

Nastarenkaiden vaikutus raskaiden ajoneuvojen hallittavuuteen

Oy Airam Ab Kometa-tehtaat
Oy Suomen Autoteollisuus Ab
Tie- ja vesirakennushallituksen käyttöosasto

08
71E.



78 118

NASTARENKAIDEN VAIKUTUS RASKAIDEN AJONEUVOJEN HALLITTAVUUTEEN

Oy Airam Ab Kometa-tehtaat
Oy Suomen Autoteollisuus Ab
Tie- ja vesirakennushallituksen käyttöosasto

TVH 742016

Helsinki 11.1.1978

ISBN-951-46-1656-1

ALKULAUSE

Nastarenkaiden kitkaominaisuuksia selvittelevissä tutkimuksissa on tähän mennessä käsitelty varsin suppeasti kuorma- ja linja-autonrenkaita. Osaltaan tämä on johtunut taloudellisista rajoituksista, sillä käytännön kokeiden suorittaminen raskailla ajoneuvoilla edellyttää huomattavasti suurempien resurssien käyttöä kuin kokeiden suorittaminen henkilöautoilla. Tässä raportissa on selostus kuorma-autoilla suoritetusta, olosuhteisiimme nähden laajaan ajokoesarjaan perustuvasta tutkimuksesta, jossa on pyritty selvittämään nastarenkaiden käytöllä saavutettavaa hyötyä liukkaalla kelillä. Tutkimusselostukseen on liitetty myös eräitä taustatietoja raskaan kaluston ajodynamiikasta, nastojen teoreettisista vaikutuksista ja nastarenkaiden käytön yleisyydestä kuorma- ja linja-autoissa. Tämän lisäksi on arvioitu liukkaan kelin raskaille ajoneuvoille aiheuttamaa onnettomuusriskiä liikenneonnettomuustilastosta saatavien tietojen perusteella.

Tutkimus on tehty yhteistyönä Oy Airam Ab Kometa-tehtaiden, Oy Suomen Autoteollisuus Ab tuotekehityksen sekä tie- ja vesirakennushallituksen käyttöosaston kesken. Oy Airam Ab Kometa-tehtaiden osalta tutkimus on liittynyt kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimussopimukseen 139/1975. Tutkimuksen toteuttamista on lisäksi olennaisesti helpottanut se apu, jonka sille ovat antaneet Oy Nokia Ab kumitehdas, Riihimäen tiemestari-
piiri, teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorio sekä valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratorio.

Tutkimuksen suunnittelusta, ajokokeiden johtamisesta ja tutkimusselostuksen laatimisesta ovat vastanneet:

DI	Timo Grönfors	Oy Airam Ab Kometa-tehtaat
DI	Martti Merilinna	TVH:n käyttöosaston liikennetoimisto
DI	Seppo Saarinen	Oy Suomen Autoteollisuus Ab tuotekehitys

Tutkimussuunnitelman on hyväksynyt ja tutkimusselostuksen tarkastanut seurantaryhmä, johon ovat kuuluneet:

Yli-ins.	Kirill Härkänen	TVH:n käyttöosaston liikennetoimisto
Ylitark.	Reino Lampinen	Liikenneministeriön tieliikenneosasto
DI	Teuvo Puttonen	TVH:n käyttöosaston liikennetoimisto
DI	Jorma Hintikka	TVH:n käyttöosaston kunnossapitotoimisto
DI	Veli Markkula	TVH:n rakennusosaston tienrakennustoimisto
Ins.	Teppo Savolainen	Oy Airam Ab Kometa-tehtaat
Ins.	Kari Craelius	Oy Nokia Ab Kumitehdas
Apul.prof.	Antti Saarialho	TKK:n koneinsinööriosasto
Tutkija	Matti Sistonen	VTT:n tie- ja liikennelaboratorio
Projektipäällikkö	Heikki Salakari	Arisuo Oy

Tutkimuselostuksen laatimisen yhteydessä suoritettuihin tilastaselvityksiin liittyvä ATK-toimintojen suunnittelu ja ohjelmointi on tapahtunut TVH:n talousosaston tietojenkäsittelytoimistossa. Lähtötietoina on käytetty TVH:n yleisiä teitä koskevaa liikenneonnettomuustilastoa vuosilta 1975 ja 1976.

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
TIIVISTELMÄ	
1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN TAUSTA	3
2.1 Raskaiden ajoneuvojen ajodynamiikasta	3
2.11 Yleistä	3
2.12 Liukkaan kelin erityisongelmia	4
2.2 Renkaan ja ajoradan välinen kitka	4
2.21 Kumikitkan osatekijät	4
2.22 Nasta ja sen vaikutus renkaan kokonaiskitkaan	5
2.3 Nastarenkaiden käyttö kuorma- ja linja-autoissa	6
2.4 Raskaiden ajoneuvojen onnettomuusriski liukkaalla kelillä	7
3. NASTOJEN PISTOVOIMAN JA LUKUMÄÄRÄN VAIKUTUS RASKAIDEN AJONEUVOJEN RENKAIDEN KITKAOMINAISUUKSIIN	11
3.1 Ajokokeet	11
3.11 Kokeiden tarkoitus	11
3.12 Tutkitut renkaat	11
3.13 Kelin seuranta	13
3.14 Jarrutuskoe	13
3.15 Vakiokaarten ajaminen	13
3.16 Vakiokääntökulmakoe	14
3.17 Vetovoiman mittaaminen	15
3.2 Koetulokset	15
3.21 Yleistä	15
3.22 Jarrutus	17
3.23 Kaarto	17
3.24 Vetovoima	25
3.3 Johtopäätökset	25
4. NASTARENKAIDEN VAIKUTUS AJONEUVOYHDISTELMÄN HALLITTAVUUTEEN	28
4.1 Ajokokeet	28
4.11 Kokeiden tarkoitus	28
4.12 Koeajoneuvo ja koerenkaat	28
4.13 Väistökoe	28
4.14 Jarrutuskoe	31

4.2	Koetulokset	32
4.3	Johtopäätökset	36
5.	YLEISET JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARVE	38

KIRJALLISUUSLUETTELO

LIITE: AJOKOKEISSA KÄYTETTYJEN RENKAIDEN NASTA- JA RENGASPARAMETRIT

TIIVISTELMÄ

Jääpinnalla suoritettujen ajokokeiden perusteella on tarkasteltu, kuinka nastoittaminen vaikuttaa kuorma- ja linja-autonrenkaiden kitkaominaisuuksiin. Asia on merkityksellinen, koska raskaiden ajoneuvojen nastarenkailla on suuri tietä kuluttava vaikutus eikä tähän mennessä ole kovin luotettavasti arvioitu näiden renkaiden käytöllä saavutettavaa hyötyä. Asian mielenkiintoa lisää vielä se, että tilastojen valossa vaikuttaa kuorma- ja linja-autojen onnettomuusriski kasvavan liukkaan kelin johdosta jonkin verran enemmän kuin kaikkien ajoneuvojen onnettomuusriski keskimäärin.

Nastojen pistovoiman pienentäminen huonontaa kuorma- ja linja-autonrenkaan pitokykyä. Kuitenkin jo hyvin pienilläkin pistovoimilla (240 N) saavutetaan selvästi parempi pitokyky kuin ilman nastoja. Tällä hetkellä käytössä olevilla normaaleilla kuorma-autonnastoilla (pistovoima 420 N, ulkonema 2,00 mm) nastoitettu Nokia NR 12 rengas (11 R 22,5; 96 nastaa) antaa jääpinnalla 35 % lyhyemmän jarrutusmatkan, 28 % suuremman kaarrenopeuden ja 52 % suuremman vetovoiman kuin vastaava nastaton rengas. Nastalukumäärän kaksinkertaistaminen 96:stä 192 kpl:een parantaa tuloksia eri koetilanteissa 2...14 %. Pistovoiman pienentäminen 290 N:iin puolestaan huonontaa ko. tuloksia 8...17 %.

Nastarenkaiden käyttö parantaa olennaisesti täysperävaunullisen ajoneuvoyhdistelmän ohjattavuutta ja jarrutettavuutta jääpinnalla. Mitä useammalla akselilla nastarenkaita käytetään sitä paremmaksi tilanne muodostuu. Selvimmin tämä näkyy jarrutettaessa. Täysin nastarenkaaton ajoneuvoyhdistelmä vaatii jääpinnalla noin 65 % pitemmän pysähtymismatkan kuin sellainen ajoneuvoyhdistelmä, jossa on vapaasti pyörivää teliakselia luukuunottamatta kaikki muut akselit varustettu nastarenkain.

1. JOHDANTO

Nastarenkaiden käytöllä pyritään parantamaan ajoneuvon ajovarmuutta lumi- ja jääolosuhteissa. Määrätty osa talviajan liikennesuoritteesta - paikkakunnasta riippuen - tapahtuu kuitenkin lumettomalla ja jäättömällä tienpinnalla, jolloin nastarenkaista ei ole hyötyä vaan päinvastoin haittaa. Sulalla kelillä nastarenkaat huonontavat ajoneuvon ajettavuutta sekä kuluttavat tienpintaa. Kuluminen on erityisen voimakasta paljaalla märällä tienpinnalla.

Monista haitoista ja suurista hankintakustannuksista huolimatta nastarenkaita käytetään talviajan liikenteessä huomattavan paljon, henkilöautoissa eniten (keskitalven aikaan n. 90 %:sti) mutta myös paketti-, kuorma- ja linja-autoissa. Autoilijat pitävät nastarenkaiden liukkaalla kelillä antamaa ajovarmuutta niin tärkeänä, että lisääntyneet autonpitokustannukset ollaan valmiit maksamaan tämän edun saamisesta.

Koska nastarenkaat hyödyistään huolimatta aiheuttavat yhteiskunnalle jatkuvasti huomattavia menoja lisääntyvien tienpitokustannusten muodossa, on viime vuosina suunnattu erityisen paljon tutkimusresursseja sen seikan selvittämiseksi, kuinka nastarenkaiden hyöty- ja haittavaikutukset kokonaisuudessaan suhtautuvat toisiinsa. Asian arvioiminen on kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi, koska eri vaikutusten objektiivinen mittaaminen ei ole yksikäsitteistä.

Nastarengastutkimusten tähänastainen painopiste on ollut henkilöautorenkaiden puolella kuorma- ja linja-autorenkaiden jäädessä huomattavasti vähemmälle. On kuitenkin arvioitu, että kuorma-autojen renkaiden tien päällystettä kuluttava vaikutus on 2...4-kertainen verrattuna henkilöautorenkaiden kuluttavaan vaikutukseen /3,5,9/. Erään selvityksen perusteella saattaa kyseinen kerroin olla vielä suurempikin /4/. On kuitenkin huomattava, että nastarenkain varustettuja kuorma- ja linja-autoja on liikenteessä huomattavasti vähemmän kuin nastarenkain varustettuja henkilöautoja. Kokonaisuudessaan arvioidaan raskaan liikenteen osuuden olevan 13...20 % nastarenkaiden aiheuttamasta teiden ja katujen kulumisesta /3,14/. Raskaiden ajoneuvojen renkaiden nastoittamisella saavutettavaa hyötyä ei ole sen sijaan luotettavasti arvioitu, ja asiasta on vallalla jossain määrin ristiriitaisia käsityksiä.

Tiedotusvälineiden välittämien uutisten valossa voidaan arvioida, että raskaiden ajoneuvojen joutuminen hallitsemattomaan liukuun ja tästä aiheutuvat liikenneonnettomuudet muodostavat ongelman talviajan liikenteessä. Ei ole kuitenkaan selvitetty, kuinka suuresta ongelmasta suhteessa muihin liikenneturvallisuusongelmiin on kysymys. Toistaiseksi on myös hyvin vähän tutkittu missä määrin nastarenkaiden käytöllä voitaisiin ehkäistä raskaiden ajoneuvojen joutumista onnettomuuksiin. Lisäksi on täsmentämättä, paljonko nastarenkaat käytännössä parantavat kuorma- ja linja-autojen liikkeellepääsy- ja mäennousukykyä, ohjattavuutta sekä jarrutettavuutta liukkaalla kelillä.

Kuorma-auton renkaiden nastoittamisella saavutettavaa kitkan lisäystä jääpinnalla on tutkittu kaartto-, jarrutus-, veto- ja liikkeellelähtökokein kevättalvella 1976 /1,11/. Koesarjat olivat suppeat, mutta ne antoivat johdonmukaisen kuvan nastojen pistovoiman ja renkaan pitokyvyn välisestä suhteesta. Näiden kokeiden perusteella ei voitu kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä siitä, kuinka nastarenkaat vaikuttavat raskaiden ajoneuvojen hallittavuuteen.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää, millainen hyöty käytännössä saavutetaan nastoittamalla raskaan ajoneuvon renkaat. Lisäksi on pyritty selvittämään, millä tavoin nastalukumäärä ja nastojen pistovoima vaikuttaa renkaan kitkaominaisuuksiin. Aikaisemmistahan tutkimuksista tiedetään, että pistovoimaa ja nastalukumäärää pienentämällä voidaan nastarenkaiden tietä kuluttavaa vaikutusta vähentää.

Tutkimus perustuu käytännön ajokokeisiin, jotka suoritettiin 24...28.1. ja 21.2....1.3.1977. Koepaikkana oli Lopen kunnassa sijaitseva Räyskälän lentokeskus. Kenttävaiheen aikana kirjattiin tulokset yli 2000 erilisestä koesuorituksesta. Kokeet suoritettiin jäädytetyllä kiitoradalla. Lämpötila- ja muiden säävaihteluiden johdosta koeratojen liukkaudessa tapahtui koko kenttävaiheen ajan huomattavia muutoksia. Keskimääräisesti kitkataso oli kuitenkin hyvin alhainen.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoituksena oli suorittaa kokeita myös lumipolanteella ja mahdollisesti ns. "mustalla jäällä". Suunnitelmia ei kuitenkaan pystytty toteuttamaan, sillä koepaikkoja ei onnistuttu keinotekoisesti valmistamaan eikä toteutetun kaltaisia kokeita ole mahdollista järjestää oikeissa tieolosuhteissa. Näin ollen saatiin koetuloksia ainoastaan jääpinnalta, mikä tieolosuhteissa olisi merkinnyt erittäin liukasta keliä.

2. TUTKIMUKSEN TAUSTA

2.1 Raskaiden ajoneuvojen ajodynamiikasta

2.11 Yleistä

Talvikeleillä kuorma- ja linja-autoja ajetaan normaalisti niin hiljaisilla kaarrenopeuksilla, että ajotilanne ohjausgeometrian kannalta on hyvin lähellä staattista. Ajoneuvojen painopiste on korkealla ja jousittamattomat massat ovat suuret, akselit ovat jäykkiä ja jousitus on valtaosassa pelkkiin lehtijousiin perustuva. Lisäksi heilahduksenvaimennusta käytetään yleensä vai etuakselilla.

Nopeassa kaarreajossa hukkuu käytettävissä olevaa tehoa varsin paljon renkaiden muodonmuutoksiin ja luiston ylläpitämiseen, mikä samalla auttaa selvittämään kaartein huomattavasti nopeammin. Henkilöautojen tehon suhde painoon vaihtelee välillä 25-100 kW/t (34-136 hv/t), millä pystytään pitämään erilaisia dynaamisia tilanteita yllä, mutta kuorma-auton kohdalla tilanne on paljon vaatimattomampi, sillä tehopainosuhte on yleensä 4,5-9,5 kW/t (6,1-12,9 hv/t), ja tämä teho ei pysty juuri muuhun kuin liikkeen ylläpitämiseen ja vain vähäiseen kiihdyttämiseen. Raskaan auton kohdalla dynamiikka on lähinnä auton inertian käyttämisestä hyväksi mäkien ym. vaikeiden kohtien selvittämisessä. Tehon puuttumisen lisäksi kaarreajossa vaikeuttaa tehostettu ohjaus, joka ei anna yhtä hyvää tuntumaa tiehen kuin tehostamaton ohjaus. Lisäksi monissa kuorma-autoissa on takana teliakselisto, mikä vaikeuttaa auton kääntämistä.

Jarrutustilanteessa on raskailla ajoneuvoilla puolellaan merkittävä etu: hitausmomentti pystyakselin suhteen on huomattavasti suurempi kuin henkilöautoissa. Käytännössä tämä merkitsee hyvää suuntavakavuutta myös toispuoleisessa jarrutuksessa tai kaltevilla pinnalla tapahtuvassa jarrutuksessa. Esimerkkinä voidaan mainita raskas teliakselilla varustettu kuorma-auto, joka jarruttaa vain toisen puolen pyörillä jarrutusalustalla saavutettavalla maksimihidastuvuudella. Auto pyörähtää jarrutuksessa jarruttavien pyörien suuntaan vakiokulmakiihtyvyydellä. Samassa tilanteessa henkilöauto pyörähtää n. 2-3-kertaisella kiihtyvyydellä, mikä selittyy paitsi hitausmomentin myös pituus/leveyssuhteen avulla.

2.12 Liukkaan kelin erityisongelmia

Suurin osa raskaasta kalustosta on varustettu täyspaineilmajarruin eli järjestelmin, joissa kuljettaja käyttää venttiiliä ja paineilma suorittaa jarrutuksen. Suoraa tuntumaa kuljettajan ja jarrutettavan pyörän välillä ei ole. Jarrujen kytkeytymiseen tarvitaan tietty alkupaine, jolla voitetaan pyöräjarrun mekaaniset häviöt. Nämä häiriöt vaihtelevat jarrujen lämpötilan, iän, puhtauden ja huollon vaikutuksesta niin paljon, että liukkaan kelin edellyttämä kevyt jarrutus on varsin vaikea suorittaa ilman pyörien lukkiutumista jossain kohdassa akselistoa.

Yksittäisten pyörien lukkiutumisen havaitseminen kuljettajan paikalta on sitä vaikeampaa mitä kauempana pyörä on ohjaamosta. Lukkiutunut pyörä tai akselin molemmat pyörät voivat aiheuttaa auton sivuttaisliikkeen, jota on vaikea havaita ohjaamosta. Esimerkiksi 12,5 m pitkän ajoneuvon perän ollessa siirtynyt 2 m sivulle eli vastaantulevan kaistalle kuljettajan istuin poikkeaa kulkusuunnastaan vasta noin 10 astetta. Pyörähtämisen kulmanopeus on pieni ja kulmakin on pieni, joten kuljettajan on seurattava auton liikettä pääasiassa ulkoa saatavien havaintojen perusteella, eikä hän voi luottaa samalla tavalla aistiensa varoitukseen kuin ajaessaan henkilöautoa.

