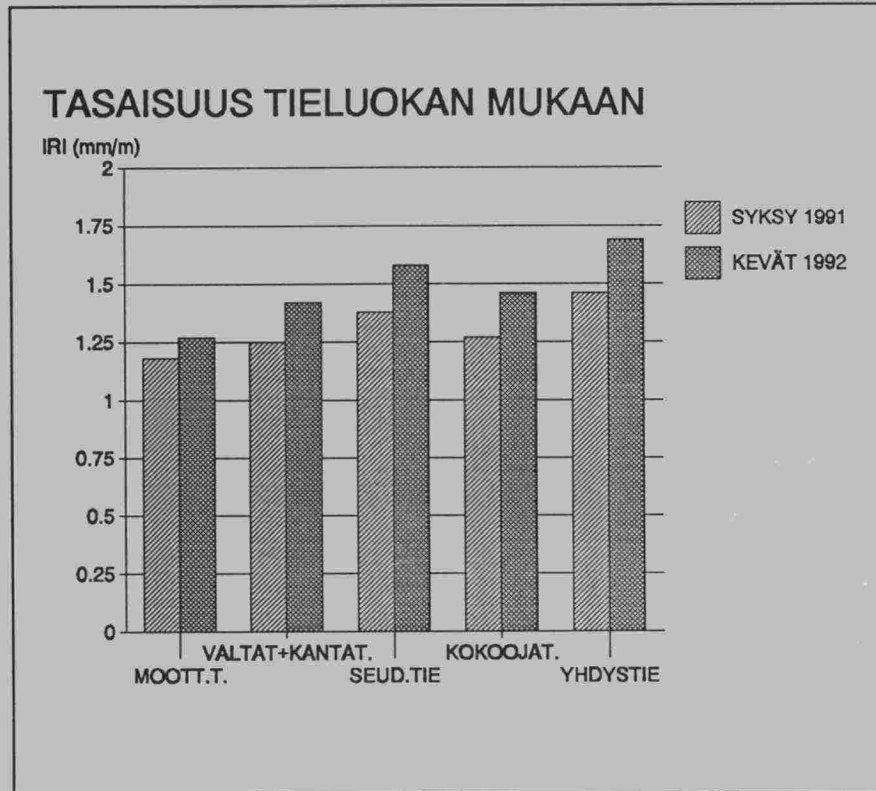




Tielaitos

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus 1991 - 1992



Tielaitoksen
selvityksiä

69/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus
VTT/TGL

Tielaitoksen selvityksiä
69/1992

**Rakennettujen ja perusparannettujen
teiden tasaisuus 1991 - 1992**

**Tielaitos
Tiehallitus
VTT/TGL**

Helsinki 1992

ISBN 951-47-6847-7
ISSN 0788-3722
TIEL 3200119

Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1992

Julkaisua myy:
Tiehallitus, painotuotevarasto
Telefax (90) 1487 2698

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

Avainsanat tasaisuus, IRI

Tiivistelmä

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio on mitannut rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta vuodesta 1984 lähtien laser-tasaisuusmittarilla. Suomessa on vuodesta 1989 alkaen mitattu teiden tasaisuutta VTT:n tie- ja liikennelaboratorion kehittämällä palvelutasomittarilla (PTM-auto), joka mittaa mm. kansainvälisen IRI-epätasaisuusarvon (International Roughness Index). Vuonna 1991 siirryttiin koko maassa käyttämään yksinomaan IRI-mittausta. Nämä tässä raportissa käsitellyt mittaustulokset on saatu siis IRI-mittauksista.

Vuonna 1991 rakennetut ja perusparannetut tiet olivat kokonaisuutena ottaen tasaisia. Päällysteen epätasaisuus lisääntyi syksyllä 1991 tien toiminnallisen luokan alentuessa. Tosin vasta kokooja- ja yhdysteillä alenema oli selvä. Yhdystiet (IRI 1,8 mm/m) olivat noin 30 % moottori-, valta- ja kantateitä (IRI 1,3 mm/m) epätasaisempia. Kevään osalla tilanne ei ollut yhtä selväpiirteinen. Silloinkin tosin moottoritiet sekä valta- ja kantatiet olivat tasaisimpia ja yhdystiet epätasaisimpia.

Valta- ja kantateillä oli syksyllä 1991 tavoitetason ylityksiä tien toiminnallisista luokista eniten (20 %). Ylityksiä oli lähes yhtä paljon myös moottoriteillä (18 %). Muilla tieluokilla ylityksiä oli erittäin vähän (2 - 3 %). Valta- ja kantateiden ylityksistä neljännes aiheutui epätasaisista bitumisorapäällysteistä. Sallitun tason ylityksiä oli keväällä 1992 erittäin vähän (0 - 2 %).

Eri piirien välillä oli eri tien toiminnallisten luokkien tasaisuudessa suuriakin eroja. Erot johtuivat pääosin siitä, että mitattu aineisto koostui eri tieluokissa erityyppisistä päällysteistä ja jotkut päällystetyypit olivat huomattavasti muita epätasaisempia (BS, SOP).

Päällystetyypeistä oli syksyllä 1991 selvästi epätasaisinta SOP (IRI 2,7 mm/m) ja seuraavaksi bitumisora. Tasaisinta oli ABE (IRI 1,3 mm/m), mutta varsin lähellä olivat myös AB (1,4 mm/m) ja KAB (1,4 mm/m). ABE-päällysteen hyvään tasaisuuteen vaikutti yksi pitkä erittäin hyvin onnistunut tie. SOP oli ABE-päällystettä yli kaksi kertaa epätasaisempaa. Muiden päällystetyyppien väliset erot eivät olleet yhtä suuria (BS 1,7 mm/m ja ÖS 1,5 mm/m).

Epätasaisuudet ovat pienentyneet syksyllä 1991 sekä keväällä 1992 selvästi kaikissa tieluokissa (vähiten yhdysteillä) verrattaessa tuloksia aiempien vuosien IRI-arvoiksi matemaattisesti muutettuihin laser-tasaisuustuloksiin.

Kalibroidut arvot ovat hieman liian suuria (noin 2 %), koska muutokset on tehty luokittaisista keskiarvoista eikä yksittäisistä kilometriarvoista. Vuodesta 1984 on tasaisuus parantunut valta- ja kantateillä, seudullisilla teillä sekä kokoojateillä noin 35 % ja yhdysteillä 25 %. Tasaisuuden paraneminen etenkin edellisvuoteen verrattuna on ollut huomattava (9 - 24 %). Tähän on vaikuttanut työtekniikan parantuminen. Työtekniikan parantumiseen on vaikuttanut ASTO-projektissa saadut tulokset työmenetelmistä. Levitystyö on useilla työmailla saatu keskeytymättömäksi; massa-autot vaihdetaan levittimen edessä "lennosta". Tällaiseen työtekniikkaan tulisi pyrkiä jatkossa aina, kun siihen on mahdollisuus, koska sen vaikutus päällysteen tasaisuuteen ja lajittumien välttämiseen on merkittävä.

Alkusanat

Tutkimuksen on tilannut tiehallitus ja yhdyshenkilönä on toiminut ylitarkastaja Reijo Orama. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tie-, geo- ja liikenteetekniikan laboratoriossa tutkimuksesta on vastannut tutkija Vesa Laitinen, joka on myös laatinut tämän raportin. Kenttämittauksista on vastannut VTT:n osalta tutkimusavustaja Onni Kosonen ja tulosten käsittelystä ATK-suunnittelija Antero Laajanen. Osan kenttämittauksista ovat tiepiirit tehneet itse omilla palvelutasomittariautoillaan.

Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 IRI-MITTAUSMENETELMÄ JA TASAISUUSVAATIMUKSET	8
3 TASAISUUS TOIMINNALLISEN LUOKITUKSEN MUKAAN	13
4 TASAISUUS PÄÄLLYSTETYYPIN MUKAAN	30
5 RAKENNETTUJEN JA PERUSPARANNETTUIJEN TEIDEN TASAISUUS VERRATTUNA KAIKKIEN UUSIEN PÄÄLLYS- TEIDEN TASAISUUTEEN	32
6 TASAISUUS ERI VUOSINA	34
7 VAATIMUSRAJOJEN YLITYKSET AIEMPIIN VUOSIIN VERRATTUNA	39
8 YHTEENVETO	41
9 LÄHDELUETTELO	43
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta on seurattu vuodesta 1984 lähtien. Aiemmin tasaisuus on mitattu Laser-tasaisuusmittarilla, jonka toiminta perustuu laser-etäisyysmittarin ja kiihtyvyyssanturin toimintaan. Mittausten tavoitteena on ollut selvittää teiden tasaisuudelle asetettujen tavoitteiden toteutumista ja teiden tasaisuuden muutoksia ensimmäisen talven aikana tien rakentamisesta. Kevään mittaukset on tehty ennen roudan sulamista. Mittausohjelman pituus on ollut vuosittain noin 1000 km.

1980-luvun lopussa VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio kehitti yhdessä instrumenttitekniikan laboratorion kanssa palvelutasomittarin (PTM-auto), jolla on mitattu teiden tasaisuutta vuodesta 1989 lähtien. PTM-auton tasaisuusmittaus perustuu myös laser-kameran ja kiihtyvyyssanturin toimintaan, mutta epätasaisuuslukuna käytetään kansainvälistä IRI-lukua (International Roughness Index).

IRI-lukua määriteltäessä pituusprofiilista laskettava epätasaisuusluku simuloi 80 km/h:ssa ajavaan henkilöautoon kohdistuvaa ajomukavuutta, kun taas Laser-epätasaisuusluku simuloi 32 km/h:ssa ajavaa henkilöautoa. Ajomukavuuteen vaikuttava epätasaisuuden aallonpituusalue on erilainen näissä simuloinneissa, jolloin IRI-epätasaisuusluku mittaa Laser-epätasaisuuslukua pitempiä aallonpituusalueita. Tämän vuoksi IRI-epätasaisuusluku kuvaa Laser-epätasaisuuslukua paremmin tien ajomukavuutta ja se on korvannut Laser-mittaukset käytännöllisesti katsoen kokonaan vuonna 1991. Tämä raportti on ensimmäinen IRI-mittauksiin perustuva raportti rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta seurattaessa.

2 IRI-MITTAUSMENETELMÄ JA TASAISUUSVAATIMUKSET

IRI-mittauksia tehdään VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorion ja instrumenttitekniikan laboratorion kehittämällä PTM-mittausautolla, jolla voidaan mitata teiden urasyvyyttä ja tasaisuutta. VTT:llä on myös ns. IRI-auto, jolla voidaan mitata vain teiden tasaisuutta. Kaikki autot on rakennettu siten, että ne mittaavat samalla tavalla samoja muuttujia ja ovat keskenään vertailukelpoisia.

Tasaisuustiedon keruu päällysteen pinnasta tapahtuu palvelutasomittariin (PTM-auto) asennetun laserkameran ja kiihtyvyyssanturin avulla. Laserilla mitataan tien pinnan ja korin välistä etäisyyttä ja kiihtyvyyssanturilla korin pystysuuntaista liikettä. Mittaustiheys on 40 mm. Mittaustiedoista lasketaan tien todellinen pituussuuntainen profiili. Uramittauksessa käytetään lisäksi leveydeltään säädettävissä olevaa uramittauspalkkia, jossa on 15 ultraäänianturia. PTM-autossa käytetään lisäksi visuaaliseen havainnointiin perustuvaa manuaalista vaurionkartoitusnäppäimistöä. IRI-autossa ei ole uramittauspalkkia, joten sillä ei voi mitata urasyvyyskärsiä.

Mittausnopeus voi vaihdella välillä 30 - 90 km/h, mutta tulokset ovat nopeudesta riippumattomia. Jokainen mittaus sidotaan tierekisterin osoitejärjestelmään. Tieltä lasketaan keskiarvot ja keskihajonnat 100 metrin jaksoissa. Lisäksi lasketaan koko tieosalle vastaavat tiedot. Tässä raportissa käsitellään IRI-arvojen kilometrin keskiarvoja.

Mahdollisista ulkopuolisista tekijöistä aiheutuvat virheelliset tulokset hylätään ja mittaukset uusitaan tarvittaessa. Sateella tienpinnan lätköityessä ei mitata. Mittaustulokset on saatavissa välittömästi mittauksen päätyttyä sekä paperilla että tietokonelevykkeillä.

PTM-autoja oli tämän tutkimuksen käsiteltävien mittausten aikana käytössä 5 kpl: VTT:llä yksi, Uudenmaan ja Turun tiepiireillä yhteisessä käytössä yksi, Hämeen ja Vaasan piireillä yksi yhteinen, tiehallituksella yhdessä Kainuun ja Lapin piirien kanssa yksi sekä Keski-Pohjanmaalla yhdessä Oulun piirin kanssa yksi. Lisäksi osa mittauksista tehtiin VTT:n IRI-autolla. Kaikki mittarit ovat VTT:n suunnittelema sekä rakentamia.

