

Tielaitos

Matti Anila - Kari Alppivuori

Talvi ja tieliikenne -projekti

Lumipolanteen kiillottuminen

**Tielaitoksen
sisäisiä
julkaisuja
39/1994**

Helsinki 1994

**Liikenteen
palvelukeskus**

Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja
39/1994

Matti Anila - Kari Alppivuori

Talvi ja tieliikenne -projekti

Lumipolanteen kiillottuminen

Tielaitos
Liikenteen palvelukeskus

Helsinki 1994

TIEL 400082
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1994

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2562

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

TIIVISTELMÄ

Henkilö- ja kuorma-autoilla ajamalla valmistettiin lumisateen aikana kaksi erilaista lumipolannetta. Polanteilla mitattiin hidastuvuuksia tasanopeudella ajetuissa paikoissa sekä jarrutuspaikoissa. Toisella kaistalla oli ainoastaan henkilöautojen ja kuorma-autojen nastatonta liikennettä. Toisella kaistalla ajettiin nastarenkain varustetuilla henkilöautoilla ja nastattomin renkain varustetuilla kuorma-autoilla sekä mittaustilanteissa nastattomin renkain varustetulla mittaushenkilöautolla, jolloin nastarengasliikenteen osuus oli 56–73 %. Mittausauto oli varustettu Peiseler-mittauslaitteistosta kehitetyllä tiedonkeruujärjestelmällä. Hidastuvuusmittaukset tehtiin lukkiutumattomin jarruin. Tutkimuksessa selvitettiin lumipolanteen liikenteen vaikutuksesta tapahtuvan kiillottumisen aiheuttamaa jarrutushidastuvuuden huonontumista.

Nastallisten renkaiden kaistalla tasanopeusalueilla nastojen karhentavan vaikutuksen vuoksi hidastuvuus on ollut 18 % suurempi kuin kaistalla, jossa ajoi vain nastattomia ajoneuvoja.

Kaksi kuorma-autolla tehtyä lukkojarrutusta romahdutti kerralla hidastuvuuden. Nastattomien renkaiden puolella hidastuvuus huononee 53 % arvosta $3,41 \text{ m/s}^2$ arvoon $1,60 \text{ m/s}^2$ ja nastallisten renkaiden puolella 36 % arvosta $3,30 \text{ m/s}^2$ arvoon $2,10 \text{ m/s}^2$. Muutos on autonkäyttäjän vaikeasti hallittavissa mikäli muuttunutta paikkaa tiellä ei voi ennakoita.

Nastattomien renkaiden kaistalla kahden kuorma-auton lukkojarrutuksen jälkeen kiillottuminen jatkuu, vaikka lukkojarrutuksia ei enää tehdä. Vakiintunut hidastuvuusarvo ($1,1 \text{ m/s}^2$) on 68 % huonompi kuin kokeiden alkaessa. Henkilöautojen lukkojarrutukset eivät enää olennaisesti huononna tilannetta.

Nastallisten renkaiden kaistalla kuorma-autojen lukkojarrutuksen jälkeen kiillottuminen ei olennaisesti jatku, kun jarrutukset tehdään pyöriä lukitsematta. Henkilöautojen lukkojarrutukset huonontavat edelleen hidastuvuutta. Vakiintunut hidastuvuustaso henkilöautojen lukkojarrutusten jälkeen ($1,2 \text{ m/s}^2$) on 45 % huonompi kuin kokeiden alkaessa.

ABSTRACT

During snowfall the snow on the road was packed in two different ways using cars and lorries. Deceleration was measured at locations driven over at a constant speed and at locations where braking had taken place. One lane of the road had only unstudded car and lorry traffic. The traffic on the other lane consisted of cars with studded tires and lorries with winter tyres (unstudded) and, at study times, the measurement car with unstudded tires. The share of studded traffic was thus 56 - 73 %. The measurement car was equipped with a data logging device developed from a Peiseler instrument. The deceleration measurements were made using ABS brakes. The study investigated the decline of deceleration due to the polishing effect of traffic on packed snow.

On the lane with studded constant speed traffic the deceleration was 18 % greater than on the lane with unstudded traffic due to the roughening effect of studs.

Two locked brakings of lorries ruin the levels of deceleration. Deceleration dropped by 53 % from 3.41 m/s² to 1.60 m/s² on the lane with unstudded traffic and by 36 % from 3.30 m/s² to 2.10 m/s² on the lane with studded traffic. The change is difficult to perceive by a car user if the altered place can not be predicted.

On the lane with unstudded traffic the polishing continues after two locked brakings by lorries though no more locked brakings are made. The deceleration level drops to a level of 1.1 m/s² which is 68 % of the value at the beginning of the measurements. Locked brakings of cars do not have a significant effect.

On the lane with studded traffic the polishing does not continue significantly after two locked brakings by lorries if brakings are made without locking. Locked brakings of cars decrease the deceleration level further. The deceleration level drops to a level of 1.2 m/s² which is 45 % of the value at the beginning of the measurements.

ALKUSANAT

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) Yhdyskuntatekniikan tutkimusyksikössä (YKI) tutkittiin Tielaitoksen Liikenteen palvelukeskuksen (Lp) toimeksiannosta Talvi ja tieliikenne tutkimusohjelmaan liittyen lumipolanteen kiillotumista.

Tutkimukseen ovat VTT:llä osallistuneet Juhani Idman, Timo Unhola, Erkki Ritari, Mikko Kallio, Matti Anila ja Kari Alppivuori. Ins. Mikko Kallio on rakentanut tutkimuksessa käytetyn mittauslaitteiston ja siihen liittyvät ohjelmistot. Ins. Matti Anila on vastannut mittausjärjestelyistä ja pääosin kirjoittanut tutkimusraportin. Tutkimuksen vastuuhenkilönä on ollut dipl.ins. Kari Alppivuori.

Talvi ja tieliikenne -tutkimusohjelman puolesta työtä on valvonut dipl.ins Anne Leppänen tielaitoksesta.

Helsingissä, syyskuussa 1994

Talvi ja tieliikenne -projekti

Anne Leppänen
projektipäällikkö

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ALKUSANAT | 5 |
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 TUTKIMUSASETELMA | 8 |
| 3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA LAITTEET | 9 |
| 3.1 Hidastuvuuden mittaus | 9 |
| 3.1.1 Mittauslaitteisto | 9 |
| 3.2 Mittauspintojen muokkaus | 10 |
| 3.2.1 Autokalusto | 10 |
| 3.2.2 Kierroslaskenta | 10 |
| 3.3 Mittausjärjestys | 11 |
| 3.4 Muut mittaukset | 12 |
| 3.4.1 Lämpötilojen mittaus | 12 |
| 3.4.2 Ilman kosteuden mittaus | 12 |
| 3.4.3 Profiilien mittaus | 12 |
| 4 TULOKSET | 14 |
| 4.1 Mitatut hidastuvuudet | 14 |
| 4.2 Kiillottuminen nastattomassa liikenteessä | 15 |
| 4.3 Kiillottuminen nastarengasliikenteessä | 16 |
| 4.4 Tien pinnan ominaisuuksien muuttuminen | 18 |
| 4.5 Profiilit | 19 |
| 5 PÄÄTELMÄT | 21 |
| 5.1 Hidastuvuuserojen merkittävyys | 21 |
| 5.2 Lukkiutumattomien jarrujen merkitys | 21 |

LIITTEET

1 JOHDANTO

Talvi ja tieliikenne -tutkimusohjelmaan liittyvän tutkimuksen – **Nastarenkaiden vaikutus polanteen kulumisnopeuteen ja tienpinnan kitkaominaisuuksiin**, Tielaiatoksen sisäisiä julkaisuja 26/1994 – yhteydessä kiinnitettiin huomiota lumipolanteen kiillottumiseen ja kiillottumisen nopeuteen nastarengasliikenteen kuluttavan vaikutuksen puuttuessa. Samasta ongelmasta on saatu tietoja myös Japanista. Erityisesti oltiin kiinnostuneita, kuinka nopeasti kiillottuminen tapahtuu.

