

Yliajokoe

Selvitys kokeen kehitysvaiheista ja tyyppi-hyväksyntärajojen määräytymisperusteista

Timo Unhola

Yliajokoe

Selvitys kokeen kehitysvaiheista ja tyyppi-hyväksyntärajojen määräytymisperusteista

Timo Unhola

Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi)
Trafiksäkerhetsverket (Trafi)
Helsinki Helsingfors 2015

ISBN 978-952-311-100-4
ISSN 2342-0294 (verkkojulkaisu)

ALKUSANAT

Suomen nastarengasmääräykset ja niiden jatkuva kehittäminen on ollut ensiarvoisen tärkeää teiden kulumisen kannalta.

Nykyisessä vaiheessa, kun nastarenkaita on käytetty yleisesti jo 50 vuotta, voidaan arvioida, että määräysten ansiosta teiden kuluminen ja sen aiheuttamat uudelleenpäällystyksen kustannukset ovat alentuneet murto-osaan siitä, mitä ne olivat 70-luvun alussa ennen ensimmäisiä nastarengasmääräyksiä. Tätä on yksityiskohtaisemmin kuvattu liitteessä 1.

Tämän toimialan kehittämisessä Suomen rooli on ollut suhteellisen merkittävä kaikkia sidosryhmiä ajatellen. Tämän vuoksi on tärkeää, että kaikki yhteistyöhön osallistuvat tahot tulevat tasapuolisesti informoiduiksi tähänastisen kehitystyön taustatekijöistä.

Tämän selvityksen tarkoituksena on auttaa ymmärtämään yliajokokeen kehityksen aiemmat vaiheet ja tyyppihyväksynnässä käytettävien raja-arvojen määräytymisen perusteet. Lisäksi toivotaan, että selvitys voisi toimia perustana nastarenkaiden tyyppihyväksyntävaatimusten jatkokehitykselle.

Selvityksen on tehnyt Timo Unhola, yksi kokeen kehittäjistä.

Tilaaajana oli Mika Lopenen, Trafi

Helsingissä, 22.9.2015

Marko Sillanpää
Tieliikennejohtaja

Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi)

FÖRORD

Finlands regler gällande dubbade däck- och deras kontinuerliga utveckling har varit av avgörande betydelse när det gäller vägslitage.

Nu, när dubbdäck har använts i stor utsträckning i 50 år, kan man uppskatta att tack vare bestämmelserna har vägslitage och återbeläggningskostnader reducerats till en bråkdel av vad de var i början av 70-talet innan de första reglerna gällande dubbade däck introducerades. Detta beskrivs mer i detalj i bilaga 1.

Finlands roll har varit relativt viktigt för alla intressenter i åtanke när denna sektor har utvecklats. Det är därför viktigt att alla som deltar i samarbetet kommer att vara lika underrättade om bakgrunden till utvecklingen hittills.

Denna utredning borde bidra till att förstå förgående utvecklingsstadier av testen samt anledning till bestämning av gränsvärdena uppsatta för typgodkännande. Dessutom är förhoppningen att rapporten skulle tjäna som underlag när tekniska krav om dubbdäck vidareutvecklas för typgodkännande.

Utredningen gjordes av Timo Unhola, en av utvecklarna av testen.

Beställaren var Mika Lojonen, Trafi

Helsingfors den 22.9.2015

Marko Sillanpää
Vägrafikdirektör

Trafiksäkerhetsverket (Trafi)

FOREWORD

In Finland, the studded tyre regulations and the continuous development of them have been of paramount importance in terms of road wear.

At this point, when the studded tyres have been widely used for 50 years, it can be estimated that, thanks to the regulations the road wear and the costs associated with resurfacing have been reduced to a fraction of what they were in the early 70's before the first studded tyre regulations were introduced. This is described in more detail in Annex 1.

Finland's role in development of this sector has been substantially noteworthy involving all stakeholders. In this context it is important that all relevant parties of co-operation in this field are informed uniformly about backgrounds of the development work done so far. This report should help to understand previous stages of the development of the over-run-test and the reasoning behind determination of the type-approval limits. Hoping also the report serves as a basis for advanced future steps of studded tyre type-approval requirements.

The report was done by Timo Unhola, member of the developing team of the test.

Assigned by Mika Lojonen, Trafi

Helsinki 22.9.2015

Marko Sillanpää
Director General of Road Transport

Finnish Transport Safety Agency (Trafi)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Sammanfattning

Abstract

1	Tavoite	9
2	Alkuhistoria	9
3	Yliajokoemenetelmän kehitysvaiheet	9
4	Ylitysmäärä	10
5	Jatkokehitys	11
6	Kehitystyön tulos: sahattu koekappale	11
7	Koekappaleiden kiviaineksen valinta	12
8	Nastan jälkiä.....	13
9	Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä	14
10	Menetelmän tarkkuustarkastelua	15
10.1	Vertailukokeet	16
10.1.1	Vertailu tiekulumaan.....	16
10.1.2	Vertailu eri tutkimuslaitosten yliajokokeiden kesken	17
11	Tutkimusten tulokset ja tyyppihyväksyntärajojen määräytymisperusteet.....	18
12	Lähdeluettelo.....	20

Liite 1 Tien kulumisen ja sen tutkiminen Suomessa

Liite 2 Tien kulumisen tutkimusmenetelmät

Liite 3 Yliajokokeen perusteella Trafín hyväksymät rengas-nasta-yhdistelmät ja niiden kuluttavuustulokset

TIIVISTELMÄ

Yliajokoe on nastarenkaiden tiekuluttavuutta mittaava menetelmä, jota kehitettiin VTT:llä vuodesta 1985 alkaen ja se on määrätietoisien kehitystyön ja kymmenen vuotta myöhemmin koetta varten suunniteltujen sahattujen koekivikappaleiden käyttöönoton jälkeen vakiintunut kuluttavuuskoe.

Kokeessa ajetaan maantienopeudella 200 kertaa koerenkain varustetulla autolla kivistä valmistettujen kulutuskoekappaleiden yli, jotka punnitaan ennen ja jälkeen kokeen.

Kokeen vakiintumisen jälkeen sitä on yleisesti käytetty nastallisten talvirenkaiden tyyppihyväksyntämenetelmänä. Vuoden 2009 aikoihin menetelmän käytöstä oli niin paljon kokemuksia, että niiden perusteella voitiin esittää kiinteitä tyyppihyväksyntärajoja.

Viranomaisten vakuututtua kokeen pätevyydestä vuonna 2011 otettiin käyttöön rajat, joita vielä tiukennettiin vuonna 2013.

Vakiintunut menetelmä on kuvattu Trafin julkaisemana menetelmäkuvausena, jota soveltaen eri tutkimuslaitokset ovat Trafin hyväksyminä käyttäneet sitä sekä Suomessa (5 laitosta) että ulkomailla.

SAMMANFATTNING

Överkörningstest är en speciell metod som beskriver slitaget av vägytan, orsakad av dubbade däck. Den har utvecklats på VTT (Statens tekniska forskningscentral) från och med år 1985. Målmedvetet utvecklingsarbete samt tio år senare införandet av slitprovstycken av sten, sågade och speciellt för testen utvecklade, har gjort den till en väletablerad test.

Testen görs genom att köra väghastighet med en bil utrustad med dubbade däck 200 gånger över slitprovstycken som vägs både före och efter körningen.

