

Joni Ojala

# **Typen käyttö raskaan kaluston renkaissa**

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Auto- ja työkonetekniikka

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Joni Ojala

Työn nimi: Typen käyttö raskaan kaluston renkaissa

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 48

Liitteiden lukumäärä: 11

---

Ajoneuvon ja tien välillä ainoa kosketuskohta ovat renkaat, jolloin niiden merkitys korostuu. Käyttämällä oikeita rengaspaineita renkaan käyttöikä saadaan nostettua, polttoainekulut pienimmiksi ja turvallisuutta lisättyä liikenteessä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia typen käyttöä raskaan kaluston renkaissa sekä tpeestä saatavia hyötyjä verrattuna ilmalla täytettyihin renkaisiin. Hyötyjen tutkimiseksi suoritettiin lämpötila-, urasyvyys- ja rengaspainemittaukset sekä ilmanpaineella että typellä täytettyihin renkaisiin. Tutkimuskohteina käytettiin kahta eri kuorma-autoa, joiden käyttötarkoitus eroaa toisistaan.

Opinnäytetyössä tutustutaan lisäksi raskaan kaluston renkaan ominaisuuksiin, kuten renkaan runkorakenteeseen sekä tpeeseen ja sen valmistusmenetelmiin. Rengaspaineen merkitystä korostetaan myös opinnäytetyössä, sillä rengaspaineella on suora vaikutus tavoiteltuihin säästöihin, kuten pienempiin polttoainekustannuksiin ja renkaiden pidempään käyttöikään.

Tuloksista nähdään tpeestä saatavat hyödyt jo lyhyellä aikavälillä. Tpeä käytettäessä rengaspaineet pysyivät paremmin verrattuna ilmalla täytettyihin renkaisiin, jolloin myös polttoainekuluissa saadaan säästöjä. Myöskin renkaiden lämpötilat jäivät alhaisemmiksi tpeä käytettäessä, jolloin renkaan kuluminen oli vähäisempää ja renkaan käyttöikä kasvoi.

Avainsanat: typpi, ilmanpaine, renkaat, raskas kalusto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Joni Ojala

Title of thesis: Use of nitrogen in heavy machinery tires

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2015

Number of pages: 48

Number of appendices: 11

---

The only point of contact between a vehicle and a road are the tires, thus their importance is emphasized. By using the correct tire pressures, the tire's service life can be raised, fuel costs lowered and safety in traffic added.

The purpose of this thesis was to investigate the use of nitrogen in tires for heavy vehicles, as well as the benefits of using nitrogen filled tires compared to air filled ones. Studying the benefits was carried out by using temperature, tread depth and tire pressure measurements with air pressure and nitrogen filled tires. The research subjects were two trucks which have differing intended uses.

In addition the thesis delves into the features of a heavy machinery tire, such as the frame structure of a tire, in addition to nitrogen and its manufacturing methods. The significance of the tire pressure is also emphasized in the thesis as it has a direct impact on the desirable aims in savings of fuel costs and longer tire service lives.

The results on the benefits of using nitrogen can already be seen after a short time span. Using nitrogen the tire pressures remained better compared to that of air filled ones, therefore providing savings in fuel costs. The tire temperatures also remained lower when using nitrogen therefore making the tire wear lower and thus increasing the tire's service life.

Keywords: nitrogen, air pressure, tires, heavy machinery

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	9
2 TYPPI YLEISESTI.....	11
2.1 Typen valmistusmenetelmät.....	11
2.1.1 Membraanitekniikka.....	11
2.1.2 Kryotekniikka.....	12
2.1.3 PSA-tekniikka.....	15
2.2 Typen käyttökohteet.....	17
3 KUORMA-AUTON RENKAAN OMINAISUUDET.....	18
3.1 Renkaiden jaottelu.....	18
3.2 Renkaan rakenne.....	21
3.3 Renkaan kuluminen.....	27
4 RENGASPAINNE.....	29
5 TYPEN KÄYTTÖ RENKAISSA.....	32
5.1 Typen hyödyt renkaissa.....	32
5.2 Typen hinta.....	33
5.3 Tyypitäyttölaitteet.....	34
5.4 Kokemuksia typen käytöstä.....	35
6 MITTAUKSET.....	36
6.1 Mittauksessa käytettävä kalusto.....	36
6.1.1 SCANIA P450.....	36
6.1.2 MAN TGA 35.400.....	37
6.2 Mittausten suorittaminen.....	37
7 TULOKSET.....	41
7.1 Scania.....	41

7.2 MAN .....	42
8 YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET .....	46
LIITTEET .....	48

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Eri akseleille tarkoitetun renkaan kulutuspinnan kuviointi. Vasemmalta lukien ohjaavalle, vetävälle ja rullaavalle akselille suunnitellut renkaat.....	19
Kuva 2. Kumisekoituksen ominaisuusodotukset raskaan kaluston renkaissa.....	26
Kuva 3. Paine kantaa kuorman.....	29
Kuva 4. Alipaineinen rengas kuluu voimakkaammin olka-alueilta suhteessa kantamaansa kuormaan .....	31
Kuva 5. Kuorma-autonrenkaan tyypitäyttölaite .....	34
Kuva 6. Scania P450. ....	36
Kuva 7. MAN TGA 35.400. ....	37
Kuva 8. Kalibrintilaite. ....	38
Kuva 9. Vasemmalta lukien mittauksessa käytetyt välineet: rengaskynä, digitaalinen työntömitta ja infrapunälämpömittari .....	38
Kuva 10. 12X50 tyypikaasupullot.....	40
Kuvio 1. Typen erottaminen membraanitekniikalla.....	12
Kuvio 2. Jakotislauskolonni.....	14
Kuvio 3. Esimerkkikaavio typen valmistuksesta.....	14
Kuvio 4. Hapen ja muiden kaasujen adsorboituminen .....	16
Kuvio 5. Tyypillinen PSA-järjestelmä .....	16
Kuvio 6. Vasemmalla ristikudosrenkaan ja oikealla vyörenkaan rakenne.....	22
Kuvio 7. Raskaan kaluston renkaan rakenne.....	23

Kuvio 8. Renkaissa käytettävän kumiseoksen raaka-ainekoostumus .....	27
Kuvio 9. Kuorma-auton renkaan kuluminen keskimäärin eri kuukausina .....	28
Kuvio 10. Rengaspaineen vaikutus käyttöikään.....	30
Kuvio 11. Rengaspaineen vaikutus raskaan kaluston polttoaineenkulutukseen ...	31
Taulukko 1. Kuivan ilman koostumus.....	13
Taulukko 2. Kumilaatujen vaikutus renkaan ominaisuuksiin .....	25
Taulukko 3. Typen hinta ja kaasupullojen vuokra vuodelle 2015 .....	33

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Antioksidantti</b>	Kemiallinen yhdiste, joka estää toisten yhdisteiden hapettumista.
<b>Adheesio</b>	Vetovoima kahden eri aineen välillä.
<b>Adsorptio</b>	Kaasumaisen aineen tai nesteen imeytymistä tai kiinnittymistä kiinteän aineen pintaan.
<b>C</b>	Hiili.
<b>Desorptio</b>	Regeneroida adsorptio vaiheessa tapahtuneet aineen imeytymiset ja kiinnittymiset.
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Typpihappo.
<b>Jakeluauto</b>	Kappaletavara ajossa toimiva kuorma-auto.
<b>N</b>	Typen kemiallinen merkki.
<b>N<sub>2</sub></b>	Typpikaasu.
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniakki.
<b>NO</b>	Typpioksidi.
<b>NO<sub>2</sub></b>	Typpidioksidi.
<b>Kryotekniikka</b>	Valmistusmenetelmä, jossa aine tislataan alhaisissa lämpötiloissa.
<b>Pumi</b>	Kuljetuspumppuauto.



# 1 JOHDANTO

Kiristyneen kilpailutilanteen vuoksi säästöjä yritetään löytää eri paikoista. Vaikka renkaiden osuus on pieni osa kokonaiskustannuksista, yleensä noin 1–3 %, voidaan sitä kautta tehdä silti selvää säästöä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tyypellä täytetyistä renkaista saatavia hyötyjä verrattuna ilmalla täytettyihin renkaisiin. Miten tyypin käyttö eroaa ilman käytöstä ja voidaanko tyypin käytöllä saavuttaa hyötyjä sen kustannuksiin nähden? Entä onko mittauksissa käytettävien yritysten ajoneuvoissa syytä käyttää typpipitoisia renkaita?

Opinnäytetyössä on kerrottu ensin teoriaa tyypin käytöstä renkaissa, minkä jälkeen tehtiin testejä käytännössä. Tavoitteiden saavuttamiseksi suoritettiin lämpötila-, urasyvyys- ja rengaspainemittaukset kahdelle eri raskaan kaluston ajoneuvolle. Mittaukset tehtiin ensin ilmanpaineilla täytetyille renkaille, minkä jälkeen renkaat tyytettiin ja suoritettiin vastaavat mittaukset tyypellä täytetyille renkaille.

Ymmärtääkseen paremmin tyypestä saatavia hyötyjä verrattuna ilmaan opinnäytetyössä on käsiteltävä lisäksi tyypin eri valmistusmenetelmiä sekä sen käyttökohteita. Raskaan kaluston renkaiden ominaisuuksiin on myös tutustuttu, jonka jälkeen pystytään valita eri käyttökohteelle sopivin rengas. Yksistään sopiva rengas ei silti riitä, vaan tarvitaan tilanteeseen sopiva rengaspaine hyvän lopputuloksen ja renkaan pitemmän käyttöiän saavuttamiseksi. Oikean rengaspaineen valinnan löytämiseksi ja paineen vaikutuksesta renkaan kulumiseen kerrotaan myös tutkimuksessa.

Toimeksiantajana toimi Seinäjoen Rengaskeskus Oy. Seinäjoen Rengaskeskus Oy on perustettu vuonna 1989 ja sen toimipaikka on Seinäjoella. Palveluihin kuuluu renkaiden myynti, niiden asennus ja korjaus sekä renkaiden kausisäilytys. Valittavissa on laaja kirjo erikokoisia renkaita moottoripyörän renkaista aina raskaan kaluston ja ajokoneiden renkaisiin.

Opinnäytetyössä tehdyt testit suoritettiin kahden eri kuljetusliikkeen näkökulmasta, Betonipojat Oy:ssä ja Pohjanmaan Laatukuljetus Oy:ssä. Betonipojat Oy:n

toiminta koostuu betonin pumppauksesta sekä sen kuljetuksesta työmaalle. Toisena kuljetusliikkeenä käytettiin Pohjanmaan Laatukuljetus Oy:tä, jonka toimenkuva on puolestaan kappaletavaranajo Kaukokiidon alihankkijana. Kahta eri yritystä hyödyntämällä testeissä pystyttiin vertailemaan tuloksia keskenään eri tehtävissä oleville ajoneuvoille.

## 2 TYPPI YLEISESTI

Typpi eli nitrogenium on alkuaine, jonka kemiallinen merkki on N ja järjestysluku seitsemän. Typpi on väritön, hajuton ja mauton kaasumainen epämetalli. Se on ilmakehän yleisin alkuaine (78 %). Typpi on yksistään kemiallisesti passiivinen kaksiatominen molekyyli ( $N_2$ ), joka muodostaa kestävästä kolmoissidoksen. Sen sijaan typen yhdisteet, joista yleisimpiä ovat typpioksidi (NO), typpidioksidi ( $NO_2$ ), ammoniakki ( $NH_3$ ) ja typpihappo ( $HNO_3$ ), ovat monista hapetusastemahdollisuuksista johtuen hyvin reaktiivisia. (Poikolainen, Piispanen & Karhu, [Viitattu 16.2.2015].)

Alkemistit olivat jo aiemmin kiinnostuneita ammoniumkloridista, mutta itse typen jäljille päästiin vasta 1760-luvulla. Silloin Henry Cavendish ja Joseph Priestley tekivät kokeita poistamalla hapen ilmasta. He huomasivat, että tässä ilmassa hiiri typehtyi. Kuitenkaan tällöin ei vielä tiedetty, että kyse oli alkuaineesta. Lopulta opiskelija Daniel Rutherford esitti väitöskirjassaan vuonna 1772, että suurin osa ilmasta koostuu lähinnä tpeestä. (Hamilo & Niinistö 2007, 23.)