Lumipolanteen kiillottuminen on erilaista teillä, joilla ajetaan pääasiassa tasanopeutta tai alueella, jolla jarrutetaan, kuten mäet tai risteykset.

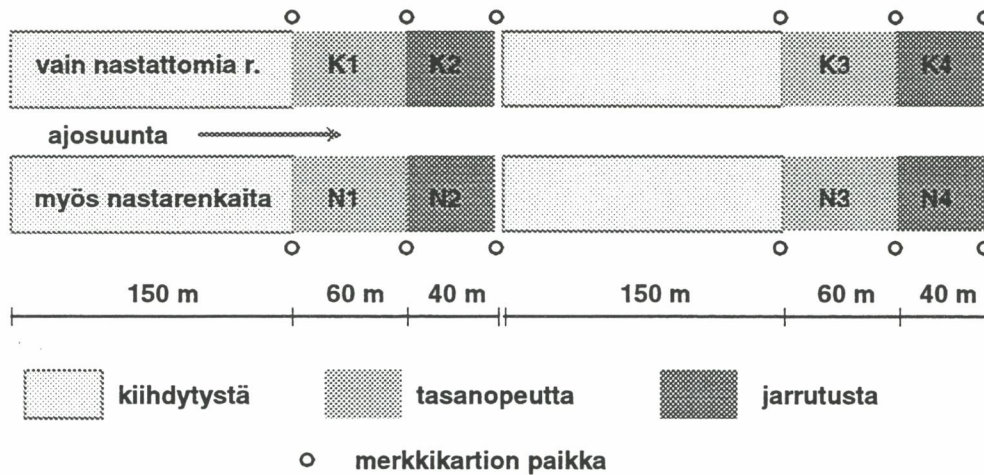
Asian alustavaksi selvittämiseksi tehtiin koejärjestely, jossa toisella kaistalla ajettiin vain nastatonta liikennettä ja toisella nastallista liikennettä lisättynä nastattomilla kuorma-autoilla.

2 TUTKIMUSASETELMA

Henkilöauton hidastuvuutta mitattiin 6.–7.3.1994 Peiseler-laitteistolla neljällä eri rengastuksella. Tutkittavaa pintaa muokattiin ajamalla mittauspaiikkojen yli jarruttamalla mittaussauton lisäksi viidellä muulla autolla.

Mittauspaiikka oli muulta liikenteeltä suljettu 500 m pitkä suora Otaniementiellä Espoossa. Tie oli suljettu sen ollessa paljas. Lunta alkoi sataa 6.3. puolenpäivän tienoilla. Kun tiivistäminen aloitettiin, lumikerros oli noin 2 cm paksu. Hidastuvuuksia mitattiin kahdeksassa paikassa (kuva 1). Yhdellä ajokierroksella saatiin tehdyksi yksi hidastuvuusmittaus.

Mittaussauton renkaat olivat noin 20 000 km ajatut nastattomat Nokia NRW-talvirenkaat (kitkarenkaat).



Kuva 1. Hidastuvuuden mittauspaiikat Espoon Otaniementiellä. K1, K3, N1 ja N3 ovat tasanopeudella ajettuja paikkoja sekä K2, K4, N2 ja N4 ovat jarrutuspaikkoja. Toisella kaistalla oli vain nastatonta liikennettä. Tosiella kaistalla oli vain nastarengasliikennettä paitsi kuorma-autot sekä mittaussauto, jossa ei ollut nastoja.

3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA LAITTEET

3.1 Hidastuvuuden mittaus

Tarkan hidastuvuuden selvittämiseksi autoon tarvitaan viides pyörä, johon jarrujen käyttö ei vaikuta. Lisäksi hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi lyhyellä jarrutusmatkalla matkapulssien tiheyden on oltava riittävän suuri (entintään 2 cm:n välein).

3.1.1 Mittauslaitteisto

Mittauksissa käytettiin mikrotietokoneeseen yhdistettyä Peiseler-mittauspyörää (kuva 2). Kuljettu matka mitataan ajoneuvon ulkopuolelle kiinnitettävällä mittapyörällä (rengaskoko 32-622). Mittapyörän pulssimuotoinen tieto siirtyy mikrotietokoneelle, joka halutuin välein laskee jarrutushidastuvuuden matka- ja aikatietojen avulla. Matkapulssit tulevat 6 mm:n välein. Mittaukset voidaan tehdä lukkiutumattomin tai tavallisin jarruin. Tässä tapauksessa käytettiin lukkiutumattomia jarruja, jotta lumipolanteen pinta säilyisi mahdollisimman muuttumattomana ja mittausauto ei vaikuttaisi tuloksiin.



Peiseler-mittauspyörä autoon kiinnitettynä.

Ajoneuvon pyörien ja ajoradan pinnan välinen enimmäiskitkakertoimen ja jarrutuksessa saavutettavan hidastuvuuden välillä on lineaarinen riippuvaisuussuhde silloin, kun jarrutetaan niin, että kitka käytetään mahdollisimman tehokkaasti hyväksi. Hidastuvuus (m/s^2) voidaan muuntaa kitkakertoimeksi (laaduton suhdeluku) jakamalla jarrutushidastuvuus kiihtyvyydellä, jonka maan vetovoima aiheuttaa kappaleelle vapaassa putoamisessa (Suomessa n. $9,81 m/s^2$).

3.2 Mittauspintojen muokkaus

Tasanopeusmittauspaikkojen yli ajettiin hiihdyttämättä ja jarruttamatta. Tasanopeuspaikat muodostavat yhtenäisen 11 mittauksen sarjan. Tulosten muuttumista voidaan tarkastella akseliylitysten määrän suhteen. Jarrutuspaikkojen yli ajettiin aluksi lumen tiivistysvaiheessa jarruttamatta. Ennen hidastuvuusmittausten alkua aloitettiin jarrutuspaikoilla theokkaat jarrutukset kuitenkin pyöriä lukitsematta. Hallintavaikeuksien vuoksi osa autojen pyöristä pääsi välillä lukkiutumaan. Lopussa, ennen kolmea viimeistä mittaussarjaa, aloitettiin kuorma-autojen lukkojarrutuksin kiillottamien jarrutuspaikkojen kiillotus henkilöautojen lukkojarrutuksin.

Hidastuvuusmittausauto osallistui normaaliin ajoon tai kiillotukseen aina silloin, kun sillä ei tehty hidastuvuusmittauksia.

3.2.1 Autokalusto

Varsinaisena mittausautona käytettiin Opel Astra 1.8i -henkilöautoa. Muut autot olivat (kuva 3):

- M-Sisu, 12 tonnin kuorma-auto, 10 kpl erilaisia vyörenkaita 11 R 22,5, ei nastoja
- Kontio-Sisu, 7 tonnin kuorma-auto, renkaat Jehu palakuvioiset, 10.00-20, ei nastoja
- VW Golf -henkilöauto, renkaat Nokia M+S Hkpl 10, 175/70 R 13, nastat Kometa P8-110/1,1
- VW Golf -henkilöauto, renkaat Nokia NRW, 175/70 R 13, ei nastoja
- Talbot 1510 -henkilöauto, renkaat Nokia M+S Hkpl 09, 155 R 13, nastat Tikka H8-11.

3.2.2 Kierroslaskenta

Jokaisen auton ajamat kierrokset kirjattiin muistiin kelloaikoineen (taulukko 1). Eri autojen suhteelliset osuudet ylityksistä.

Taulukko 1. Eri autojen osuudet akseliylityksistä.

| Auto ja renkaat | Nastattomien renkaiden puoli | | | Nastarenkaita enemmistö | | |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|
| | klo 21.40-23.40 % akseliylityksistä | klo 24.00-01.00 % akseliylityksistä | klo 01.00-04.35 % akseliylityksistä | klo 21.40-23.40 % akseliylityksistä | klo 24.00-01.00 % akseliylityksistä | klo 01.00-04.35 % akseliylityksistä |
| M-Sisu, ei nastoja | 16 | 23 | 28 | 16 | 17 | 19 |
| Kontio-Sisu, ei nastoja | 11 | 16 | – | 11 | 12 | – |
| VW-Golf, nastat | – | – | – | 37 | 28 | 32 |
| VW-Golf, ei nastoja | 37 | 40 | 47 | – | – | – |
| Talbot 1510, nastat | – | – | – | 36 | 28 | 32 |
| Opel Astra, ei nastoja | 36 | 21 | 25 | – | 15 | 17 |



Kuva 3. Autokalusto jälkimmäisten lukkojarrutuspaikkojen päällä 7.3.1994 klo 03.00.

