

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehitys

Tutkintotyö

Mikko Antila

Komponenttien vaikutus henkilöauton renkaan vierintävastukseen

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

DI Kari Järvinen
Nokian Renkaat Oyj, valvojana DI Jarno Ahvenlammi

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

Antila, Mikko

Komponenttien vaikutus henkilöauton renkaan vierintävastukseen

Tutkintotyö

45 sivua + 21 liitesivua

Työn ohjaaja

DI Kari Järvinen

Työn teettäjä

Nokian Renkaat Oyj, valvojana DI Jarno Ahvenlammi

Toukokuu 2008

Hakusanat

vierintävastus, komponentti, rengas

TIIVISTELMÄ

Ilmaston lämpeneminen, autojen aiheuttamat pakokaasupäästöt sekä polttoaineiden hinnan nousu ovat ajankohtaisia aiheita. Renkaan vierintävastuksella on suora yhteys polttoaineen kulutukseen. Näistä syistä renkaan vierintävastus on nousemassa entistä tärkeämpään asemaan autonomistajan kannalta.

Tutkintotyön tavoitteena oli tutkia 205/55R16-kesärenkaan eri komponenttien vaikutusta vierintävastukseen. Suunniteltujen koerenkaiden ja niistä saatujen mittaustulosten perusteella mahdollistetaan tulevaisuudessa entistä kevyemmin vierivien renkaiden suunnittelu Nokian Renkailla.

Komponenttien vaikutusta renkaan vierintävastukseen tutkittiin valmistamalla koerenkaita toisistaan eroavista komponenteista. Lähtökohtana työssä käytettiin 205/55R16 A227-kesärengasta, josta tehtiin erilaisia rakenne- ja pintamallivariaatioita. Erilaisten kumisekoitusten vaikutusten vertailu vierintävastukseen jätettiin työn ulkopuolelle, ja kaikkien koerenkaiden rakenteessa käytettiin kullekin komponentille ominaista, yleisesti tuotannossa olevaa kumisekoitusta.

Renkaiden vierintävastusmittaukset suoritettiin laboratorio-olosuhteissa saksalaisen TÜV:n toimesta, ISO 18164:2005 standardin mukaisesti.

Suoritettujen vierintävastusmittaukset osoittavat, että matalavierintävastuksisen renkaan tulisi olla rakenteeltaan mahdollisimman kevyt. Toisaalta samaan aikaan kuormitustilanteessa renkaan muodonmuutoksen tulisi olla mahdollisimman pieni. Mittauksista saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina ja erittäin käyttökelpoisina suunniteltaessa kevyesti vieriviä renkaita.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Product development

Antila, Mikko

The effects of components on a rolling resistance of a passenger car tyre

Engineering Thesis

45 pages + 21 appendices

Thesis Supervisor

Kari Järvinen (MSc)

Commissioning Company

Nokian Tyres plc, Supervisor Jarno Ahvenlammi (MSc)

Maj 2008

Keywords

rolling resistance, component, tyre

ABSTRACT

Global warming, the emission of the exhaust fumes of cars and the rising price of fuel are current topics of today. There is a direct connection between the rolling resistance and the fuel consumption. For these reasons the rolling resistance of the tyre is becoming more and more important thing to the car owners.

The aim of this engineering thesis was to study the effects of the components of a size 205/55R16 summer tyre on rolling resistance. This engineering thesis is based on the measurement results that were gotten from the tests made on the designed test tyres. It was created to make the designing of tyres with a lower rolling resistance easier at Nokian Tyres.

The effects of the components on a rolling resistance were studied by making test tyres from different kinds of components. As the starting point of this study was used a 205/55R16 A227 summer tyre, of which were made different variations of structure and tread design. Comparison of the effects of different kinds of rubber mixtures on a rolling resistance was left out of this study. In the structure of all the test tyres was used a rubber mixture that was characteristic for every component and generally used on production.

The measurements of a rolling resistance of the tyres were made in laboratory circumstances by German TÜV conformed to the standard ISO 18164:2005.

The measurements that were made show that the structure of a low rolling resistance tyre should be as light as possible. On the other hand at the same time the transformation of the tyre at the loading situation should be as small as possible. The results of the measurements can be considered reliable and very usable when designing tyres with low rolling resistance.

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin Nokian Renkaat Oyj:lle, koska yrityksellä oli tarve saada tietoa renkaan komponenttien vaikutuksista vierintävastukseen. Aihe osoittautui hyvin mielenkiintoiseksi ja myös haastavaksi. Työn valmistumista auttoivat asiantuntevat henkilöt, joiden neuvot ja ohjeet olivat suureksi avuksi työn edetessä.

Kiitän Kai Hauvalaa mahdollisuudesta tehdä tutkintotyö Nokian Renkaat Oyj:lle sekä asiantuntevista ohjeista ja neuvoista työn kuluessa. Kiitän Jarno Ahvenlammea työn ohjaamisesta sekä hyvistä neuvoista. Kiitän myös kaikkia muita Nokian Renkaiden työntekijöitä, jotka auttoivat tutkintotyön tekemisessä. Lisäksi kiitän Kari Järvistä tutkintotyöni ohjaamisesta sekä neuvoista työn tekemisen suhteen.

12.5.2008 Tampereella

Mikko Antila

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO	5
TERMIEN SELITYKSET	6
1 JOHDANTO	7
2 NOKIAN RENKAAT OYJ	8
2.1 Toimiala ja tärkeimmät tuotteet	8
2.2 Yrityksen taustahistoriaa ja liikevaihdon kehitys	9
2.3 Asiakaskunta- ja markkinointitietoa	9
3 TYÖN TAUSTA	10
3.1 Vierintävastustilanne tällä hetkellä	10
3.2 Renkaan elinkaaren aiheuttamat ympäristövaikutukset	11
3.3 Kehitteillä oleva energialuokitus	11
4 TYÖN KUVAUS	12
5 VIERINTÄVASTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	14
5.1 Massa	15
5.2 Ajoalusta	15
5.3 Vanne	15
5.4 Täyttöpaine	15
5.5 Muotovirheet	16
5.6 Hystereesi-ilmiö	16
5.7 Pintakuviointi	18
5.8 Renkaan kulutuspinnan jännitykset tiekosketuksessa	18
5.9 Renkaan sivupinta	19
5.10 Poikkileikkaussuhde	20
5.11 Auton kuljettaja	20
6 VIERINTÄVASTUKSEN MITTAAMINEN	20
6.1 Standardi ISO 18164:2005	21
6.2 Koerenkaille tehdyt mittaukset	22
7 TULOKSET	23
7.1 Pintamallivariaatiot	24
7.2 Rakennemuutokset	29
7.3 Markkinoilla olevat renkaat	31
8 TULOSTEN TARKASTELO	32
8.1 Pintamallin vaikutus	33
8.2 JLB-käärinnän vaikutus	34
8.3 Koordin vaikutus	35
8.4 Apexin vaikutus	36
8.5 Innerin vaikutus	37
8.6 Pinnan vahvuuden vaikutus	37
8.7 Markkinoilla olevat renkaat	38
8.8 Komponenttimuutosten teoreettinen yhteisvaikutus	39
8.9 Jatkotutkimuskohteet	39
9 YHTEENVETO	41
LÄHDELUETTELO	43
LIITELUETTELO	45

TERMIEN SELITYKSET

Apex	Kolmioliuska renkaan jalka-alueella
Dissipaatio	Energian muuttuminen lämmöksi
Foot print	Noin kämmenen kokoinen alue, jolla rengas koskettaa tietä
Hammastuminen	Renkaan kuviopalan epätasainen kuluminen tiekosketuksessa
Hystereesi	Sisäinen lämmönmuodostus
Inneri	Tubeless-renkaassa sisärenkaan korvaava kumikerros
JLB	Nylonista tai muusta materiaalista valmistettu nauha, nylonvyö
Koordi	Renkaan kudusrungon komponentti
Lamelli	Kapea ura pintakuvioinnissa
Poikkileikkaus- suhde	Renkaan poikkileikkauksen korkeus jaettuna leveydellä
SUV	Sport Utility Vehicle, citymaasturi
TÜV	TÜV SÜD Automotive GmbH, saksalainen testauslaitos
Vierintävastus	Renkaan vierieessä kudusrungon muodonmuutoksesta sekä renkaan vaimennusominaisuuksista syntyvä vastus, käytetään myös nimityksiä vierinvastus ja rengasvastus

1 JOHDANTO

Ilmaston lämpeneminen, autojen aiheuttamat pakokaasupäästöt, sekä polttoaineiden hinnan nousu ovat ajankohtaisia aiheita. Renkaan vierintävastuksella on suora yhteys polttoaineen kulutukseen. Näistä syistä renkaan vierintävastus on nousemassa entistä tärkeämpään asemaan autonomistajan kannalta.

Työn tavoitteena on tutkia 205/55R16 kesärenkaan eri komponenttien vaikutusta vierintävastukseen. Työn teettäjällä, Nokian Renkaat Oyj:llä oli tarve saada koottua tietoa komponenttien vaikutuksista vierintävastukseen. Nämä tiedot helpottaisivat entistä kevyemmin vierivien renkaiden suunnittelua.

Tutkintotyöstä saatava hyöty yritykselle on merkittävä, sillä vallitseva kilpailutilanne sekä jatkuva pyrkimys yhä ympäristöystävällisempiin renkaihin edellyttävät jatkuvaa tutkimus/kehitystyötä myös vierintävastuksen osa-alueella.

Lähtökohtana työssä käytettiin 205/55R16 A227-kesärengasta, josta tehtiin erilaisia variaatioita koskien sekä rakennetta että pintamallia. Erilaisten kumisekoitusten vaikutukset vierintävastukseen jätettiin työn ulkopuolelle ja kaikkien koerenkaiden rakenteessa käytettiin kullekin komponentille ominaista, yleisesti tuotannossa olevaa kumisekoitusta.

Pintamalliin tehtävät muutokset toteutettiin leikkaamalla valmiiseen renkaaseen, koska leikkaamalla tehtävä kuviointi on huomattavasti edullisempi ja nopeampi ratkaisu uuden muotin valmistukseen verrattuna.

Renkaiden vierintävastusmittaukset suoritettiin laboratorio-olosuhteissa saksalaisen TÜV:n toimesta, ISO 18164:2005 standardin mukaisesti.

2 NOKIAN RENKAAT OYJ

2.1 Toimiala ja tärkeimmät tuotteet

Nokian Renkaat on Pohjoismaiden suurin rengasvalmistaja. Yhtiö kehittää ja valmistaa kesä- ja talvirenkaita autoihin sekä renkaita erilaisiin raskaisiin koneisiin. Yhtiö on myös Pohjoismaiden suurin pinnoitusmateriaalien valmistaja. Nokian Renkaat toimittaa renkaita pääosin jälkimarkkinoille. /12/

Ydintuotteita ovat nastalliset ja nastattomat talvirenkaat sekä korkean nopeusluokan kesärenkaat. Talvirenkaiden osuus yksikön liikevaihdosta on lähes 80 %. Valmistettavista kesärenkaista noin 50 % on korkeiden nopeusluokkien renkaita. /12/

Päätuotteet valmistetaan yhtiön omilla tehtailla Nokialla Suomessa (kuva 1) ja Vsevolozhskissa Venäjällä, ja ne myydään jälkimarkkinoilla. Sopimusvalmistusta on Slovakiassa, Indonesiassa, Kiinassa, USA:ssa, Intiassa ja Espanjassa. /12/



Kuva 1 Nokian renkaat Oyj, Nokian tehdas /9/

2.2 Yrityksen taustahistoriaa ja liikevaihdon kehitys

Nokian Renkaat Oyj on vuonna 1988 perustettu yhtiö, joka listautui Helsingin Arvopaperipörssiin vuonna 1995. Yhtiön juuret ulottuvat vuoteen 1898, jolloin perustettiin Suomen Gummitehdas Oy. Polkupyöränrenkaiden valmistus alkoi vuonna 1925 ja henkilöauton renkaiden valmistus vuonna 1932. Tunnetuin merkkituote, Nokian Hakkapeliitta, tuli tuotantoon vuonna 1936. Nokian polkupyörän renkaat -liiketoiminta Lieksan tehtaalla siirtyi uudelle omistajalle 1.12.2004 lähtien. /7; 12/

Liikevaihto koostuu kokonaisuudessaan neljästä tulosityksiköstä, joita ovat Henkilö- ja pakettiauton renkaat, Raskaat Renkaat, Vianor, Pinnoitustoiminnot ja kuorma-auton renkaat. Nokian Renkaiden liikevaihto vuonna 2006 oli 835,9 miljoonaa euroa, muutos oli +21,8 % vuoden 2005 liikevaihtoon verrattuna. /12/

Liikevaihdoltaan Nokian Renkaat on Euroopan viidenneksi suurin rengasvalmistaja. Maailmassa on kaikkiaan arviolta 130 rengasalan valmistajaa, joista Nokian Renkaat on kooltaan viidenneksitoista suurin. /2/

