

Jarkko Puhakka

RENGASPAINEIDEN
VALVONTAJÄRJESTELMÄ
Järjestelmän tarpeellisuus

Opinnäytetyö
Auto- ja kuljetustekniikka


Huhtikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 27.4.2015
Tekijä(t) Jarkko Puhakka	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Auto- ja kuljetustekniikka
Nimeke Rengaspaineiden valvontajärjestelmä Järjestelmän tarpeellisuus	
Tiivistelmä Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rengaspaineiden valvontajärjestelmiä ja sen tarpeellisuutta autossa. Tarkoituksena oli tutkia kirjallisista lähteistä kahta toiminnaltaan erilaista rengaspainevalvontajärjestelmää, suoraa ja epäsuoraa rengaspainevalvontajärjestelmää. Järjestelmistä selvitin niiden toimintaperiaatteet ja vertailin järjestelmiä toiminnan, käytön ja huollon suhteen. Selvitin myös rengaspainevalvontajärjestelmän tulevaisuuden kehitystä muutaman esimerkin kautta. Tavoitteena oli tutkia kirjallista lähteistä renkaan ja rengaspaineiden merkitystä autossa ja näin yrittää selvittää, onko rengaspainevalvontajärjestelmä hyödyllinen varuste autossa. Opinnäytetyö on pääasiassa kirjallinen tutkimus muutamaa käytännön mittausta lukuun ottamatta. Lähteinä käytin työssä suomenkielisiä ja englanninkielisiä lähteitä. Opinnäytetyön teon tuloksena saatiin selvitys rengaspainevalvontajärjestelmien toiminnasta ja käytöstä. Lisäksi selvisi, mitä hyötyä järjestelmästä on auton ajettavuuden, turvallisuuden ja ympäristötaloudellisuuden suhteen.	
Asiasanat (avainsanat) rengas, rengaspaine, rengaspainevalvontajärjestelmä, TPMS	
Sivumäärä 50	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä)	
Ohjaavan opettajan nimi Kari Ehrnrooth	Opinnäytetyön toimeksiantaja

DESCRIPTION

	Date of the bachelor's thesis 27.4.2015
Author(s) Jarkko Puhakka	Degree programme and option Automotive and Transport Engineering
Name of the bachelor's thesis Tire-pressures monitoring system The need for the system	
Abstract The goal of this thesis was to investigate tire-pressures monitoring systems and need of the system in car. The purpose was to investigate on literary sources two different kinds of functionally working tire-pressure monitoring systems, direct- and indirect tire-pressure monitoring systems. I clarified systems functionality and I compared systems in function, use and service. I also clarified tire-pressures monitoring systems future development with couples of examples. The goal was to investigate on literary sources the importance of the tire and tire-pressure in car. With this thing I tried to solve why tire-pressure monitoring system is useful equipment in car. The thesis is mainly literary research, expect a few practical measurements. As sources in my thesis I used Finnish and English sources. As a result of this thesis I had statement how tyre-pressure monitoring system works and is used. In addition thesis clarifies what benefits system brings to car in car handling, safety and environmental economics.	
Subject headings, (keywords) Tire, tire-pressure, tire-pressure monitoring system, TPMS	
Pages 50	Language Finnish
Remarks, notes on appendices	
Tutor Kari Ehnrooth	Bachelor's thesis assigned by

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LAINSÄÄDÄNTÖ	2
3	RENGASVIAT LIIKENTEEN VAARATEKIJÖINÄ.....	4
4	PYÖRÄT JA RENKAAT	10
	4.1 Yleistä renkaista.....	10
	4.2 Rengaspaine	12
	4.3 Renkaan lämpenemisen vaikutus paineeseen	16
	4.4 Renkaan lämpenemisen syyt.....	17
5	JÄRJESTELMÄT JA NIIDEN TOIMINTA	18
6	EPÄSUORA RENGASPAININVALVONTAJÄRJESTELMÄ.....	20
	6.1 EPASUORA RENGASPAININVALVONTAJÄRJESTELMÄ VW	21
7	SUORA RENGASPAININVALVONTAJÄRJESTELMÄ	25
	7.1 Volkswagen rengaspainevalvontajärjestelmä.....	25
	7.2 TPM-järjestelmä sijainnin tunnistamisella	26
	7.3 TPM ilman sijainnin tunnistamista.....	29
	7.4 BMW RDC rengaspainevalvontajärjestelmä.....	32
	7.5 Järjestelmien yhteenveto.....	33
8	VERTAILU HUOLLON, KUSTANNUSTEN JA KÄYTÖN SUHTEEN.....	34
9	JÄRJESTELMIEN TULEVAISUUDEN KEHITYS	42
10	KÄYTÄNNÖN MITTAUKSIA	45
11	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET	50

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tutkii rengaspainevalvontajärjestelmää. Tavoitteena on tutkia sen tarpeellisuutta henkilöautossa Suomessa ja etsiä syitä siihen, miksi järjestelmä on koettu niin hyödylliseksi, että siitä on tehty pakollinen järjestelmä uusiin autoihin.

Euroopan unioni on asettanut uuden lainsäädännöllisen pakotteen, jolla pyritään lisäämään henkilöautojen yleistä liikenneturvallisuutta ja parantamaan renkaisiin liittyviä ympäristövaikutuksia. Direktiivi velvoittaa, että uusissa ensirekisteröitävissä autoissa on oltava rengaspainevalvontajärjestelmä, josta käytetään myös lyhennettä TPMS (Tire Pressure Monitoring System) 1.marraskuuta 2014 alkaen /14/.

Autosta pitäisi tarkastaa rengaspaineet renkaiden vaihdon yhteydessä syksyisin ja keväisin, ja auton rengaspaineet tulisi tarkastaa tietyin väliajoin autoa käytettäessä. Autojen huoltokirjoissa yleisesti neuvotaan tarkastamaan rengaspaineet kerran kuukaudessa. Autojen huolto-ohjelmiin kuuluu myös renkaiden paineen tarkastus. Kuluttajia ja mediaa on askarruttanut, miksi tällainen rengaspainevalvontajärjestelmä on nyt pakollinen uusissa autoissa. Järjestelmän hinta koetaan turhana rahastuksena ja järjestelmä itse ylimääräisenä vika ja huoltokohteena.

Rengaspaineiden valvontajärjestelmien yleisenä toimintaperiaatteena on se, että auton kaikkien renkaiden painetta seurataan ja tästä lähetetään informaatio kuljettajalle autoon esim. kojetauluun ja varoitetaan hälyttämällä, jos rengaspaineet poikkeavat merkittävästi.

Opinnäytetyössä tutkin kirjallisista lähteistä markkinoilla olevien järjestelmien toimintaperiaatetta. Selvitän järjestelmien etuja ja haittoja. Lisäksi selvitän järjestelmien käytön huollon suhteen, järjestelmän toimivuuden ja kustannukset kuluttajalle.

Tavoitteena on selvittää kirjallisista lähteistä, mitä rengaspaineet merkitsevät autossa ja sen käytöksessä: miten suuri merkitys oikeilla rengaspaineilla on liikenneturvallisuuteen, ympäristötaloudellisuuteen ja siihen, onko järjestelmä tarpeellinen Suomen liikenteessä.

2 LAINSÄÄDÄNTÖ

Rengaspainevalvontajärjestelmän TPMS vaatimukset on määritelty YK:n Euroopan talouskomission eli UNECE:n säännössä numero 64 /25/. Järjestelmä on ollut pakollinen kaikissa uusissa autoissa, jotka on tyyppihyväksytty 1.11.2012 jälkeen. Järjestelmä on tullut pakolliseksi kaikkiin uusiin autoihin, jotka otetaan käyttöön 1.11.2014 alkaen. Laki koskee maksimissaan 3500 kg M1- ja N1-luokan ajoneuvoja, joissa kaikki akselit on varustettu yksittäisillä pyörillä. Järjestelmän on toimittava alkaen nopeudesta 40 km/h ajoneuvon suunniteltuun huippunopeuteen asti.

Renkaan puhkeamistilanteessa TPMS-järjestelmän on sytytettävä varoitusvalo enintään kymmenen minuutin sisällä, kun jonkun renkaan ilmanpaine on laskenut 20 % tai jonkun renkaan ilmanpaine on laskenut vähimmäispainearvoon 1.5 Bar. TPMS-järjestelmän on sytytettävä varoitusvalo enintään 60 minuutin kuluttua ajon alkamisesta, jos paineen lasku on yli 20 %. Järjestelmän täytyy tunnistaa jokaisen 4 renkaan paineen lasku.

Toimintahäiriötilanteessa TPMS-järjestelmän on sytytettävä varoitusvalo enintään 10 minuutin kuluessa, jos järjestelmän häiriö vaikuttaa TPMS-järjestelmän hallinta- ja vastaussignaalien hallintaan ja lähettämiseen. Jos järjestelmä on tukossa ulkoisen häiriön, esimerkiksi radiohäiriön, takia, toimintahäiriön havaitsemisaikaa voidaan pidentää.

Järjestelmän varoitusvalon on sytyttävä, kun virtalukon sytytysvirta on kytketty päälle. Varoitusvalo täytyy olla nähtävissä auringon valossakin, ja varoitusvalon on oltava sijoitettu niin, että kuljettaja voi sen penkiltään huomata helposti.

Järjestelmän toimintahäiriövalo ja paineenvajausvaroitusvalo voivat toimia samalla varoitusvalolla järjestelmän häiriötilannetta ilmoittaessa. Jos ne toimivat yhdessä saman häiriövalon kautta, on varoitusvalon välkyttävä toimintavirhettä ilmoittaessa aina, kun sytytysvirtakytkin on päällä-asennossa. Lyhyen ajan päästä varoitusvalo saa jäädä palamaan, niin pitkään ennen kuin järjestelmässä oleva vika on poistunut. Varoitusva-

lon vilkkumisen ja palamisen on tapahduttava sytytysvirtakytkimen päällä-asennossa niin pitkään, kun järjestelmässä oleva vika on poistunut.

Jos auto on varustettu TPMS-järjestelmällä, on omistajan ohjekirjasta löydyttävä ainakin seuraavat tiedot:

- Lausunto, että auto on varustettu TPMS-järjestelmällä ja ohjeella, miten järjestelmä voidaan kalibroida, jos auton järjestelmässä on tällainen ominaisuus.
- Kuva ja selitys järjestelmän varoitusvalon toiminnasta.
- Ohjeet, mitä varoitusvalon palaminen merkitsee ja miten toimia, kun varoitusvalo palaa.

Jos autossa ei ole omistajan ohjekirjaa, ovat kyseiset tiedot löydyttävä autosta näkyvältä paikkaa /25/.

EU:n säädös rengaspainevalvonnasta koskee vain auton ensirekisteröintiä. Ensirekisteröinnin jälkeisistä muutoksista voidaan päättää kansallisesti. Nykyisessä Suomen kansallisessa auton rakennemuutosta koskevissa vaatimuksissa ei erikseen säädetä rengaspainevahdeista. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on katsonut, että koska Suomessa on talvirengaspakko, tulee tämän takia rengaspaineet tarkastettua säännöllisesti /15/. Syyskuussa 2014 Trafi päätti, että rengaspainevalvontajärjestelmän pakollisuus koskee vai ensiasennusrenkaita, siis niitä, jotka ovat autossa käytössä, kun se ensirekisteröidään. EU:n säädöksen tiukka soveltaminen olisi asettanut Suomen eriarvoiseen asemaan niitten EU-maiden kanssa, joissa ei ole talvirenkaitten käyttöpakkoa /24/. Liikenne- ja viestintäministeri on pyytänyt Trafilta uutta arviota rengaspainevalvontajärjestelmästä, ja arvion pitäisi olla valmis alkuvuodesta 2015 /15/. Tätä opinnäytetyötäni kirjoittaessa ei uutta arviota ole valmistunut 13.2.2015.

Koska rengaspainevalvontajärjestelmä ei ole pakollinen kuin ensiasennusrenkaissa, merkitsee tämä, että katsastuksessa rengaspainevalvontajärjestelmän toimintaan ei puututa lainkaan /24/.

3 RENGASVIAT LIIKENTEEN VAARATEKIJÖINÄ

Yksi syy, miksi on haluttu rengaspainevalvontajärjestelmä pakolliseksi varusteeksi, on ollut liikenneturvallisuuden parantaminen. Kaksi tutkimaani rengasriskeihin erikoistunutta tutkimusta antavat kuvan siitä, minkälaista osaa rengasriskit esittävät onnettomuuksissa.

Ensimmäinen tutkimus on Autorengasliiton Rengasratsia 2014 tutkimus, joka tutkii henkilö-pakettiautojen rengasriskien osuutta kuolonkolareissa vuosilta 2000–2012. Toinen tutkimus on VTT:n tutkija Riikka Välimäen tutkimus renkaiden puutteista kuolonkolareissa. Tutkimuksessa on tutkittu kuolonkolareita vuosilta 2000- 2006.

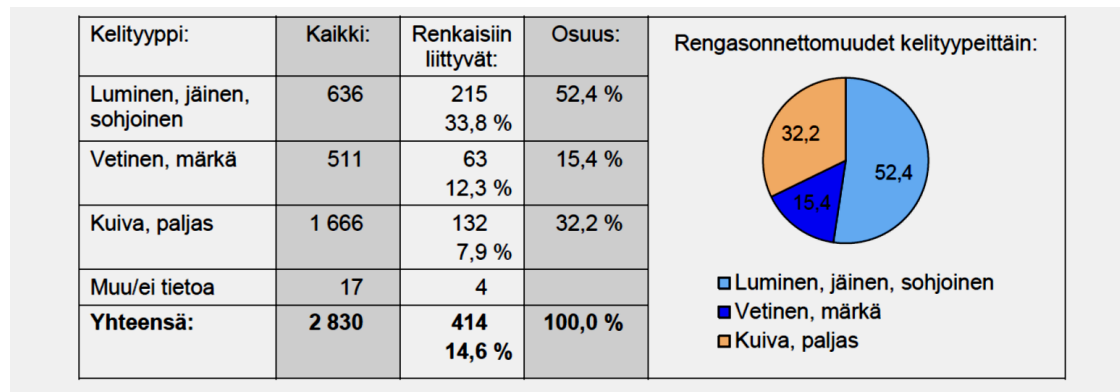
Renkaat ovat olleet riskitekijänä joka seitsemännessä (14,6 %) henkilö- ja pakettiauton aiheuttamassa kuolonkolarissa 2000-luvulla. Rengasturvallisuus on kumminkin parantunut 1990-luvun alkupuolelta, jolloin rengasonnettomuuksien osuus oli 18 %. Henkilö- ja pakettiautot ovat aiheuttaneet 2 830 kuolonkolaria, joista 414 liittyy renkaisiin. Rengasonnettomuuksissa kuoli 494 henkilöä ja vammautui vakavasti 164 henkilöä. /2./

Renkaiden kunnon merkitys korostuu vaativissa, nopeasti muuttuvissa keliolosuhteissa. Suurin osa renkaisiin liittyvissä onnettomuuksista tapahtui lumisella, jäisellä tai vetisellä kelillä, vaikka useimmiten tieliikenneonnettomuudet sattuvat kuivalla kesä- tai talvikelillä. Suurimmassa osassa lumisella tai jäisellä kelillä tapahtuneista kuolonkolareista arvioidaan renkailla olleen vaikutusta onnettomuuteen. /2./

Rengasriskit on ryhmitelty Autorengasliiton riskianalyyseissä kolmeen pääryhmään. Rengasriskeistä 37 % lukeutuu huonokuntoisiin renkaisiin, 31 % sopimattomaan rengastukseen, 13 % väärään rengaspaineeseen ja muut rengasriskit vajaan 10 % /2/.