Mittaukset tuottavat seuraavat tulokset:

- pituussuuntainen tasaisuus (IRI)
- suodatettu pituussuuntainen tasaisuus (IRI4)
- pituusprofiilin poikkeamaindeksi (PI)

- maksimi- ja minimipikkeamat paalulukuineen
- maksimikihtyvyys ja sen paaluluku
- 10 mm suuremmat pikkeamat paalulukuineen
- raja-arvojen ylitykset
- ylityksistä määräytyvät arvonalennusprosentit
- mittausnopeus
- mitattu matka

Pituussuuntaisen tasaisuuden tunnusluvun (IRI) laskenta perustuu laser-kameralla ja kiihtyvyyssanturilla tuotettuun tien pituusprofiiliin. Pituusprofiiliin sijoitetaan laskennallisesti kulkemaan vakionopeudella (80 km/h) etenevä määrätyillä rengas-, jousi- ja iskunvaimennusominaisuuksilla varustettu neljännesauto. Tämän standardiajoneuvoneliänneksen korin ja pyörän välisistä pystysuuntaisista liikkeistä lasketaan jousitetun ja jousittamattoman massan välinen liike. IRI-arvo on pystysuuntainen liike pituusyksikköä kohti ja sen yksikkö on mm/m tai m/km.

Neljännesajoneuvon ominaisuudet ja pituusprofiilin taajuusvastekäyrä on esitetty kuvassa 1. Kyseisillä ominaisuuksilla varustettu ajoneuvo reagoi käyrän osoittamilla painokertoimilla eri taajuuksiin. Huippuarvot 1,5 ja 10 Hz vastaavat auton rungon ja pyörän ominaisvärähtelytaajuuksia. Laskennassa käytettävällä ajonopeudella 80 km/h taajuuksien huippuarvot vastaavat aallonpituuksia 15 ja 22 m. IRI-luku kuvaa epätasaisuutta, jonka aallonpituusalue on noin 0,3 - 30 m.

IRI4-arvo vastaa IRI-arvoa, mutta siitä on suodatettu pois arvoa 5,5 Hz pienemmät taajuudet. Tästä syystä aallonpituudeltaan 4 m pidemmät epätasaisuudet eivät vaikuta IRI4-arvon suuruuteen (*kuvassa 1*). IRI4 on laadittu kuvaamaan urakoitsijan levitystyön laatua.

Poikkeamaindeksi määritetään asettamalla mitattuun pituusprofiiliin laskennallisesti 5,12 m pitkä leikkaava oikolauta, jota siirretään 32 cm välein eteenpäin. Koska oikolauta on profiilia leikkaava, ei päällysteen pinnalta tehdyillä perinteisillä oikolautamittauksilla saada yleensä samoja poikkeama-arvoja. Jokaisesta laudan asemasta määritetään minimi- ja maksimipikkeamat. Jokaisella 100 m osuudella kertyneet 2 mm suuremmat poikkeamahavainnot luokitellaan 1 mm luokkaväleihin ja eri poikkeamaluokkiin kertyneiden havaintojen yhteislukumäärät kerrotaan luokkakohtaisilla painokertoimilla. Näin saadut painotetut luokkaluvut lasketaan yhteen ja tulos on kyseisen 100 m jakson poikkeamaindeksi (PI). Poikkeamaindeksi on sitä suurempi, mitä enemmän oikolautatasosta esiintyy suuria poikkeamia. Leikkaavan oikolaudan toimintaperiaate on esitetty *kuvassa 2*.

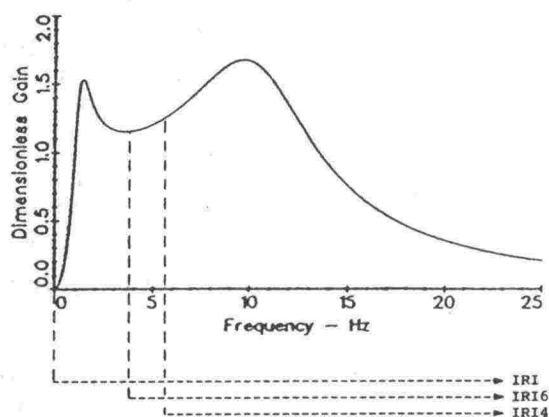
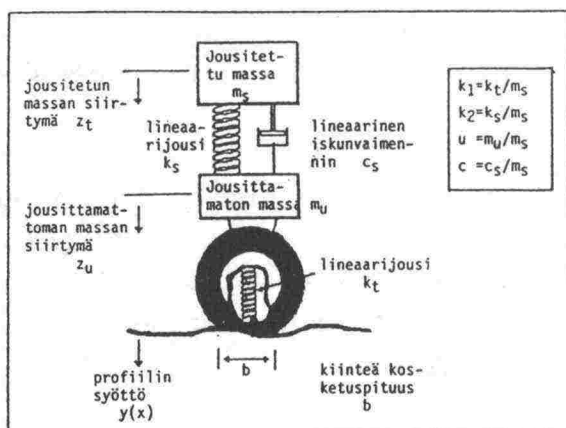
Poikkeamaindeksin laskukaava on esitetty alla:

$$PI = (1/45) * l_{km23} + (2/45) * l_{km34} + (3/45) * l_{km45} + (4/45) * l_{km56} + (5/45) * l_{km67} + (6/45) * l_{km78} + (7/45) * l_{km89} + (8/45) * l_{km910} + (9/45) * l_{kmy10}.$$

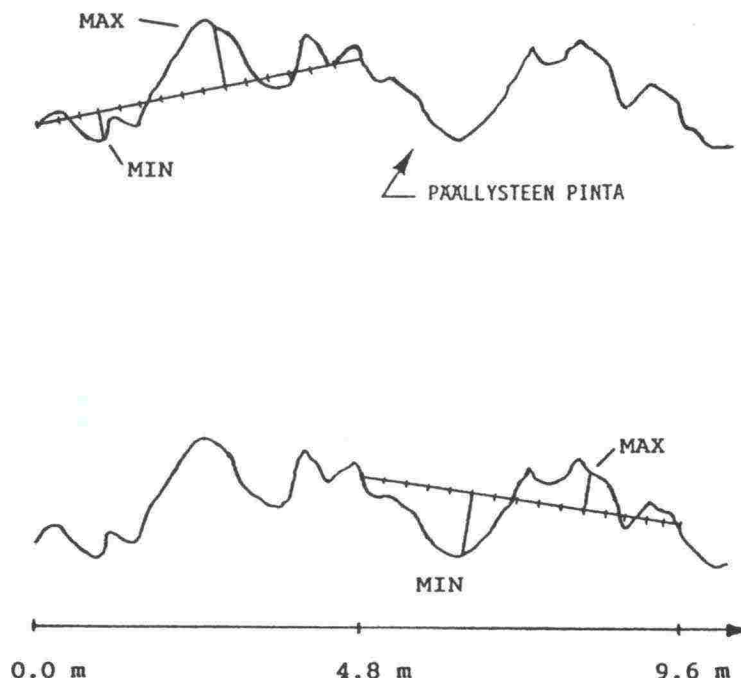
Kaavassa esiintyvät poikkeamaluokat:

l_{km23} = välin 2 - 3 mm havaintojen lukumäärä, l_{km34} = välin 3 - 4 mm havaintojen lukumäärä ...

l_{kmy10} = yli 10 mm havaintojen lukumäärä.



Kuva 1: Standardiajoneuvon jänneksen laskennallinen malli ja pituusprofiilin taajuusvastekäyrä.



Kuva 2: Leikkaavan oikolaudan toimintaperiaate pituusprofiilissa (poikkeamaindeksin määrittäminen). Kustakin oikolaudan asemasta (siirros 32 cm:n välein) määritetään minimi- ja maksimipoikkeama 4 cm:n välein. Poikkeamaindeksin määrittämiseen käytetään maksimipoikkeamaa.

Päällysteille asetetut tasaisuusvaatimukset on laadittu vastaamaan teiden toiminnallista luokitusta; mitä korkeampi luokkainen tie sitä tiukempi on tasaisuusvaatimus. Taulukossa 1 on esitetty rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuden tavoitetasot ja vaatimusrajat muunnettuna IRI-epätasaisuusluvuiksi. Tasaisuusvaatimusrajat on laadittu Laser- ja IRI-mittausten välisten kalibrointien perusteella vastaamaan aiempia Laser-tasaisuusrajoja /10/. Taulukkoa sovelletaan 1000 m:n keskiarvotuloksille.

Taulukko 1: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuden vaatimusrajat muunnettuna IRI-epätasaisuusluvuiksi. Taulukkoa sovelletaan 1000 m:n keskiarvotuloksille /10/.

Tien luokka	Sallittu epätasaisuus				Sallittu yks. epätasaisuus	
	Laser	IRI	Laser	IRI	m/s ²	
	cm/km	mm/m	cm/km	mm/m	Tav. taso	Alin hyv. taso
	Tavoitetaso		Alin hyv. taso			
Moottoritiet 120 km/h	80	1,4	125	2,0	4	5
Valta- ja kantatiet 100 km/h	90	1,6	170	2,5	4	5
Seudulliset tiet 80 km/h	135	2,1	230	3,2	5	6
Kokoojatiet 70 km/h	180	2,6	280	3,7	6	7
Yhdystiet 60 km/h	200	2,9	300	3,9	6	7

3 TASAISUUS TIEN TOIMINNALLISEN LUOKITUKSEN MUKAAN

VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio ja eräät tiepiirit ovat mitanneet syksyllä 1991 ja keväällä 1992 rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuuksia PTM- ja IRI-autoilla eri tiepiireissä. Mittauskilometrejä kertyi yhteensä syksyllä 1953 km ja keväällä vain 470 km (Turun, Kymen, Mikkelin, Keski-Suomen ja Vaasan tiepiirit eivät mitanneet keväällä rakennettuja teitä lainkaan). *Taulukoissa 2 - 6 ja kuvissa 3 - 7* on esitetty teiden keskimääräinen tasaisuus tien toiminnallisen luokan mukaan jaoteltuna eri tiepiireissä kilometrin keskiarvoina. Syksyn ja kevään aineistoa on käsitelty erikseen, koska kevään mittausohjelma useimmissa piireissä rakennettujen teiden osalla oli erittäin suppea. Jos käsittelyyn olisi otettu vain ne tiet/tieosat, jotka mitattiin sekä syksyllä että keväällä, olisi kokonaisuaineisto jäänyt varsin pieneksi. Syksyn osalta on taulukoissa esitetty suluissa tasaisuus myös keväällä mitattua tiestöä vastaavalta osalta. Kuvissa on mukana sekä syksyn että kevään osalla sama suppea aineisto, eli syksyn osalla mukana on vain osa koko aineistosta. Niiden piirien kohdalla, jotka eivät mitanneet lainkaan keväällä ko. tieluokassa, on kuvissa esitetty syksyn koko aineiston tulokset. Jatkossa olisi kevään mittauksia syytä lisätä, jotta vertailujen luotettavuus varmistettaisiin.

Tasaisuus oli keväällä keskimäärin noin 15 % syksyä huonompi (IRI-luku suurempi) kaikissa muissa tien toiminnallisissa luokissa paitsi moottoriteillä, joilla epätasaisuuden lisääntyminen oli noin 8 %.

Päällysteiden tasaisuus oli sitä parempi mitä korkeampi oli tien toiminnallinen luokka. Kuitenkin vasta kokooja- ja yhdysteillä tasaisuus aleni selvästi korkeampiluokkaisiin teihin verrattuna johtuen suurelta osin SOP-päällysteistä. Mutta vaikka SOP-päällysteiden osuus poistettaisiinkin, olisi kokooja- ja yhdysteiden tasaisuus kuitenkin muita tieluokkia alhaisempi.

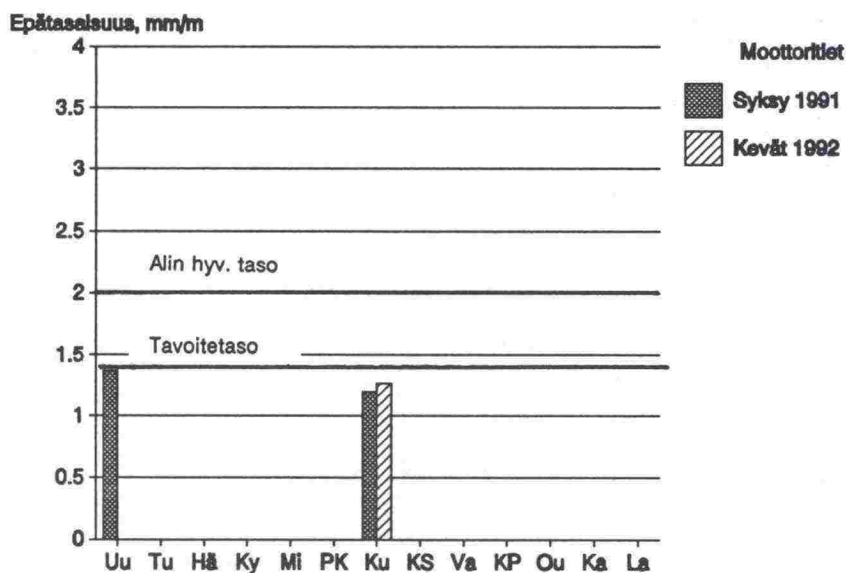
Eri piirien välillä oli eri tien toiminnallisten luokkien tasaisuudessa suuriakin eroja. Erot päällysteiden epätasaisuuksissa eri piirien välillä johtuivat pääosin siitä, että mitattu aineisto koostui eri tieluokissa erityyppisistä päällysteistä ja jotkut päällystetyypit olivat huomattavasti muita epätasaisempia (BS, SOP). Esimerkiksi Hämeen tiepiirissä aineistoon sisältyi runsaasti SOP-päällysteitä. Tarkasteltaessa pelkkiä AB-päällysteitä syksyn koko aineistosta oli paras tasaisuus Kuopion tiepiirissä (IRI 1,06 mm/m, 39 km) ja huonoin Lapin tiepiirissä (IRI 1,95 mm/m, 4 km) ja seuraavaksi huonoin Hämeen tiepiirissä (IRI 1,68 mm/m, 13 km). Kevään osalla kunkin piirin mittauskilometrimäärä oli niin vähäinen, ettei piirien välisiä vertailuja ole järkevää tehdä. Valta- ja kantateillä päällyste oli syksyllä tasaisinta Kuopion tiepiirissä (0,94 mm/m, AB)

ja epätasaisinta Mikkelin tiepiirissä (IRI 1,94 mm/m, BS). Kokoojateilla, joiden mittausaineisto oli syksyllä tieluokista suurin (599 km), oli tasaisinta Pohjois-Karjalassa (1,29 mm/m, yli puolet KAB) ja epätasaisinta Turussa (2,22 mm/m, vain 2 mittauskilometriä, ÖS). Otettaessa huomioon vain ne piirit, joissa mittauskilometrejä oli yli 10, oli kokoojateilla epätasaisinta Hämeessä (1,81 mm/m, yli puolet BS, ÖS tai SOP).