3.3 Mittausjärjestys

- klo 19.30–21.40 Tien pintaa jyrättiin molemmilla kuorma-autoilla pienellä nopeudella. 110 akseliylitystä molemmilla puolilla. Lunta satoi koko ajan.
- klo 21.40–23.40 Ajettiin koko autokalustolla, jokaisella autolla 30 min tauko. 330 akseliylitystä molemmilla puolilla. Luntas satoi koko ajan.
- klo 23.58–00.30 Ajettiin koko autokalustolla. Hidastuvuusmittauksia tehtiin yksi sarja. Nastattomien renkaiden puolella 76 akseliylitystä, nastallisten renkaiden puolella 106 akseliylitystä. Jarrutuksia pyöriä ei laskettu. Lunta satoi koko ajan.
- klo 00.30–01.00 Ajoa koko kalustolla. Hidastuvuusmittauksia tehtiin yksi sarja kuorma-autojen lukkojarrutusten jälkeen. Nastattomien renkaiden puolella 50 akseliylitystä, nastallisten renkaiden puolella 70 akseliylitystä, jarrutuksissa pyöriä ei laskettu lukuun ottamatta molempien kuorma-autojen ensimmäistä jarrutusta jokaisessa jarrutuspaikassa.
- klo 01.00 Kontio-Sisulla ei jatkettu ajoa
- klo 01.00–02.40 Ajoa lopulla kalustolla. Hidastuvuusmittauksia tehtiin 5 sarjaa. Nastattomien renkaiden puolella 214 akseliylitystä, nas-

tallisten renkaiden puolella 314 akseliylitystä. Jarrutuksissa pyöriä ei lukittu. Lumisade oli lakannut.

klo 02.40–03.25 Tutkittavia pintoja valokuvattiin ja mitattiin profiilit. Ei lumisadetta.

klo 03.25–03.40 Ajoa lopulla kalustolla. Hidastuvuusmittauksia tehtiin yksi sarja. Nastattomien renkaiden puolella 32 akseliylitystä, nastallisten renkaiden puolella 48 akseliylitystä. Jarrutuksissa pyöriä ei lukittu. Ei lumisadetta.

klo 03.40–04.35 Ajoa lopulla kalustolla. Hidastuvuusmittauksia tehtiin 3 sarjaa. Nastattomien renkaiden puolella 118 akseliylitystä, nastallisten renkaiden puolella 172 akseliylitystä. Jarrutuksissa kuorma-auton pyöriä ei lukittu, mutta henkilöautojen pyörät lukittiin mittausautoa lukuun ottamatta.

3.4 Muut mittaukset

Sää- ja kelihavainnot tehtiin noin tunnin välein. Seurantapöytäkirja on liitteenä 1. Pinnan karkeudesta tehtiin mittaukset aikaavievinä vain kerran mittausarjan lopulla, kun kiillottumisen oli arvioitu saavuttaneen vakiintuneen tason. Aiemmin pinta oli mittaamiseen sopimaton irtolumen vuoksi.

3.4.1 Lämpötilojen mittaus

Ilman lämpötilojen mittaukseen käytettiin Vaisala HM 34 HUMIDITY & TEMPERATURE METER -merkkistä yhdistettyä kosteus- ja lämpötilamittaria, jonka näyttö toimii 0,1°C:n portain. Tien pintalämpötila luettiin Microscanner™ D-series infrapunaperiaatteella toimivalla kannettavalla mittarilla, jonka näyttö toimii 1°C:n välein.

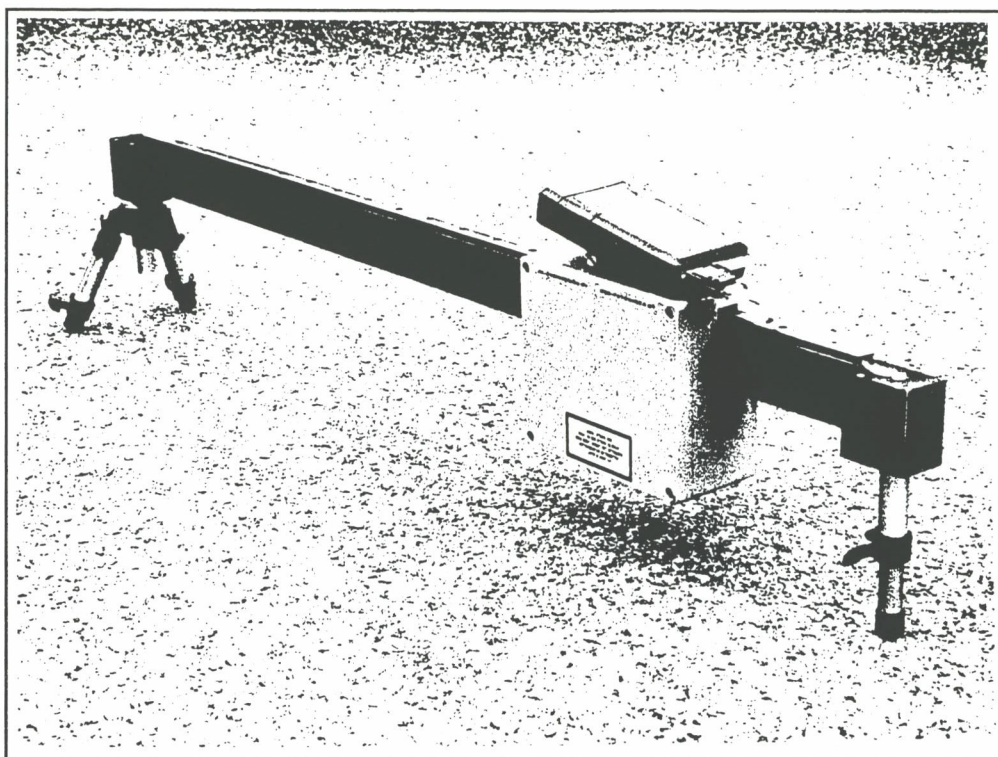
3.4.2 Ilman kosteuden mittaus

Kosteuden mittaamiseen käytettiin samaa yhdistettyä kosteus- ja lämpötilamittaria kuin ilman lämpötilan mittaamiseen. Mittari näyttää ilman suhteellisen kosteuden 0,1 %:n välein.

3.4.3 Profiilien mittaus

AI-Engineeringin kehittämä optinen profilometri muodostuu etäisyysanturi-osasta ja käyttäjän pääteyksiköstä (kuva 4). Etäisyysanturin toiminta perustuu kolmionmittaukseen vektorimuotoisen CCD-detektorin (rivi-ilmaisimen) ja infrapuna-alueen puolijohdelaserin avulla. Niiden yhdistelmä liikkuu mittauskelkassa vaakapalkkia pitkin. Yhdellä mittauskerralla (pyyhkäisyllä) saadaan poikkileikkaus 512 mm leveältä mittausalueelta, jossa mittaukset ovat 0,25 mm:n välein. Erottelukyky pystysuunnassa on 0,01 mm.

Mittaustuloksista voidaan tulostaa tien pinnan profiili käyrän muodossa, profiiliin kaikki mittapistet, megakarkeuden arvo (aallonpituusalue 50–500 mm) ja makrokarkeuden arvo (aallonpituusalue 0,5–50 mm).



Kuva 4. Optinen profilometri.

4 TULOKSET

4.1 Mitatut hidastuvuudet

Hidastuvuusmittausten tulosten yhteenveto on kerätty taulukkoon 2.