TAULUKKO 1. Henkilö- ja pakettiautojen aiheuttamat kuolonkolarit 2000–2012

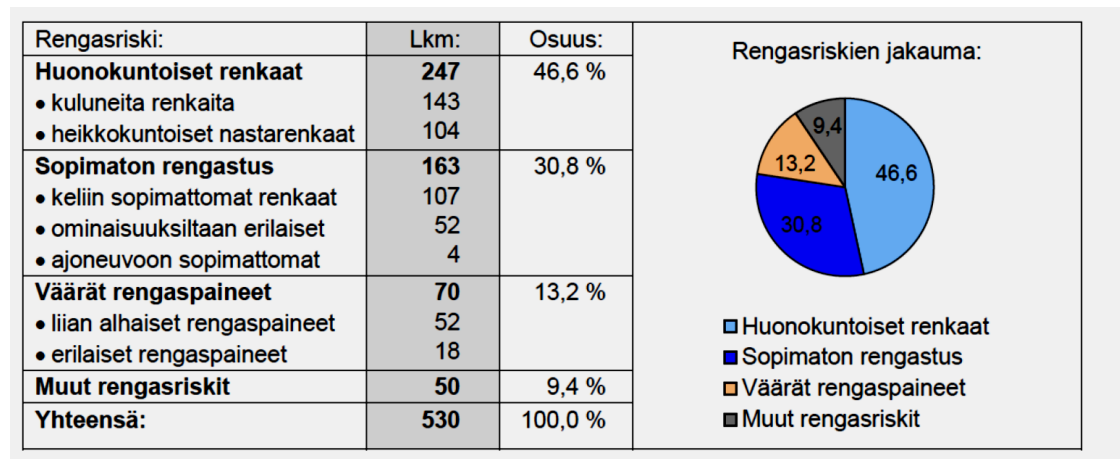
/2, s.2/



Taulukosta nähdään, että suurin osa onnettomuuksista tapahtuu kuivalla ja paljaalla kelillä. Keliolosuhteiden huonontuessa renkasiin liittyvien onnettomuuksien osuus nousee. Renkaiden kunnolla, erityisesti talvirenkailla, on vaikutus, kun keliolosuhteet huononevat.

TAULUKKO 2. Onnettomuuden aiheuttajilla todetut rengasriskit vuosina 2000–

2012 /2,s.2/



Yllä olevassa taulukossa eritellään erilaisten rengasriskien jakaumaa rengasonnettomuuksissa. Suurin rengasriski ovat kuluneet ja heikkokuntoiset renkaat melkein 50 % osuudella. Sopimaton rengastus on toiseksi yleisin vika. Syksyn ensiliukkaat ovat vika, joka nostaa tämän rengasriskin osuutta kokonaisjakaumassa. Rengaspaineriskit

ovat taulukon mukaan huomattavasti pienempi rengasriski kuin edellä olevat kaksi muuta. Väärissä rengaspaineissa yleisin vika on ollut liian alhaiset rengaspaineet.

VTT:n tutkimuksessa on vuosilta 2000–2006 kuolonkolaritutkijalautakuntien aineistosta listattu yleisimpiä renkaiden puutteita. Kesärenkaiden urasyvyys oli alle 4 mm, mutta silti lain vaatima 1,5 mm (12 % autoista). Nastarenkaiden nastoitus oli loppuunkulunut (10 % autoista). Renkaissa oli selvää paineenvajausta (6 % autoista) ja kesärenkaiden urasyvyys oli alle 1,5 mm (3 % autoista). Edellä olleita puutteita oli vähintään 10 vuotta vanhoissa autoissa likimain 2 kertaa enemmän kuin uudemmissa autoissa. Yli 15 vuotta vanhoissa autoista 40 % löytyi vähintään yksi vika edellä olevasta listauksesta. /22./

Sileiksi kuluneet renkaat ovat tavallisempia yleensä nuorilla kuljettajilla. Muita renkaisiin liittyviä puutteita ei voi yhdistää auton käyttäjän ikään.

Katsastuksesta kulunut aika ei vaikuttanut renkaiden kuntoon. Rengaspuutteet kuukausi katsastuksen jälkeen olivat yhtä yleisiä kuin vuosi katsastuksen jälkeen.

Kuljettajien kyky arvioida autonsa renkaiden kykyä on tutkittu huonoksi, lähes puolet arvioi renkaansa todellista paremmiksi.

Aiempien Suomessa tehtyjen rengaspainetutkimusten ja rengaspaineratsioiden mukaan joka viides autoilija ajaa vaarallisen vajaapaineisilla renkailla, jolloin ainakin yhdessä renkaassa on painevajausta /22/.

TAULUKKO 3. Henkilö- ja pakettiautojen rengasriskit kuolonkolareissa kesä- ja talvikaudella vuosina 2000–2006 /22, s.35/

Renkasiin liittyvä riskitekijä	Touko–lokakuu (kesäkausi)		Joulukuu–helmikuu (talvikausi)		Marraskuu, maaliskuu ja huhtikuu (renkaiden vaihtokaudet)	
	kpl	osuus	kpl	osuus	kpl	osuus
Lihan alhaiset rengaspaineet	11	10 %	12	9 %	8	10 %
Erilaiset rengaspaineet	6	6 %	2	2 %	4	5 %
Kuluneita renkaita	41	39 %	22	17 %	11	13 %
Ominaisuuksiltaan erilaiset renkaat	7	7 %	12	9 %	13	15 %
Ajoneuvoon sopimattomat renkaat	4	4 %	0	0 %	0	0 %
Keliin sopimattomat renkaat esim. kitkarenkaat	23	22 %	24	18 %	17	20 %
Heikkokuntoiset nastarenkaat	1	1 %	49	38 %	24	29 %
Tyhjä rengas	2	2 %	0	0 %	0	0 %
Muu renkasiin liittyvä riski	11	10 %	9	7 %	7	8 %
Riskit yhteensä	106	100 %	130	100 %	84	100 %

Yllä oleva taulukko listaa eri renkasiin liittyvien riskitekijöiden osuutta eri vuoden aikoina. Huonokuntoiset renkaat esittävät tilastossa suurinta roolia. Renkaan kuluneisuutta on havaittu eniten kesäkausina ja vaihtokausina. Talvikausina huonokuntoiset nastarenkaat ovat suurin rengasriski. Talvirenkaistahan yleensä ensin nastat kuluvat kuin renkaan kulutuspinna.

Keliin sopimattomat renkaat ovat tässäkin tilastoissa toiseksi suurin osuus renkaiden kuntoon liittyvien rengasriskien jälkeen. Sopimattomissa renkaissa suurimmat viat on ajaminen kesärenkailla ensiliukkailla, jäisellä tiellä kitkarenkailla ajaminen, joissa tapauksissa on voitu todeta, että nastarengas olisi ollut turvallisempi vaihtoehto.

Rengaspaineriskit ovat tasaisesti läpi vuoden noin 10 % osuudessa rengasriskeistä. Rengaspaineriskin esiintymistä ei voida siis yleistää mihinkään vuodenaikaan.

Yleisesti kun rengasriskitilastoja katsotaan, pitää muistaa, että rengasriskivika ei ole ainoa riskitekijä. Autonkuljettajasta johtuva virhe, ylinopeus, ajovirhe, alkoholi ym., on monesti pääriskitekijä onnettomuudessa. VTT:n tutkimuksessa todetaankin, että 98 %:ssa henkilö- ja pakettiautoista, joille tutkijalautakunta oli kirjannut jonkin renkasiin liittyvän riskitekijän, oli myös vähintään yksi muu riskitekijä /22/.

Pitkän aikavälin liikenneturvallisuusvision mukaan tieliikennejärjestelmä on suunniteltava siten, ettei kenenkään tarvitse kuolla tai loukkaantua vakavasti liikenteessä. Liikenneturvallisuusohjelman toimenpiteet maksavat yhtä säästettyä kuolemaa kohden arviolta 2,8 miljoonaa euroa, joka vastaa likimain yhden kuolonuhrin laskennallista hintaa /2/.

Kun tavoitteeksi on asetettu, että kenenkään ei tarvitse kuolla tai loukkaantua liikenteessä, on rengaspainevalvontajärjestelmä yksi kehitysaskel tähän. Tutkimusten mukaan kumminkin joka viides ajaa vajaa paineisilla renkailla. Osa näistä autoilijoista voi olla tietämättömiä rengaspaineen merkityksestä autossa. Rengaspaineiden merkityksestä autossa olisi siis hyvä tiedottaa mediassa paremmin.

Jos auton käyttäjät joutuisivat rengaspainevalvonnan takia kiinnittämään enemmän huomioita renkaisiin, tulisi myös samalla renkaiden kuntokin ehkä tarkastettua tarkemmin. Samalla voisi korjaantua tämä tutkittu ongelma, että melkein puolet auton käyttäjistä arvio renkaansa olevansa paremmassa kunnossa kuin oikeasti ovat.

Oikeilla rengaspaineilla voidaan myös vaikuttaa renkaiden kulumiseen, tämäkin parantaisi tilannetta kuluneiden renkaiden riskeissä. Rengaspainevalvontajärjestelmän edut näkyvät onnettomuustilastoissa paremmin vasta tulevaisuudessa. Suomen autokannan uudistuminen huomioon ottaen kestää pitkään, ennen kuin suurimmassa osassa autoja tämä järjestelmä olisi.

Suurimmat rengasriskit, huonokuntoiset renkaat ja keliin sopimattomat renkaat vaativat toimenpiteitä nykyisestä tilanteesta, jos halutaan päästä tavoitteeseen 0-linjasta kuolemissa ja loukkaantumisissa liikenteessä.

Renkaan kuluneisuusvalvonta tai renkaan nastojen mittausvalvonta olisi mielestäni ratkaisu ongelmaan tulevaisuudessa, jos tekniikka mahdollistaisi sen. Tutkimuksissa se, että yli puolet arvio renkaansa paremmaksi kuin ne oikeasti ovat, kertoo sitä, että kuljettajille pitäisi informoida renkaan huonon kunnan vaaratekijöistä enemmän. On myös niin, että kuljettajat vähättelevät renkaan merkitystä auton käyttäytymisessä. Rengas on kumminkin väärä paikka yrittää säästää autoilussa, tähänkin tarvittaisiin tehokasta opetusta auton käyttäjille.

Tutkimusten mukaan katsastuksesta kulunut aika ei vaikuttanut renkaiden kuntoon. Auton vuosittainen katsastus ei valvo renkaita kuin kerran vuodessa. Tällöin ei nähdä kuin talvi- tai kesärenkaat, eli renkaiden valvonta on puolittaista katsastuksen osalta. Parannus keinona liikenneturvallisuuteen katsastuksessa voitaisiin antaa vaikka korjauskehoitus siitä, jos esim. kesärenkaat ovat sallitut mutta kuluneet esim. kulutuspinna alle 3 mm tai talvirenkaissa nastarenkaat alkavat olla huonokuntoiset.

Rekisteriotteen korjauskehoitusmerkintä saattaisi parantaa auton käyttäjien suhtautumista renkaiden kuntoon paremmin kuin pelkästään suullinen huomauttaminen asiasta. Esimerkiksi katsastuksessa hyväksytään 2 millia kulutuspinnoilta oleva rengas, kun hylkäämisen raja on 1,5mm. Oikeastihan 2 millia kulutuspinnoilta olevan renkaan ominaisuudet sateella ovat heikentyneet merkittävästi. Nastarenkaissa hylkäysrajoja katsastuksessa on kulutuspinna katsastuksessa alle 3.0 mm ja nastarenkaiden nastat liian suuret (nastat poikkeaa yli 25 % siitä renkaasta, jossa on eniten nastoja).

Kun nastarenkaissa yleensä nastat kuluvat nopeammin kuin renkaan kulutuspinna, voi olla tilanne, että jokaisessa renkaassa on 50 % nastoja jäljellä ja kulutuspinnan syvyys on 3,5 mm, on rengas hyväksyttävissä katsastuksessa. Esimerkeistä katsoen renkaan valvontarajat katsastuksessa eivät välttämättä ole tarpeeksi vaativat, jos halutaan huonokuntoisten renkaiden aiheuttamaa osuutta onnettomuustilanteissa pienentää.

Rengasratsiaviikoista tiedottaminen mediassa on hyvä keino viestittää auton käyttäjiä renkaiden kunnan huolehtimisesta. Näin auton käyttäjät kiinnittävät huomioita siihen, missä kunnossa renkaat ovat, ettei tulisi sakkoja rengasratsiasta. Mutta kaikesta valvonnasta huolimatta on liian helppo tietämättään tai tietoisesti ajaa autossaan huonokuntoisilla, keliin sopimattomilla tai vääränlaisilla rengaspaineilla.

4 PYÖRÄT JA RENKAAT

Rengas ja vanne muodostavat kokonaisuuden, jota kutsutaan pyöräksi. Pyörä kokonaisuudella on tärkeä merkitys auton käyttäytymisessä. Auto on pyöriensä kautta kosketuksessa tiehen.

Pyörän ja renkaan tehtävät ovat:

- välittää tiehen auton kiihdytys-, jarrutus- ja ohjausvoimat
- ottaa vastaan tien aikaansaamia voimia
- edesauttaa auton ajo-ominaisuuksia
- vaikuttaa ajomukavuuteen /23/.

4.1 Yleistä renkaista

Seuraavassa käsittelem renkaan tärkeimpiä ominaisuuksia ja yritän etsiä asioita, missä ja miten rengaspaineet ovat niihin vaikuttamassa. Vierimisvastus on yksi renkaan tärkeimmistä ominaisuuksista. Renkaan pyöriessä joutuvat kulutuspinna ja renkaan sivut muuttamaan muotoaan. Tähän kuluu osa renkaan pyörimisenergiasta, joka muuttuu lämmöksi.

Lämpötilan nousemisen vaikuttaa renkaan käyttöikään. Muodonmuutoksista syntyvä vastus on n. 90 % renkaan vierimis- eli rullausvastuksesta.

Seuraavassa lista tekijöistä, jotka vaikuttavat vierimisvastukseen:

- Vierimisvastus on sitä suurempi, mitä pienempi on pyörän säde.
- tien pinnan laatu, epätasaisen ja päällystämättömän tien vierimisvastus on suurempi
- ajonopeuden kasvaessa vierimisvastus kasvaa
- rengaspaineiden noustessa vierimisvastus pienenee, tämä aiheutuu renkaan jouston vähenemisestä, jolloin muodonmuutoksiin kuluu vähemmän energiaa
- renkaan rakenne, vyörenkaiden vierimisvastuksissa on eroja, yleisesti ottaen vyörenkailla varustettu auto kuluttaa n.20 % vähemmän polttoainetta kuin auto vanhanajan ristikudosrenkailla
- renkaan poikkileikkaussuhteen pienentäminen eli renkaan madaltaminen lisää renkaan jäykkyyttä, jolloin joustavuus ja siten myös vierimisvastus pienenee /23/.