Sedan etableringen har testen haft allmän användning som metod för typgodkännande av dubbade däck. Vid år 2009 hade man haft så mycket erfarenhet av användningen av metoden att det möjliggjorde presentation av fasta gränser för typgodkännande.

Efter att myndigheterna nått förtroende för metoden år 2011, infördes gränserna, som fortfarande skärptes år 2013.

Denna metod har beskrivits i en publication av Trafi som en metodbeskrivning. Den har tillämpats i Finland (5 anläggningar) och utomlands av olika forskningsinstitut som har godkänts av Trafi.

ABSTRACT

Over-run-test is a method for measuring road wear caused by studded tyres, which has been started to develop since 1985 at VTT (Technical Research Centre of Finland), and it is, as a result of purposeful development of the test and, ten years later, after the introduction of the sawn stone samples especially designed for the test, an established wear test.

The test is run by driving at highway speed with a car equipped with studded tyres 200 times over the stone samples, which are weighed before and after the test.

Following the consolidation of the test, it has been commonly used as a method for type approval of studded tyres. Since 2009 sufficient experience was gained from the use of the method that made it possible to present fixed approval limits.

After the authorities were convinced of the validity of the test in 2011, the limits were introduced and further tightened in 2013.

An established test method is described, published by Trafi as a methodological description, which has been applied both in Finland (5 companies) and abroad by different research institutes approved by Trafi.

1 Tavoite

Tämän selvityksen tavoitteena on tehdä selväksi ns. yliajokoemenetelmän eri yksityiskoh-
tien valintahistoria ja -perusteet sekä sen tyyppihyväksynnässä käyttöön otettujen raja-arvo-
jen määrittämisperusteet.

2 Alkuhistoria

Suomessa havahduttiin 1960-luvun lopulla huomaamaan, että nastojen tietä kuluttava omi-
naisuus on ongelma, aluksi kaupungeissa. Ensimmäiset tutkimukset tällä alalla tehtiin jo
tuolloin. Vuosien aikana eri tahot ovat eri tutkimusmenetelmiä käyttäen yrittäneet selvittää
asiaan vaikuttavia tekijöitä. Liitteessä 2 on esitelty lyhyesti eri menetelmiä ja niiden hyviä
ja huonoja puolia. Satsaus tien kulumisen tutkimiseen on kannattanut. Vuosien kuluessa ku-
luminen on saatu kuriin ja nastarenkaiden vastustus tai kieltämishankkeet ovat vähentyneet
(ks. Liite 1).

3 Yliajokoemenetelmän kehitysvaiheet

Kulumisen tutkiminen kaipasi 1980-luvulla uusia tuulia, sillä koeradoissa oli nopeus- ja
sortorajoituksensa, laboratoriolaitteilla omansa ja koeteillä ei voitu testata ajoneuvotekijöi-
den, kuten nastojen ja renkaiden vaikutusta (ks. Liite 2).

Menetelmän kehittäjät VTT:llä:

Erikoistutkija Risto Alkio (kuva 1, oikealla)

Tutkija Jarmo Vuorinen

Tutkija Timo Unhola

Nastan kontaktista alustaan jäävää jälkeä ("kuoppaa") yri-
tettiin mitata eri alustoilta, kuten sileiltä kivipinnoilta tai
alumiini- ja lyijylevyiltä (ks. kuvat sivulla 13). Metallisilla
pinnoilla jälki näkyy kyllä selvästi, mutta se ei muistuta is-
kun saanutta kiven pintaa: halkeamia ja raapaisua ei
esiinny lainkaan. Metallien pinta vain muokkaantuu, kulu-
maa ei tule. Kiveen isku aiheuttaa aina säröjä ja halkeamia.
Vaikka yksi isku sileään kivipintaan ei välttämättä vielä ir-
rota juurikaan materiaalia (ks. kuvat sivulla 13), on isku-
kohta jo heikentynyt (mikrohalkeamia) ja seuraavat nasta- ja
paineiskut samaan kohtaan saavat aikaan kuluma.



Kuva 1. Koekappaleiden asennus
alustaan.

VTT:n silloisessa Tielaboratoriossa alkoi edellä mainittu tut-
kimusryhmä v. 1985 kehittää yksinkertaista menetelmää, jossa normaalilla autolla ajetaan
koekappaleiden yli kunnes saadaan punnittava kuluma. Tehtävä oli (on) vaativa, sillä yhden
nastakontaktin (isku + raapaisu) tiestä irrottama massa oli sen aikaisilla nastarenkailla tyy-
pillisesti mikrogrammoja (μg). Vaikka kontakteja (iskuja) saadaan nykyiselle koekappale-
alueelle esim. 200 auton ylityksen eli 400 rengaylityksen tuloksena tuhansia, on punnittava
massahävikki koekappaletta kohti kappaleista riippuen kuitenkin vain milligrammoja.

Aluksi käytettiin koekappaleina kivistä porattuja lie-riöitä ($h=20$ mm, $\varnothing$ 32 mm, n. 40 g), joita oli kiinnitetty vaneriselle tukilaatalle 22 kpl, myöhemmin kumilaatalle 23 kpl (kuvat 1, 2 ja 3). Näillä ensimmäisillä koekappaleilla saatiin jo osoitettua nastan painon ja ajonopeuden selkeä vaikutus kulumiseen v. 1986.

Alusta asti koekappaleitten suositeltavin kivimateriaali on ollut Kurun harmaa graniitti. Muitakin kiviä on kokeiltu, mm. ASTO-projektin yhteydessä 12 eri kiveä. Materiaalin valintaa perustellaan seuraavalla sivulla.

Koekappaleiden pitäminen märkänä kokeen ajan ta-soittaa olosuhteiden vaikutusta ja lisää kulumaa kuten tielläkin (kuivaan pintaan nähden 1,5...3 -kertainen).

Punnittavan koekappaleen painon suhde siihen aiheutettuun kulumaan on noin tuhatkertainen, minkä takia koekappaleiden käsittelyn huomattiin pian olevan mitä kriittisin. Koekappaleiden on oltava punnit-taessa samassa kosteustilassa (ns. vakiomassa) mo-lempien punnitusten aikana. Tämä työvaihe vaati eni-ten kehittelyä ja kokeiluja.

Ehkä tärkein yksittäinen kehitysaskel oli referenssikappaleiden käyttöönotto. Niitä kohdel-tiin muuten täysin samoin kuin kulutuskoekappaleitakin, mutta niiden yli ei ajettu. Alku- ja loppupunnituksessa niillä saadulla erolla voitiin korjata varsinaisten kulutuskoekappaleiden vähäinen punnitusten olosuhde-ero.



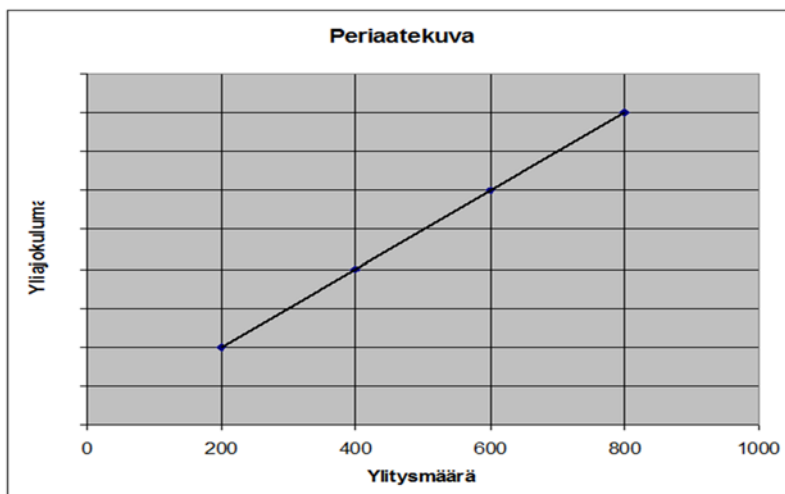
Kuva 2. Alkuvaiheiden koekappaleita.