2.3 Asiakaskunta- ja markkinointitietoa

Nokian Renkaiden tuotteita viedään noin 60 maahan. Suurimmat vientimarkkina-alueet ovat Ruotsi, Norja, Baltian maat ja Venäjä sekä Alppialue ja Pohjois-Amerikka. Yhtiön laskutuksesta 70 % tulee ulkomailta. Nokian Renkaat on kaikki tuotteet huomioon ottaen markkinajohtaja Suomessa ja kärkisijoilla Norjassa ja Ruotsissa. Talvirenkaiden osuus yhtiön liikevaihdosta vuonna 2006 oli 80 %. /12/

Nokian Renkaiden tavoitteena on vahvistaa markkina-asemaansa Pohjoismaissa, Venäjällä ja Baltian maissa kaikissa tuoteryhmissä. Tavoite pyritään saavuttamaan uudistuvan tuotevalikoiman ja laajentuvan rengasketjun avulla. Nokian Renkaiden tavoitteena on myös vahvistaa maailman laajuista markkina-asemaansa pohjoisiin oloihin suunnitelluissa ydintuotteissa. /12/

3 TYÖN TAUSTA

Renkaan vierintävastuksen tutkimiseen on panostettu aina 70-luvun energiakriisin ajoista alkaen. Tämän hetkiset automaailman trendit, kuten korkeammat nopeusluokat, suuret vannekoot, matalaprofiiliset renkaat, SUV-luokan renkaat unohtamatta entisestään kiristyviä melunormeja aiheuttavat omat ongelmansa tavoiteltaessa alhaista vierintävastusta. /2; 3; 14/

3.1 Vierintävastustilanne tällä hetkellä

Moottoriteknologian, voimansiirron sekä aerodynamiikan kehittyminen yhdistettynä autojen massan jatkuvaan kasvuun ovat lisänneet renkaiden osuutta auton kokonaispolttoaineen kulutuksesta. Tästä syystä renkaan kehityksessä tähdätään yhä enemmän vierintävastuksen minimointiin. Tänä päivänä renkaiden vierintävastuksesta aiheutuva osuus henkilöauton kokonaispolttoaineen kulutuksesta on noin 13 - 18 %. Toisin sanoen moottorin tuottamasta tehosta tarvitaan tämänsuuruinen prosentti renkaan vierintävastuksen voittamiseen. Noin 25 % pienennys vierintävastukseen alentaa polttoaineen kulutusta 3 - 5 %. /2; 8; 16/

Vierintävastuskertoimen referenssinä on luku 1. Vierintävastuksen suuruus ilmaistaan vierintävastuskertoimella. Mitä pienempi kerroin, sitä kevyemmin rengas vierii. Renkaiden kärkimerkkien vierintävastus on nykyään luokkaa 0,9 - 1,1. Hieman yllättäen talvirenkaiden vierintävastus on pienempi kuin kesärenkaiden. Talvirenkaiden kesärenkaita kevyempään vierivyyteen suurimpina syinä ovat kulutuspinnoituksen ominaisuudet sekä pintakuvioinnissa käytettävä lamellointi. /1; 2; 16; 17/

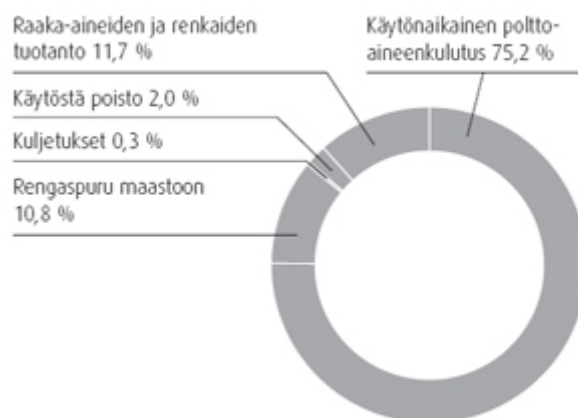
Ympäristön suojeleminen on yhä tärkeämpää niin autojen, kuin myös renkaiden kehityksessä. Erityinen tarve on vähentää liikenteestä syntyviä pakokaasupäästöjä. Renkaan vierintävastus vaikuttaa ympäristöön koko renkaan käyttöajan ajan. Mitä kevyemmin rengas vierii, sitä vähemmän se kuluttaa polttoainetta ja aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Matalavierintävastukselliset renkaat ja sitä kautta pienentynyt

polttoaineen kulutus on myös auton omistajan kannalta taloudellisesti kannattava asia. /13/

3.2 Renkaan elinkaaren aiheuttamat ympäristövaikutukset

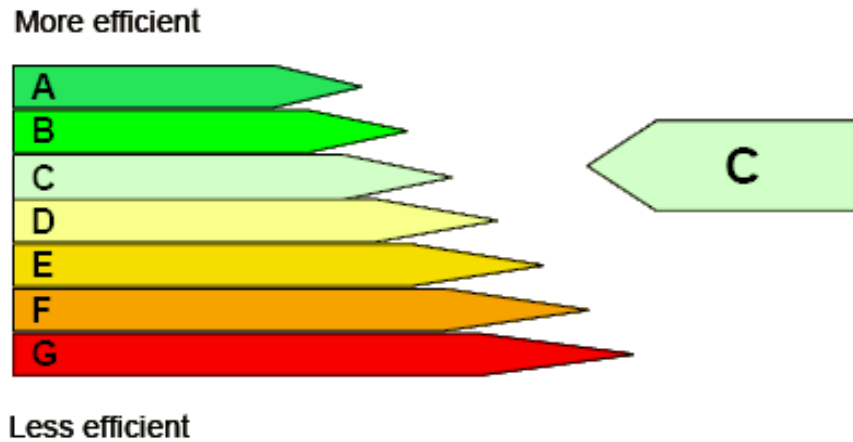
Renkaan elinkaaren aikana suurimmat ympäristövaikutukset syntyvät renkaan käytön aikaisesta polttoaineen kulutuksesta. Käytönaikainen polttoaineen kulutus on noin 75,2 % renkaan elinkaaren aikaisista ympäristövaikutuksista (kuvaaja 1). Tästä syystä matalampi vierintävastuksisten renkaiden kehitys on suositeltavaa ja askel kohti yhä ekologisempaa autoilua. /13/

Kuvaaja 1 Renkaan elinkaaren ympäristövaikutusten jakautuminen /13/



3.3 Kehitteillä oleva energialuokitus

Tällä hetkellä renkasiin on kehitteillä ns. energialuokitus, joka perustuu renkaan vierintävastuskertoimeen. Renkaan energialuokan ilmoittaminen helpottaisi huomattavasti kuluttajaa renkaiden energiataloudellisuuden arvioinnissa. Renkaan energialuokka ilmoitettaisiin joko kylkitekstissä tai renkaan etiketitarrassa. Samantapainen luokitus on jo tällä hetkellä käytössä mm. kodinkoneissa. Esimerkki suunnitteilla olevasta luokitustaulukosta on esitetty kuvassa 2 (kuva 2). /2; 10/



Kuva 2 Energialuokitustaulukko /10/

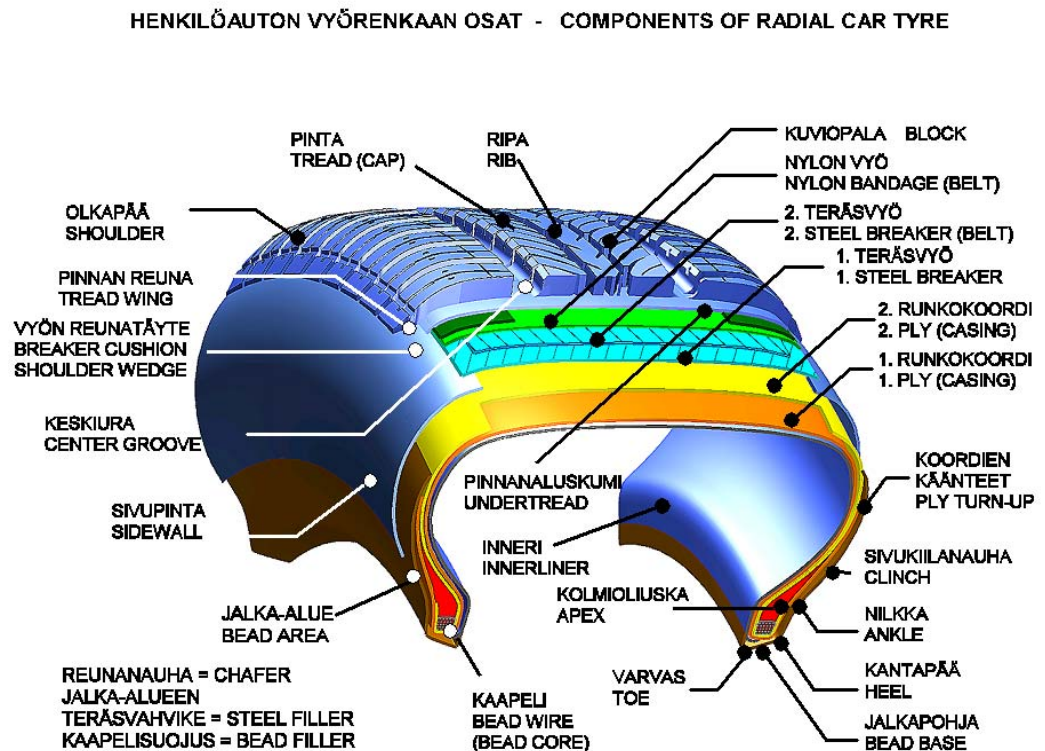
4 TYÖN KUVAUS

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia koon 205/55R16 kesärenkaan eri komponenttien vaikutusta vierintävastukseen. Lähtökohtana työssä käytettiin 205/55R16 A227-kesärenkasta (kuva 3), josta tehtiin erilaisia variaatioita koskien sekä rakennetta että pintamallia.



Kuva 3 A227-kesärenkas /9/

Erilaisten kumisekoitusten vaikutusten vertailu vierintävastukseen jätettiin työn ulkopuolelle, joten kaikki koerenkaiden komponentit valmistettiin käyttäen kullekin komponentille yleisesti tuotannossa olevaa kumisekoitusta. Henkilöauton vyörenkaan komponentit ja rakenne on esitetty kuvassa 4 (kuva 4). Kuvan 4 rakenteesta poiketen A227:n normaalivalmistuksessa käytettävään rakenteeseen kuuluu vain yksi runkokoordi.



Kuva 4 Henkilöauton vyörenkaan rakenne /8/

Aluksi renkaan komponenttien vaikutusta vierintävastukseen ryhdyttiin kartoittamaan lähdekirjallisuutta tutkimalla sekä haastatteleamalla asian parissa työskenteleviä ihmisiä. Näiden pohjatietojen perusteella suunniteltiin muutokset 205/55R16 A227:n perusrakenteeseen sekä pintamalliin, joilla mahdollisesti saataisiin kyseisen renkaan vierintävastusta pienennettyä.

Koerenkaita valmistettiin opinnäytetyötä varten kaikkiaan 16, joista kuusi oli pintamalliin leikkaamalla tehtäviä pieniä muutoksia. Piirustukset A227-

pintamalliin suunnitelluista muutoksista ovat liitteessä 1 ja 2 (liitteet 1 ja 2). Loput koerenkaat olivat mittauksissa käytettyjä referenssirenkaita (2 kpl) sekä erilaisia rakennevariaatioita (8 kpl). Koerenkaat valmistettiin Nokian Renkaiden normaalituotannon lomassa Nokialla. Vierintävastusmittauksiin otettiin myös mukaan kaksi liikkeestä ostettavissa olevaa tuotetta. Lista tehdyistä vierintävastuskokeista on esitetty liitteessä 3 (liite 3).

Alkujaan suunnitellut vierintävastusmittaukset oli tarkoitus tehdä Nokian Renkaiden omalla koestuskoneella. Koestuskoneen mittanapa, johon koestettava rengas kiinnitetään, oli kuitenkin työn aloitushetkellä rikki. Koestuskoneen oli tarkoitus tässä vaiheessa tulla kuntoon noin kuukauden sisällä, eli hyvissä ajoin ennen tutkimustyön tuloksena suunniteltujen koerenkaiden testausta. Erinäisistä syistä koestuskoneen käyttöönotto kuitenkin viivästyi, ja tarvittavat vierintävastusmittaukset päätettiin lopulta teettää saksalaisella TÜV:llä. Mittauspöytäkirjat TÜV:llä teetetyistä mittauksista ovat liitteessä 4 (liite 4).

Näiden tehtyjen mittausten perusteella saatiin hyvä kuva komponenttien vaikutuksesta vierintävastukseen sekä samalla koottua lisää pohjatietoa jatkotutkimuksia varten.