Kuvissa 8 - 12 on esitetty kilometrikohtaisten tasaisuuslukujen jakauma tien eri toiminnallisissa luokissa syksyllä 1991 ja keväällä 1992. Kuvista nähdään selvästi, että tien epätasaisuus lisääntyy keväällä roudan vaikutuksesta. Epätasaisuus lisääntyy hieman enemmän, mitä alhaisempi on tieluokka ja sitä kautta sille asetetut rakenteelliset vaatimukset. Eräiden piirien osalla joissakin tieluokissa tasaisuus on keväällä ollut jopa syksyä parempi. Tämä saattaa johtua siitä, että korjaustoimenpide on tehty keväällä liian aikaisin ennen roudan tasoittumista.

Taulukko 2: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus moottoriteillä syksyllä 1991 ja keväällä 1992 piireittäin (tavoitetaso 1,4 mm/m, alin hyväksyttävä taso 2,0 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

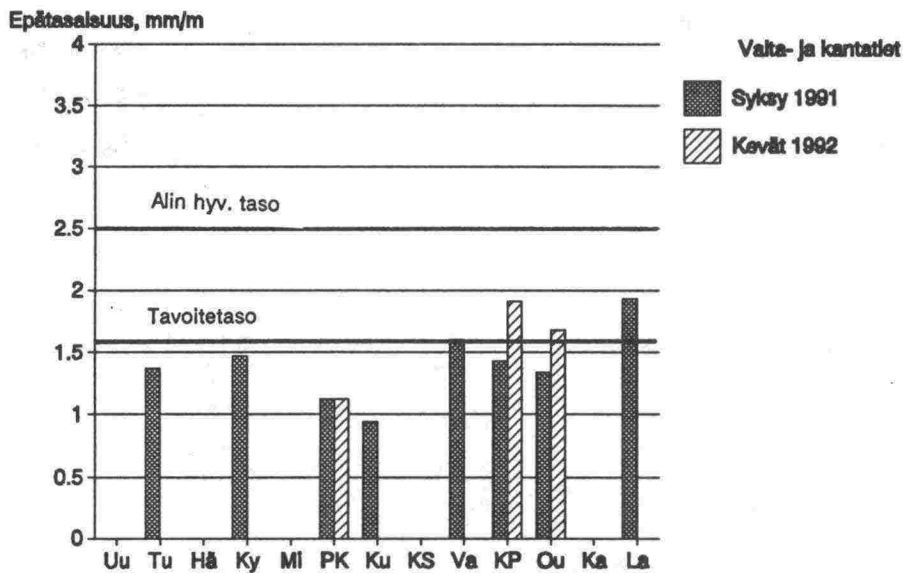
Piiri	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	38	-	1,37	-
Turku	-	-	-	-
Häme	-	-	-	-
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	-	-	-	-
Pohjois-K.	-	-	-	-
Kuopio	47	31	1,20 (1,18)	1,27
Keski-S.	-	-	-	-
Vaasa	-	-	-	-
Keski-P.	-	-	-	-
Oulu	-	-	-	-
Kainuu	-	-	-	-
Lappi	-	-	-	-
Kaikki	85	31	1,27 (1,18)	1,27



Kuva 3: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus moottoriteillä.

Taulukko 3: *Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus valta- ja kantateillä syksyllä 1991 ja keväällä 1992 piireittäin (tavoitetaso 1,6 mm/m, alin hyväksyttävä taso 2,5 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.*

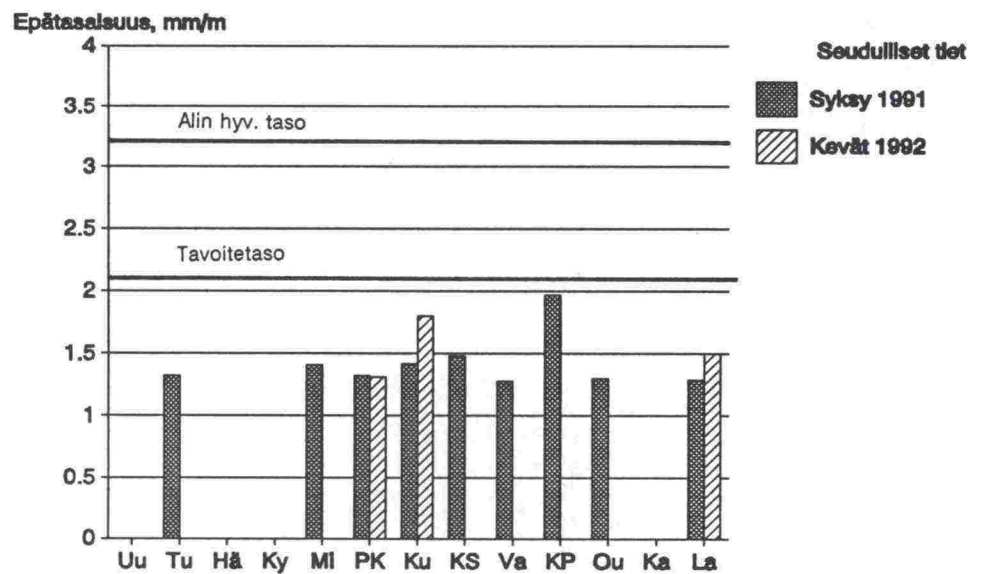
Piiri	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	2	1	1,67 (1,70)	1,64
Turku	38	-	1,37	-
Häme	-	-	-	-
Kymi	14	-	1,47	-
Mikkeli	2	-	1,94	-
Pohjois-K.	64	64	1,12 (1,12)	1,12
Kuopio	22	-	0,94	-
Keski-S.	-	-	-	-
Vaasa	14	-	1,60	-
Keski-P.	46	23	1,43 (1,43)	1,91
Oulu	69	23	1,39 (1,34)	1,68
Kainuu	-	-	-	-
Lappi	18	1	1,93 (2,22)	1,96
Kaikki	289	112	1,35 (1,25)	1,42



Kuva 4: *Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus valta- ja kantateillä.*

Taulukko 4: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus seudullisilla teillä syksyllä 1991 ja keväällä 1992 piireittäin (tavoitetaso 2,1 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,2 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

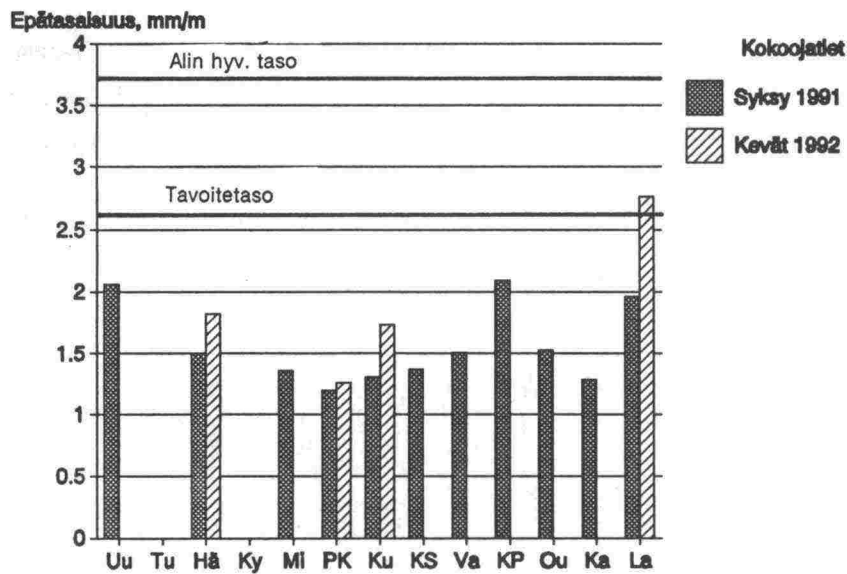
Piiri	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	-	-	-	-
Turku	33	-	1,32	-
Häme	-	-	-	-
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	26	-	1,41	-
Pohjois-K.	50	50	1,32 (1,32)	1,31
Kuopio	74	64	1,42 (1,45)	1,80
Keski-S.	40	-	1,48	-
Vaasa	149	-	1,28	-
Keski-P.	24	-	1,97	-
Oulu	52	-	1,30	-
Kainuu	-	-	-	-
Lappi	30	14	1,30 (1,29)	1,50
Kaikki	478	128	1,34 (1,38)	1,58



Kuva 5: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus seudullisilla teillä.

Taulukko 5: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus kokoojateillä syksyllä 1991 ja keväällä 1992 piireittäin (tavoitetaso 2,6 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,7 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

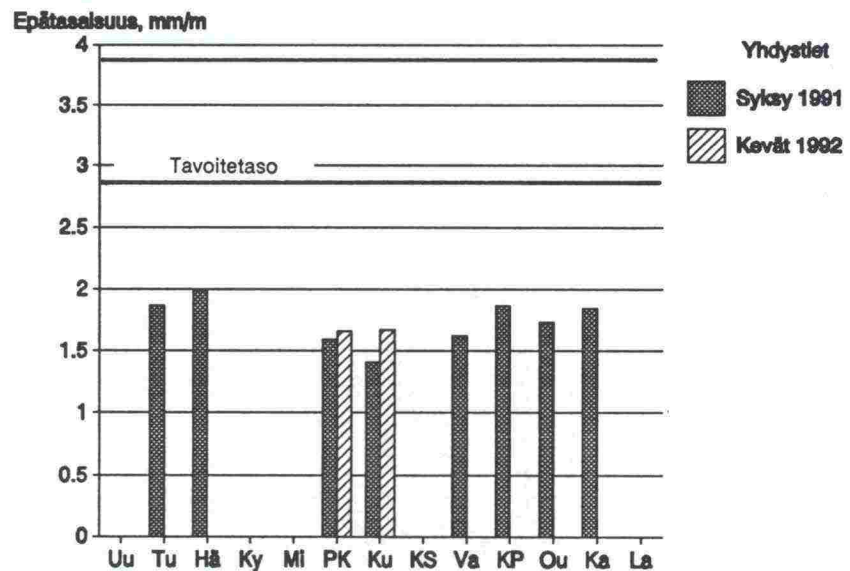
Piiri	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	6	—	2,06	—
Turku	2	—	2,22	—
Häme	148	5	1,81 (1,50)	1,82
Kymi	—	—	—	—
Mikkeli	61	—	1,36	—
Pohjois-K.	117	86	1,27 (1,20)	1,26
Kuopio	40	35	1,30 (1,31)	1,73
Keski-S.	55	—	1,37	—
Vaasa	44	—	1,51	—
Keski-P.	5	—	2,09	—
Oulu	88	—	1,53	—
Kainuu	23	—	1,29	—
Lappi	10	5	1,94 (1,96)	2,76
Kaikki	599	131	1,51 (1,27)	1,46



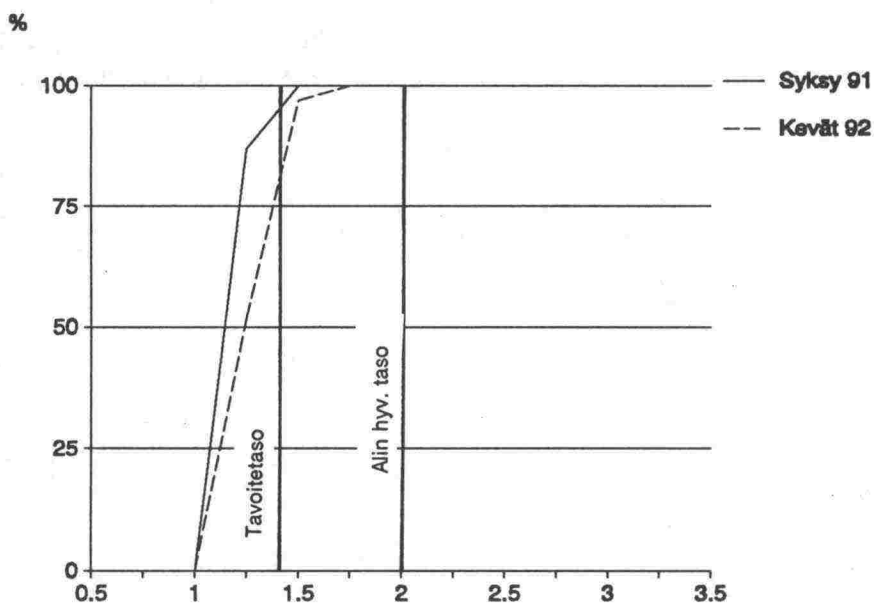
Kuva 6: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus kokoojateillä.