Taulukko 2. Lumipolanteella tehdyt hidastuvuusmittaukset mittausjärjestyksessä. Otaniementie 6.–7.3.1994.

| pinnan muokkaustapa ja mittauspaiikka | keskiarvo hidastuvuus [m/s ²] | keskihajonta [m/s ²] | pienin hidastuvuus [m/s ²] | suurin hidastuvuus [m/s ²] | keskihidastuvuus ⁽⁴⁾ [m/s ²] | jarrutusmatka 50 km/h:stä [m] | havainnot [kpl] |
|---|---|----------------------------------|--|--|---|-------------------------------|-----------------|
| tasanopeuspaikat K1 ja K3, nastaton kaista | 2,83 | 0,31 | 2,36 | 3,41 | 2,2 | 34 | 22 |
| tasanopeuspaikat N1 ja N3, nastallinen kaista | 3,06 | 0,29 | 2,55 | 3,68 | 2,7 | 31 | 22 |
| jarrutuspaikat K2 ja K4, nastaton kaista, ei pyöriä lukkoon | 3,41 | 0,21 | 3,26 | 3,55 | | 28 | 2 |
| jarrutuspaikat N2 ja N4, nastallinen kaista, ei pyöriä lukkoon | 3,30 | 0,19 | 3,16 | 3,43 | | 29 | 2 |
| jarrutuspaikat K2 ja K4, nastaton kaista, kuorma-autoilla yksi lukkojarrutus, muuten jarrutuksessa ei pyöriä lukkoon | 1,60 | 0,09 | 1,54 | 1,67 | | 60 | 2 |
| jarrutuspaikat N2 ja N4, nastallinen kaista, kuorma-autoilla yksi lukkojarrutus, muuten jarrutuksessa ei pyöriä lukkoon | 2,10 | 0,19 | 1,96 | 2,24 | | 46 | 2 |
| jarrutuspaikat K2 ja K4, nastaton kaista, ei pyöriä lukkoon | 1,40 | 0,19 | 1,21 | 1,81 | 1,1 | 69 | 12 |
| jarrutuspaikka N2, nastallinen kaista, ei pyöriä lukkoon ⁽¹⁾ | 2,22 | 0,14 | 1,96 | 2,34 | 2,4 ⁽¹⁾ | 43 | 6 |
| jarrutuspaikka N4, nastallinen kaista, ei pyöriä lukkoon | 1,83 | 0,08 | 1,72 | 1,92 | 2,0 | 53 | 6 |
| jarrutuspaikka K2 ja K4, nastaton kaista, henkilöautoilla pyörät lukkoon | 1,09 | 0,12 | 0,96 | 1,28 | 1,0 | 88 | 6 |
| jarrutuspaikka N2, nastallinen kaista, henkilöautoilla pyörät lukkoon ⁽¹⁾ | 1,80 | 0,31 | 1,57 | 2,15 | 1,2 | 53 | 3 |
| jarrutuspaikka N4, nastallinen kaista, henkilöautoilla pyörät lukkoon ⁽²⁾ | 2,13 | 0,13 | 1,88 | 2,14 | ⁽³⁾ | 45 | 3 |

¹⁾ Pinta oli osittain puhki, alla karkeahko jää.

²⁾ Pinta oli osittain puhki, alla asfalttipinta, vaikutti etenkin viimeiseen mittaukseen.

³⁾ Vakiintumisarvoa ei voida arvioida pinnan puhkeamisen vuoksi.

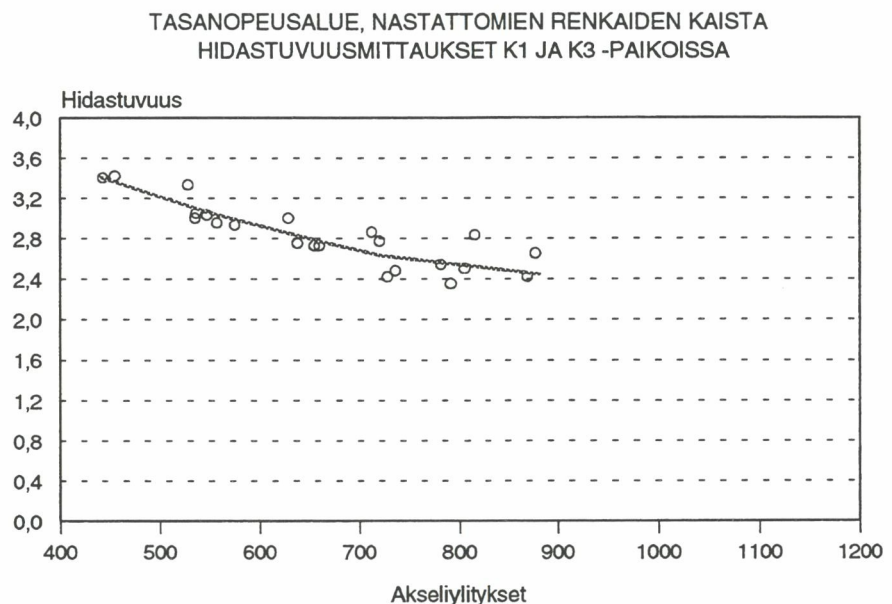
⁴⁾ Hidastuvuus, johon arvot näyttävät vakiintuvan pitkän ajan kuluessa.

4.2 Kiillottuminen nastattomassa liikenteessä

Nastattoman liikenteen tasanopeuspaikat (K1, K3)

Tasanopeudella ajetuissa kohdissa tapahtui mittausjarrutusten ja pinnan tiivistymisen vuoksi hidastuvuuksien huonontumista. Ensimmäisissä jarrutuksissa kekimääräinen hidastuvuus oli $3,41 \text{ m/s}^2$ ja viimeisissä $2,53 \text{ m/s}^2$ eli renkaiden pito huononi 26 %. Akseliylityksiä jarrutusten välillä oli 424–427 kpl. Koetta jatkettaessa hidastuvuus näytti vakiintuvan arvoon $2,2 \text{ m/s}^2$, mikä merkitsi huonontumista lähtötilanteesta 35 % (kuva 5).

Käytännössä lumipolanteisella tiellä näissä olosuhteissa tienpinnan kitka säilyi hyvänä ellei kyseisessä kohdassa jarruteta.



Kuva 5. Tasanopeusalueiden hidastuvuudet nastattomien renkaiden kaistalla.

Nastattoman liikenteen jarrutuspaikat (K2, K4)

Varsinaista hidastuvuuden huonotumista jarrutuspaikoissa ennen kuorma-autoilla tehtyä lukkojarrutusta ei tapahtunut. Kun kummallakin kuorma-autolla oli tehty **yksi** lukkojarrutus, hidastuvuus huononi jarrutuspaikoilla keskiarvosta $3,41 \text{ m/s}^2$ arvoon $1,60 \text{ m/s}^2$ eli huonontumista oli 53 %. Akseliylityksiä kuorma-autojen lukkojarrutusten jälkeen oli 23–30 kpl ennen hidastuvuusmittausta (kuva 6). Muutos on käytännössä erittäin merkittävä. Kiillottuneella pinnalla on vaikea pysyä pystyssä tavallisilla jalkineilla.

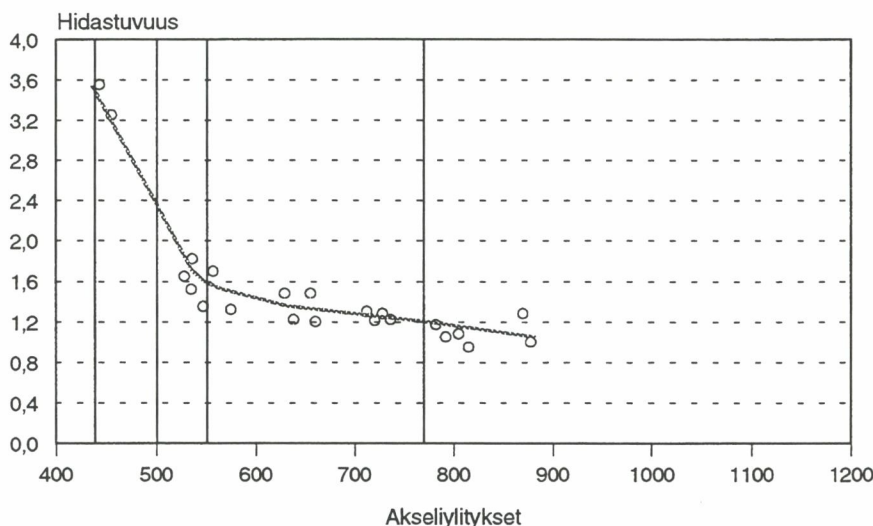
Kuorma-autojen lukkojarrutusten jälkeinen kiillottuminen

Nastattomien renkaiden puolella kiillottuminen lisääntyi jarrutuspaikoissa K2 ja K4 vaikka jarrutuksia jatkettiin pyöriä lukitsematta. Hidastuvuuden alkukeskiarvosta $1,60 \text{ m/s}^2$ 221–225 akseliylityksen jälkeen hidastuvuus oli huonontunut arvoon $1,27 \text{ m/s}^2$ eli huonontumista edelleen 21 %. Hidastuvuus näyttää vakiintuvan arvoon $1,1 \text{ m/s}^2$, mikä merkitsisi lähtötilanteesta huonontumista lähtötilanteesta 68 %. Tällöin keli on jo niin liukas, että auton, joka ei ole varustettu lukkiutumattomin jarruin, jarrutushallinta on vaikeaa.