5 VIERINTÄVASTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Rengas on joustava objekti, joka välittää pystysuoran kuorman ja moottorilta saamansa vääntömomentin tiehen. Vierintävastus syntyy renkaan rungon muodonmuutoksesta, kulutuspinnan ja sivupintakumin vaimennusominaisuuksista renkaan vierieessä tietä pitkin. Näin ollen osa renkaan vierimiseen tarvitsemasta energiasta haihtuu lämpönä ilmaan. /3; 6; 10/

Renkaan vierieessä energiaa kuluu paitsi hystereesi-ilmiöstä eli renkaan sisäisestä kitkasta johtuviin häviöihin myös jonkin verran aerodynaamisen vastuksen voittamiseen, kitkahäviöihin renkaan ja tien välissä (adheesio) sekä renkaan mahdollisesta pyörimisestä vanteella johtuviin energiahäviöihin. Aerodynaaminen

vastus sekä renkaan luistaminen tiekosketuksessa tai renkaan pyörimisestä vanteella johtuvat energiahäviöt voidaan kuitenkin olettaa normaalissa ajossa hyvin pieniksi. /3; 6; 10/

5.1 Massa

Eräs merkittävä tekijä vierintävastuksen kannalta on rengas-vanneyhdistelmän massa. Yleisesti ottaen renkaan massan kasvaessa myös vierintävastus kasvaa. /2; 8/

5.2 Ajoalusta

Suurena vierintävastukseen vaikuttavana tekijänä voidaan pitää myös ajoalustaa ja sen painumaa sekä epätasaisuutta. Mitä tasaisempi ajoalusta, sitä pienempi on myös vierintävastus. Toisin sanoen teiden kunnolla on hyvin suuri merkitys myös polttoaineen kulutuksessa. /3/

5.3 Vanne

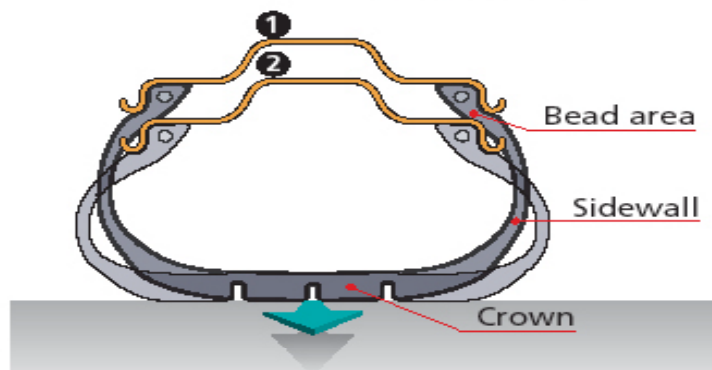
Standardivannetta leveämmällä vanteella on aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan pienentävä vaikutus renkaan vierintävastukseen. Samoin vanteen massalla on suora yhteys vierintävastukseen, eli mitä kevyempi vanne, sitä pienempi on vierintävastus. Vanneleveyden kasvatus vierintävastuksen pienentämiseksi ei kuitenkaan ole suotavaa, koska ylileveään vanteeseen siirryttäessä renkaan muut ominaisuudet heikkenevät. /14/

5.4 Täyttöpaine

Suosittelua täyttöpainetta suuremmalla täyttöpaineella on vierintävastusta pienentävä vaikutus samoin kuin vajaa täyttöpaine kasvattaa vierintävastusta. /2/

Kuvassa 5 (kuva 5) on esitetty renkaan poikkileikkaukseen aiheutunut muodonmuutos tiekosketuksessa renkaan normipaineella (1) sekä vajaapaineisena (2). Samanlainen muodonmuutos, sekä vierintävastuksen kasvu saadaan aikaan myös pystysuoraa kuormitusta (loadia) lisäämällä.

Renkaille voidaan rengasvalmistajan taholta määritellä jonkin verran standardipaineesta poikkeava, suositeltava täyttöpaine. Täyttöpaineen nostoa suosituspaineesta ei kuitenkaan vierintävastuksen pienentämiseksi suositella, koska sen on havaittu vaikuttavan renkaan muihin ominaisuuksiin niitä heikentävällä tavalla. Täyttöpaineen radikaalista nostosta kärsivät erityisesti ajomukavuus sekä renkaan kulumismuoto. /14/



Kuva 5 Normipaineisen sekä vajaapaineisen renkaan poikkileikkaukset /15/

5.5 Muotovirheet

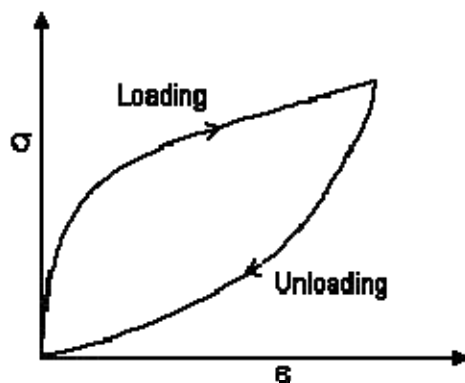
Myös renkaan muotovirheet aiheuttavat vierintävastusta. Esimerkiksi 1 mm säteittäisheitto edustaa saman suuruista vastusta kuin aiheutuisi n. 20 kPa:n vajaapaineesta. /3/

5.6 Hystereesi-ilmiö

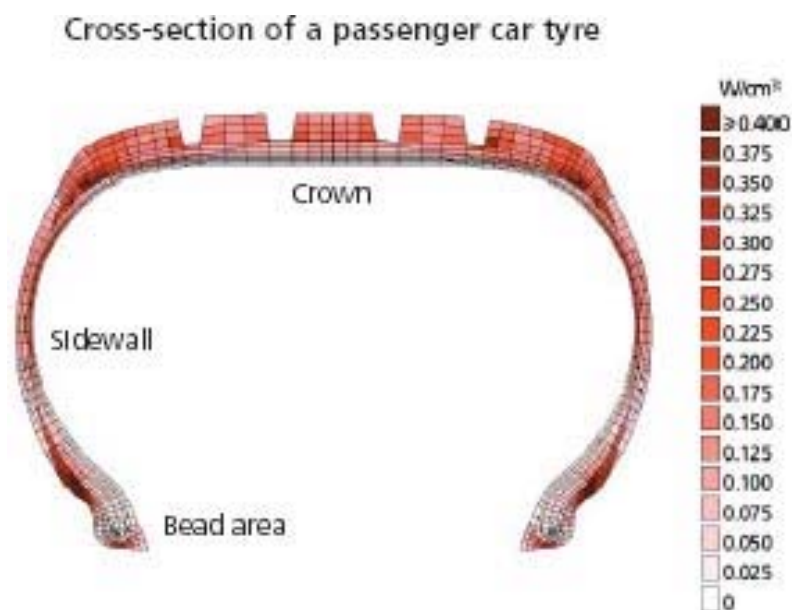
Kumilla on sekä kimmoisia että plastisia ominaisuuksia. Tästä syystä renkaan sisäinen kitka hidastaa kuormitustilanteessa renkaan paluujoustoa sallien

muodonmuutostyön vain osaksi palautua liike-energiaksi. Renkas ei palaa takaisin muotoonsa samaa jännitys-venymäkäyrää pitkin (kuvaaja 2). Tästä syystä vaimennustyö, joka renkaaseen jää eli jännitys-venymäkäyrien väliin jäävä alue, aiheuttaa renkaan lämpenemistä ja osaltaan vierintävastuksen. /2; 10/

Kuvaaja 2 Hystereesi-ilmiöstä aiheutuva jännitys-venymäkäyrä /18/



Erotusta, joka kuvaajassa 2 (kuvaaja 2) jännitysvenymäkäyrien väliin jää kutsutaan hystereesihäviöksi ja kyseistä ilmiötä kokonaisuudessaan hystereesi-ilmiöksi eli sisäiseksi lämmönmuodostukseksi. Energian muuttumista lämmöksi kuormitetun renkaan poikkileikkauksessa on esitetty kuvassa 6 (Kuva 6.). /10; 6/



Kuva 6 Energian muuntuminen lämmöksi renkaan poikkileikkauksessa /10/

5.7 Pintakuviointi

Pintakuviointilla on hyvin suuri merkitys renkaan vierintävastukseen. Peruslähtökohtana voidaan pitää sitä, että mitä tiheämpi pintakuviointi on, sitä pienempi on vierintävastus tai vastaavasti pienemmillä kuviopaloilla saadaan aikaan pienempi vierintävastus. Erityisesti talvirenkaissa käytetty lamellointi pienentää vierintävastusta. Tämä johtuu siitä, että lamelloitu kulutuspinna ikään kuin kävelee tiekosketuskohdassaan. Hyvänä esimerkkinä Nokian Hakkapeliitta RSi kitkarengas (kuvat 7 ja 8), jonka vierintävastuskerroin on luokkaa 0,8. /2; 3; 5/



Kuva 7 Nokian Hakkapeliitta RSi /9/



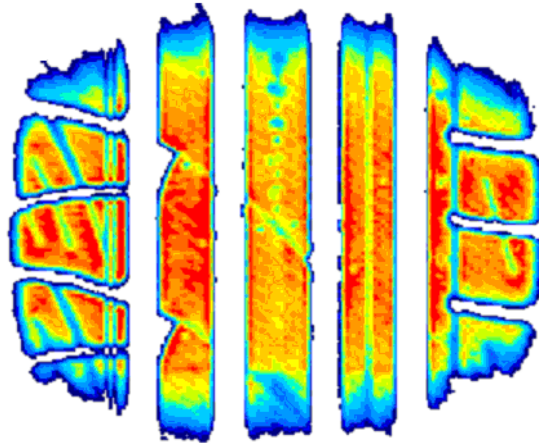
Kuva 8 RSi:n pintakuviointi /9/

5.8 Renkaan kulutuspinnan jännitykset tiekosketuksessa

Renkaan kulutuspinnaan syntyy jännityksiä tiekosketuskohdassa. Nämä jännitykset aiheuttavat renkaan vierissä venymiä kohta- ja jättökohdassa sekä puristusta tiekosketuskohdan keskiosassa. Näistä jännityksistä aiheutuu vierintävastusta sekä kulumista renkaan pintapalan pyyhkäistessä kosketuksen jättövaiheessa tienpintaa. Poikittainen uritus, erityisesti renkaan olkapää alueella merkitsee siis periaatteessa aina kulutuspinnan hammastumista ja joissain määrin myös vierintävastuksen

kasvua. Vastaavasti olkapääalueelle sijoitetut kehäsuuntaiset urat pienentävät vierintävastusta. /3/

Kuvassa 9 on esitetty A227:n foot print (kuva 9). Kuvassa punaisella näkyvät alueet ovat foot printissä tiekosketuksen aikana esiintyviä jännityshuippuja.



Kuva 9 Foot print 205/55R16 A227 /11/

Renkaan käsittelyominaisuuksien kannalta olkapääalueen ainoastaan kehän suuntainen uritus ei ole hyvä ratkaisu, koska käsittelyominaisuuksien kannalta paras olkapääkuviointi on jäykkä, palkkimainen ja poikittaisurin varustettu. Tämän vuoksi pintamalli on aina jonkinlainen kompromissi ominaisuusvaatimuksista. Muita ominaisvaatimuksia vierintävastuksen sekä käsittelyominaisuuksien lisäksi ovat mm. vesiliirto-ominaisuudet, märkäpito ja kulutuskestävyys. /3/

5.9 Renkaan sivupinta

Renkaan vierintävastus on yleisesti yhdistetty sivupinnan taipumiseen sekä kontaktipinnan kokoon (foot print). Esimerkiksi jos saman koon renkaissa on täsmälleen samat rengaspaineet, mutta toisessa on vähemmän muotoaan muuttava sivupinta, vähemmän muotoaan muuttavalla renkaalla on sivupintansa ansiosta pienempi vierintävastus. /2; 3; 14/

Kumin hystereesiominaisuuksista johtuen renkaan sivupinta tulisi suunnitella mahdollisimman ohueksi haettaessa alhaista vierintävastusta. /3/

5.10 Poikkileikkaussuhde

Vierintävastusta pienentävä vaikutus on myös, ainakin teoriassa, poikkileikkaussuhteen pienentämisellä. Poikkileikkaussuhdetta pienentämällä vaikutetaan kosketuspinnan pituuteen tiekosketuksessa ja saavutetaan pienempi kehäsuuntainen muodonmuutos eli toisin sanoen lyhempi kosketuspinta. /6/

Toisaalta renkaat, joilla on matala poikkileikkaussuhde, ovat yleensä korkeiden nopeusluokkien renkaita, joissa materiaalivahvuudet ovat suhteellisen suuria. Tästä syystä matalaprofiiliset renkaat eivät ole avain pieneen vierintävastukseen. /2; 3/

5.11 Auton kuljettaja

Auton kuljettaja voi omalla ajokäytöksellään vaikuttaa hyvin paljon oman autonsa polttoaineen kulutukseen. Vierintävastuksen kannalta on tärkeää tarkkailla rengaspaineita säännöllisesti. Liian alhainen rengaspaine nostaa vierintävastusta huomasti. Myös laahaavat jarrut, huonokuntoiset laakerit sekä vialliset pyöränkulmat aiheuttavat polttoaineen kulutuksen kasvua. /13; 14/

6 VIERINTÄVASTUKSEN MITTAAMINEN

Vierintävastuksen mittaaminen henkilöauton renkaille suoritetaan tavallisesti laboratorio-olosuhteissa koestuskoneella. Koestuskoneita on olemassa kahdenlaisia, joko suurihalkaisijalla yli 1,5 m rummulla varustettuja tai kahdella pienemmällä rummulla varustettuja. Pienemmällä rummuilla varustetuissa

koestuskoneissa rengasta kuormitetaan tasopintana rumpujen välissä olevaa teräshihnaa vasten, kun taas halkaisijaltaan suurella rummulla rengasta kuormitetaan suoraan pyörivää rumpua vasten. /14/