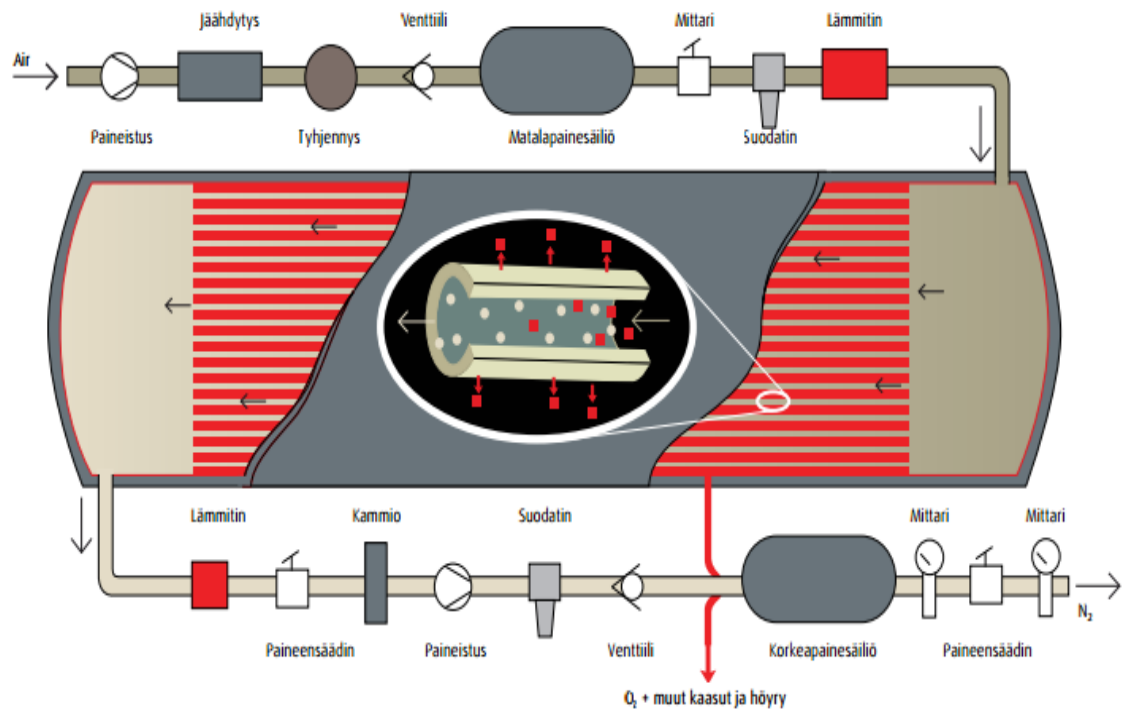
### 2.1 Typen valmistusmenetelmät

Typeä voidaan valmistaa ilmasta kolmella eri tavalla, joista valitaan sopivin valmistusmenetelmä käyttötarkoituksen mukaan. Seuraavaksi esitellään kyseiset typen valmistusmenetelmät. (AGA, [Viitattu 17.2.2015].)

#### 2.1.1 Membraanitekniikka

Membraanitekniikkaa voidaan verrata renkaassa tapahtuvaan reaktioon. Sylinterinmuotoisen kapselin putkiseinien väliin on asennettu nipuiksi kootut ontot kuitumembraanit. Membraanit valmistetaan muovista ja niiden halkaisija on vain muutaman millimetrin sadasosa. Hapen ja typen ollessa kaasuja ne erottuvat kapselissa, koska läpäisy nopeus vaihtelee membraanin eri osissa. Prosessi perustuu muiden ilmassa olevien kaasujen typeä pienempään molekyylikokoon. (AGA, [Viitattu 17.2.2015].)

Membranitekniikassa paineistettu ja kuivattu ilma (kuvio 1) syötetään membraanikapseliin. Happi, muut kaasut ja kaasussa jäljellä oleva kosteus läpäisevät membraanin seinämät nopeammin kuin typpi, jonka vuoksi nämä kaasut voidaan päästää takaisin ympäröivään ilmaan. Jäljelle jäävä puhdas typpi voidaan tämän jälkeen siirtää käyttökohteesta riippuen esimerkiksi puskurisäiliöön. (AGA, [Viitattu 17.2.2015].)



Kuvio 1. Typen erottaminen membraanitekniikalla (AGA, [Viitattu 17.2.2015]).

### 2.1.2 Kryotekniikka

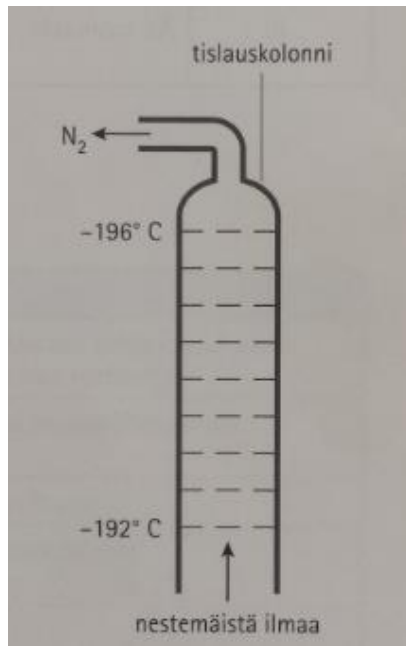
Typpi voidaan erottaa tislamalla nestemäistä ilmaa. Valmistusmenetelmä tunnetaan myös nimellä kryotekniikka, jonka etuliite on peräisin kreikan kielestä ja tarkoittaa jääkylmää. Typen tislauksen yhteydessä on mahdollista suorittaa jakotislauksia, jolloin saadaan ilmasta erotettua myös happea ja jalokaasuja. Jakotislauksia perustuu kaasujen erilaisiin kiehumispisteisiin. (AGA, [Viitattu 24.2.2015].)

Säätilasta riippuen ilmassa on aina jonkin verran vesihöyryä, kuitenkin enimmillään noin 5 %. Kuivan ilman koostumus voidaan esittää taulukossa (taulukko 1). (Lehtonen & Lehtonen 2008, 183.)

Taulukko 1. Kuivan ilman koostumus (Lehtonen & Lehtonen 2008, 183).

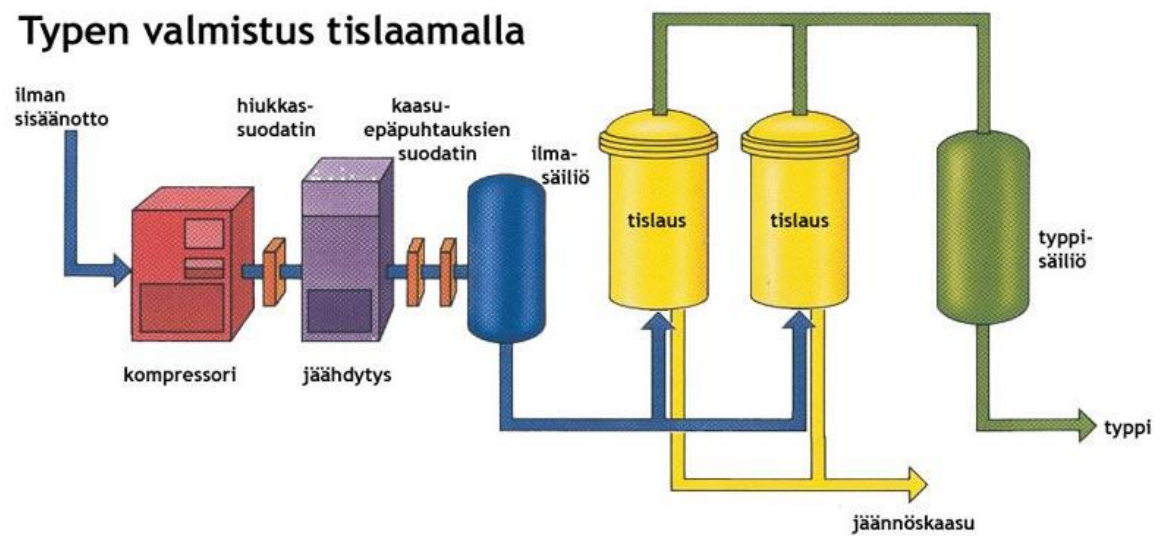
Kaasu	Tilavuusprosentti	Kiehumispiste (°C)
Typpi	78,08	-196
Happi	20,95	-183
Argon	0,93	-186
Hiilidioksidi	0,038	-79
Helium, neon, krypton, ksenon	lopun	

Typeä tislattaessa ilma nesteytetään ensin lisäämällä painetta ja laskemalla lämpötilaa -200 °C:seen. Tämän jälkeen hiilidioksidi ja vesi voidaan poistaa kiinteinä aineina tislattavasta seoksesta. Hiilidioksidin ja veden poiston jälkeen nestemäisen ilman annetaan varovasti kiehua -192 °C:ssa jakotislauskolonnissa. Typen kiehumispisteen ollessa -196 °C, se höyrystyy ensimmäisenä kaasuna jakotislauskolonnin (kuvio 2) läpi. Muut ilman sisältämät kaasut kondensoituvat ja palaavat takaisin liuokseen. Kolonnin suulta voidaan ottaa talteen 99,99-prosenttisesti puhdasta typeä. Nestemäisen ilman muut komponentit höyrystyy kolonnin läpi kiehumispisteidensä (taulukko 1) mukaisessa järjestyksessä. (Lehtonen & Lehtonen 2008, 183.)



Kuvio 2. Jakotislaukolumni (Lehtonen, Lehtonen 2008, 183).

### Typen valmistus tislaamalla



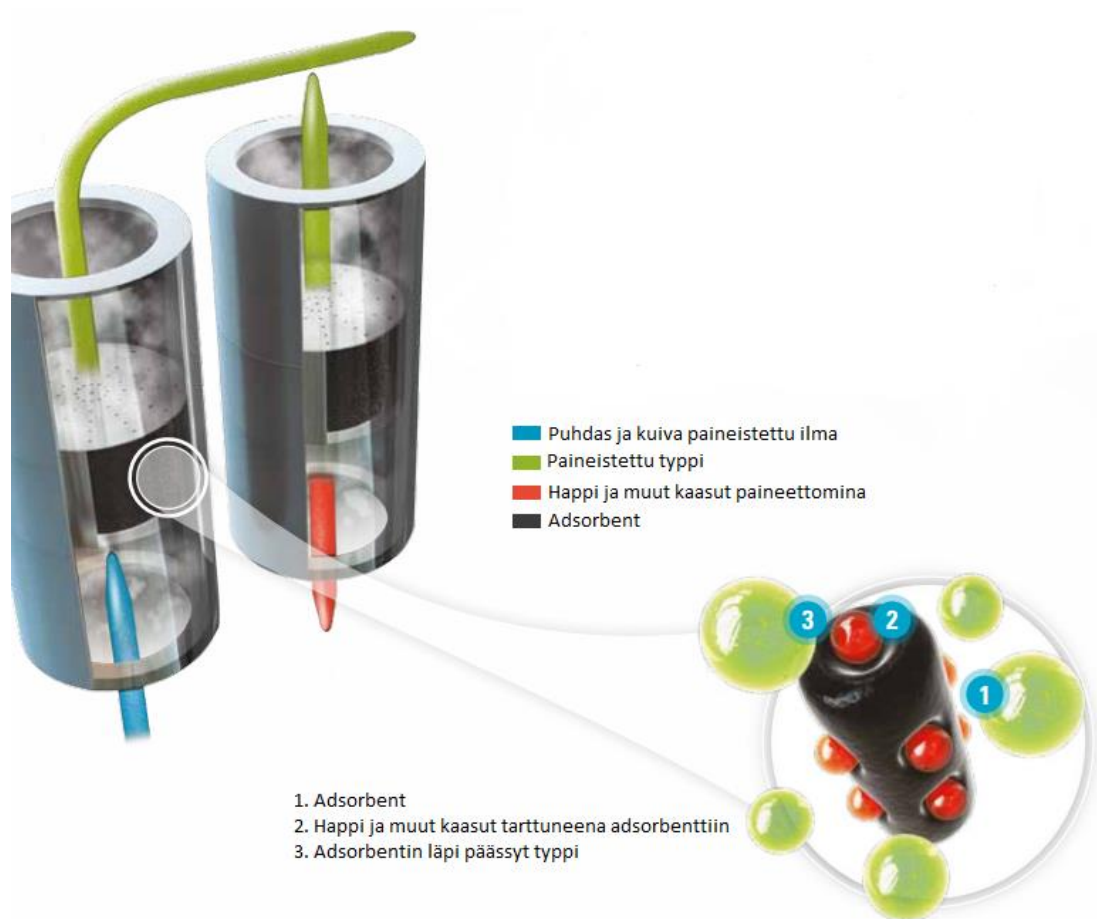
Kuvio 3. Esimerkkikaavio typen valmistuksesta (Ilmakaasujen valmistus, [Viitattu 24.2.2015]).