Lukkojarrutusten vaikutus

Kun jarrutustapa muutettiin lukkojarrutukseksi, kiillottumien ei enää merkittävästi lisääntynyt. Hidastuvuuden alkukeskiarvosta (tilanne lukkiutumattomien jarrutusten loppumisen) $1,27 \text{ m/s}^2$ 109–118 akseliylityksen jälkeen hidastuvuus oli huonontunut arvoon $1,14 \text{ m/s}^2$ eli huonontumista eli 10 %. Hidastuvuus näyttää vakiintuvan arvoon $1,0 \text{ m/s}^2$, mikä merkitsee huonontumista lähtötilanteesta 71 %.

JARRUTUSALUE, NASTATTOMIEN RENKAIDEN KAISTA
HIDASTUVUUSMITTAUKSET K2 JA K4 -PAIKOISSA



Kuva 6. Kaikki hidastuvuusmittaukset jarrutuspaikoissa nastattomien renkaiden kaistalla. Neljä pystyviivaa kuvaavat tien pinnan muokkaustapojen alkamispaikoita akseliylitysten suhteen: ensimmäinen viiva = jarrutukset alkoivat pyöriä lukitsematta, toinen viiva = kuorma-autoilla tehtiin lukkojarrutukset ja henkilöautoilla jarrutuksia pyöriä lukitsematta, kolmas viiva = jarrutuksia kaikilla autoilla pyöriä lukitsematta sekä neljäs viiva = henkilöautoilla lukkojarrutukset.

4.3 Kiillottuminen nastarengasliikenteessä

Nastarengasliikenteen tasanopeuspaikat (N1,N3)

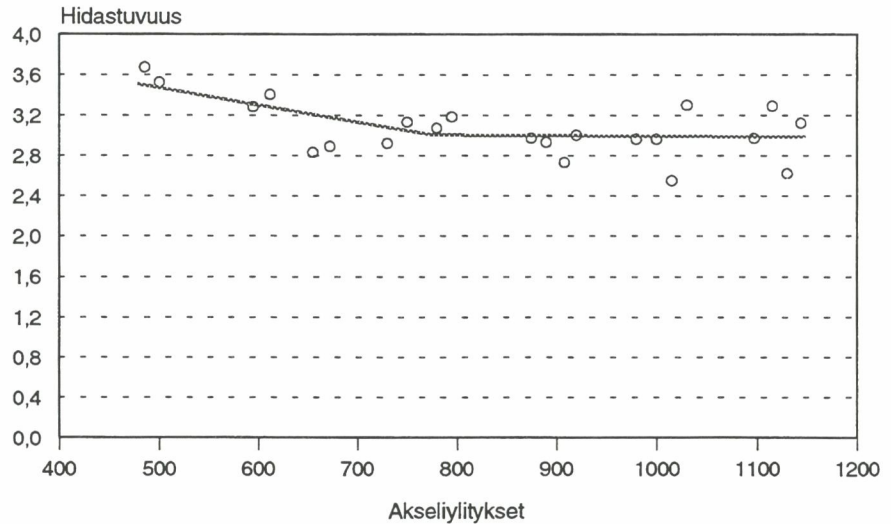
Tasanopeudella ajetuissa paikoissa tapahtui mittausjarrutusten ja pinnan tiivistymisen vuoksi hidastuvuuksien huonontumista. Ensimmäisissä jarrutuksissa keskimääräinen hidastuvuus oli $3,60 \text{ m/s}^2$ ja viimeisissä $2,87 \text{ m/s}^2$ eli huonontumista oli 20 %. Akseliylityksiä tällä välillä oli 644–646 kpl. Hidastuvuus näytti vakiintuvan arvoon $2,9 \text{ m/s}^2$, mikä merkitsee huonontumista lähtötilanteesta 19 % (kuva 7).

Nastarengasliikenteen jarrutuspaikat (N2,N4)

Varsinaista hidastuvuuden huonontumista jarrutuspaikoissa ennen kuorma-autoilla tehtyä lukkojarrutusta ei tapahtunut. Kun kuorma-autolla oli kummallakin yksi lukkojarrutus, hidastuvuus huononi jarrutuspaikoilla keskiarvosta $3,30 \text{ m/s}^2$ arvoon $2,10 \text{ m/s}^2$ eli huonontumista oli 36 %. Akseliylityksiä

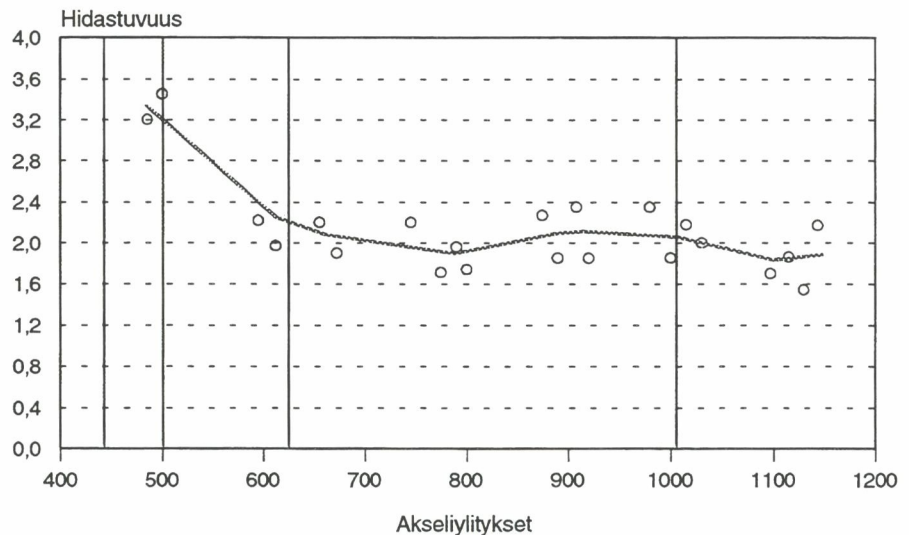
kuorma-autojen lukkojarrutusten jälkeen oli 51–68 kpl ennen hidastuvuusmitausta. Muutos on käytännössä erittäin merkittävä (kuva 8).

TASANOPEUSALUE, NASTARENKAIDEN KAISTA
HIDASTUVUUSMITTAUKSET PAIKOISSA N1 JA N3



Kuva 7. Tasanopeusalueiden hidastuvuudet nastallisten renkaiden kaistalla.