Ajoneuvoyhdistelmän ajaminen liukkaalla kelillä vaatii erityistä tarkkaavaisuutta, sillä pieni kitka tien ja renkaan välillä vaikeuttaa ajamista kaikkien tien pinnan häiriöiden tullessa korostettuina esiin. Ajoradan sivukaltevuus tai jopa voimakas sivutuuli voivat saattaa yhdistelmän osan liukuun, jonka korjaaminen usein on vaikeaa ja edellyttää kuljettajalta vankkaa kokemusta.

2.2 Renkaan ja ajoradan välinen kitka

2.21 Kumikitkan osatekijät

Kumikitka muodostuu pääasiallisesti kahdesta kitkakomponentista: adheesiokitkasta ja muodonmuutos- eli hystereesikitkasta. Adheesiokitka syntyy siten, että kumin atomit muodostavat sidoksia kumin ulkopuolisten

atomien kanssa, eli syntyy sidoksia esimerkiksi auton renkaan ja ajotien mikrokarkeuksien välillä. Liukuessaan liukupinnan yli kumi kohtaa yleensä jyväsiä ja kohoumia, kuten tapahtuu juuri auton renkaan ja tienpinnan välillä. Tämän seurauksena kumi toistuvasti puristuu ja laajenee sekä tarttuu hetkellisesti kiinni jyväsiin. Tästä syntyy kumikitkan toinen komponentti: muodonmuutos- eli hystereesikitka. Kokonaiskitkaan kuuluu vielä yllä esitettyjen lisäksi repimis- ja kulumiskomponentit, joiden osuus edellisiin verrattuna on pieni.

Kumikitkan luonteesta johtuu, että lumella ja varsinkin jäällä kitkan syntyminen on vähäistä. Ensiksikin jää on usein niin sileätä, että muodonmuutoskitkaa ei juuri pääse syntymään. Toisaalta kumin muodonmuutoksissa pyöräkuorman alaisena syntyy usein niin paljon lämpöä, että rengas pystyy sulattamaan kosketuskuvioonsa mikroskooppisen ohuen vesikerroksen. Tämä vesikerros toimii voitelukalvona estäen osittain adheesio- kitkankin synnyn. Tällöin jäljelle jäävä muodonmuutoskitka ei riitä antamaan kitkakertoimia, joilla on käytännön merkitystä. Tilanne on pahin lähellä nollaa olevissa lämpötiloissa.

2.22 Nasta ja sen vaikutus renkaan kokonaiskitkaan

Nastan kitkaa lisäävä vaikutus perustuu sen tunkeutumiseen jäähän. Usein on kyse mekaanisesta pidätyksestä, mutta renkaan liukuessa lisäksi nastan jäätä työstävästä vaikutuksesta.

Jäähän painuminen tapahtuu pääasiallisesti kahdesta eri syystä: joko tietä vasten kohdistuvan staattisen pistovoiman vaikutuksesta esimerkiksi lukkojarrutuksessa tai pyörivässä renkaassa nastan dynaamisen iskun seurauksena. Nastan painumista jäähän dynaamisen iskun avulla vaikeuttaa erittäin lyhyt käytettävissä oleva aika.

Nastarenkaan kitkaan vaikuttavat pistovoiman lisäksi nastojen lukumäärä, niiden ulkonema, kovametallitapin paksuus ja muoto sekä nastojen sijoittelu kulutuspinnaan.

2.3 Nastarenkaiden käyttö kuorma- ja linja-autoissa

Voidaan arvioida, että keskitalven aikaan käytetään nastarenkaita ras-
kaissa ajoneuvoissa koko maan alueella keskimäärin seuraavasti /6,7/:

	Nastarenkaat kaikissa pyö- rissä	Varustettu osit- tain nastaren- kailla
Linja-autot	11...21 %	18...38 %
Kuorma-autot (kaikki tyypit)	7...8 %	14...32 %

Käyttöosuudet vaihtelevat huomattavasti alueellisesti ja ajoneuvojen
käyttötarkoituksen mukaan. Osittain nastarenkailla varustetuista ajo-
neuvoista valtaosalla on nastarenkaat vain etuakselilla.

Talvikausina 1973...76 suoritettujen tienvarsihaastattelujen /6/ perus-
teella pitää kuorma-autojen kuljettajista nastarenkaiden käyttöä tar-
peellisenä noin 70 % pääteillä ajettaessa ja noin 90 % sivuteillä ajet-
taessa. Lähes kaikki nastarenkaiden kannattajat pitävät niitä tarpeel-
lisina etupyörissä. Noin kolmasosan mielestä nastarenkaat ovat tarpeen
myös vetävissä pyörissä. Kuljettajien mielestä nastarenkaat parantavat
lähinnä ohjattavuutta ja lyhentävät jarrutusmatkoja. Mäennousukykyä ei
nastarenkaiden katsota suurestikaan parantavan. On myös tietty joukko
kuljettajia, jotka eivät aja nastarenkailla eivätkä pidä niiden käyttä-
mistä lainkaan tarpeellisenä.

Kuorma- ja linja-autoyhtiöille vuonna 1975 osoitetun kyselyn /6/ perus-
teella pitää linja-autojen omistajista 72...76 % nastarenkaiden käyttöä
tarpeellisenä ajopaikasta riippuen. Kuorma-autojen omistajista 64 % pi-
tää nastojen käyttöä tarpeellisenä pääteillä ajettaessa ja 74 % sivu-
teillä ajettaessa. Pääsiallisin syy, miksi nastarenkaita ei käytetä,
vaikka niitä pidetäänkin tarpeellisina, on liikennöitsijöiden ilmoituk-
sen mukaan lisääntyvät ajo- ja rengaskustannukset.

Yleisesti ottaen suurin osa haastatelluista pitää nastarenkaiden käyt-
töä tarpeellisenä kuorma- ja linja-autoissa.

2.4 Raskaiden ajoneuvojen onnettomuusriski liukkaalla kelillä

Vuosina 1975 ja 1976 tapahtui poliisiviranomaisten ilmoitusten mukaan yleisillä teillä 3813 sellaista liikenneonnettomuutta, joissa oli osallisena kuorma-auto tai linja-auto. Tämä oli 19 % kaikista poliisin ilmoittamista yleisillä teillä tapahtuneista onnettomuuksista. Pelkästään vakavissa, kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa olivat kuorma- ja linja-autot osallisina 253 tapauksessa, mikä oli 24 % kaikista yleisillä teillä tapahtuneista kuolemaan johtaneista onnettomuuksista.

TVH:n pitämien yleisiä teitä koskevien tilastojen mukaan joutuvat kuorma- ja linja-autot keskimäärin kaikkia ajoneuvoja useammin osallisiksi liikenneonnettomuuksiin. Kuvassa 1 on esitetty vuosien 1975 ja 1976 tietojen perusteella lasketut onnettomuusasteet (onn./10⁸ ajon.km) kaikille moottoriajoneuvoille sekä erikseen kuorma- ja linja-autoille.

Kuvassa 2 on esitetty, kuinka onnettomuudet ovat jakautuneet eri keliolosuhteiden kesken vuosina 1975 ja 1976. Kaikista yleisten teiden onnettomuuksista on tapahtunut 35 % olosuhteissa, jolloin tien pinnan on ilmoitettu olleen "luminen", "jäinen", "sohjoinen" tai "iljanteinen". Pelkästään niistä onnettomuuksista, joissa on ollut osallisena kuorma- tai linja-auto, on kuitenkin 47 % tapahtunut vastaavissa liukkaissa olosuhteissa. Näiden lukujen perusteella voidaan päätellä, että liukas keli lisää suhteellisesti enemmän raskaiden kuin muiden ajoneuvoryhmien onnettomuusriskiä.

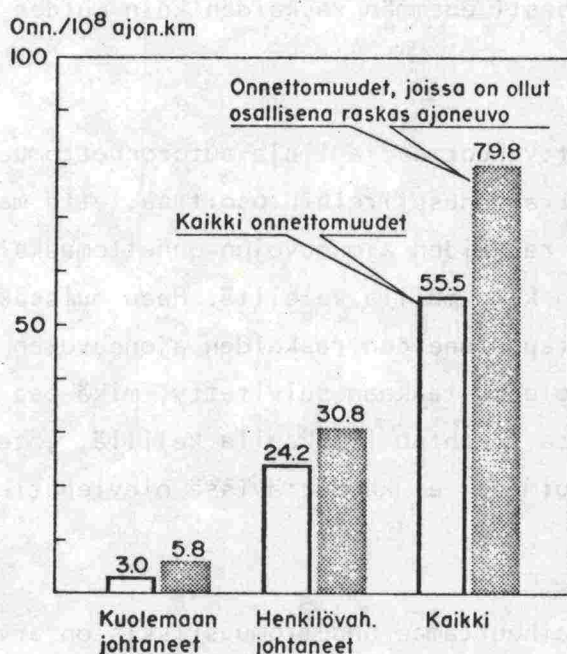
Kuvassa 3 esitetty kuorma- ja linja-auto-onnettomuuksien jakautuminen eri tie- ja vesirakennuspiireihin osoittaa, että maan itä- ja pohjoisosissa tapahtuu raskaiden ajoneuvojen onnettomuuksia liukkaalla kelillä selvästi enemmän kuin muilla keleillä. Maan muissakin osissa on liukkaalla kelillä tapahtuneiden raskaiden ajoneuvojen onnettomuuksien osuus huomattava. Ei ole kuitenkaan selvitetty, mikä osa raskaan kaluston liikennesuoritteesta tapahtuu liukkaalla kelillä, joten todellisen onnettomuusriskin arvioiminen ei käytettävissä olevien tietojen perusteella ole mahdollista.

Liukkaan kelin aiheuttamaa onnettomuusriskiä on arvioitu koko moottoriajoneuvoliikenteen osalta eräissä tutkimuksissa /mm. 8,13/. Näiden perusteella voidaan päätellä, että liukas keli lisää selvästi riskiä. Li-

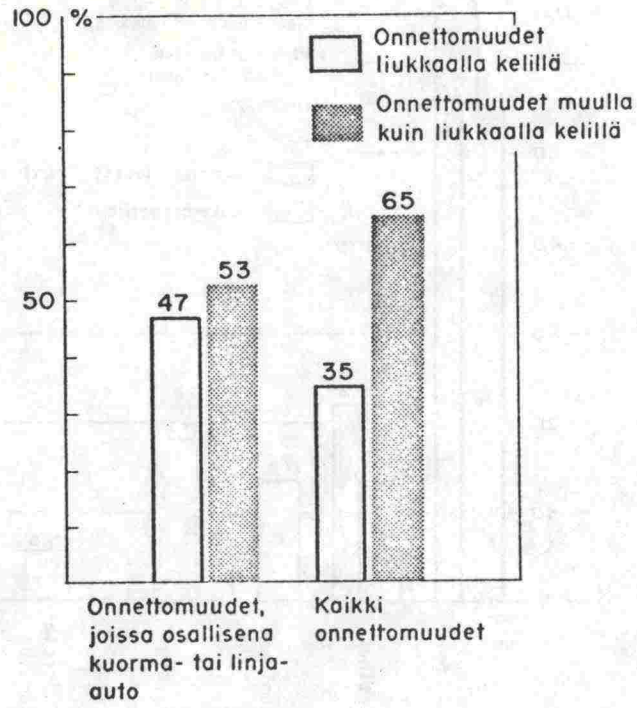
säys on suurin lievien, pelkästään omaisuusvahinkoihin johtaneiden onnettomuuksien ryhmässä. TVH:n tilaston mukaan tapahtui vv. 1975-1976 kuolemaan johtaneista onnettomuuksista 32 %, vammoihin johtaneista onnettomuuksista 31 % ja pelkästään omaisuusvahinkoihin johtaneista onnettomuuksista 38 % liukkaalla kelillä.

On havaittu, että erittäin vaikeissa olosuhteissa lumisateisina päivinä moottoriajoneuvojen onnettomuusaste on ollut 3,5-kertainen kesäkeliin verrattuna /13/ ja että jäisellä tien pinnalla saattaa onnettomuusriski kohota jopa 9-kertaiseksi kuivaan, paljaaseen ajorataan verrattuna /8/ (kuva 4).

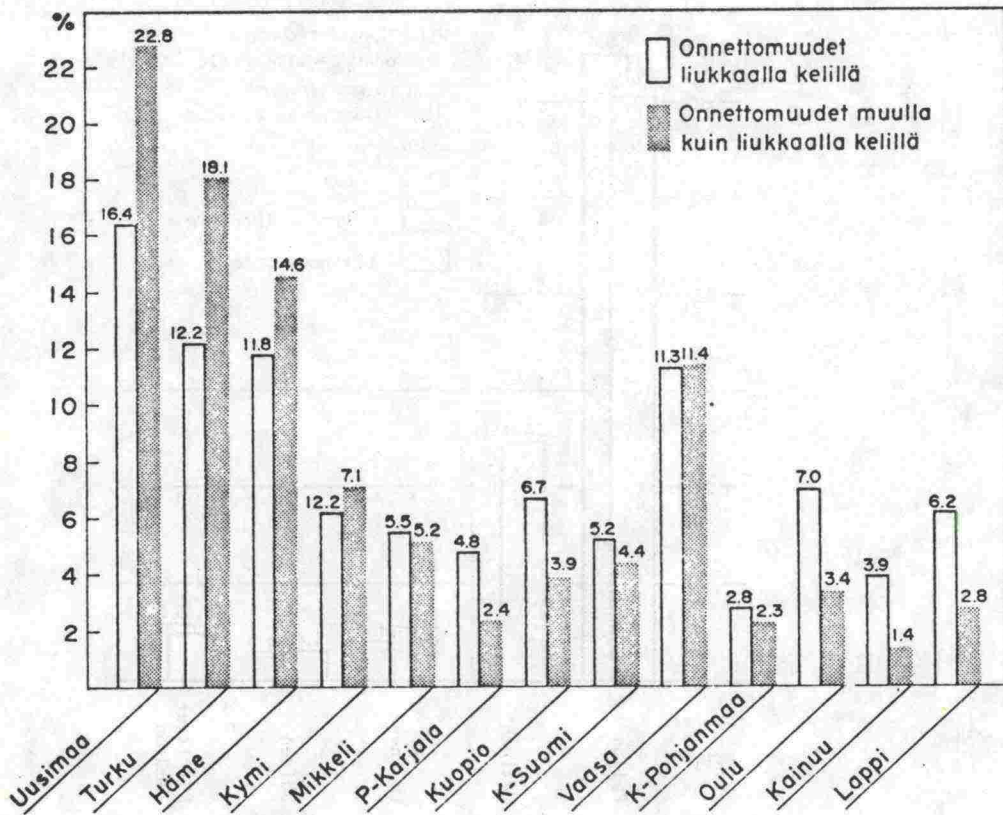
Ei ole kovin laajasti selvitetty, missä määrin vallitseva keli vaikuttaa liikennesuoritteeseen. Rajoitetulla ja koko tiestöön verrattuna suppealla alueella asiaa on kuitenkin tarkasteltu /8/. Tulosten mukaan (kuva 5) keli ei näyttäisi kovin paljon vaikuttavan liikennesuoritteen määrään. Hetkellisiä kelinvaihteluita merkitsevempi tekijä on hyvin todennäköisesti liikennesuoritteessa ilmenevä kausivaihtelu, joka omalta osaltaan vaikuttaa kuvassa 5 esitettyihin tuloksiin. On ilmeistä, että yleisesti ottaen keli ei vaikuta merkittävästi siihen, lähdetäänkö omalla ajoneuvolla liikenteeseen, siirretäänkö matkalle lähtö myöhempään ajankohtaan vai tehdäänkö matka kaikesta huolimatta mutta eri kulkumuodolla. Tulos koskee keskimäärin koko tieliikennettä. Kelillä lienee vielä vähäisempi vaikutus pelkästään kuorma- ja linja-autoliikenteen määrään.



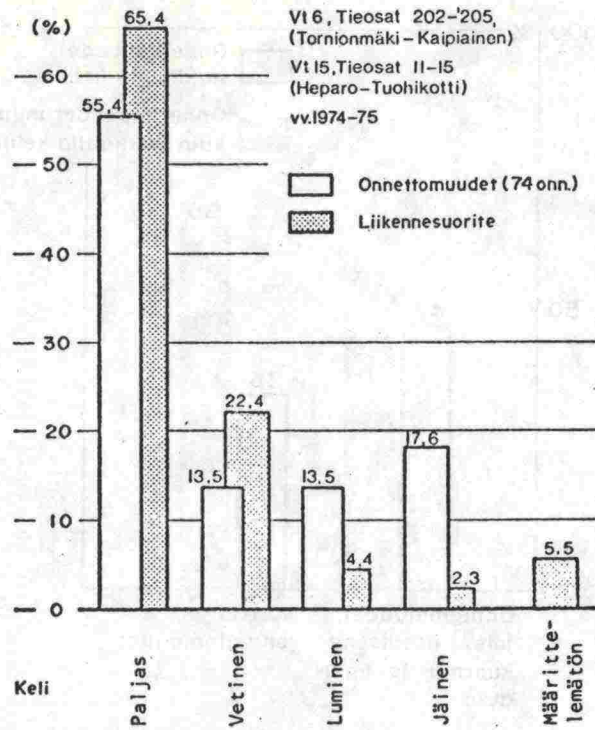
Kuva 1. Vuosien 1975 ja 1976 liikenneonnettomuus-tilastojen perusteella lasketut onnettomuusasteet (onn./10⁸ ajon.km) maanteillä kaikille onnettomuuksille sekä erikseen sellaisille onnettomuuksille, joissa on ollut osallisena kuorma- tai linja-auto.