Taulukko 6: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus yhdysteillä syksyllä 1991 ja keväällä 1992 piireittäin (tavoite-taso 2,9 mm/m, alin hyväksyttävä taso 3,9 mm/m). Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

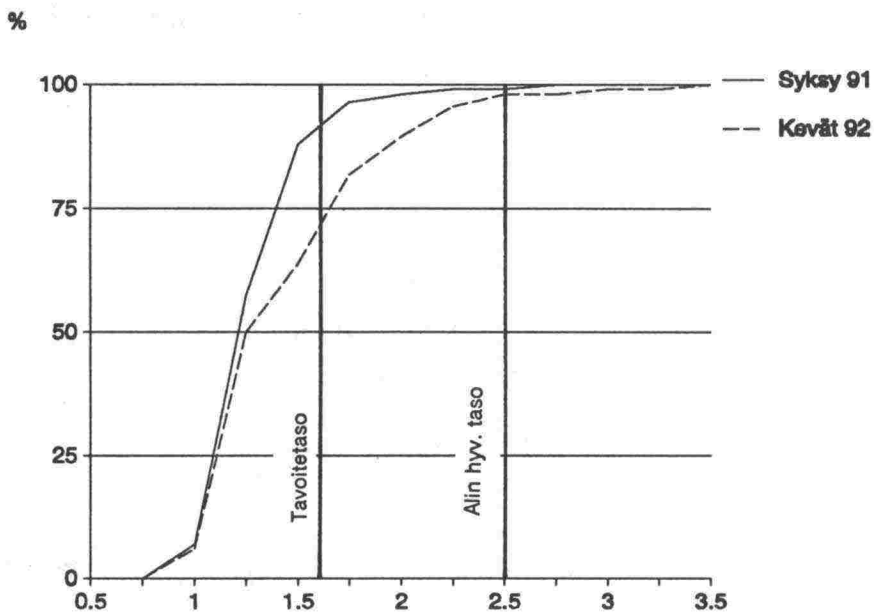
Piiri	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	4	2	1,60 (1,50)	2,55
Turku	21	-	1,87	-
Häme	159	-	1,99	-
Kymi	-	-	-	-
Mikkeli	-	-	-	-
Pohjois-K.	20	20	1,59 (1,59)	1,66
Kuopio	53	45	1,45 (1,41)	1,67
Keski-S.	-	-	-	-
Vaasa	50	-	1,62	-
Keski-P.	14	-	1,87	-
Oulu	128	-	1,73	-
Kainuu	53	-	1,85	-
Lappi	-	-	-	-
Kaikki	502	67	1,79 (1,46)	1,69



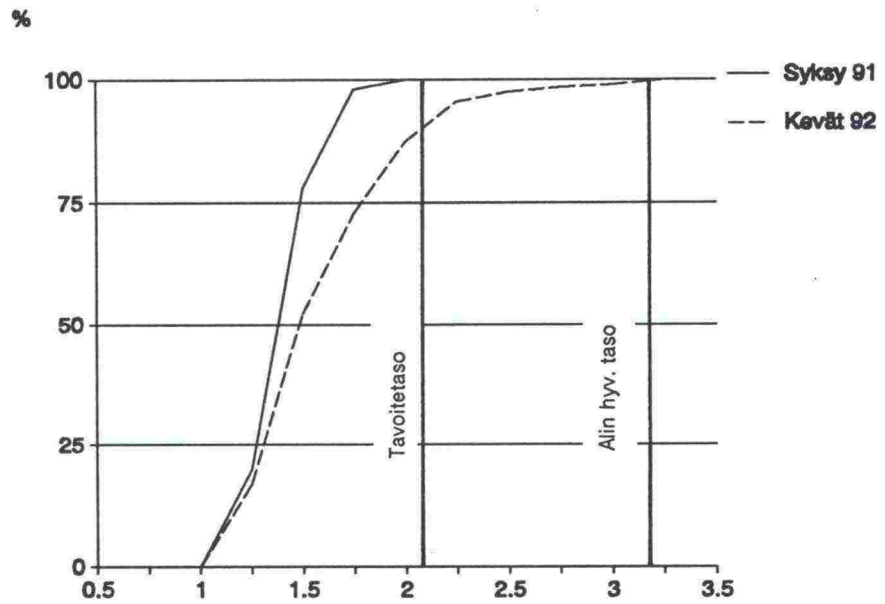
Kuva 7: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus yhdysteillä.



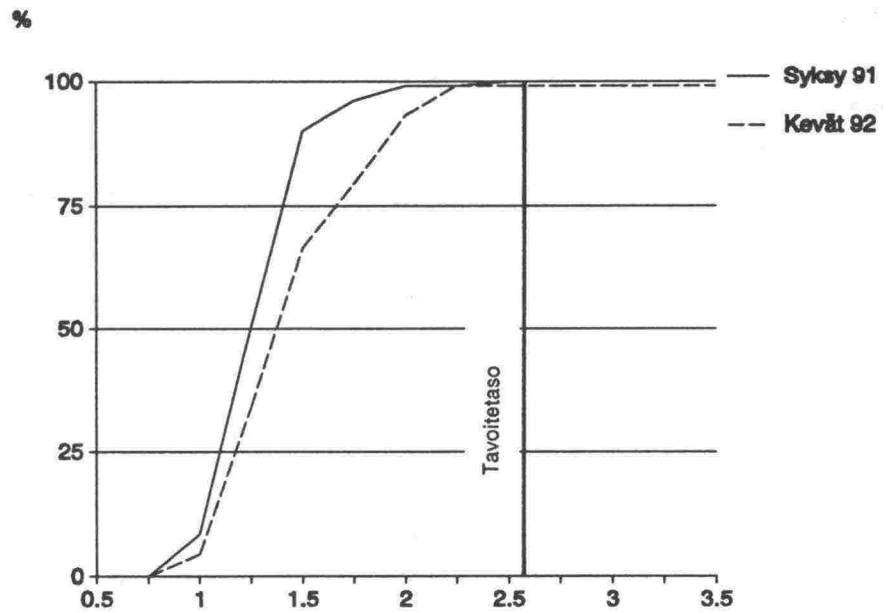
Kuva 8: *Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma moottoriteillä syksyllä ja keväällä.*



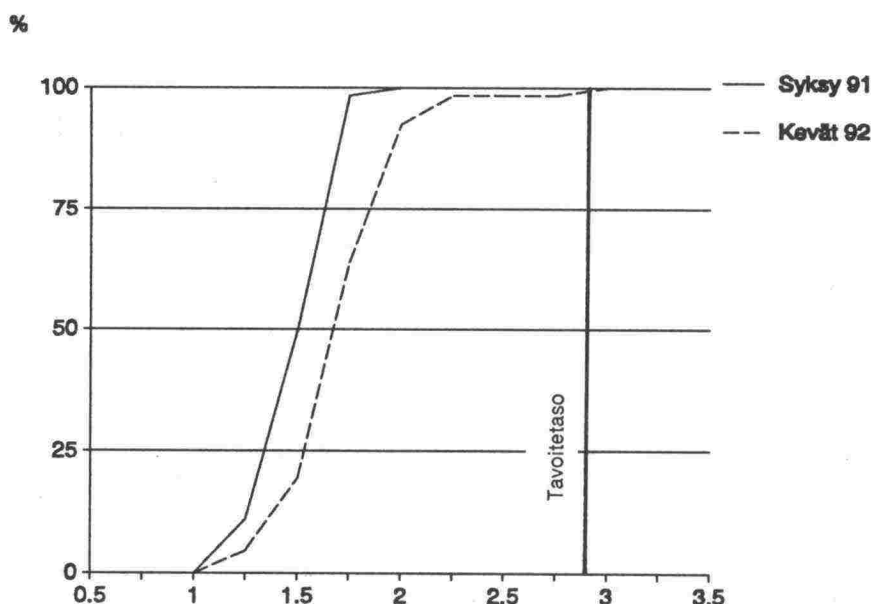
Kuva 9: *Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma valta- ja kantateillä syksyllä ja keväällä.*



Kuva 10: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma seudullisilla teillä syksyllä ja keväällä.



Kuva 11: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma kokoojateillä syksyllä ja keväällä.



Kuva 12: Kilometrikohtaisten epätasaisuuslukujen jakauma yhdysteillä syksyllä ja keväällä.

Taulukoissa 7 - 11 on esitetty tavoitetaso (syksy 1991) ja alimman hyväksyttävän tason (kevät 1992) ylitykset piireittäin. Luvut on laskettu kilometrikohtaisista keskiarvoista. Syksy kohdalla on tuloksissa esitetty suluissa toinen tasaisuusarvo. Se on syksyn tasaisuus keväällä mitatun aineiston osalta. Tavoitetaso ylittäneitä kilometrejä oli koko syksyn aineistossa (1953 km) moottoriteillä 15 km (18 %), valta- ja kantateillä 58 km (20 %, ilman BS:aa 15 %), seudullisilla teillä 8 km (2 %), kokoojateillä 13 km (2 %) ja yhdysteillä 14 km (3 %). Joidenkin piirien osalla eräillä tieluokilla aineisto on niin suppea, ettei ylitysprosentti ole tilastollisesti merkittävä. Tarkasteltaessa syksyn aineistosta sitä osaa, mikä mitattiin myös keväällä, olivat tavoitetaso ylitykset määrältään hieman vähäisempiä kuin koko aineistossa.

Keväällä sallittu taso ylitettiin vain valta- ja kantateillä 2 km (2 %) sekä kokoojateillä 1 km (1 %) eli ylitysten määrä oli erittäin pieni.

Tavoitetaso ylitettiin useasti syksyllä, mutta sallittua tasoa ei keväällä ylitetty juuri lainkaan. Tällöin herää kysymys, onko korjaustoimenpiteitä tehty jo liian aikaisin keväällä, jolloin roudan vaikutus ei ole vielä ollut kokonaan ohitse. Tällöin olisi korjattu vain routanousuja/painumia, jotka kesäksi olisivat palautuneet ennalleen. Vastaavanlainen suuntaus on ollut havaittavissa myös aiempina vuosina.

Moottoriteitä mitattiin vain Uudenmaan ja Kuopion tiepiireissä. Molemmissa piireissä oli tavoitetaso ylittäviä epätasaisuuksia. Valta- ja kantateillä oli

puolessa mitatuista piireistä tavoitetasoa epätasaisempia päällysteitä syksyllä 1991. Seudullisilla ja yhdysteillä tavoitetasoa epätasaisempia teitä oli kolmessa piirissä sekä kokoojateillä vain yhdessä piirissä. Hämeen piirin tavoitetason ylitykset kokooja- ja yhdysteillä johtuivat lukuisista SOP-päällysteistä. Kuvista on jätetty ne piirit pois, joissa mitattuja kilometrejä kullakin tieluokalla oli alle 5 km.

Taulukoissa 12 - 16 on esitetty syksyn 1991 ja kevään 1992 yksittäisepäätasaisuuksien määrät jaoteltuna tien toiminnallisen luokituksen mukaan. Yksittäisepäätasaisuuksia saadaan aina yksi 100 metriä kohti (100 metrin maksimikiihtyvyys) eli maksimissaan 10 epätasaisuutta kilometrille. Näin ollen nämä arvot eivät ole aivan vertailukelpoisia aiempien vuosien laser-mittaustulosten kanssa. Tällöin havainnoitiin kaikki esiintyneet rajojen ylitykset. Moottoriteillä sekä valta- ja kantateillä oli syksyllä 1991 (koko aineisto, 1953 km) tavoitetason ylittäneitä yksittäisepäätasaisuuksia (100 m:n osuuksia, jolla raja ylitettiin ainakin kerran) keskimäärin 0,02 kpl/km eli noin 40 km välein ja keväällä 1992 alimman hyväksyttävän tason ylittäviä yksittäisepäätasaisuuksia ei ollut. Vastaavasti seudullisilla teillä tavoitetason ylityksiä oli noin 100 km välein, mutta keväällä ei lainkaan. Kokoojateillä oli yksittäisepäätasaisuuksia keskimäärin 100 km (syksy) ja 65 km (kevät) välein ja yhdysteillä 20 km ja 35 km välein. Kun syksyn osalta tarkastellaan samaa aineistoa kuin keväällä (470 km), ei yksittäisepäätasaisuuksia ollut kuin kokoojateillä 65 km välein.