### 2.1.3 PSA-tekniikka

Pressure Swing Adsorption eli paineenvaihteluadsorptio tekee paineilmasta typpeä adsorptioperiaatteella. Typen valmistus PSA-tekniikkaa käyttäen tapahtuu, kun paineilmakompressorilla paineistettu ilma on kuivattu ja suodatettu ennen PSA-yksikköön syöttämistä. PSA-yksikössä on kaksi aktiivihiilellä täytettyä säiliötä, johon toiseen näistä johdetaan syötetty ilma. Molekyylit happea ja muut kaasut adsorboituvat (kuvio 4) aktiivihiileen ilman virratessa aktiivihiilellä täytetyn säiliön läpi, kun taas typpi pääsee virtaamaan vapaasti vastaanottosäiliöön. Ensimmäisen säiliön ilman virtaus keskeytetään hieman ennen kuin aktiivihiili kyllästyy hapella. Ilman virtaus ohjataan tämän jälkeen toiseen adsorbenttisäiliöön, joka alkaa tuottamaan typpeä. (Lasergas, [Viitattu 23.2.2015].)

PSA-tekniikkaan liittyy oleellisesti desorptiovaihe, jolla mahdollistetaan uusi tuottosykli. Tämän vaiheen tehtävänä on regeneroida ensimmäisen säiliön aktiivihiili alentamalla painetta adsorptiovaiheessa käytettyä painetta pienemmäksi. Paineen pienentyessä kaasut irtoavat adsorbentista, jolloin ne johdetaan ympäröivään ilmaan. (Lasergas, [Viitattu 23.2.2015].)

Adsorptio ja desorptio vaiheet vuorottelevat aktiivihiilisäiliöissä. Näiden vaiheiden toimiessa yhdessä, niillä voidaan tuottaa typpeä jatkuvana virtana, joka ohjataan vastaanottosäiliöön. Typen paine vastaanottosäiliössä on noin 7–8 bar. (Lasergas, [Viitattu 23.2.2015].)



Kuvio 4. Hapen ja muiden kaasujen adsorboituminen (Atlas Copco, [Viitattu 23.2.2015]).



Kuvio 5. Tyypillinen PSA-järjestelmä (Atlas Copco, [Viitattu 23.2.2015]).



## 2.2 Typen käyttökohteet

Puhdistettu typi soveltuu moneen eri käyttökohteeseen. Typeä käytetään käyttökohteesta riippuen joko kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa. Yleisimpiä käyttökohteita typelle ovat

- teollisuudessa tuotteiden ja laitteiden suojauksessa eli inertoinnissa
- elintarvikkeiden pakastuksessa, jäädytyksessä, säilytyksessä sekä pakkauksessa
- lääketieteessä kudosten ja alkioiden säilytykseen matalissa lämpötiloissa
- jauhemaisten materiaalien, esimerkiksi raudan ja teräksen, pneumaattiseen kuljetukseen
- eri metallien lämpökäsittelyissä koneita ja laitteita valmistettaessa
- hapettomien ja puhtaiden olosuhteiden luomiseen, esimerkiksi piirilevyjen valmistuksessa
- laboratorioissa analyysien tarkastelussa ja
- renkaiden täytössä. (Air liquide, [Viitattu 25.2.2015].)

Ilmakehä sisältää lähes rajattomasti typeä. Jakotislaamalla ilmasta erotetaan joka vuosi noin 45 miljoonaa tonnia typeä eri käyttötarkoituksiin. Typestä valmistamalla ammoniakkia ja typpihappoa niistä voidaan tehdä edelleen erilaisia typpituotteita, esimerkiksi ammoniumnitraattia. (Hamilo & Niinistö 2007, 24–25.)

### 3 KUORMA-AUTON RENKAAN OMINAISUUDET

#### 3.1 Renkaiden jaottelu

Raskaaseen kalustoon kuuluvat kuorma-autot ja niiden perävaunut sekä linja-autot. Kyseisiä ajoneuvoja käytetään hyvin erilaisissa työympäristöissä. Raskaan kaluston ajoneuvoja on valittavissa useita eri malleja, jonka vuoksi usein ajoneuvot valmistetaan asiakkaalle räätälöityinä tilauksina. Monien erilaisten työympäristöjen vuoksi renkailta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi soran kuljetuksiin käytettäviltä renkailta vaaditaan huomattavan erilaisia ominaisuuksia kuin kaupunkiliikenteessä olevalta bussilta. Tämän vuoksi raskaalle kalustolle on tarjolla runsaasti erilaisia rengasvaihtoehtoja, joissa on parhaat mahdolliset ominaisuudet työympäristön mukaan. (Naskali 2010, 15.)

Renkaiden ominaisuuksia on silmämääräisesti vaikea erottaa, lukuun ottamatta kulutuspinnan kuviointia. Raskaan kaluston rengasesitteistä löytyykin lähes poikkeuksetta taulukoita siitä, mihin käyttöön eri rengas parhaiten soveltuu. Käyttöympäristö vaikuttaa moniin renkaan ominaisuuksiin, jotka eivät näy päällepäin. Esimerkiksi erilaisilla työmailla käytettävän pumin renkaiden kulutuspinnan tulee kestää teräviä pistovoimia ja puolestaan linja-autoissa renkaan kylkialueen katukivetysten kosketuksia. Tämän vuoksi on suositeltavaa käyttää renkaita niihin tarkoitettuihin ympäristöihin. Tällä tavoin myös vältetään suurempi kuluminen ja vaurioiden todennäköisyys. (Naskali 2010, 15.)



Kuva 1. Eri akseleille tarkoitetun renkaan kulutuspinnan kuviointi. Vasemmalta lukien ohjaavalle, vetävälle ja rullaavalle akselille suunnitellut renkaat (Naskali 2010, 16).

Rengasvalintaan vaikuttaa käyttöympäristön lisäksi sijoituskohta raskaan kaluston alustassa. Nämä voidaan jakaa kolmeen ryhmään: ohjaavalle, vetävälle ja rullaavalle akselille sijoitetut renkaat. Jaottelun tarkoituksena on ollut, että saadaan jokaiselle akselille parhaat mahdolliset renkailta vaaditut ominaisuudet. Eri sijoituskohtien vaatimuksilla on suurin näkyvä ero renkaan kulutuspinnan kuvioinnissa (kuva 1). (Naskali 2010, 15.)

Ohjaavan akselin renkaan urat ovat pitkittäissuuntaisia, joilla on mahdollista luoda helposti ohjaavia voimia sekä saada hyvät vierintäominaisuudet. Raskaassa kalustossa voi olla useita ohjaavia akseleita, joissa käytetään aina yksittäisiä renkaita. Erityisesti maansiirto- ja sorakuljetuksiin tarkoitetuissa kuorma-autoissa on usein kaksi ensimmäistä akselia ohjaavia. Ohjaava akseli voi olla myös auton telissä. Suuremmalla akselimäärällä saadaan lisättyä kantavuutta ja ohjaavalla akselilla kääntyvyys paranee huomattavasti jäykkään akselistoon verrattuna. Vetävällä akselilla puolestaan tarvitaan hyvää pitoa pitkittäissuunnassa ja renkaassa onkin lähes poikkeuksetta palakuviointi. Poikittaisilla urilla saadaan parannettua pitkittäispitoa, joka on tärkeää lähdeettäessä liikkeelle raskaalla

kalustolla huonoissa keliolosuhteissa. Rullaavan akselin ja perävaunujen renkailla tulee olla alhainen vierintävastus, jotta energiankulutus olisi mahdollisimman vähäistä. Pintakuvioiduissa tulee huomioida, etteivät ne aiheuta turhaan ylimääräisiä värähtelyitä. Esimerkiksi vetävän renkaan palakuvioiduista syntyy normaalia enemmän ajomelua. Raskaassa kalustossa harvoin pystytään käyttämään samaa rengastusta kaikilla akseleilla. Rengasvalmistajilla on kuitenkin saatavissa malleja, jotka soveltuvat jokaisen akselin käytettäväksi. Kaikkia renkaita yhdistää tavoite mahdollisimman pieneen vierintävastukseen ja suureen kilometritavoitteeseen. (Naskali 2010, 16.)

Renkaat voidaan jakaa luokkiin myös leveyksien mukaan. Muun muassa tieliikennesuhteissa laskettaessa renkaat jaetaan kolmeen ryhmään leveyden mukaan: yksittäinen rengas, jonka leveys on pienempi kuin 350 mm tai yksittäinen leveä super-single rengas, jonka leveys on suurempi kuin 350 mm sekä paripyöräasennus. Renkailla on eri akseleilla hyvinkin erilaisia rasituksia, jolloin ne myös kulumat eri tahtiin riippuen ajosuorituksen laadusta ja auton käyttökohteesta. Renkaista mahdollisimman moni pyritään uusimaan samalla kerralla, vaikka kulumisessa olisikin eroja. Näin vältetään kustannuksia lisääviltä huoltokäynneiltä. (Naskali 2010, 17.)

Raskaalla kalustolla ei ole Suomessa erillistä talvirengaspakkoa. Paremmiin talvikeliin ja ympärivuotiseen käyttöön suunnitellut renkaat on merkitty M+S-merkinnällä, mutta näiden käyttö ei ole pakollista. Raskaalle kalustolle on tarjolla talviajoon nastarengaita sekä renkaan nastoitumahdollisuus. Kuitenkin nastarengaiden käyttö on suhteellisen vähäistä ja keskittyy usein erikoisoloihin tai -kuljetustehtävissä toimiviin ajoneuvoihin, joiden renkailta halutaan parasta mahdollista pitokykyä. Raskaaseen kalustoon tarkoitettujen renkaiden käyttötarkoituksin voi muuttua kulumisen mukana. Rengasvalmistajat ovat voineet suunnitella talvikäyttöön tarkoitettuja renkaita sellaisiksi, että kun niistä on kulunut noin 2/3, pintakuviosta muodostuu paremmin kesäkelille sopiva ja renkaan vierintävastus pienenee. Tällöin kuitenkin pito-ominaisuudet heikkenevät. Renkaan kulumispinta voi olla myös valmistettu siten, että sen kuluessa riittävästi siitä tulee näkyviin lisää uria, jolloin saadaan lisättyä pito-ominaisuuksia. Yleensä renkaat uusitaan syksyisin tai alkutalvesta, jolloin talveksi saadaan mahdollisimman hyvät

renkaat. Renkaat voivat kestää käytössä useamman vuoden, jos vuotuinen ajosuorite jää pieneksi. Renkaiden pito-ominaisuudet kuitenkin huonontuvat talvikelejä ajatellen niiden kuluessa. Perävaunujen renkaita ei uusita yleensä kausittain, vaan vasta sitten, kun rengas on kulunut loppuun tai vaurioitunut. Perävaunujen eri akselin renkaat kuluvat myös eri tahtiin, jolloin uusiminen tapahtuu monesti akseli kerrallaan. (Naskali 2010, 17.)

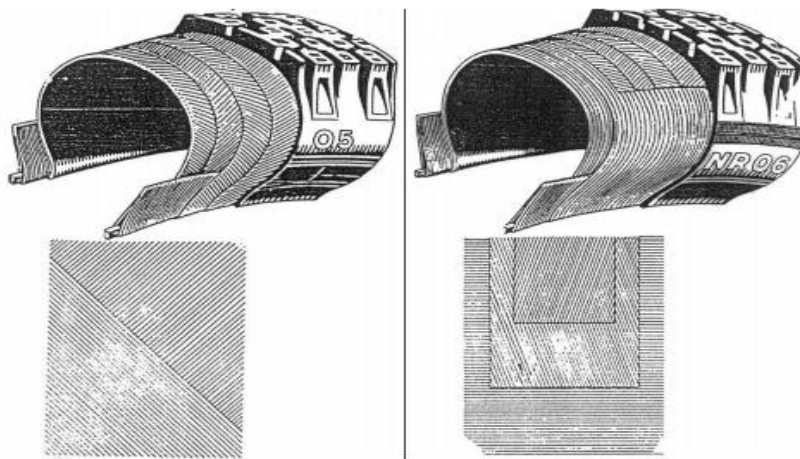
Jos kilometrejä kertyy riittävästi ympäri vuoden, raskaassa kalustossakin voi olla perusteltua käyttää kesä- ja talviaikaan eri renkaita. Tällöin eri keleihin suunnitelluista renkaista saadaan paras hyöty. Kuljetusyriyksillä on erilaisia käytäntöjä, joihin on useimmiten päädytty taloudellisen kannattavuuden kautta. Käyttämällä samoja talvikäyttöön tarkoitettuja renkaita ympäri vuoden säästytään ylimääräisiltä renkaanvaihto-operaatioilta eikä pääomaa tarvitse olla kiinni toisessa rengassarjassa. (Naskali 2010, 18.)