Kuva 3. Yliajokoe 1980-luvun lopulla.

4 Ylitysmäärä

1990-luvun alussa tehtiin kokeilu, jossa ajettiin sarja 200 - 400 - 600 - 800 yliajoa. Tämä antoi oheisen periaatekuvan tapaisen tuloksen. Johtopäätös: ei ollut syytä lisätä ajo-määrää.

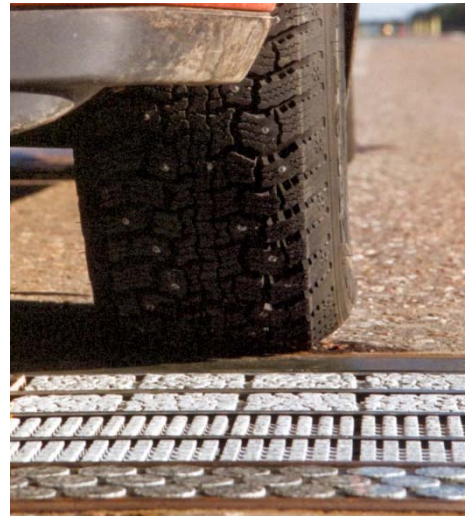


5 Jatkok kehitys

Tie ei ole tehty kivistä vaan asfaltista, siksi oli yrittävä tehdä koekappaleet asfaltista. Tämä ei tuota ongelmia koekappaleiden valmistuksen eikä kuluttamisen suhteen mutta punnituksessa on mahdollonta saada koekappaleita samaan tilaan ennen ja jälkeen kokeen. Koekappaleita kuivattaessa uunissa asfaltista haihtuu ainetta hallitsematon määrä. Toisaalta kiven käyttö kulutuskoekappaleena on perusteltua, sillä ASTO tutkimusprojekti teki selväksi sen, että päällysteen kulumiskestävyyden ratkaisee valittu kiviaines.

Lieriökoekappaleiden suuren määrän takia (46 kpl / koe) niiden käsittely oli kuitenkin työläs urakka ja kulumat niin pieniä, että nastojen kevennyttyä 1990-luvulla oli joko lisättävä ajomäärää tai kehitettävä sopivampi koekappale. Yksi ajo renkaita ja autoa kohtuuttomasti kohtelematta kesti jo kolmi-sen tuntia, joten ajon lisääminen ei houkutelut. Siksi eri vaiheiden jälkeen suunniteltiin epoksialustalle liimatuista murskepaloista tehty koelaatta. Murskattujen kivirakeiden koko vastasi päällysteessä käytettyjä. Menetelmä toimi, mutta hajonta oli suuri ja kappaleitten teko hidasta käsityötä. Kuluma oli keskimäärin sopiva punnittavaksi ja seuraavassa vaiheessa käytettiin myllytettyjä kivirakeita, joista siis terävimmät pieneni, mutta pieneksi.

Kuva 4. Murskekoekappaleiden valmistusta.



Kuva 5. Kulutuskoekappaleiden vertailu.



kulmat oli pyöristetty. Hajonta kuluma jäi kuitenkin jälleen liian

6 Kehitystyön tulos: sahattu koekappale

1996 otettiin koekäyttöön varta vasten tätä koetta varten suunniteltu ja teetetty koekappale-malli, yläpinnaltaan urille sahattu koekappalelaatta (20 x 75 x 90 mm, paino n. 300 g). Se on osoittautunut käytännölliseksi jopa kaikkein vähiten kuluttavien liukuesterenkaiden aiheuttaman kuluman mittaamiseksi.

Kulutuspalan koko on valittu käsittelyn ja punnustarkkuuden optimoimiseksi ja yksittäiset päällysteen kiviainesrakeita kuvaavat sahakuviot kooltaan sellaisiksi, että ne vastaavat päällysteen keskimääräistä raekokoa ja itse kiviaineksen mineraalit ovat jokaisessa palassa edustavasti jakautuneena. Kohoumat ovat kooltaan riittävän suuria kestämään kokeen rasitukset ja niiden lukumäärä on mahdollisimman suuri muut raja-arvot huomioiden. Lisäksi kiviaines toimitetaan aina samalta louhokselta.



Kuva 6. Sahattu koekappalelaatta.

7 Koekappaleiden kiviaineksen valinta

Kurun harmaan graniitin mineraalikoostumus on: kvartsi 40 %, kalimaasälpä 35 %, plagioklaasimaasälpä 22 % ja biotiitti (tumma kiille) 3%. Kvartsirakeen keskimääräinen raekoko on n. 1,0 mm ja plagioklaasi- sekä kalimaasälvän keskimääräinen raekoko n. 1,5 mm. Rakenteeltaan kivi on tasarakeinen. Kurun harmaan graniitin rakenne on säännöllisesti järjestäytymätön eli ominaisuudet ovat joka suuntaan samanlaiset. Kvartsilla ei ole selviä lohkosuuntia ja se voi lohkeilla kaareutuvasti. Maasälvillä on kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa lohkosuuntaa. Sekä kvartsi että maasälpä esiintyvät kivilajissa epäsäännöllisinä rakeina vailla omaa kidemuotoa, jolloin mineraalien välinen tartunta on hyvä. Näistä syistä kontaktikohdissa ei ole heikkousvyöhykkeitä.

Kurun harmaa graniitti on erittäin tasalaatuinen, louhoksena hyödynnettävistä kiviaineksista ehkä Suomen tasalaatuisin ja rakenteellisesti hyvin ehjää. Kivestä on esimerkiksi valmistettu aiemmin kaikki paperiteollisuuden suurnopeuksiset paperivalssit.

Kurun harmaa graniitti on valittu yliajokokeen kivilajiksi edellä mainittujen mineralogisten ja kiven rakenteellisten seikkojen vuoksi. Näiden lisäksi kiven kulutuskestävyys nastarengaskulutusta vastaan (lujuus) on keskitasoa ajatellen suomalaisia kiviä. Kiviaineksella saadaan tuloksia kohtuullisella ajomäärällä eikä kiviaines ole kuitenkaan liian heikkoa tapahtuvia lohkeamaprosesseja ajatellen. Muitakin kiviä on kokeiltu alusta lähtien 80- ja 90-luvuilla, mm. Koski TL:n vulkaniittia. Mikään kokeiluista ei ole yhtä tasalaatuinen ja rae-kooltaan sopiva kuin Kurun graniitti.

Särmälohkeamisen hillitsemiseksi laatan yläpinnan kulmia on kokeiltu pyöristää kuulamylyssä, mutta jälleen kulumisen vähenemisen kustannuksella. Särmälohkeaminen lisää kulumaa selvästi ja jonkin verran myös hajontaa, mutta on puolustettavissa sillä, että asfaltin kivien lohkeaminen on kriittistä myös päällysteen kulumisessa.

Sahattua koekappaletta on nyt käytetty lähes 20 vuotta ilman ongelmia. Yliajokoekuluma on noin kymmenkertainen tien kulumaan nähden. Suurimmat syyt siihen ovat edellä mainittu särmälohkeaminen, valittu kiviaines ja koekappaleitten märkyys, sekä se, että testattavat nastarenkaat ovat olleet aina uusia ja nopeus korkea 100 km/h. Koe on siis nopeutettu tien kuluttavuudesta, ainoa maailmassa, jota voidaan käyttää simuloimaan eri ajoneuvotekijöiden vaikutusta tien kulumiseen maantienopeuksissa.



Kuva 7. Yliajokoe 2000-luvulla.

8 Nastan jälkiä

Makrokuvia (kaikissa sama skaala)



Nastan jälkiä lyijylevyn pinnalla



Nastan jälkiä alumiinilevyn pinnalla



Nastan jälkiä kivilevyn pinnalla



Nastan jälkiä kivilevyn pinnalla



Nastan jälkiä kivilevyn pinnalla

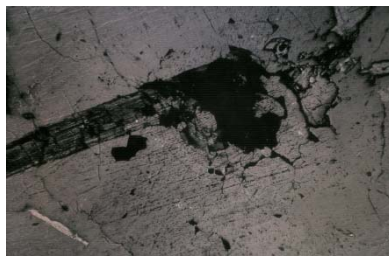


Nastan jälkiä kivilevyn pinnalla

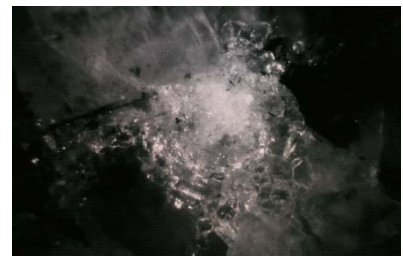
Mikroskooppikuvia



Nastaiskun aiheuttamia halkeamia kivilevyn pinnassa, raapaisujälki vasemmalle, ei irronnutta kiveä



Nastaiskun aiheuttamia halkeamia kivilevyn pinnassa, raapaisujälki vasemmalle, vähän irronnutta kiveä



Nastaiskun aiheuttamia halkeamia kivilevyn pinnassa, raapaisujälki vasemmalle, vähän irronnutta kiveä

Nastan jälkiä eri nopeuksilla sileällä kivipinnalla (ajosuunta vasemmalta oikealle)



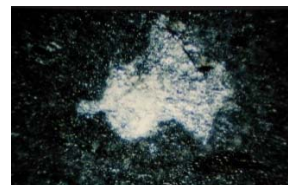
60 km/h, vähän iskua, pitkä raapaisu



80 km/h, isku suurenee, vielä pitkä raapaisu



100 km/h, isku huomattava, raapaisu vähäinen



120 km/h, isku dominoi, raapaisu olematon

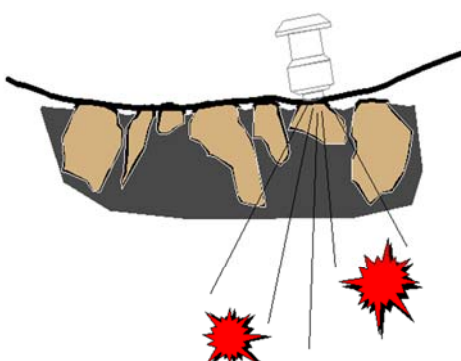
9 Kulumiseen vaikuttavia tekijöitä

Tien kulumiseen vaikuttavat muutkin tekijät kuin ajonopeus (ks. ed. sivun kuvat), vaikka se lienee tärkein. Seuraavassa on esitetty muita tekijöitä, ei välttämättä tärkeysjärjestyksessä. Osaa niistä on määräyksin rajoitettu eri vuosina.

Nastojen aiheuttama teiden kuluminen

Rajoitukset

Ajoneuvo- ja liikennetekijöitä

- 
- ➡ 1. Nastan paino (raja 1992 -> 1,1 g)
 2. Auton paino
 3. Nastarenkaan profiilisuhde
 4. Rengaspaine
 5. Ajonopeus, maantiet (talvinopeusrajoitukset, vähäinen vaikutus)
 - ➡ 6. Nastamäärä / renkaan kehä (50 nastaa/ vierintäkehämetri)
 7. Nastateknologia (vielä uusia mahdollisuuksia)
 8. Rengasteknologia (jatkuvaa kehitystä myös vähemmän kuluttaviin)
 - ➡ 9. Nastaulkonema, kadut (raja 1,2/2,0 mm, käytännön sanelema)
 - ➡ 10. Pistovoima, kadut (raja 120 N, tyyppihyväksyntä, mittausergelmiä)
 11. Käyttöaste (laskua ei enää viime vuosina, ei tavoitteena)
 12. Nastallinen liikennesuorite (tasaista kasvua)
 - ➡ 13. Käyttöaika (1.11. - 1 viikko pääsiäisen jälkeen, vähäiset rajoitusmahdollisuudet)

Näiden lisäksi voidaan mainita:

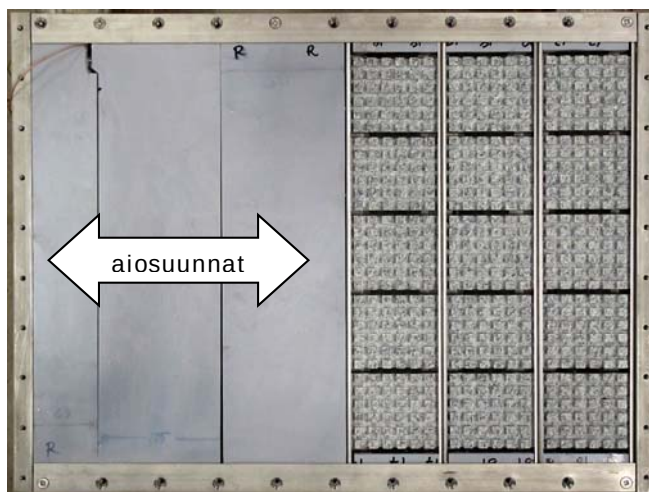
- Liikenteen kanaloituminen (kaikki ajavat samalla kohtaa kaistaa = urissa), mikä kiihdyttää urien syvenemistä, ei niinkään lisää kokonaiskulutusmäärää, vaan vain aikaistaa päällystämistarvetta.
- Sää, kunnossapito ja niiden seurauksena tien pinnan tila: luminen, sohjoinen, polanteinen, märkä tai kuiva. Märkänä päällyste kuluu 1,5 -3 kertaa nopeammin kuin kuivana, lumisena tai polanteisena ei juuri lainkaan, mutta tällaisia kelejä ei usein esiinny päätteillä, joiden kuluminen on ratkaisevaa.
- Liikennesuorite nastoin, joka oli viimeisten laskelmien mukaan (talvelta 2014/15) Koillis-Helsingissä 29 % kokonaissuoritteesta. Liikennesuoriteosuudesta voidaan laskea minkä tahansa tieosan poiskulunut kokonaismassamäärä vuodessa, kun tiedetään tai pystytään arvioimaan tien keskimääräinen vuosittainen ajoneuvosuorite (KVLV) sekä päällysteestä ja nastarenkaista riippuvainen ominaiskuluttavuus SPS (specifik slitage, g/ajoneuvokilometri).

Ehkä on vielä syytä muistuttaa, että uria ei synny pelkästään kulumalla. Uransyvyiden kasvuun vaikuttavat kulumisen lisäksi useat muut seikat, kuten päällysteen tiivistyminen (erityisesti alkutiivistyminen) ja deformaatio sekä alustan (tiepohjan) painuminen. Kulumisen osuus uranmuodostuksesta on kuitenkin hyvin tiedossa, koska se tapahtuu talvella kun taas

deformaatio ja painuminen tyypillisesti pääasiassa kesällä. Kuluminen voidaan näin erottaa muista uranmuodostumisen osatekijöistä tekemällä uramittaukset kahdesti vuodessa, keväisin ja syksyisin.

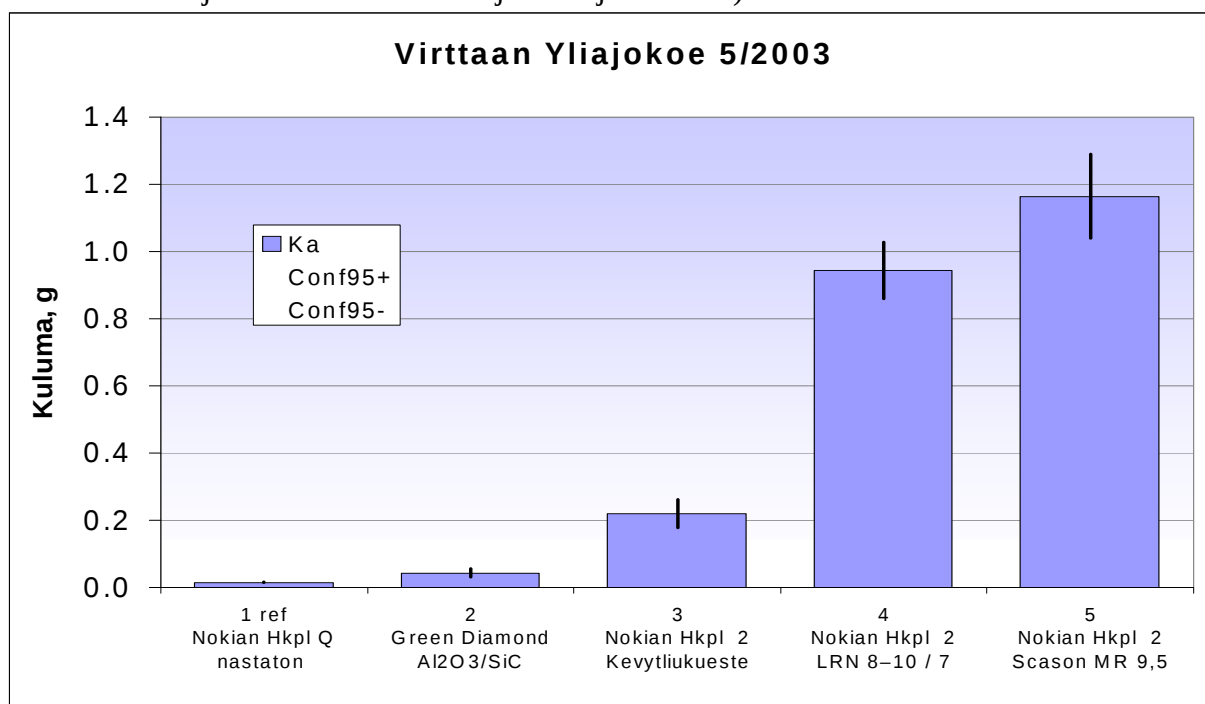
10 Menetelmän tarkkuustarkastelua

Koekappaleita käytetään koetta kohti 15 kpl, 5 kpl 3 rivissä (ks. Kuva 8). Rivikulumasummien hajontaa eri rivien välillä antaa mahdollisuuden virheanalyysiin, koekappalerivejä voidaan käsitellä rinnakkaisnäytteinä. Kyseisillä kulumuskoekappaleilla tehdyissä kokeissa 2000-luvulla rivihaajonnasta laskettu kuluman keskiarvon virhe 95 % todennäköisyydellä on vaihdellut välillä 0,4 – 24 %, keskimäärin 11,2 %, prosentteina keskiarvosta.



Kuva 8. Yliajokoekappaleet alustassaan.

Tulokset esitetään rivikulumakeskiarvoina ja niiden hajontaa kuvaa 95 % luottamusväli, esimerkkinä tulokset tutkimuksesta vuodelta 2003 (kuva 9, Nastarenkaan kuluttavuus yliajokokeessa ja imurimenetelmällä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 12/2004).



Kuva 9. Esimerkki tuloksista ja niiden luottamusväleistä..

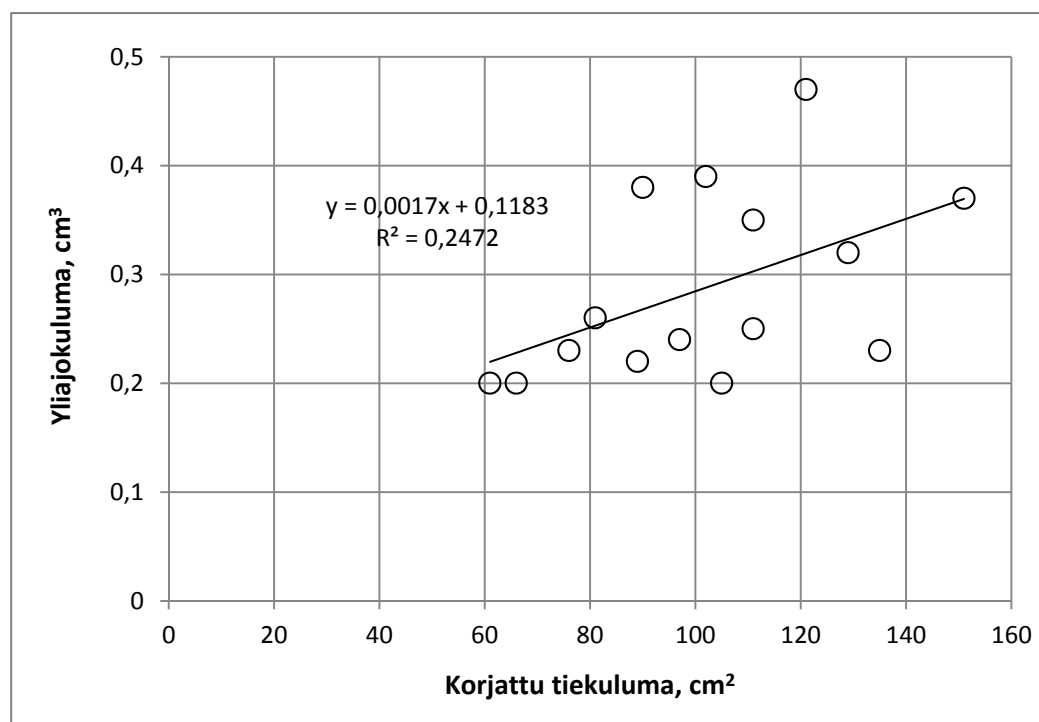
10.1 Vertailukokeet

Vertailukokeita muihin menetelmiin ei ole kustannussyistä ja menetelmien erilaisuudesta johtuen juuri voitu järjestää.

10.1.1 Vertailu tiekulumaan

Vertailua todelliseen tiekulumaan eri kiviaineksilla on kuitenkin selvitetty kerran, vuosina 1989-91 järjestetyn ASTO kiviainekoetien yhteydessä /n ja n/.

Tässä vertailussa samoista 15 ASTO kiviaineksista (luettelo taulukossa 1), joista tehtiin täysimittainen koetie, tehtiin myös yliajokoe-kappaleet, siihen aikaan kivilieriöt (ks. kuva 2). Niiden yliajokuluma voitiin verrata koetiellä samoista kiviaineksista tehtyjen asfalttikoeosuuksien kulumaan kahden talven jälkeen (1991). Yliajokuluma on 23 koekappaleen kokonaiskuluma kuutiosentteinä ja tiekuluma on poikkiprofiilin poiskuluneen osan pinta-ala neliösentteinä, korjattuna koeosuuden kaarteisuuden ja mäkisyyden suhteen (kuva 10). Tulokset eivät osoita kovin selkeää riippuvuutta. Oleellisia riippuvuutta alentavia seikkoja on useita: asfalttimassa tehdään murskeesta (tässä tapauksessa kubisoidusta), yliajokoe-kappaleet porataan kivilaatoista; koeteiden toteuttamisessa on aina kyse suuresta joukosta vain osittain hallittuja työvaiheita: kiviaineksen valinta, seulonta (ja kubisointi), hienoaineksen laatu ja määrä, bitumi, massan suhteitus, sekoitus ja levitys, liikenne, yms. Lisäksi tässä tapauksessa ASTO kiviainekset oli valittu kaikkein kulutuskestävimmistä suomalaisista kivistä, yliajokokeeseen taas on valittu vähemmän kulutusta kestävä Kurun graniitti, jota ei käytetä kulutuskestävyyttä vaativilla teillä. Kuvassa 10 tyypillinen Kurun graniitin kuluma olisi skaalojen ulkopuolella.



Kuva 10. Yliajokuluman vertailu samoista kiviaineksista tehtyjen asfalttimassojen kahden vuoden koetiekulumaan.

Taulukko 1. ASTO kiviainekset

Amfiboli, Kerimäki	Diabaasi, Varpaisjärvi
Hapan vulkaniitti, Pyhäjärvi	Kvarsidioriitti, Kalajoki
Emäksinen vulkaniitti, Siilinjärvi	Gabro, Riihimäki
Hapan vulkaniitti, Saarijärvi	Diabaasi, Lemi
Serpentiniitti, Keminmaa	Vihreäkivi, Tornio
Hapan vulkaniitti, Pernaja	Graniitti, Ylivieska
Gabro, Kemiö	Hornblendiitti, Suomusjärvi
Granodioriitti, Tampere	

Yhteenvedoksi vertailukokeista ja kulutuskokeiden menetelmäkehityksestä voisin vielä painottaa, että edellä kuvatut tulokset eivät ole syntyneet ilman suuria satsauksia. Kaikki nämä tien kulumisen hallintaan liittyvät panostukset ovat maamme parhaiden päällystealan asiantuntijoiden kymmenien pohdinta-, suunnittelu- ja työvuosien tulosta. Suurin yksittäinen satsaus oli ASTO -projekti (1987-1993), jonka kokonaisbudjetti oli nykyrahan arvoksi muunnettuna lähes 14 miljoonaa euroa.

10.1.2 Vertailu eri tutkimuslaitosten yliajokokeiden kesken

Trafi järjesti v. 2014 menetelmää käyttävien tutkimuslaitosten kesken (Round Robin) vertailukokeen, josta saatujen tulosten perusteella menetelmän yksityiskohtia on tarkennettu erojen pienentämiseksi: http://www.trafi.fi/file-bank/a/1430729756/bef45563e869170671ce4bafc5552d22/17480-Yliajokoemenetelman_vaatimukset.pdf

11 Tutkimusten tulokset ja tyyppihyväksyntärajojen määrittämisperusteet

Tässä tarkastelussa on mukana nykyisillä koekappaleilla vuodesta 1996 vuoteen 2010 tehty 23 tutkimusta, joissa oli testattu yhteensä 134 eri rengas/nasta -yhdistelmää. Kulutuskoekappaleina näissä kaikissa on ollut samanlaiset urille sahatut koekappaleet. Tutkimukset ovat tehneet VTT (1996-2007), Roadlux (2007-2009) ja Test World (2010). Näiden tutkimusten yhteenvetotaulukossa (liite 3) on esitetty ne tiedot, joiden julkaisemiseen tutkimusten tilaajat ovat antaneet luvan.

Menetelmä on kaikissa näissä kokeissa ollut likipitään sama. Se on kuvattu Trafin sivuilla esitetyssä menetelmäkuvauksessa: http://files.kotisivukone.com/nastatutkimus.kotisivukone.com/tiedostot/Kitka/yliajokokeen_testimenetelmakuvaus.pdf

Menetelmän kehityttyä kymmenen käyttövuoden jälkeen vaiheeseen, jossa kehittäjien mielestä menetelmä voitiin sementoida tuottamaan järjestelmällisesti yhteneväisiä tuloksia, alettiin esitellä menetelmää viranomaisille tyyppihyväksyntäkäyttöön määrittämällä sille koekappalerivikulumarajat.

Eri tutkimusten tuloksia verrataan seuraavassa tarkastelussa keskenään vain rivikulumakeskiarvojen (=yliajokuluttavuus, lyh. YAK, g) suhteen, vaikka eri koeautoilla (=paino), rengaspaineilla ja rengasprofiileilla on tunnettu riippuvuus kulumaan (ks. tutkimus LVM: Nastarenkaiden kuluttavuus. Ajoneuvotekijöiden vaikutus. Yliajokoe. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 72/2004). Em. tutkimuksessa oli vain neljä muuttujaa, joiden suhteen voitaisiin tuloksia korjata niiden saamiseksi yhteismitallisiksi. Kyseessä on kuitenkin verrattain pienet muutokset, joten tähän ei ole ryhdytty, myös siitä syystä, että näiden ominaisuuksien kokonaismerkittävyyttä ei tiedetä.

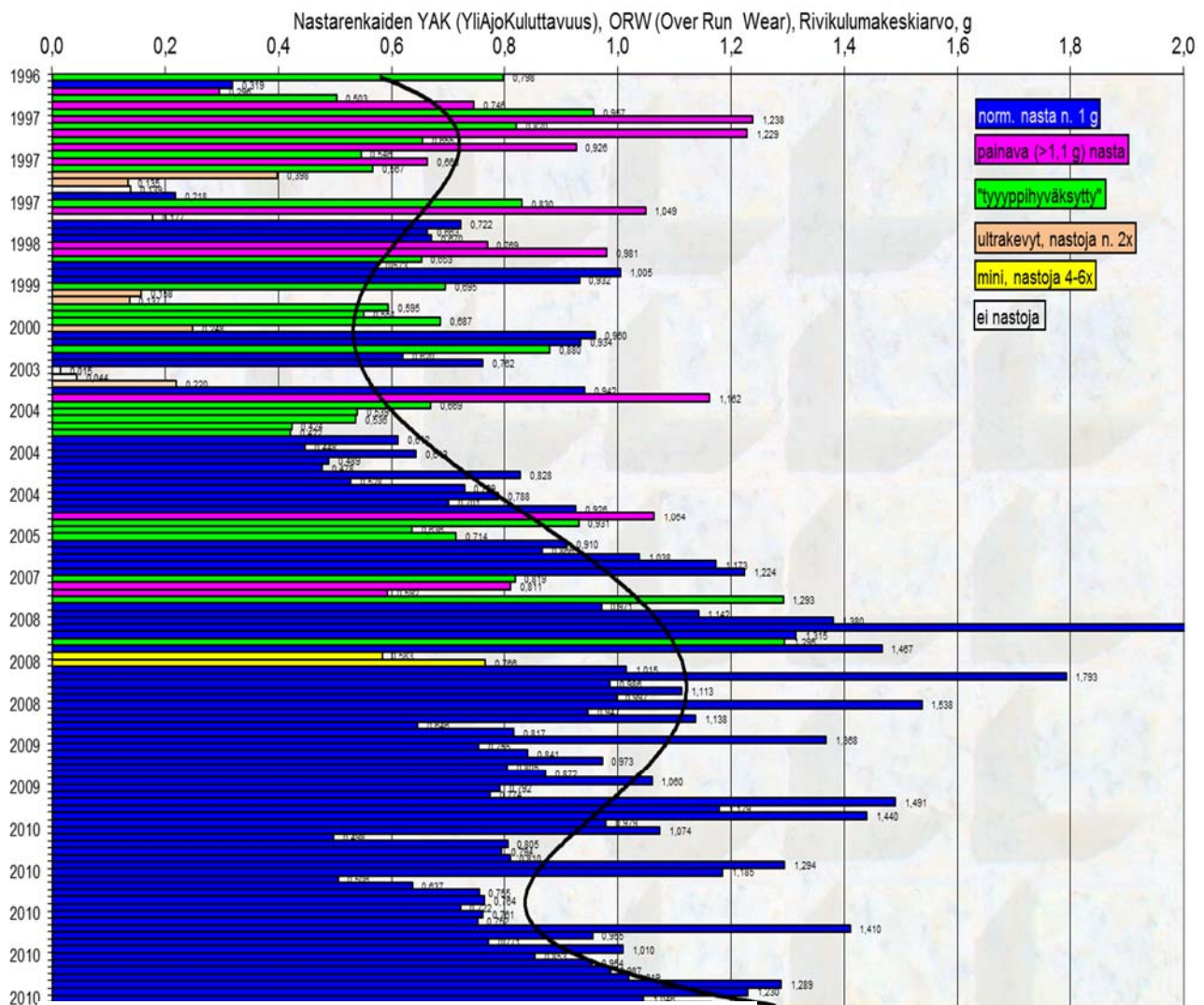
Tuloksista laaditun graafisen esityksen jokainen pylväs edustaa yhden rengas/nasta -yhdistelmän referenssikorjattua rivikulumakeskiarvoa grammoina (kuva 10). Kuvan tulokset on saatu vuosien 1996 ja 2010 välillä, kaikki samanlaisilla sahatuilla koekappaleilla.

Kaavion käyrä on polynominen regressiokäyrä, joka kuvaa keskiarvon muutosta eri kokeissa eli saatujen tulosten trendiä. Koska mukana tuloksissa on muitakin kuin perinteisin nastoin varustettuja renkaita, voidaan käyrää pitää vain ohjeellisena.

Mitatuista 134:stä oli normaalinastoin varustettuja 91 kpl, niistä painavia (yli 1,1 g) 12 kpl, 1,1g tai alle 79 kpl, joista kulutti yli 1,1 g 20 kpl eli 25 %, niistä "hyväksyttyä tyyppiä" 4 kpl.

Kaavion perusteella voitiin sen aikaisella kokemuksella kuitenkin valita kohtuulliset raja-arvot eri rengasluokille.

Vuoden 2013 tiukennettujen raja-arvojen (taulukko 2) jälkeen tulevaisuuden nastarengaskulutus ei tule enää lisääntymään liikenteen kasvua enempää, olettaen, että ajoneuvojen paino tulee (energiasyistä) pysymään kurissa.



Kuva 11. Yliajokeiden rivikulumakeskiarvot 1996-2010.

Yhden rivin keskimääräisen kokonaiskuluman asetuksen mukaiset raja-arvot, suluissa raja-arvot vuoden 2013 jälkeen (taulukko 2):

¹⁾ lisätty Trafissa kantavuusluokan yli 800 kg raja-arvot

Taulukko 2. Kuluttavuusrajat eri ajoneuvoluokissa

Kantavuusluokka	Mittausrenkaan koko	Rivikulumakeskiarvo
alle 600 kg	175/65R14 185/60R15 195/55R16	1,1 g (0,9 g)
600-800 kg	195/65R15 205/55R16 225/45R17	1,3 g (1,1 g)
yli 800 kg	235/65R17 255/55R18	1,7 g (1,4 g) ¹⁾
C-renkaat	195/70R15C 215/65R16C 225/65R16C LT225/75R16 LT265/70R17	2,2 g (1,8 g)

12 Lähdeluettelo

Sistonen, M., Alkio, R. VTT. 1986. Nastan painon vaikutus tien päällysteen kulumiseen. VTT Tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 583.

Alkio, R. VTT. 1987. Nastan muodon ja painon vaikutus tien päällysteen kulumiseen. VTT Tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 624.

Unhola, T. VTT. 1989. Nastan painon vaikutus tien kulumiseen. VTT Tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 745.

Alkio, R., Vuorinen, J. 1990. ASTO (Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma 1987-1992). Väkiraportti TR2/5. Päällystekiviaineksen tutkimusmenetelmien kehittäminen. VTT Tie- ja liikennelaboratorio n:o 763.

Alkio, R., Vuorinen, J. 1993. ASTO (Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma 1987-1992). Loppuraportti TR2/7. Päällystekiviaineksen tutkiminen ja laadun parantaminen. VTT Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 52.

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus (408/2003) ajoneuvon renkaiden nastoista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030408>

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus (466/2009) ajoneuvon renkaiden nastoista annetun liikenne- ja viestintäministeriön asetuksen muuttamisesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090466>

Solla, A., Unhola, T., Vesala, H. 2004. Nastarenkaan kuluttavuus yliajokokeessa ja imurimenetelmällä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 12/2004, Helsinki 2004. ISBN 951-723-878-9. <http://www.lvm.fi/files/1204.pdf>

Unhola, T. 2004. Nastarenkaiden kuluttavuus. Ajoneuvotekijöiden vaikutus. Yliajokoe. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 72/2004, Helsinki 2004. ISBN 978-952-201-228-9. http://www.lvm.fi/files/72_2004.pdf

Unhola, T. 2008. Nastojen ja nastarenkaiden hyväksymisvaatimusten muutostarpeet. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 51/2008, Helsinki 2008. ISBN 978-952-201-653-9. https://www.lvm.fi/docs/51_2008_DLFE-4504.pdf

Heikkinen, H. 2012. Nastarenkaiden vaikutus päällysteiden kulumiseen taajamanopeuksissa. Aalto-Yliopisto, Lisensiaatin Työn Tiivistelmä. Pavement Wear by Studded Tires in Low-speed Urban Traffic Environment.

Tien kuluminen ja sen tutkiminen Suomessa

Nastarenkaat ovat tulleet miehen ikään. Niiden käyttö alkoi 1960-luvun alussa yleistyen nopeasti 70-luvun alkuun. Käytön huippu oli 90-luvun alussa, jolloin 96 prosenttia autoista oli nastoin varustettu. Sitten tulivat talvirenkaina varustettavat kitkarenkaat, joiden enustettiin valloittavan talvirengasmarkkinat. Toisin kävi, nastojen käyttö kyllä laski, mutta vakiintui n. 83 % paikkeille.