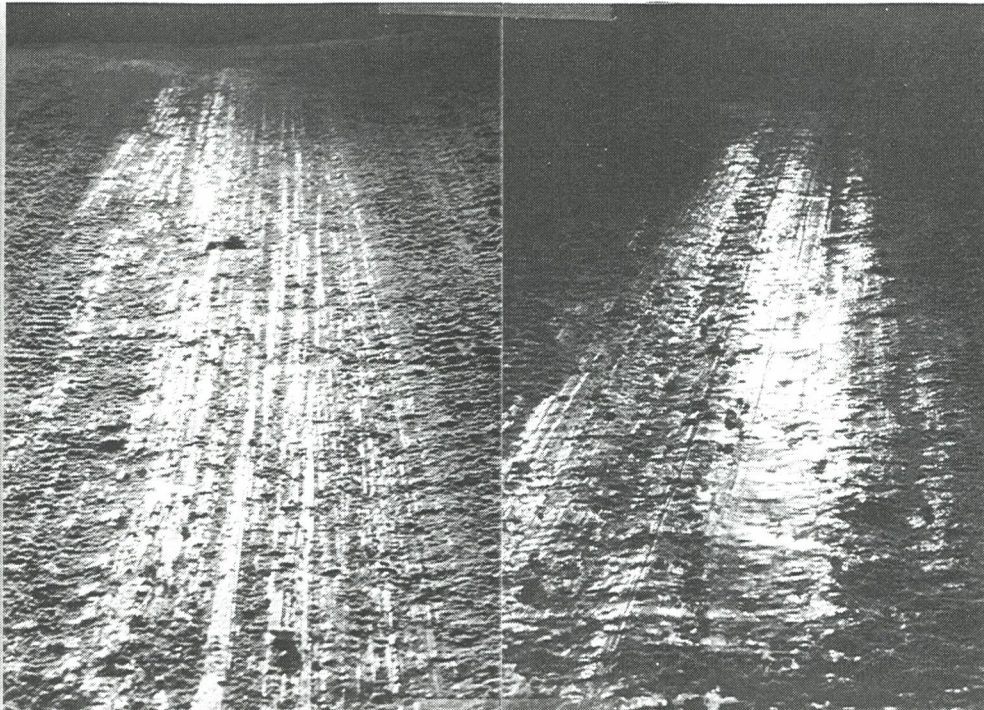
TASANOPEUSALUE, NASTARENKAIDEN KAISTA
HIDASTUVUUSMITTAUKSET PAIKOISSA N2 JA N4



Kuva 8. Kaikki hidastuvuusmittaukset jarrutuspaikoissa nastallisten renkaiden kaistalla. Neljä pystyviivaa kuvaavat tien pinnan muokkaustapojen alkamis-pisteitä akseliylitysten suhteen: ensimmäinen viiva = jarrutukset alkoivat pyöriä lukitsematta, toinen viiva = kuorma-autoilla tehtiin lukkojarrutukset ja henkilöautoilla jarrutuksia pyöriä lukitsematta, kolmas viiva = jarrutuksia kaikilla autoilla pyöriä lukitsematta sekä neljäs viiva = henkilöautoilla lukkojarrutukset.

Kuorma-autojen lukkojarrutusten jälkeinen kiillottuminen

Nastallisten renkaiden puolella kiillottuminen ei lisääntynyt merkittävästi jarrutuspaikoissa N2 ja N4 vaikka jarrutuksia jatkettiin pyöriä lukitsematta. Pinta N2 kului osittain puhki, mikä paljasti aluksi karheahkon jäisen pinnan. Hidastuvuus näyttäisi vakiintuvan pinnalla N4 arvoon $1,8 \text{ m/s}^2$, mikä merkitsi huonontumista lähtötilanteesta 45 %.



Kuva 9. Lukkojarrutuspaikat. Vasemmalla puolella (N4) on ollut nastarengasliikennettä ja oikealla puolella (K4) on ollut pelkästään nastattomia renkaita. Ero pinnan laadussa on silmin nähtävissä.

Lukkojarrutusten vaikutus

Vaikka jarrutustapa muutettiin lukkojarrutukseksi kiillottumien ei enää merkittävästi lisääntynyt. Pinnan puhkikuluminen tekee hidastuvuuden vakiintumisarvon arvioimisen mahdottomaksi. Lukkojarrutuspaikoista nastattomien ja nastarenkaallisten kaistoista on kuva 9.

4.4 Tien pinnan ominaisuuksien muuttuminen

Lämpötilojen muutokset (liite 2) olivat vähäisiä. Tien pintalämpötila oli mittausten alussa $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, nousi mittausten kestäessä $-4 \text{ }^\circ\text{C}$:een, laski jälleen $-5 \text{ }^\circ\text{C}$:een ja nousi aivan lopussa $-3 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Renkaiden kulutuspinnan lämpötila noudattaa tien pintalämpötilaa ja nousee suuremmaksi nopeuksien kasvaessa. Ilman lämpötilan vaihteluväli oli $-6 \dots -2 \text{ }^\circ\text{C}$. Ilman suhteellinen kosteus vaihteli 73–80 % (liite 3). Mikäli suhteellinen kosteus olisi ollut lähel-

lä sataa prosenttia olisi tienpintaa lämpimämmästä ilmasta voinut tiivistyä kosteutta, joka olisi liukastuttanut keliä. Mittaustilanteessa säästä johtuvien olosuhteiden muutoksia voidaan pitää merkityksettöminä.

Mittaajarrutusten vaikutus keliin oli huomattava etenkin tasanopeusalueiksi määritellyillä paikoilla. Vaikka ABS-jarruilla varustettu auto ei lukitse pyöriä jarrutettaessa, säätöjärjestelmä päästää jarrupoljinta voimakkaasti painettaessa hetken murto-osaksi lukkiutumaan. Tästä aiheutuu pieniä luikkaampia »laikkuja» tasanopeusalueelle.

4.5 Profiilit

Taulukkoon 3 on laskettu megakarkeuden arvo (aallonpituusalue 50–500 mm) sekä makrokarkeudet aallonpituuksilla 1–5, 1–10, 1–25 ja 1–50 mm.

Taulukko 3. Mitattuja karkeuksia.

| Mittauspaikka ja akseliyhtykset | Mittaussuunta ajosuuntaan verrattuna | RM mega [mm] | RMS 1–5 [mm] | RMS 1–10 [mm] | RMS 1–25 [mm] | RMS 1–50 [mm] |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| ei nastoja, tasanopeus, K3, 730 | pitkittäin | 0,97 | 0,04 | 0,07 | 0,14 | 0,31 |
| ei nastoja, tasanopeus, K3, 730 | poikittain | 0,58 | 0,03 | 0,06 | 0,11 | 0,19 |
| nastoja, jarrutus, N4, 950 | pitkittäin | 1,66 | 0,12 | 0,18 | 0,36 | 0,53 |
| nastoja, jarrutus, N4, 950 | poikittain | 0,66 | 0,03 | 0,05 | 0,12 | 0,19 |
| ei nastoja, jarrutus K4, 730 | pitkittäin | 2,28 | 0,07 | 0,12 | 0,26 | 0,43 |
| ei nastoja, jarrutus K4, 730 | poikittain | 0,75 | 0,04 | 0,05 | 0,10 | 0,16 |

Megakarkeuden arvot liittyvät lähinnä ajomukavuuteen. Tasanopeusalueella megakarkeus pysyy pienempänä kuin jarrutusalueella. Jarrutettaessa auton pyörät »rouhivat» tien pintaa. Koska polanne ei ole tasa-aineista pinta kuluu laikuttaiseksi jarrutusalueilla. Nastarenkaiden nastattomia renkaita tehokkaamman rouhinnan vuoksi megakarkeus kasvaa suuremmaksi nastarenkaiden jarrutuspaikassa N4.

Jarrutuspidon kannalta makrokarkeuden aallonpituuksilla 1–5 mm ja 1–10 mm on merkitystä pidon kannalta. Pitkittäin tehtyjen mittausten arvoilla voidaan olettaa olevan merkitystä auton pitkittäissuuntaiseen pitoon eli suurimpaan kiihtyvyyteen tai jarrutushidastuvuuteen. Jarrutuspaikoilla pitkittäinen makrokarkeus on 50–71 % suurempi nastarenkaiden kaistalla kuin nastattomien renkaiden kaistalla. Hidastuvuuserot ovat samaa suuruusluokkaa. Verrattaessa nastattomien renkaiden kaistan tasanopeusaluetta K3 ja jarrutusaluetta K4 keskenään johdonmukaisuutta makrokarkeuden ja hidastuvuuden välillä ei löydy. Jarrutusalueen pinnan tasanopeusaluetta silmämääräisesti suurempi kiiltävyys viittaa vähäiseen mikrokarkeuteen.

Poikittaisen karkeuden voidaan olettaa vaikuttavan sivuttaispitoon (kaarrepitoon), jota ei tässä yhteydessä mitattu. Merkittäviä eroja poikittaisessa makrokarkeudessa ei esiintynyt. Ilmeisesti mikrokarkeuksien arvoilla, joihin profi-lometrin erottelukyky ei riitä, on suuri merkitys pitoon.

5 PÄÄTELMÄT

5.1 Hidastuvuuserojen merkittävyys

Kaikki hidastuvuusmittaukset on tehty noin 20 000 km ajetuilla nastattomilla renkailla (Nokia NRW kitkarenkaat), joten ennako-odotusten perusteella hidastuvuuserot olivat pieniä. Nastallisten renkaiden kaistalla nastarenkaiden osuus kaikista akseliylityksistä on ollut 56–73 %. Nastallisten renkaiden kaistalla tasanopeusalueilla nastojen karhentavan vaikutuksen vuoksi hidastuvuus on ollut 18 % suurempi kuin kaistalla, jossa ajoi vain nastattomia ajoneuvoja.

Kaksi kuorma-autolla tehtyä lukkojarrutusta romahdutti kerralla hidastuvuuden. Nastattomien renkaiden puolella hidastuvuus huononee 53 % arvosta $3,41 \text{ m/s}^2$ arvoon $1,60 \text{ m/s}^2$ ja nastallisten renkaiden puolella 36 % arvosta $3,30 \text{ m/s}^2$ arvoon $2,10 \text{ m/s}^2$. Muutos on autonkäyttäjän vaikeasti hallittavissa mikäli muuttunutta paikkaa tiellä ei voi ennakoida.

Nastattomien renkaiden kaistalla kahden kuorma-auton lukkojarrutuksen jälkeen kiillottuminen jatkuu, vaikka lukkojarrutuksia ei enää tehdä. Vaikuttanut hidastuvuusarvo ($1,1 \text{ m/s}^2$) on 68 % huonompi kuin kokeiden alkaessa. Henkilöautojen lukkojarrutukset eivät enää olennaisesti huononna tilannetta.

Nastallisten renkaiden kaistalla kuorma-autojen lukkojarrutuksen jälkeen kiillottuminen ei olennaisesti jatku, kun jarrutukset tehdään pyöriä lukitsematta. Henkilöautojen lukkojarrutukset huonontavat edelleen hidastuvuutta. Vaikuttanut hidastuvuustaso henkilöautojen lukkojarrutusten jälkeen ($1,2 \text{ m/s}^2$) on 45 % huonompi kuin kokeiden alkaessa.

5.2 Lukkiutumattomien jarrujen merkitys

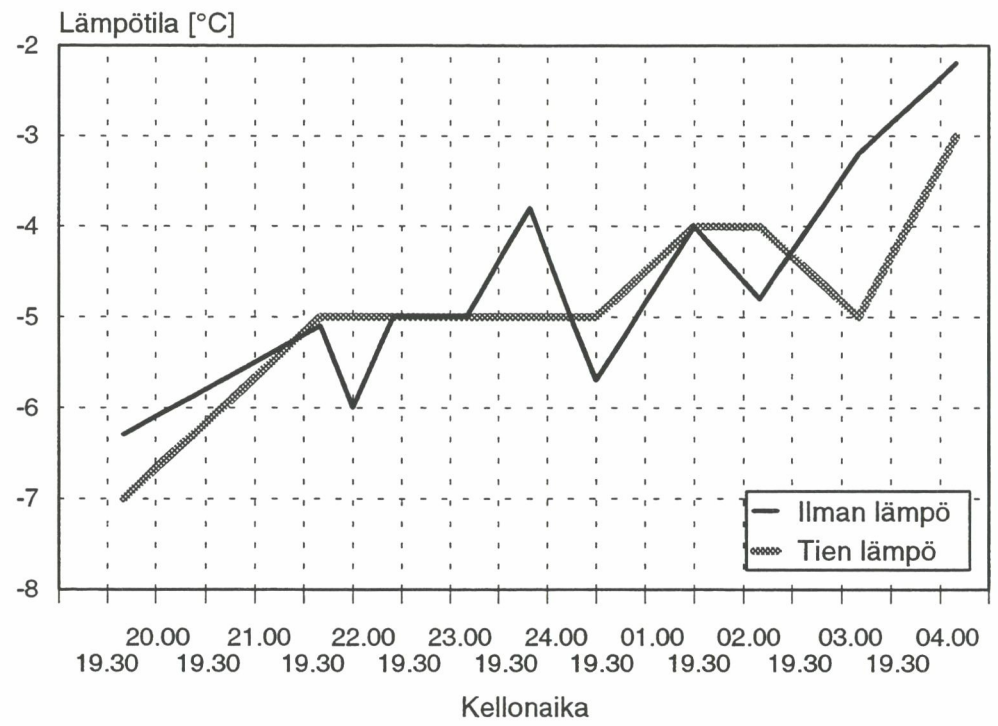
Jarrutettaessa lukkojarrutuksia perinteisin jarruin tie kiillottuu jarrutuskohdalta. Lukkojarrutusten jatkuessa yhä huonommat hidastuvuudet ovat todennäköisiä etenkin nastattomassa liikenteessä. Nastarenkain kehitys on samansuuntainen, mutta todennäköisesti hitaampi nastojen karhentavan vaikutuksen vuoksi. Vastaavaa kiillottumista tapahtuu esimerkiksi risteysalueilla missä hyvää hidastuvuutta tarvitaan. Erityisesti raskaan kaluston kiillottava vaikutus on suuri. Jo yksi lukkojarrutus muuttaa lumipolanteen pinnan hallitsemattoman liukkaaksi. Tämä kuorma-auton kiillottava vaikutus johtuu henkilöautoja suuremmasta renkaiden pintapaineesta tien pintaa vasten ja ajossa henkilöautorenkaita korkeammasta lämpötilasta.

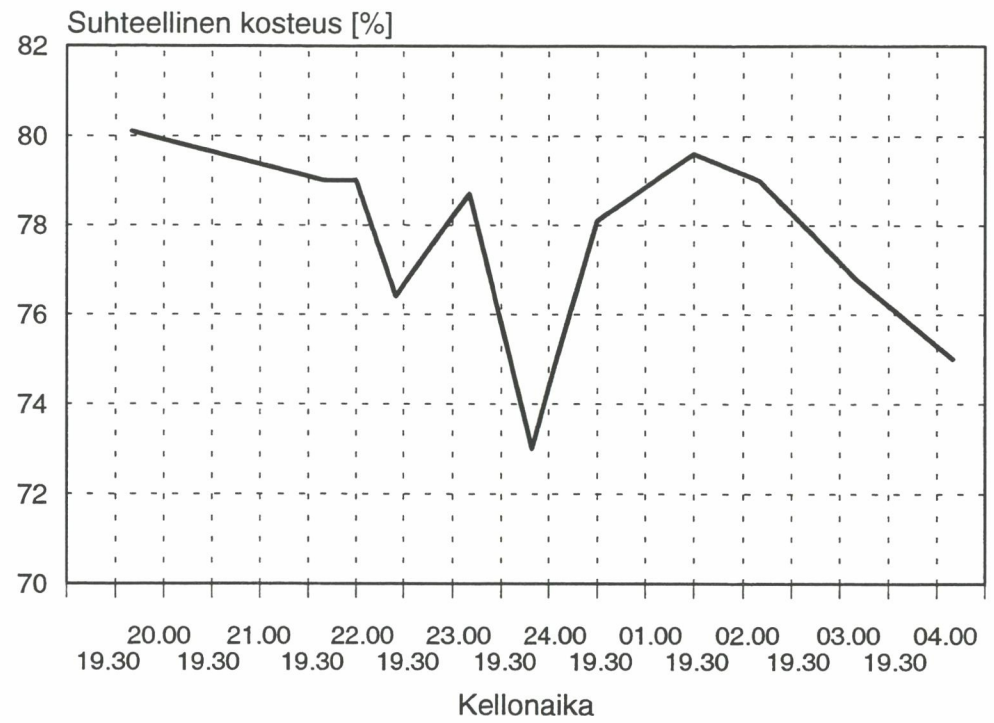
Lukkiutumattomin jarruin vastaavaa kiillottumista ei tapahdu samassa määrin ja riittävät tien hidastuvuusominaisuudet säilyisivät nastattomin renkain useimmissa ajo-olosuhteissa. Tosin vähäistä kiillottumista tapahtuu lukkiutumattomien jarrujen toimiessa mahdollisemman tehokkaasti pyörien nopeuden vaihdellessa jaksoittaisesti jarrujen säätöpulssien tahdissa. Kiillottuminen näkyy noin 10–15 cm pitkinä muuta tietä kiiltävimpinä kohtina sopivas-

sa kulmassa auton valoissa katsottuna. Tämän vähäisenkin kiillottumisen voidaan odottaa vähentyvän lukkiutumattomien jarrujen säätöjärjestelmien kehittyessä.