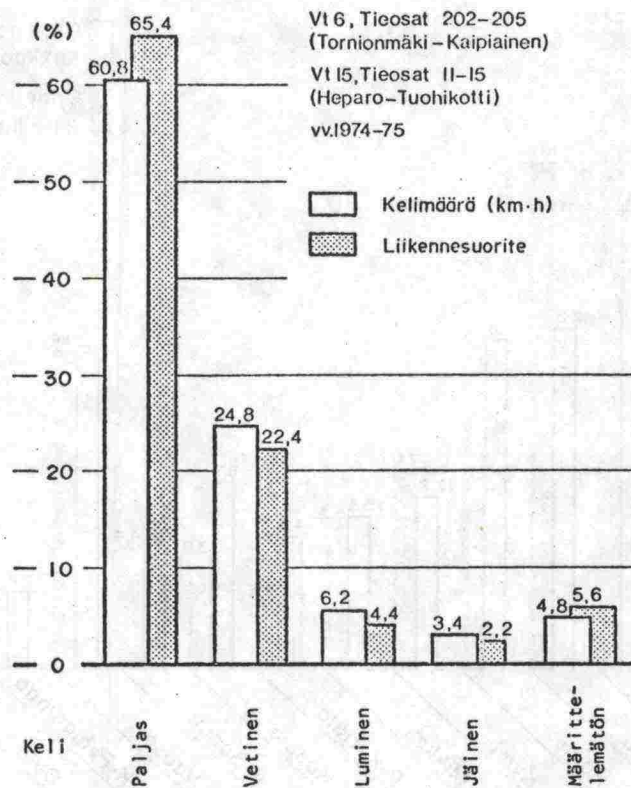
Kuva 2. Liikenneonnettomuuksien osuudet eri keleillä yleisillä teillä vuosina 1975 ja 1976.



Kuva 3. Yleisillä teillä tapahtuneiden kuorma- ja linja-auto-onnettomuuksien osuudet eri keleillä tie- ja vesirakennuspiireittäin vuosina 1975 ja 1976.



Kuva 4. Liikenneonnettomuudet ja liikennesuoritteet eri keleillä vuosina 1974-75 valtatie 6:n tiesilla Tornionmäki-Kaipainen ja valtatie 15:n tiesilla Heparo-Tuohikotti. /8/



Kuva 5. Kelimäärä ja liikennesuorite eri keleillä vuosina 1974-75 valtatie 6:n tiesilla Tornionmäki-Kaipainen ja valtatie 15:n tiesilla Heparo-Tuohikotti. /8/

3. NASTOJEN-PISTOVOIMAN JA LUKUMÄÄRÄN VAIKUTUS RASKAIDEN AJONEUVOJEN RENKAIDEN KITKAOMINAISUUKSIIN

3.1 Ajokokeet

3.11 Kokeiden tarkoitus

Kaksiakselisella Sisu Kontio-kuorma-autolla suoritettujen ajokokeiden tarkoituksena oli tutkia raskaiden ajoneuvojen renkaissa käytettävien nastojen pistovoiman ja lukumäärän vaikutusta renkaiden kehittämään kitkaan nastarenkaiden karheuttamalla jääpinnalla.

3.12 Tutkitut renkaat

Koerenkaina käytettiin pääasiallisesti Nokian NR12 kesäpintamallisia tubeless-renkaita. Nastoina käytettiin Oy Airam Ab Kometa-tehtaiden nykyistä myyntimallia ja kehitysnastoja siten, että nastojen keskimääräiseksi pistovoimiksi saatiin kokeiden alussa valmistajan mittausten mukaan 420 N, 320 N, 290 N ja 240 N⁽¹⁾⁽²⁾. Näillä nastoilla varustetuissa renkaissa käytettiin kahta nastalukumäärää: 96 kpl ja 192 kpl. Nastat olivat varsinaisesti tarkoitettu kuorma-auton renkaan nastoiksi. Tämän lisäksi kokeiltiin henkilöauton renkaan nastaa Kometa P9-130, jota nastoitettiin 250 kpl/rengas. Kaikissa tapauksissa oli nastaulkonema kokeen alussa 2 mm.

Lisäksi kokeessa oli mukana Aris-holkkinaasta, jonka nastaulkonema kokeen alussa oli muista poiketen 1,7 mm. Tällöin pistovoimaksi tuli 300 N. Nastoituksen suoritti nastan valmistaja itse.

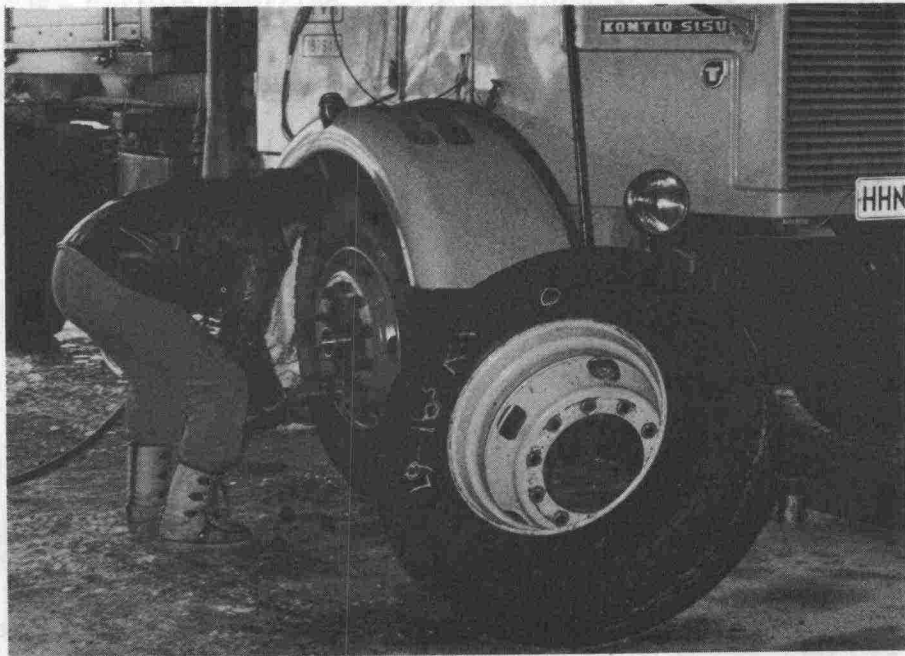
Käytettyinä renkaina oli mukana lähes samoilla pistovoimilla varustetut ajetut Michelin X Radial-renkaat. Samoin oli kokeessa mukana näitä vastaavat nastoittamattomat Michelin-kesärenkaat ns. nollarenkaina.

(1) Pistovoimien muuttuminen kokeiden aikana huomioitiin tuloksia laskettaessa.

(2) Mitattu liikenneministeriön v. 1975 antamien ohjeiden mukaisesti.



Kuva 6. Ennen kokeiden suorittamista koepaikat puhdistettiin irtolumesta harjatraktorilla.



Kuva 7. Renkaan vaihdossa oli välttämättömänä apuna paineilma-työkalut.

Rengaspaineena oli kokeessa koko ajan $7,5 \text{ kp/cm}^2$ ja pyöräkuormana 3 t.

Koerenkaiden pistovoimat mitattiin myös valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriossa kenttäkokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen. Nastaulkonemat mitattiin sekä kokeiden aikana että pistovoimamittausten yhteydessä. Luettelo koerenkaista ja käytettyjen nastojen pistovoimista, lukumääristä sekä ulkonemista on esitetty liitteessä.

3.13 Kelin seuranta

Kelin vaihteluita seurattiin kokeiden aikana ns. nolla-autolla, jona toimi kaksiakselinen Vanaja-kuorma-auto. Nolla-auto suoritti kelintarkistusjarrutuksen nastattomilla Nokia NR12-renkailla aina kun se oli mahdollista muiden koetapahtumien osalta. Kelintarkistusmittauksia saatiin Vanajalla kokeiden aikana tehdyksi noin 500 kertaa. Tämän lisäksi keliä tarkkailtiin Sisu Kontio-autolla suoritetuilla kesärengaskokeilla (Nokia NR 12), jotka pyrittiin suorittamaan mahdollisuuksien mukaan joka kolmannella kerralla varsinaisten kokeiden yhteydessä.

3.14 Jarrutuskoe

Jarrutuskokeet suoritettiin siten, että koeauton takajarrut oli poistettu toiminnasta. Näin oli tehty siksi, että tuloksissa hajontaa aiheuttava auton kääntyminen poikittain jarrutuksen aikana saataisiin mahdollisimman pieneksi. Kokeen aloitusnopeus oli 40 km/h, joka nopeus mitattiin liikennetutkalla ja ilmoitettiin radiopuhelimella koeautoon. Nopeuden vakioimisen jälkeen kuljettaja suoritti aina samalla tavalla lukkojarrutuksen ja jarrutusmatka mitattiin Peiseler-mittalaitteistolla.

3.15 Vakiokaarteiden ajaminen

Vakiokaarrekoikkeessa oli tarkoitus jäljitellä mahdollisimman tarkasti kääntymistilannetta normaalilla tiellä. Koe suoritettiin 50 m säteises-

sä kaarteessa. Ennen varsinaisia mittausajoja kaarre karhennettiin muutamalla harjoitusajolla. Koepaikkaa vaihdettiin, kun kaarre oli kokeen johtajan arvion mukaan muodostunut liian karheaksi. Koepaikan vaihtamistarve arvioitiin nastattomilla renkailla saavutettujen tulosten perusteella.

Kokeissa etsittiin se nopeus, jolla ajoneuvo sortui ulos kaarteesta. Tämä tapahtui ajonopeutta koekerroittain lisäämällä. Nopeuden mittaus suoritettiin liikennetutkalla. Nopeus pyrittiin pitämään kullakin koekeralla vakiona säätämällä se käsikäyttöisen säätimen avulla. Pyörien kääntökulmaa ei pidetty vakiona, vaan kuljettaja sai kääntää ohjauspyörää niin paljon, kuin katsoi kaarteessa pysymisen edellyttävän. Kaarteesta sortumiseksi katsottiin tilanne, jossa koeauto ei pysynyt kartioilla merkityn ajoradan sisällä.

3.16 Vakiokääntökulmakoe

Vakiokääntökulmakokeessa oli koeauton oikean etupyörän napaan kiinnitetty optiset nopeusanturit Leitz Correvit L ja Q kohtisuoraan toisiaan vasten. Käytetty ohjauskulma mitattiin ohjauksen väliakseliin kiinnitetyllä induktiivisella siirtymäanturilla. Tulokset rekisteröitiin 3-kanavaisella potentiometripiirturilla. Auton nopeus kokeen alkuhetkellä mitattiin liikennetutkalla ja tämä nopeus, kuten kaikissa muissakin kokeissa, ilmoitettiin radiopuhelimella kuljettajalle.

Mittaustilanteessa käytettiin hyväksi likimääräisolettamusta, että poikittaisnopeuden suhde pitkittäisnopeuteen on pienillä kulmilla sama kuin renkaan sortokulma. Suoritetuissa kokeissa sortokulma saavutti n. 1... 1,5 sek. kuluessa vakiotason, joka riippui kääntökulmasta ja kokeiltavan renkaan pitokyvystä.

Auton takarenkaina oli koko ajan sekä tässä, että edellä selvitetyssä kaartokokeessa voimakkaasti nastoitettut renkaat, joilla pyrittiin eliminoimaan takaapäin sortokulman vaihtelu kelin ja koetilanteen mukaan. Kokeet suoritettiin 26 km/h aloitusnopeudesta ns. step-input-kokeena. Kuljettaja käänsi halutussa kohdassa ohjauspyörästä mahdollisimman samalla nopeudella tietyn ohjauskulman, jonka hän sitten piti vakiona koko ko-

keen ajan. Samanaikaisesti seurattiin optisilla nopeusantureilla auton käyttäytymistä.

3.17 Vetovoiman mittaaminen

Vetokokeella pyrittiin jäljittämään tilannetta, jossa liukkaalla keliällä kuorma-auto ei pysty nousemaan mäkeä. Koe suoritettiin siten, että koeauton taka-akselilla oli molempien parirenkaiden sijalla vain yksi koerengas. Tasauspyörästön lukko oli kytkettynä ja pyöräkuorma oli sama kuin jarrutus- ja kaartokokeissakin eli 3 t. Koeauto kiihdytti nopeudeksi n. 10 km/t. Nopeuden tasaantumisen jälkeen koeautoon vetoköydellä kytketty jarruauto vähitellen jarrutti nopeuden noltaan koeauton pitäessä yllä vakiokaasua. Vetoköyteen kiinnitetyllä vetovoima-anturilla mitattiin voiman kehittyminen, mikä tulostettiin jarruautossa piirurille. Varsinaiseksi vetovoimaksi merkittiin renkailla saavutettu voiman huippuarvo juuri ennen liukutilanteen syntymistä.

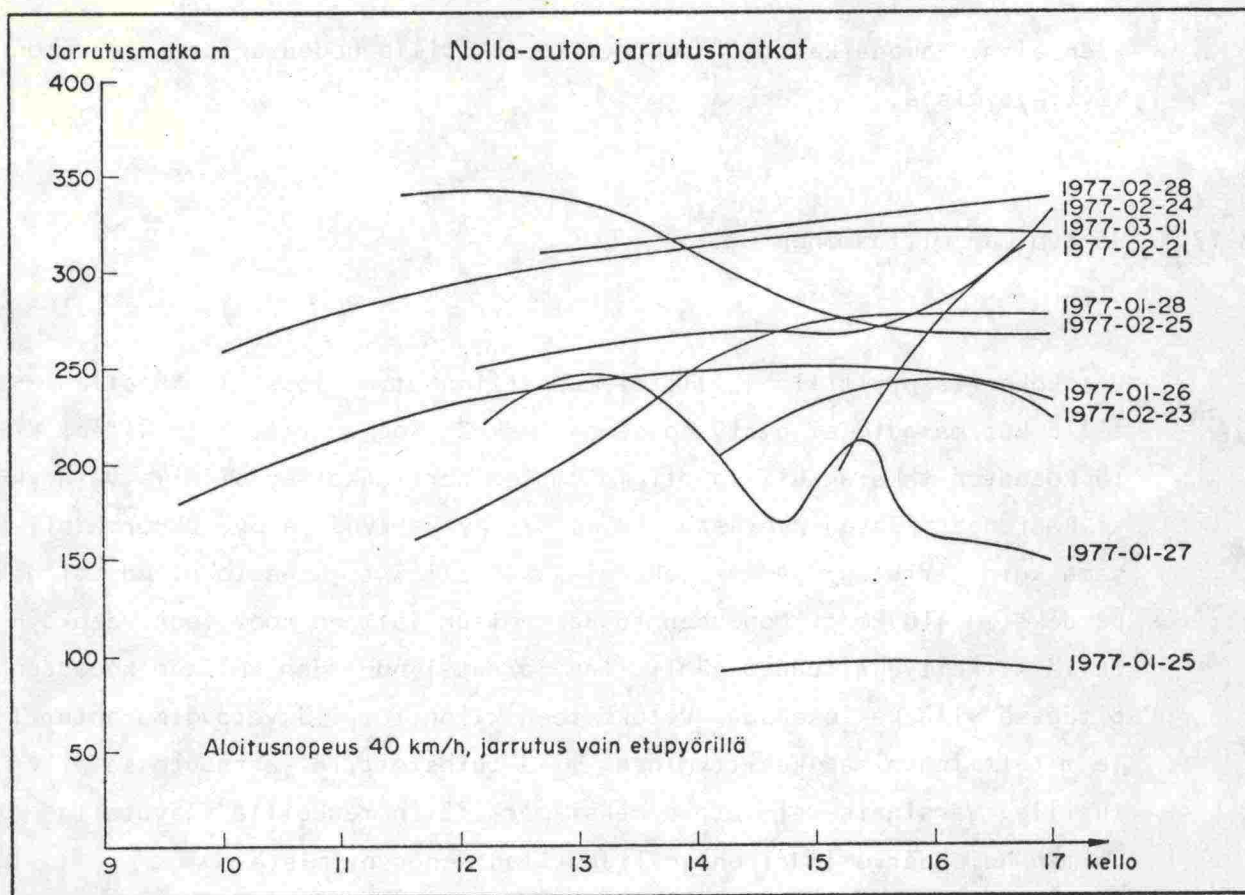
3.2 Koetulokset

3.21 Yleistä

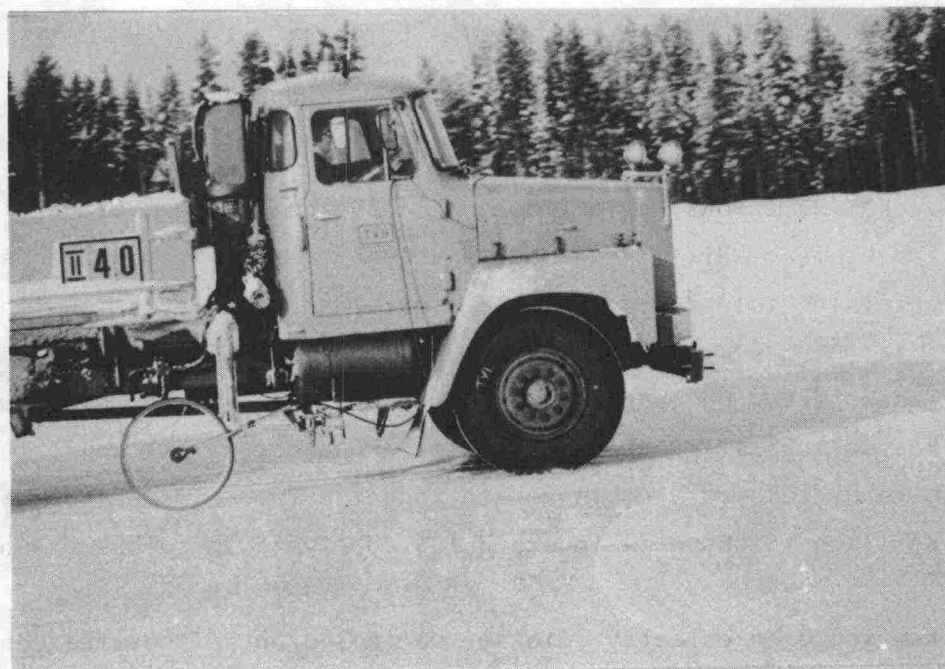
Kokeiden aikana vallinneiden erittäin vaihtelevien keliolosuhteiden vuoksi ei tuloksia ole ilmoitettu absoluuttisina mittaustuloksina vaan indekseinä. Näillä indekseillä voidaan vertailla kokeiden aikana saavutetuista tuloksista laskettua renkaiden suhde-eroa toisiinsa.

Indeksiarvot on laskettu merkitsemällä kesärenkaan tulos kussakin kokeessa 100:ksi. Varsinaiset nastarengaskoetulokset on saatu korjaamalla mitatut tulokset kunkin kokeen kohdalle interpoloidulla kesärenkaan todellisen tuloksen ja indeksiä 100 edellyttävän tuloksen suhteella.

Kuvassa 8 on esitetty tulokset kelin seurantaan suorittaneen ns. nolla-auton jarrutuksista. Näitä tuloksia on käytetty hyväksi kunkin kokeen kohdalle interpoloitua kesärenkaan tulosta määritettäessä.



Kuva 8. Kelin vaihtelut todettiin ns. nolla-auton jarrutuskokeilla.



Kuva 9. Nolla-autona käytettiin kaksiakselista Vanaja-kuorma-autoa. Jarrutusmatkat mitattiin Peiseler-laitteistolla.

3.22 Jarrutus

Jarrutuskokeet tehtiin paljaalla, nastojen karhentamalla jääpinnalla lukkojarrutuksena.

Jarrutusten osalta tulokset ovat tilastollisesti luotettavia, sillä varsinaisten jarrutusmatkojen ollessa suuruusluokaltaan n. 150 m ja eri renkaiden erojen ollessa useita kymmeniä metrejä oli saman rengaskerran hajonta vain muutama metri koekerrassa. Pistovoiman vaikutus renkaan kehittämään kitkaan on raskaiden ajoneuvojen renkaissa varsin selvä päinvastoin kuin henkilöauton renkaiden kohdalla /2,12/. Pelkän pistovoiman vaikutus on esitetty kuvassa 12. Normaalinastoituksen vaikutus jarrutusmatkaindeksiin on parhaimmillaan lähes 40 % ja huonoimmillaan vielä 20 %. Nastamäärän kaksinkertaistamisella on selvä tuloksia parantava vaikutus, mutta ei kuitenkaan siinä määrin kuin ehkä saattaisi uskoa. Tämä johtuu siitä, että normaalissa nastoitustavassa nastat asettuvat jarrutustilanteessa jossain määrin samoihin riveihin, jolloin niiden lukumäärän vaikutus pienenee. Tulokset on esitetty kuvassa 10.

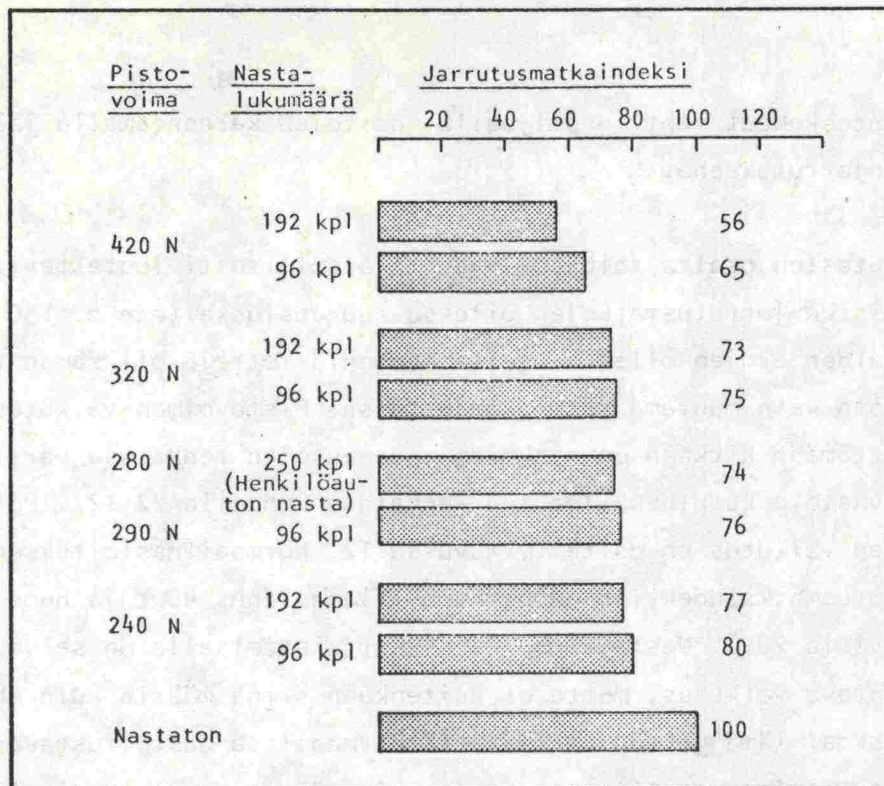
Jarrutuskokeet tehtiin myös kuluneilla renkailla, jotka olivat 45 000 koekilometriä ajettuja Michelin XZZ PR16- ja XMS PR16-renkaita. Tuloksista ilmenee selvästi jo henkilöautokokeissa todettu tosiseikka, että renkaan pito huononee ajokilometriä myötä, vaikka nastaparametrit pysyisivätkin samoina. Tulokset on esitetty indekseinä kuvassa 13.

3.23 Kaarto

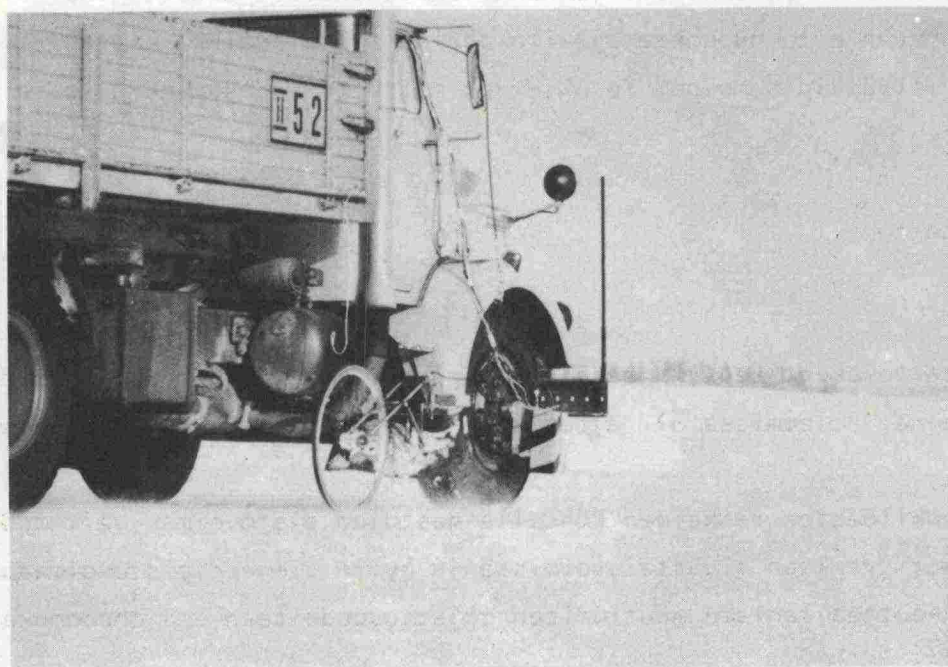
Kaartokokeet tehtiin sekä vakiokaarrekoikeena että vakiokääntökulmakoikeena. Molemmissa oli ajoalustana paljas, nastojen karhentama jääpinta.

Henkilöauton renkaiden kohdalla nastojen pistovoiman vaikutus on selvin juuri renkaan sivuttaisvoimissa ja hyvin pieneen pistovoimaan meneminen aiheuttaa renkaan muuttumisen ohjautuvuudeltaan epä johdonmukaiseksi /2/.

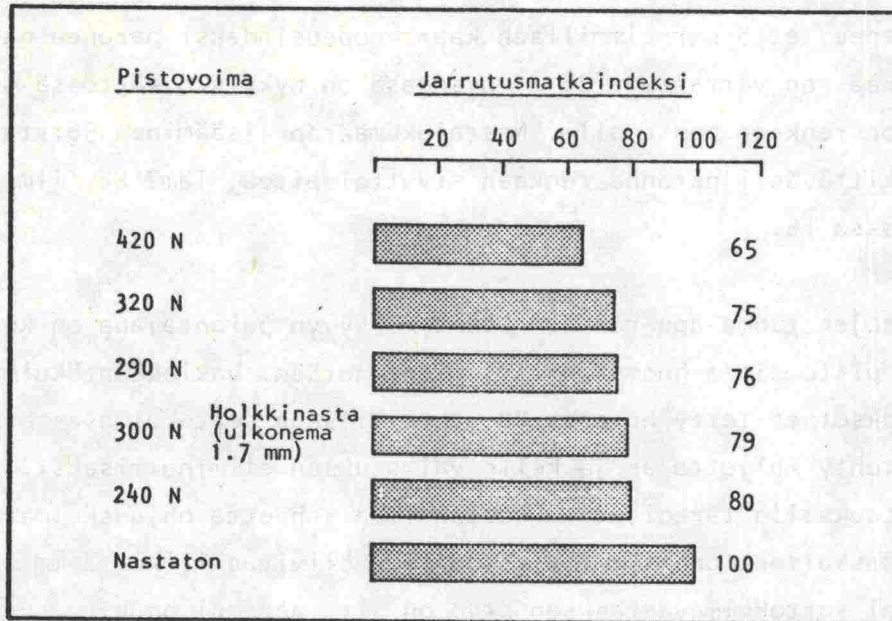
Tilanne on erilainen kuorma-auton renkaissa johtuen suurista pyöräkuor-



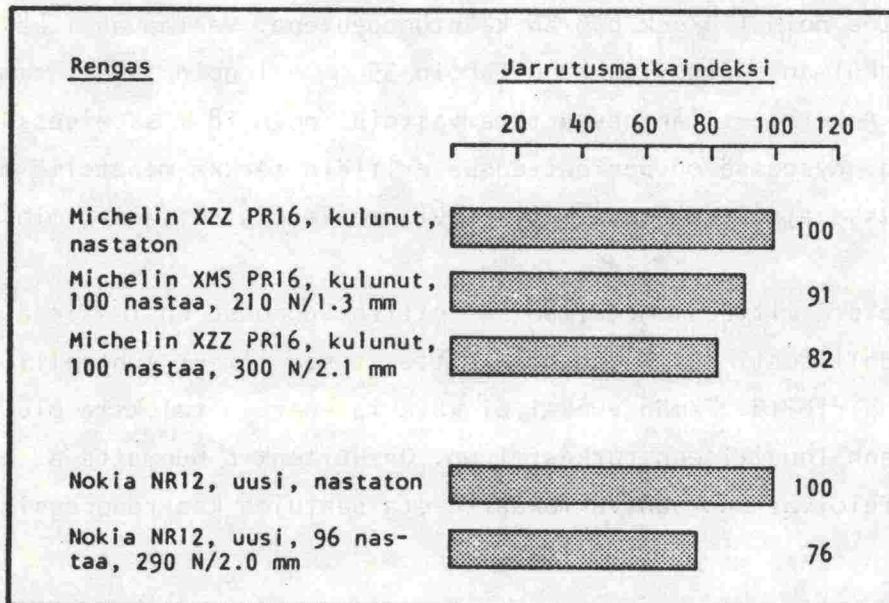
Kuva 10. Nastalukumäärän ja pistovoiman vaikutus keskimääräiseen jarrutusmatkaindeksiin jääpinnalla. Nastaulkonema oli kokeiden alussa kaikissa renkaissa 2.0 mm. Uudet koerenkaat Nokia NR12.



Kuva 11. Nastalukumäärän ja pistovoiman vaikutusta selvittävät jarrutuskokeet suoritettiin kaksiakselisella Sisu-Kontio-autolla. Pyöräkuormana oli 3 t ja jarrutusmatkat mitattiin Peiseler-laitteistolla. Jarrutus suoritettiin vain etupyörillä.



Kuva 12. Pistovoiman vaikutus keskimääräiseen jarrutusmatkaindeksiin jääpinnalla. Nastaulkonema oli Holkkinastaa lukuunottamatta kokeiden alussa 2.0 mm. Nastalukumäärä kaikissa renkaissa 96 kpl. Uudet koerenkaat Nokia NR12.



Kuva 13. Renkaan kulumisen vaikutus jarrutusmatkaindeksiin jääpinnalla. Kuluneita Michelin XZZ- ja XMS-renkaita oli ajettu 45000 km.

mista aiheutuvista korkeista pintapaineista. Nämä ovat keskimäärin viisinkertaiset henkilöauton renkaisiin verrattuna. Tuloksista kuvassa 17 ilmenee, että parhaimmillaan kaarrenopeusindeksi paranee nastattomaan renkaaseen verrattuna 28 %. Kyseessä on nykyisin käytössä oleva kuorma-auton renkaan nastamalli. Nastalukumäärän lisääminen 96:sta 192:een ei merkittävästi paranna renkaan sivuttaispitoa. Tämä käy ilmi tuloksista kuvassa 16.

Nastojen tuoma apu renkaan kääntymiskyvyn parantajana on kyseenalainen, kun pistovoimaa huomattavasti pienennetään. Vakiokääntökulmakokeessa on tulokset esitetty kuvassa 20 suhteellisena sortokulmavastauksena. Näin on tehty kuljettajan ja kelin vaikutuksen eliminoimiseksi. Sortokulmavastauksella tarkoitetaan sortokulman suhdetta ohjauskulmaan. Vertailuohjauskulmana on käytetty ohjauksen välivivun liikettä mm:nä. Mitä pienempi sortokulmavastauksen arvo on sitä parempi on pito renkaan ja alustan välillä. Jos renkaan ja alustan välinen pito on täysin nolla, ei auto muuta pyörien kääntymisestä huolimatta liikesuuntaansa, vaan ns. puskee suoraan. Tällöin sortokulman suuruus on sama kuin pyörän kääntökulma. Jos taas renkaan ja alustan välinen pito olisi ääretön, eli pyörät kulkisivat kiskoja pitkin, olisi sortokulma tällöin nolla.

Kokeissa ohjauksen kääntönopeus oli suuruusluokaltaan 45 mm/sek. Tämä vastaa noin 11° /sek pyörän kääntönopeutena. Vastaavasti käytetyn ohjauskulman suuruusluokka oli noin 55 mm eli noin 14° sisemmällä pyörällä. Ackerman-tilanteessa tämä vastaisi noin 18 m säteisessä ympyrässä ajoa. Kyseessä on periaatteessa erittäin tarkka menetelmä mitata todellisessa ajotilanteessa vallitsevia renkaan sivuttaisvoimia.

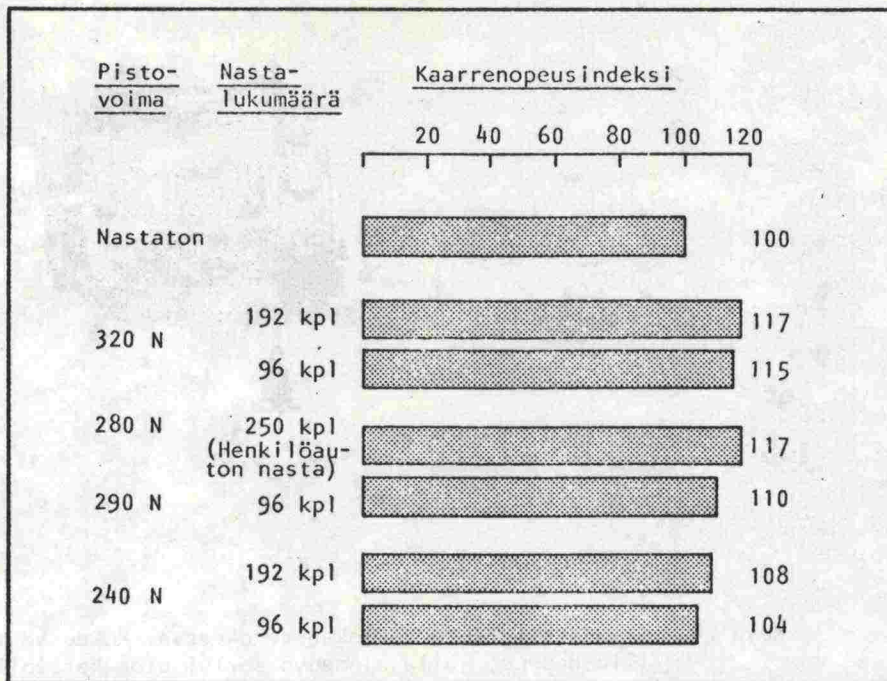
Kyseistä mittausmenetelmää käytettiin Suomessa ensimmäistä kertaa ja mahdollisesti tästä johtuen laitteistossa ilmeni suhteellisen runsaasti häiriöitä. Tämän vuoksi ei kaikkia saatuja tuloksia ole voitu ottaa mukaan lopulliseen tarkasteluun. On kuitenkin huomattava, että tulokset korreloivat suoraan vakiokaarteesta saatujen kaarrenopeusindeksien kanssa.



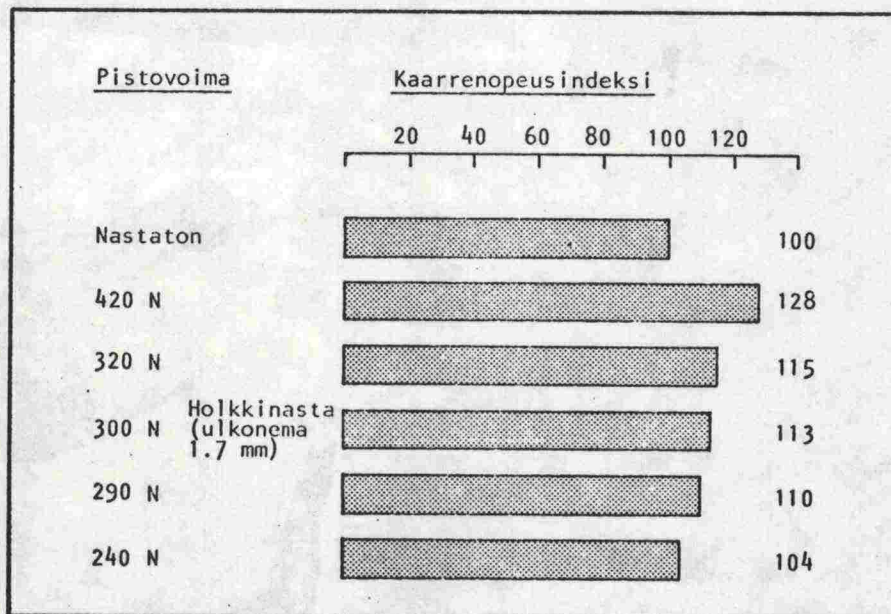
Kuva 14. Sisu-Kontio-auto vakiokaarrekokeessa. Kokeessa mitattiin nopeus, jolla ajoneuvo sortui ulos kartioilla merkitystä kaarteesta.



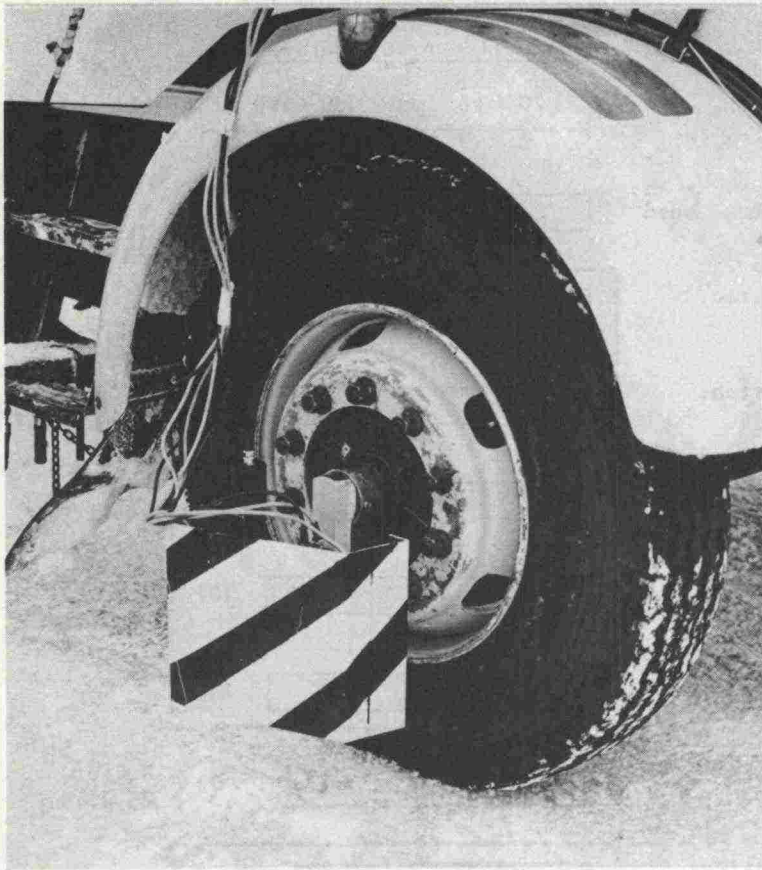
Kuva 15. Nopeuden mittaus suoritettiin kaikissa kokeissa liikennetutkalla.



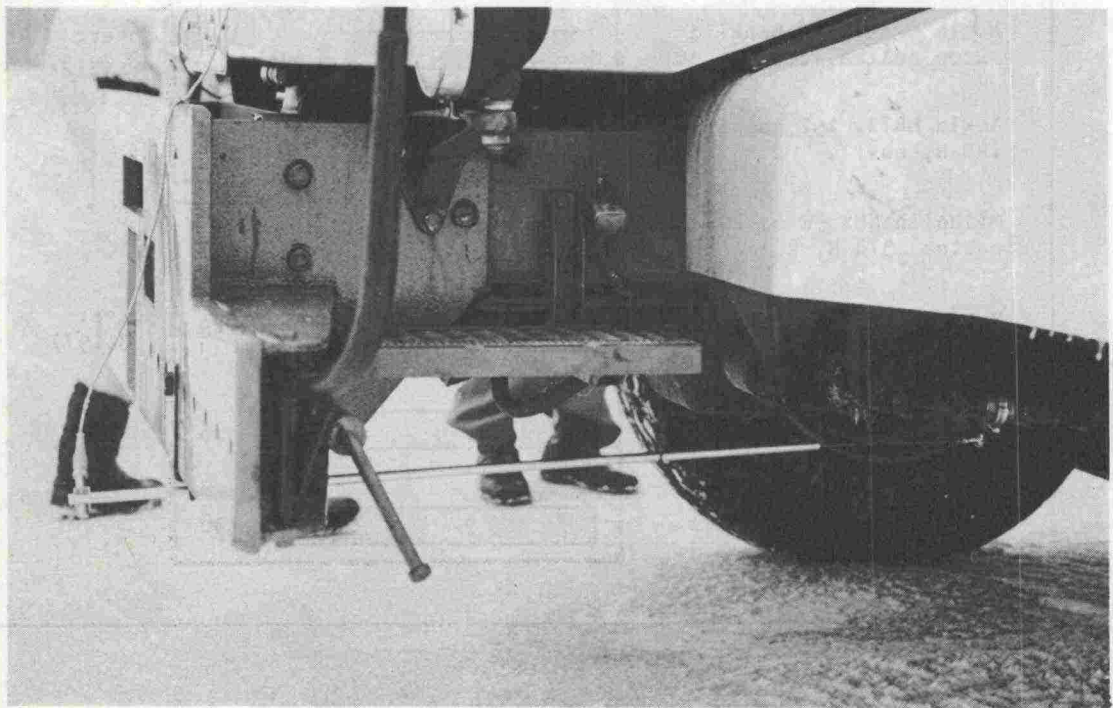
Kuva 16. Nastalukumäärän ja pistovoiman vaikutus keskimääräiseen kaarrenoitusindeksiin jääpinnalla. Nastaulkonema oli kokeiden alussa kaikissa renkaissa 2.0 mm. Uudet koerenkaat Nokia NR12.



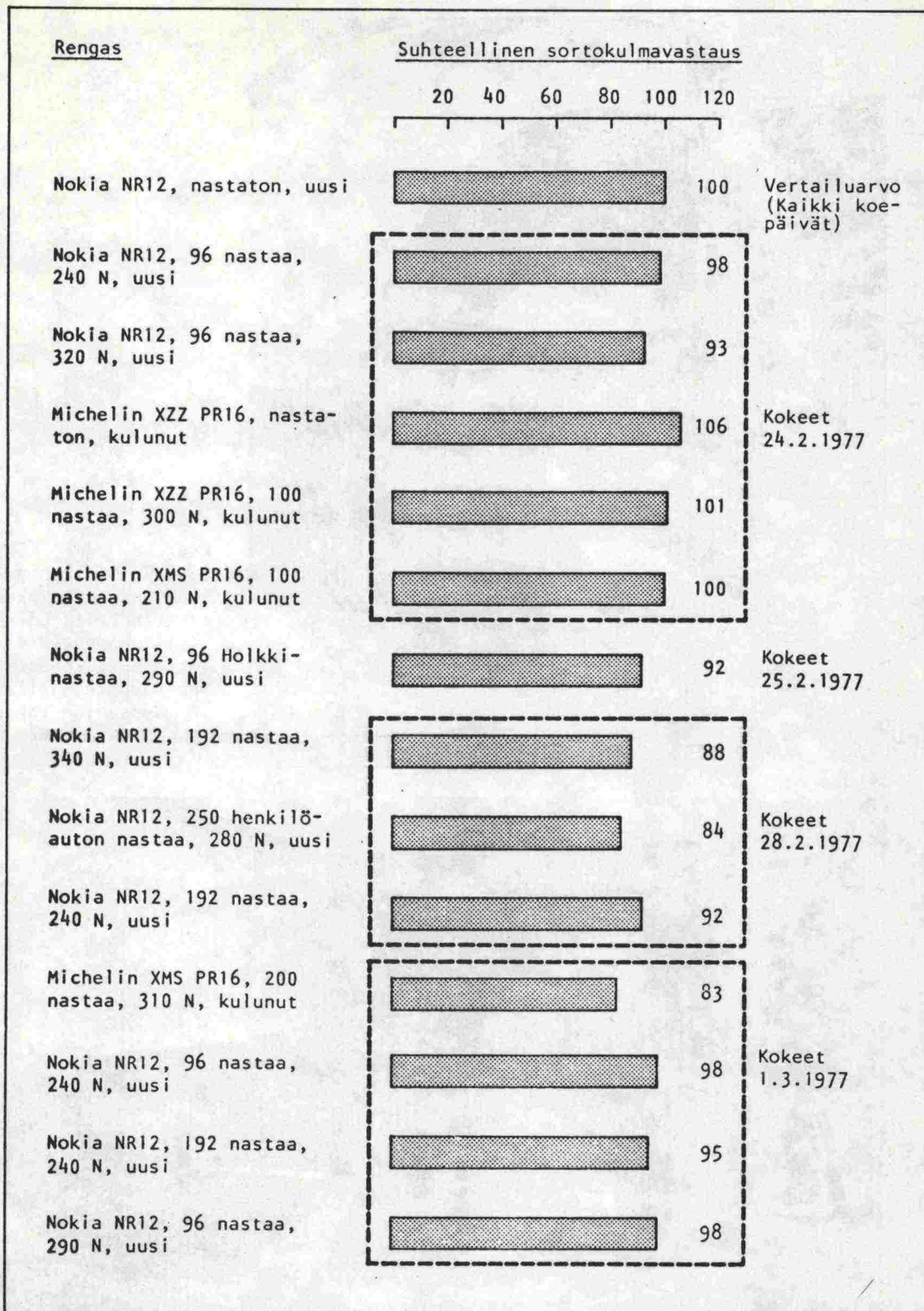
Kuva 17. Pistovoiman vaikutus keskimääräiseen kaarrenoitusindeksiin jääpinnalla. Nastaulkonema oli Holkkinastaa lukuunottamatta kokeiden alussa 2.0 mm. Nastalukumäärä kaikissa renkaissa 96 kpl. Uudet koerenkaat Nokia NR12.



Kuva 18.
Sortokulman syntyminen vakiokääntökulmakokeessa mitattiin Leitz-Correvit-optisilla nopeusmittareilla, jotka ovat kuvassa etupyörän navan kohdalla näkyvän törmäyssuojan takana.



Kuva 19. Pyörän todellinen kääntökulma mitattiin vakiokääntökulmakokeessa induktiivisella siirtymäanturilla, joka oli kiinnitetty ohjauksen väliakseliin.



Kuva 20. Vakiokääntökulmakokeen tulokset.

3.24 Vetovoima

Vetokokeita varten jouduttiin koeajoneuvon painolastia muuttamaan ja tämän vuoksi vetokokeet suoritettiin muusta koeohjelmasta poiketen yöllä. Tämä aiheutti myös sen, että vetokokeissa käytettyjen renkaiden valikoima muodostui olosuhteiden pakosta suppeimmaksi. Painolastin muuttaminen tuli pakolliseksi, koska vetokokeessa jouduttiin yksittäiset koe- renkaat asentamaan ajoneuvon vetävien paripyörien paikalle ja ilman painolastin kevennystä olisi pyörän kuorma ollut huomattavasti suurempi kuin etupyörille järjestetty 3 t, mitä haluttiin pitää tutkittavien renkaiden kuormana.

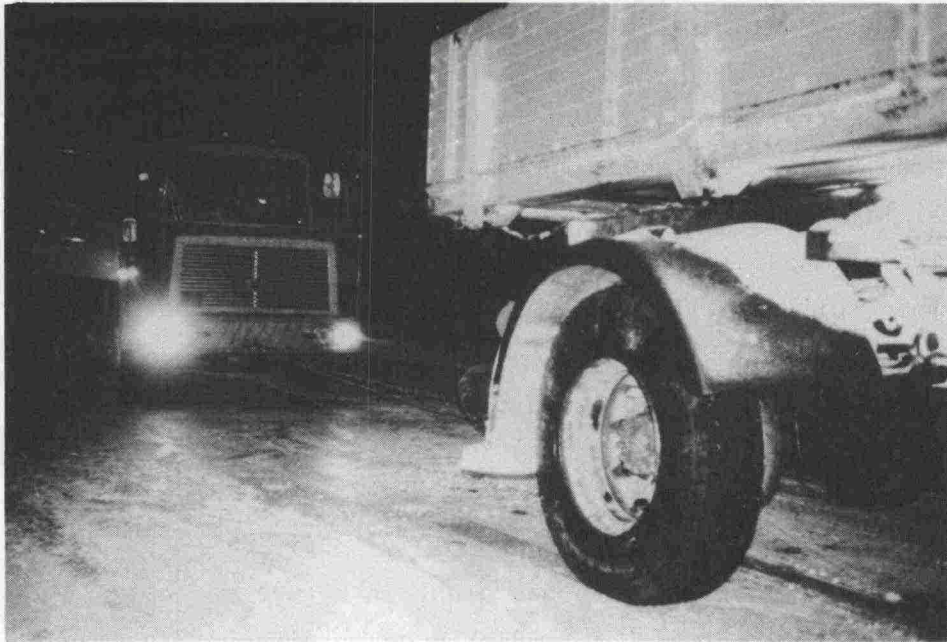
Kokeissa todettiin, että nastarenkaan kitkaa parantava vaikutus oli selvän juuri vetotilanteessa. Pienimmänkin pistovoiman omaava rengas paransi vetovoimaindeksiä 37 %, kun saman renkaan vaikutus kaarrenopeusindeksiin oli vain 4 %. Samaten nastat paransivat tilannetta, kun vetokokeessa pysähtymisen jälkeen lähdettiin uudelleen liikkeelle. Vetokokeen tulokset on esitetty kuvassa 23.

3.3 Johtopäätökset

Kokeisiin ryhdyttäessä odotettiin, että tulokset mahdollisesti olisivat samansuuntaisia kuin henkilöauton renkailla saavutetut. Täältä alueelta on opittu, että nastoilla on suurin vaikutus ajoneuvon renkaan sivuvoimiin /2,12/.

Tulokset kuitenkin osoittivat, että raskaiden ajoneuvojen renkaiden kohdalla suurin hyöty nastojen käytöllä saadaan juuri jarrutus- ja vetovoimissa. Ilmeisesti suurten pintapaineiden vuoksi renkaat pystyvät kehittämään kaartotilanteessa suhteellisen suuria sivuttaisvoimia ilman nastoja liukkaissakin olosuhteissa.

Jarrutuskokeissa nastattoman ja nastallisen renkaan ero on samaa suuruusluokkaa kuin henkilöauton renkailla. Tilannetta nastattomalla raskaalla renkaalla pahentaa kuitenkin juuri suuri pintapaine, joka tehdyn kitkatyön kanssa aiheuttaa renkaan kulutuspinnan voimakkaan kuumenemisen.



Kuva 21. Vetokokeessa käytettiin kuorma-auton taka-akselilta yksittäisiä koerenkaita. Pyöräkuorma oli 3 t kuten eturenkaillakin suoritetuissa jarrutus- ja kaarto- kokeissa.



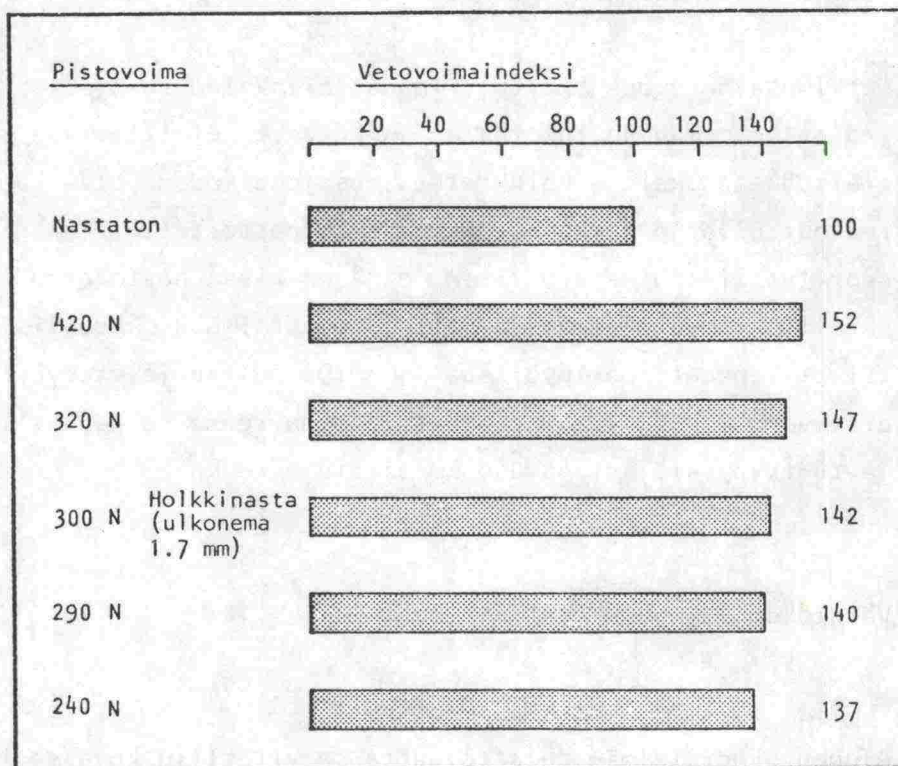
Kuva 22. Vetovoima mitattiin jarruautoon kiinnitetyllä venymäliuska-anturilla.

Renkaan kulutuspinnan alle syntyvä vesikalvo oli helposti havaittavissa. Kyseinen ongelma haittasi ajoneuvojen liikkeellelähtöä erityisesti vetokeissa.

Kuumeneminen oli niin voimakasta, että lumipolanteella aloitetut jarrutuskokeet jouduttiin keskeyttämään, koska ensimmäisissä kokeissa jarruttavan rengaskerran kulutuspinna suli syntyneestä lämmöstä. Sulaminen ilmeni renkaan kulutuspinnaan tulleina pysyvinä muodonmuutoksina.

Mikäli maantiellä vallitsevat samanlaiset olosuhteet kuin nyt kokeiden aikana, on tilanne tiellä vaikeampi. Tämä johtuu siitä, että tien kallistumista ei voitu ottaa huomioon kokeita tehtäessä.

Ajettuja renkaita ehdittiin kokeilla vähemmän kuin uusia, mutta selväksi tuli pitokyvyn huononeminen joka tilanteessa uuteen renkaaseen verrattuna. Tilanne on sama, vaikka esimerkiksi nastaparametreista ulkonema ja lukumäärä pysyisivät samoina. Pistovoiman lasku ajokilometri-määrän kasvaessa tuli selvästi esiin. Tuloksia tarkasteltaessa ei siis raskaankaan renkaan kohdalla voida pitäytyä pelkästään uusien renkaiden antamiin koetuloksiin.



Kuva 23. Pistovoiman vaikutus keskimääräiseen vetovoimaindeksiin jääpinnalla. Nastaulkonema oli Holkinastaa lukuunottamatta kokeiden alussa 2.0 mm. Nastalukumäärä kaikissa renkaissa 96 kpl. Uudet koerenkaat Nokia NR12.

4. NASTARENKAIDEN VAIKUTUS AJONEUVOYHDISTELMÄN HALLITTAVUUTEEN

4.1 Ajokokeet

4.11 Kokeiden tarkoitus

Ajokokeiden tarkoituksena oli selvittää, millä tavoin nastarenkailla ja nastattomilla renkailla muodostetut erilaiset vaihtoehtoiset rengastukset vaikuttavat raskaan ajoneuvoyhdistelmän ohjattavuuteen ja jarrutettavuuteen. Kokeet suoritettiin nastarenkaiden karheuttamalla jääpinnalla.

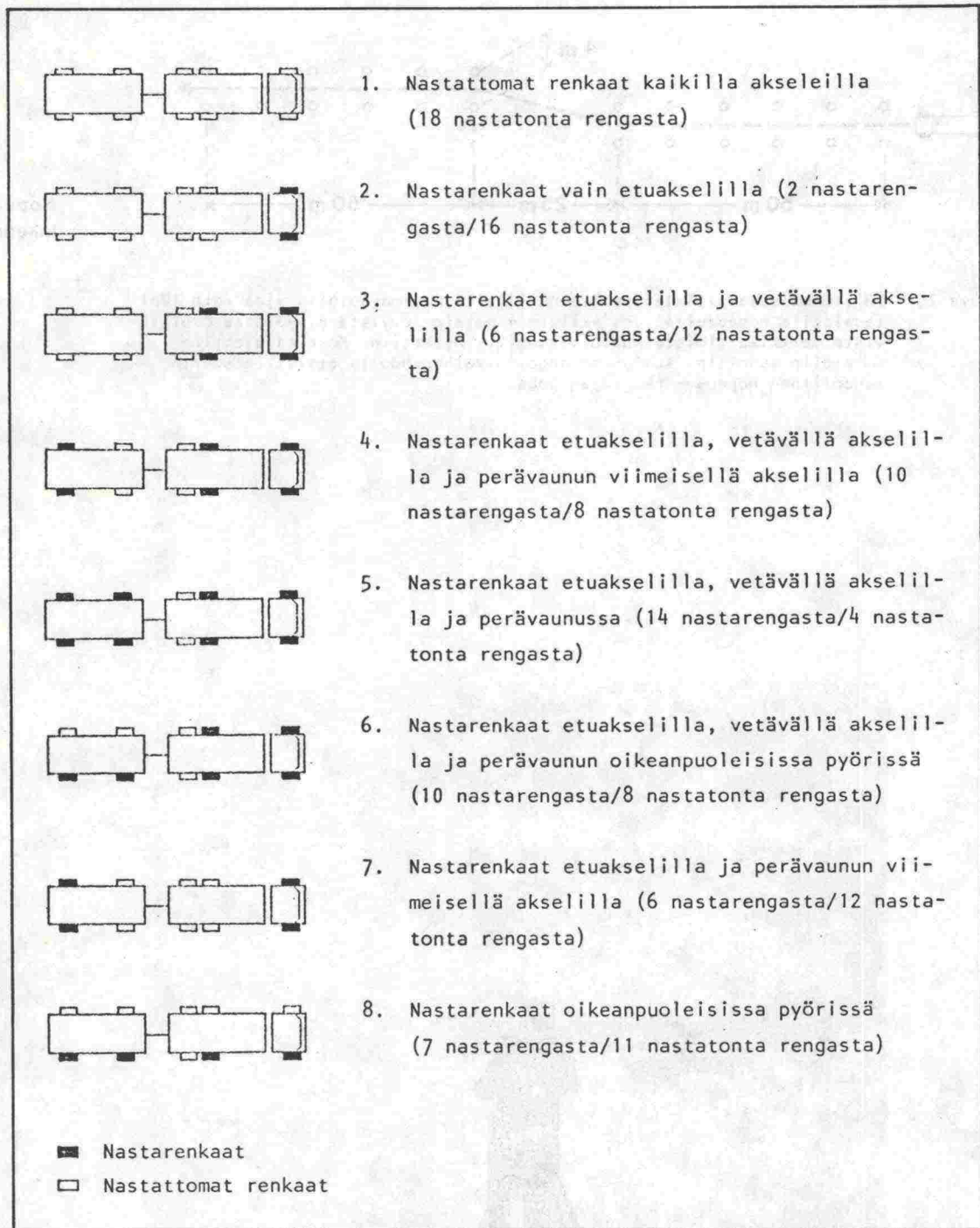
4.12 Koeajoneuvo ja koerenkaat

Eri rengastusvaihtoehtoja tutkittiin täysperävaunullisella 19 m pitkällä Sisuprotypypikuorma-autolla. Ajoneuvoyhdistelmän kokonaispaino oli tutkimuksen aikana 42 tonnia. Tutkittavana oli kaikkiaan 8 erilaista rengastusvaihtoehtoa, jotka on esitetty kuvassa 24.

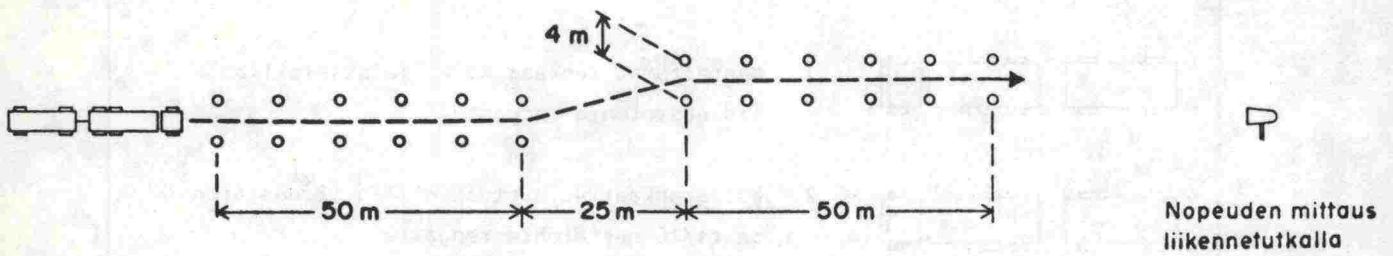
Tutkimusajoneuvossa käytettiin nastarenkaina samoja renkaita kuin nastojen pistovoiman ja lukumäärän vaikutusta selvittävissä kokeissa, joten eräissä tapauksissa kaikki tutkimusajoneuvossa yhtäaikaan käytetyt nastarenkaat eivät olleet yhdenmukaisesti nastoitettuja. Renkaiden valinta suoritettiin kuitenkin siten, että kaikissa nastarenkaallisissa pyörisissä oli pistovoimiltaan ja nastalukumäärältään mahdollisimman samankaltaiset renkaat (paripyörisissä 96 + 192 nastaa ja etupyörisissä 96 nastaa, pistovoimat 290...420 N). Nastattomina renkaina käytettiin Michelin X ja XB-tyyppisiä, n. 40.000 km ajettuja renkaita.

4.13 Väistökoee

Ajneuvoyhdistelmän ohjattavuutta selvitettiin kuvassa 15 esitetyllä väistökokeella. Tarkoituksena oli hakea suurin ajonopeus nk. rajanopeus, jolla tutkimusajoneuvo oli mahdollista ohjata hallitusti 25 metrin matkalla menosuunnassa 4 metriä alkuperäisestä ajolinjastaan sivuun. Jotta



Kuva 24. Täysperävaunullisella kuorma-autolla suoritetuissa kokeissa käytetyt rengastusvaihtoehdot.



Kuva 25. Väistökokeessa piti täysperävaunullisella kuorma-autolla ajaa rata läpi tasaisella nopeudella. Jos yksikin 4 metrin levyistä ajokaistaa osoittavista merkkikartioista kaatui, suoritus hylättiin. Kokeita ajettiin molempiin suuntiin. Kullakin rengastusvaihtoehdolla etsittiin suurin mahdollinen nopeus - nk. rajanopeus.



Kuva 26. Täysperävaunullisella kuorma-autolla suoritettavat väistö- ja jarrutuskokeet tallennettiin kuvanauhalle myöhempiä tarkistusta varten.

suoritus voitiin hyväksyä, sen tuli tapahtua merkityn 4 metriä leveän ajokaistan sisällä. Nopeuden mittausta tapahtui liikennetutkalla.

Koejärjestelyillä jäljiteltiin tilannetta, jossa raskaalla ajoneuvolla ei ole aikaa jarruttaa välttääkseen törmäämisen äkillisesti eteen ilmestyneen ajoneuvon kanssa. Tällöin jää ainoaksi mahdollisuudeksi väistäminen, mikä puolestaan pitäisi tapahtua siten, että vastaantulevallekin liikenteelle jää tilaa eikä esim. poikittain heilahtanut perävaunu estä sivuutusmahdollisuutta.

4.14 Jarrutuskoe

Ajoneuvoyhdistelmän jarrutettavuutta tutkittiin suorittamalla tehokas jarrutus 50 km/h alkunopeudesta ja mittaamalla pysähtymismatka Peiselmittalaitteistolla. Alkunopeus mitattiin liikennetutkalla ja ilmoitettiin radiopuhelimella koeauton kuljettajalle.

Jotta ajoneuvoa voitaisiin hallita liukkaalla kelillä tapahtuvan jarrutuksen aikana, on jarrupoljin ajoittain vapautettava. Tällöin paineilmajärjestelmän lukitsevat pyörät pääsevät pyörimään ja kehittämään ohjaamiseen tarvittavan sivuvoiman. Paljonko pyörien on koko jarrutustapahtuman aikana annettava pyöriä vapaasti, riippuu kuljettajasta, renkaiden ja tienpinnan välisestä kitkasta sekä jarrutusjärjestelmän kunnosta ja säädöistä.

Suoritetuissa jarrutuskokeissa pyrittiin kuljettajasta johtuvaa hajontaa pienentämään antamalla jarrutuksen kuluessa kuljettajalle nauhurilla ohjeet jaksottaisesta jarrupolkimien painamisesta ja vapauttamisesta. Jaksoitus oli esikokeilla haettu mahdollisimman sopivaksi tutkimusajoneuvon jarrujärjestelmälle ja vallitseviin keliolosuhteisiin.

Sekä jarrutus- että väistökokeiden suoritus tallennettiin kuvanauhalle jälkitarkastelua varten. Tämän lisäksi kirjattiin muistiin kunkin koe-suorituksen yhteydessä huomiot ajoneuvoyhdistelmän käyttäytymisestä.

Käytännössä kokeet olivat erittäin hitaita suorittaa. Raskasta ajoneuvoa oli kiihdytettävä useita satoja metrejä riittävän alkunopeuden saavutta-

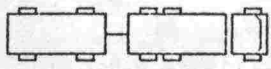

miseksi ja renkaiden vaihtoihin kului runsaasti aikaa eri koesarjojen välillä.

4.2 Koetulokset

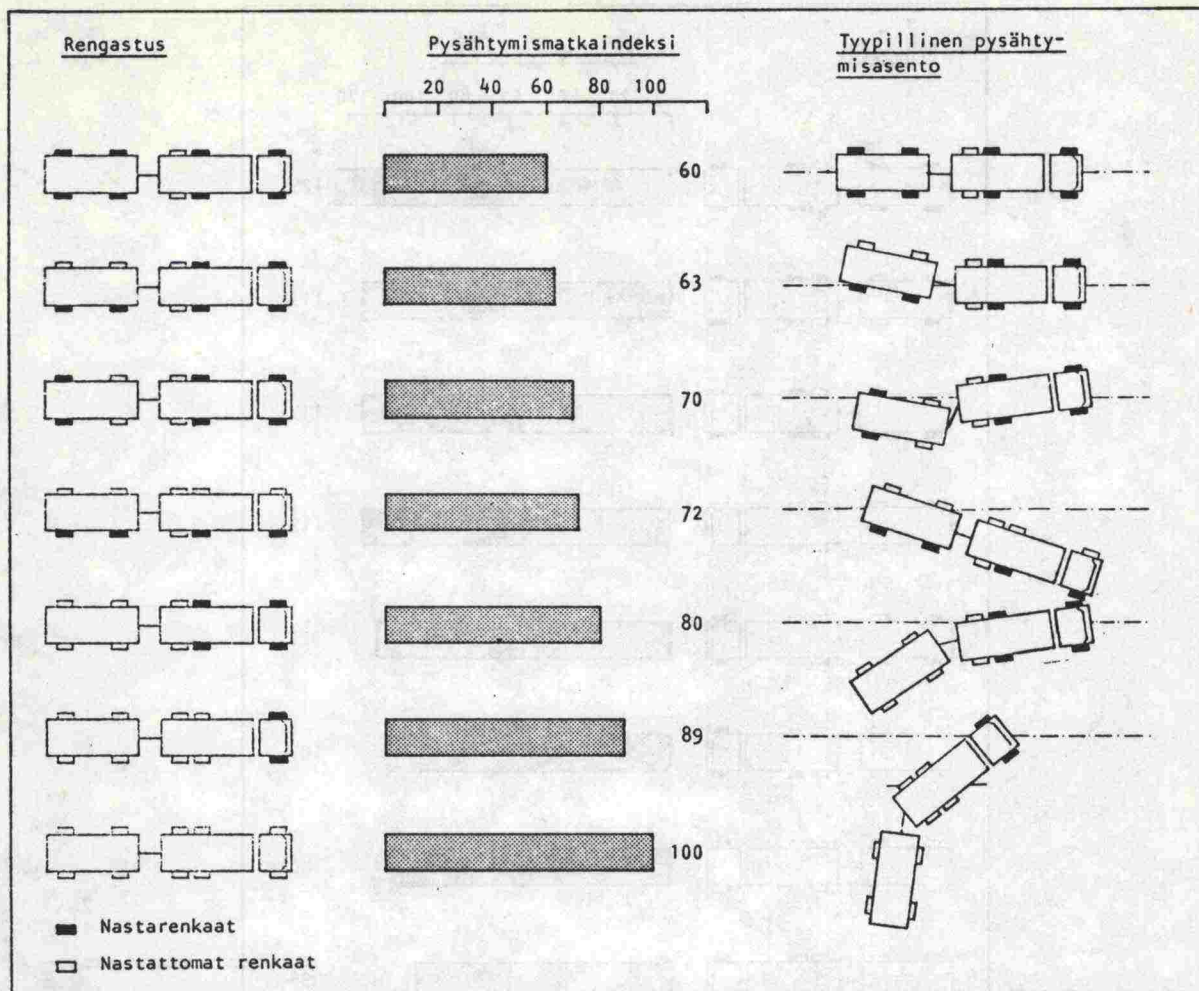
Tutkimuksen aikana vallinneiden voimakkaiden kelivaihteluiden ja eri koesarjojen välillä olleiden väliaikojen vuoksi voidaan ainoastaan muuttaman perättäisen sarjan absoluuttisia tuloksia verrata keskenään. Tämän vuoksi, aivan kuten nastojen pistovoiman ja lukumäärän vaikutusta selvitettyäessä, on lopulliset tulokset laskettu eri olosuhteissa mitattujen tulosten perusteella indekseiksi, jotka ilmoittavat eri rengastusvaihtoehtojen keskimääräistä suhde-eroa toisiinsa. Nämä tulokset on esitetty kuvissa 27 ja 29. Indeksilukua 100 vastaavat ne tulokset, jotka on saatu ajoneuvoyhdistelmän kaikkien renkaiden ollessa vastattomia. Kuvassa 20 on myös esitetty ajoneuvoyhdistelmän tyypillinen pysähtymisasento jarrutuksen jälkeen. Mitä enemmän ajoneuvoyhdistelmä oli poikennut ajosuunnasta sitä vaikeampi jarrutustapahtumaa oli ollut hallita.

Keliolosuhteiden aiheuttama absoluuttisten koetulosten hajonta ilmenee taulukosta 1, johon on valittu pitokyyvyltään huonoimmilla ja parhaimmilla rengastuksilla mitattujen tulosten vaihteluvälit.

Taulukko 1. Tulosten vaihtelu täysperävaunullisella kuorma-autolla suoritetuissa kokeissa eri keleillä

Rengastus	Havaitut keskimääräiset pysähtymismatkat jarrutuskokeissa ¹⁾	Lasketut keskihi-dastuvuudet jarrutuskokeissa	Rajanopeudet väistökokeessa
	170...260 m	0.058...0.038 g	39...50 km/t
	115...145 m	0.085...0.068 g	50...59 km/t

¹⁾ Yhden yhtäjaksoisen koesarjan (4-7 koetta) keskiarvo



Kuva 29. Täysperävaunullisen kuorma-auton pysähtymismatkaindeksit ja tyypilliset pysähtymisasennot tehokkaan jarrutuksen jälkeen jääpinnalla. Täysin nastarenkaattomassa vaihtoehdossa (pysähtymismatkaindeksi=100) pysähtymisasento oli hyvin vaihteleva, ja ajoneuvo ajautui usein voimakkaasti sivuun jarrutuslinjasta.



Kuva 30. Koeajoneuvo pysähtymisasennossa jarrutuskokeen päätteeksi. Kyseessä on kuvan 24 mukainen rengastusvaihtoehto 6 (pysähtymismatkaindeksi 63).

Tärkeimmät havainnot eri rengastusvaihtoehdoista olivat:

- Tutkimuksen aikana vallinneissa erittäin liukkaissa keliolosuhteissa oli ajoneuvoyhdistelmän hallitseminen ilman nastarenkaita vaikeaa. Asia korostui erityisesti jarrutustilanteissa.
- Varustamalla pelkästään etupyörät nastarenkain saavutetaan parempi kääntyvyys, mutta koko yhdistelmän hallittavuus ei parane jarrutuksessa. Väistökokeessa vetoauto kyllä ohjautui eturenkaiden pienemmällä kääntökulmalla, mutta vetoauton takaosa näytti joutuvan erityisen herkästi sivuttaiseen liukuun, mikä puolestaan "veti perässään" perävaunun etuosan. Koko liikesarjan päätiti muusta liukumisesta seurannut perävaunun takaosan raju heilahdus sivuun, mikä yleensä oli syynä koeradun reunaa osoittaneiden merkkikartioiden kaatumiseen ja suorituksen hylkäämiseen.
- Liikesarja oli jokseenkin samanlainen myös pelkästään nastattomilla renkailla, mutta vetoauto ei kääntynyt yhtä herkästi, mikä puolestaan ei saattanut vetoauton takaosaa yhtä helposti sivuttaiseen liukuun. Tämän vuoksi pystyttiin väistökoee suorittamaan nastattomin renkain suuremmalla nopeudella kuin sellaisella rengasyhdistelmällä, jossa eturenkaat oli nastoitettu ja muut nastattomia.
- Lisäämällä etupyörien lisäksi nastarenkaat perävaunun viimeiselle akselille pystyttiin väistökoee suorittamaan selvästi suuremmalla nopeudella kuin ilman nastarenkaita, koska perävaunun sivuunheilahtamistaipumus rauhoittui olennaisesti. Jarrutustilanteessa tällainen rengasyhdistelmä oli kuitenkin vaikea, koska vetovauunun takaosa ja perävaunun etuosa pyrkivät työntymään voimakkaasti sivulle. Yritysten epäonnistumisen vuoksi ei tällä vaihtoehdolla saatu riittävästi mittauksia pysähtymismatkasta indeksin laskemiseksi.
- Käytettäessä nastarenkaita vetoauton sekä etu- että vetävissä pyörissä parantui koko ajoneuvoyhdistelmän hallittavuus olennaisesti. Jos tällaisessa tapauksessa käytettiin perävaunussa pelkästään nastattomia renkaita, joutui perävaunu herkästi jyrkkään sivuttaiseen liukuun sekä väistö- että jarrutustilanteissa, mikä väistökokeessa laski rajanopeutta huomattavasti.

- Kun perävaunussa käytettiin myös nastarenkaita, rauhoittuivat perävaunun sivuttaiset liikkeet olennaisesti. Paras vaihtoehto oli luonnollisesti nastarenkaiden käyttäminen kaikissa pyörissä. Käytettäessä nastarenkaita perävaunussa vain rajoitetusti, vaikutti nastarenkaiden käyttö pelkästään toisen sivun (oikean) pyörissä paremmalta vaihtoehdolta kuin nastarenkaiden käyttö pelkästään taka-akselilla. Kun vain taka-akselilla oli nastarenkaat, seurasi tästä perävaunun etuosan työntyminen sivuun sekä väistö- että jarrutustilanteessa. Tämän seurauksena ajautui koko perävaunu kulkusuunnassa vetoauton linjasta sivuun, jolloin perävaunu usein "työnsi" vetoauton takaosaa sivuun.
- Kun nastarenkaita käytettiin pelkästään ajoneuvoyhdistelmän toisella sivulla, pyrki koko yhdistelmä jarrutustilanteissa kääntymään kulkusuuntaansa nähden poikittain ja ajautumaan sivuun jarrutuslinjastaan.

4.3 Johtopäätökset

Sekä väistö- että jarrutuskokeissa havaittiin, että nastarenkaat parantavat olennaisesti täysperävaunullisen ajoneuvoyhdistelmän hallittavuutta. Mitä useammalle akselille oli asennettu nastarenkaat sitä helpompi oli ajoneuvoa koetilanteessa hallita.

Kokeissa kävi myös ilmi, että liukkaalla kelillä saattavat raskaan kaluston pysähtymismatkat muodostua erittäin pitkiksi. Jos arviointiperusteena käytetään 50 km/h:n aloitusnopeudesta saavutettua keskimääräistä jarrutushidastuvuutta, on johtopäätös se, että täysin nastoittamattomin renkain varustettu täysperävaunullinen kuorma-auto vaatii jääpinnalla täydellä kuormalla 80 km/h nopeudesta 430...670 m matkaa pysähtyäkseen. Jos vetoauton vapaasti pyörivää teliakselia lukuunottamatta on muille akseleille asennettu nastarenkaat, niin pysähtymismatka vastavissa olosuhteissa on 290...370 m. Käytännössä saattaisi pysähtymismatka varsinkin nastarenkaattomassa tapauksessa venyä vielä pitemmäksi, koska ajoneuvoyhdistelmän pitämiseksi tiellä voidaan jarrutusta tuskin suorittaa yhtä tehokkaasti kuin koeolosuhteissa lentokentällä.

Jarrutuskokeissa mitattujen keskimääräisten hidastuvuuksien vaihtelu eri

rengastusvaihtoehdoilla ja eri keliolosuhteissa oli 0.038...0.085 g. Koska pääteillä voi poikkeuksellisesti esiintyä 6 %:n ja muilla teillä jopa 10 %:n pituuskaltevuuksia (vastaavat maan vetovoimasta aiheutuvat kiihtyvyysskomponentit 0.06 g ja 0.1 g) merkitsee tämä käytännössä, että tieverkolla on kohtia, joissa raskasta ajoneuvoyhdistelmää on mahdotonta pysäyttää jos keliolosuhteista johtuva kitkataso on yhtä alhainen kuin koetilanteessa. Tällöin myös tien sivukaltevuus, joka käytännössä on 2.5...7 %, vaikeuttaa olennaisesti tiellä pysymistä.

5. YLEISET JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARVE

Suoritetuissa ajokokeissa havaittiin, että nastarenkaiden käyttö raskaissa ajoneuvoissa parantaa olennaisesti ajoneuvojen hallittavuutta liukkaalla jääpinnalla. Tehtyjen onnettomuus selvitysten valossa vaikuttaa puolestaan siltä, että kuorma- ja linja-autojen onnettomuusriski kasvaa liukkaan kelin johdosta jonkin verran enemmän kuin keskimäärin kaikkien ajoneuvojen onnettomuusriski. Tällä perusteella nastarenkaiden käyttöä raskaissa ajoneuvoissa liukkaalla kelillä ajettaessa voidaan pitää suositeltavana.

Täysperävaunullisessa ajoneuvoyhdistelmässä nastarenkaita ei pitäisi sijoittaa pelkästään yhdistelmän ohjaavalle etummaiselle akselille vaan myös vetävälle akselille, jolloin koko yhdistelmän hallittavuus selvästi paranee. Hallittavuus paranee edelleen, jos nastarenkaita käytetään myös perävaunussa, koska perävaunun sivusuuntaiset liikkeet sekä jarrutettaessa että kaarrettaessa tulevat vähäisemmiksi. Mitä useammalla akselilla on nastarenkaita sitä paremmaksi tilanne hallittavuuden kannalta muodostuu. Jos perävaunun kaikkiin pyöriin ei haluta asentaa nastarenkaita, vaikuttaa paremmalta vaihtoehdolta nastarenkaiden sijoittaminen pelkästään ajoradan reunan puoleisiin pyöriin kuin niiden sijoittaminen yhdelle, esimerkiksi taaimmaiselle akselille.

Tutkimuksen yhteydessä ei suoritettu ajokokeita puoliperävaunullisella ajoneuvoyhdistelmällä, joka ajokäyttäytymiseltään poikkeaa jonkin verran täysperävaunullisesta yhdistelmästä. On syytä olettaa, että täysperävaunullisella ajoneuvoyhdistelmällä suoritettujen kokeiden perusteella tehtyjä johtopäätöksiä voidaan melko hyvin soveltaa myös puoliperävaunullisen ajoneuvoyhdistelmän tapaukseen. Näin ollen uusia tutkimusresursseja ei kannata suunnata enää samantapaisten kokeiden suorittamiseen puoliperävaunullisella yhdistelmällä. On myös huomattava, että nykyisten kehitysnäkymien valossa täysperävaunulliset yhdistelmät ovat tulossa yhä vallitsevammaksi kuljetuskalustoksi.

Nastojen pistovoiman ja lukumäärän vaikutuksen selvittämiseksi suoritettiin runsaasti kokeita perävaunuttomilla kuorma-autoilla. Käytettävissä olleen ajan ja kaluston puitteissa ei ollut kuitenkaan mahdollisuutta tutkia, kuinka erilaisten rengastusten käyttö näissä ajoneuvoissa vai-

kuttaa jarrutettavuuteen ja ohjattavuuteen. On varsin yleistä, että raskaissa ajoneuvoissa ainoastaan etuakselilla käytetään nastarenkaita. Tämän vuoksi olisi syytä vielä tarkemmin selvittää, millä tavoin kaksi- ja kolmiakseliset raskaat ajoneuvot muttavat ajokäyttäytymiseltään mainittuun etupyöränastoitukseen verrattuna, kun nastarenkaita ei käytetä lainkaan tai kun myös vetävissä pyörissä käytetään nastarenkaita.

Nastojen pistovoiman pienentäminen huonontaa renkaan pitokykyä. Erittäin pienipistovoimaisillakin nastoilla (n. 240 N) saavutetaan kuitenkin selvästi parempi pitokyky kuin ilman nastoja. Kokeissa käytettiin pääasiassa kahta nastalukumäärää rengasta kohden: 96 ja 192 kpl. Ero pitokyvissä suuremman nastalukumäärän hyväksi oli varsin vähäinen, joten sen käyttämisestä ei voi käytännössä perustella paremman pitokyvyn saavuttamisella. Nastalukumäärä riippuu myös jossain määrin renkaan kulutuspinnan kuvioinnista, mutta ilmeisesti 90...110 nastaa kokeissa käytetyn kokoisessa renkaassa on varsin sopiva lukumäärä.

Kuluneilla renkailla suoritettut kokeet osoittivat, että renkaan pitokyky huononee käyttökilometrien kasvaessa. Kuluneen renkaan pitokyky on kaikissa tilanteissa huonompi kuin uuden, vaikka nastaulkonemat ja nastojen lukumäärä pysyisivät samoina.

Henkilöauton nastoilla (pistovoima 280 N, lukumäärä 250) nastoitettu kuorma-auton rengas oli pitokyvyltään parempi kuin kuorma-auton nastoilla (pistovoima 320 N, lukumäärä 96) nastoitettu rengas. On kuitenkin huomautettava, että voimassa olevien määräysten puitteissa kuorma-auton renkaassa saa käyttää 250 nastaa, jos pistovoima ei ole suurempi kuin 15 kpl (147 N). Koerenkaissa käytetty henkilöautonnasta antaa useimmissa henkilöauton renkaissa sallitun pistovoiman, mutta tässä tapauksessa kuorma-auton renkaan kovan kumiseoksen vuoksi nousi pistovoima huomattavasti suuremmaksi.

Kokeiden suorituspaikat olivat erittäin liukkaita. Tiestöllä talviaikaan tapahtuvista kitkavaihteluista ja liikennesuoritteista eri keleillä ei ole valitettavasti käytettävissä riittävästi tietoja. On siis vaikea esittää arviota siitä, kuinka suuri osa raskaiden ajoneuvojen liikennesuoritteesta tapahtuu sellaisella kelillä, joka liukkaudeltaan vastaa koeolosuhteita. Tämä edellyttäisi koko maan kattavan selvityksen tekemistä liikennesuoritteen jakautumisesta ajoneuvoryhmittäin eri keleille. Kyseistä tehtävää onkin pidettävä kiireellisenä, sillä myös monet

muut näkökohdat kuten esimerkiksi kunnossapitotoiminnan ja teiden päällysrakennetekniikan kehittämisen edellyttävät sen suorittamista.

Raskaat ajoneuvot joutuvat aikataulu- ym. syiden vuoksi talviaikaan liikkumaan ajoittain jäisillä tieosilla. Tällöin kuljettajalta edellytetään tarkkaa liikennetilanteiden ennakointia sekä tien kaltevuuksien huomioon ottamista. Jos liukkaudentorjuntatoimenpiteitä ei ole suoritettu, nastarenkaat ovat eräs tehokas keino parantaa ajoneuvon hallittavuutta ja helpottaa näin kuljettajan tehtävää.

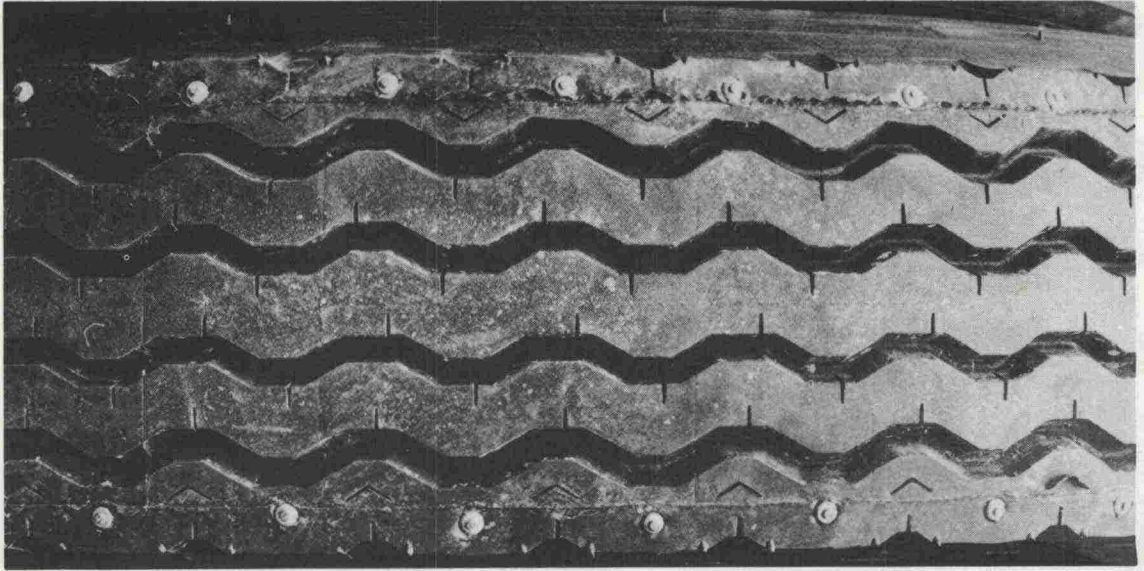
KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ Oy Airam Ab Kometa-tehtaat: "Tutkimus raskaan renkaan tieystävällisemmistä nastoista", Espoo 1976.
- /2/ Grönfors, T: "Tutkimus nastarenkaista ja nastan pistovoimasta", Diplomityö TKK, Espoo 1975.
- /3/ Nastarengastoimikunnan mietintö, komiteamietintö 1973:89. Helsinki 1973.
- /4/ Neste Oy, tutkimuskeskus: "Pyöräkuorman, pistovoiman ja ajoneuvojen vaikutus asfalttipäällysteen kulumiseen", tutkimusraportti 192, 1976.
- /5/ Neste Oy, tutkimuskeskus: "Raskaiden ajoneuvojen nastarenkaiden aiheuttama asfalttipäällysteen kuluminen", tutkimusraportti 205, 1977.
- /6/ Oranen, L: "Nastarenkaiden käyttö ja mielipiteet niiden käytöstä", Liikenneturvan tutkimuksia 35. Helsinki 1976.
- /7/ Tie- ja vesirakennushallitus: "Nastarenkaiden käyttö talvella 1976/77", Käyttöosaston liikennetoimisto. Tekeillä oleva tutkimusselostus.
- /8/ Tie- ja vesirakennushallitus: "Kymen läänin tieosakohtainen onnettomuustutkimus vuosina 1974-75", Käyttöosaston liikennetoimisto. Tekeillä oleva tutkimusselostus.
- /9/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarenkaita koskevat liikenneteknilliset tutkimukset 1975-76", tie- ja liikennelaboratorion tutkimusselostus 77 (laat. M. Huhtala). Espoo 1977.
- /10/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarenkaita koskevat tieteknilliset tutkimukset 1973/74" tie- ja liikennelaboratorion tutkimusselostus 2 (laat. A. Niemi ja M. Sistonen). Espoo 1975.

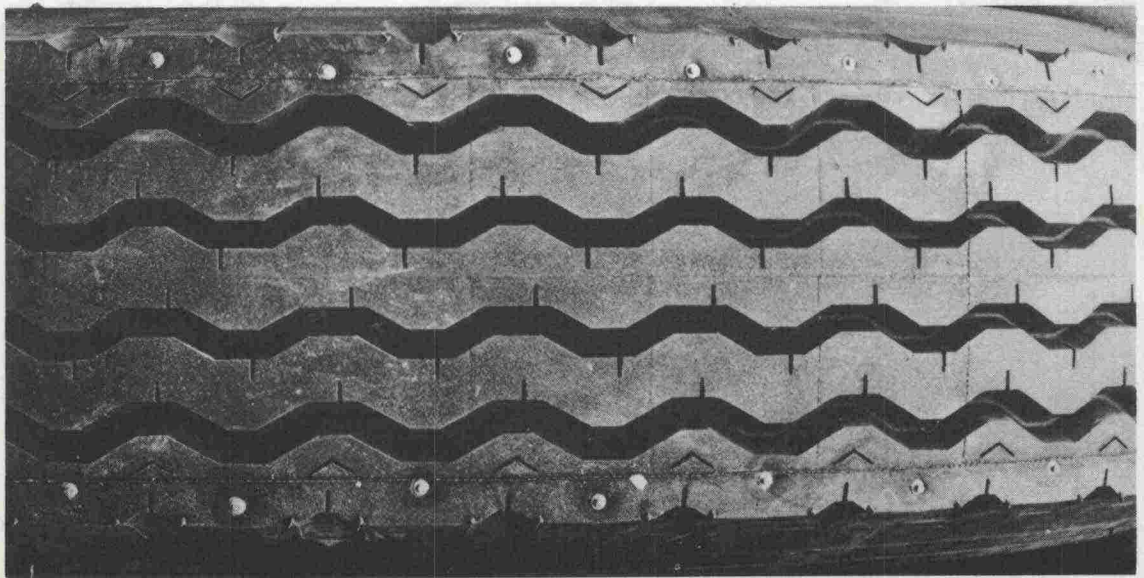
- /11/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarenkaita koskeva osatutkimus: Kitkakokeita kuorma-auton nastarenkailla, tietekniset tutkimukset 1975-76", tie- ja liikennelaboratorion tutkimusselostus 55/1 (laat. A. Niemi). Espoo 1976.
- /12/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarenkaita koskevat tietekniset tutkimukset, Osatutkimus: Kitkakokeita henkilöauton nastarenkailla", tie- ja liikennelaboratorion tutkimusselostus 55/2 (laat. M. Sistonen). Espoo 1977.
- /13/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarengastutkimuksia liikenneturvallisuuteen, kirjallisuustutkimus", tie- ja liikennelaboratorion tutkimusselostus 44. Espoo 1976.
- /14/ Valtion teknillinen tutkimuskeskus: "Nastarengastutkimuksia vuosina 1973-76, yhteenveto", tie- ja liikennelaboratorion tiedonanto 27. Espoo 1977.