Raskas liikenne käytti paljonkin nastoja 70-luvulla, mutta viime aikoina lähinnä vain sivuteillä liikkuvat jakeluautot käyttävät niitä. Ne eivät ole ongelma tien kulumisen kannalta.

Liikennesuoritteesta vuodessa nastallisten ajoneuvojen osuus oli Suomessa 35 % (ha/pa) perustuen talven 2009/2010 mittauksiin, mikä lienee maailman korkein käyttö. Tuoreimpien tutkimusten mukaan suoritteen osuus on viime vuosina alentunut n. 30 prosenttiin.

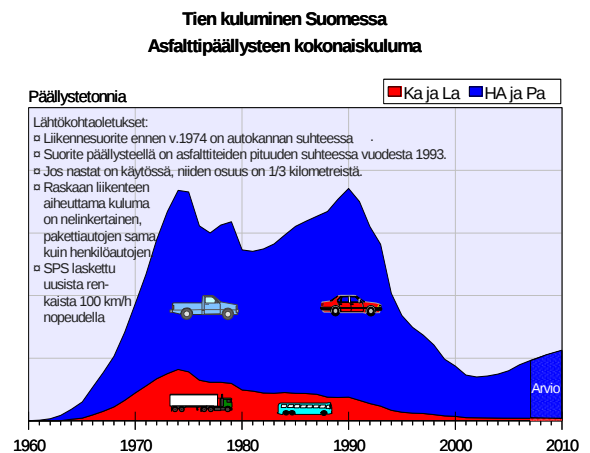
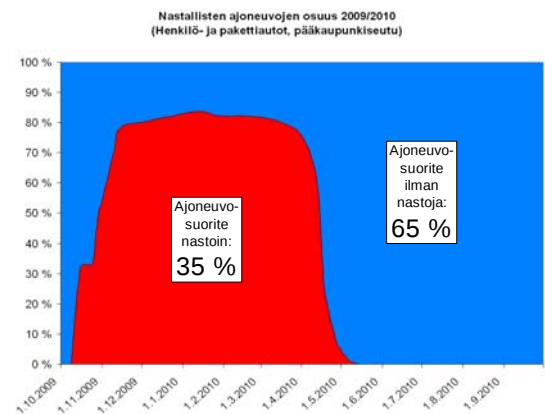
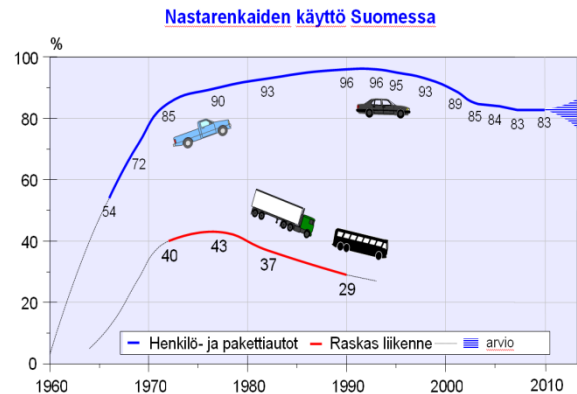
Ongelmat kasvoivat käytön myötä: tiet kuluivat. Mitä tehdä, kieltää nastat niin kuin Saksa?

Suomessa valittiin kehityksen tie. Nastarenkaita kehitettiin tieystävällisemmiksi määräyksin ja päällysteitä kestävämmiksi. Aina, kun määräyksiä kiristettiin, kuului napinaa, mutta kulumisen saatiin kuriin. Päällysteiden kulumiskestävyyden parantamiseksi tehtiin ahkerasti töitä 60-luvun lopulta alkaen aina 1990-luvulle.

Kulumisen hillintä saavutettiin määrätietoisen tutkimisen avulla, joka kaiketi liian hyvin tehdyn työn jälkeen lähes lopetettiin 1990-luvun hyvän kehityksen sokaisemana. Suurimmat syyt tähän myönteiseen kehitykseen olivat nastan painon rajoitus (sen vaikutus oli ensin osoitettava) ja ASTO-projekti, jonka avulla löydettiin päällysteen kulumis-kestävyyden parantamisen keinot (lyhyt yhteenveto: kiviaines ratkaisee päällysteen kulumiskestävyyden 90 %:sesti).

Päällysteen kuluminen ei kuitenkaan päättynyt, vaan lähti vuosituhaten vaihteen jälleen nousuun liikenteen ja autojen painon kasvun myötä.

Tiepölyn vähentäminen on ollut viime vuosina pääkannustimena jatkaa kehitystyötä. Uudet nastarengasmääräykset (mm. nastamäärän vähennys 2013 ja yliajokokeen tiukemmat rajat) tulevat lieventämään uudelleen kasvuun noussutta kulumisongelmaa.



TIEN KULUMISEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Kulutuskoeradat

- horisontaaliset (VTT ->90-luku, Neste ->00-luku, VTI 60->10-luku)
 - + oikeat päällysteet ja renkaat, olosuhdekontrolli
 - alhainen nopeus, sorto, kallis, työläs
- vertikaaliset (Neste ->90-luku)
 - + oikeat päällysteet ja renkaat, ei sortoa, olosuhdekontrolli
 - laatan taivutus / kallis, erittäin työläs



Koetiet (1:1, päätieverkolla, 70-90-luku)

- + todelliset päällysteet, kelit ja liikenne
- olosuhteet hallitsemattomat
- levitysongelmat
- kallis ja aikaa vievä (2-5 v)
- ei sovellu ajoneuvotekijöiden tutkimiseen



Minikoetiet (päätieverkolla, 90-00-luku)

- + lab.valm. päällysteet, todelliset kelit ja liikenne
- olosuhteet hallitsemattomat
- kallis ja aikaa vievä (2-5 v)
- ei sovellu ajoneuvotekijöiden tutkimiseen



Laboratoriomenetelmät

- **Tröger** (asfaltti ja kiviaineet; poranäyte, 70-80-luku.)
 - + nopea, halpa
 - übertehokas (näyte kuumenee), vain isku, huono riippuvuus
 - ei sovellu ajoneuvotekijöiden tutkimiseen
- **SRK** (asfaltti ja kiviaineet; poranäyte, 80-90-luku.)
 - + nopea, halpa, oikeat nastat
 - vain raapaisu, alhainen nopeus, "kaupunkipäällystetesti"
 - ei sovellu ajoneuvotekijöiden tutkimiseen
- **Prall** (asfaltti ja kiviaineet; poranäyte, 80-10-luku)
 - + nopea, halpa, toistettava (kuulat), kohtalainen riippuvuus, standardoitu
 - vain isku, "valtatiepäällystetesti"
 - ei sovellu ajoneuvotekijöiden tutkimiseen
- **Kuulamyylly** (kiviaineet, murske, 80-00-luku)
 - vain murskeelle



- **Iskulaite** (Lampinen, 80-l.)
 - ylinopea

Yliajokoe (urakoekappale, 80-10-luku)

- + vapaasti valittava nopeus,
soveltuu ajoneuvotekijöiden
tutkimiseen (nastat/renkaat/auto)
- koekappaleina ei voi käyttää asfalttia



Yliajokokeen perusteella Trafín hyväksymät rengas-nasta-yhdistelmät ja niiden kuluttavuustulokset