Vierimisvastuksen osalta löydettiin siis tärkeä asia, miksi ilmanpaineet on syytä olla kohdallaan. Rengaspaineitten nostolla saadaan vierimisvastusta pienennettyä, koska rengas joustaa vähemmän ja näin muodonmuutoksiin kuluu vähemmän energiaa.

Renkaan ominaisuuksilla on merkitys auton jarrutusmatkassa. Renkaan jarrutusominaisuudet riippuvat kitkakertoimesta. Kitkakerroin vaihtelee tienpinnan, renkaan rakenteen, renkaan tyyppin ym. tekijöiden mukaan. Mitä vähemmän rengas kehittää kitkaa, sitä pitempi on jarrutusmatka.

Renkaan kuluneisuus ei vaikuta suuresti jarrutusmatkaan kuivalla ja sulalla tiellä. Märissä olosuhteissa kuluneilla renkailla jarrutusmatka pitenee olennaisesti. Kuluneen renkaan kulutuspinna ei pysty tehokkaasti poistamaan vettä tien ja renkaan välistä, tästä seuraa vesiliirto. Vesiliirroksessa rengas nousee vesikerroksen päälle, jolloin menetetään auton pito. Vesiliirtoon joutumista voidaan estää alentamalla ajonopeutta. Nopeus lisää vesiliirron riskiä, koska veden vastus kovenee. Kohottamalla rengaspainetta voidaan vesiliirtoon joutumisen riskiä vähentää. Korkeampi rengaspaine toimii vastavoimana renkaan alle pyrkivän veden voimaa vastaan. Kuluneita renkaita ei kannata käyttää. Vielä sinällään lain mukainen rengas poistaa vettä heikosti ja on märällä kelillä vaarallinen. /23./

Vesiliirron osalta löytyi siis asia, johon rengaspaine vaikuttaa. Korkeammalla rengaspaineella voidaan vesiliirron riskiä vähentää.

Rengasäänet on otettava huomioon renkaan ominaisuuksissa kuluttajien kannalta ja liikenteen melun kannalta. Rengasäänet syntyvät, kun rengas joutuu kosketuksiin tienpinnan kanssa ja sen kulutuspinna urissa on ilmaa. Renkaan pyöriessä ilma puristuu kokoon, ilmanpaine kohoaa ja tämän seurauksena ilma poistuu urista nopeasti aiheuttaen äänen. Jos kulutuspinna kuviointi on sellainen, että ilma jää herkästi kuviointiin, on seurauksena äänekäs rengas /23/. Eli jos renkaaseen tehdään kuvio, joka olisi tehokas siirtämään vettä tienpinnan ja renkaan välistä, voi renkaasta tulla liian äänekäs paljon ilmaa renkaan väliin jättävän kuvioinnin takia.

Auton kaarreajo-ominaisuuksiin on renkaan ominaisuuksilla merkitystä. Kaarreajoon liittyy keskipakovoima, joka pyrkii laajentamaan auton kaartosädettä, ellei auto pysty kehittämään riittävää vastavoimaa (keskihakuvoimaa) tämän tasoittamiseksi. Keskihakuvoima kehittyy renkaan kulutuspinnan muodonmuutoksen ja luiston avulla tien ja renkaan välisestä kitkasta. Keskihakuvoimaa nimitetään sivuvoimaksi, joka tasapainottaa auton kulkua kaarteessa.

Renkaiden kaarreominaisuuksiin vaikuttavat:

- renkaan ominaisuudet (kulutuspinnan kuviointi, kudoslankojen kulma, kudosterosten lukumäärä)
- kulutuspinnan kosketusalueeseen kohdistuva kuorma, jonka kasvaminen lisää sivuvoimaa
- rengaskoon kasvu (lisää sivuvoimaa)
- tien pinnan laatu, mm. sivuvoima pienenee märällä ja lumisella tiellä
- suuri rengaspaine lisää sivuvoimaa, koska rengas tulee jäykemmäksi
- positiivinen pyörän pystykallistuma (camber-kulma) pienentää sivuvoimaa /23/.

Auton kaarreominaisuuksiin on siis myös rengaspaineella merkitystä. Suurentamalla rengaspainetta saadaan lisättyä sivuvoimaa, joka tasapainottaa auton kulkua kaarteessa.

4.2 Rengaspaine

Rengas on ilmajousi, jonka toimintaa säätelee ilmanpaineen avulla säätyvä painauma tietä vastaan. Painuma-ala välittää auton liiketilasta syntyvät voimat tarkoituksenmukaisella tavalla tiehen, joten renkaan paineesta huolehtiminen ja ajo-ominaisuuksien säätö ilman paineen avulla on tärkeää.

Oikean rengaspaineen valinta ja paineiden tarkistuksesta huolehtiminen on tärkeitä renkaiden kestoajan ja auton ajovastusten kannalta. Vain silloin, kun renkaan ilmanpaine on oikea, voi rengas täyttää sille asetetut vaatimukset, ts. siirtää veto- ja jarruvoimia ja siihen kohdistuvia sivuttaisvoimia sekä hoitaa sille kuuluvat joustotehtävät. Autojen mallikohtaiset oikeat rengaspaineet ovat yleensä autoon merkattuna (esim. tarra B-pilarissa tai tankin luukussa), ohjekirjasta tai rengasvalmistajan suosituksista.

Auton kuormitus vaikuttaa rengaspaineisiin. Henkilöauton rengaspaineet annetaan ns. puolikuormalla eli yhden tai kahden henkilön kuormalla sekä täydellä kuormalla. Urheilullinen ajotapa siis ja pitkät ajomatkat kestopäällyste-teillä edellyttävät rengaspaineiden nostamista mainituista lukemista 0,2-0,3 bar, samoin se, käytetäänkö kesä- vai talvirenkaita. Ilmanpaine tarkistetaan renkaan ollessa jäähtyneenä, ts. ennen ajoon lähtöä tai renkaan jäähtyttyä kunnolla ajon jälkeen. Jos kesken matkan joudutaan rengaspaineita tarkastamaan, on otettava huomioon, että rengaspaineiden tulee olla n. 0,3 bar suositeltuja korkeammat. Myös talvella pakkasilla on otettava huomioon, että rengaspaineet alenevat kylmän ilman vaikutuksesta /23/.

Yleensä suuri renkaan paineen lasku johtuu vuodosta pyörässä tai ilmantäyttöventtiilistä joka on korjattava. Pientä luonnollista renkaan ilmanpaineen vuotoa tapahtuu renkaassa ilman vikaakin. Good Yearin mukaan keskimääräisesti renkaan ilmanpaine laskee n. 10 % vuodessa /10/.

Renkaanpaineella on merkitys siihen, miten auto kuluttaa polttoainetta ja miten renkaat kuluvat käytössä. Niin kuin edellä jo todettiin, liian alhainen rengaspaine lisäsi vierintävastusta ja näin ollen haitta ilmenee polttoaineen kulutuksen kasvuna. Liian alhaisesta rengaspaineesta johtuu renkaan ylimääräinen lämpeneminen ja epätasainen kuluminen.

Oikealla rengaspaineella on myös merkitystä ajomukavuuteen. Oikeassa rengaspaineessa oleva rengas pystyy välittämään tien epätasaisuudet oikein auton iskunvaimennukseen. Auton kuormituksen muutokset pitäisi muistaa ottaa huomioon rengaspaineissa. Oikeilla rengaspaineilla pystyttäisiin alentamaan ympäristöä rasittavia hiilidioksidipäästöjä ja renkaiden kulutusta.

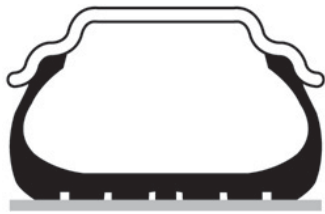
On arvioitu, että 0,5 bar lasku rengaspaineissa lyhentää renkaan ikää neljänneksellä. Nyrkkisääntönä on sanottu, että 1.0 bar:n liian alhainen rengaspaine kasvattaa polttoaineen kulutusta 6 %. Tämä lisääntynyt polttoaineen kulutuksen kasvu nostaa auton hiilidioksidi päästöjä ja vaikuttaa näin haittaavasti ympäristöön. /1./

Liikenne- ja viestintäministeriön tutkimuksessa nastarenkaiden kuluttavuudesta oli löydetty rengaspaineeltakin merkitystä tien kulumiseen. Rengaspainesuositukset ovat

nousseet autojen massan nousun myötä maksimissaan uusissa autoissa noin 3,0 bar asti, kun paineet ennen olivat yleisesti alle 2,0 bar. Tutkimuksessa huomattiin, että paineen nosto 2,3 barista 2,4 bariin lisäsi tien kulutusta 3,6 % /26/.

Seuraavassa on vielä esimerkkeinä Volkswagenin näkemystä oikean rengaspaineen merkityksestä autossa. Oikealla rengaspaineella oleva rengas pyöri tiessä käyttäen hyväksi koko kulutus pintaa. Rengas kuluu tasaisesti, ja kaikki renkaasta saatava kitka on käytössä. Näistä syistä johtuen saadaan seuraavat edut:

1. Pitkä renkaan käyttöikä
2. Minimi jarrutusmatka
3. Paras tasapaino mutkissa
4. Paras ajomukavuus



KUVA 1. Oikea paineinen rengas /29 s.4/



KUVA 2. Renkaan kulutus pinta /29 s.4/

Jos rengaspaineet ovat liian korkeat, vain renkaan keskiosa tuo parhaan voimansiirron tiehen. Liian korkea rengaspaine tuo seuraavat haitat:

1. Epätasainen renkaan kuluminen
2. Lyhentynyt renkaan käyttö-ikä
3. Huonontunut ajomukavuus



KUVA 3. Liian korkea paineinen rengas /29 s.4/



KUVA 4. Liian korkea paineisen renkaan kulutuspinta /29 s.4/

Liian alhaiset rengaspaineet johtavat siihen, että rengas kovertuu keskeltä, ja näin vain renkaan sivuilta välittyy voimansiirto tiehen.

Tästä johtuvat seuraavat haitat:

1. Renkaat lämpenevät, ja on riski, että renkaan rakenne vioittuu
2. Pidemmät jarrutusmatkat
3. Lyhentynyt renkaan käyttö-ikä /4/.



KUVA 5. Liian matalapaineinen rengas /29 s.4/



KUVA 6. Liian matalapaineisen renkaan kulutuspianta /29 s.4/

4.3 Renkaan lämpenemisen vaikutus paineeseen

Renkaanpaineen muutosta voidaan laskea ideaalikaasun yleisen tilan yhtälön avulla.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (1)$$

p_1 = Absoluuttinen paine lähtötilanteessa

p_2 = Absoluuttinen paine lopputilanteessa

V_1 = Tilavuus lähtötilanteessa

V_2 = Tilavuus lopputilanteessa

T_1 = Lämpötila lähtötilanteessa (Kelvineinä)

T_2 = Lämpötila lopputilanteessa (Kelvineinä)

Jos kaasun tilanmuutos on sellainen, että yksi yhtälön muuttujista p , V tai T pysyy muutoksen aikaan vakiona, voidaan se jättää pois.

Isokoorisessa tilanmuutoksessa tilavuus pysyy vakiona, tällöin yhtälö muuttuu muotoon:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (2)$$

/11/.

Yllä olevaa yhtälöä voidaan käyttää, kun lasketaan, miten renkaan paine muuttuu lämmön vaikutuksesta. Tilavuushan renkaassa pysyy vakiona.

Esimerkkilasku:

Auton renkaan ilmanpaineet mitattiin kotona ennen automatkalle lähtöä. Renkaan ilman paine oli 2,3 bar ja lämpötila 0 °C. Pitkän ajon jälkeen auton rengaspaineet mitattiin uudelleen huoltoasemalla. Renkaan lämpötila oli kohonnut +35 °C asteeseen. Mikä on tällöin paine renkaassa? Tilavuus ei muutu ja vallitseva ilmakehän ilmanpaine on 1,0 bar.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (3)$$

$$T_1 = 273 \text{ K}$$

$$T_2 = 308 \text{ K}$$

$$p_1 = 2,3 \text{ bar} + 1,0 \text{ bar} = 3,3 \text{ bar}$$

$$p_2 = ?$$

=>

$$\frac{3,3 \text{ bar}}{273 \text{ K}} = \frac{p_2}{308 \text{ K}} \Rightarrow$$

$$p_2 = \frac{3,3 \text{ bar} \cdot 308 \text{ K}}{273 \text{ K}}$$

$$p_2 = 3,7 \text{ bar}$$

Renkaassa on painetta 3,7 bar – 1,0 bar = 2,7 bar

Renkaan ilmanpaineen lisääntynyt muutos oli siis renkaan lämpenemisen takia ajossa 0,4 bar. Yllä oleva lasku todistaa, että rengaspaineet pitää tarkastaa jäähtyneenä. 0,4 bar ilmanpaineen lasku voi joissain TPMS-järjestelmissä aiheuttaa varoituksen alentu-neista rengaspaineista. Esimerkkinä voi olla tilanne, että auton ilmanpaineet on tarkas-tettu lämpimässä hallissa, jonka jälkeen auto on ajettu yöksi ulos pakkaseen, jolloin auton renkaitten ilmanpaineet laskevat lämpötilan laskemisen takia. Paineenlasku voi aiheuttaa hälytyksen TPMS-järjestelmään. Yleinen suositus onkin talvirenkaissa käyt-tää n. 0,2 bar korkeampia paineita, jotta painevaihtelut lämpötilan mukaan tasaantuvat.

4.4 Renkaan lämpenemisen syyt

Renkas on toiminnaltaan kuin ilmajousi, kun rengas joustaa sen joustossa tarvittava energia muuttuu lämmöksi. Tähän joustamiseen on rengaspaineella suuri merkitys, kun rengaspaineet ovat korkeat rengas joustaa vähemmän, ja tästä johtuen lämpenee

vähemmän, jos käytetään liian alhaisia rengaspaineita, rengas joustaa enemmän ja lämpenee enemmän.

On myös muita tekijöitä, jotka vaikuttavat renkaan joustoon haittaavasti. Auton kuormituksen kasvaminen vastaa renkaan paineen alentamista. Rengas joustaa siis enemmän. Renkaan reunat ottavat lisäkuormituksen vastaan.

Auton ajonopeuden noustessa renkaan lämpötila myös nousee, tämä johtuu siitä, että nopeuden noustessa rengas joutuu tekemään joustavaa liikettä nopeammin. Yleisesti ottaen renkaan materiaalin lämmönjohtokyky on huono, lämpö varastoituu renkaan sisäosiin.