AJOKOKEISSA KÄYTETTYJEN RENKAIDEN NASTA- ja RENGASPARAMETRIT

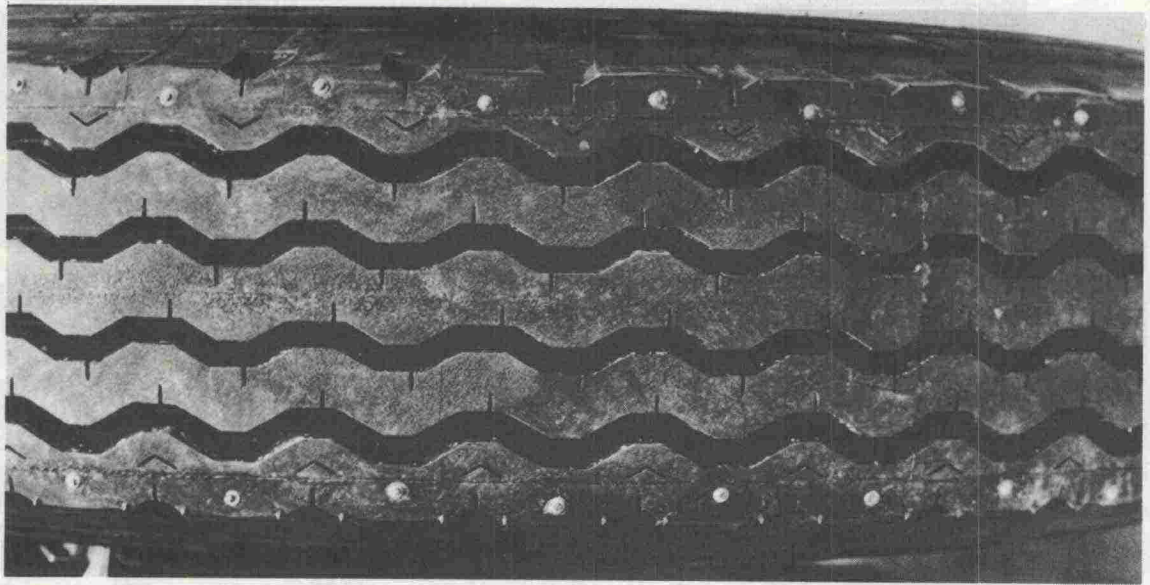
Mittaukset on suoritettu valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriossa (tutkimuselostukset n:o 28-1/5/77-TIE ja n:o 88-1/5/77-TIE) sekä Oy Airam Ab Kometa-tehtailla.



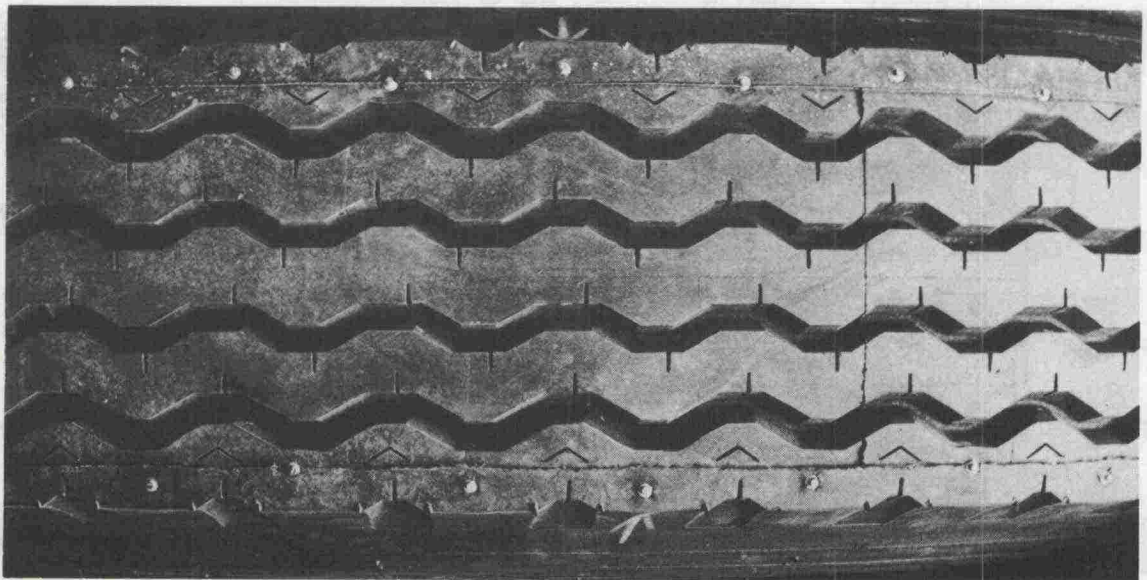
Rengas 1: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
Nastat: Kometa L 12-170 96 kpl (48 + 48) (3)
Ulkonema 2,0 mm ennen kokeita⁽¹⁾; 2,7 mm kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
Pistovoima 420 N ennen kokeita⁽¹⁾; 490 N kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
Rengaskuvion syvyys 13,8 mm
Kumin kovuus 67 °IRH (International Rubber Hardness)



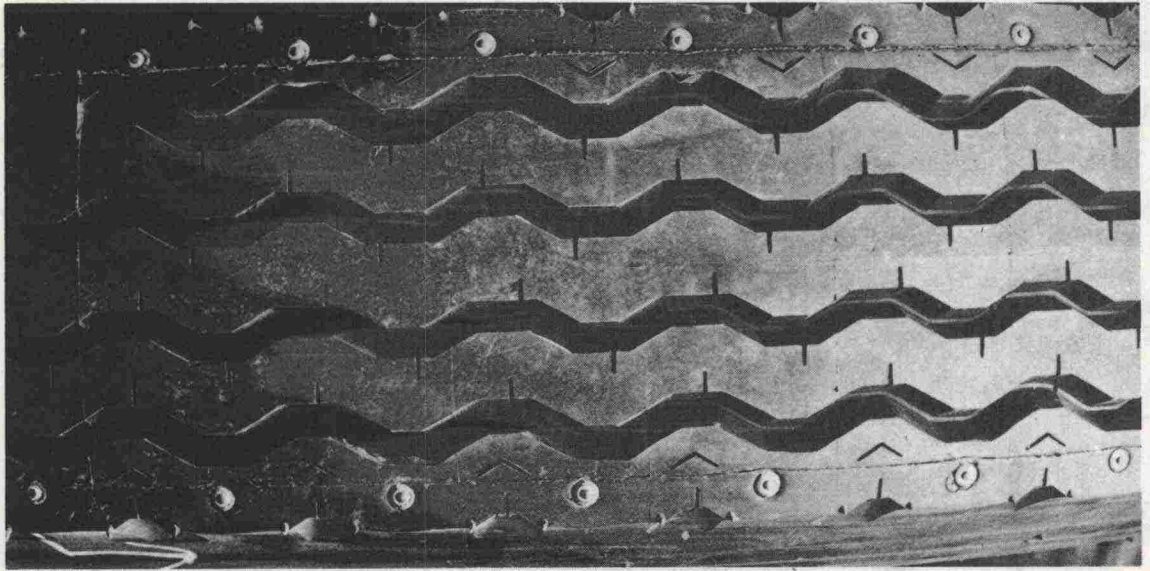
Rengas 2: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
Nastat: Kometa L 9-165 RX 96 kpl (48 + 48) (3)
Ulkonema 2,0 mm sekä ennen kokeita että ensimmäisen vaiheen jälkeen^(1,2)
Pistovoima 240 N sekä ennen kokeita että ensimmäisen vaiheen jälkeen^(1,2)
Rengaskuvion syvyys 13,6 mm
Kumin kovuus 68 °IRH (International Rubber Hardness)



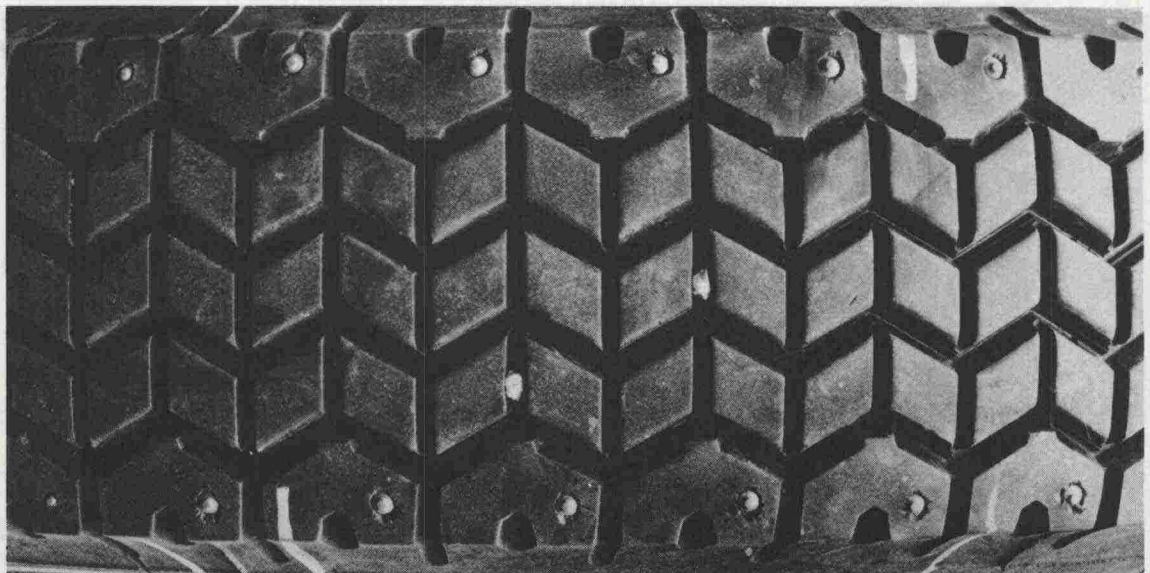
Rengas 3: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
 Nastat: Kometa L 9-175 96 kpl (48 + 48) (3)
 Ulkonema 2,0 mm ennen kokeita⁽¹⁾; 2,4 mm kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
 Pistovoima 320 N ennen kokeita⁽¹⁾; 350 N kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
 Rengaskuvion syvyys 13,5 mm
 Kumin kovuus 67 °IRH (International Rubber Hardness)



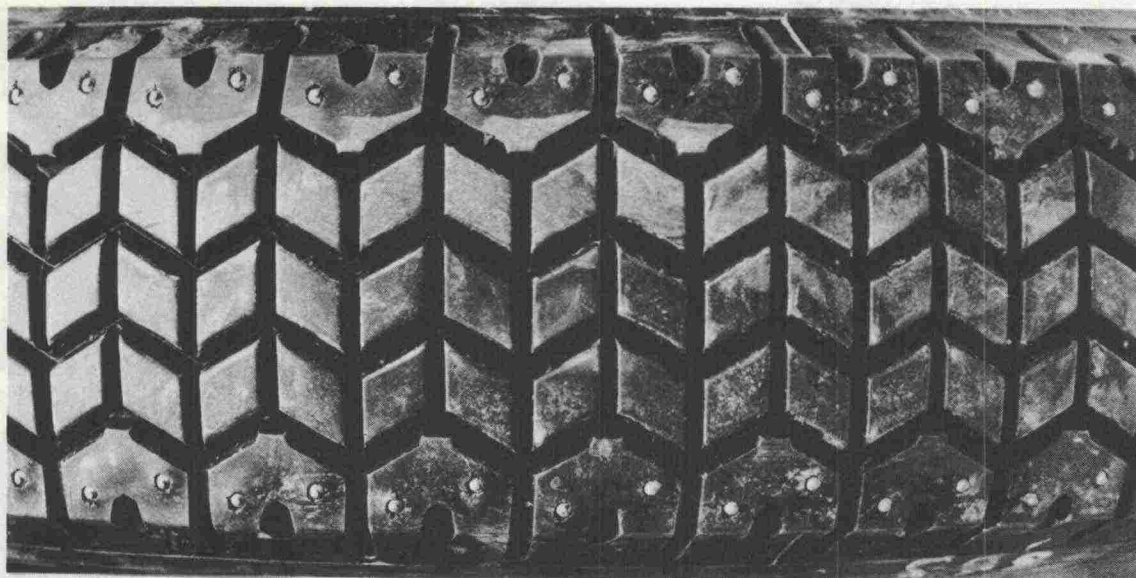
Rengas 4: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
 Nastat: Kometa L 9-165X 96 kpl (48 + 48) (3)
 Ulkonema 2,0 mm ennen kokeita⁽¹⁾; 1,9 mm kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
 Pistovoima 290 N ennen kokeita⁽¹⁾; 270 N kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
 Rengaskuvion syvyys 13,5 mm
 Kumin kovuus 69 °IRH (International Rubber Hardness)



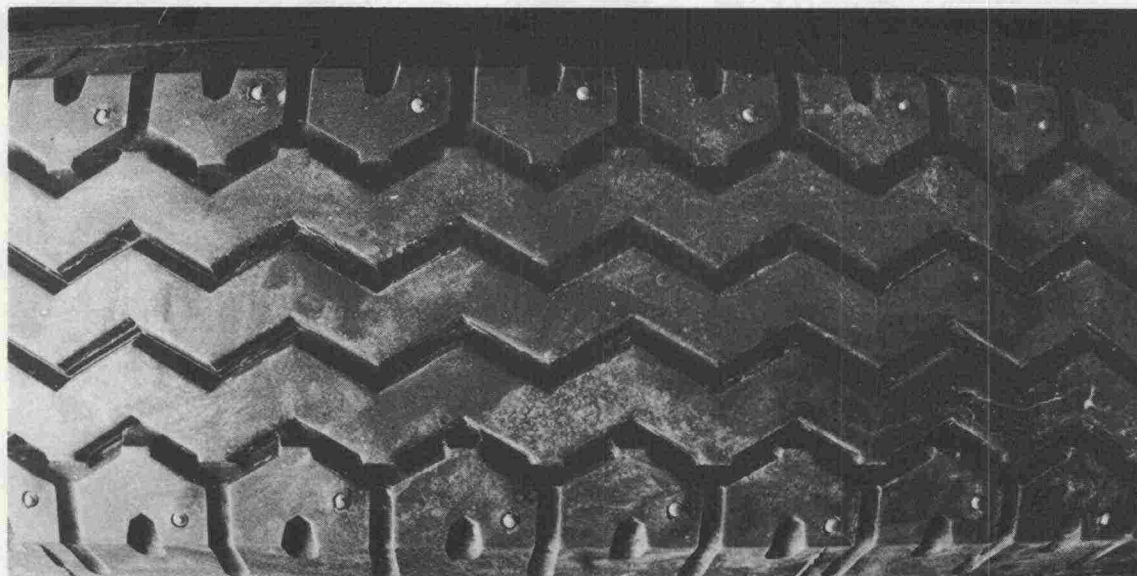
Rengas 5: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
Nastat: Holkkinautoja 96 kpl (48 + 48)
Ulkonema 1,7 mm ennen kokeita⁽¹⁾; 1,8 mm kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
Pistovoima 300 N ennen kokeita⁽¹⁾; 310 N kokeiden ensimmäisen vaiheen jälkeen⁽²⁾
Rengaskuvion syvyys 13,6 mm
Kumin kovuus 68 °IRH (International Rubber Hardness)



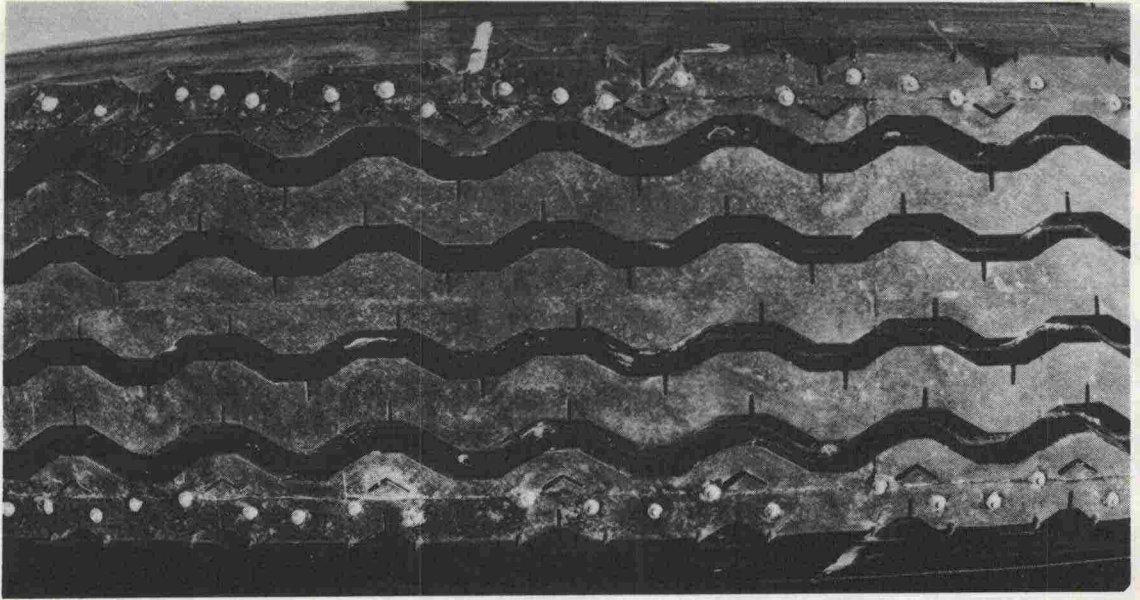
Rengas 6: Michelin XMS PR 16 10,00 R20 (ajettu)
Nastoja 100 kpl (50 + 50)
Ulkonema 1,3 mm
Pistovoima 210 N
Rengaskuvion syvyys 12,3 mm
Kumin kovuus 64 °IRH (International Rubber Hardness)



Rengas 7: Michelin XMS PR 16 11 R22,5 (ajettu)
Nastoja 200 kpl (100 + 100)
Ulkonema 1,9 mm
Pistovoima 310 N
Rengaskuvion syvyys 12,6 mm
Kumin kovuus 64 °IRH (International Rubber Hardness)



Rengas 8: Michelin XZZ PR 16 11 R22,5 (ajettu)
Nastoja 100 kpl (50 + 50)
Ulkonema 2,1 mm
Pistovoima 300 N
Rengaskuvion syvyys 11,2 mm
Kumin kovuus 63 °IRH (International Rubber Hardness)



Rengas 9: Nokia NR 12 Steel 11 R22,5 (uusi)
Nastat: Kometa P 9-130 henkilöautonnasta 250 kpl (130 + 130)
Ulkonema: 2,0 mm ennen kokeita⁽¹⁾; 2,2 mm kokeiden jälkeen⁽²⁾
Pistovoima: 280 N ennen kokeita⁽¹⁾; 300 N kokeiden jälkeen⁽²⁾
Rengaskuvion syvyys 13,6 mm
Kumin kovuus 68 °IRH (International Rubber Hardness)

-
- 1) Mittaus suoritettu Oy Airam Ab Kometa-tehtailla
 - 2) Mittaus suoritettu valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie- ja liikennelaboratoriossa
 - 3) Kokeissa oli mukana myös samalla nastatyypillä varustettu rengas, jossa nastalukumäärä oli 192 kpl (96 + 96)

ISBN-951-46-1656-1