SEURANTAPÖYTÄKIRJA

| aika | ulko- lämpö | pinta- lämpö | ilman kosteus | muu säätila | sanallinen kuvaus pinnan laa- dusta | huom. |
|-------|----------------|-----------------|------------------|----------------------|--|--------------|
| 19.40 | -6,3 | -7 | 80,1 | sataa lunta | luminen, osittain tallaamaton | |
| 21.40 | -5,1 | -5 | 79,0 | sataa lunta | luminen, tallattu | |
| 22.00 | -6,0 | -5 | 79,0 | sataa lunta | luminen, tallattu | |
| 22.15 | | | | lumisade loppui | | |
| 22.25 | -5,0 | -5 | 76,4 | pilvistä, ei sada | pinta alkaa tiivistyä | |
| 23.10 | -5,0 | -5 | 78,7 | sataako alij. vettä? | pinta tiivistynyt lisää | |
| 23.55 | -3,8 | -5 | 73,0 | tihutta lunta | pinta ei ole vielä riittävän tiivis | |
| 00.30 | -5,7 | -5 | 78,1 | kirkas | kuorma-autot kiillottaneet | |
| 01.30 | -4,0 | -4 | 79,6 | kirkas | jarrutetaan, eroja ulkonäössä | |
| 02.10 | -4,8 | -4 | 79,0 | kirkas | alkaa kulua puhki | |
| 03.10 | -3,2 | -5 | 76,8 | kirkas | alkaa kulua puhki | profilometri |
| 04.10 | -2,2 | -3 | 75,0 | kirkas | liukasta, täysjarrutuksia | |
| | | | | | | |





TALVI JA TIELIIKENNE -PROJEKTIN JULKAISUJA
(Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja)

Raskaan liikenteen kuljettajien kyselytutkimus (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 44/1993. TIEL 4000050

Nastarenkaiden vaikutus matkoihin ja kuljettajien riskinottoon; Kuljettajavertailu, väliraportti (Tapani Mäkinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 1/1994. TIEL 4000054

Liikennemäärät eri kelioloissa tiesääasemien kelitiedon ja liikenteen automaattisilta mittauspisteiltä saadun liikennetiedon perusteella (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 14/1994. TIEL 4000064

Rajoitetun suolauksen kokeilu Uudenmaan tiepiirissä 1993-94; Ammattikuljettajien mielipiteet (Heikki Lappalainen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 20/1994. TIEL 4000068

Nastarenkaiden vaikutus polanteen kulumisnopeuteen ja tienpinnan kitkaominaisuuksiin (Matti Anila - Veli-Pekka Kallberg). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 26/1994. TIEL 4000072

Talvikelin vaikutus henkilöauton polttonesteen kulutukseen (Matti Anila, Veli Pekka Kallberg). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 27/1994. TIEL 4000073

CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 34/1994. TIEL 4000078.

Natriumkloridille tutkitut vaihtoehdot Yhdysvalloissa tehtyjen kirjallisuusselvitysten ja haastattelujen perusteella; Kirjallisuusselvitys. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/1994. TIEL 4000079.

Lumipolanteen kiillottuminen (Matti Anila, Kari Alppivuori) Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 39/1994. TIEL 4000082

Talvihoidon poikkileikkauseuranta; Suolauksen rajoitukset 1993-94 (Heikki Lappalainen). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 40/1994. TIEL 4000083

TALVI JA TIELIIKENNE -PROJEKTIN JULKAISUJA
(Tielaitoksen selvityksiä)

CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 38/1992. TIEL 3200092

Nastojen, hiekoituksen ja suolauksen aiheuttama pöly ja sen leviäminen ympäristöön, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 79/1992. TIEL 3200120

Asfalttipäällysteiden suunnitteluperusteiden vertailu nastallisen ja nastattoman liikenteen välillä, kirjallisuustutkimus. Tielaitoksen selvityksiä 17/1993. TIEL 3200144

Nastallisen ja nastattoman liikenteen päällysteet, yhteenveto. Tielaitoksen selvityksiä 28/1993. TIEL 3200154

Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla (Amelia de Conter, Kirsti Granlund, Jouko Soveri). Tielaitoksen selvityksiä 33/1993. Keskushallinnon erillishanke. TIEL 3200158

Talvikunnossapidon laadun logistiset vaikutukset (Hanna Kalenoja, Jorma Mäntynen) Tielaitoksen selvityksiä 37/1993. TIEL 3200162

Talvirengastutkimus; Talvirenkaiden käyttö ja kunto sekä kuljettajien arviot talvirenkaiden talvikaudella 1992-1993 (Kimmo Saastamoinen, Heikki Heinijoki). Tielaitoksen selvityksiä 45/1993. TIEL 3200170

Tiesuolaus ja pohjavedet; Nykytilan selvitys (Jukka Yli-Kuivila, Anna-Liisa Kivimäki, Timo Kinnunen). Tielaitoksen selvityksiä 49/1993. TIEL 3200174

Tiesuolan pohjavesivaikutukset - Kulkeutumismekanismien moni-ilmiömallinnus (Terhi Kling, Veijo Pirhonen). Tielaitoksen selvityksiä 65/1993. Keskushallinnon erillishanke. TIEL 3200190

Kokemuksia Japanin nastattomasta talviliikenteestä. Tielaitoksen selvityksiä 66/1993. TIEL 3200191

Suolan käytön vähentäminen, väliraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikaudella 1992-1993 (Pauli Niemelä, Juhani Laurinkari, Sakari Kainulainen, Risto Tuunanen). Tielaitoksen selvityksiä 67/1993. TIEL 3200192

Kelin vaikutus ajokäyttäytymiseen ja liikennevirran ominaisuuksiin (Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen selvityksiä 80/1993. TIEL 3200204

Teiden suolauksen vähentäminen Kuopion tiepiirissä; Vaikutukset talvella 1992-1993 (Veli-Pekka Kallberg). Tielaitoksen selvityksiä 86/1993. TIEL 3200210

Kuljettajakäyttäytyminen kaarre- ja jonoajossa (M. Roine). Tielaitoksen selvityksiä 87/1993. TIEL 3200212

Kelin kokemisen, rengaskunnon ja rengastyypin vaikutus nopeuskäyttäytymiseen (Heikki Heinijoki). Tielaitoksen selvityksiä 19/1994. TIEL 3200229

Talvirangastutkimus; Talvikauden kulumis- ja kitkaominaisuuksien vertailu sekä käyttö ja kunto talvikaudella 1993-1994 (Jukka Antila, Timo Mäkelä, Heikki Heinijoki, Kimmo Saastamoinen). Tielaitoksen selvityksiä 34/1994. TIEL 3200243

Tiestön kunnossapito vähemmällä suolauksella. Loppuraportti väestön asenteista Kuopion läänin kokeiluun talvikausina 1992-1994 (Pauli Niemelä, Sakari Kainulainen). Tielaitoksen selvityksiä 38/1994. TIEL 3200247

Rajoitetun suolan käytön vaikutus asfalttikonin kulumiseen (Timo Kurki). Tielaitoksen selvityksiä 46/1994. TIEL 3200255