Muita menetelmiä vierintävastuksen määrittämiseksi ovat erilaiset ajoneuvot sekä trailerit, jotka on varustettu tarkoitukseen soveltuvilla mittalaitteilla ja antureilla. Vierintävastusmittauksia voidaan tehdä myös vertailemalla auton rullausmatkoja niin sanotuilla mäkikokeilla tai vertailemalla suoraan polttoaineen kulutusta. /2; 14/

6.1 Standardi ISO 18164:2005

Standardin ISO 18164:2005 mukainen henkilöauton renkaan vierintävastuksen mittaus tapahtuu koestuskoneella rumpua vasten kuormitetun renkaan pyörittämisen aiheuttamaa kehäsuuntaista voimaa, hidastuvuutta tai pyörittämiseen tarvittavaa tehoa tai vääntömomenttia vertaamalla kuormittamattoman renkaan vastaaviin arvoihin. Näiden mitattujen arvojen avulla voidaan laskea vierimistä vastustava voima F_r . Vastustavan voiman perusteella voidaan laskea vierintävastuskerroin C_r kaavalla (1)

$$C_r = \frac{F_r}{L_m} \quad (1)$$

jossa F_r on vierintävastus newtoneina ja L_m on testissä käytetty load newtoneina. Vastaukseksi saatu vierintävastuskerroin on siis yksikötön luku, samaan tapaan kuin esim. kitkakerroin. /4/

Standardi määrittelee testirummun dimensiot ja mittauksessa käytettävän kuorman lisäksi mm. käytettävän vanteen, rengaspaineen, lämpötilan sekä mahdolliset nopeusportaat ja ajanjaksot, joilla mittaus tapahtuu. Standardista löytyvät myös kaikki tarvittavat kaavat korjauskertoimien vierintävastuksien määrittämiseksi. /4/

6.2 Koerenkaille tehdyt mittaukset

Työssä käytettyjen renkaiden vierintävastuksen mittauksen suoritti TÜV standardin ISO 18164:2005 mukaisesti. Mittaus suoritettiin koestuskoneella, joka oli rakenteeltaan samankaltainen kuin Nokian Renkaiden oma koestuskone (kuva 10). Mittauksissa käytetyn koestuskoneen rumpuna oli halkaisijaltaan kaksimetrisen rumpu.



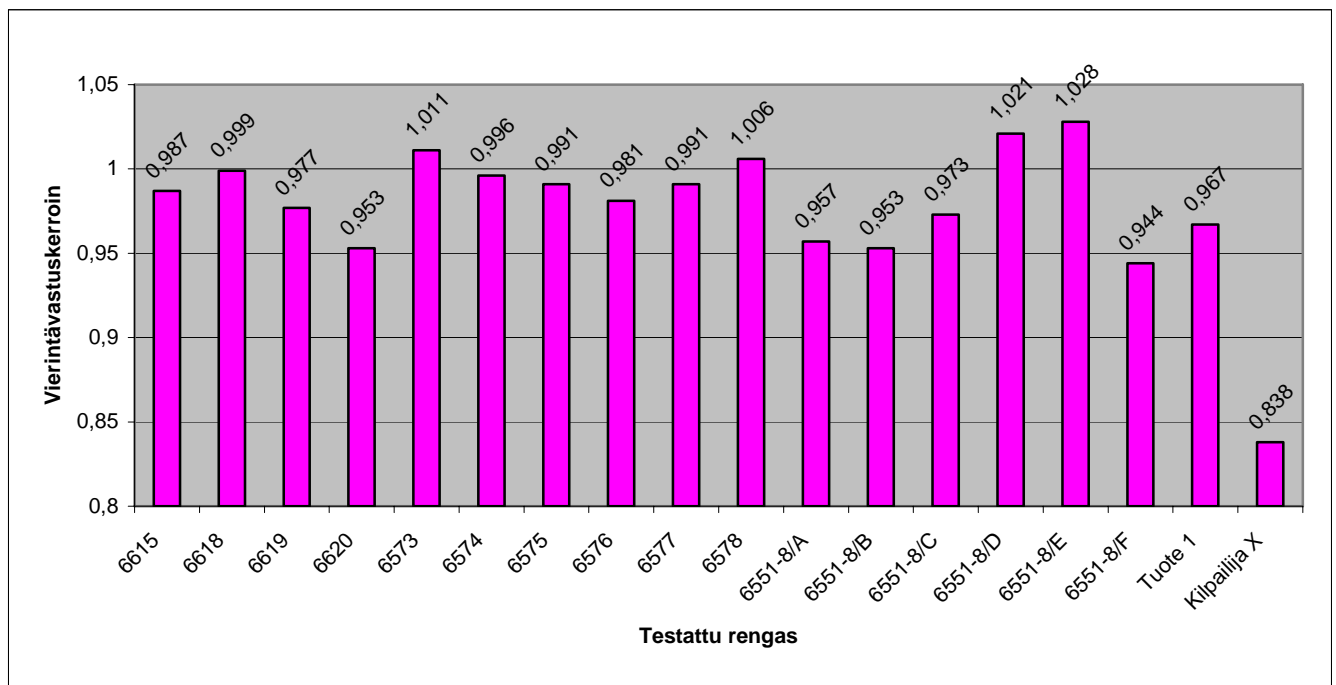
Kuva 10 Renkaankoestuskone (ZF Passau GmbH)

Mittaukset suoritettiin ns. single speed -mittauksina, joissa nopeus pidetään koko mittaustapahtuman ajan vakiona, tässä tapauksessa 80 km/h. Mitattavaa rengasta kuormitettiin 80 % maksimi-loadilla, joka tässä tapauksessa tarkoitti 494 kg:n kuormitusta. Paineena käytettiin standardin mukaista 250 kPa:ia. Mittaustapahtuma sisälsi itse koestuskoneella tehdyn mittauksen lisäksi myös renkaiden punnitsemisen sekä ennen testausta suoritettua 30 minuutin lämmitysajon.

7 TULOKSET

Kaikkiaan TÜV:lle lähetettiin testattavaksi 20 koon 205/55R16 kesärengasta, joista vertailun vuoksi yksi oli rengasliikkeistä ostettavissa oleva Nokian Renkaiden nykyinen H-nopeusluokan kesärengas (Tuote 1) ja yksi kilpailijan valmistama saman nopeusluokan rengas (Kilpailija X), jota markkinoidaan erityisen matalavierintävastuksisena renkaana. Piirustukset tutkimustyön perusteella suunnitelluista pintamallivariaatioista on esitetty liitteissä 1 ja 2 (liite 1 ja 2). Tiedot tehdyistä koerenkaista rakennemuutoksineen, massoineen ja vierintävastuksien osalta sekä tiedot rengasliikkeestä ostettavissa olevista renkaista on esitetty liitteessä 3 (liite 3). Mittauspöytäkirjat TÜV:n suorittamista renkaiden vierintävastusmittauksista ovat liitteessä 4 (liite 4). Suoritettujen mittausten tulokset on vierintävastuskertoimien osalta koottu kuvaajaan 3 (kuvaaja 3).

Kuvaaja 3 Mitatut vierintävastuskertoimet



7.1 Pintamallivariaatiot

Pintamallin vaikutusta vierintävastukseen lähdettiin tutkimaan A227-pintamalliin (kuva 11) tehtävillä muutoksilla (liitteet 1 ja 2), jotka eri lähteistä koottujen pohjatietojen perusteella mahdollisesti pienentäisivät vierintävastusta. Suunnittelutyön seurauksena toteutettiin koerenkaina yhteensä kuusi leikkaamalla tehtyä pintamallivariaatiota, jotka on esitelty kuvissa 12 - 18 (kuvat 12 - 18). Referenssinä käytetyn koerenkaan 6573 vierintävastuskertoimen oli 1,01.



Kuva 11 A227-pintamalli

Koerenkaassa 6551-8/A (kuva 12) pyrittiin pienempään vierintävastukseen keskialueen lamelloinnilla. Lamelloinnilla pyrittiin luomaan pintamalli, joka ”kävelee” tiekosketuskohdassaan samaan tapaan kuin voimakkaasti lamelloitu talvirenkaan pintamalli. Vierintävastuskertoimeksi koerenkaalle 6551-8/A saatiin 0,957.



Kuva 12 Koerengas 6115-8/A

Koerengaassa 6551-8/B (kuva 13) vierintävastuksen pienentämiseen pyrittiin olkapääalueen pitkittäisurilla. Pitkittäisurituksen tarkoituksena oli pienentää vierintävastusta aiheuttavia jännityksiä. Vierintävastuskertoimeksi koerengalle 6551-8/B mitattiin 0,953.



Kuva 13 Koerengas 6115-8/B

Koerenkaalla 6115-8/C (kuva 14) pyrittiin selvittämään lamellilla toisistaan erotettujen olkapääpalojen vaikutus vierintävastukseen. Koerenkaalle 6115-8/C mitattu vierintävastuskerroin oli 0,973.



Kuva 14 Koerengas 6551-8/C

Koerenkaalla 6551-8/D (kuva 15) haluttiin selvittää täydellä uran leveydellä toisistaan erotettujen olkapääpalojen vaikutus. Vaikutus oli vierintävastusta kasvattava. Koerenkaan 6551-8/D vierintävastuskertoimeksi mitattiin 1.021. Kummankin koerenkaan, 6551-8/C ja 6551-8/D, muutokset toteutettiin ainoastaan outside-olkapäälle. Koerenkaassa 6551-8/E (kuva 16) poikittaisurilla toisistaan erotetut olkapääpalat toteutettiin molemmilla olkapäillä, ja mitattu vierintävastuskerroin oli tässä tapauksessa 1,028.



Kuva 15 Koerengas 6551-8/D



Kuva 16 Koerengas 6551-8/E

Koerenkaassa 6551-8/F (kuva 17) yhdistettiin renkaisiin 6115-8/A, 6115-8/B ja 6115-8/E tehdyt muutokset. Tällä renkaalla haluttiin tutkia suunniteltujen pintamallivariaatioiden yhteisvaikutusta vierintävastukseen. Koerenkaan 6551-8/F

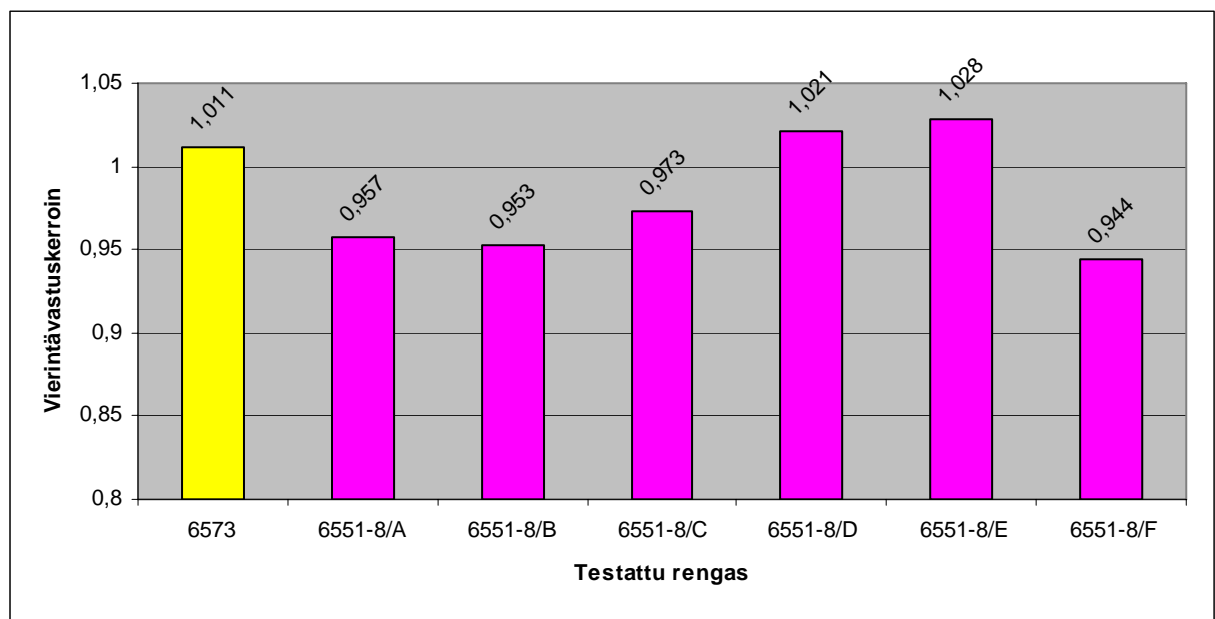
vierintävastuskertoimeksi mitattiin 0,944, joka oli pintamallivariaatioilla pienin saavutettu vierintävastuskerroin.



Kuva 17 Koerengas 6551-8/F

Pintamallivariaatioille suoritetuista vierintävastusmittauksista saadut vierintävastuskertoimet on koottu kuvaajaan 4 (kuvaaja 4). Kuvaajassa keltaisen värinen palkki kuvaa referenssirengasta 6573.

Kuvaaja 4 Pintamallivariaatioiden vierintävastuskertoimet



7.2 Rakennemuutokset

Rakennemuutoksia koerengkaisiin suunniteltiin kahdeksan. Koerengaskohtaiset komponenttimuutoksilla aikaansaadut rakennemuutokset on esitetty taulukossa 1 (taulukko 1). Ne toteutettiin koerengkaissa 6618, 6619, 6620, 6573, 6575, 6576, 6577 ja 6578. Koerengkaat 6615 ja 6573 olivat mittaustulosten tulokinnassa apuna käytettäviä referenssirenkaita.

Taulukko 1 Koerengkaisiin toteutetut rakennemuutokset

Koerengas	Rakennemuutokset
6615	Ei rakennemuutoksia, referenssi
6618	Matala apex, apexin korkeus 18 mm
6619	Innerin ohennus, butyyli 1,2 mm, Ei insulationia
6620	Pinnan ohennus -2 mm
6573	Ei rakennemuutoksia, referenssi
6574	Mono ply -rakenne
6575	Kavennettu koordi, koordin leveys 425 mm
6576	JLB C061, käärintä -20 %
6577	JLB C071, käärintä -20 %
6578	JLB C061, käärintä 40/30/20/-20 %

Toteutetuilla rakennemuutoksilla pyrittiin tutkimaan erilaisten komponenttien vaikutusta vierintävastukseen. Tutkitut komponentit olivat apex, inneri, pinta, koordi sekä JLB.

Apexin korkeutta madallettiin koerengkaassa 6618 matalimpaan mahdolliseen, joka tässä tapauksessa tarkoitti 18 mm kolmioliuskaa. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska sen arvioitiin pohjatietojen perusteella olevan optimaalisin ratkaisu vierintävastuksen kannalta. Apexia madaltamalla vierintävastuksen kertoimeksi saatiin 0,999.

Innerin ohentamisella koerengkaassa 9918 pyrittiin pienentämään ensisijaisesti renkaan massaa, jolla tunnetusti on vaikutus vierintävastukseen. Renkaan jäykkyysominaisuuksiin ei innerin vahvuudella ole suurta merkitystä. Innerin ohennuksella vierintävastukertoimeksi saatiin 0,977.

Pinnan ohentamisella pyrittiin myös renkaan massan pienentämiseen, kuitenkin niin että urasyvyys säilyy lähes entisellään. Pinnan ohentamisella saavutettu vierintävastuskerroin oli 0,953 ja samalla pienin rakennemuutoksella saavutettu kerroin.

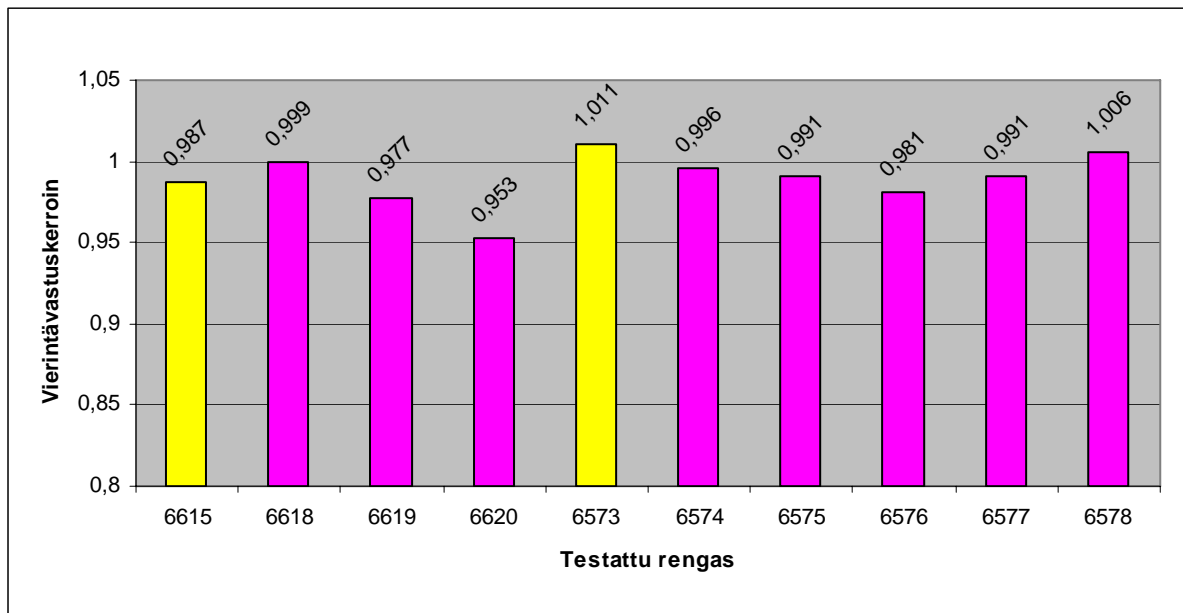
Mono ply -rakenteella koerenkaassa 6574 pyrittiin ohentamaan renkaan rakennetta teräsvöiden reuna-alueilta, koska tämän arveltiin pienentävän vierintävastusta aiheuttavia olkapääalueen jännityksiä. Vierintävastuskertoimeksi koerenkaasta 6574 mitattiin 0,996.

Kavennetulla koordilla koerenkaassa 6575 haettiin vierintävastuksen pienennystä paitsi olkapääalueen rakennevahvuutta ohentamalla, myös renkaan sivujen kudoskerroksia ohentamalla. Vierintävastuskertoimeksi koerenkaasta 6575 mitattiin 0,991.

Koerenkaat 6576, 6577 ja 6578 sisälsivät JLB-muutoksia. Koerengas 6576 toteutettiin C061 JLB:llä ja -20 % käärintällä, ja vierintävastuskertoimeksi saatiin 0,981. Koerenkaassa 6577 oli käytössä sama käärintä, mutta JLB:nä käytettiin C071. Koerenkaalle 6577 mitattu vierintävastuskerroin oli 0,991. Koerengas 6578 toteutettiin C061 JLB:llä, ja käärintänä oli ns. ramppikäärintä 40/30/20/-20 %. Vierintävastuskertoimeksi koerenkaasta 6578 mitattiin 1,006.

Kaikkien rakennemuutoksia sisältäneiden koerenkaiden vierintävastuskertoimet sekä tuloksien tarkastelussa käytettävien referenssirenkaiden vierintävastuskertoimet on koottu kuvaajaan 5 (kuvaaja 5). Kuvaajassa keltaisen väriset palkit kuvaavat referenssirenkaita 6615 ja 6573.

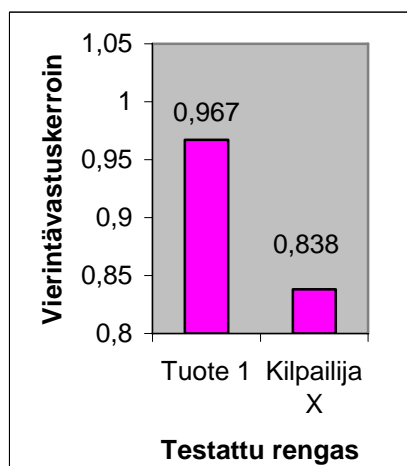
Kuvaaja 5 Rakennemuutoksilla aikaan saadut vierintävastuskertoimet



7.3 Markkinoilla olevat renkaat

Vierintävastusmittaukset tehtiin myös kahdelle rengasliikkeistä ostettavissa oleville koon 205/55R16 H-nopeusluokan kesärenkaalle Tuote 1 ja Kilpailija X. Näiden kahden renkaan vierintävastuskertoimet olivat seuraavat Tuote 1 0,967 ja Kilpailija X 0,838. Kyseisten renkaiden vierintävastuskertoimet on esitetty kuvaajassa 6 (kuvaaja 6).

Kuvaaja 6 Tuote 1:n ja Kilpailija X:n vierintävastuskertoimet

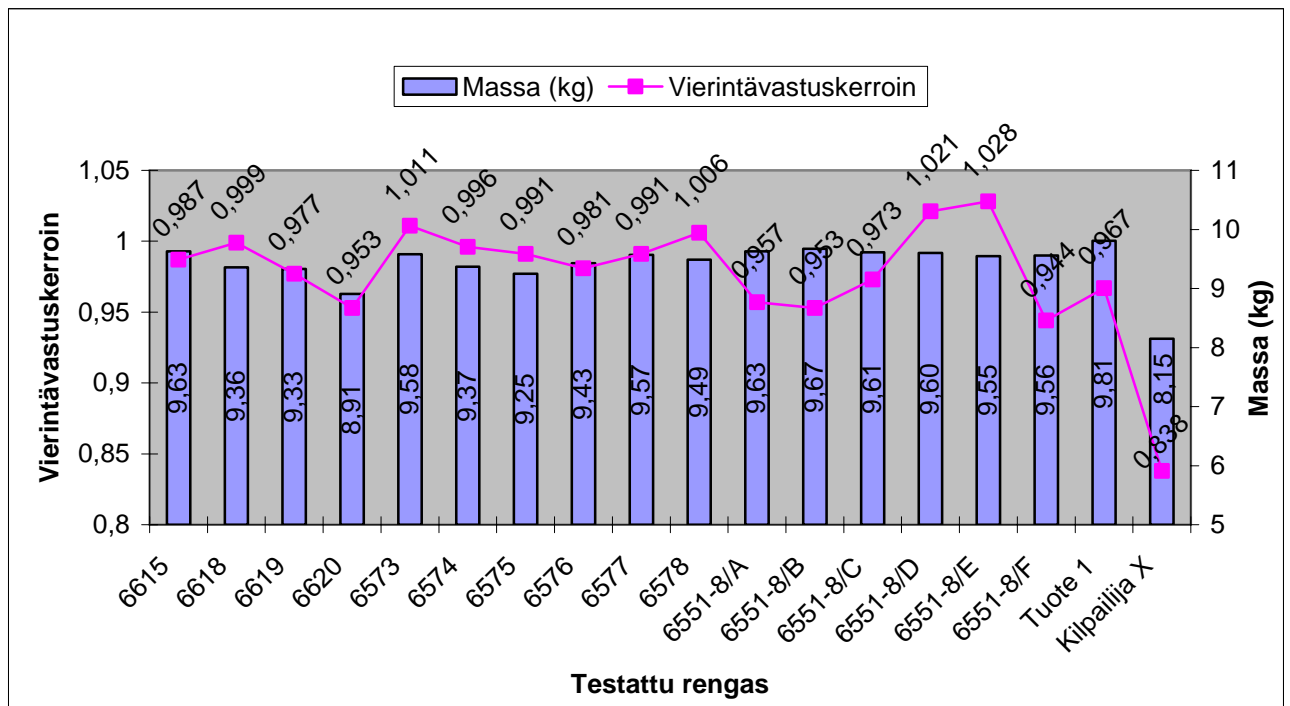


8 TULOSTEN TARKASTELU

Kaikkiaan renkaille tehdyt vierintävastusmittaukset onnistuivat hyvin, koska mittausten tuloksena saadut vierintävastuskertoimet ovat samansuuntaisia kuin eri lähteistä kootut lähtötiedot antoivat odottaa. Saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina ja erittäin käyttökelpoisina suunniteltaessa kevyesti vieriviä renkaita.

Renkaan massan korrelaatio vierintävastukseen on havaittavissa mittaustuloksista erityisesti JLB-muutoksia sisältäneistä koerengkaista. Mittaustulosten perusteella on kuitenkin todettava, että renkaan massan pienennys ei ole suoraan verrannollinen vierintävastuksen pienentymiseen, vaan massan sijoittelulla renkaassa on suurempi merkitys. Testattujen renkaiden vierintävastuskertoimet ja massat on esitetty kuvaajassa 7 (kuvaaja 7).