Liiallisen lämpeneminen heikentää kumikerrosten ja kudoslankojen välisiä sidoksia, jonka seurauksesta kerrokset saattavat irrota toisistaan ja rengas voi räjähtää /23/.

5 JÄRJESTELMÄT JA NIIDEN TOIMINTA

Rengaspainevalvontajärjestelmät eivät ole uusinta tekniikkaa, vaan järjestelmiä on ollut jo markkinoilla saatavilla pitkään. Ensimmäisenä rengaspainevalvonnan otti lisävarusteeksi Porsche 959 -malliinsa vuonna 1986. Vakiovarusteeksi se tuli 1999 esitellyyn Peugeot 607:ään, ja seuraavana vuonna esitellyssä Renault Laguna II:ssa se oli aluksi vakiovaruste. Järjestelmä oli suora rengaspainevalvontajärjestelmä. Järjestelmässä ilmenneiden ongelmien takia rengaspainevalvonta jätettiin pian kuitenkin pois Lagunasta /13/. USA:ssa rengaspainevalvontajärjestelmä tuli pakolliseksi jo vuonna 2007 /2/.

Rengaspainevalvontajärjestelmät jakautuvat kahteen järjestelmään, suora (aktiivinen) järjestelmä ja epäsuora (passiivinen) järjestelmä. Toiminnaltaan nämä poikkeavat merkittävästi toisistaan.

Suora järjestelmä toteutetaan renkaiden sisään asennetuilla antureilla, eli rengaspaineanturit on yleensä integroitu osaksi venttiiliä. Epäsuoran järjestelmän toiminta perustuu puolestaan ABS-anturia hyödyntävään tekniikkaan, jossa rengaspaine määrite-

tään renkaiden pyörintänopeuden perusteella, koska pyörintänopeus seuraamalla ei voi huomata neljän renkaan yhtäaikaista tyhjentymistä seurataan uudemman sukupolven järjestelmissä myös renkaan ominaisvärähtelyn taajuutta /14/

Seuraavassa taulukko, joka antaa kuvan siitä, mitä järjestelmiä eri auton valmistajat käyttävät malleissaan.

TAULUKKO 4. Rengaspainevalvonnan toteutus eri automalleissa /14, s. 96/

Rengaspainevalvonnan toteutus eri automalleissa					
Merkki	Malli	Järjestelmän ominaisuudet			
		Epäsuora tunnistus	Suora Painemittaus	Painearvojen näyttö	Muistipaikat antureille (kpl)
Audi	A3	x	-	-	ei tarvita
Audi	A4	x	-	-	ei tarvita
BMW	3-sarja	-	x	x	4
BMW	5-sarja	-	x	x	4
Citroën	C4	-	x	-	9
Dacia	Duster	-	x	-	4
Ford	Focus	-	x	-	ei tarvita
Ford	Fiesta	-	x	-	ei tarvita
Ford	Mondeo	-	x	-	ei tarvita
Honda	CR-V	x	-	-	ei tarvita
Honda	Civic	x	-	-	ei tarvita
Kia	Ceed	-	x	-	oppiva järjestelmä ¹⁾
Kia	Rio	-	x	-	oppiva järjestelmä ¹⁾
Mazda	3	x	-	-	ei tarvita
M-B	E-sarja	-	x	x	4
M-B	C-sarja	-	x	x	4
Nissan	Note	-	x	-	4
Nissan	Qashqai	-	x	x	4
Opel	Insignia	-	x	x	oppiva järjestelmä ¹⁾
Opel	Astra	-	x	x	oppiva järjestelmä ¹⁾
Opel	Mokka	-	x	x ²⁾	4
Peugeot	308	x	-	-	ei tarvita
Renault	Clio	-	x	-	4
Škoda	Octavia	x	-	-	ei tarvita
Škoda	Rapid	x	-	-	ei tarvita
Toyota	Corolla	-	x	-	4
Toyota	Auris	-	x	-	4
Toyota	Avensis	-	x	-	4
Toyota	Yaris	-	x	-	4
VW	Golf	x	-	-	ei tarvita
VW	Polo	x	-	-	ei tarvita

VW	Passat	x	-	-	ei tarvita
Volvo	V40	x	-	-	ei tarvita
Volvo	V70	x	-	-	ei tarvita
Volvo	V60	x	-	-	ei tarvita
Volvo	XC60	x	-	-	ei tarvita

- 1) Järjestelmä tunnistaa automaattisesti uudet anturit
- 2) Riippuu varustetasosta

Taulukossa muistipaikat antureilla tarkoittaa sitä, montako (kpl) rengaspaineantureita auto muistaa. Kaikissa, joissa on 4 kpl muistipaikkoja antureilla, tarkoittaa, että esim. renkaan kausivaihtoa tehdessä ovat uusien renkaiden paineanturit ohjelmoitava auton järjestelmään.

Kauppalehden rengaspaineartikkelin mukaan noin 78 % autonvalmistajista on valitsemassa aktiivisen järjestelmän. Artikkelissa haastateltu rengastarvikkeita maahantuo-
van RemaTipTopin toimitusjohtaja Ben Wickström kertoo, että ranskalaisen sensori-
valmistajan Schraderin listalla ovat esimerkiksi Ford, Land Rover, Jaguar, Mercedes-
Benz, BMW, Renault, Nissan ja Fiat. Hän kertoo myös, että Peugeotilla ja Citroënilla
on molempia järjestelmiä, siis passiivista ja aktiivista, samoin Volkswagenilla, Audilla
ja Seatilla. Volvo, Skoda, ja Mazda ovat kallistumassa passiiviseen järjestelmään.

Artikkelissa myös haastateltu Fordin varaosakoordinaattori Esa Nyström kertoo, että
nykyinen passiivinen järjestelmä ei kata direktiivin vaatimuksia, joten Ford tuo kaik-
kiin malleihin aktiivisen järjestelmän /12/.

6 EPÄSUORA RENGASPAINIVALVONTAJÄRJESTELMÄ

Epäsuora rengaspainevalvontajärjestelmä perustuu jo autossa olemassa olevien
ABS/ESP-ohjainlaitteen tietoihin. ABS/ESP-ohjainlaitteelle on asennettu ohjelmisto,
jolla järjestelmä toimii. Renkaiden pyörimisnopeuden lisäksi tietoa kerätään ajonva-
kautusjärjestelmästä. esim. korin kallistelusta ja ohjauskulmista. /23./

Pyöränkehän mittaustapa Abs/ebs-sensoreiden avulla perustuu siihen, että rengaspaineet vaikuttavat renkaan pyörimiskehän pituuteen ja näin ollen renkaan pyörimisnopeuteen. Auton renkaiden pyörimisnopeuksien eron pitäisi olla lähellä nollaa, kun rengaspaineet ovat samat pyörien kesken. Jos renkaan ilmanpaine laskee, pyörän vierintäkehä lyhenee ja näin pyörä pyörii nopeampaan. /8./

Toisena mittaustapana on tutkia renkaan aiheuttamaa värähtelyä. Esimerkiksi Abs/ebs-antureiden lähettämästä signaalista voidaan tutkia värähtelyä. Mittaustavan analysoinnissa käytetään periaatteena sitä, että rengas on kuin ilmajousi, johon tien epätasaisuudet vaikuttaa. Renkaan ilmanpaineen muutos aiheuttaa muutosta renkaan joustoliikkeessä ja näin ollen renkaan aiheuttamissa värähtelytaajuuksissa voidaan havaita muutosta, kun verrataan värähtelytaajuuksia lähtöarvoihin. Esimerkiksi oikeaan rengaspaineeseen täytetyn renkaan luonnollinen värähtelytaajuuksisuus vaihtuu 20 % rengaspaineen laskussa 40 Hz suunnilleen 38 HZ. /8; 5./

Ruotsalainen NIRA Dynamics -yhtiö ilmoittaa 9,9,2014 tiedotteessaan alkavan toimittaa autonvalmistaja Volvolle kehittämäänsä epäsuora rengaspainevalvonta iTPMS-järjestelmäänsä. Järjestelmää on käytössä jo VAG-konsernin automerkeissä /19/. NIRAN- järjestelmä kerää jarrujärjestelmän ja muiden auton järjestelmien dataa ja laskee kaikkien renkaisiin liittyvän datan avulla renkaiden ilmanpaineen laskemista ja ilmoittaa mahdollisesta viasta /20/.

Epäsuorassa järjestelmässä on tapahtunut kehitystä alkuperäisestä, ja järjestelmää on yritetty saada luotettavammaksi. Alkuperäisessä järjestelmässä mitattiin pelkästään abs-antureiden antamaa pyörintänopeutta. Järjestelmää on yritetty saada luotettavammaksi kehittämällä muita mittaustapoja tukemaan alkuperäistä mittaustapaa.

6.1 EPASUORA RENGASPAINIVALVONTAJÄRJESTELMÄ VW

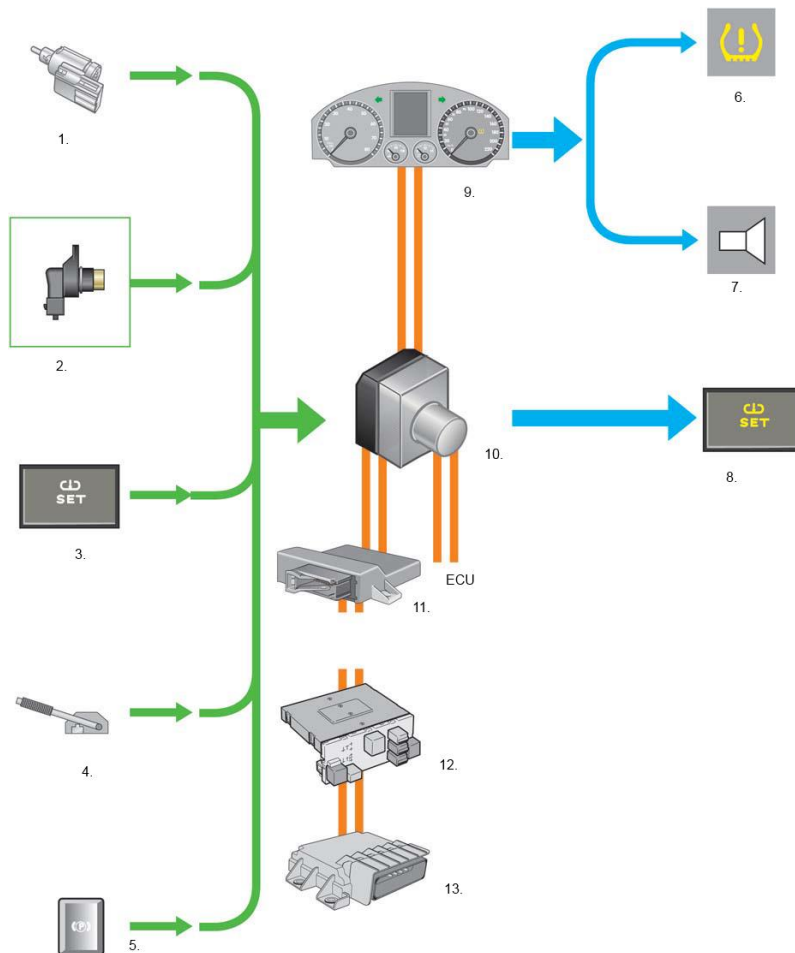
Epäsuoran rengaspainevalvontajärjestelmän esimerkkinä käytän Volkswagenin järjestelmää, jota käytetään Golfissa, Passatissa ja Polo-mallistoissa. Volkswagen käyttää epäsuorasta järjestelmästäan lyhennettä TPMD, joka tulee englannin kielen sanoista The tire pressure monitor display. Järjestelmä on ABS-ohjainyksikköön lisätty ohjel-

misto. Sen toiminta perustuu siihen, että se käyttää ABS-ohjainlaitteen tietoa ja huomioi sen avulla rengaspainevat.

Eri tietoa, jota saadaan ABS-ohjainlaitteelta, käytetään siihen, että määritellään renkaan pyörimisympärysmitta. Pyörimisympärysmittaa verrataan alkuperäiseen viitetietoon. Viitetieto lasketaan uudelleen järjestelmää kalibroitaessa, kun rengaspaineet ovat ohjearvoissa ja näin järjestelmälle opetetaan renkaan oikea ympärysmitta /29/.

Järjestelmän toimintaperiaatteena on se, että kun yksi rengas on muita tyhjempi, sen halkaisija pienenee ja näin ollen pyörä alkaa pyöriä muita pyöriä nopeampaan.

Koska järjestelmä perustuu ABS-järjestelmän tietoihin, on tilanteita, jolloin rengaspainevalvonta ei voi toimia luotettavasti. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmän tiedonhaku lopetetaan, jos kuljettajalla on nykivä tai urheilullinen ajotapa, tie on epätasainen tai liukas, kun jarrutetaan autoa tai ajetaan jyrkkää alamäkeä tai ylämäkeä. Näissä tilanteissa rengaspainevaroituksia ei ilmoiteta, ennen kuin ajo-olosuhteet palautuvat normaaliksi ja mittaus voi olla luotettavaa. Myös jos rengaspainevalvonta järjestelmä saa signaalin, että käsijarrua käytetään, se ei ilmoita rengaspaineen laskusta. /29./



KUVA 7. TPMD-järjestelmän toimintakaavio /29, s.13/

Yllä oleva kuva Volkswagenin TPMD-järjestelmästä kertoo, mistä osista järjestelmä koostuu:

1. Jarruvalon kytkin
2. ABS nopeus anturi (4 kpl)
3. Rengaspainevalvontajärjestelmän kalibrointi kytkin
4. Käsijarrun kytkin (Golf, Polo malleissa.)
5. Sähköisen käsijarrun kytkin (Passat mallissa)
6. Rengaspainevalvontajärjestelmän varoitusvalo mittaristossa
7. Rengaspainevalvontajärjestelmän varoitus äänimerkki
8. Rengaspainevalvontajärjestelmän kalibroitokytkimen valo aktivoituneena
9. Mittaristo
10. ABS-ohjainlaite
11. Diagnoosi liitäntä
12. Mittariston ohjainlaite
13. Sähköisen käsijarrun ohjainlaite

ECU. Moottorin ohjainlaite.

Kun järjestelmä tunnistaa, että rengaspaineet ovat laskeneet (noin 0,3-0,4 bar), syttyy mittaristoon varoitusvalo ja varoitusäänimerkistä kuuluu yksittäinen varoitusääni. Varoitusmerkki palaa koko ajan, mutta varoitusäänimerkki antaa äänen ainoastaan aina silloin, kun autoon käännetään virrat päälle. Jotta varoitusmerkin ja äänimerkin saa pois, on järjestelmä aina kalibroitava. Myös kun autoon vaihdetaan renkaat tai tehdään alustaan huolto/korjaustöitä, on järjestelmän luotettavuuden takia tehtävä kalibrointi.

Kalibrointi tapahtuu niin, että järjestelmä kytketään rengaspainevalvontajärjestelmän kalibrointi kytkimellä kalibrointitilaan. Tässä tilassa järjestelmä alkaa oppia tarvitsemaansa dataa ABS-ohjainlaitteelta, kun autoa ajetaan. Muutaman minuutin jälkeen, kun autoa on normaalisti ajettu, on järjestelmä oppinut ja valmis toimimaan.