Taulukossa 17 ja kuvassa 13 on esitetty vertailun vuoksi IRI-keskiarvot tien toiminnallisen luokan (valta- ja kantatiet on vielä eroteltu toisistaan) mukaan jaoteltuina sekä 100 metrin että yhden kilometrin keskiarvoina. Tuloksista nähdään, ettei niissä tämän aineiston perusteella ole havaittavissa mitään käytännön eroa. 1 km:n ja 100 m:n arvojen välille voidaan laskea lineaarinen korrelaatio. Korrelaatiokerroin on 0,99 ja korrelaatio-suora kaavan 1 mukainen.

$$IRI_{km} = 1,015 * IRI_{100m} - 0,024 \quad (1)$$

Taulukko 7: *Tavoitetason 1,4 mm/m ylitykset syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 2,0 mm/m ylitykset keväällä 1992 moottoriteillä piireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.*

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	34	-
Turku	-	-
Häme	-	-
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	-	-
Kuopio	4 (3)	0
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	-	-
Keski-Pohjanmaa	-	-
Oulu	-	-
Kainuu	-	-
Lappi	-	-
Kaikki	18 (3)	0

Taulukko 8: *Tavoitetason 1,6 mm/m ylitykset syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 2,5 mm/m ylitykset keväällä 1992 valta- ja kantateillä piireittäin.*

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	100 (100)	0
Turku	16	-
Häme	-	-
Kymi	14	-
Mikkeli	100	-
Pohjois-Karjala	0 (0)	0
Kuopio	0	-
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	43	-
Keski-Pohjanmaa	22 (26)	4
Oulu	19 (9)	0
Kainuu	-	-
Lappi	94 (100)	0
Kaikki	20 (10)	2

Taulukko 9: *Tavoitetason 2,1 mm/m ylitykset syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 3,2 mm/m ylitykset keväällä 1992 seudullisilla teillä piireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.*

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	-	-
Turku	0	-
Häme	-	-
Kymi	-	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	0 (0)	0
Kuopio	1 (0)	0
Keski-Suomi	0	-
Vaasa	1	-
Keski-Pohjanmaa	21	-
Oulu	0	-
Kainuu	-	-
Lappi	0 (0)	0
Kaikki	2 (0)	0

Taulukko 10: *Tavoitetason 2,6 mm/m ylitykset syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 3,7 mm/m ylitykset keväällä 1992 kokoojateillä piireittäin.*

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	0	-
Turku	0	-
Häme	9 (0)	0
Kymi	-	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	0 (0)	0
Kuopio	0 (0)	0
Keski-Suomi	0	-
Vaasa	0	-
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	0	-
Kainuu	0	-
Lappi	0 (0)	20
Kaikki	2 (0)	1

Taulukko 11: Tavoitetason 2,9 mm/m ylitykset syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 3,9 mm/m ylitykset keväällä 1992 yhdysteillä piireittäin. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

Piiri	Ylitys-%	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	0 (0)	0
Turku	0	-
Häme	6	-
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	0 (0)	0
Kuopio	0 (0)	0
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	0	-
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	2	-
Kainuu	4	-
Lappi	-	-
Kaikki	3 (0)	0

Taulukko 12: Tavoitetason 4 m/s² ylittävät yksittäisepätasaisuudet syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 5 m/s² ylittävät epätasaisuudet keväällä 1992 moottoriteillä.

Piiri	Yksittäisepätasaisuudet (kpl/km)	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	0,05	-
Turku	-	-
Häme	-	-
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	-	-
Kuopio	0	0
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	-	-
Keski-Pohjanmaa	-	-
Oulu	-	-
Kainuu	-	-
Lappi	-	-
Kaikki	0,02	0

Taulukko 13: Tavoitetason 4 m/s² ylittävät yksittäisepätasaisuudet syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 5 m/s² ylittävät epätasaisuudet keväällä 1992 valta- ja kantateillä.

Piiri	Yksittäisepätasaisuudet (kpl/km)	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	2,00	0
Turku	0,05	-
Häme	-	-
Kymi	0	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	0	0
Kuopio	0	-
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	0,14	-
Keski-Pohjanmaa	0	0
Oulu	0	0
Kainuu	-	-
Lappi	0,06	0
Kaikki	0,02	0

Taulukko 14: Tavoitetason 5 m/s² ylittävät yksittäisepätasaisuudet syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 6 m/s² ylittävät epätasaisuudet keväällä 1992 seudullisilla teillä.

Piiri	Yksittäisepätasaisuudet (kpl/km)	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	-	-
Turku	0	-
Häme	-	-
Kymi	-	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	0	0
Kuopio	0	0
Keski-Suomi	0	-
Vaasa	0,03	-
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	0	-
Kainuu	-	-
Lappi	0	0
Kaikki	0,01	0

Taulukko 15: Tavoitetason 6 m/s^2 ylittävät yksittäisepätasaisuudet syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 7 m/s^2 ylittävät epätasaisuudet keväällä 1992 kokoojateillä. Suluissa kevään aineistoa vastaava tulos.

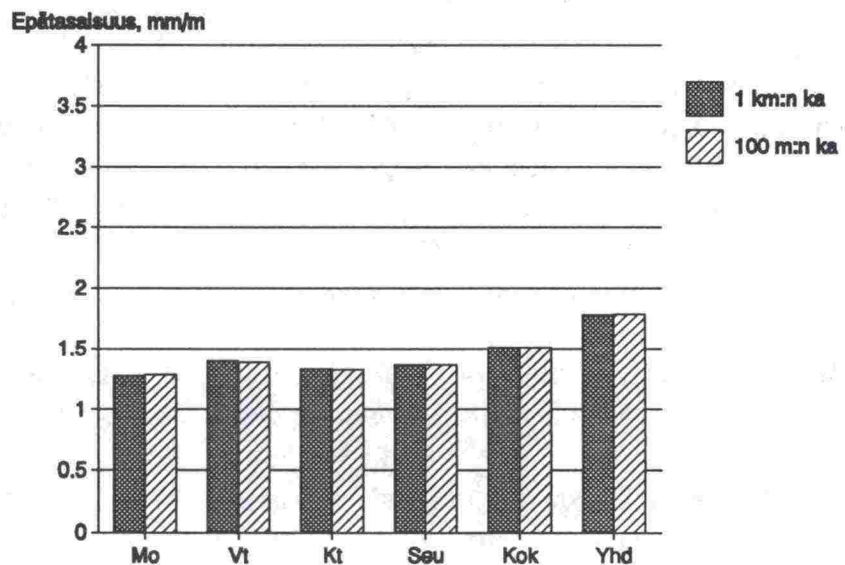
Piiri	Yksittäisepätasaisuudet (kpl/km)	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	0,17	-
Turku	0	-
Häme	0,01 (0,20)	0
Kymi	-	-
Mikkeli	0	-
Pohjois-Karjala	0	0
Kuopio	0,03 (0,03)	0
Keski-Suomi	0	-
Vaasa	0,02	-
Keski-Pohjanmaa	0,20	-
Oulu	0,01	-
Kainuu	0	-
Lappi	0	0,40
Kaikki	0,01 (0,02)	0,02

Taulukko 16: Tavoitetason 6 m/s^2 ylittävät yksittäisepätasaisuudet syksyllä 1991 ja alimman hyväksyttävän tason 7 m/s^2 ylittävät epätasaisuudet keväällä 1992 yhdysteillä.

Piiri	Yksittäisepätasaisuudet (kpl/km)	
	syksy 1991	kevät 1992
Uusimaa	0	0
Turku	0,19	-
Häme	0,08	-
Kymi	-	-
Mikkeli	-	-
Pohjois-Karjala	0	0
Kuopio	0	0,04
Keski-Suomi	-	-
Vaasa	0,10	-
Keski-Pohjanmaa	0	-
Oulu	0	-
Kainuu	0,04	-
Lappi	-	-
Kaikki	0,05	0,03

Taulukko 17: Epätasaisuus tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuna syksyllä 1991 100 m:n ja 1 km:n keskiarvoina.

Tien toiminnallinen IRI (mm/m) luokka	1 km:n ka	100 m:n ka
Moottoritiet	1,27	1,29
Valtatiet	1,40	1,39
Kantatiet	1,33	1,33
Seudulliset tiet	1,37	1,37
Kokoojatiet	1,51	1,51
Yhdystiet	1,79	1,79
Kaikki yhteensä	1,51	1,52



Kuva 13: Epätasaisuus tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuna 100 m:n ja 1 km:n keskiarvoina.

4 TASAISUUS PÄÄLLYSTETYYPIN MUKAAN

Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet on esitetty *taulukossa 18*. Mukana ovat kaikki tieluokat ja kaikki piirit. *Taulukossa 19* on päällystetyypit jaoteltu vielä tien toiminnallisen luokan mukaan. Syksyn ja kevään aineistoja on käsitelty erikseen. *Taulukossa 18* on esitetty suluissa syksyn tulokset samasta aineistosta kuin kevään tulokset ja *taulukossa 19* syksyn tulokset kevään mittauksia vastaavasta aineistosta on esitetty erikseen.

SOP-päällysteet olivat tasaisuudeltaan selvästi huonoimpia ja parhaimpia olivat ABE-päällysteet. Tosin AB- ja KAB-päällysteiden tasaisuus oli lähellä ABE-päällysteiden tasaisuutta. ABE-päällysteen tasaisuus oli hyvä yhden onnistuneen pitkän tien (44 km, IRI 1,19 mm/m) ansiosta. Muiden ABE-päällysteiden tasaisuus oli hieman AB-päällysteiden tasaisuutta huonompi. Kyseinen pitkä tieosuus oli tasainen myös keväällä 1992. ABE-päällysteiden tasaisuuden paranemiseen vaikuttaa myös se, että työstettävyyttä vaikeuttavan kumibitumin käyttö on vähentynyt. KBABE-massan suhteellinen levitetävyys on noin 0,15, kun se ABE:llä on 0,53 ja AB:llä 1,00 /11/. Lisäksi ABE-päällysteiden kokonaismäärä on lisääntynyt ja työrutiini näiden päällysteiden tekemiseen on parantunut. SOP-päällysteiden tasaisuuden paranemiseen saattaisi olla apuna alkujröyksen parantaminen.

Päällystetyypeistä lisääntyi roudan vaikutuksesta eniten AB- ja ÖS-päällysteiden epätasaisuus (peräti lähes 25 %) ja vähiten KAB-päällysteiden (3 %).

Suuri massan maksimiraekoko ja päällysteen paksuus lisäsivät bitumisorapäällysteiden epätasaisuutta vuonna 1991 - 1992 asfalttikonipäällysteisiin verrattuna ja seuraavana vuonna bitumisorapäällysteet olivat vielä epätasaisempia. Bitumisoramassoissa käytetään tavallisesti 25 - 32 mm maksimiraekokoa ja massamäärä on vähintään 150 kg/m², kun taas asfalttikonimassoissa käytetään raekokoa 16 - 20 mm ja massamäärää 120 kg/m². Taulukosta 18 havaitaan lisäksi, että väliaikaisina kulutuskerroksina toimivat bitumisorapäällysteet ylittivät valta- ja kantateillä selvästi tieluokan tavoitetason myös keskiarvon osalta.

Sitomattoman alustan vaikutus päällysteiden epätasaisuuteen näkyy myös tuloksissa, sillä epätasaisuudet kasvoivat alempiluokkisiin teihin mentäessä 20 - 25 %. Epätasaisuuden kasvuun on vaikuttanut sekä vaatimattomampi sitomattoman kerroksen tekotapa ja viimeistely että päällystystyön heikompi laatu huonommalla pohjalla.

Kun verrataan syksyn 1991 ja kevään 1992 epätasaisuuksia (yhtenevä aineisto), oli routimisen vaikutus epätasaisuuden kasvuun keväällä moottori-

teillä 8 %, valta- ja kantateillä 1 - 28 %, seudullisilla teillä 0 - 23 %, kokoojateillä 6 - 33 % ja yhdysteillä 12 - 35 % päällystetyypistä riippuen.

Taulukko 18. Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet syksyllä 1991 ja keväällä 1992. Syksyn kohdalla on suluissa esitetty kevään aineistoa vastaava tulos.

Päällyste	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m		
	syksy	kevät	syksy 1991		kevät 1992
ABE	79	53	1,27	(1,21)	1,33
AB	425	30	1,37	(1,41)	1,76
BS	87	1	1,67	(2,60)	2,90
KAB	390	192	1,35	(1,22)	1,26
ÖS	877	194	1,54	(1,43)	1,74
SOP	95	-	2,67		-

Taulukko 19: Eri päällystetyyppien keskimääräiset tasaisuudet tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuina syksyllä 1991 ja keväällä 1992.