Kuvaaja 7 Vierintävastuskertoimet ja massat



8.1 Pintamallin vaikutus

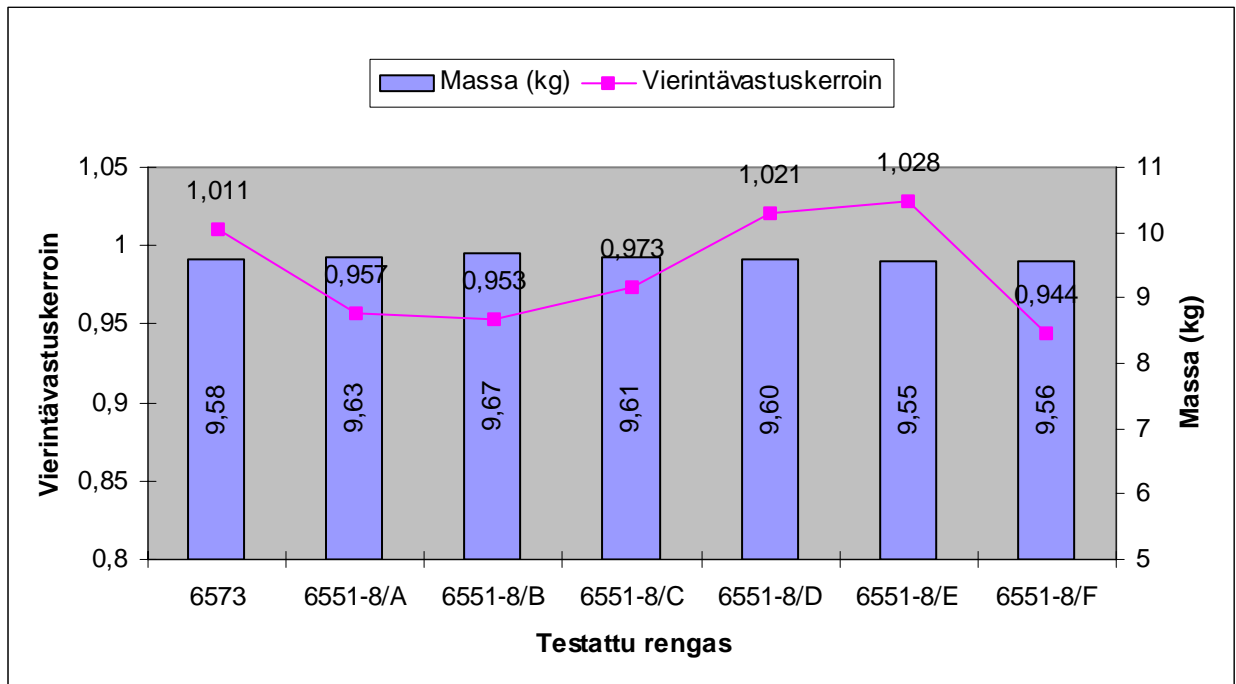
Pintamalliin tehdyt muutokset toteutettiin leikkaamalla valmiiseen renkaaseen. Näin aikaansaatu kuviointi ei ominaisuuksiltaan täysin vastaa muotissa paistamalla aikaansaattua kuviointia, johtuen vulkanoinnissa syntyneiden polymeeriketjujen katkeamisesta. Tässä tapauksessa leikkaamalla saatuja tuloksia voidaan kuitenkin pitää vertailukelpoisina, variaatioiden välisiä vertailuja tehtäessä.

Pintamallilla on selvä vaikutus vierintävastukseen. Tämän osoittavat pintamallivariaatiot 6551-8/A, 6551-8/B, 6551-8/C, 6551-8/D, 6551-8/E ja 6551-8/F, joista 6551-8/A, 6551-8/B ja 6551-8/C osoittautuivat parhaiksi vierintävastusta alentaviksi muutoksiksi lähtökohtana olleeseen A227 pintamalliin verrattuna. Pintamallivariaatiolla 6551-8/A saavutettiin 5 %, 6551-8/B:llä 6 % ja 6551-8/C:llä 4 % pienennys vierintävastuskertoimeen. Muutokset koerenkaissa 6551-8/D ja 6551-8/E puolestaan aiheuttivat vierintävastuskertoimen kasvua noin prosentin verran.

Kahden eniten vierintävastusta pienentäneen piirteen, keskialueen lamelloinnin sekä olkapääalueiden pitkittäisurien, yhteisvaikutus on selvästi suurempi kuin vierintävastusta minimaalisesti kasvattavien, toisistaan erotettujen olkapääkuviopalojen vaikutus renkaissa 6551-8/C ja 6551-8/D. Yhteenlaskettu vaikutus käy ilmi variaation 6551-8/F vierintävastuskertoimesta, joka on noin 7 % pienempi referenssirenkaaseen 6573 verrattuna.

Pintamallista eri variaatioissa leikatun kumimäärän vaikutusta renkaan kokonaisuudessaan ja sitä kautta massasta aiheutuvaan vierintävastukseen voidaan pitää tässä tapauksessa olemattomana, koska painavimman ja kevyimmän pintamallivariaation ero oli vain 0,140 kg. Tämän suuruinen renkaan massojen vaihtelu on normaalia myös tuotantorenkaissa. Kuvaajassa 8 (kuvaaja 8) on esitetty pintamallivariaatioiden vierintävastus- sekä massavertailu. Tarkemmat tiedot pintamallivariaatioista löytyvät piirustuksista liitteestä 2 (liite 2).

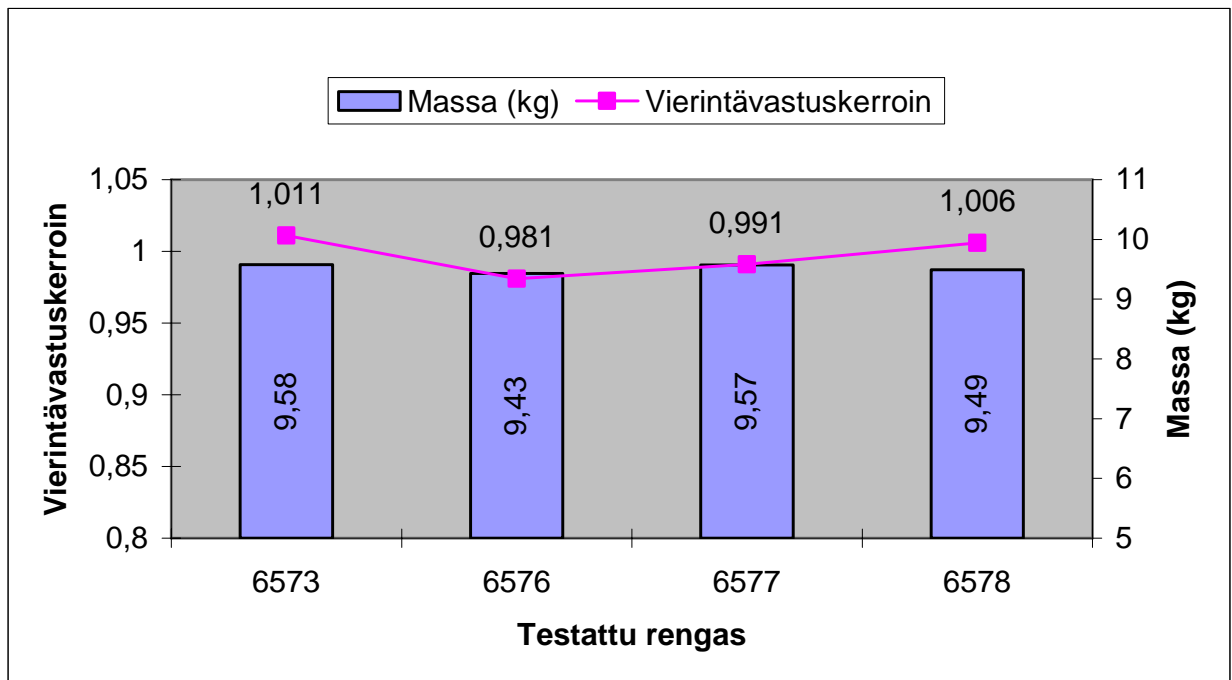
Kuvaaja 8 Pintamallivariaatioiden vierintävastukset ja massat



8.2 JLB-käärinnän vaikutus

JLB-käärinnän vaikutus vierintävastukseen on hyvin pieni. Vierintävastuksien erot koerenkaiden välillä johtuvat käärinnän limityksestä. Harva -20 % käärintä osoittautui parhaaksi molempien testissä käytettyjen JLB-laatujuen kohdalla. Tämä on seurausta siitä, että JLB:n määrällä renkaassa on suora vaikutus renkaan massaan. Erilaisia JLB-käärintöjä sisältäneiden koerenkaiden vierintävastukset sekä massat on esitelty kuvaajassa 9 (kuvaaja 9). Eniten massaa saatiin pienennettyä koerenskaassa 6576. Referenssirenkaaseen 6573 verrattuna massan pienennys oli 0,150 kg. Pienin JLB:llä aikaansaatua vierintävastuskerroin oli myös koerenskaassa 6576, joka oli 3 % pienempi referenssirenkaaseen 6573 verrattuna.

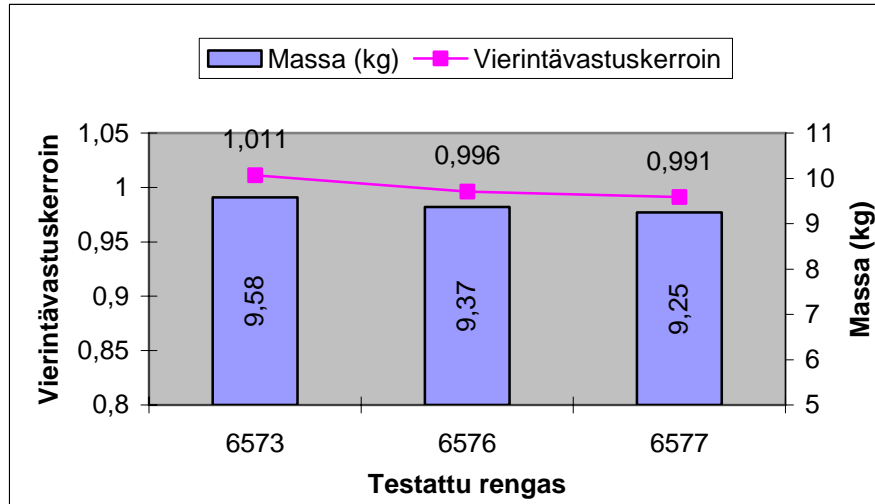
Kuvaaja 9 JLB:n vaikutus renkaan vierintävastukseen ja massaan



8.3 Koordin vaikutus

Mono ply -rakenne osoittautui vierintävastusta pienentäväksi rakenneratkaisuksi koerenkaassa 6574. Vierintävastus pienenee jonkin verran koordin leveyttä edelleen kavennettaessa ja todella matalaan koordin käänteeseen siirryttäessä koerenkaassa 6575. Näiden toimenpiteiden vaikutus renkaan massaan on kohtalaisen suuri. Koerenkaassa 6575 käytetyllä 425 mm levyisellä koordilla saavutettiin 0,330 kg massan pienennys referenssirenkaaseen verrattuna. Eri koordin leveyksillä valmistettujen koerenkaiden vierintävastukset sekä massat on esitelty kuvaajassa 10 (kuvaaja 10). Koordia kaventamalla saavutettu vierintävastuksen pienennys on referenssirenkaaseen verrattuna 2 %.

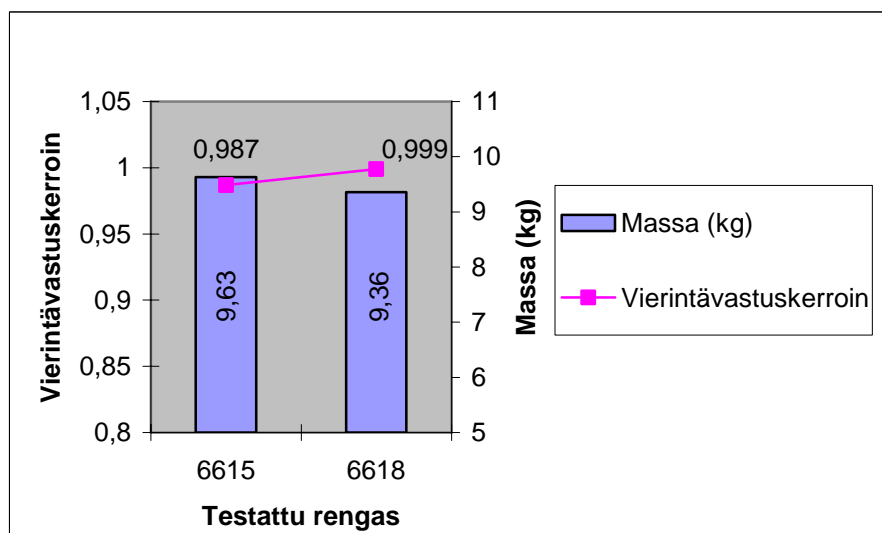
Kuvaaja 10 Koordin leveyden vaikutus vierintävastukseen ja massaan



8.4 Apexin vaikutus

Matalamman apexin vaikutus koerenkaassa 6618 oli ennakko-odotuksista poikkeava, koska se kasvatti minimaalisesti vierintävastusta (kuvaaja 11). Referenssirenkaaseen 6615 verrattuna vierintävastus kasvoi noin prosentin verran, vaikka renkaan massa pieneni 0,270 kg. Tästä voidaan päätellä, että apexin korkeuden vaikutus vierintävastukseen on olematon. Renkaan massaan apexilla on kuitenkin komponentin koko huomioon ottaen kohtalaisen suuri vaikutus.