Koska epäsuora TPMD-järjestelmä perustuu ABS-järjestelmän nopeusantureista saatavaan tietoon, on olemassa tilanteita, jossa tulee vääriä hälytyksiä järjestelmään.

Esimerkiksi:

- Erilaiset tieolosuhteet (tien toinen puoli jäinen ja toinen kuiva)
- Epätasainen auton painokuormitus
- Epätasaisesti kuluneet renkaat samalla akselilla (toinen kulunut ja toinen uusi)
- Renkaiden lämpötiloissa eroa (esim. toinen puoli autosta ollut auringon paisteessa ja toinen varjossa) /29/.



KUVA 8. Varoitusvalon sijainti mittaristossa /29, s.9/

Esimerkkinä vielä epäsuoran järjestelmän toiminnasta vikatilanteessa vuosimallin 2013 Skoda Octaviassa. Renkaaseen kiinni pureutunut ruuvi aiheutti

pienen 0,1 bar viikkotahdilla tapahtuvan vuodon. Skodan järjestelmä varoitti vuodosta aina, kun alenema oli 0,3-0,4 bar kohdalla /18/.

7 SUORA RENGASPAINVALVONTAJÄRJESTELMÄ

Seuraavaksi käsittelen suoran rengaspainevalvontajärjestelmän toimintaperiaatteen kahden eri auton valmistajan järjestelmien toiminnan kautta. Suorasta rengaspainevalvontajärjestelmästä käytetään myös nimitystä aktiivinen rengaspainevalvonta. Aktiivinen nimitys tulee siitä, että rengaspainetta seurataan aktiivisesti eli koko ajan. Esimerkkeinä käytän Volkswagenin järjestelmää, josta löytyy kaksi toisistaan eroavaa muunnelmaa. Toisena esimerkkinä on BMW:n järjestelmä.

7.1 Volkswagen rengaspainevalvontajärjestelmä

Volkswagenilta löytyy rengaspainevalvontajärjestelmästä kaksi muunnelmaa. Yleisenä nimityksenään Volkswagen käyttää rengaspainevalvontajärjestelmästäan lyhennettä TPM. Ensimmäinen malli, jota on käytetty Toureg- ja Phateon-mallissa on englanninkieliseltä nimeltään Tire pressure monitor with position recognition /29/. Vapaasti suomennettuna tämä tarkoittaa rengaspaineenvalvontaa sijainnin tunnistamisella.

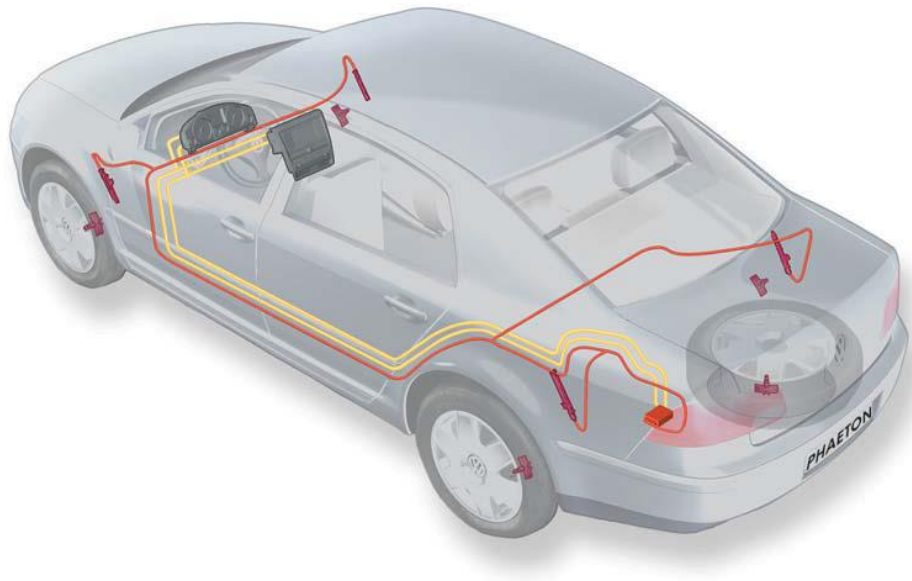
Toinen Volkswagenin käyttämä malli, jota on käytetty Passat-mallissa, on englanninkieliseltä nimeltään Tire pressure monitor without position recognition. Vapaasti suomennettuna tämä tarkoittaa rengaspaineenvalvontaa ilman sijainnin tunnistamista. /29./ TPM-järjestelmä sijainnin tunnistamisella sisältää pyöräelektroniikkayksiköt, antennit, jotka vastaan ottavat tietoa pyörien elektroniikkayksiköiltä ja järjestelmässä on myös ohjainlaiteyksikkö. Auton käyttäjä täyttää renkaiden ilmanpaineet haluttuun arvoon ja tallentaa arvot järjestelmään.

TPM-järjestelmä ilman sijainnin tunnistamista on integroitu keskuslukitusjärjestelmän ja varashälytinsijaintijärjestelmän yhteyteen. Järjestelmässä on renkaissa omat elektroniikkayksiköt, mutta erillisiä antennia ei ole. Keskuslukitusjärjestelmän ja varashälytinsijaintijärjestelmän antennia käytetään elektroniikkayksiköiden lähettämän tiedon lukemi-

seen. Tässä järjestelmässä on asennettu renkaissa käytettävän ilmanpaineen arvot jo tehtaalla järjestelmään./29./

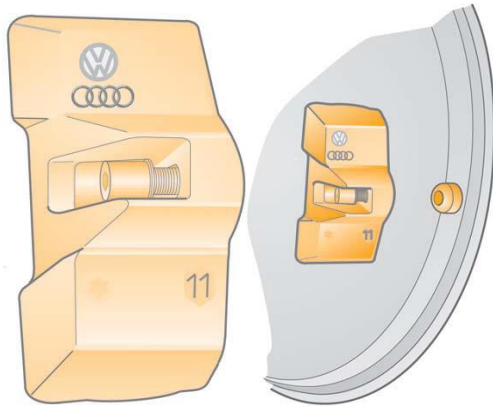
7.2 TPM-järjestelmä sijainnin tunnistamisella

TPM järjestelmä tarkkailee koko ajan rengaspaineita, kun autolla ajetaan. Kun auto on liikkumaton, järjestelmä tarkkailee rengaspaineita hetkittäin.



KUVA 9. Järjestelmän komponenttien sijainti /29, s.22/

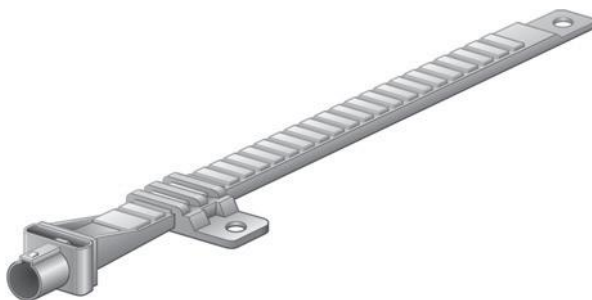
TPM järjestelmä tarkkailee koko ajan rengaspaineita, kun autolla ajetaan. Kun auto on liikkumaton, järjestelmä tarkkailee rengaspaineita hetkittäin. Auton jokaiseen pyörään asennetut elektroniikkayksiköt mittaavat renkaan lämpötilaa ja painetta. Tämän mitaustiedon jokainen yksikkö lähettää omalle antennilleen tietyin väliajoin. Antennit on kytketty rengaspainevalvonnan keskusyksikköön suojatulla HF korkea-taajuuslinjana. Keskusyksikkö kertoo käsittelemänsä tiedon mittaristolle ja ajotietokoneelle, jotka viestittävät kuljettajalle tiedon ja varoitukset. Vararengaan rengaspainetta ei mitata. Siinä on kumminkin paineenvalvontaan jo asennettu elektroniikkayksikkö, jos vara-rengasta joudutaan käyttämään.



KUVA 10. Elektroniikka yksikkö pyörässä /29 s.23/

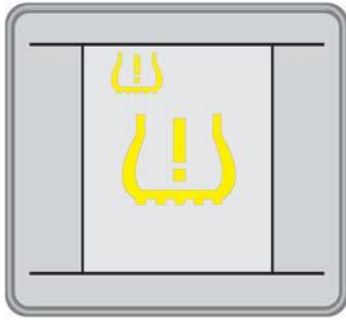
Yllä olevassa kuvassa on vanteessa olevaan metalliseen venttiiliin asennettava ilmanpainetta mittaava elektroniikkayksikkö.

Elektroniikka yksikkö sisältää tiedonsiirtoantennin, paine- ja lämpötilanmittausenssörin, mittaus- ja hallintaelektroniikkaa ja patterin. Patterin käyttö-ikäksi luvataan noin 10 vuotta. Viallisen yksikön sijainti ilmoitetaan ajoneuvon ajotietokoneen näytöllä. Normaalisissa tilanteissa yksikkö renkaassa lähettää tietoa joka 54 sekunnin välein. Jos renkaan paine laskee $>0,2$ bar/min, lähetetään tietoa joka 850 millisekunnin välein.



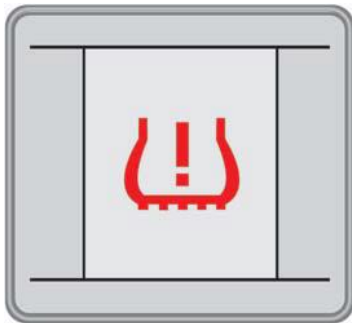
KUVA 11. Antenni /29 s.30/

Yllä olevassa kuvassa oleva antenni on sijoitettu mahdollisimman lähelle pyörässä olevaa elektroniikkayksikköä esim. sisälokasuojan sisään. Antenni osaa valita oikean mitattavan paine-anturin anturin lähettämän radiosignaalin voimakkuuden mukaan. Antenni osaa siis radiosignaalin voimakkuudesta nähdä, mikä on lähin ja näin ollen oikea anturi. Tilanteissa, jossa yksi antennista lakkaa toimimasta, voi järjestelmä toimia normaalisti. Loput kolme antennia osaavat vielä päätellä renkaiden sijainnin.



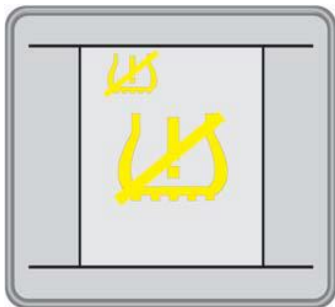
KUVA 12. Varoitusvalo 1. /29 s.26/

Järjestelmän havaitessa rengaspaineen laskuksi noin 0.3-0.4 bar, syttyy yllä oleva varoitusvalo mittaristoon. Valo syttyy aina, kun sytytysvirta kytketään, palaa noin 5 sekunnin ajan ja myös hälytysääni ilmoittaa viasta. 5 sekunnin jälkeen hälytysvalon suurempi symboli sammuu ja varoitusääni häviää. Pienempi valo ja hälytys sytytysvirtojen kytkemisen jälkeen saadaan pois, kun rengaspaineet on korjattu.



KUVA 13. Varoitusvalo 2. /29 s.26/

Yllä oleva varoitusvalo syttyy, jos syttyy jos ilmanpaine on renkaassa pudonnut enemmän kuin 0,4 bar tai paine 0.2 bar tai enemmän minuutissa. Varoitusvalo ei sammuu ja näin ollen rengaspaine on korjattava, jotta varoitusvalo sammuu.

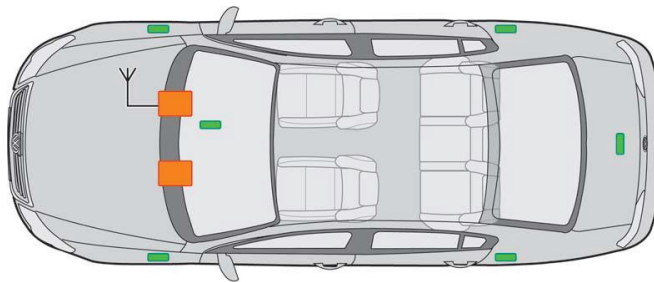


KUVA 14. Varoitusvalo 3. /29 s.26/

Yllä oleva varoitusvalo syttyy, jos järjestelmä on oppimistilassa tai järjestelmässä on toiminnan estävä häiriö. Pieni symboli palaa niin pitkään, ennen kuin oppimistila on päättynyt tai vika on korjattu.

Aina kun tapahtuu muutoksia auton renkaissa, on oppimistila suoritettava. Esimerkiksi elektroniikkayksikkö pyörään on vaihdettu tai autossa käytettävää rengaspainetta muutetaan. Oppimistilassa autolla on ajettava yli 5 km/h noin 7-10 min, ja kun oppimistila on onnistunut, varoitusvalo sammuu mittaristosta /29/.

7.3 TPM ilman sijainnin tunnistamista



KUVA 15. TPM ilman sijainnin tunnistamista /29 s.34/

Järjestelmässä on jokaiseen renkaaseen asennettu rengaspainetta mittaava elektroniikkayksikkö, myös vararengaassa on tämä asennettuna. Keskuslukituksen ja varashälytintä järjestelmän antenni lukee elektroniikkayksiköiden lähettämää tietoa. Saatua tietoa siirretään rengaspainevalvontajärjestelmän keskusyksikön käyttöön. Keskusyksikkö lähettää varoitustiedot mittaristoon. Järjestelmässä on myös kojelaudassa kytkin, jolla auton käyttäjä voi ohjata järjestelmää.



KUVA 16. Mittaus yksikkö /29 s.35/

Yllä oleva vanteeseen asennettava elektroniikkayksikkö poikkeaa edellisen kerrotun järjestelmän käyttämästä elektroniikka yksiköstä. Tämän näköinen elektroniikkayksikkö on nykyään yleisesti käytössä muissakin automerkeissä.

Tämä TPM ilman sijainnin tunnistamista järjestelmän yksikkö mittaa 3 mitattavaa suuretta:

- ilmanpainetta
- lämpötilaa
- kiihtyvyyttä.

Yksikkö sisältää patterin jonka käyttö-iäksi valmistaja lupaa noin 10 vuotta.

Yksikön venttiiliosa toimii antennina, joka lähettää mitattuja tietoja vastaanottavalle antennille. Koska venttiili sijaitsee renkaan ulkopuolella, on ratkaisulla saatu häiriötömpä radiosignaalin lähetys tietoa vastaanottavalle antennille.

Yksikkö painaa kokonaisuudessa noin 45 g, toimintalämpötila on -40 °C 120 °C asti.

Yksikön lähettämän radiotaajuuden luku vaihtelee sen mukaan, missä maassa autoa käytetään. Esimerkiksi Saksassa käytössä olevassa autossa 434,42 MHz.

Yksikön sisältämällä kiihtyvyyssanturilla on haettu kiihtyvyyden mittaamisen lisäksi sitä etua, että järjestelmän ei alkaisi tunnistamaan toisten autojen lähettämää radiosignaalia ja aiheuttaisi näin häiriötä järjestelmään. Kiihtyvyyden ja auton nopeustiedon avulla se voi päätellä, että signaali on oikea.