Tieluokka	syksy 1991 (koko aineisto)					
	ABE	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet	1,19	1,36	-	-	-	-
Valta- ja kantat.	1,35	1,33	1,72	1,14	1,39	-
Seudulliset tiet	1,65	1,29	-	1,49	1,38	-
Kokoojatiet	-	1,59	1,65	1,31	1,53	3,04
Yhdystiet	-	1,71	-	1,45	1,66	2,61
Tieluokka	syksy 1991 (kevään aineisto)					
	ABE	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet	1,18	-	-	-	-	-
Valta- ja kantat.	1,26	1,41	2,60	1,13	1,32	-
Seudulliset tiet	-	-	-	1,32	1,42	-
Kokoojatiet	-	1,52	-	1,20	1,39	-
Yhdystiet	-	1,29	-	1,25	1,51	-
Tieluokka	kevät 1992					
	ABE	AB	BS	KAB	ÖS	SOP
Moottoritiet	1,27	-	-	-	-	-
Valta- ja kantat.	1,44	1,81	2,90	1,14	1,65	-
Seudulliset tiet	-	-	-	1,31	1,75	-
Kokoojatiet	-	1,62	-	1,27	1,86	-
Yhdystiet	-	1,69	-	1,69	1,69	-

5 RAKENNETTUIJEN JA PERUSPARANNETTUIJEN TEIDEN TASAISUUS VERRATTUNA KAIKKIEN UUSIEN PÄÄLLYSTEIDEN TASAISUUTEEN

Koska kaikkien uusien päällysteiden tasaisuustarkastelu on tehty 100 m:n keskiarvoista /7/, tehdään se rakennettujen ja perusparannettujen teidenkin osalta 100 m:n keskiarvoista. Uusia päällysteitä on tarkastelussa mukana kaikkiaan noin 6900 km sekä niistä rakennettuja ja perusparannettuja teitä noin 1900 km. *Taulukossa 20* on esitetty tasaisuuden jakautuma tieluokittain ja *taulukossa 21* sekä *kuvassa 14* päällystetyypeittäin.

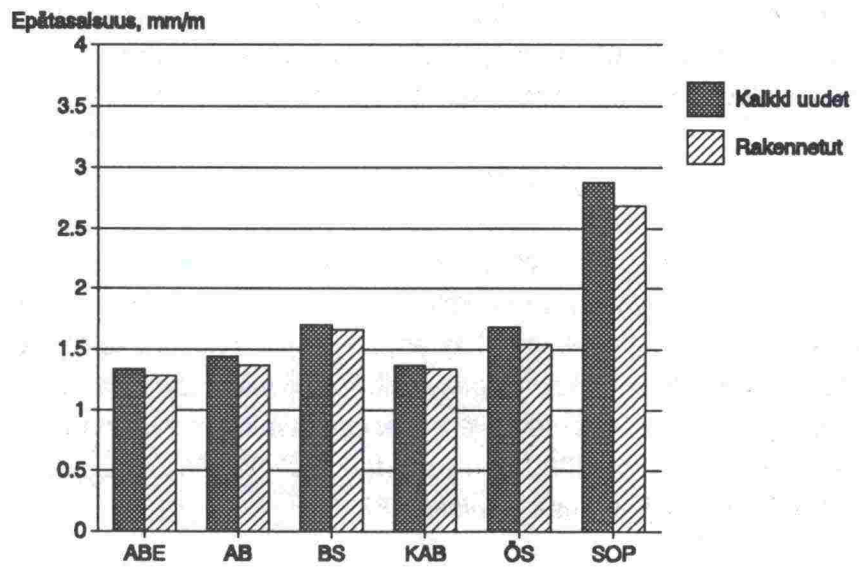
Tulosten perusteella rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuudessa ei ole merkittävää eroa kaikkien vuonna 1991 tehtyjen uusien päällysteiden tasaisuuteen sen enempää tien toiminnallisen luokan kuin päällystetyypinkään osalla. Rakennetut ja perusparannetut tiet näyttivät olevan kaikkia IRI-arvon perusteella uusia päällysteitä hieman tasaisempia vuonna 1991. Tämä johtunee siitä, ettei roudan tierakenteeseen aiheuttamaa epätasaisuutta pystytä kokonaan poistamaan pintaa uusittaessa, vaikka alusta tasattaisiinkin. Vaikka ero on pieni, on se täysin säännöllinen ja johdonmukainen kaikkien päällystetyyppien kohdalla (ero 2 - 8 %, korrelaatiokerroin 0,99 ja korrelaatiosuora $IRI_{kaikki} = 1,110 * IRI_{rak} - 0,1047$).

Taulukko 20: Epätasaisuus kaikilla uusilla päällysteillä sekä rakennetuilla ja perusparannetuilla teillä 1991 100 m:n keskiarvoina (mm/m) tien toiminnallisen luokan mukaan jaoiteltuna /7/.

Tie toiminnallinen luokka	IRI (mm/m)	
	Kaikki uudet	Rakennetut
Moottoritiet+mol.	1,34	1,29
Valtat.+kantatiet	1,31	1,35
Muut tiet	1,69	1,56
Kaikki yhteensä	1,55	1,52

Taulukko 21: Epätasaisuus kaikilla uusilla päällysteillä sekä rakennetuilla ja perusparannetuilla teillä 1991 100 m:n keskiarvoina (mm/m) päällystetyypin mukaan jaoiteltuna /7/.

Päällystetyyppi	IRI (mm/m)	
	Kaikki uudet	Rakennetut
ABE + SMA	1,34	1,28
AB + VA	1,44	1,37
BS	1,70	1,66
KAB	1,37	1,34
ÖS	1,68	1,54
SOP	2,88	2,69
Kaikki yhteensä	1,55	1,52



Kuva 14: Rakennettujen ja perusparannettujen teiden epätasaisuus verrattuna kaikkien uusien päällysteiden epätasaisuuteen vuonna 1991.

6 TASAIUUUS ERI VUOSINA

VTT:n tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio on tiehallituksen tilauksesta laatinut kalibrointiyhtälöt laser-epätasaisuuslukujen muuntamiseksi IRI-epätasaisuusluvuiksi /10/. Kalibrointiyhtälö on allaesitettyä muotoa:

$$y = e^{\alpha} x^{\beta} \quad (2)$$

jossa y on ennustettu IRI-arvo Laser-epätasaisuusluvun arvolla x ja $e = 2,71828...$. Kalibrointiyhtälö (2) on käyräviivainen ja kulkee origon kautta. Se vastaa kansainvälisesti useimmin käytettyä epätasaisuusindeksien kalibrointiyhtälöä. Kalibrointitutkimuksen perusteella päädyttiin liitteessä 1 esitettyyn kalibrointikäyrään, jonka perusteella Laser-epätasaisuusarvot on muunnettu IRI-epätasaisuusarvoiksi (1000 m:n osuudet). Kullekin tieluokalle on laadittu myös omat kalibrointikäyränsä (taulukko 22).

Taulukko 22: Kalibrointiyhtälöt laser-arvojen muuntamiseksi IRI-arvoiksi /10/.

Tieluokka	α	β
Keskiarvokäyrä	-2,856	0,755
Moottoritiet	-2,115	0,576
Valta- ja kantatiet	-2,238	0,617
Seudulliset tiet	-3,220	0,832
Kokoojatiet	-3,284	0,842
Yhdystiet	-3,368	0,852

Vuosien 1984 - 1992 syksyn ja kevään keskimääräiset epätasaisuusarvot on esitetty kuvissa 15 ja 16 luokiteltuna tien toiminnallisen luokan mukaan. Syksyjen 1984 - 1990 ja keväiden 1985 - 1991 aineisto on laser-tasaisuusmitaustuloksista muutettu kalibrointikäyrän avulla IRI-luvuiksi. Tämän mukaan epätasaisuudet ovat pienentyneet syksyllä 1991 sekä keväällä 1992 selvästi kaikissa tieluokissa (vähiten yhdysteillä) /1,2,3,4,5,6/. Valta- ja kantateillä sekä seudullisilla teillä paraneminen syksyllä 1991 edellisvuoteen verrattuna oli noin 23 % ja kokoojateillä 16 % sekä yhdysteillä 9 %. Keväällä tasaisuuden paraneminen oli eri tieluokilla 14 - 21 %. Vuodesta 1984 lähtien päällysteiden tasaisuus on parantunut noin 25 - 35 % eri tien toiminnallisissa luokissa.

Kuvissa 17 ja 18 on esitetty tasaisuuden kehitys 1984 - 1992 päällystetyypin perusteella syksyllä sekä keväällä. Tässäkin yhteydessä on havaittavissa selvä tasaisuuden paraneminen vuonna 1991 tehdyissä päällysteissä kaikkien päällystetyyppien osalla syksyllä 1991. Keväällä 1992 AB-päällysteiden tasaisuus edelliseen vuoteen verrattuna oli huonontunut, ÖS- ja KAB-

päällysteiden tasaisuus sen sijaan oli parantunut. Voimakkaimmin on parantunut BS- ja ÖS-päällysteiden tasaisuus eli tasaisuuserot eri päällystetyyppien välillä ovat pienentyneet. BS-päällysteiden joukossa oli yksi erittäin tasainen 18 km:n kokoojatien tieosuus (20 % koko aineistosta), jolla IRI-arvo oli 1,18 mm/m. Muuten BS:n tasaisuus ei ollut parantunut muita päällystetyyppejä enemmän edellisvuosiin verrattuna.

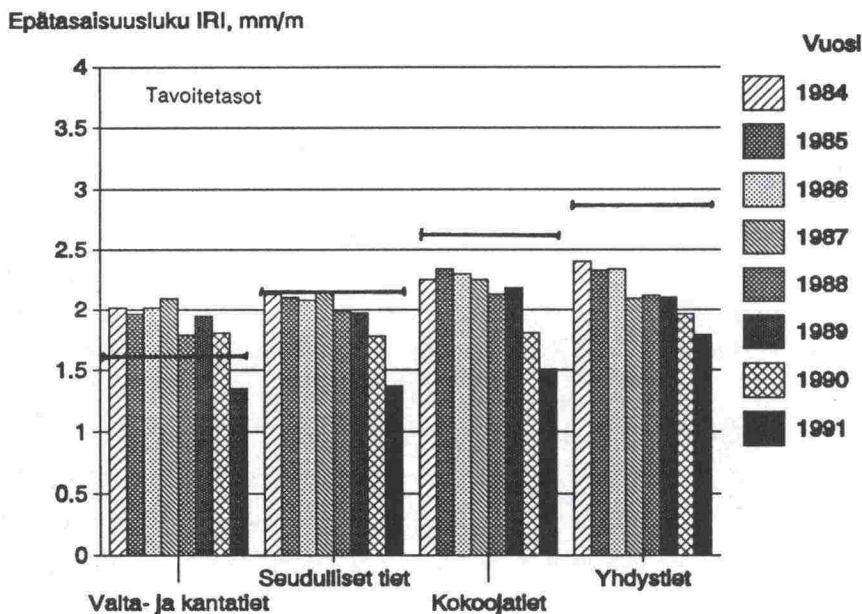
Kuvissa 19 ja 20 on esitetty vertailu tien toiminnallisen luokan mukaan, kun kalibroinnissa on käytetty tieluokakohtaisia kalibrointiyhtälöitä.

Sekä tien toiminnallisen luokan että päällystetyypin perusteella tehdyn tarkastelun perusteella näyttää tasaisuus parantuneen selvästi edellisvuosiin verrattuna. Tasaisuuden paranemiseen lienee vaikuttanut omalta osaltaan levitystyötekniikan kehitys (ASTO-tutkimuksen tulosten huomioon ottaminen). Monilla työmailla massaa levitettäessä levitystyö etenee keskeytymättömästi eli massa-auto vaihdetaan levittimen edessä lennosta levitintä pysäyttämättä eikä levitintä ajeta tyhjäksi. Tällä työtekniikalla päällysteen tasaisuutta saadaan selvästi parannettua, joten tulevaisuudessa tulisi kaikilla työmailla pyrkiä keskeytyksettömään levitystyön etenemiseen, jos se vain on mahdollista muiden olosuhteiden osalta mahdollista.

