosenttia lämpimästä paineesta, jonka lisäksi vähennetään vielä 7 kPa. 2-5 minuutin paineen tasauksen jälkeen paineet tarkistetaan ja tarvittaessa korjataan. Autolla ajetaan 20-40 minuutin ajo, jonka jälkeen auto pysäytetään ja sammutetaan 1-3 minuutiksi. Tämän jälkeen ajoa jatketaan, jotta saadaan 60 minuutin kumulatiivinen ajo. Järjestelmän tulee varoittaa alhaisesta rengaspaineesta testin aikana. (EUR-Lex. 2010.)

4.3 Suomi

Suomessa renkaiden paineenvalvontajärjestelmän poiskytkentä on sallittua, kunhan muutos ei oleellisesti heikennä liikenneturvallisuutta. Aktiivisen TPMS-järjestelmän asentaminen toiseen rengassarjaan on katsottu tuovan kohtuuttomia lisäkuluja autoilijoille. Trafi on katsonut, että koska Suomessa on talvirengaspakko, renkaiden kunto tulee tarkistettua säännöllisesti. (Trafi. 2015.)

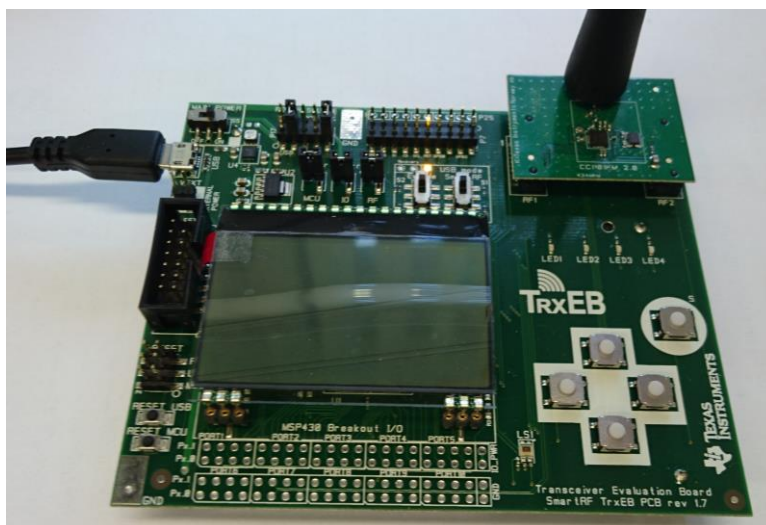
5 KÄYTÄNNÖN TUTKIMUS

Aktiivisen rengaspaineen valvontajärjestelmän käytännön tutkimuksessa käytetty auto oli vuosimallia 2017. Lähes uuden auton voitiin olettaa sisältävän uusinta TPMS-tekniologiaa, mitä kyseisen koko- ja hintaluokan autoissa on käytössä. Auton omien antureiden lisäksi tutkittiin Alcarin S3A101 -tarvikeantureita, jotka pystyttiin ohjelmoimaan tutkittavaan autoon.

5.1 Laitteet ja ohjelmistot

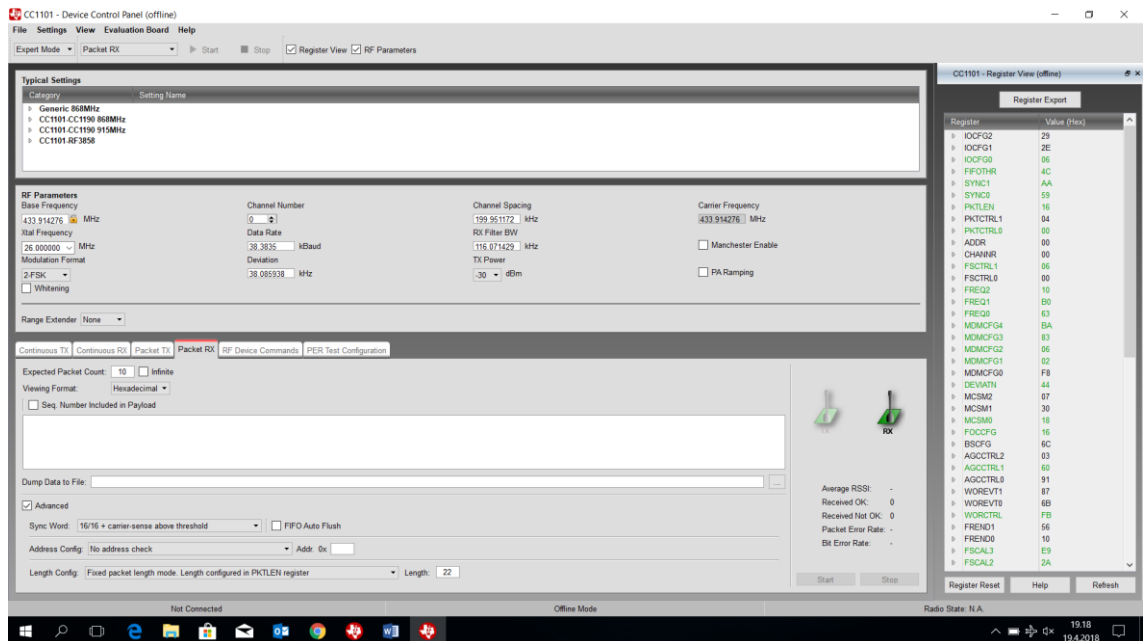
Käytännön tutkimusta varten oli löydettävä laitteet ja ohjelmistot, joilla pystyttäisiin selvittämään paineanturin toimintaa. Antureista tiedettiin niiden lähetystaajuus ja mahdollinen modulaation ja Manchester-koodauksen käyttö. Tavoitteena oli saada paineanturin viesti luettavaksi mahdollisimman helposti. Valittu Texasin laitteisto tuntui tilattaessa käyttökelpoisimmalta vaihtoehdolta.

Kuvassa 9 on Texas Instrumentsin SmartRF Transceiver testausalusta, johon on kiinnitetty oikeaan yläkulmaan Texas Instrumentsin CC1101 testausmoduuli ja 433 MHz:n antenni. Testausalustassa oli näyttö, jota ei käytetty, koska laitetta ohjattiin tietokoneelta. Kyseisellä laitteistolla pystyttiin vastaanottamaan ja lähettämään paineantureiden viestejä 434,92 MHz:n taajuudella. Laitteisto tuki ASK- ja FSK-modulaatioita ja sillä oli mahdollista purkaa Manchester-koodaus.



KUVA 9. Texasin laitteisto

Texasin laitteistoa käytettiin SmartRF Studio 7 ohjelmalla, joka näkyy kuvassa 10. Ohjelmalla pystyttiin säätämään esimerkiksi vastaanottotaajuutta, tiedonsiirtonopeutta ja modulaatiota.



KUVA 10. CC1101 lähetin vastaanottimen päänäkymä SmartRF Studio 7:ssä

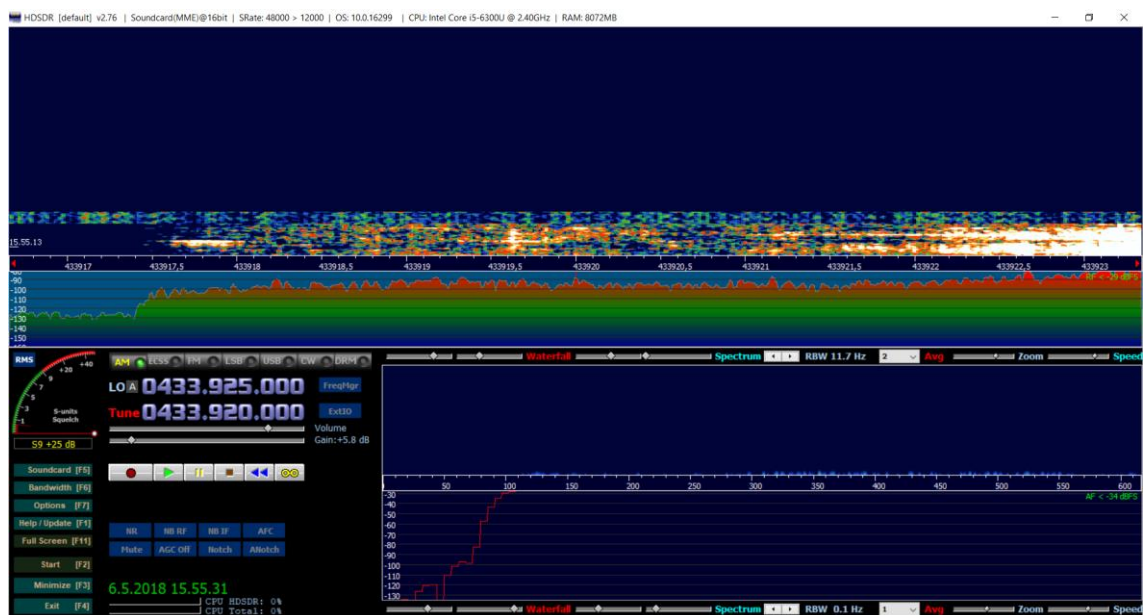
Texasin laitteistolla ei päästy suoraan käsiksi paineantureiden viesteihin, koska vastaanottoon vaadittuja tarkkoja arvoja ei tiedetty. Suuntaa antavia arvoja löytyi eri lähteistä, mutta lähetyksiä jouduttiin vielä tutkimaan ohjelmistoradion avulla. SmartRF Studioon tarvittiin seuraavat asetukset, jotta paineantureiden viestejä pystyttiin kaappaamaan:

- Taajuus (Frequency)
- Poikkeama (Deviation)
- Tiedonsiirtonopeus (Baudrate)
- Modulaatio (Modulation)
- Synkronointi sana (Sync word)
- Viestin pituus (Packet length)

Alla on kuvat ohjelmistoradiosta (kuva 12) ja sen vastaanottimesta (kuva 11).



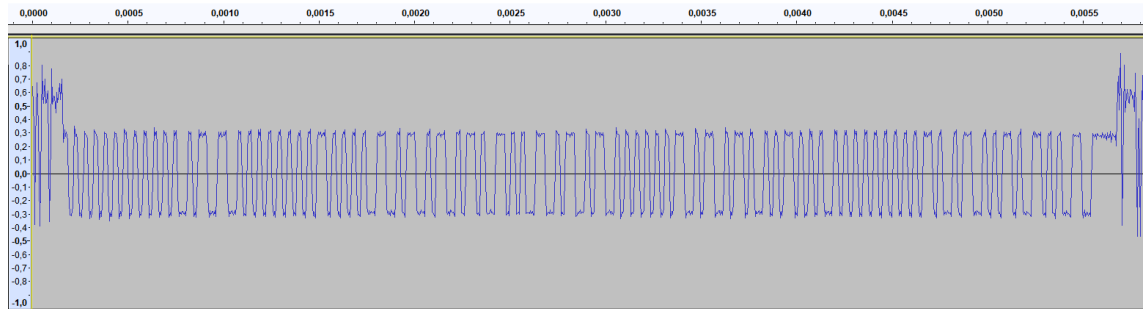
KUVA 11. RTL.SDR -vastaanotin



KUVA 12. HDSRD -ohjelmistoradio

Kuvassa 12 on HSDR -ohjelmistoradion päänäky. Ohjelmistoradiolla pystyttiin kuuntelemaan painanturin lähetys raakaversiona ja tallentamaan se äänitiedostoksi, jota tarkasteltiin Audacity-ohjelman avulla. Kuvassa 13 näkyy Audacity-ohjelmassa tarkasteltu viesti. Aikatasossa olevasta äänitiedostosta saatiin viestin bittivirta näkyviin, joka helpotti signaalin tulkintaa ja siten signaali pystyttiin purkamaan käsin. Äänitiedostosta saatiin myös selvitettyä viestin synkronointisana (sync word), tiedonsiirtonopeus ja viestin pituus. Synkronointisanan avulla Texasin laitteisto havaitsee vastaanotettavan viestin.

Oikealla tiedonsiirtonopeudella ja viestin pituudella saadaan viesti kaapattua ehjänä. Väärällä tiedonsiirtonopeudella viestin alku saattoi tulla oikein, mutta viestin loppuosa vääristyi. Oikealla viestin pituudella viestin loppuun ei kaapattu ylimääräistä häiriötä, joka olisi sotkenut sisällön selvittämistä. Kun viesti oli purettu käsin äänitiedostosta, sitä voitiin verrata Texasin kaappaamaan heksadesimaaliviestiin (kuva 14) ja varmistaa, että laitteiston asetukset olivat oikein.



KUVA 13. Viestin bittijono aikajanalla, Audacity

KUVA 14. Viestien kaappaus Texasin laitteistolla, SmartRF Studio

Texasin laitteisto pystyi purkamaan Manchester-koodauksen vastaanotetuissa viesteissä, mutta viestien vastaanotto kärsi. Vastaanotin ei saanut varmasti vastaanotettua anturin yhden lähetyksen peräkkäisiä viestejä. Kun Manchester-koodauksen purku oli pois päältä, kaikki viestit saatiin varmasti vastaanotettua. Tästä syystä viestit vastaanotettiin ilman Manchester-koodauksen purkua ja ne dekodattiin vielä erillisellä ohjelmalla vastaanoton jälkeen.

Kuvan 15 ohjelmointityökalu on tarkoitettu TPMS-antureiden ohjelmointiin. Laitteesta löytyy merkki- ja mallikohtainen luettelo autoista, mistä voi tarkistaa niihin sopivat anturit. Laite antaa myös tietoja kyseisen auton TPMS-järjestelmästä, esimerkiksi kuinka se nollataan. Laitteella on mahdollista ohjelmoida tarvikeantureita luomalla niistä uusia antureita tai kopioimalla niihin tiedot vanhoista antureista.



KUVA 15. ATEQ VT56 -ohjelmointityökalu

Paineanturin lähetyksiä pystyttiin vastaanottamaan, kun SmartRF studioon saatiin toimivat asetukset. Anturi aktivoitiin ohjelmointityökalulla, jotta saatiin lähete aikaiseksi. Ohjelmointityökalulta nähtiin myös samalla anturin ID-numero, paine ja lämpötila, jotka anturi lähetti. SmartRF:llä vastaanotettuja viestejä pystyttiin näin lähteä purkamaan, ohjelmointityökalulla saatujen tietojen perusteella. Pohja viestin purkamiselle saatiin Werner Johanssonin (2016) purkamasta viestirakenteesta.

5.2 Viestin sisällön selvitys

Paineanturin viestin sisällön selvittämiseksi Alcarin S3A101-tarvikeanturi ohjelmoitiin vastaanamaan työssä käytetyn auton paineanturia. Paineanturilta pyydettiin viesti ohjelmointityökalun herätteellä ja viesti vastaanotettiin SmartRF Studiolla ja ohjelmointityökalulla. SmartRF Studion kaappaamista viesteistä jouduttiin vielä erikseen purkamaan Manchester-koodaus. Kuvassa 16 näkyy yhden lähetyksen kaapatut viestit heksadesimaalimuodossa. Vasemmalla viestit on Manchester-koodattu ja oikealla koodaus on purettu.

RAW input string	Parsed output string
15:27:01.125 95 55 5a a9 96 55 65 55 a9 5a 55 59 65 a5 6a 95 55 56 96 56 a6 56 -55	803E9040E3024C780191D1
15:27:01.225 95 55 5a a9 96 55 65 55 a9 5a 55 59 65 a5 6a 95 55 56 96 59 99 55 -55	803E9040E3024C780192A0
15:27:01.336 95 55 5a a9 96 55 65 55 a9 5a 55 59 65 a5 6a 95 55 56 96 5a 95 aa -55	803E9040E3024C7801938F

KUVA 16. Paineanturin lähetyksen ja Manchester-dekoodaus

Paineanturin yksi lähetyksen koostuu kolmesta peräkkäisestä viestistä, jotka lähetetään noin 100 millisekunnin välein. Kuvia 16 ja 17 vertaamalla voidaan nähdä, että paineanturin ID löytyy suoraan vastaanotetusta viestistä.



KUVA 17. Paineanturin tiedot ohjelmointityökalun näytöllä

Paineanturista oli seuraavaksi mahdollista lähteä selvittämään muita tietoja. Tiedossa oli, että ainakin osaa signaalien tiedoista ei ole esitetty suoraan vaan ne vaativat laskentakäynnin selvittämisen. Anturia pystyi lämmittämään kädessä, jolloin ainut muuttuva tieto oli lämpötila. Muuttuvaa tietoa pystyi etsimään paineanturin viestistä ja lähetetyn lämpötilan näki ohjelmointilaitteelta. Painetieto saatiin selville asentamalla anturi renkaaseen ja muuttamalla rengaspainetta. Näin anturin viestistä muuttui vain painetieto, joka oli myös helppo havaita. Anturin signaalien tietojen tarkempi erittely ja purkaminen on esitetty kappalessa 5.4.

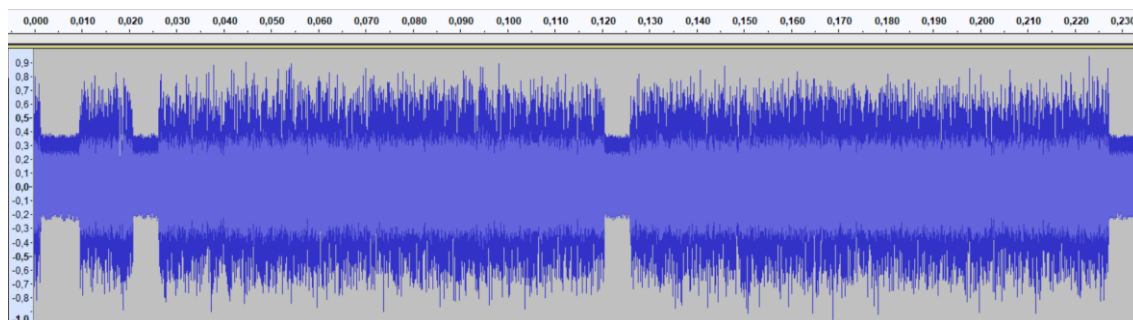
5.3 Auton antureiden kuuntelua ajossa

Työssä käytetyn auton antureita kuunneltiin Texasin laitteistolla ja ohjelmistoradiolla ajon aikana. Anturit aktivoituivat lähettämään, kun auton nopeus nousi yli 30 km/h. Järjestelmä lähetti ensimmäisen 10 minuutin aikana opetustilassa, jotta auto sai paikannettua anturit. Painetiedot ilmestyivät auton näytölle heti, kun anturit oli paikannettu. Opetustilassa anturit lähettivät viestin 16 sekunnin välein. Opetustilan jälkeen anturit siirtyivät valmiustilaan, jolloin ne lähettivät viestin 64 sekunnin välein. Kun auton nopeus laski alle 30 km/h, anturit siirtyivät lepotilaan eivätkä lähettäneet viestejä. Rengaspaineen laskeessa, anturi lähetti 10 viestiä 16 sekunnin väleillä ja palasi sitten paineenlaskua edeltäneeseen tilaan. Testauksien perusteella kyseisen auton järjestelmä vaikutti olevan samanlainen kuin työssä mainitun BMW:n i3:n järjestelmä.

Paineantureita kuunneltiin ajossa eri tilanteissa viestien sisällön selvittämiseksi. Esimerkiksi autolla ajettiin eri nopeuksilla, jotta mahdollinen kiihtyvyystieto saatiin selville. Myös opetustilan viestit kuunneltiin, jotta saataisiin selville mitä eroa viesteissä silloin on. Rengaspainetta laskettiin yhdestä renkaasta useampaan otteeseen ja joka välissä ajettiin, jotta nähtiin mitä anturi lähetti autolle.

5.4 Rengaspaineanturin viestin sisältö

Testatun auton TPMS-järjestelmän yhden anturin lähetykseen koostuu neljästä (4) osasta. Aluksi on noin 8 millisekuntia kestävä pursorin alustusosa (preamble), joka toistaa bittisarjaa: 11110010. Noin 10 millisekunnin päästä alkaa kolmen (3) viestin sarja, jossa viestien väli on noin 100 millisekuntia. Kaikki kolme viestiä sisältää anturin lähettämän datan ja ne eroavat toisistaan vain järjestysnumerolla. Kuvassa 18 on yhden lähetyksen viestit aikajanalla (preamble + 3 dataviestiä).



KUVA 18. Yksi paineanturin lähetyksen aikajanalla

Taulukosta 1 näkee yhden lähetyksen kolme viestiä ilman purskeen alustusosaa.

TAULUKKO 1. Rengaspaineanturin viestin sisältö heksadesimaaleina

sync word	valmistaja	ID	paine	lämpötila	akku	kiihtyvyys	info	tarkistus
FF F2	80	37 D6 56 F5	69	31	73	63	0D	A3
FF F2	80	37 D6 56 F5	69	31	73	63	0E	D2
FF F2	80	37 D6 56 F5	69	31	73	63	0F	FD

Taulukon 1 viesteistä on selvitetty niiden sisältämät tiedot seuraavien kaavojen mukaisesti. Paineen laskeminen kaavassa 1

$$\text{Hex} \rightarrow \text{Dec} \quad \text{Dec} \cdot 0,0025 - 0,05 = \text{Bar} \quad (1)$$

Esimerkki paineen laskemisesta kaavassa 2

$$69 \rightarrow 105 \quad 105 \cdot 0,0025 - 0,05 = 2,575 \quad (2)$$

Lämpötilan laskeminen kaavassa 3 ja esimerkki kaavassa 4

$$\text{Hex} \rightarrow \text{Dec} \quad \text{Dec} - 52 = \text{Celcius} \quad (3)$$

$$31 \rightarrow 49 \quad 49 - 52 = -3 \text{ °C} \quad (4)$$

Mahdollinen akun varaus kaavassa 5

$$\text{Hex} \rightarrow \text{Dec} = \text{Kuukausia} \quad (5)$$

Kiihtyvyystieto saa suurimman arvonsa FF noin 100 km/h nopeudessa. Tiedon perusteella voidaan muodostaa suurpiirteinen kaava auton nopeudelle (kaava 6). Tarkempaan kaavaan pitäisi ajaa useampia nopeuksia.

$$\text{Hex} \rightarrow \text{Dec} \quad \frac{\text{Dec} + 151,25}{4,175} = \text{km/h} \quad (6)$$

Viestin Info-kohta vaihtelee tilanteesta riippuen. Sen ensimmäinen luku voi olla 0, A, E tai C ja ne tarkoittavat seuraavaa:

0: Opetustila

A: Rengaspaineenmuutos, auto paikallaan

E: Rengaspaineenmuutos, auto liikkeellä

C: Normaalitila

Toinen luku merkitsee viestin järjestykselukua lähetyksessä. Kun ensimmäinen luku on A, E tai C, järjestykseluvut menevät yksinkertaisesti 1, 2 ja 3. Opetustilassa järjestykseluvut voivat olla: harvempi 5, 6, 7 tai yleisemmät 9, A, B ja D, E, F. Opetustilassa yhden anturin peräkkäiset lähetykset (6 viestiä) menevät järjestyksessä 9, A, B, D, E, F. Järjestykseluku siis mahdollisesti liittyy opetustilan toimintaan.

Viestin sisältämää tarkistussummaa ei saatu selvitettyä. Lähteistä löytyi erilaisia yleisesti tunnettuja tarkistusmenetelmiä antureiden lähetyksille, mutta testattuihin antureihin ne eivät toimineet.

5.5 Anturin ohjelmointi

Työssä tutkittiin myös Alcarin S3A101-paineanturin ohjelmointia. Anturi ohjelmoitiin valitsemalla ohjelmointityökalun valikosta auton merkki ja malli. Työkalulla luotiin uusi anturi, eikä kopioitu tietoja toisesta anturista.

Ohjelmointilaitteen toimintaa selvitettiin ohjelmistoradion ja Texasin laitteiston avulla. Sulkuihin on merkitty käytetty taajuus ja oletettu modulointi. Kun ohjelmoinnin aloittaa, ohjelmointilaitte lähettää anturille herätteen (125 kHz, ASK). Anturi vastaa herätteeseen viestillä (433,92 MHz, ASK). Vastauksen saatuaan, ohjelmointilaitte lähettää dataa anturille noin 20 sekunnin ajan (125 kHz, ASK). Kun data on lähetetty, anturi vastaa ohjelmointilaitteelle (433,92 MHz, ASK). Tämän jälkeen ohjelmointilaitte lähettää vielä anturille herätteen (125 kHz, ASK), johon anturi vastaa ohjelmointilaitteen näyttöön tulevilla tiedoilla (433,92 MHz, FSK).

Jos data lähetys katkeaa, anturi ilmoittaa siitä ohjelmointilaitteelle, joka aloittaa tällöin ohjelmoinnin uudestaan ensimmäisellä herätteellä. Kun ohjelmointilaite on saanut anturilta siihen vastauksen, aloittaa se datan lähettämisen taas alusta. Jos ohjelmointi jää kesken, anturi ei toimi, vaikka siinä olisi ollut toimiva ohjelma jo ennen uudelleenohjelmointia. Anturi kuitenkin toimii taas, kun ohjelmointi viedään loppuun. Viimeinen heräte ja vastaus eivät vaikuta enää ohjelmointiin, vaikka ne jäisivät toteutumatta.

6 POHDINTA

6.1 Jatkotutkimukset

Ohjelmointilaitteella pystyy ohjelmoimaan antureita useaan automerkkiin ja -malliin. Eri valmistajien lähetyksiä olisi siis mahdollista kuunnella ja selvittää. Kun anturi aktivoituu liikkeestä, sitä voi kuunnella ajossa, vaikka sitä ei olisi ohjelmoitu kyseiselle autolle.

Texasin laitteisto rajoitti lähetysten testausta. Lähetettävän viestin pituus oli rajattu melko lyhyeksi sekä viestien määräksi ja lähetysväliksi pystyi asettamaan vain yhdet arvot. Kuten aikaisemmin todettu, lähetys koostui neljästä osasta. Aluksi oli pidempi purskeen alustusosa, jonka jälkeen tuli kolme viestiä, jotka erosivat toisistaan ainakin järjestysluvulla. Tällaisen lähetyksen lähettäminen kyseisellä Texasin laitteistolla ei onnistunut.

Viestin sisällöntarkistusta ei saatu purettua, joten tekaistujen viestien lähettämistä autolle ei päästy kunnolla testaamaan. Tekaistuilla viesteillä olisi voitu tarkemmin testata auton reagointia viestien sisältöihin. Esimerkiksi autolle olisi voitu lähettää viesti, missä painetieto on laskenut, mutta erillinen varoitus paineenlaskusta olisi korvattu normaalitilalla. Myös nopeutta ja lämpötilaa olisi voitu muuttaa siten, että antureiden väliset erot olisivat suuret. Tekaistuilla viesteillä olisi näin voitu selvittää, tarkistaako auto viestien todenmukaisuutta ja jos tarkistaa, miten tarkasti.

Tekaistujen viestien lähettämistä olisi luultavasti myös vaikeuttanut auton opetustila ajon alussa. Opetustilassa anturi lähettää viestin noin 16 sekunnin välein, kun se sijaitsee kello 12:ssa. Opetustilaa on siis hyvin vaikea huijata erillisellä lähettimellä. Tekaistujen viestien lähettäminen tulisi siis luultavasti tehdä, kun opetustila on ajettu pois.

6.2 Opinnäytetyöprosessin arviointi

Opinnäytetyössä päästiin tavoitteisiin ja rengaspaineen valvontajärjestelmän toiminta saatiin selvitettyä. Käytännön tutkimuksessa saadut havainnot tukivat lähteistä saatuja

tietoja. Tiedonsiirron tutkimisessa ja paineanturin viestin selvityksessä päästiin kohtuulliselle tasolle. Tarkempi selvitys olisi vaatinut toisenlaisen laitteiston ja kattavammat lähtötiedot.

Työn alussa kului aikaa yleisesti TPMS-järjestelmään perehtymiseen ja tiedonsiirron selvityksessä vaaditun laitteiston etsimiseen. Käytännön osuuteen olisi pitänyt päästä nopeammin kiinni kirjallisten lähteiden tutkimisesta. Tutkimuksen aloittaminen edullisella ohjelmistoradiolla olisi nopeuttanut alkua ja ehkä mahdollistanut jopa toisenlaisen laitteiston tilaamisen.

Opinnäytetyössä on pyritty käyttämään uusimpia lähteitä, mutta kirjalliset lähteet aiheesta ovat useamman vuoden takaa. Valmistajien sivuilta saatavat tiedot ovat uudempia, mutta heiltä saadut tiedot eivät ole kovin spesifejä. Uudempien lähteiden puuttuessa voidaan kuitenkin olettaa, että toiminnan peruseriaatteet eivät ole muuttuneet. Käytännön tutkimuksessa selvitettiin uuden TPMS-järjestelmän toimintaa, joka tuki lähteistä saatuja tietoja.

LÄHTEET

Bmwtech. 2014. Chassis and Suspension. Luettu 20.5.2018.

<http://bmwtech.info/BMW%20I3/04%20I01%20Chassis%20and%20Suspension.pdf>

BMW Technical Training. 2012. Chassis Dynamics.pdf. Luettu 20.5.2018.

<https://www.e90post.com/forums/showthread.php?t=1360573>

EUR-Lex. 2010. Regulation No 64 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). Luettu 12.5.2018. [http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2010/64\(2\)/oj](http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2010/64(2)/oj)

Faruque, S. 2017. Radio Frequency Modulation Made Easy. Luettu 20.5.2018.

<https://popularelectronics.technicacuriosa.com/2017/03/08/radio-frequency-modulation-made-easy/>

Freescale Semiconductor. 2015. Field Software Updates Using TPMS LF. Luettu

30.1.2018. <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN5149.pdf>

Löhndorf, M. & Lange, T. 2013. Mems for automotive tire pressure monitoring system.

Teoksessa White, N. & Kraft, M. (toim.) Mems for Automotive and Aerospace Applications. Oxford. Woodhead Publishing.

Maxim Integrated. 2005. Manchester Data Encoding for Radio Communications. Luettu

21.5.2018. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3435>

Persson, N., Gustafsson, F. & Drevo, M. 2002. Indirect Tire Pressure Monitoring Using

Sensor Fusion. Luettu 1.2.2018. <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:316639/FULLTEXT01.pdf>

Radio Academy. 2018. How Does Modulation Work?. Luettu 22.4.2018

<https://www.taitradioacademy.com/topic/how-does-modulation-work-1-1/>

Ribbens, W. 2017. Understanding Automotive Electronics – An Engineering Perspective. 8th edition. Cambridge: Butterworth-Heinemann.

Title 49 CFR §571.138. Standard No. 138; Tire pressure monitoring systems. Government Publishing Office. Luettu 11.5.2018. https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=7d443eb75ceba033fed91e90f816b574&node=se49.6.571_1138&rgn=div8

Trafi. 2015. Auton ja sen perävaunun rakenteen muuttaminen TRAFI/8777/03.04.03.00/2013. Luettu 12.5.2018. https://www.trafi.fi/file-bank/a/1443432413/1de9e027da4288179c4d4136a25dc015/18591-8777-2013_Perustelumuiatio_auton_rakenteen_muuttamisesta.pdf

Werner Johansson. 2016. pacific-tpms. Luettu 28.2.2018. <https://github.com/xnk/pacific-tpms>

Wikipedia. 2018. Manchester code. Luettu 20.5.2018. https://en.wikipedia.org/wiki/Manchester_code

Texasin testausalusta. <http://www.ti.com/tool/SMARTRFTRXEBK>

Texasin testausmoduuli. <http://www.ti.com/tool/cc1101emk433>