Yksikön lämpötila-anturin tietoa käytetään rengaspaineen mittauksessa luotettavuuden arvioinnin apuna. Mittausyksikkö ei lähetä mittaustietoa, jos auto pysähtynyt tai auton nopeus on alle 25 km/h, mutta jos mittausyksikkö huomaa, että renkaan ilmanpaine laskee yli 0,2 bar minuutissa, mittaustietoa aletaan lähettää. Kun mittausyksikkö huomaa kiihtyvyyssmittausanturinsa avulla yli 5 g kiihtyvyyden, joka vastaa noin 25 km/h auton nopeutta, 30 datasanomaa lähetetään antennille 15 sekunnin välein. Tämän tilanteen jälkeen tietoa lähetetään normaalissa ajotilanteessa 1 datasanomana per minuutin välein. Häiriötilanteen sattuessa, kun paineen lasku on yli 0,2 bar/min, tietoa lähetetään joka 15 sekunnin välein.

Järjestelmän hälytystasot kuljettajalle jakautuvat 3 tasoon riippuen renkaan ilmanpaineen häviön määrästä. Jos renkaan ilmanpaineen häviö on 0,3-0,4 bar, syttyy huomauttava häiriövalo ja varoitusteksti mittaristoon. Jos renkaan ilmanpaineen muutos on merkittävä eli 0,4 bar tai yli, syttyy varoittava häiriövalo ja varoittava äänimerkki. Jos renkaan ilmanpaineen muutos on yli 0,2 bar minuutissa, syttyy varoittava häiriövalo ja merkkiääni. Jos järjestelmän joku komponentti menee vialliseksi, syttyy häiriövalo mittaristoon.

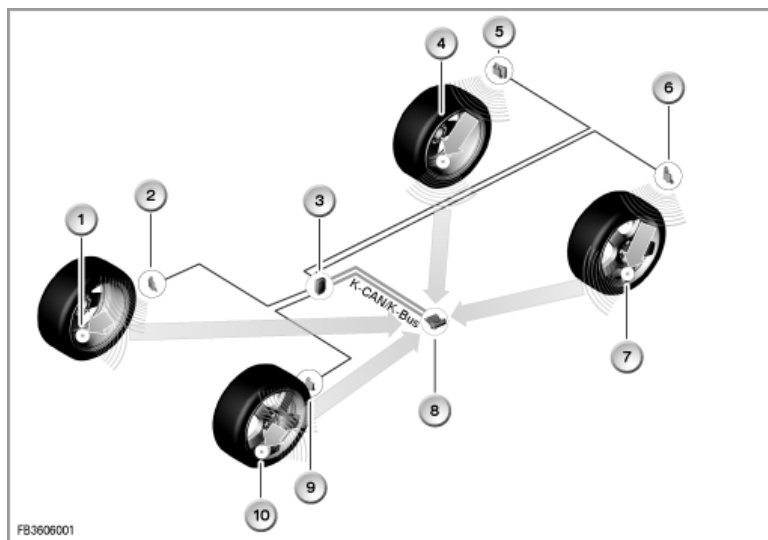
Rengaspainevalvontajärjestelmään on jo tehtaalla ohjelmoitu käytettävät rengaspaineet tyhjän ja täyden kuormauksen tilanteisiin. Käytetyt painetiedot löytyvät auton ohjekirjasta ja tankinluukussa olevasta tarrasta. Auton käyttäjä voi järjestelmän painikkeen avulla kytkeä järjestelmään täyden kuorman tilanteen ja näin järjestelmä osaa tarkkailla paineita oikean arvon mukaan. Jos autoon vaihdetaan erikokoiset renkaat ja käytetään eriarvoisia renkaan ilmanpaineita, on järjestelmä ohjelmoitava auton testauslaitteella uusiin arvoihin.

Renkaan vaihdon yhteydessä järjestelmä vaatii sen, että järjestelmä asetetaan käyttökäytöksen avulla opetustilaan. Opetustilassa järjestelmä alkaa tunnistaa uudet elektro-

niikkayksiköt. Opetustilassa autolla on ajettava yli 25 km/h. Opetustila kestää noin 7 min /29/.

7.4 BMW RDC rengaspainevalvontajärjestelmä

BMW käyttää rengaspainevalvonta järjestelmästäan lyhennettä RDC. Maaliskuusta 2014 alkaen on BMW:n kaikki mallit varustettu RDC-järjestelmällä /3/. Oleellisesti järjestelmä ei eroa muitten valmistajien aktiivisista rengaspainevalvontajärjestelmistä.



KUVA 17. Järjestelmän komponenttien sijainti /4 s.3/

Yllä olevassa kuvassa RDC-järjestelmän komponenttien sijainti autossa.

1.4.7.10. Vanteisiin asennetut renkaan painetta mittaavat elektroniikkayksiköt.

2.5.6.9. RDC lähettimet

3. RDC ohjainlaite

8. RDC antenni

BMW:n RDC-järjestelmän tarkkailee rengaspaineita, kun autolla ajetaan. RDC-keskusyksikkö pyytää renkaan ilmanpaine- ja lämpötilatietoja tietyn ajan välein, normaalissa ajotilanteessa joka 54 sekunnin välein. Kun paineen lasku renkaassa on merkittävää, tiedonsiirtoa tapahtuu 0.8-3 sekunnin välein, tämä riippuu siitä, miten järjestelmä luokittelee paineen laskun vakavuuden. Tilanteessa, jossa järjestelmä mittaa renkaassa olevan sisäilman lämmön yli 120 °C, se sulkee mittaavan elektroniikkayksikön. Yksikkö kytkeytyy päälle, kun lämpötila on pudonnut 110 °C:n. Järjestelmässä

on 4kpl jokaisen pyörän vanteeseen asennettua elektroniikkayksikköä. Elektroniikkayksikkö on samanlainen kuin kuvassa 16. Myös tässäkin on patterin kesto-ikäsi luvattu noin 10 vuotta.

Elektroniikka yksikkö sisältää:

- paineanturin
- lämpötila-anturin
- kiihtyvyyssanturin
- patterin
- tiedonsiirto ja vastaanottoantenni.

Pyöriin asennetut elektroniikkayksiköt saavat mittauskäskyt RDC-lähettimiltä, joita ohjaa RDC-ohjainlaite CAN-väylän kautta. RDC-lähettimiä on järjestelmässä 4 kpl, ja ne on asennettu mahdollisimman lähelle renkaita eli sisälokasuojan sisään. Järjestelmässä on 1 antenni, joka vastaanottaa pyörissä olevien elektroniikkayksiköiden tietoa. Vastaanotetun tiedon se lähettää CAN-väylän kautta ohjainlaitteelle. Ohjainlaite ohjaa järjestelmää ja käsittelee mitattua dataa. Häiriötilanteissa se ilmoittaa viasta auton mittaristolle ja ajotietokoneelle. Kun autoon vaihdetaan rengas tai rengaspaineita muutetaan, kuljettaja uudelleen ohjelmoi järjestelmän kojetaulusta, jolloin uudet painearvot ohjelmoituvat järjestelmään./4./

7.5 Järjestelmien yhteenveto

Suoran rengaspainevalvontajärjestelmän edut ovat, että se antaa tarkan tiedon rengaspaineesta ja mittaa myös lämpötilaa renkaassa, minkä avulla mittaus on luotettavampaa.

Mittausmenetelmä ei ole altistuvainen mittausvirheille, jotka voisivat johtua rengastyypistä, auton kunnosta tai ajo-olosuhteista.

Järjestelmän etuna on, että rengaspainetta voidaan tutkia silloinkin, kun auto seisahtanut. Tilanteessa, jossa renkaan paineet laskevat esim. yön aikana, järjestelmä varoittaa aamulla heti autoa käynnistäessä, että rengaspaine on laskenut. Järjestelmä voidaan

toteuttaa eri tavoilla. Esimerkiksi jos järjestelmän kustannuksissa halutaan säästää, niin voidaan jättää joitakin ominaisuuksia pois tai lisätä ominaisuuksia, jotka tarkentavat järjestelmän antamaa informaatiota kuljettajalla. Esimerkiksi järjestelmän antennina voidaan käyttää keskuslukituksen ja varashälyttimen antennia sen sijaan, että olisi jokaiselle rengaspaineanturille oma antenni. Järjestelmässä voi olla ominaisuutena, että rengaspaineista annetaan tarkka mittaustieto kuljettajalle ajotietokoneen näytön avulla.

Epäsuoran järjestelmän ongelma on, että jos auton rengaspaineet putoavat auton seisomisen aikana, auto ei varoita viasta startatessa vaan autolla on ajettava tietty matka ennen kuin järjestelmä tunnistaa vian. Epäsuoran järjestelmän mittaus ei ole niin tarkka kuin suoran järjestelmän. Epäsuora järjestelmä voi tehdä tämän takia myös mittausvirheitä, esim. järjestelmä ei tiedä renkaiden lämpötiloja, joka voi johtaa mittausvirheisiin.

Pelkkään ABS-anturin nopeussignaalin perustuvan mittauksen ongelmana on, että se ei pysty tunnistamaan vikatilannetta, jossa kaikki renkaat tyhjenevät samaan aikaan. Järjestelmää on kehitetty ja järjestelmä pystyy nykyisin jo käyttämään muita auton keskusyksiköiltä saatavia hyödyllisiä tietoja hyväksi, jotta samanaikainen tyhjeneminenkin voidaan havaita.

8 VERTAILU HUOLLON, KUSTANNUSTEN JA KÄYTÖN SUHTEEN

Epäsuora rengaspainevalvontajärjestelmä on huollon ja kustannusten kannalta edullinen vaihtoehto. Kun järjestelmä on vain ABS ja ajonvakautusjärjestelmän ohjainlaitteelle asennettu ohjelma, ei tule lisäkustannuksia järjestelmän komponenteista niin kuin suorassa rengaspainevalvontajärjestelmässä.

Renkaita vaihtaessa tai rengaspaineita muuttaessa on epäsuorassa muistettava kalibroida järjestelmä. Epäsuorajärjestelmä vertailee vain renkaiden keskinäistä eroa, jolloin oikeiden rengaspaineiden arvon käyttö jää auton kuljettajan vastuulle.

Epäsuoran järjestelmän toiminta riippuu ABS:n ja ajonvakautusjärjestelmän toiminnasta, tämän takia rengaspainevalvonta järjestelmän vianetsintä voi hankaloitua, kun toiminnan järjestelmä on laaja. Tällä hetkellä Suomessa vaaditaan rengaspainevalvonta pakollisena vain ensiasennusrenkaana. Epäsuoran järjestelmän poisto kuljettajan halusta olisi varmaan mahdollista ohjelmoimalla, mutta mitään rahallista hyötyä siitä ei olisi. Järjestelmä ei vaadi huoltoa muuta kuin vikatapauksissa, ja nekin johtuvat ABS järjestelmästä tai ajonvakautusjärjestelmästä, jotka on syytä olla autossa kunnossa. Järjestelmä myös toimii aina, olivatpa auton renkaat mitkä vain. Kustannusten kannalta epäsuorajärjestelmä olisi edullisempi järjestelmä.

Suora rengaspainevalvonta järjestelmä on kuluttajan kannalta huoltoa vaativampi vaihtoehto. Järjestelmän tekniikka kumminkin kehittyy ja on mahdollista yksinkertaistaa järjestelmää, jolla voidaan järjestelmän hintaa ja huollon kustannuksia alentaa.

Uutta auto rekisteröitäessä on siis Suomessa oltava autossa toimiva rengaspainevalvontajärjestelmä. Järjestelmä ei siis ole lisävaruste vaan pakollinen varuste, joten on autonvalmistajasta kiinni, miten järjestelmän hinta näkyy uudessa autossa, eli mitä lisäkustannuksia auton ostajalle on järjestelmästä.

Tämän hetken Suomen lainsäädännön mukaan toisissa renkaissa ei siis tarvitse tätä rengaspainevalvontaa olla, tämä periaatteessa mahdollistaisi sen, että auton toisiin renkaisiin ei asennettaisi rengaspainevahteja. Rengaspainevahdittomat renkaat asennettaessa autoon tulisi tilanne, että auton rengaspainevalvontajärjestelmä ilmoittaisi viasta kuljettajaa häiritsevästi, koska paineanturit puuttuvat. Riippuu sitten eri automallien toteutuksesta, miten paljon tämä häiritsee kuljettajaa. Säädöksen mukaanhan autoon aina kytkettäessä sytytysvirrat syttyy merkkivalo vikaa ilmoittamaan. Merkkivalo jää palamaan niin pitkään, ennen kuin rengaspaineet on korjattu.

EU-säädösten mukaan painevalvonta ei saa olla pois kytkettävissä. Ajatus, jossa kuluttaja haluaisi poistaa järjestelmän autosta, törmää siihen ongelmaan, että maahantuojat eivät turvallisuuteen vedoten suostu poistamaan järjestelmää.

Seuraavassa muutama maahantuojan lausunto esimerkkinä, miten he ajattelevat järjestelmän pakollisuudesta.

”Lähtökohtamme on se, että autot ovat direktiivien mukaisia. Paineenvalvonta on uusi pakollinen turvavaruste, eikä meillä ole edes keinoa kytkeä sitä pois käytöstä, Fordin huoltojohtaja Matti Koponen linjaa.”

”Jos asiakkaalla ei ole oikein koodattuja paineantureita autonsa pyörissä, auto varoittaa asiasta kunnes tilanne korjaantuu, Toyota Auto Finlandin tiedotuspäällikkö Kalle Kalaja vahvistaa.” /21./

Järjestelmä on siis maahantuojien mukaan kumminkin toimittava uudessa autossa, varoitusvalo varoittaa viasta niin pitkään, ennen kuin se on korjattu, eli toisiinkin renkasiin on tilattava rengaspainevahdit ja lisäkustannuksia tulee.

Tavallisessa käytössä suora rengaspainevalvonta järjestelmä ilmoittaa viasta ja tehdään tarvittavat toimenpiteet rengaspaineen korjaamiseksi. Käyttäjän on muistettava aina kalibroida järjestelmä, kun rengaspaineita muutetaan.

Pulloista suihkutettavia paikkausaineita ei saa käyttää renkaan vuodon paikkaukseen, koska ne rikkovat herkät sensorit suoran rengaspainevalvontajärjestelmän paineantureista /21/.

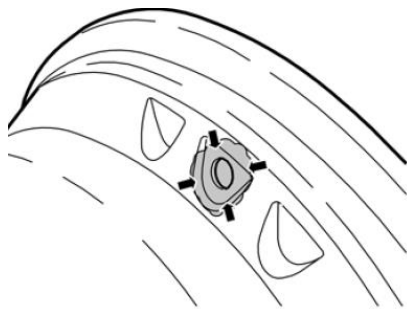
Ehkä suurin haitta suorasta rengaspainevalvontajärjestelmästä tulee käyttäjälle renkaan vaihdon yhteydessä. Riippuen miten autonvalmistaja on asian toteuttanut, voi olla, että autoon vaihdettavien renkaiden rengaspainetunnistimet on ohjelmoitava autoon. Joissain automallien toteutuksissa on toteutettu järjestelmä niin, että renkaan tunnistimet ovat itse oppivia, joten testeri ohjelmointia ei tarvita. On myös mahdollista, että rengaspainevalvontajärjestelmään voi ohjelmoida esimerkiksi kesä- ja myös talvirenkaat muistiin, joten kausivaihdon yhteydessä ei tarvita ohjelmointia. Nämä kaksi viimeisintä mahdollisuutta ovat tietysti edullisimmat kuluttajan kannalta ja voidaan välttää korjaamokäynti rengaspainevahtien ohjelmoinnin takia.

Renkaanpaine antureiden ohjelmointi työkaluja on mahdollista ostaa tavallisen kuluttajankin. Yksinkertaisten kalibrointityökalujen hinnat ovat noin 80–100 euroa. On myös suositeltavaa ostaa kunnollinen renkaanpainemittaus työkalu, huoltoasemien rengaspainemittareissa on suuria keskinäisiä eroja, eivätkä mittausarvot ole luotettavia.

Korjaamoiden veloitus rengaspainetunnistimien ohjelmoinnista riippuu korjaamosta, yleinen kustannus on noin 20–30 euroa /14/. Korjaamolla tapahtuvan ohjelmoinnin etuna on, että siellä voidaan samalla tunnistimien kunto tarkastaa ja testerillä voidaan mahdollisesti tarkastaa renkaan painetunnistimen patterin jäljellä oleva varaus.

Rengaspaine tunnistimen paristo kestää 5-10 vuotta, eli yhtä anturisarjaa voi käyttää noin kahdessa rengaskerrassa /21/. Joissain tunnistimissa paristot on sinetöity, eivätkä ne ole vaihdettavissa, jolloin koko paineanturi täytyy vaihtaa. Uusi painetunnistin maksaa noin 35–150 euroa, enimmillään jopa 350 euroa /14/. Pariston kesto riippuu ajomäärästä, koska järjestelmä voi olla ns. sleep modessa, kun autolla ei ajeta, eli patteria ei kuluteta turhaan.

Anturit pyöriässä asettaa erityishuomiota ja toimenpiteitä kun renkaita vaihdetaan. Tämä tietää, että rengasasennukseen on varattava enemmän aikaa ja kuluttajalle se tietää lisähintaa. Seuraavassa Volvon huolto-esimerkkiä rengaspaine-anturin asentamisesta vanteeseen, joka kertoo, mitä erityistoimenpiteitä järjestelmän olemassaolo tuo.



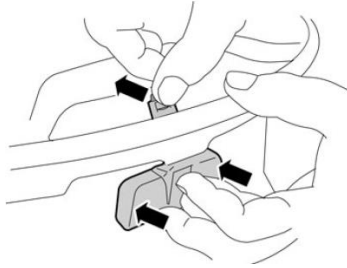
KUVA 18. Asennus alue vanteessa /30 s.4/

Ennen rengaspaineanturin asennusta on vanteen sisä- ja ulkopuolelta puhdistettava hyvin alue, johon anturi asennetaan.



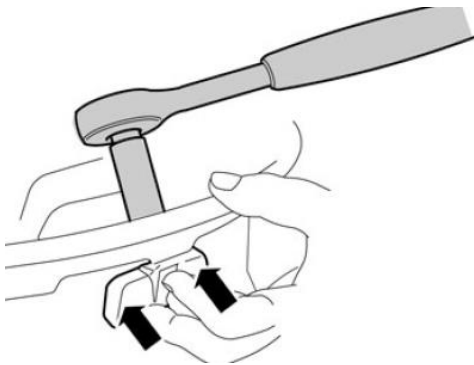
KUVA 19. Venttiilin asennus /30 s.4/

Venttiili asennetaan venttiilin reikään muuttamatta venttiilin ja anturirungon välistä kulmaa (säilytetään asetus, joka yksikössä on ollut jo toimitettaessa).



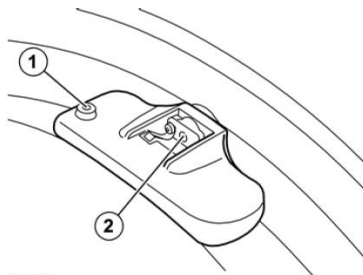
KUVA 20. Venttiilin asennusta /30 s.5/

Kun venttiili on asettunut venttiilin reikään, on tärkeää, että antennirunko asettuu vanneuraa vasten, jonka jälkeen voidaan anturin mutteria kiristää sormin pari kierrosta kiinni. Antennirungon ja venttiilin välinen kulma painetaan sormin oikeaksi.



KUVA 21. Venttiilin kiinnitys /30 s.5/

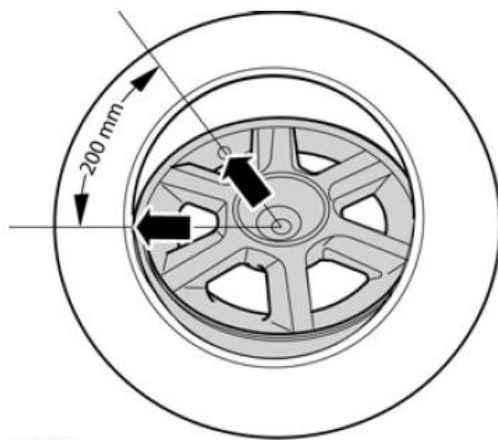
Paineanturi kiristetään vanteeseen kiinnitysmutterillaan tiukkuuteen 8 Nm.



IMG-229209

KUVA 22. Huomioitavaa venttiilissä /30 s.6/

Ylhäällä olevassa kuvassa oleviin venttiilin kohtiin 1 ja 2 ei saa rengasta asennettaessa joutua renkaan asennusrasvaa, muuten venttiilin mittaus häiriintyy. On myös varottava, ettei rengasrauta osu renkaan asennus tai renkaan irrotus vaiheessa anturiin.



KUVA 23. Renkaan asennus /30 s.6/

Renkaan asennuksessa on oltava huolellinen, ettei vahingoita paineenmittausyksikköä. Rengas asetetaan vanteelle niin, että etäisyys paineenmittausyksikön ja renkaan ja vanteen kosketuskohdan välissä on noin 200 mm.



KUVA 24. Anturin kalibrointi /30 s.9/

Erikoistyökalulla kalibroidaan anturit /30/.

Esimerkistä nähdään, että suora renkaanpainemittaus järjestelmä tuo renkaan vaihtoon lisähaastetta, koska herkkää elektroniikka yksikköä on varottava vahingoittamasta ja anturin ohjelmointi lisäävät renkaan asentamiseen kuluvaan aikaa.

Vikoja, mitä suorassa rengaspainevalvontajärjestelmässä voi mahdollisesti olla, ovat radiohäiriöt painevahdin ja antennin välisessä tiedonsiirrossa, elektroniikan viat paineenmittausyksikössä, järjestelmän yleiset sähköviat ja kalibroinnissa voi tapahtua ongelmia. Pakkasesta johtuva rengaspaineen alentuminen voi aiheuttaa hälytyksiä.

Suurin epäily rengasalalle on ollut kestävätkö paineanturit Suomen olosuhteet. Ongelmia voivat aiheuttaa loskakelit, tiesuola, renkaiden kausisäilytys ja pakkanen. Keski-Euroopassa on havaittu joitakin hapettumisesta vaurioituneita paineantureita. /21./

Markkinoille on tullut saataville paineantureiden huolto-sarjoja, joilla voidaan esim. hajonnut täyttöventtiiliosa vaihtaa, joten kallista elektroniikkaa ei tarvitse vaihtaa.



KUVA 25. Katkennut venttiili /16/

Ylhäällä olevassa kuvassa mittausyksikön on venttiiliosa hapettuman tai osuman takia katkennut.



KUVA 26. Hapettunut venttiili /17/

Ylhäällä olevassa kuvassa on mittausyksikön elektroniikkaosa vahingoittunut.



KUVA 27. TPMS-anturin huolto-sarja /9/

Ylhäällä TPMS-anturin huolto-sarja, jolla voidaan asentaa uusi ilmantäyttöventtiili paineenmittausyksikköön.

Korjaamoille ja rengasliikkeille rengaspainevalvontajärjestelmä on lisää asiakkaita ja työtä tuova auton varuste. Kalibroinnit ja paineyksiköiden vaihdot ja tarkastukset lisäävät työhön kuluvaa aikaa. Painejärjestelmien kalibroinnit voivat tuoda lisää asiakkaita siitä joukosta, joka on ennen vaihtanut itse renkaat autoonsa kotona.

Epäsuoraa ja suoraa paineenvalvonta järjestelmää vertailtaessa tulee vielä esille se ympäristöä kuormittava asia, että suoran rengaspainevalvontajärjestelmän vialliset tai pariston loppumisen kannalta vaihdetut vanhat elektroniikkayksiköt ovat elektroniikkajätettä ja näin kuormittavat ympäristöä. Epäsuora rengaspainevalvontajärjestelmä ei itsessään sisällä mitään vaihdettavia osia.

9 JÄRJESTELMIEN TULEVAISUUDEN KEHITYS

Seuraavien esimerkkien avulla yritän valottaa, millaisia rengaspainevalvontajärjestelmiä voi olla tulevaisuudessa.

VDO on kehittänyt uuden VDO REDI -anturin, joka liimataan kiinni renkaan sisäpintaan. Anturin on ollut myynnissä kesästä 2014 alkaen. Anturin ohjelmointi suoritetaan auton ohjelmointitavan mukaan, joko auto itseohjelmoi tai käytetään testeriä ohjelmointiin. Vanha anturi on mahdollista siirtää renkaita vaihdettaessa uuteen renkaaseen. Anturin toiminta perustuu siihen että tietoa lähetetään autoon radiotaajuusviestinnällä, niin kuin suorassa TPMS-järjestelmässä tapahtuu. Järjestelmä sisältää litiumpariston, jonka avulla anturi toimii. Patterin käyttöajaksi on arvioitu 5 vuotta, jos renkaat kausi vaihdetaan keväisin ja syksyisin. Jatkuvassa käytössä n. 3 vuotta. /27; 28./



KUVA 28. VDO:n anturi renkaassa /27/



KUVA 29. VDO:n anturi /28/

VDO:n kehittämä uusi anturi tuo kehitystä vanhempiin järjestelmiin verrattuna. Anturi korvaa suoran TPMS-järjestelmän renkaan täyttöventtiiliin sijoitetun paineenmittaus elektroniikkayksikön. Etuina tässä on nykyiseen TPMS-järjestelmän paineenmittaus yksikköön, se että renkaanasennus on helpompaa, koska mittausyksikkö liimataan renkaan sisään, joten renkaan asennus ja irrotusvaiheessa anturi on paremmassa suojassa kuin ilmantäyttöventtiiliin sijoitettu anturi. Kooltaan anturi on pienempi, ja näin voidaan hinnassa kustannuksia alentaa ja elektroniikkajätettä tästä kertyy vähemmän. Tarkkuutta asennusvaiheessa tässä järjestelmässä vaatii se, että liimaus renkaaseen tapahtuu luotettavasti.

Rengasvalmistaja Continentalin mukaan tulevaisuudessa rengaspainevalvontajärjestelmät tarkkailevat renkaan kulutuspinnan syvyyttä ja varoittavat sen kulumisesta kuljettajalle. Järjestelmän olisi tarkoitus olla saatavilla markkinoilla vuonna 2017 Continentalin valmistamissa TPMS-järjestelmissä. Järjestelmässä renkaan sisään asennettu paineen mittaus anturi mittaa renkaan pyörimisominaisuuksien muutoksia ja voi näin päätellä, miten renkaan kulumisuran syvyys muuttuu.

Paineenmittausanturilla voidaan myös mitata auton painokuormitusta. Mittaus perustuu siihen että, renkaan kulutuspinnan painautuma muuttuu painon lisääntyessä akselille, ja tämä tuo muutoksia renkaan pyörimisominaisuuksissa, jotka renkaaseen asennettu paine anturi huomaa. Auton akselin painokuormituksen lisääntymisestä voidaan tiedottaa kuljettajalle ja myös esimerkiksi auton ajonvakautusjärjestelmälle, joka voi käyttää tietoa hyväksi. /7./



KUVA 30. Continentalin anturi /7/

Continental on myös kehittänyt älypuhelinsovelluksia, jolla voidaan lukea, mitkä ovat rengaspaineet autossa /7/.



KUVA 31. Älypuhelin sovellus /7/

Continentalin tulevaisuuden visioista renkaan kulutuspinnan urasyvyyden mittaus kuulostaa hyvältä idealta. Suomessakin kuluneet renkaat ovat suurin renkaisiin liittyvä riskitekijä onnettomuuksissa, joten tällaiselle kehitelmälle on tilausta. Varoitus kojetaulussa olisi tehokas keino vähentää kuluneitten renkaiden käyttöä autossa. Älypuhelinsovellus olisi hyvä rengaspaineen mittauksen tarkkuuden arvioinnissa. Oma painemittari tai huolto-aseman mittari ei välttämättä kerro enää parhaalla tarkkuudella auton rengaspainetta.

Rengaspainevalvonta raskaalla kalustolla on myös tärkeä kehityskohde tulevaisuudessa, turvallisuus parantuisi ja säästöt voisivat olla suuret renkaiden kestävyudessa, polttoainekuluissa jne., mitkä järjestelmä toisi. Esimerkiksi Scaniaalta ja Mercedes-Benziltä löytyy jo rengaspainevalvontajärjestelmää lisävarusteena.

Rengasvalmistaja Continentalilläkin on saatavilla jo rengaspainevalvontajärjestelmä raskaalle kalustolle.



KUVA 32 ContiPressureCheck /6/

Järjestelmästä käytetään markkinanimeä ContiPressureCheck. Järjestelmä toimii aktiivisen TPMS-järjestelmän tavoin. Renkaan sisään on asennettu anturit, jotka mittaavat renkaanpainetta ja lämpötilaa. Autossa on antureiden radiosignaalia vastaanottava ohjainlaite, joka siis vastaanottaa antureiden lähettämää tietoa auton ja perävaunun renkailta. Auton sisälle on asennettu näyttö, josta järjestelmän antama tieto on saatavissa. Continentalin mukaan rengasviat on yleisin syy Euroopassa raskaankaluston vioista, jotka johtavat ajomatkan keskeytymiseen ja 90 % näistä rengasvioista johtui hitaasta renkaan vuodosta, jota kuljettaja ei huomannut, joten tilausta tälle järjestelmälle on. /6./

10 KÄYTÄNNÖN MITTAUKSIA

Mittauksessa tutkin, miten renkaanpaine muuttuu lämpötilan muuttuessa. Mittauksessa otin renkaan ulkovarastosta, jonka pintalämpötilaksi mittasin 0 °C lämpimään sisätilaan, jossa renkaan lämpötila kohosi muutaman tunnin aikana 26,3 °C:een. Renkaan paine kohosi 1,75 bar paineesta 2,05 bar paineeseen, eli renkaan paine nousi 0,3 bar ja lämpötilanmuutos oli 26,3 °C.

Seuraavassa lasken vielä yleisen kaasun tilanneyhtälön avulla, onko tämä mittaustulos teoreettisestikin oikein.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (4)$$

$$p_1 = 1,75 \text{ bar} + 1,0 \text{ bar} = 2,75 \text{ bar}$$

$$p_2 = ?$$

$$T_1 = 273 \text{ K}$$

$$T_2 = 299,3 \text{ K}$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot T_2}{T_1} \quad (5)$$

$$p_2 = \frac{2,75 \text{ bar} \cdot 299,3 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 3,02 \text{ bar}$$

$$3,02 \text{ bar} - 1,0 \text{ bar} = 2,02 \text{ bar}$$

Eli laskennallisesti renkaan ilmanpaine lämpötilan muutoksen jälkeen vastaa todellista ilmanpainetta, jonka käytännön mittauksessa mittasin.

Toisessa mittauksessani tutkin, miten renkaan paine ja lämpötila muuttuu tavallisessa ajossa. Mittauksessa yritin selvittää, miten suuri merkitys on sillä, että rengaspaineet mitataan jäähtyneestä renkaasta.

Mittauksessa ulkolämpötilana oli 4,5 astetta. Mittauksessa tie oli sulanut asfalttatie ja renkaina nastarenkaat.

Mittauksen aluksi mittasin renkaiden ilmanpaineet ja pintalämpötilat renkaan sivusta:

TAULUKKO 4. Renkaan ilmanpaineen muutos alkutilanne

	Lämpötila °C	Renkaan ilmanpaine bar
Vasen eturengas	0,03	2,55
Oikea eturengas	0,03	2,50
Vasen takarengas	0,03	2,60
Oikea takarengas	0,03	2,60

Seuraavaksi ajoin autoa maantienopeudella 80–86 km/h 12 km, jonka jälkeen mittasin renkaiden ilmanpaineet ja pintalämpötilat renkaan sivusta:

TAULUKKO 5. Renkaan ilmanpaineen muutos ajossa tilanne 2

	Lämpötila °C	Renkaan ilmanpaine bar
Vasen eturengas	6,00	2,65
Oikea eturengas	8,00	2,60
Vasen takarengas	3,00	2,65
Oikea takarengas	4,10	2,65

Ajoin vielä lopuksi autolla 10 km maantienopeudella 80–86 km/h 10 km ja mittasin renkaiden ilmanpaineet ja pintalämpötilat renkaan sivusta:

TAULUKKO 6. Renkaan ilmanpaineen muutos ajossa lopputilanne

	Lämpötila °C	Renkaan ilmanpaine
Vasen eturengas	8,00	2,65
Oikea eturengas	7,00	2,60
Vasen takarengas	4,10	2,65
Oikea takarengas	4,50	2,65

Tässä mittauksessa renkaan ilmanpaine nousi ajosta johtuvan renkaan lämpenemisen takia 0,05-0,1 bar. Suurta eroa renkaanpaineessa ei tämän testin olosuhteet saanut aikaiseksi. Merkittävin mittaustieto oli, että huoltoasemien rengaspainemittauslaitteet eivät välttämättä ole luotettavia. Olin tarkastanut rengaspaineet aikaisemmin noin kuukausi takaperin ja asettanut ne arvoon 2,3 bar. Nyt kumminkin rengaspaineet olivatkin arvossa 2,6 bar. Loppu päätelmänä voi sanoa, että mitä enemmän renkaat ajossa lämpenee, niin sitä suurempi virhe on, jos rengaspaineet mitataan heti ajon jälkeen.

11 YHTEENVETO

Rengaspaineilla on suuri merkitys auton toimintaan ja käyttöön. Autoon suunnitelluilla oikeilla rengaspaineilla auto pystyy käyttäytymään parhaiten ja renkaat pystyvät toimimaan käyttäen hyödykseen kaikkia ominaisuuksiaan oikein. Rengaspaineilla on vaikutus renkaiden kulumiseen, polttoaineen kulutukseen, jarrutusmatkaan ja auton käyttöön.

Rengaspainevalvontajärjestelmä on apuväline, joka antaa kuljettajalle informaatiota rengaspaineista. Auton omistajan pitäisi huolehtia rengaspaineista säännöllisin väliajoin. Paineitten tarkastus unohtuu usein. Rengaspaineita säätäessä voi sattua virheitä esimerkiksi huolto-aseman rengaspainemittari voi näyttää virheellistä arvoa, tai ei osata laittaa renkaanpaineksi oikeata autoon sopivaa painearvoa. Nykyaikana paljon käytetyistä matalaprofiilirenkaista on silmämääräisesti vaikea huomata renkaan ilmanpaineen väheneminen. Hidasta rengaspaineen alentumista on myös hankala huomata ajaessa. Näihin asioihin rengaspainevalvonta on hyvä apuväline, joka valvoo kuljettajan puolesta, että rengaspaineet ovat kunnossa.

Suomessa rengaspainevalvontajärjestelmän pakollisuus koskee vain auton ensiasennusrenkaita, koska Suomessa vaihdetaan renkaat 2 kertaa vuodessa kausivaihdon takia. Edellä olevan syyn takia katsotaan, että rengaspaineet tulisi tarkastettua tarpeeksi usein.

Maissa, jossa ei kausivaihtoa tehdä, on rengaspainevalvonnalla suurempi merkitys. Tutkimusten mukaan kumminkin Suomessakin noin joka viides ajaa vaarallisen vajoapaineisilla renkailla. Väärät rengaspaineet ovat kolmanneksi suurin rengasriski Suomessa, ja rengaspainevalvonta on keino, jolla tämän rengasriskin osuutta voidaan pienentää.

Suomessa suurempaa osaa rengasriskeistä ovat huonokuntoiset renkaat ja keliin sopimattomat renkaat. Näiden vikojen osuuden vähentäminen vaatii kehitystä tulevaisuudessa. Helpoin keino olisi se, että auton kuljettaja kiinnittäisi enemmän huomiota auton renkaiden kuntoon. Tutkimuksista on ilmennyt, että kuljettajista noin puolet arvioi renkaidensa kunnan paremmaksi kuin ne oikeasti ovat. Keliin sopivien renkaiden käyttökin on auton kuljettajan vastuulla.

Rengaspainevalvontajärjestelmiä on toimintaperiaatteeltaan kahdenlaista. Molemmissa järjestelmissä on omat etunsa. Tekniikkaa tutkiessa ilmeni, että järjestelmässä tapahtuu kehitystä ja erilaisia kehityskohteita ja ideoita on, joilla järjestelmiä voidaan kehittää luotettavimmiksi ja käytöltään edullisimmiksi ja käyttöystävällisimmiksi. Rengaspainevalvontajärjestelmä tuli pakolliseksi USA:ssa 2007 ja Euroopassa 2014. Järjestelmä on kumminkin vielä varsin uutta tekniikkaa, joten tulevaisuus näyttää, mihin tekniikka kehittyy.

Rengaspainevalvontajärjestelmä on mielestäni kaikista sen hyötyä tuovista asioista johtuen merkittävä varuste autoon.

LÄHTEET

1. Ammattiautot.fi. Jopa puoli miljoonaa autoilijaa aiheuttaa turhia päästöjä - Michelinin rengaspainekiertue. WWW-sivu.
<http://www.ammattiautot.fi/uutiset/jopa-puoli-miljoonaa-autoilijaa-aiheuttaa-turhia-paastoja-michelinin-rengaspainekiertue/>. Päivitetty 16.2.2015. Luettu 16.2.2015.
2. Autorengasliitto, Rengasriskitiiivistelmä. PDF-dokumentti.
http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.autorengasliitto.fi%2Findex.php%3Fs%3Dfile_download%26id%3D551&ei=_BfaVKqZG8r0UNadgegH&usg=AFQjCNEKCN3rkZ5kRpq_WEbEVsHlshZkTQ&bvm=bv.85464276,d.d24. Julkaistu 8.9.2014. Luettu 8.2.2015.
3. BMW. Rengaspainevalvonta. WWW-sivu.
http://www.bmw.fi/fi/fi/owners/accessories/tyre_pressure_control_system/index.html. Päivitetty 5.2.2015. Luettu 5.2.2015.
4. BMW. Tire Pressure Control (RDC) PDF-dokumentti.
<https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.1addicts.com%2Fforums%2Fattachment.php%3Fattachmentid%3D568431%26d%3D1313795592&ei=4ivTVKTDNMirU9ntgMAB&usg=AFQjCNEyZRSeqaS75z2dHuWOwiNsOzOyw&sig2=WnV6qGV0YvmBUNqd5MZfaw&bvm=bv.85142067,d.d24>. Päivitetty 5.2.2015. Luettu 5.2.2015.
5. Bosch. Automotive Handbook. 8-painos 2011. Tire-pressure monitoring system. s.746–747.
6. Continental. Product and components. WWW-sivu. http://www.continental-truck-tires.com/www/transport_de_en/themes/contipressurecheck_ov_channel/cpc_product_sensor_en.html. Päivitetty 20.2.2015. Luettu 20.2.2015.
7. Continental. Continental in-tire sensors read thread depth. WWW-sivu.
http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/themes/press_releases/3_automotive_group/interior/press_releases/pr_2014_05_07_tpms_profile_en.html. Päivitetty 19.2.2015. Luettu 19.2.2015.
8. Drevö, Markus, Gustafsson, Fredrik & Persson, Niclas. Indirect Tire Pressure Monitoring Using Sensor Fusion. PDF-dokumentti.
<http://users.isy.liu.se/en/rt/fredrik/reports/02SAEtpi.pdf>. Julkaistu 2002. Luettu 18.1.2015.

9. Ebay.com. TPMS-sensor service kit. WWW-sivu.
<http://www.ebay.com/itm/TPMS-Sensor-Service-Kit-Service-Pack-SCHRADER-20037-/251726436483>. Päivitetty 18.2.2015. Luettu 18.2.2015.
10. Good Year. Renkaiden huoltaminen. WWW-sivu.
http://www.goodyear.eu/fi_fi/all-about-tires/understand-your-tire/caring-for-your-tires/maintaining-correct-tire-pressure/. Päivitetty 16.2.2015. Luettu 16.2.2015.
11. Hautala, Mikko & Peltonen, Hannu. Insinöörin (AMK) Fysiikka. Osa 1. Jyväskylä: Lahden Teho-opetus Oy 2001.
12. Kauppalehti. Rengaspaineista uusi murheenkryyni autoilijalle. Verkkolehti.
<http://www.kauppalehti.fi/auto/uutiset/rengaspaineista+uusi+murheenkryyni+a+utoilijalle/201401598609>. Päivitetty 4.1.2015. Luettu 4.1.2015.
13. Ketonen Tapio. Uutta tekniikkaa. Rengaspainevalvonta. Tuulilasi Nr.10/2014. s.38–39.
14. Kurki-Suonio Jenni. TM Autot. Rengaspainevalvonta. Tekniikan maailma Nr. 16/2014. s 94–97.
15. Liikenne- ja viestintäministeriö. Rengaspainevahti pakolliseksi vain ensimmäiseen rengassarjaan. WWW-sivu.
<http://www.lvm.fi/tiedote/4419525/rengaspainevahti-pakolliseksi-vain-ensimmaiseen-rengassarjaan>. Päivitetty 13.2.2015. Luettu 13.2.2015.
16. Mbworld.org. Does damage require new tpms sensor. WWW-sivu.
<http://mbworld.org/forums/c-class-w204/421347-does-damage-require-new-tpms-sensor.html>. Päivitetty 18.2.2015. Luettu 18.2.2015.
17. Mdxers.org. Tpms sensor damage. WWW-sivu.
<http://www.mdxers.org/forums/14-problems/18126-fix-flat-now-tpms-stays-nitrogen-vs-air.html>. Päivitetty 18.2.2015. Luettu 18.2.2015.
18. Nieminen, Jussa. TM Käyttötesti Skoda Octavia. Tekniikan Maailma nro. 2/2015 s.71.
19. Nira dynamics. NIRA Will Deliver Tire Pressure Monitoring System for Volvo Cars. WWW-dokumentti.
<http://www.multivu.com/players/English/72762512-nira-tyre-pressure-monitoring-volvo/>. Päivitetty 11.2.2015. Luettu 11.2.2015.
20. Nira Dynamics. Questions and Answers Regarding TPI. PDF-dokumentti.
<http://niradynamics.se/scripts/resource.php?id=10>. Julkaistu 27.3.2012. Luettu 10.2.2015.
21. Pitkänen, Kari. Rengaspaineet pitää tarkistaa, oli autossa anturit tai ei. Länsi-Savo. 12.11.2014 s.12.

22. Rajamäki, Riikka. Renkaiden puutteet kuolonkolareissa. PDF-dokumentti. <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2467.pdf>. Julkaistu 2009. Luettu 10.2.2015.
23. Rantala, Jouko & Sirola, Jarkko. Autotekniikka 3, Alusta- ja hallintalaitteet. Keuruu: Otava 2011.
24. Savon Sanomat. Trafi: Rengaspainevahteja ei noteerata katsastuksessa. WWW-sivu. <http://www.savonsanomat.fi/erikoissivut/autot/liikenne/trafi-pakollisia-rengaspainevahteja-ei-noteerata-katsastuksessa/1909501>. Päivitetty 13.3.2015. Päivitetty 13.3.2015.
25. UNECE. Sääntö nro 64. PDF-dokumentti. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r064r1e.pdf>. Julkaistu 9.11.2010. Luettu 11.2.2015.
26. Unhola, Timo. Liikenne- ja Viestintäministeriö. Nastarenkaiden kuluttavuus, ajoneuvotekijöiden vaikutus, yliajokoe 2004. PDF-dokumentti. http://www.lvm.fi/files/Julkaisuja%2072_2004.pdf. Julkaistu 15.12.2004. Luettu 19.2.2015.
27. VDO. The new VDO REDI sensor- for simple logistics and fitting. WWW-sivu. http://www.vdo.com/generator/www/com/en/vdo/main/products_solutions/cars/tpms/vdo_redi_sensor_en.html. Päivitetty 19.2.2015. Luettu 19.2.2015.
28. VDO. VDO REDI-sensor. Installation manual. PDF-dokumentti. http://www.vdo.com/generator/www/com/en/vdo/main/hidden/downloads/replacement_parts/rp_tirepressure/flc_redi_sensor_de.pdf?redirect=false. Julkaistu 2014. Luettu 19.2.2015.
29. Volkswagen. Tyre Pressure Monitoring Systems. Itseopiskelu ohjelma. Luettu 2.2.2015.
30. Volvo. Rengaspaineiden valvontajärjestelmä (TPMS). PDF-dokumentti. <https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Faccessories.volvocars.com%2Ffi-fi%2FV70%252808-%2529%2FInstallationInstruction%2FPdf%2FVCC-314389-1%2F2014&ei=BELjVMmmKoGIUIHRg5gK&usq=AFQjCNFwN50NIQjOxQAf8Hm0u-UrgxD4TA&bvm=bv.85970519,d.d24>. Julkaisutietoa ei ole. Luettu 17.2.2015.