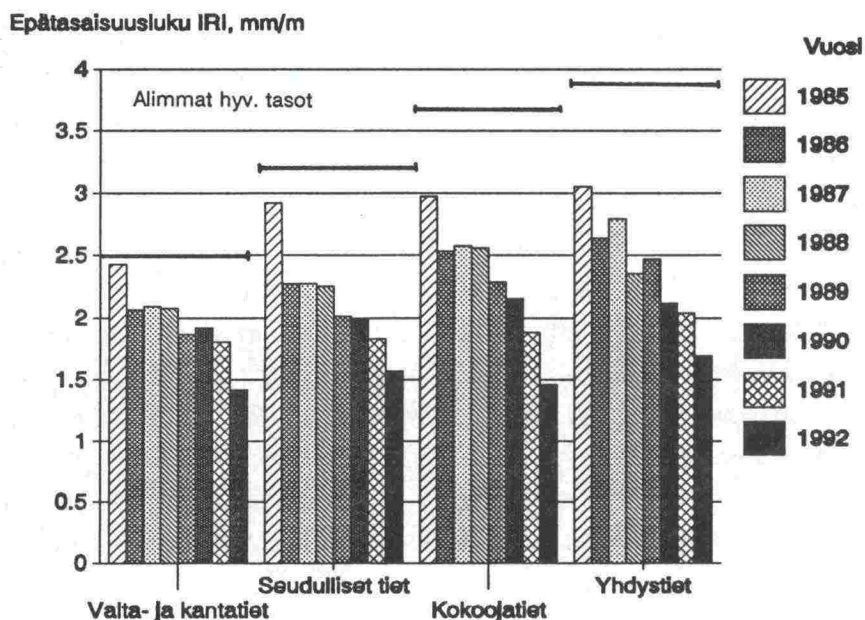
Todellisuudessa tasaisuuden parantuminen ei mahdollisesti ole kuitenkaan aivan näin voimakasta, vaan ero aiempiin vuosiin verrattuna johtuu osittain myös mittaustavan muutoksesta eikä laser-mittaustulosten kalibrointi IRI-tuloksiksi ole tällä hetkellä aivan tarkka. Tämä johtuu siitä, että kalibroinnit on tehty kullakin tieluokalla ja päällystetyypillä keskiarvotuloksista eikä yksittäisistä kilometriarvoista. Kalibrointiyhtälön käyräviivaisuudesta johtuen muutettaessa vain keskiarvo saadaan hieman liian suuri IRI-arvo. Jos kalibrointi tehtäisiin kullekin kilometriarvolle erikseen ja vasta muunnetuista luvuista laskettaisiin keskiarvo, erittäin tasaiset ja epätasaiset kilometrit alentaisivat hieman tasoa. Kalibroinnin tekeminen tällä tasolla olisi kuitenkin erittäin työlästä, koska koko aineisto kultakin vuodelta jouduttaisiin käsittelemään uudestaan. Tarkasteluvasta aiheutuvan virheen suuruuden arvioimiseksi tehtiin eräällä vuoden 1990 aineistolla (1085 km) tarkastelu tekemällä kalibrointi sekä kilometriarvoille että tieluokittaisille keskiarvoille. Kalibroiduista kilometriarvoista laskettiin keskiarvot ja verrattiin niitä kalibroituihin keskiarvoihin. Kilometreittäin tehdyillä muunnoksilla saatiin noin 2 % alhaisempia keskiarvotuloksia kuhunkin tien toiminnalliseen luokkaan.

Tasaisuustulosten kokonaistason paranemiseen saattaa vaikuttaa syksyn 1991 osalla tavallista suurempi havaintoaineisto (noin 2 - 3 kertainen aiempiin vuosiin verrattuna). Tällöin mahdollinen yksi yksittäinen pitkä epätasainen kohde ei ole vaikuttanut kokonaistuloksia heikentävästi niin paljon, koska

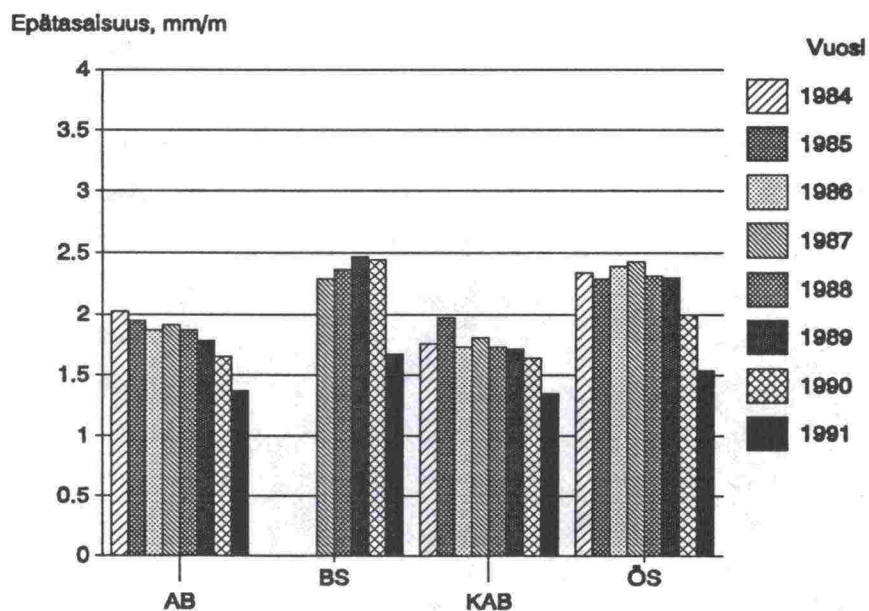
suurin osa aineistosta asettuu hyvälle tasaisuuden tasolle. Kun tarkastelussa on pieni aineisto, yksikin tasaisuudeltaan huono tie aiheuttaa suuremman muutoksen keskiarvoon.



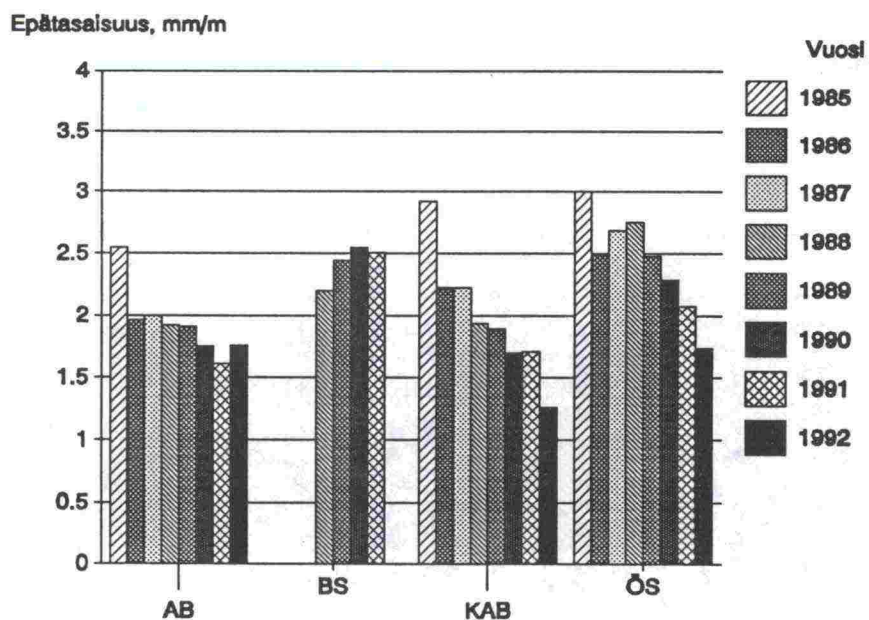
Kuva 15: Keskimääräinen epätasaisuus syksyllä 1984 - 1991 tien eri toiminnallisissa luokissa.



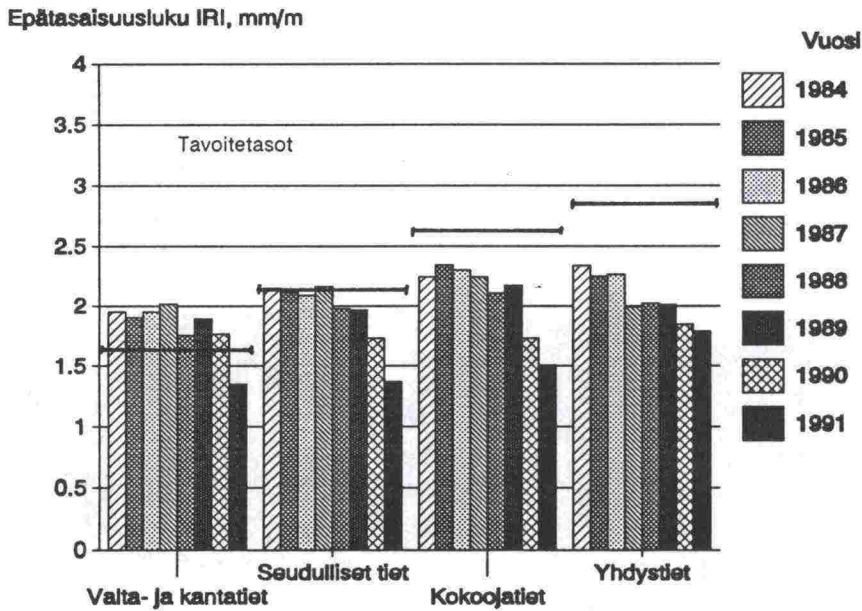
Kuva 16: Keskimääräinen epätasaisuus keväällä 1985 - 1992 tien eri toiminnallisissa luokissa.



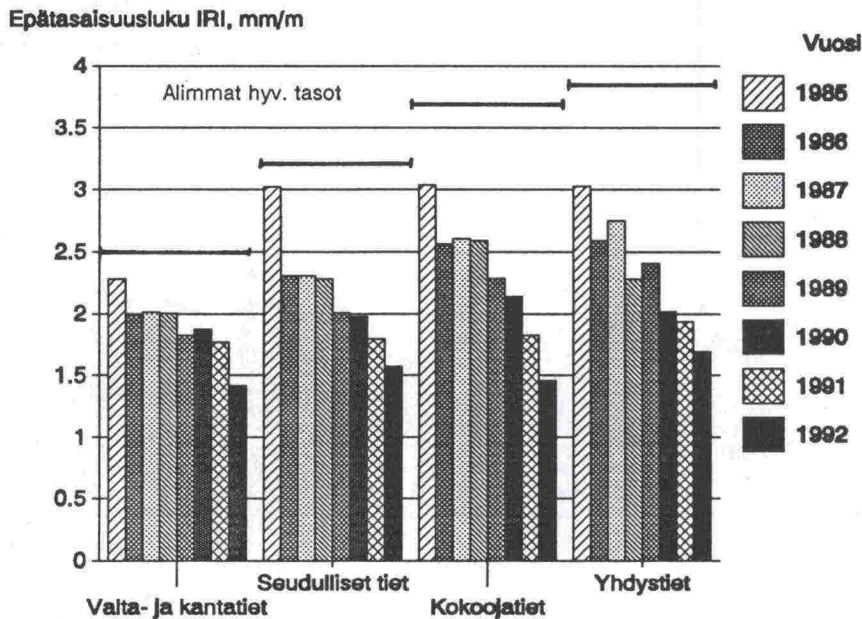
Kuva 17: Keskimääräiset epätasaisuudet päällystetyypeittäin syksyllä 1984 - 1991.



Kuva 18: Keskimääräiset epätasaisuudet päällystetyypeittäin kevällä 1985 - 1992.



Kuva 19: Keskimääräinen epätasaisuus syksyllä 1984 - 1991 tien eri toiminnallisissa luokissa, tieluokkakohtainen kalibrointi.



Kuva 20: Keskimääräinen epätasaisuus kevällä 1985 - 1992 tien eri toiminnallisissa luokissa, tieluokkakohtainen kalibrointi.

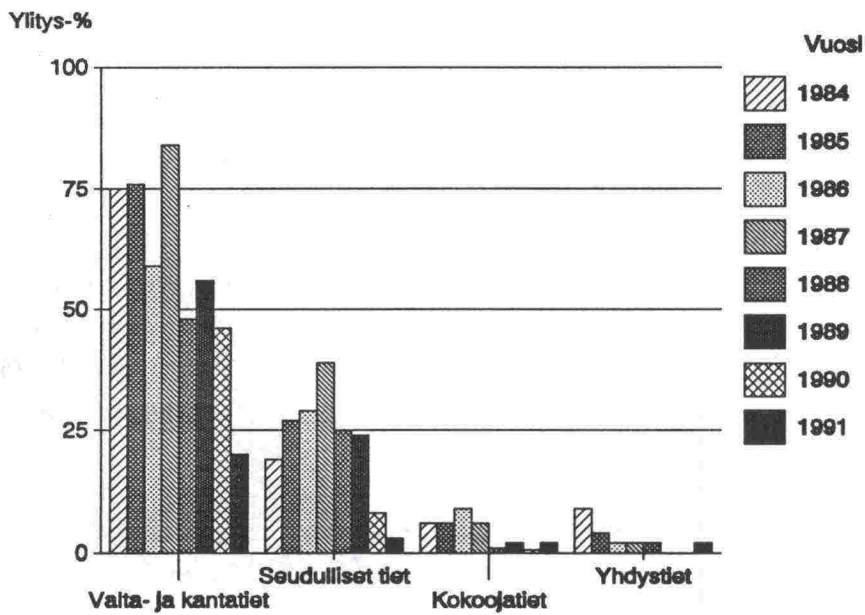
7 VAATIMUSRAJOJEN YLITYKSET AIEMPIIN VUOSIIN VERRATTUNA

Kuvissa 21 - 22 on esitetty tavoitetason ylitykset syksyllä vuosina 1984 - 1991 ja alimman hyväksyttävän tason ylitykset keväällä vuosina 1985 - 1992.