### **3.2 Renkaan rakenne**

Nykyaikainen raskaan kaluston rengas on pitkän kehityshistorian tulos. Renkaan painosta noin 40 % koostuu erilaisista kumilaaduista. Rengastyypistä riippuen käytetyn kumin määrä vaihtelee. Tavallisesti noin kolme neljäsosaa kumista on luonnonkumia ja loput synteettisiä tekokumeja. Synteettisiä kumeja käytetään, koska niiden ominaisuuksia pystytään säätämään valmistuksen yhteydessä. Synteettisillä kumeilla saavutetaan esimerkiksi halutut kulutuskestävyydet tai kitkaominaisuudet. Niiden materiaalille ominaiseen leikkauslujuuteen pystytään vaikuttamaan, millä on merkitystä esimerkiksi renkaan kulutuspinnoissa tai kylkialueilla. Renkaan ominaisuuksia luotaessa hiili (C) on myös yksi keskeinen tekijä, jota renkaan painosta on noin 30 % erittäin hienojakoisena. Hiilellä saadaan kumiin runsaasti lisää lujuutta ja kulutuskestävyyttä. Hiili myös suojaa kumia auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksilta. Loput renkaan painosta koostuu erilaisista kangas- ja teräskudoksista. (Naskali 2010, 14.)

Raskaan kaluston puolella on siirrytty poikkeuksetta ristikudosrenkaasta sisärenkaattomaan vyörenkaaseen. Vyörenkaan kudusrunko on usein valmistettu teräslangoista. Teräslankoja käyttämällä saadaan riittävä lujuus jo yhdellä

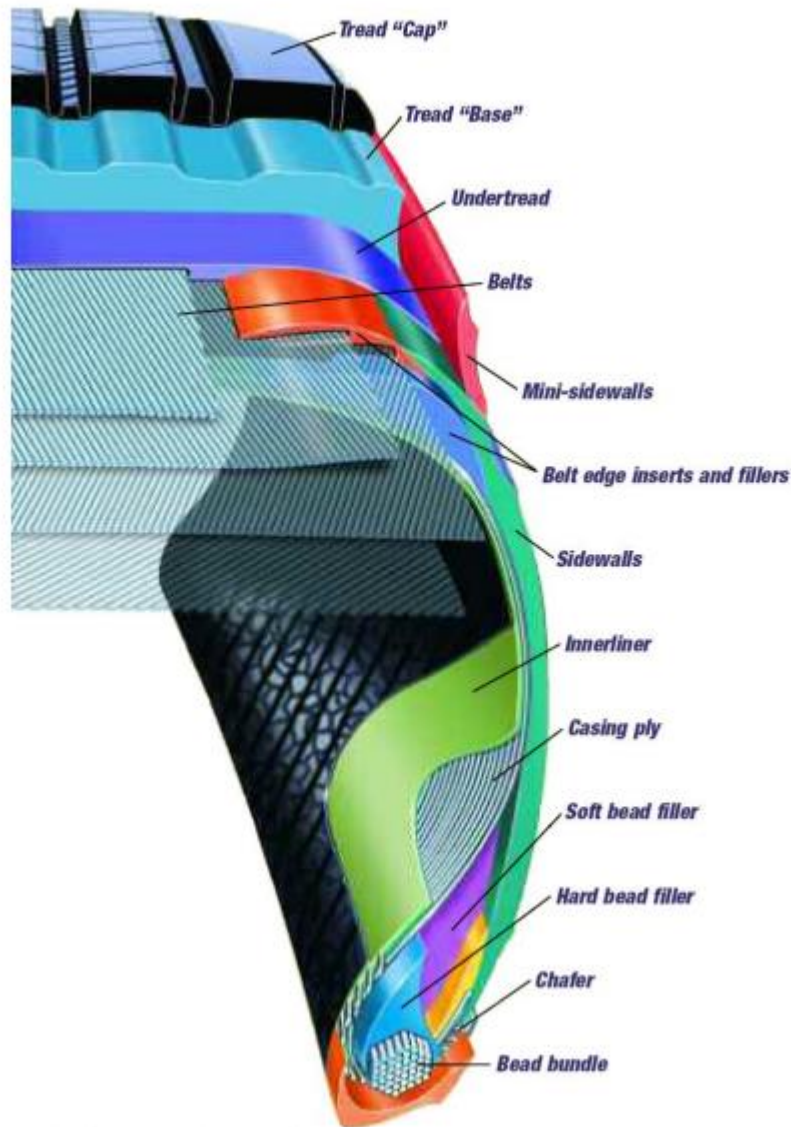
kudoskerroksella ja sitä kautta seinämävahvuus saadaan sopivaksi. Mikäli tekstiiliä käytettäisiin kudusrungossa, sillä ei saavutettaisi pientä vierintävastusta, nopeuskestävyyttä sekä kantavuuden vaatimuksia täyttävää rengasta, koska seinämävahvuus olisi liian suuri useasta kudoskerroksesta johtuen. Teräslankoja käyttämällä saadaan renkaan käyttöikää kasvatettua sekä rakenteen sisäinen kitka ja vierimisvastus jäämään pieneksi, mikä vähentää polttoainekulutusta. (Craelius 1994, 27.)



Kuvio 6. Vasemmalla ristikudosrenkaan ja oikealla vyörenkaan rakenne (Naskali 2010, 13.)

Raskaan kaluston vyörengas koostuu monista eri komponenteista (kuvio 7). Vyörenkaan runkokudoksen langat (casing ply) kulkevat radiaalisesti renkaan jalka-alueelta toiselle aina reunavaijerin (bead bundle) ympäri ja muodostavat koko renkaan rakenteen perustan. Teräslangat on lisätty kumiin jo sen valmistusvaiheessa ja ovat siten hyvin kiinni kumiaineuksessa. Teräslankojen tarkoituksena on kantaa voimat, jotka aiheutuvat ajotilanteesta ja pitää näin ollen renkaan rakenteen koossa. Renkaan kehällä on useita kerroksia kehänsuuntaisia vyökudoksia (belts), joissa kumikerroksien sisällä kulkee ohuita teräsvaijereita. Teräsvaijereita käytetään vyökerroksissa, jotta saavutetaan hyvä joustokyky säteissuunnassa ja samalla suuri vetolujuus vyön suunnassa. Vyökerrokset tukevat runkokudosta, kun renkaaseen kohdistuu momenttia jarrutuksesta tai kiihdytyksestä. Vyökerrokset pitävät myös renkaan rakenteen koossa, kun siihen kohdistuu pyöriessä suuriakin keskeiskiihtyvyyksiä. Vyökerros jäykistää myös kulutuspinnan tasaiseksi, jolloin sen pito-ominaisuudet ovat paremmat ja se kuluu

tasaisemmin. Samalla se vastustaa teräviä pistovoimia, jotka aiheutuvat esimerkiksi terävästä kivistä ja suojaa näin ollen renkaan muita rakenteita. (Naskali 2010, 20–21.)



Kuvio 7. Raskaan kaluston renkaan rakenne (Naskali 2010, 21).

Ennen varsinaista kulutuspinakerrosta vyöpaketin päälle tulee mahdollinen suojakerros (undertread), jolla voidaan parantaa pinnoitusmahdollisuuksia ja suojata vyöpakettia. Varsinainen kulutuspinna koostuu kahdesta kerroksesta. Kulutuspinnan alemmalla kerroksella (tread "base") suojataan renkaan muuta rakennetta lämmöltä, jolloin renkaan toimintalämpötila pysyy paremmin

suunnitelluissa arvoissa. Tämän vuoksi rungon ominaisuudet pysyvät hyvinä, mikä mahdollistaa pidemmän kestoiän ja paremman pinnoituskyvyn myöhemmin. Varsinainen kulutuspinna (tread "cap") muodostaa renkaan kulumisenkeston, pitokyvyn, osan ajo-ominaisuuksista sekä paljon muita ominaisuuksia. Sen täytyy kestää suurta kulutusta ollessaan kosketuksissa tiepinnan kanssa. (Naskali 2010, 21–22.)

Renkaan sivupinnat (sidewalls) välittävät ajo- ja ohjausvoimia kulutuspinnaalle. Sivujen tulee olla hyviä myös kulutuskestävyydeltään, sillä ne voivat joutua usein esimerkiksi kosketuksiin kadun reunakivetysten kanssa. Sivupintoihin kohdistuu myös suurin auringon ultraviolettisäteilyn aiheuttama rasitus, jota niiden kumiseoksen on kestävä. Renkaan sisäpinnalla on kaasutiivistä kumiaineksesta tehty kalvo (innerliner), jolla renkaan ilmatiiviyys saadaan aikaan. Joissakin tapauksissa käytetään myös nimitystä tubeless-kalvo, sillä tavallaan se ajaa sisärenkaan asemaa renkaassa. (Naskali 2010, 22.)

Renkaan jalka-alue koostuu monista eri komponenteista. Sen tarkoituksena on saada kiinnitettyä rengas tiiviisti ja joustamattomasti vanteelle. Reunanauha (chafer) tiivistää vanteen ja renkaan välisen sauman. Reunavaijerilla (bead bundle) saadaan rengas tiukasti vanteelle ja samalla ilmatiivis liitos. Näiden perusosien lisäksi renkaissa on useita muita pienempiä osia, jotka voivat vaihdella renkaan mallin tai valmistajan mukaan. Monesti eri käyttöolosuhteisiin tarkoitetuissa renkaissa on erilaisia vahvikkeita ja suoja käyttökohteita vastaan. Esimerkiksi kaupunkibussin renkaan kyljet voivat olla vahvistetut kulumista vastaan kuin myös sora-auton renkaat teräviä pistoja vastaan. (Naskali 2010, 22.)

Renkaan valmistuksessa käytetään yli 200:aa erilaista raaka-ainetta. Eri olosuhteisiin ja käyttötarkoitukseen suunniteltujen renkaiden raaka-aineiden seossuhteet ja kumilaadut poikkeavat toisistaan. Näin ollen renkaiden ominaisuuksia säädetään pitkälti erilaisilla ainesseoksilla. Rengasvalmistajat varjelevat tarkasti omia valmistusreseptejään, koska niihin perustuu renkaan menestys ja sitä kautta yrityksen tuotto. Erilaisten seosten takia jotkut renkaat saattavat näyttää suunnilleen samanlaisilta pintakuvioidunkin perusteella, mutta ominaisuudet voivat olla puolestaan hyvin erilaiset. Kehityksen ollessa kovaa eri

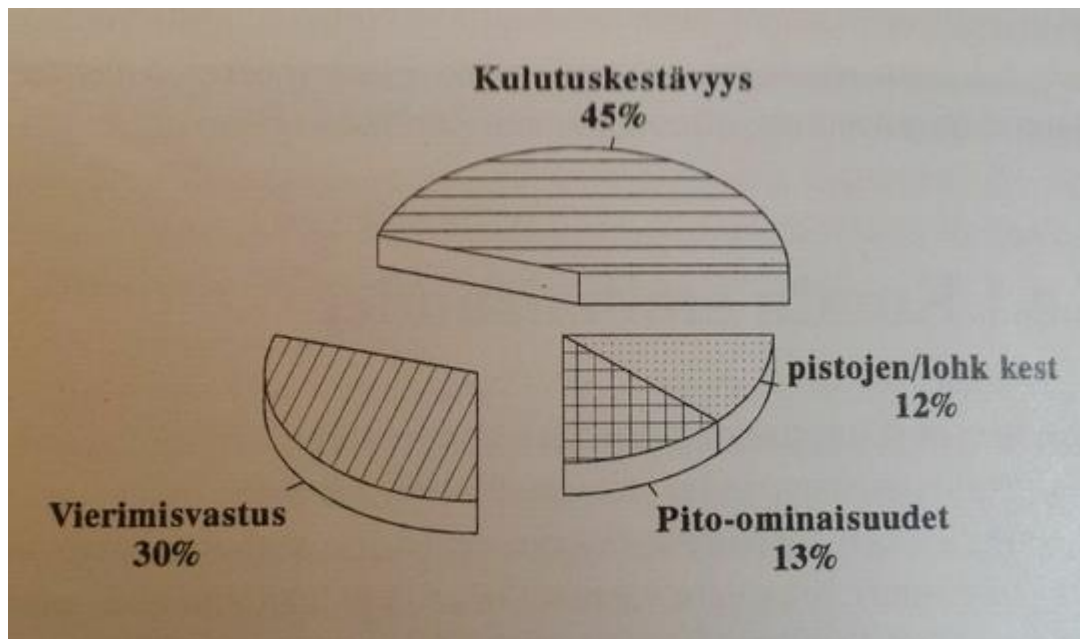


valmistajien kulutuspinnot alkavat muistuttaa toisiaan ja erot näin ollen ovat monesti pieniä. On hyvä tietää, että samaa rengasta saatetaan valmistaa eri merkkien alla, jolloin rengas on täysin sama, vaikka kylkeen painettu merkki ei olekaan. (Naskali 2010, 22.)

Renkaissa käytetään yleisesti muutamaa pääkumilaatua, joilla saavutetaan erilaisia ominaisuuksia (taulukko 2). Styreenibutadieenikumi on yleisin tekokumilaatu ja sitä käytetään hyvien kulumiskestävyysominaisuuksien ansiosta. Lämmönkesto-ominaisuuksiltaan se on puolestaan heikko. Polybutadieeni on toinen tekokumi, jolla on erittäin hyvät kulumisenkesto-ominaisuudet, mutta sen kitkaominaisuudet ovat vastaavasti huonommat. Tämän vuoksi sitä käytetään seoskumina parantamaan kulumisenkestoa. Perinteistä luonnonkumia käytetään edelleen, koska sillä on erittäin hyvät kitkaominaisuudet erityisesti talvirenkaita ajatellen. Luonnonkumi on kimmoista, mutta sen huonona puolena on kulumiskestävyys. Luonnonkumin hyviin ominaisuuksiin kuuluu pieni sisäinen kitka ja sitä käytetään renkaan rakenteissa, koska sillä on hyvät tarttumisominaisuudet useisiin muihin käytettäviin kumilaatuihin. Monet renkaissa käytetyt kumit ovat ilmatiiviydeltään liian heikkoja, jonka vuoksi käytetään renkaan sisäpinnalla hyvän kaasutiiveyden kumia esimerkiksi klorylibutyylisiä tai halobutyylisiä tehtyä kalvoa. (Naskali 2010, 22–23.)

Taulukko 2. Kumilaatujen vaikutus renkaan ominaisuuksiin (Naskali 2010, 23).

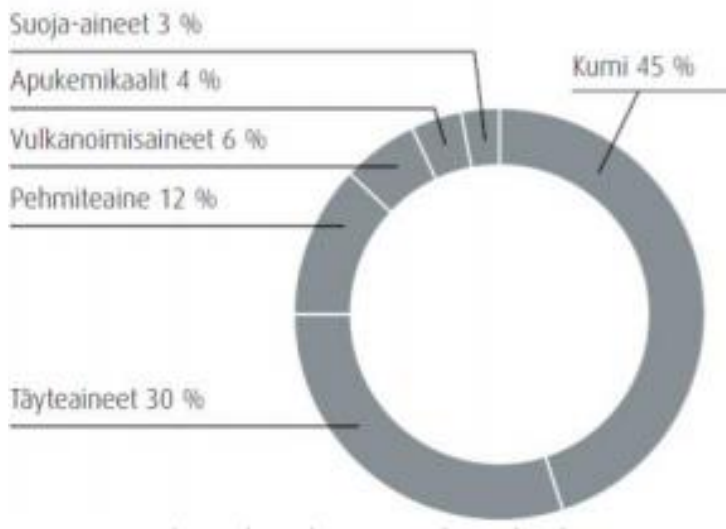
PROPERTY	ELASTOMER			
	NR Natural rubber	SBR Styrene butadiene rubber	BR Butadiene rubber	IIR Butyl rubber
ROLLING RESISTANCE	Low	High	Low	High
WEAR	Fair	Good	Excellent	Poor
WET GRIP	Poor	Good	Poor	Good
DAMAGE RESISTANCE	Excellent	Fair	Poor	Poor
IMPERMEABILITY	Fair	Poor	Poor	Excellent
TACK	Excellent	Fair	Poor	Good
PROCESSABILITY	Good	Good	Poor	Poor



Kuva 2. Kumisekoituksen ominaisuusodotukset raskaan kaluston renkaissa (Craelius 1994, 34.)

Kumilaaduilla ei yksistään saavuteta riittäviä ominaisuuksia, vaan niihin sekoitetaan monia seosaineita (kuvio 8), joista tärkein on noki. Noki antaa käytettäville kumilaaduille ja koko renkaalle tyypillisen mustan värin. Erilaisia nokityyppejä on käytettävissä kymmenittäin ja niillä pystytään vaikuttamaan merkittävästi renkaan kitkaominaisuuksiin ja kulutuksenkestoon. Noet lisätään kumiseoksiin hienojakoisena pölynä. Noki muodostaa noin 30 % renkaan painosta ja se suojaa kumia, joka yksistään olisi hyvin herkkä auringon ultravioletisäteilylle ja haurastuisi nopeasti. Rengasta suojataan hapen, valon ja otsonin vaikutuksilta myös erilaisilla kemikaaleilla. Hartseja käytetään apuna liitettäessä eri kumiseoksia toisiinsa, ennen kuin ne vulkanoituessa sulautuvat tiiviisti yhteen. Rikki on myös tärkeä aines valmistuksessa, sillä se muodostaa kumimolekyylien välille sidoksia vulkanoitaessa. Vasta tämän jälkeen kumi pysyy halutun kimmoisana ja muotoisena. Erilaisilla öljyillä voidaan vaikuttaa kumin kovuuteen ja siten kitkaominaisuuksiin. Ne mahdollistavat näin ollen myös suuremman nokimäärän sekoittumisen kumiin. (Naskali 2010, 23.)

### Kumisekoituksen raaka-ainekoostumus



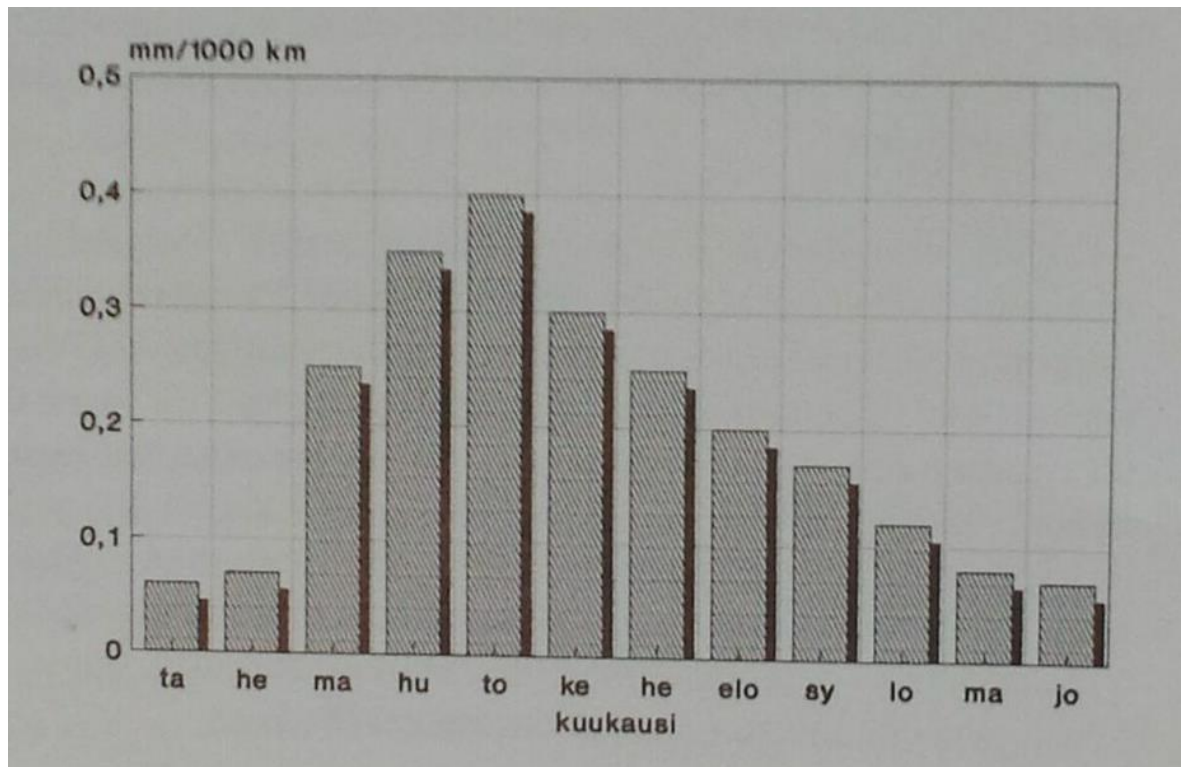
Kuvio 8. Renkaissa käytettävän kumiseoksen raaka-ainekoostumus (Naskali 2010, 24).

### 3.3 Renkaan kuluminen

Renkaan kuluminen tapahtuu sen hangatessa, liukuessa tai vierissä toista pintaa vasten. Kumin kuluminen voidaan jakaa kahteen eri tekijään, jotka ovat kemiallinen kuluminen ja mekaaninen kuluminen. Kemialliseen kulumiseen kuuluu esimerkiksi renkaan vierinnässä tapahtuva lämpeneminen, jolloin kumimolekyylejä tarttuu tien pintaan renkaasta. Ultraviolettilon vaikutus renkaan pintakerrokseen voidaan myös katsoa kemialliseksi kulumiseksi. Renkaan lämpötilan ylittäessä yli 100 astetta, esimerkiksi lukkojarrutuksissa, kumi alkaa vanheta sekä mekaanisesti että kemiallisesti. Tämä johtuu siitä, kun kumimolekyylien pilkkoutuessa ne menettävät rikkisidoksia toisiin kumimolekyyleihin nähden. (Craelius 1994, 56–57.)

Renkaan vierintävastus on mekaanisen kulumisen suurin tekijä, joka aiheuttaa kulutuspinnan jännitystilan vaihtelua. Tämän vuoksi raskaan kaluston renkaiden kulumiseen vaikuttaa paljon tienpinnan karheus ja kitkaominaisuudet. Vuodenaikojen aiheuttama kuluminen vaihtelee, koska mitä suurempi tien karheus ja kitkataso ovat, sitä suurempi on myös renkaan kulumisen taso (kuvio 9). Renkaiden kulumiseen vaikuttaa myös käyttöpaikka auton alustassa. Jarruttava ja ohjaava rengas kuluttaa olkapäitään ja vetävä rengas keskipintaansa. Vetävän

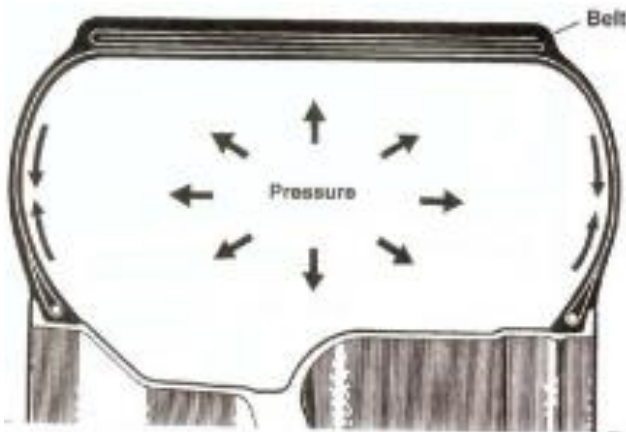
renkaan keskipinnan kuluminen johtuu kudosrungon taipumisesta vedon tai jarrutuksen vaikutuksesta. (Craelius 1994, 57–60.)



Kuvio 9. Kuorma-auton renkaan kuluminen keskimäärin eri kuukausina (Craelius 1994, 58.)

## 4 RENGASPAINE

Rengaspaineella on useita tehtäviä. Renkaan sisällä olevan paineen tarkoituksena on tukea rengasta ja kantaa kuormaa (kuva 3). Renkaan kuormankantokykyyn vaikuttaa paineen lisäksi myös käytettävä ajonopeus. Renkaalle voidaan sallia huomattavasti korkeampi kuormitus, mikäli ajonopeus ei nouse tietyn rajan yli ja rengaspaine asetetaan tilanteeseen sopivaksi. Valmistajilla on renkailla tehtyjä taulukoita, joista kuormankantokyvyt on nähtävissä eri nopeuksille ja paineille. Rengas on periaatteessa jäykkä kappale, sillä sen tilavuus ei merkittävästi muutu, vaikka paine nousisi. Tästä syystä kuormituksella ei ole juurikaan vaikutusta renkaan paineeseen, vaan se pysyy lähes vakiona. Toki kuormituksen lisääntyessä renkaan tiekosketusalueen pinta-ala kasvaa, jolloin myös renkaan puristuma kasvaa samalla eli dynaaminen vierintäsäde pienenee. (Naskali 2010, 81.)



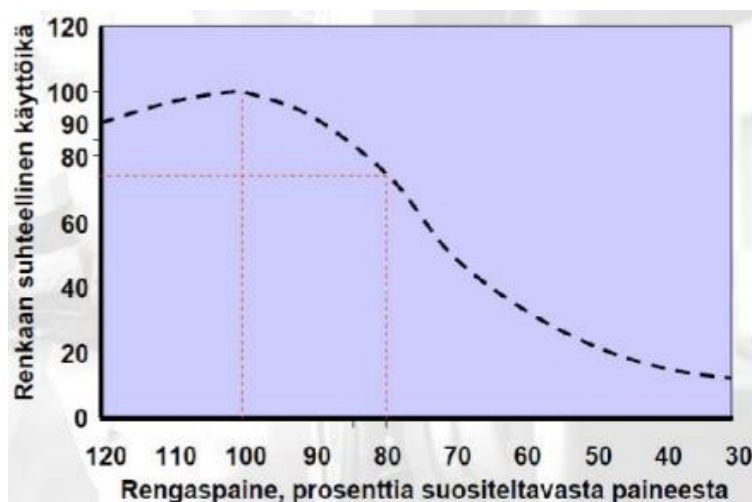
Kuva 3. Paine kantaa kuorman (Naskali 2010, 81.)

Paine tuo renkaaseen myös tietyt jousto-ominaisuudet, jotka vaihtelevat painetasen mukaan. Näillä on vaikutusta tien epätasaisuuksien aiheuttamien värähtelyiden etenemiseen auton runkoon ja sitä kautta ajomukavuuteen. Matalammalla paineella myös tiekosketusalueen pinta-ala kasvaa, mikä rasittaa näin ollen vähemmän ajoalustaa ja lisää adheesiosta syntyvää pitokykyä. Rengaspaine vaikuttaa huomattavasti renkaasta syntyvän melun voimakkuuteen erityisesti tasaisilla tienpinnoilla. Korkeampi rengaspaine nostaa renkaasta syntyvän äänen voimakkuutta. Renkaat ovat suurin yksittäinen äänilähde yli 70

km/h:n nopeuksista alkaen ja ääni on voimakkaampi kuin kaikki muut äänilähteet yhteensä. Raskaan kaluston rengasmelu on noin 3-4 dB voimakkaampi kuin henkilöauton. Raskaassa kalustossa oleva suurempi renkaiden määrä on suurin syy korkeampaan meluun, ei niinkään rengaskuormat tai suurempi renkaan leveys. Suuremman halkaisijan rengas voi olla melua pienentävä tekijä, koska se tulee loivemmin ja pehmeämmin tiekosketuskohtaan. (Naskali 2010, 81–82.)

Raskaan kaluston renkaiden paineistuksessa on otettava huomioon erikoisolosuhteet, koska maantiellä ja louhoksella ajo eroavat suuresti toisistaan. Maantienajossa renkaiden optimaalinen kuluminen voidaan aikaansaada paineen valinnalla. Sen sijaan louhoksella pinnan lohkeilun ja pistojen vähentämiseksi joudutaan usein vajaapaineiden käyttöön. Renkaan painumissa on eroja vyörenkaan ja ristikudosrenkaan välillä. Vyörenkaan painumaa pystytään ohjaamaan vyörakenteen avulla suurelle osalle renkaan kehää, jolla aikaansaadaan loivakulmainen painuma. Ristikudosrenkaassa puolestaan painuma on suhteellisen jyrkkäkulmainen, paikallinen ja pintapaineen jakautuma paineesta riippuvainen. Vyörenkaan loivakulmaisemman painuman vuoksi sen ominaiskuluminen on huomattavasti vähäisempää ja herkkyys paineen vaihteluille vähäisempi kuin ristikudosrenkaan. (Craelius 1994, 60.)

Raskaan kaluston renkaille on olemassa paineilmasuosituksia (liite 1).

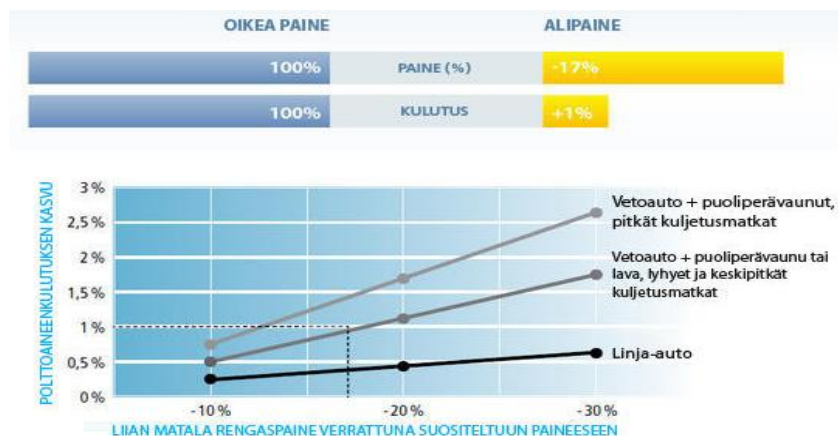


Kuvio 10. Rengaspaineen vaikutus käyttöikään (Naskali 2010, 82).



Kuva 4. Alipaineinen rengas kuluu voimakkaammin olka-alueilta suhteessa kantamaansa kuormaan (Naskali 2010, 83).

Rengaspaineen oleellisen merkityksen takia, niin energiankulutukselle kuin muillekin ominaisuuksille ne pitäisi tarkistaa vähintään kerran kuukaudessa. Noin 30 % paine-eroilla renkaan suosituspaineesta voi olla jopa 2 %:n vaikutus polttoaineenkulutuksessa (kuvio 11). Mitä korkeampi keskinopeus ajosuoritteessa on, sitä suuremmaksi rengaspaineiden vaikutus yleensä muodostuu. Tämä johtuu vierintävastuksen kasvusta nopeuden myötä. Rengas menettää painettaan aina hieman, sillä kumi ja muut rakenteet eivät ole koskaan täysin tiiviitä. Raskaan kaluston tapauksessa liian matalan paineen havaitseminen silmämääräisesti on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Erityisesti paripyöristä toinen saattaa olla vajaapaineinen, vaikka tilanne näyttäisi normaalilta. Rengasvasaralla testaamalla voi tietysti löytää suurimmat paineenvajaukset, mutta jo pienemmilläkin paineenvajauksilla on merkitystä renkaan ominaisuuksiin. (Naskali 2010, 83.)



Kuvio 11. Rengaspaineen vaikutus raskaan kaluston polttoaineenkulutukseen (Michelin, [Viitattu 4.5.2015]).

## 5 TYPEN KÄYTTÖ RENKAISSA

Typen käyttö renkaissa aloitettiin jo 20 vuotta sitten Hollannissa, mutta vasta viime vuosien aikana kehitys on kiihtynyt. Tällä hetkellä yli miljoona hollantilaista autoa ajaa typpitäytteisillä renkailla ja käyttö kasvaa erityisesti ammattiliikenteessä voimakkaasti. Turvallisuuteen perustuen lentokoneiden renkaissa on käytetty jo kauan typpeä. Monissa satamissa satama-ajoneuvojen on käytettävä typpeä renkaissa, jos niillä kuljetetaan vaarallisia aineita. Tällöin niissä ei ole happea, joka voisi ylläpitää tulipaloa onnettomuuden sattuessa. Formuloissa ja Nascarissa käytetään myös typpeä, jolloin rengaspaine saadaan pysymään mahdollisimman tasaisena ja näin ollen auton ajo-ominaisuudet muuttuvat vähemmän. (AGA, [Viitattu 8.2.2015].)

### 5.1 Typen hyödyt renkaissa

Vaikka renkaiden täyttämiseen käytettävää ilmaa on melkein aina saatavissa, se sisältää huonoja ominaisuuksia verrattuna typpeen. Happi syö kirjaimellisesti renkaita sisältäpäin ajan saatossa. Tällöin puhutaan väsymysilmistä eli renkaiden hapettumisen aiheuttamasta kemiallisesta heikentymisestä. Hapettuminen alkaa renkaan sisältä ja etenee ulospäin. Renkaan sisäpinnan kalvo joutuu ensimmäisenä alttiiksi hapettumiselle, minkä jälkeen vaurioituu kumieristekerros. Renkaan sisä- ja ulkopuolen välisen paine-eron vuoksi hapettuminen etenee vääjäämättömästi ulkopintaa kohti. Hapettumisen edetessä happimolekyylit reagoivat kemiallisesti kaikissa kumimateriaaleissa olevien tyydyttymättömien kaksoissidoksien kanssa. Sitä mukaan, kun happea tunkeutuu rengasrungon läpi, kumi menettää elastisuuttaan ja kestävyytään. Vastaava ilmiö on havaittavissa vanhassa kuminauhassa, joka muuttuu ajan myötä pehmeäksi muoviksi ja murtuu helposti. Tätä väsymysilmiötä vastaan renkaiden sisäpinta suunnitellaan siten, että ne suojaavat rengasta haurastumiselta uhrautuvilla antioksidanteilla. Antioksidanttien tehtävä on sitoa vapaata happea ja estää hapen reagointi kumin kaksoissidoksien kanssa. Kun antioksidantteja ei ole enää jäljellä, rengas alkaa hapettua, mikä tapahtuu liian aikaisin ajatellen renkaan käyttöikä. (AGA, [17.2.2015].)



Paineistetulla ilmalla täytetyn renkaan paine nousee kuumentuessaan ja laskee kylmentyessään, mikä lisää renkaan kulumista ja muuttaa ajoneuvon ajominaisuuksia. Nopeamman renkaan kulumisen myötä myös polttoaineen kulutus lisääntyy. Ilman sisältämä kosteus lisää painevaihtelua renkaassa, ja renkaan lämmitessä kosteus tiivistyy renkaan sisäpintaan, jolloin se aiheuttaa korroosiota teräs- ja alumiinivanteissa. Typpi on inertti eli reaktiokyvytön kaasu, jolloin se ilmasta poiketen ei reagoi vanteen tai renkaan kumin kanssa. Typellä täytetyt renkaat eivät kuumennu merkittävästi verrattuna paineistetulla ilmalla täytettyihin renkaisiin. Raskaan kaluston puolella tämä on selvä etu, koska se vähentää pinnoitetun renkaan ylikuumenemisesta johtuvia räjähdyksiä ja pinnan irtoamisia. Renkaan kulumisen ja polttoaineen kulutus on myös vähäisempää tyyppiä käytettäessä, mikä johtuu typen molekyylirakenteesta verrattuna happeen. (Nitroride, [Viitattu 31.3.2015].)

## 5.2 Typen hinta

Typen hinnat vaihtuvat kerran vuodessa eikä niihin voi vaikuttaa kesken vuoden. Typpipulloja on valittavissa joko 12X50 litran pullopaketeissa tai pelkästään yksittäisiä 20 litran pulloja (taulukko 3). Kaasupullot ovat ainoastaan vuokralle saatavia, jonka takia niistä on maksettava pullokohtainen vuokra. Hinnat sisältävät 24 % arvolisäveron. (AGA, [Viitattu 16.4.2015].)

Tutkimusajankohtana Seinäjoen Rengaskeskuksessa raskaan kaluston renkaan typetys maksoi 15,25 euroa per rengas sisältäen veron. Typetys tapahtuu 12X50 pullopaketilla, jolla voidaan täyttää keskimäärin 75 kuorma-auton rengasta. (Lintala 2015.)

Taulukko 3. Typen hinta ja kaasupullojen vuokra vuodelle 2015 (AGA, [Viitattu 16.4.2015]).

Typpipullo (L)	12X50	20
Typpipullon vaihtohinta (€)	866,9	56,5
Typpipullon päivävuokra (€)	12,3	0,8
Typpipullon vuosivuokra (€)	2747,8	174,8

### 5.3 Typpitäyttölaitteet

Typen käyttö erityisesti raskaan kaluston renkaissa on kasvanut viime vuosina. Tämä johtuu osaksi siitä, että typpitäyttölaitteiden hinnat ovat laskeneet ja niiden koko on pienentynyt, jolloin niistä on tullut myös helppokäyttöisempiä ja paremmin varastoitavia. Kasvavan kysynnän vuoksi typpitäyttölaitteita on olemassa erilaisia valmistajasta riippuen. Typpitäyttöasemista saatava typen pitoisuus vaihtelee 95–99,9 % riippuen valmistusmenetelmästä, kun taas suoraan typpikaasupulloista tyytettäessä pitoisuus on lähes 100 %.

Kuvassa 5 on esimerkki G5-merkkisestä typpitäyttölaitteesta. Tämä E-1170-malli soveltuu hyvin raskaan kaluston renkasiin, jolle luvataan täyttöpaineeksi 12 bar ja 170 L/min. Laitteen hinta on 2290 euroa + alv. 24 %. (Kc Enterprise, [Viitattu 13.4.2015].)



Kuva 5. Kuorma-autonrenkaan typpitäyttölaitte (Kc Enterprise, [Viitattu 13.4.2015]).

#### 5.4 Kokemuksia typen käytöstä

Haastateltavana oli Kuljetusliike Eero Huhtala Oy:n toimitusjohtaja Jani Huhtala. Kuljetusliike on aloittanut typen käyttämisen raskaan kaluston renkaissa noin seitsemän vuotta sitten. Tällä hetkellä käytetään edelleen myös ilmalla täytettyjä renkaita lyhemmissä välimatkoissa. Huhtalan mukaan suurin syy typen käyttöön on rengaspaineen parempi pitävyys verrattuna ilmalla täytettyyn renkaaseen. Pientämällä mahdollisia painevajauksia saadaan huomattavia säästöjä polttoainekuluissa, jotka yrityksessä ovat noin 30 % kokonaiskustannuksista. Typen käytöstä saatavat hyödyt näkyvät myös renkaan vähäisempänä kulumisena, jonka vuoksi renkailla voidaan ajaa yhä enemmän. Huhtalan mukaan ei ollut mitään negatiivista sanottavaa typpeä käytettäessä. Hän myös mainitsi sen, että vaikka typen täyttö maksaa, siitä saatavat hyödyt ovat sen arvoisia. (Huhtala 2015.)

## 6 MITTAUKSET

### 6.1 Mittauksessa käytettävä kalusto

Mittaukset suoritettiin kappaletavara-ajossa toimivalle kuorma-autolle eli jakeluautolle (kuva 6) sekä kuljetuspumppuautolle eli pumille (kuva 7). Jakeluauto ajaa pääsääntöisesti hyväkuntoisia teitä kierrellen yrityksestä toiseen kokonaispainon vaihdellen 16–26 tonnissa. Pumilla puolestaan työkohteet ovat rakennustyömaalle ominaisia, jolloin ajettavan päällystän pinta muuttuu sorapinnasta asfalttipintaan. Pumin lähdettäessä liikkeelle betoniasemalta kohti määränpäättä kokonaispaino on yleensä 30–35 tonnia. Myös ajokilometrit eroavat merkittävästi, sillä jakeluautolle tulee noin 270 km per päivä, kun taas pumille tulee päivästä riippuen keskimäärin 50 km.

#### 6.1.1 SCANIA P450

Scania on P-sarjan ja vuosimallin 2015 jakeluauto. Scaniassa on 6x2-akselinen alustarakenne kääntyvällä telillä. Moottori on 6-sylinterinen, teholtaan 450 hv (331 kW) ja sylinteritilavuudeltaan 13-litrainen. Renkaat olivat merkiltään Bridgestonet. Edessä ja vetävän akselin paripyörillä on 315/70 R22.5 ja telin takimmaisella on akselilla 385/55 R22.5 renkaat.



Kuva 6. Scania P450.

### 6.1.2 MAN TGA 35.400

MAN on TGA-sarjan ja vuosimallin 2006 pumi. Alustarakenne on 8x4-akselisto. Moottori on 6-sylinterinen rivimoottori, teholtaan 400 hv (294 kW) ja sylinteritilavuudeltaan 11-litrainen. Käytössä olleet renkaat eivät olleet samanmerkkisiä, vaan niillä oli eri valmistajat. Renkaat olivat kokoa 315/80 R22.5.



Kuva 7. MAN TGA 35.400.

### 6.2 Mittausten suorittaminen

Mittaukset aloitettiin mittaamalla molemmista ajoneuvoista kaikkien renkaiden ilmanpaineet sekä urasyvyudet (liitteet 3 ja 8). Urasyvyyksien mittaamiseen käytettiin Ironside-merkkistä digitaalista työntömittaa, joka antaa arvon 0,01 mm:n tarkkuudella. Urasyvyudet mitattiin jokaiselta renkaalta kolmeen kertaan, minkä jälkeen mittauskohta merkittiin rengaskynällä myöhempiä mittauksia varten. Tällä tavoin pystyttiin vähentämään mittauksessa tapahtuvaa mittausvirhettä. Rengaspaineiden mittaamiseen käytettiin kahta eri rengaspainemittaria, joiden merkit olivat Einhell ja Eurodainu Wonder. Einhell-mittarin tarkkuuden varmistamiseksi mittari kalibroitiin Seinäjoen ammattikorkeakoululla lainassa olevalla kalibrintilaitteella (kuva 8). Seinäjoen Rengaskeskus Oy:n Eurodainu Wonder -rengaspainemittarin tarkkuus oli puolestaan jo todettu

paikkansapitäväksi. Lämpötilan mittaamiseen käytettiin KC-180B-mallin infrapunalämpömittaria.



Kuva 8. Kalibrintilaite.



Kuva 9. Vasemmalta lukien mittauksessa käytetyt välineet: rengaskynä, digitaalinen työntömitta ja infrapunalämpömittari.

Mittausten jälkeen aloitettiin varsinainen testaus. Ensin mitattavana kohteena oli ilmanpaineella täytetyt renkaat. Urasyvyydet ja rengaspaineet mitattiin uudestaan noin neljän viikon jälkeen testien aloittamisesta, jonka jälkeen tulokset kirjattiin ylös (liitteet 4 ja 9). MANin renkaiden lämpötilavaihteluita tarkasteltiin ajoneuvon lähdeettäessä kuormattuna liikkeelle, saavuttaessa määränpäähän kuormattuna, lähdeettäessä kuormaamattomana liikkeelle ja saavuttaessa määränpäähän ilman kuormaa. Scanian renkaiden lämpötiloja mitattaessa oli kokonaispaino melkein sama molempiin suuntiin. Lämpötilamittaukset otettiin noin 10 cm:n etäisyydeltä jokaisen renkaan kohdalta infrapunalämpötilamittaria käyttäen. Lämpötilamittaukset tehtiin testijakson välissä päivittäisten kuormien mukaan (liitteet 2 ja 7). Tulosten kirjaamisen jälkeen suoritettiin renkaiden tyypitys Seinäjoen Rengaskeskuksessa. Renkaat tyhjennettiin ilmanpaineesta rengas kerrallaan, minkä jälkeen renkaat täytettiin tyypellä suoraan typpikaasupulloista (kuva 10). Tämän jälkeen tyypettyihin renkaisiin suoritettiin samat mittaukset kuin ilmanpaineella täytettyihin renkaisiin. Typpipitoisten renkaiden urasyvyyksien mittaukset aloitettiin siitä, mihin kulutuskohtaan ilmatäytteiset renkaat olivat kuluneet (liitteet 4 ja 9). Testijakson jälkeen mitattiin tyypellä täytettyjen renkaiden kuluspintojen kulumisen ja rengaspaineet (liitteet 6 ja 11). Lämpötilamittaukset suoritettiin puolestaan testijakson aikana (liitteet 5 ja 10). Testijakso tyypellä täytettyihin renkaisiin oli suunnilleen sama kuin ilmanpaineella täytetyissä renkaissa, jolloin molemmat testaukset olivat vertailtavissa toisiinsa nähden. Käytettävään testausaikaan vaikutti suurimmalta osin ajoneuvojen ajettu kilometrimäärä, jolla on puolestaan merkittävä vaikutus renkaiden kulumiseen.





Kuva 10. 12X50 typpikaasupullot.



## 7 TULOKSET

Mittaustulokset suoritettiin kahdelle erilaisissa tehtävissä ajaville kuorma-autoille. Näin pystytään tutkimaan esimerkiksi suuremman kokonaispainon vaikutusta renkaan lämpötiloihin. MANissa käytetyt renkaat olivat sekä pinnoitetut että erimerkkiset, jolloin niissä saattoi syntyä jo pelkästään rengasmateriaaleista johtuen eroja mittaustuloksissa. Scania oli puolestaan ajoneuvona uusi, jolloin mittauksissa tuskin ilmeni virheitä alustasta tai renkaista johtuen.

Tuloksista nähtiin jo lyhyen ajan sisällä typen hyödyt. Typpeä käytettäessä renkaan lämpötilat pysyivät ilmanpaineeseen verrattuna viileämpinä, mistä on merkittävästi hyötyä varsinkin silloin, kun tien lämpötila nousee kesää kohti lähemmäs 40°C:seen. Tuloksia vertailtaessa on otettava huomioon sään lämpeneminen, sillä suoraan renkaiden lämpötiloja ei voi vertailla keskenään, vaan on muistettava, että mitä kuumempi tien pinta on, sen enemmän se lämmittää myös renkaita. Tämän vuoksi voidaan päätellä, että ilmalla täytettyjen renkaiden lämpötilat olisivat olleet useita asteita enemmän, jos niitä olisi testattu samaan aikaan kuin typpipitoisia renkaita.

### 7.1 Scania

Scanialle tehdyt testit suoritettiin ajettaessa Seinäjoelta Jyväskylään ja takaisin välimatkan ollessa 202 km per suunta. Scanian ilmalla täytettyjen renkaiden lämpötiloja mitattaessa ajoneuvon kokonaispaino oli noin 25 tonnia molempiin suuntiin. Mitattaessa lämpötiloja Jyväskylään lähdettäessä mittaustuloksiin vaikutti sateisesta säästä johtuva tienpinnan kosteus. Tällöin renkaat jäivät huomattavasti viileämmiksi kuin takaisin tultaessa, jolloin tienpinta oli lähes kuiva selkeästä säästä johtuen.

Scanian typpitäytteisillä renkailla kokonaispaino oli puolestaan noin 22 tonnia molempiin suuntiin. Takaisin tultaessa ilman ja tien lämpötila olivat laskeneet noin kahdeksalla asteella. Tämä näkyi tuloksista muutaman asteen viileämpinä renkaina.

Verrattaessa Scanian renkaita ilmatäytöillä ja typpitäytöillä voidaan havaita, että tuloksia mitattaessa typpitäytteisillä renkailla ilman ja tien lämpötila olivat jo lämpöisempiä. Tällä on suora vaikutus renkaan lämpötilaeroihin, koska typpitäytteisten renkaiden lämpötila oli jo paikaltaan lähtiessä useamman asteen enemmän. Kolmen tonnin kokonaispainoerolla ei ollut suurta vaikutusta lämpötiloihin, vaan erot johtuivat säästä.

Urasyvyyksiä mitattaessa huomasi Scanian renkaista selvästi eroja. Ilmatäytteisillä renkailla oli peräti kahta millimetriä renkaan kulutus, kun se typpitäytteisillä renkailla puolestaan oli maksimissaan yhden millimetrin. Eniten renkaan kulumista näkyi vetävillä pyörillä, koska jakeluliikenteessä tapahtuu paljon käännöksiä. Käännöksistä johtuen kääntymättömien akselien renkaat sortavat ja näin ollen varsinkin tiukoissa käännöksissä saattaa sortamisesta johtuen jäädä tien pintaan renkaan kulutuspinnaa.

## **7.2 MAN**

Pumin renkaiden ollessa erimerkkisiä ja pinnoitettuja voi tästä syystä ilmetä mittauksissa vaihteluita eri renkaiden kohdalla. On myös hyvä muistaa pinnoitettujen renkaiden kohdalla, että vaikka niistä tulee pinnoituksen jälkeen lähes uudenveroisia pyöriä, renkaan rungossa voi olla virheitä, jotka eivät ole paljastuneet tarkistuksessa.

MANin ilma- ja typpitäytteisiä renkaita tutkiessa lähdettiin liikkeelle noin 33 tonnin kokonaispainoilla. Asiakkaan luota lähtiessä takaisin betoniasemaa kohti ajoneuvossa oli painoa vain omamassan verran eli noin 20 tonnia. Painon kevennyksestä johtuen renkaiden ja tien välinen vastus ei ollut niin suuri, jolloin renkaiden lämpötilat pysyivät näin ollen myös alhaisempina verrattuna kuorma päällä ajaessa.

Sääolosuhteet olivat renkaiden lämpötiloja mitattaessa lähestulkoon samanlaiset. Eroavaisuuden muodostivat ainoastaan ilman ja tien lämpötilat jotka olivat nousseet. Vaikka siirtymä määränpäähän typpipitoisilla renkailla oli kymmenen kilometriä vähemmän kuin ilmatäytteisillä renkailla, voidaan tuloksista havaita silti

typen hyödyt, koska renkaat eivät lämmenneet suhteessa niin paljoa kuin mitä niiden lämpötilat olivat liikkeelle lähdeettäessä.

MANin renkaiden urasyvyvyyksiä mitattaessa typhen vaikutus ei näkynyt niin selkeästi, vaan kulumista oli peräti enemmän typpipitoisilla renkailla. Tähän kuitenkin vaikutti suurimmalta osin se, että ilmatäyteisillä renkailla ajettu kilometrimäärä koostui oikeastaan pitkistä välimatkoista ja typpipitoisilla renkailla lyhyemmistä siirtymistä, jolloin myös oli tiukempia käännöksiä ja siitä syystä oli myös renkaan sortamisesta johtuvaa kulumista havaittavissa.

Rengaspaine-eroja oli nähtävissä kummassakin mitattavassa autossa suunnilleen 0,1 bar ilmanpainetta käytettäessä. Typellä täytetyissä renkaissa vuotoa ei vielä ehtinyt ilmaantua.

Lawrence R. Sperbergin tekemistä tutkimuksista on nähtävissä myös, että ilmanpaine laskee renkaassa 0,14 bar kuukautta kohden. Tyypeä käytettäessä vuotoa tapahtuu vain 0,02 bar per kuukausi. (AGA, [Viitattu 17.2.2015].)

Vaikka typhen käyttö renkaissa on kalliimpaa kuljetusliikkeelle, siitä saatavat hyödyt kattavat kuitenkin siihen käytetyt kustannukset. Esimerkiksi typpipitoiset renkaat vähentävät rengasrikkoja, koska tiedetään että ilmalla täytetty rengas räjähtää helpommin, jolloin taas uuden renkaan hinnalla olisi voitu typpittää monta rengasta. Tämän vuoksi on suositeltavaa käyttää tyypeä heti alusta asti ajoneuvon työtehtävistä riippumatta.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena olleen typen hyötyjen tutkiminen oli mielenkiintoista. Typen käyttö renkaissa on vielä varsin vähäistä, mutta vuosi vuodelta sen käyttö tulee yleistymään varsinkin raskaan liikenteen puolella. Monille kuljetusalan ammattilaisillekin typen käyttö renkaissa on uutta. Nämä asiat yhdessä aiheesta olevan aikaisemman tutkimuksen vähyyden kanssa lisäsivät entisestään motivaatiota.

Tutkimuksissa saavutettiin tavoitteet, sillä mitä teoriaosuudessa oli mainittu typen hyödyistä, saavutettiin ne myös käytännössä. Polttoainesäästöjä oli mahdotonta mitata päivittäin vaihtuvista työkohteista johtuen. Yleisellä tasolla silti tiedetään, että rengaspaineiden pysyessä optimaalisella tasolla pysyy myös tällöin vierintävastus ja polttoainekulut pienempänä.

Tutkimuksista sai selville jo lyhyellä aikavälillä tpeestä saatavat hyödyt, mutta pitemmällä aikajaksolla tuloksista saisi luotettavampia. Eri vuodenaikojen merkitystä pystyisi myös tällöin vertailemaan ilma- ja tyypitäyöille. Mittausten tuloksiin lisää luotettavuutta olisi tuonut myös se, jos molemmat ajoneuvot olisivat olleet uusia ja renkaat samanmerkkisiä. Tutkimuksissa käytetty Scania oli uutta vastaava, jolloin siihen tehdyt mittaustulokset olivat melko luotettavat, toisin kuin MAN-merkkisen ajoneuvon. Epäluotettavuutta MANiin tehdyissä testeissä teki mittauksessa käytetyt erimerkkiset renkaat ja ajoneuvon yhdeksän vuoden ikä, jolloin alustarakenne ei ole enää uudenveroinen. Testikertoja lisäämällä renkaan lämpötiloja mitattaessa saisi myös luotettavampia tuloksia. Tällä tavoin pystyttäisiin muun muassa huomioimaan paremmin säätilan vaikutus.

Lisäksi testien suorittamista hankaloitti mittausten yhteen sovittaminen ajojen mukaan, koska mittauksia tehdessä tuli huomioida sääolosuhteet sekä ajomatka. Sateisella säällä ja lyhyellä ajomatalla varsinkin lämpötilaerot olisivat jääneet vähäisiksi.

Olisi ollut mielenkiintoista seurata urasyvyksiä ja renkaan lämpötiloja kesäaikaan, kun tien ja ilman lämpötila olisivat huomattavasti lämpöisempiä, jolloin myös kuluminen on suurempaa. Tutkimuksia voitaisiin jatkaa vielä polttoainesäästöihin

tutustumalla. Polttoainesäästöjen tutkimiseksi vaadittaisiin kahta samanlaista ajoneuvoa, jotka molemmat ajavat saman matkan yhtä suurilla kuormilla. Erona vain olisi, että toisella ajoneuvolla olisi tyypipitoiset ja toisella ilmatäytteiset renkaat.

## LÄHTEET

- AGA. 16.4.2015. Asiakaspalvelu. Typen hinnasto vuodelle 2015. Henkilökohtainen tiedonanto.
- AGA. Ei päiväystä. Kaasukoulu. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.2.2015]. Saatavana: [http://www.aga.fi/products\\_ren/gas\\_school/index.html](http://www.aga.fi/products_ren/gas_school/index.html)
- AGA. Ei päiväystä. N-TYRE –rengastyyppi. [Verkkojulkaisu]. Oy AGA Ab. [Viitattu 17.2.2015]. Saatavana: [http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20N-TYRE%20Brochure%20F1634\\_120507.pdf](http://www.aga.fi/internet.lg.lg.fin/fi/images/AGA%20N-TYRE%20Brochure%20F1634_120507.pdf)
- AGA. Ei päiväystä. Tyyppiä renkasiin. [Verkkosivu]. Oy AGA Ab. [Viitattu 8.2.2015]. Saatavana: <http://www.gadsat.fi/images/Tyyppi.pdf>
- Air liquide. Ei päiväystä. Tyyppi. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.2.2015]. Saatavana: <http://www.airliquide.fi/fi/laitteet/nestemaiset-teollisuuskaasut/typpi-1.html>
- Atlas Copco. Ei päiväystä. Nitrogen & Oxygen Generators. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.2.2015]. Saatavana: [http://www.atlascopco.fi/Images/2935%200977%20\\_41\\_updated\\_tcm822-3526697.pdf](http://www.atlascopco.fi/Images/2935%200977%20_41_updated_tcm822-3526697.pdf)
- Craelius, K. 1994. Kuorma-auton renkaat käsikirja. 1. painos. Espoo: Erkki Ahlavo Oy.
- Hamilo, M. & Niinistö, L. (toim.) 2007. Alkuaineet. Helsinki: Gummerus.
- Huhtala, J. 2015. Toimitusjohtaja. Kuljetusliike Eero Huhtala Oy. Haastattelu 17.4.2015.
- Ilmakaasujen valmistus. Ei päiväystä. Typen valmistus tislaamalla. [Kuva]. Helsingin yliopisto. [Viitattu 24.2.2015]. Saatavana: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/kaasut/typenvalmistus.jpg>
- Kc Enterprise. Ei päiväystä. E-1170. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2015]. Saatavana: <http://www.korjaamokoneet.com/?p=E1170>
- Lasergas. Ei päiväystä. Typentuottoprosessi vaihe vaiheelta. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.2.2015]. Saatavana: <http://www.lasergas.fi/fi/teollisuus-typentuottoprosessi.html>
- Lehtonen, P. & Lehtonen, P. 2008. Teknisten alojen kemia. 1. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Lintala, H. 2015. Toimitusjohtaja. Seinäjoen Rengaskeskus Oy. Henkilökohtainen tiedonanto.

Michelin. Kuva seinäjulisteesta. [Viitattu 15.4.2015].

Michelin. Ei päiväystä. Ohjeet, joiden avulla renkaan käyttöikä voidaan pidentää. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.5.2015]. Saatavana: <http://kuljetus.michelin.fi/Ohjeet/Huolto-opas>

Naskali, T. 2010. Renkaiden epätasapainon, ilmanpaineen ja muotovirheiden vaikutus raskaan kaluston energiankulutukseen. [Opinnäytetyö]. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, Auto- ja työkonetekniikka. [Viitattu 25.2.2015]. Saatavana: [http://www.transec.fi/files/235/Renkaiden\\_epatasapainon\\_ilmanpaineen\\_ja\\_muotovirheiden\\_vaikutus\\_raskaan\\_kaluston\\_energiankulutukseen.pdf](http://www.transec.fi/files/235/Renkaiden_epatasapainon_ilmanpaineen_ja_muotovirheiden_vaikutus_raskaan_kaluston_energiankulutukseen.pdf)

Nitroride. Ei päiväystä. Renkaiden typpitäyttöasemat. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.3.2015]. Saatavana: <http://www.finntest.fi/images/esitteet/NITRORIDE%20esite.pdf>

Poikolainen, J., Piispanen, J. & Karhu, J. Ei päiväystä. Raskasmetalli- ja typpilaskeuma Suomessa. [Verkkosivu]. Helsinki: Luonnonvarakeskus. [Viitattu 16.2.2015]. Saatavana: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-typpi.htm>

## LIITTEET

Liite 1. Ilmanpainesuosituksia raskaan kaluston renkaille

Liite 2. Scanian renkaiden ilmatäyttö: lämpötilamittaukset

Liite 3. Scanian renkaiden ilmatäyttö: urasyvyydet mittausten alussa

Liite 4. Scanian renkaiden ilmatäyttö: urasyvyydet testijakson jälkeen

Liite 5. Scanian renkaiden typpitäyttö: lämpötilamittaukset

Liite 6. Scanian renkaiden typpitäyttö: urasyvyydet testijakson jälkeen

Liite 7. MAN:n renkaiden ilmatäyttö: lämpötilamittaukset

Liite 8. MAN:n renkaiden ilmatäyttö: urasyvyydet mittausten alussa

Liite 9. MAN:n renkaiden ilmatäyttö: urasyvyydet testijakson jälkeen

Liite 10. MAN:n renkaiden typpitäyttö: lämpötilamittaukset

Liite 11. MAN:n renkaiden typpitäyttö: urasyvyydet testijakson jälkeen



## LIITE 1 Ilmanpainesuosituksia raskaan kaluston renkailla

AIONEUVO		VETOAUTOT		PERÄVÄÄNUT PUOLIPERÄVÄÄNUT		KURJAMA-AUTOT		PUHTANAPITTOAIONEUVOT			
SORATIEET / TYÖMAAT		SORATIEET / TYÖMAAT		SORATIEET / TYÖMAAT		SORATIEET / TYÖMAAT		SORATIEET / TYÖMAAT			
RENGASKOOT		4x2 - 6x2*	6x4 - 6x6	1, 2 tai 3 akselilla	4x2 - 4x4	6x2* - 6x4 - 6x6	8x4 - 8x8	4x2	6x2		
		E	V	Kaikki akselit Y tai P	E	V	E	V	E	V	T Y tai P
8.5 R 17.5 X TL	121/120L				6.25	6.25			7.75	7.75	
9.5 R 17.5 X TL	129/127L				7.0	7.0			8.0	8.0	
265/70 R 19.5 X TL	140/138M								8.0	8.0	
265/70 R 19.5 X TL	143/141								8.0	8.0	
285/70 R 19.5 X TL	144/142M								8.0	8.0	
285/70 R 19.5 X TL	150/148								8.0	8.0	
305/70 R 19.5 X TL	147/145M								8.0	8.0	
445/65 R 19.5 X2Y TL	165K								8.0	8.0	
10 R 22.5 X TL	144/142K	8.0	7.5		8.0	7.5			8.0	7.5	
275/70 R 22.5 X TL	148/145				8.0	7.5			8.0	8.0	
11 R 22.5 X TL	148/145K	8.0	7.5		8.0	7.5			8.0	8.0	
11 R 22.5 X TL	148/145								8.0	8.0	
12 R 22.5 X TL	152/148K	8.5	7.5		8.5	7.5			8.5	7.5	
12 R 22.5 X2U TL	152/148				8.5	7.5			8.5	7.5	
295/80 R 22.5 X TL	152/148								8.5	7.5	
305/70 R 22.5 X2U 2T TL	150/147	8.5	7.5	7.0	8.5	7.0	7.0		8.5	7.0	8.5
315/60 R 22.5 X2U TL	152/148								8.5	7.0	8.5
315/70 R 22.5 X TL	154/150L	8.5	7.0		8.5	7.0			8.5	7.0	8.5
315/80 R 22.5 X TL	154/150K	8.5	7.0		8.5	7.0			8.5	7.0	8.5
13 R 22.5 X TL	158L-160J	9.0	6.0		9.0	6.0			9.0	6.0	9.0
385/55 R 22.5 X TL	158L-160J	9.0	6.0		9.0	6.0			9.0	6.0	9.0
385/65 R 22.5 X TL	158L-160K	9.0	6.0		9.0	6.0			9.0	6.0	9.0
425/65 R 22.5 X TL	165K										
445/65 R 22.5 X TL	169K										

(Michelin, [Viitattu 15.4.2015]).





