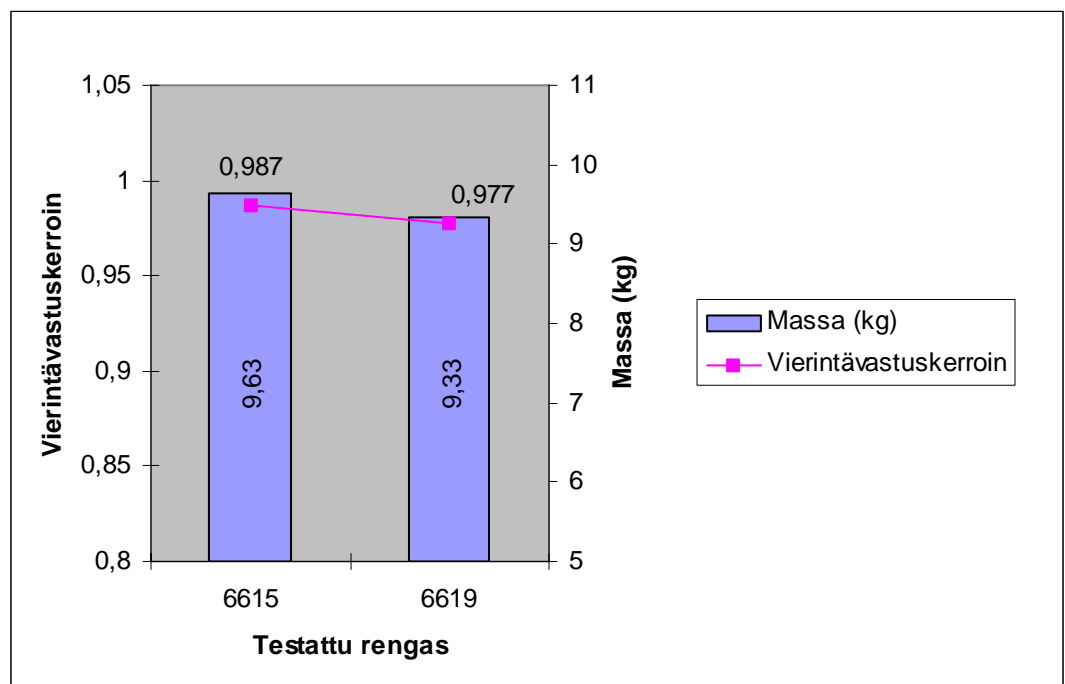
Kuvaaja 11 Apexin vaikutus renkaan vierintävastuskertoimeen ja massaan



8.5 Innerin vaikutus

Inneriä ohentamalla koerenkaassa 6619 saavutettiin 0,300 kg massan pienennys referenssirenkaaseen 6615 verrattuna. Innerin ohennuksella oli kuitenkin vain prosentin pienentävä vaikutus vierintävastuskertoimeen. Innerin osuus vierintävastusta aiheuttavana komponenttina on näin ollen hyvin pieni. Mittaustulosten perusteella ohut inneri on kuitenkin parempi vaihtoehto vierintävastuksen kannalta kuin paksu. Ohennetun innerin vaikutus vierintävastukseen ja massaan on esitetty kuvaajassa 12 (kuvaaja 12).

Kuvaaja 12 Ohennetun innerin vaikutus vierintävastukseen ja massaan

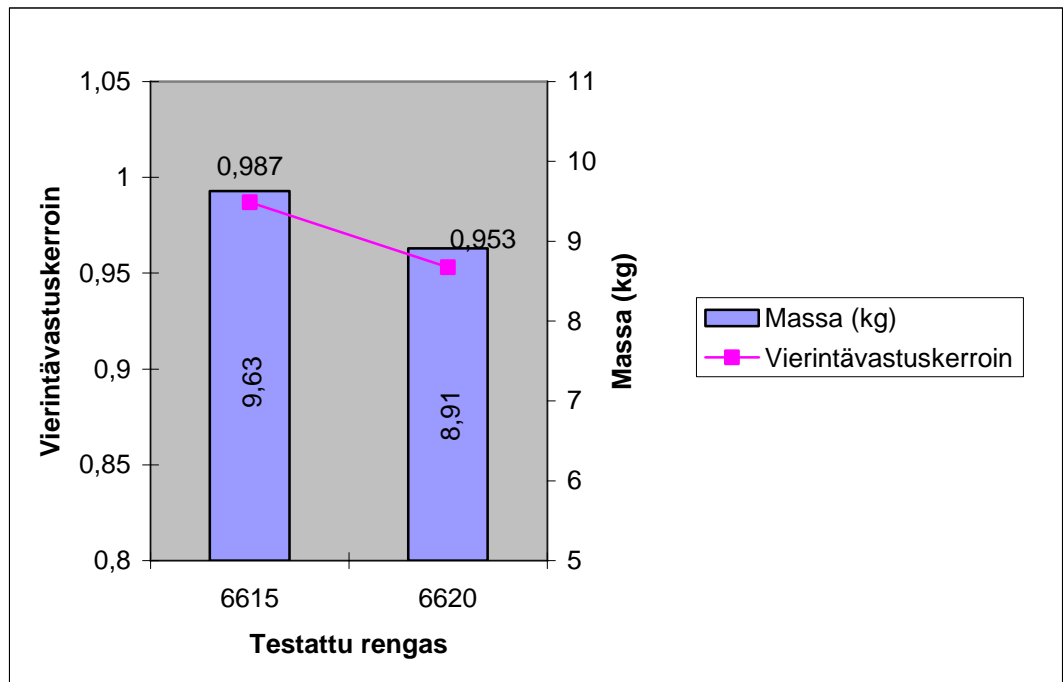


8.6 Pinnan vahvuuden vaikutus

Ohentamalla pintaa 2 mm saavutettiin koerenkaassa 6620 kaikista koerenkaista suurin massan pudotus. Referenssirenkaaseen 6615 verrattuna massa oli 0,720 kg pienempi. Vierintävastuskerrointa puolestaan saatiin pudotettua 3 % referenssirenkaaseen verrattuna. Tällä komponenttimuutoksella saavutettiin vierintävastusta pienentäneiden pintamallivariaatioiden jälkeen suurin

vierintävastuksen pienennys. Tulosten perusteella renkaan pinta komponenttina vaikuttaa tutkituista komponenteista eniten renkaan vierintävastukseen. Pinnan vahvuuden vaikutus vierintävastukseen ja massaan on esitetty kuvaajassa 13 (kuvaaja 13).

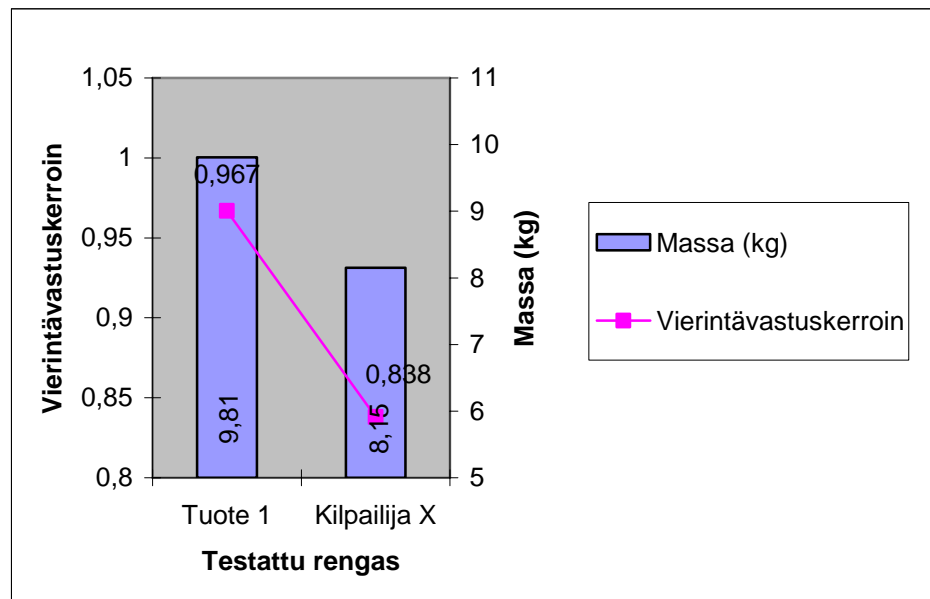
Kuvaaja 13 Pinnan vahvuuden vaikutus vierintävastukseen ja massaan



8.7 Markkinoilla olevat renkaat

Markkinoilla olevista renkaista Nokian Renkaiden Tuote 1 ja kilpailijan tuote Kilpailija X erosivat paljon vierintävastuksen osalta. Ero vierintävastuskertoimissa oli 13 % Kilpailija X:n eduksi. Kyseisten renkaiden massoissa oli myös kohtalaisen suuri 1,660 kg:n ero. Kyseisten renkaiden vierintävastuskertoimet ja massat on esitetty kuvaajassa 14 (kuvaaja 14).

Kuvaaja 14 Tuotte 1:n ja Kilpailija X:n vierintävastuskertoimet ja massat



8.8 Komponenttimuutosten teoreettinen yhteisvaikutus

Teoriassa yhdistettäessä kaikki vierintävastusta tuloksien mukaan pienentäneet komponenttimuutokset päästäisiin renkaan A227 vierintävastuskertoimessa 21,5 % pienempään lopputulokseen. Vierintävastuskertoin olisi tällöin noin 0,785 mittaauksissa referenssinä käytettyjen koerenkaiden keskiarvosta 0,999 laskettuna. Vastaavasti referenssinä käytettyjen koerenkaiden massojen keskiarvosta 9,605 kg laskettuna massa pienenesi samoilla muutoksilla 1,405 kg. Nämä luvut ovat kuitenkin vain teoreettisia, joten niihin on ilman jatkotutkimuksia suhtauduttava varauksella.

8.9 Jatkotutkimuskohteet

Vaikka suurin osa renkaan vierintävastukseen vaikuttavista komponenteista työn edetessä tutkittiin, jäi kuitenkin muutaman komponentin vaikutus mittausteknisistä syistä tutkimatta. Tällaisia komponentteja ovat teräsvyöt sekä sivupinta. Myös

tähänastisten vierintävastusta pienentävien muutosten yhteisvaikutus renkaassa olisi syytä tutkia laskemalla tehtyjen teoreettisten tulosten tueksi.

Teräsvöillä on todennäköisesti kohtalaisen suuri osuus renkaan vierintävastukseen vaikuttavista tekijöistä. Teräsvöiden massaa pienentämällä ja vastaavasti jäykkyyttä kasvattamalla saadaan oletettavasti pienennettyä vierintävastusta. Myös vyökulma vaikuttaa voimakkaasti renkaan jousto-ominaisuuksiin. Mitä pienempää vyökulmaa renkaassa käytetään, sitä jäykempi renkaasta tulee. Eli luultavasti pienempi vyökulma tarkoittaa myös pienempää vierintävastusta. Toisaalta ylijäykkä vyörakenne tekee renkaasta mukavuusominaisuuksiltaan huonon.

Nykyään yleisesti käytössä olevien kahden teräsvyön korvaaminen mahdollisesti yhdellä teräsvanteella tai verkkomaisella rakenteella pienentäisi tarvittavien kumikerrosten lukumäärää. Toisin sanoen renkaan massa pieneneisi. Samalla vyörakenteesta voitaisiin tehdä entistä jäykempi, minkä seurauksena vierintävastus luultavasti pieneneisi huomattavasti.

Eräs vierintävastusta pienentävä vaihtoehto voisi olla jonkin muun materiaalin kuin teräksen käyttö vyömateriaalina. Tällainen mahdollinen materiaali on esimerkiksi kevlar, koska se on lujuusominaisuuksiltaan teräksen luokkaa ja painoonsa nähden viisi kertaa lujimpia teräksiä vahvempaa. Kevlar on lisäksi hyvin lämpöä kestävä materiaali, sillä se kestää 400 °C lämmön sulamatta.

Myös sivupinnan paksuuden vaikutus vierintävastukseen jäi mittausteknisistä syistä johtuen tutkimatta. Ohut, vähemmän muotoaan muuttava sivupinta vaikuttaa niin eri lähteistä hankittujen tietojen kuin matalavierintävastuksisen Kilpailija X-renkaan rakenteen perusteella hyvältä ratkaisulta. Vierintävastusta pienentävä vaikutus voisi myös olla teräksen käytöllä jäykistämässä renkaan sivua.

Renkaan vierintävastukseen vaikuttavaa massaa saadaan pienennettyä ohentamalla inneriä. Ruiskutettavalla innerillä saavutettaisiin nykyistä ohuempi ilmaa läpäisemätön kalvo.

Myös kaapeleista syntyy jonkin verran massaa renkaaseen. Kevyemmillä kaapeleilla ei kuitenkaan voida kovinkaan paljoa vaikuttaa vierintävastukseen, sillä

niiden jäykkyydellä ole vaikutusta renkaan jousto-ominaisuuksiin tiekosketuksesta.

Vierintävastusta pienentävien komponenttimuutosten vaikutus renkaan käsittelyominaisuuksiin tulisi testata, koska matalavierintävastuksinen Kilpailija X häviää huomattavasti käsittelytesteissä Tuote 1:lle, jonka vierintävastus on nykyrenkaiden keskiluokkaa.

9 YHTEENVETO

Tutkintotyön tavoitteena oli tutkia 205/55R16-kesärenkaan eri komponenttien vaikutusta vierintävastukseen sekä niistä saatujen mittaustulosten perusteella mahdollistaa tulevaisuudessa entistä kevyemmin vierivien renkaiden suunnittelu. Tavoitteeseen päästiin ilman suurempia ongelmia, tosin osa alun perin suunnitelluista rakennemuutoksista täytyi jättää mittausteknisistä syistä jatkotutkimuksiin. TÜV:n suorittamista mittauksista saatuja tuloksia voidaan kuitenkin pitää luotettavina ja erittäin käyttökelpoisina suunniteltaessa kevyesti vieriviä renkaita. Koerenkaissa toteutettujen yksittäisten vierintävastusta pienentävien komponenttimuutosten yhteisvaikutuksena A227-renkaan vierintävastuskerroin ja massa saadaan pudotettua vähintään samalle tasolle Kilpailija X:n kanssa.

Komponenttien vaikutuksista vierintävastukseen saatiin tiivistettynä seuraavanlaisia tuloksia. Renkaan massalla on vaikutus vierintävastukseen. Tästä syystä myös käytetyn kumin määrällä on suora vaikutus. Ohentamalla renkaan sivuja sekä vähentämällä kudokset päästään mahdollisesti pienempään vierintävastukseen. Myös pienentämällä renkaan muodonmuutosta, toisin sanoen kumitusvahvuuksia ohentamalla tai jäykistämällä rakennetta, voidaan vähentää vierintävastusta. Kohtalaisen matalalla pintakuvioinnilla, keskialueen lamelloinnilla, olkapääalueen pitkittäisurituksella ja ohuella pinnan paksuudella on pienentävä vaikutus vierintävastukseen.

Tulevaisuus ja tällä hetkellä kehitteillä olevan renkaan energialuokituksen mahdollinen käyttöön otto näyttävät, millaiseen asemaan vierintävastus lopulta asettuu renkaalta vaadittavien ominaisuuksien listalla. Avainasemassa vierintävastuskehitykseen vaikuttavista tekijöistä ovat kuitenkin kuluttajat, jotka viime kädessä tekevät itse ostopäätöksensä vertailemalla renkaiden ominaisuuksia.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Aamulehti.[www-sivu]. [viitattu 27.2.2008] Saatavissa:
<http://www.aamulehti.fi/teema/autot/jutut/46083.shtml/>
- /2/ Ahvenlammi, Jarno, kehityspäällikkö. Hauvala Kai, kehityspäällikkö. Räisänen, Jani, kehitysinsinööri. Keskustelut 2007-2008. Nokian Renkaat Oyj, Nokia.
- /3/ Craelius, Kari, Henkilöauton renkaat käsikirja. Erkki Ahlavuo Oy. Tampere 1992. 159 s.
- /4/ ISO 18164:2005. Passenger car, truck, bus and motorcycle tyres – Methods of measuring rolling resistance. ISO 2005. 22 s.
- /5/ Kossi, Henri, tuotekehitysteknikko. Raatikainen, Jouni, tuotekehitysinsinööri. Keskustelut 2008. Nokian Renkaat Oyj, Nokia.
- /6/ Laine, Olavi, Autotekniikka 1.osa ajo-ominaisuudet. Autoalan koulutuskeskus Oy. Jyväskylä 1985. 281 s.
- /7/ Nokian Renkaat Oyj, Henkilöstöopas 2005.
- /8/ Nokian Renkaat Oyj:n koulutusmateriaali.
- /9/ Nokian Renkaat Oyj:n materiaalipankki.
- /10/ Nokian Renkaat Oyj:n tietokanta, Michelin luentomateriaali, Tyre Rolling Resistance 4.7.2007 – PowerPoint esitys.
- /11/ Nokian Renkaat Oyj: tietokanta, T&K-net.
- /12/ Nokian Renkaat Oyj, Vuosikertomus 2006.
- /13/ Nokian Renkaat Oyj, Ympäristöselonteko 2006.
- /14/ Romppanen, Kari-Matti, Vapaasti pyörivän renkaan vierintävastustarkastelu. Insinööriyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Koneosasto. Hämeenlinna 1999. 27 s.

- /15/ Rubber manufacturers association, Tire Design, Manufacturing and Performance Considerations 12.9.2007. Nokian Renkaat Oyj – PowerPoint esitys.
- /16/ Tekniikka & Talous. [www-sivu]. [viitattu 1.11.2007] Saatavissa:
http://tekniikkatalous.talentum.com/doc.ot?f_id=549371
- /17/ TÜV-mittausraportti 2007. Nokian Renkaat Oyj.
- /18/ University of Cambridge. [www-sivu]. [viitattu 15.3.2008] Saatavissa:
<http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/bioelasticity/printall.php>

LIITELUETTELO

Liite 1. Piirustukset pintamalleista A227-8/A ja A227-8/B.

Liite 2. Piirustukset pintamalleista A227-8/C, A227-8/D, A227-8/E ja A227-8/F.

Liite 3. Lista tehdyistä vierintävastuskokeista.

Liite 4. Vierintävastusmittauspöytäkirjat mitatuista renkaista.

VIERINVASTUSKOKKEET

Koesarja nro.	Tuote	Kokoonpanokone	Valmistus pvm.	Rakenne/pintamallimuutokset	Massa (kg)	Vierintävastuskerroin
6615	205/55 R16 A227	1-K31	28.2.2008	Ei rakennemuutoksia, referenssi	9,63	0,987
6618	205/55 R16 A227	1-K31	28.2.2008	Matala apex 18 mm	9,36	0,999
6619	205/55 R16 A227	1-K31	28.2.2008	Innerin ohennus, butyyli 1,2 mm, Ei insulationia	9,33	0,977
6620	205/55 R16 A227	1-K31	29.2.2008	PINNAN OHENNIUS -2 mm	8,91	0,953

6573	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	Ei rakennemuutoksia, referenssi	9,58	1,011
6574	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	Mono ply -rakenne	9,37	0,996
6575	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	Kavennettu koordi, koordin leveys 425 mm	9,25	0,991
6576	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	JLB C061, käärintä -20 %	9,43	0,981
6577	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	JLB C071, käärintä -20 %	9,57	0,991
6578	205/55 R16 A227	1-k31	12.2.2008	JLB C061, käärintä 40/30/20/-20 %	9,49	1,006

6551-8/A	205/55 R16 A227-8/A	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,63	0,957
6551-8/B	205/55 R16 A227-8/B	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,67	0,953
6551-8/C	205/55 R16 A227-8/C	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,61	0,973
6551-8/D	205/55 R16 A227-8/D	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,60	1,021
6551-8/E	205/55 R16 A227-8/E	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,55	1,028
6551-8/F	205/55 R16 A227-8/F	1-k31	7.2.2008	Pintamallivariaatio, ei rakennemuutoksia	9,56	0,944

Tuote 1	205/55 R16 Tuote 1	1-k31	W05/08	Rengasliikkeestä ostettavissa oleva tuote	9,81	0,967
Kilpailija X	205/55 R16 Kilpailija X		W47/07	Rengasliikkeestä ostettavissa oleva tuote	8,15	0,838

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Siedl			Date: 2008-03-20			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,84			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0275			Tire-ID (Customer): 6615			
DOT-Nr.: YLCP 0908			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 210			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,63			p _{warm} [bar]: 2,31			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	492	0,0	2,10	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	493	27,9	289,5	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	47,7	9,87	45,5	9,41		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Siedl			Date: 2008-03-27			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,62			
Width ["]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0280			Tire-ID (Customer): 6618			
DOT-Nr.: YLCP 0908			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 213			Umfang [mm]: 1978			
Weight [kg]: 9,36			P _{warm} [bar]: 2,28			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	492	0,0	2,10	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,1	495	26,1	288,3	1905	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	48,5	9,99	46,7	9,62		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Siedl			Date: 2008-03-27			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,84			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0278			Tire-ID (Customer): 6619			
DOT-Nr.: YLCP 0908			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 211			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,33			P _{warm} [bar]: 2,27			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	492	0,0	2,10	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,1	494	26,8	288,4	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	47,3	9,77	45,8	9,45		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Siedl			Date: 2008-03-25			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,84			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0277			Tire-ID (Customer): 6620			
DOT-Nr.: YLCP 0908			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 212			Umfang [mm]: 1977			
Weight [kg]: 8,91			P _{warm} [bar]: 2,26			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	492	0,0	2,10	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	493	27,8	288,1	1913	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	46,1	9,53	44,2	9,15		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 03.0308 11:15			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,68			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0163			Tire-ID (Customer): 6573			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 211			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,58			P _{warm} [bar]: 2,28			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	25,9	289,8	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	49,0	10,11	47,0	9,69		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,52			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0161			Tire-ID (Customer): 6574			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 210			Umfang [mm]: 1981			
Weight [kg]: 9,37			P _{warm} [bar]: 2,27			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,1	494	26,2	289,3	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	48,3	9,96	46,3	9,57		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,60			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0160			Tire-ID (Customer): 6575			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 211			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,25			P _{warm} [bar]: 2,28			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	26,8	288,7	1907	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	48,0	9,91	46,6	9,61		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,68			
Width ["]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0162			Tire-ID (Customer): 6576			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 209			Umfang [mm]: 1983			
Weight [kg]: 9,43			P _{warm} [bar]: 2,29			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	26,4	290,7	1914	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	47,5	9,81	45,5	9,39		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,72			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0159			Tire-ID (Customer): 6577			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 210			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,57			P _{warm} [bar]: 2,28			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	27,0	290,2	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	48,0	9,91	46,4	9,59		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,64			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0158			Tire-ID (Customer): 6578			
DOT-Nr.: YLCP 0708			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 209			Umfang [mm]: 1984			
Weight [kg]: 9,49			P _{warm} [bar]: 2,29			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,3	494	28,0	290,8	1913	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	48,7	10,06	46,5	9,60		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,83			
Width ["]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0169			Tire-ID (Customer): 6551-8/A			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/A			
Size: 205/55 R16			Speed-Index: H			
Load-Index: 94			Umfang [mm]: 1982			
Width [mm]: 209			P _{warm} [bar]: 2,30			
Weight [kg]: 9,63						
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	25,9	289,9	1906	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	46,4	9,57	44,5	9,20		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,42			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0170			Tire-ID (Customer): 6551-8/B			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/B			
Size: 205/55 R16			Speed-Index: H			
Load-Index: 94			Umfang [mm]: 1980			
Width [mm]: 210			p _{warm} [bar]: 2,34			
Weight [kg]: 9,67						
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,1	494	25,2	289,9	1907	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	46,2	9,53	44,7	9,24		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,87			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0171			Tire-ID (Customer): 6551-8/C			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/C			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 209			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,61			P _{warm} [bar]: 2,31			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	25,4	289,8	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	47,1	9,73	45,9	9,48		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-04			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,32			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0172			Tire-ID (Customer): 6551-8/D			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/D			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 210			Umfang [mm]: 1980			
Weight [kg]: 9,60			P _{warm} [bar]: 2,30			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	24,7	290,1	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	49,5	10,21	47,7	9,84		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-04			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,62			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0173			Tire-ID (Customer): 6551-8/E			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/E			
Size: 205/55 R16			Speed-Index: H			
Load-Index: 94			Umfang [mm]: 1981			
Width [mm]: 3209			P _{warm} [bar]: 2,30			
Weight [kg]: 9,55						
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	495	27,0	290,1	1909	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	49,9	10,28	48,2	9,93		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-04			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,85			
Width ["]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0174			Tire-ID (Customer): 6551-8/F			
DOT-Nr.: YLCP 0608			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: A227-8/F			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 209			Umfang [mm]: 1981			
Weight [kg]: 9,56			P _{warm} [bar]:			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	P _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	28,2	289,6	1906	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	45,7	9,44	43,8	9,05		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-03-03			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 9,84			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 42,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0164			Tire-ID (Customer): 0			
DOT-Nr.: YLCP 0508			Test-ID (Customer):			
Brand: Nokian			Tread: Tuote 1			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 94			Speed-Index: H			
Width [mm]: 210			Umfang [mm]: 1982			
Weight [kg]: 9,81			P _{warm} [bar]: 2,33			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	536	0,0	2,50	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	26,0	290,2	1908	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	46,8	9,67	45,2	9,33		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						

TEST PROTOCOL



Rolling Resistance						
General Data						
Customer: Nokian			Order Nr.: 76230593			
Operator: Ryschka			Date: 2008-02-28			
Test conditions: ISO 18164 / Customer			Test-Method: Power-Method			
Test-Rig: H8			Drum Ø [mm]: 2000			
Test-Rim						
ID-Nr.:			Weight [kg]: 8,62			
Width ["]]: 6,50			ET [mm]: 50,0			
Tire						
Tire-ID (TÜV): B08-0157			Tire-ID (Customer): 0			
DOT-Nr.: HCWC WDBX 4707			Test-ID (Customer):			
Brand: Kilpailija X			Tread: Kilpailija X			
Size: 205/55 R16						
Load-Index: 91			Speed-Index: H			
Width [mm]: 212			Umfang [mm]: 1988			
Weight [kg]: 8,15			P _{warm} [bar]: 2,20			
Set Test-Data						
Setting	Warm-up [min]	Speed [km/h]:	Load [kg]:	Incl. [°]:	p _{cold} [bar]:	T _{amb} [°C]:
1	30	80	492	0,0	2,10	25,0
Measurements						
Setting	Speed [km/h]:	Load [kg]:	T _{amb} [°C]:	r _{loaded} [mm]:	U _{dyn} [mm]	
1	80,2	494	26,8	289,2	1919	
Results						
Setting	F _r [N]:	c _r [kg/t]:	F _{r-Aero} [N]:	c _{r-Aero} [kg/t]:		
1	40,6	8,38	38,1	7,87		
Please note: All values are corrected to 25°C and to a flat surface!						