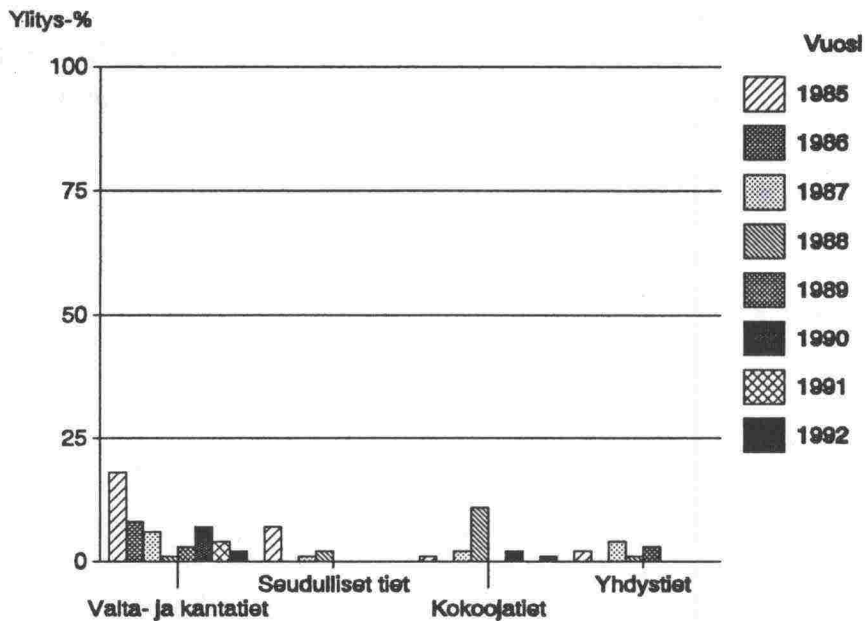
Tavoitetason ylitykset olivat syksyllä 1991 pienentyneet huomattavasti valta- ja kantateillä. Myös seudullisilla olivat ylitykset pienentyneet viime vuosiin verrattuna. Sen sijaan kokooja- ja yhdysteillä tavoitetason ylitykset lisääntyivät hieman vuonna 1991. Aiempina vuosina tien eri toiminnallisten luokkien välillä oli ylityksissä erittäin suuria eroja. Tänä vuonna erot ovat selvästi pienentyneet.

Alimman hyväksyttävän tason ylitykset olivat keväällä 1992 vähentyneet huomattavasti kaikilla muilla tieluokilla paitsi valta- ja kantateillä.

Syksyyn 1990 ja kevääseen 1991 saakka tavoitetason ja alimman hyväksyttävän tason ylitykset perustuvat laser-tasaisuusrajoihin. Raja-arvoja IRI-tuloksille on syytä tarkastella jatkossa hieman tarkemmin ja seurata niiden kehitystä; onko raja-arvoja kenties syytä muuttaa. Tavoitetason ylitysten määrä syksyllä 1991 valta- ja kantateillä sekä seudullisilla teillä väheni edellisvuosiin verrattuna paljon, mutta koko tasaisuustaso näyttää parantuneen selvästi, joten vaatimusrajojen kiristämiseen ei kuitenkaan tässä vaiheessa syytä, varsinkin kun käytettävissä on vasta yhden vuoden IRI-mittausaineisto.



Kuva 21: Tavoitetason ylittäneiden mittauskilometrien %-osuus syksyllä 1984 - 1991.



Kuva 22: Alimman hyväksyttävän tason ylittäneiden mittauskilometrien %-osuus keväällä 1985 - 1992.

8 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu vuonna 1991 rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuutta, jota on mitattu PTM-autolla tai IRI-tasaisuusmittarilla IRI-tasaisuusarvoina. Tämä raportti on ensimmäinen, jossa tasaisuutta arvostellaan IRI-mittausten perusteella aiempien laser-mittausten sijaan.

Alla olevassa taulukossa 23 on esitetty vuonna 1991 rakennettujen ja perusparannettujen teiden keskimääräinen tasaisuus ja syksyllä 1991 ja keväällä 1992 tien eri toiminnallisissa luokissa. Taulukossa on syksyn osalla esitetty suluissa IRI-arvot, jotka on saatu kevään mittauksia vastaavasta aineistosta.

Taulukko 23: Tien eri toiminnallisten luokkien keskimääräiset tasaisuudet syksyllä 1991 ja keväällä 1992. Suluissa syksyn kohdalla kevään mittauksia vastaavan aineiston tulokset.

Toiminnallinen luokka	Pituus, km		Tasaisuus, mm/m	
	syksy	kevät	syksy 1991	kevät 1992
Moottoritie	85	31	1,27 (1,18)	1,27
Valta- ja kantat.	289	113	1,35 (1,25)	1,42
Seudullinen tie	478	128	1,37 (1,38)	1,58
Kokoojatie	599	131	1,51 (1,27)	1,46
Yhdystie	502	67	1,79 (1,46)	1,69
Kaikki	1953	470	1,51 (1,32)	1,50

Päällysteen epätasaisuus lisääntyi syksyllä 1991 tien toiminnallisen luokan alentuessa. Tosin vasta kokooja- ja yhdysteillä alenema oli selvä. Kevään osalla tilanne ei ollut yhtä selväpiirteinen. Silloinkin tosin moottoritiet sekä valta- ja kantatiet olivat tasaisimpia ja yhdystiet epätasaisimpia.

Päällystelajeista tasaisimpia olivat rakeisuuskäyrältään epäjatkovat ABE-päällysteet (1,3 mm/m) ja epätasaisimpia SOP-päällysteet (2,7 mm/m). AB- ja KAB-päällysteiden tasaisuus ei ollut paljon ABE-päällysteen tasaisuutta huonompi. ABE-päällysteiden tasaisuuskeskiarvoon vaikutti voimakkaasti yksi erittäin hyvin onnistunut tie.

Tavoitetason ylityksiä oli eniten valta- ja kantateillä. Tavoitetason ylitykset johtuivat suurelta osin väliaikaisina kulutuskerroksina käytettävien bitumisora-päällysteiden huonosta tasaisuudesta. Alinta hyväksyttävää tasoa keväällä ei ylitetty juuri lainkaan. Tavoitetason ylitykset vähenivät selvästi edellisvuosiin verrattuna valta- ja kantateillä sekä seudullisilla teillä.

Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus on yleisesti parantunut jatkuvasti viime vuosina. Valta- ja kantateillä epätasaisuutta ovat lisänneet bitumisorapäälysteet, jotka olivat vuonna 1991 30 % asfalttibetonipäälysteitä epätasaisempia. Jos valta- ja kantateiden aineistosta poistetaan bitumisora, on tasaisuus keskimäärin 1,31 mm/m.

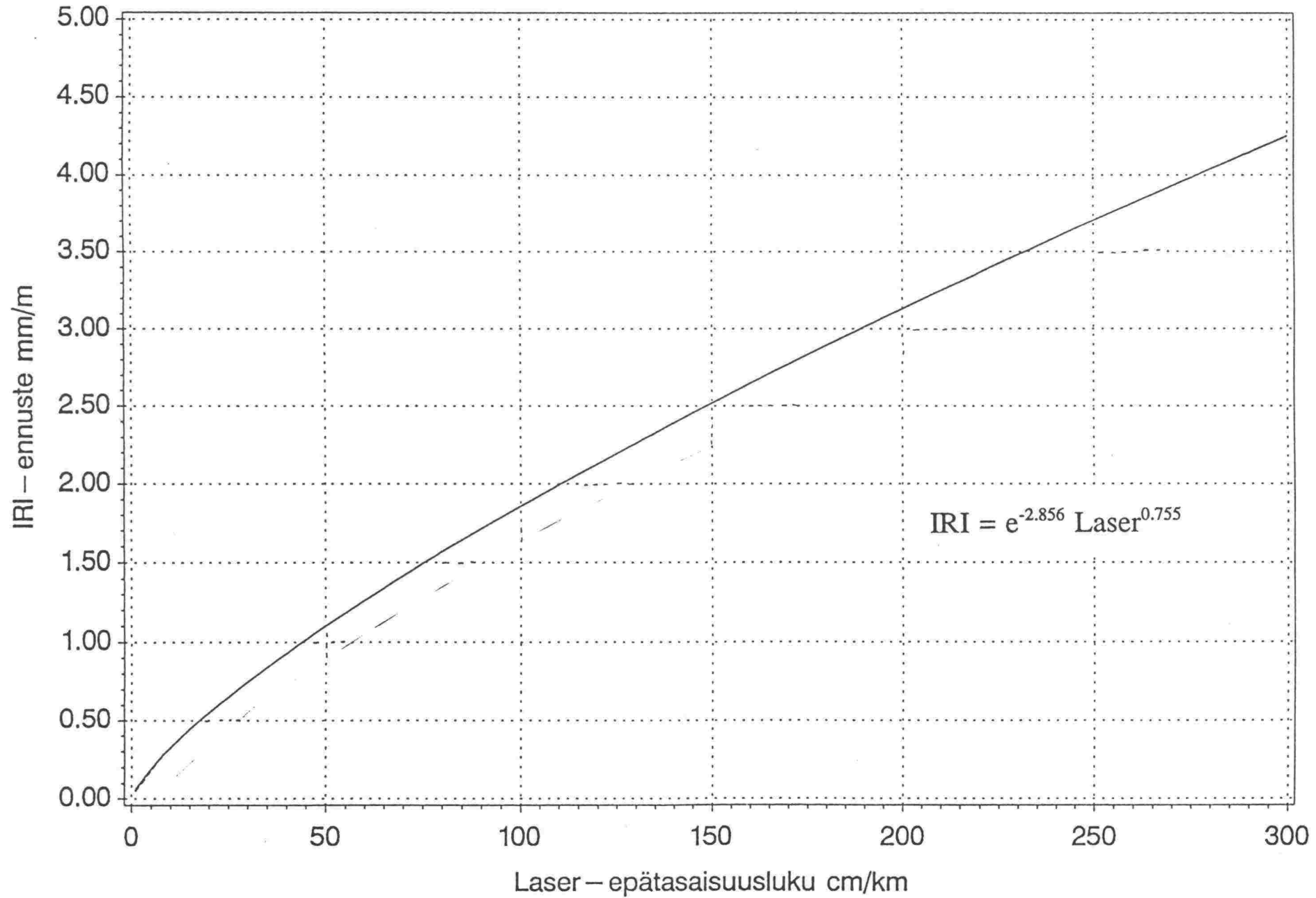
Vertailu aiempiin vuosiin on tehty siten, että laser-tasaisuustulokset on matemaattisesti muutettu kalibrointiyhtälön avulla IRI-arvoiksi. Tämän vertailun perusteella teiden tasaisuus on parantunut kaikilla tien toiminnallisilla luokilla ja kaikilla päällystetyypeillä. Selvintä paraneminen on ollut tieluokista valta- ja kantateillä sekä seudullisilla teillä sekä päällystetyypeistä bitumisora ja öljysorapäälysteillä. Tasaisuuden paranemiseen on vaikuttanut työtekniikan kehitys; levitystyö on useilla työmailla keskeytyksetöntä eli massa-auto vaihdetaan levittimen edessä "lennosta" (ASTO-tutkimusten tulosten huomioon ottaminen). Laser-arvoista IRI-arvoiksi kalibroidut vuosien 1984 - 1991 tulokset ovat hieman liian suuria (noin 2 %), koska muutos on tehty keskiarvoista eikä yksittäisistä kilometriarvoista.

9 LÄHDELUETTELO

1. Teiden tasaisuusluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 474. Espoo, maaliskuu 1985. 44 s.
2. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1984 - 85. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 492. Espoo, heinäkuu 1985. 18 s.
3. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1986 -1987. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 653. Espoo, lokakuu 1987. 31 s.
4. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1987 -88. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 748. Espoo, syyskuu 1989. 28 s.
5. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1988-1989 ja 1989-1990. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 821. Espoo, marraskuu 1990. 50 s.
6. Rakennettujen ja parannettujen teiden tasaisuus 1990-1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 46. Espoo, marraskuu 1991. 33 s.
7. Uusien päällysteiden tasaisuus 1991. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 76. Espoo, helmikuu 1992. 30 s.
8. Sayers, M., Gillespie, T., Paterson, O. Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper number 46. Washington, D.C., USA 1986. 87 s.
9. Paterson, O. Road Deterioration and Maintenance Effect. Models for Planning and Management. World Bank, The Highway Design and Maintenance Standards series. The Johns Hopkins University Press Baltimore and London. ss 33 - 42.
10. Laser- ja IRI-tasaisuusmittausten kalibrointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Tutkimusraportti 38. Espoo, 1991. 41 s.

11. Terhi Pellinen. Sekoituksen ja lisäaineiden vaikutus asfalttias-
sojen työstettävyyteen, laboratoriotutkimus. Asfalttipäällysteiden
tutkimusohjelma ASTO 1987 - 1992 TR 7. Valtion teknillinen
tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio n:o 779. Espoo,
maaliskuu 1991.

Kalibrintikäyrä IRI – lasermittaus; koko 1988–1990 aineisto
1000 m:n osuudet.



TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 2/1990 Liuskapystyjojakenttien toiminnasta. TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen; teoreettinen osa. TIEL 703343
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tiepenkereen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet. TIEL 3200024
- 1/1992 Pystyjanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119

TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 1/1991 Kerrosten laatuvirheiden esto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 15/1991 Vairioinventoinnin tulosten käsittelyohjelmistot, lomake, mittari ja siirto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kalliokohdetutkimus. TIEL 4000003
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa I, Routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. TIEL 4000004
- 22/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa II, Tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin. TIEL 4000005
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa III, Elävät pituushalkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa. TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kuivatustutkimus osa I sekä roudan syvyys-havainnot. TIEL 4000018
- 23/1991 Betonipäällysteen seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 25/1991 Tiivistyskurssi; Maarakenteiden tiivistäminen. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1991 Omajohtoisissa töissä käytetyn tiivistyskaluston nykytilaselvitys vuosilta 1987-90. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 27/1991 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti I. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rekennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1992 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II; Prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimukset. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus