



Tielaitos

Los Angeles ja Micro-Deval -kokeiden vertailu

**Tielaitoksen
sisäisiä
julkaisuja**

35/2000

Helsinki 2000

**TIEHALLINTO
Tie- ja
liikennetekniikka**

Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja
35/2000

Los Angeles ja Micro-Deval -kokeiden vertailu

Tielaitos
TIEHALLINTO

Helsinki 2000

TIEL 4000255

Oy Edita Ab
Helsinki 2000

Julkaisua myy
Tielaitos, julkaisumyynti
Faksi 0204 44 2652
julkaisumyynti@tielaitos.fi
www.tielaitos.fi/julk2.htm



Tielaitos
TIEHALLINTO
Tie- ja liikennetekniikka
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh.vaihde 0204 44 150

Vuorinen, Jarmo: Los Angeles ja Micro-Deval –kokeiden vertailu. [The compatibility of the results of a Los Angeles test with those of a Micro-Deval test and an old Los Angeles test]. Tielaitos, tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 2000. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/2000, 26 s. + liitt. TIEL 4000255.

Aiheluokka 33, 42, 56

Asiasanat kiviainekset, kantava kerros, Los Angeles –koe, Micro-Deval –koe, kuulamylykoe

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää viime vuosina Suomessa kantavan kerroksen kiviainesten luokituksessa käyttöön otetun Los Angeles -kokeen SFS-EN 1097-2 tulosten vastaavuus Micro-Deval -kokeen SFS-EN 1097-1 tulosten ja aiemmin käytössä olleen Los Angeles -kokeen TIE 231B (ASTM C 131-76) tulosten kanssa.

Tutkimuksen perusteella pyrittiin selvittämään voitaisiinko Suomessa siirtyä käyttämään sitomattoman kantavan kerroksen murskeiden laatuluokituksessa Micro-Deval -koetta ja voidaanko aiemmin saadut Los Angeles -luvut muuntaa matemaattisen yhtälön avulla uuden menetelmän mukaisiksi Los Angeles -luvuiksi. Edellä mainittujen testien lisäksi tutkimuksessa selvitettiin Los Angeles -kokeen ja kuulamylykokeen tulosten vastaavuutta.

Iskunkestävyyttä kuvaavan Los Angeles -kokeen ja hioutuvuuskestävyyttä kuvaavan Micro-Deval -kokeen vertailuun valittiin 10 mineralogisesti ja kulumuskestävyydeltään toisistaan poikkeavaa kiviainesta, joita on myös käytetty aiemmin tehdyssä kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vertailussa. Los Angeles -kokeen uuden ja vanhan menetelmän vertailuun valittiin myös 10 kiviainesta, jotka edustavat tyypillisiä suomalaisia kiviaineksia.

TIE-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut olivat poikkeuksetta lukuarvoltaan vähän pienempiä kuin SFS-EN-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut. Ero oli tutkittavilla kymmenellä kiviaineksilla 0,3 – 3,6 %-yksikköä olleen keskimäärin 1,9 %-yksikköä. SFS-EN- ja TIE-menetelmien mukaiset Los Angeles -luvut korreloivat erittäin hyvin keskenään, joten aiemmin saadut Los Angeles -luvut voidaan luotettavasti muuntaa matemaattisen yhtälön avulla uuden menetelmän mukaisiksi Los Angeles -luvuiksi.

Los Angeles -luvun riippuvuus sekä Micro-Deval- että kuulamylyarvon kanssa oli kaikki kiviainekset huomioiden huono. Riippuvuus paranee oleellisesti, mikäli käsitellään vain tietyn kiintotiheyden tai SiO₂-pitoisuuden omaavia kiviä. Koska Los Angeles -koe ja Micro-Deval -koe ovat luonteeltaan hyvin erilaisia kokeita ja koska niille saadaan hyvä keskinäinen riippuvuus vain tietyillä kiviryhmillä, Los Angeles -koetta ei voida sellaisenaan korvata Micro-Deval -kokeella sitomattoman kantavan kerroksen murskeiden laatuluokituksessa. Lisäksi nykyiset CEN-tuotestandardin Micro-Deval -kokeen raja-arvot eivät sovellu suomalaisille kiviaineksille, koska luokitus alkaa vasta Micro-Deval -arvosta 20 %.

Vuorinen, Jarmo: The compatibility of the results of a Los Angeles test with those of a Micro-Deval test and an old Los Angeles test.

Key words aggregate, base course, Los Angeles test, Micro-Deval test, nordic abrasion test

ABSTRACT

The aim of the study was to examine the compatibility of the results of Los Angeles test SFS-EN 1097-2, which has been utilised recently in Finland for classifying base course mineral aggregates, with the results of Micro-Deval test SFS-EN 1097-1 and the previously used Los Angeles test TIE 231B (ASTM 131-76).

The study was carried out to find out whether the Micro-Deval test could be utilised in Finland to classify mineral aggregates in unbound base courses, and whether the Los Angeles coefficients from the earlier tests could be converted through some kind of mathematical equation to be compatible with the results achieved with the new Los Angeles test method. In addition to the aforementioned tests, the study examined the compatibility of the results of the Los Angeles test and those of a nordic abrasion test.

The compatibility study carried out on the Los Angeles test, used for examining an aggregate's impact resistance, and the Micro-Deval test, used for examining an aggregate's abrasion resistance, used ten types of aggregate of different mineralogical properties and different levels of wear resistance. These aggregates have also been used in a previous comparison study carried out on nordic abrasion test and Micro-Deval test. Ten typical Finnish aggregates were also selected for the comparison study carried out on the old and the new Los Angeles tests.

The old test's Los Angeles coefficients were, without exception, of lower numerical value than those reached with the new test. The difference in numerical value varied between 0.3 and 3.6 percentage units among the ten examined aggregates. The mean difference was thus 1.9 percentage units. The old and new Los Angeles coefficients have a high correlation, so the old Los Angeles coefficients can be reliably converted to Los Angeles coefficients that correspond with the new test method.

Overall, the correlation of the Los Angeles coefficients with the Micro-Deval coefficients and nordic abrasion values was low. There was a significantly higher degree of correlation between aggregates of certain specific gravities or SiO₂-contents. As the Los Angeles and Micro-Deval tests are very different, and as only certain aggregates give compatible results when tested with both methods, the Los Angeles test cannot be easily replaced by the Micro-Deval test. The range of the Micro-Deval test (lowest value 20 %) as set by the current CEN standard is also not applicable with Finnish aggregates.

ALKUSANAT

Tienrakentamisessa käytettäviä kiviaineksia voidaan arvostella eri testimenetelmien perusteella. Kun tarkastellaan kiviainesten kulumiskestävyyttä hiovaa ja raapivaa kulutusta vastaan tärkeimmät testimenetelmät ovat kuulamylykoe ja Micro-Deval -koe. Kiviainesten iskunkestävyyttä testaa parhaiten puolestaan Los Angeles -koe.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää viime vuosina Suomessa kantavan kerroksen kiviainesten luokituksessa käyttöön otetun Los Angeles -kokeen SFS-EN 1097-2 tulosten vastaavuus Micro-Deval -kokeen SFS-EN 1097-1 tulosten ja aiemmin käytössä olleen Los Angeles -kokeen TIE 231B tulosten kanssa. Samalla saadaan myös aiemmin tehdyn selvityksen (TIEL selvityksiä 30/1999) tuloksiin vertaamalla tietoa Los Angeles -luvun ja kuulamylyarvon vastaavuudesta.

Tutkimuksen perusteella pyrittiin selvittämään voitaisiinko Suomessa siirtyä käyttämään sitomattoman kantavan kerroksen murskeiden laatuluokituksessa Micro-Deval -koetta ja voidaanko aiemmin saadut Los Angeles -luvut muuntaa matemaattisen yhtälön avulla uuden menetelmän mukaisiksi Los Angeles -luvuiksi.

Tutkimuksen tilaajana oli Tielaitoksen tie- ja liikennetekniikka. Tutkimusta valvoivat Tielaitoksen edustajina diplomi-insinöörit *Kari Lehtonen* ja *Tuomo Kallionpää*. Tutkimuksen vastuuhenkilönä ja raportin laatijana oli tutkija *Jarmo Vuorinen* Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) Yhdyskuntatekniikan tutkimusyksiköstä.

Helsingissä syyskuussa 2000

Tielaitos
Tie- ja liikennetekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	7
2	TUTKITTAVAT KIVIAINEKSET	10
3	LABORATORIOKOKKEET	11
4	TULOKSET	13
5	TULOSTEN TARKASTELU	16
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	22
7	KIRJALLISUUS	24

1 JOHDANTO

Sitomattomaan tai hydraulisesti sidottuun kantavaan kerrokseen käytettävien murskeiden laatuluokitus /1/ perustuu Suomessa Los Angeles -kokeella määritettävään iskunkestävyyteen, minkä lisäksi kiviaineksia luokitellaan niiden raamuodon perusteella määrittämällä litteysluku. Asfalttipäällysteessä käytettävien kiviainesten laatua arvostellaan /2/ pohjoismaisen kuulamylykokeen ja litteysluvun perusteella.

Los Angeles -, isku- ja Micro-Deval -kokeita käytetään CEN-tuotestandardissa /3/ testattaessa sitomattoman tai hydraulisesti sidotun kantavan kerroksen kiviainesten isku- ja kulutuskestävyyttä. Päällystekiviainesten luokituksessa /4/ on vastaavasti käytössä Los Angeles -, isku-, Micro-Deval-, hioutuvuus- (AAV) ja kuulamylykokeet. Raidesepelin testaus /5/ tehdään vielä nykyään Suomessa haurausarvo- ja kuulamylykokeilla, mutta jatkossa siirrytään käyttämään CEN-tuotestandardin /6/ mukaisesti modifioituja Los Angeles - ja Micro-Deval -kokeita.

Taulukko 1. Kiviainesten luokitus Los Angeles -kokeen perusteella /1/.

Los Angeles -luku SFS-EN 1097-2	Los Angeles -luku PANK-2201*	Laatuluokka
≤ 20	≤ 15	I
≤ 25	≤ 20	II
≤ 30	≤ 25	III
≤ 40	≤ 30	IV
≤ 50		V
≤ 60	* = käytössä	VI
Ei vaatimuksia	vaihtoehtoisesti 30.6.1999 asti	VII

Los Angeles -koetta on käytetty Suomessa jo useiden vuosikymmenien ajan päällystekiviainesten ja sitomattoman kantavan kerroksen kiviainesten testaukseen. ASTO-projektin tulosten perusteella Los Angeles -koe poistettiin päällystekiviainesten testauksesta vuoden 1991 lopulla painetusta Asfalttipäällystenormien kiviaineksia koskevasta osasta. Sitomattoman kantavan kerroksen kiviaineksen testauksessa käytettiin vuoteen 1998 asti ASTM-menetelmään C 131-76 perustuvaa testausmenetelmää TIE 231 /7/, josta on ainakin Tielaitoksen murskaustöitä koskevissa asiakirjoissa käytetty myös merkintää PANK-2201, vaikkei tällaista menetelmäkuvausta ole koskaan painettu ja julkaistu. Parin viimeisen vuoden ajan käytössä on ensi sijaisesti ollut yleiseurooppalainen menetelmä SFS-EN 1097-2 /8/. PANK- eli TIE-menetelmän käyttö oli sallittu /1/ siirtymäaikana 30.6.1999 asti. Taulukoissa 1 ja 2 on kuvattu kiviainesten laatuluokitukset Los Angeles -kokeen perusteella. Taulukossa 1 esitetty Tielaitoksen murskaustöiden laatuluokitus on raja-arvoiltaan sama kuin taulukossa 2 esitetty CEN-tuotestandardin luokitus. Molemmat luokitukset koskevat sitomattomaan ja hydraulisesti sidottuun kantavaan kerrokseen käytettäviä kiviaineksia.

Taulukko 2. Kiviainesten luokitus Los Angeles -kokeen perusteella niin asfalttipäällysteille kuin sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kerroksille (CEN-tuote-standardit).

Asfalttipäällysteet /4/		Sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kerrokset /3/	
Los Angeles -luku	Luokka LA	Los Angeles -luku	Luokka LA
≤ 15	LA ₁₅	≤ 20	LA ₂₀
≤ 20	LA ₂₀	≤ 25	LA ₂₅
≤ 25	LA ₂₅	≤ 30	LA ₃₀
≤ 30	LA ₃₀	≤ 40	LA ₄₀
≤ 40	LA ₄₀	≤ 50	LA ₅₀
≤ 50	LA ₅₀	≤ 60	LA ₆₀
Ei vaatimusta	LA _{NR}	Ei vaatimusta	LA _{NR}

Tärkeimmät muutokset vanhan TIE-menetelmän (menetelmä B) ja uuden SFS-EN-menetelmän välillä ovat testattavan näytteen raekoko ja tuloksen määrittämiseen käytettävän seulan aukkokoko. Aiemmin testaus tehtiin pesemättömästä 9,5 – 12,7 – 19 mm aineksesta, kun taas nykyisin käytössä oleva menetelmä koskee yleensä (voidaan tarvittaessa määrittää muistakin lajitteista, jotka on kuvattu menetelmäkuvauksen liitteessä A) pestyä 10 – 14 mm ainesta väliseulan aukkokoon ollessa joko 11,2 tai 12,5 mm. Lisäksi Los Angeles -luvun laskemiseen käytetty 1,68 mm seula on korvattu 1,6 mm seulalla (pesuseulonta) ja testauksessa käytettävä kuulien (11 kpl) yhteispaino on jonkin verran aiempaa suurempi.

Micro-Deval -koe on alkujaan ranskalainen kiviainestesti, joka poikkeaa kuulamylykokeesta lähinnä myllyn mittasuhteiden ja kierrosnopeuden, myllyn nostoripojen puuttumisen, teräskuulien koon ja määrän sekä testattavan kiviaineksen rakeisuuden (10 – 14 mm) ja määrän (500 g) suhteen. Lisäksi Suomessa käytössä olevilla rumpumalleilla Micro-Deval kokeessa voidaan kuulamylykokeesta poiketen testata kaksi osanäytettä samalla kertaa. Eurooppalaisesta menetelmästandardista on vuonna 1997 vahvistettu voimaansaattamisilmoituksella suomalainen kansallinen standardi SFS-EN 1097-1 /9/.

Suomessa Micro-Deval -koe ei ole ainakaan vielä käytössä arvosteltaessa esimerkiksi asfalttipäällysteiden tai sitomattoman kantavan kerroksen kiviaineksiä. Koetta on tähän asti käytetty vain tutkimustarkoituksessa, esimerkiksi kaupunkien ja kuntien päällysteitä koskevassa Katurakenteet ja –päällysteet-tutkimusohjelmassa /10/. Jatkossa ainakin raidesepelin testauksessa tullaan käyttämään Micro-Deval -koetta, joskin myllyn mittasuhteet ja kuulien käyttö (ei kuulia) sekä testattavan materiaalin määrä (25 kg) ja rakeisuus (31,5 – 50 mm) tulevat olemaan menetelmästä SFS-EN 1097-1 poikkeavia /6/.

Taulukossa 3 esitetään CEN-tuotestandardissa kuvatut kiviainesten luokitukset Micro-Deval -kokeen perusteella.

Taulukko 3. Kiviainesten luokitus Micro-Deval -kokeen perusteella niin asfalttipäällysteille kuin sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kerroksille (CEN-tuotestandardit).

Asfalttipäällysteet /4/		Sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kerrokset /3/	
Micro-Deval-arvo	Luokka MDE	Micro-Deval-arvo	Luokka MDE
≤ 10	M _{DE} 10	≤ 20	M _{DE} 20
≤ 15	M _{DE} 15	≤ 25	M _{DE} 25
≤ 20	M _{DE} 20	≤ 35	M _{DE} 35
≤ 25	M _{DE} 25	≤ 50	M _{DE} 50
≤ 35	M _{DE} 35	Ei vaatimusta	M _{DE} NR
Ei vaatimusta	M _{DE} NR		

Kuulamylykokeesta on eurooppalainen menetelmästandardi vahvistettu vuonna 1998 suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi SFS-EN 1097-9 /11/. Menetelmää (11,2 - 14 - 16 mm kiviaines) käytetään sekä raaka-ainetta tuotetestauksessa selvittäessä päällystekiviaineksen valintaa ja kelpoisuutta. Kuulamylykoetta on käytetty päällystekiviainesten testauksessa vuodesta 1993 lähtien, joskin käytettyyn menetelmään (TIE 242, PANK-2207, PANK-2208 ja SFS-EN 1097-9) on tänä aikana tullut useita pieniä muutoksia.

1990-luvun alussa ja puolivälissä kuulamylykoetta käytettiin Los Angeles -kokeen ohella myös sitomattoman kantavan kerroksen kiviaineksen testaukseen. VR käyttää vielä ainakin vuoden 2000 ajan raidesepelin testaamiseen vanhaa raaka-ainemenetelmää TIE 242 /12/ (VR 1995 /5/), jossa testattava kiviaines välpätään 5,6 mm välppäseulalla ja jossa 14 mm seulan sijasta käytetään 13,2 mm seulaa testattavan materiaalin lajitteiden jaossa (11,2 - 13,2 / 14,0 - 16 mm).

Asfalttipäällysteiden kiviaineksiä koskevassa CEN-tuotestandardissa /4/ kiviainekset on luokiteltu kuuteen laatuluokkaan kuulamylykokeen perusteella. Luokat esitetään taulukossa 4. Vastaavat luokat (I - VI) ja raja-arvot on myös Tielaitoksen kiviainesvaatimuksissa /1/. Asfalttinormeissa /2/ esiintyy vain neljä ensimmäistä luokkaa (I - IV) kuulamylykokeen maksimiarvon ollessa 19 %.

Taulukko 4. Kiviainesten luokitus kuulamylykokeen perusteella /4/.

Kuulamylyarvo Nordic abrasion value	Luokka Category A _N	Laatuluokka TIEL /1/
≤ 7	A _N 7	I
≤ 10	A _N 10	II
≤ 14	A _N 14	III
≤ 19	A _N 19	IV
≤ 30	A _N 30	V
Ei vaatimusta	A _N NR	VI

2 TUTKITTAVAT KIVIAINEKSET

Los Angeles - ja Micro-Deval -kokeiden vertailuun valittiin 10 mineralogisesti ja lujuudeltaan toisistaan poikkeavaa kiviainesta, joita on myös käytetty aiemmin tehdyssä kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden vertailussa /13/. Raemuodon vaikutuksen minimoimiseksi vertailuun valittiin mahdollisimman hyvän raemuodon omaavia, välpättyjä kiviaineksia.

Los Angeles -kokeen uuden ja vanhan menetelmän vertailuun valittiin 10 kiviainesta, jotka edustavat tyypillisiä suomalaisia kiviaineksia. Koska aiemmin tehdyn kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden vertailun kiviainekset olivat maksimiraekooltaan 16 mm, näitä kiviaineksia ei voitu käyttää Los Angeles -kokeen uuden ja vanhan menetelmän vertailussa (maksimiraekoko 19 mm), vaan tähän valittiin toiset kiviainekset. Näistä kiviaineksista Lohja Rudus Oy hankki kuusi, VTT kolme ja Lemminkäinen Oyj yhden kiviaineksen.

Taulukossa 5 esitetään kaikki tutkimukseen valitut kiviainekset: näytenumero, kivilaji ja mihin testivertailuihin nämä kiviainekset ovat osallistuneet. Taulukossa mainitut vertailut ovat A) Los Angeles SFS-EN / Los Angeles TIE-vertailu, B) Los Angeles SFS-EN / Micro-Deval-vertailu ja C) Los Angeles SFS-EN / kuulamyly-vertailu.

Taulukko 5. Tutkimukseen valitut kiviainekset.

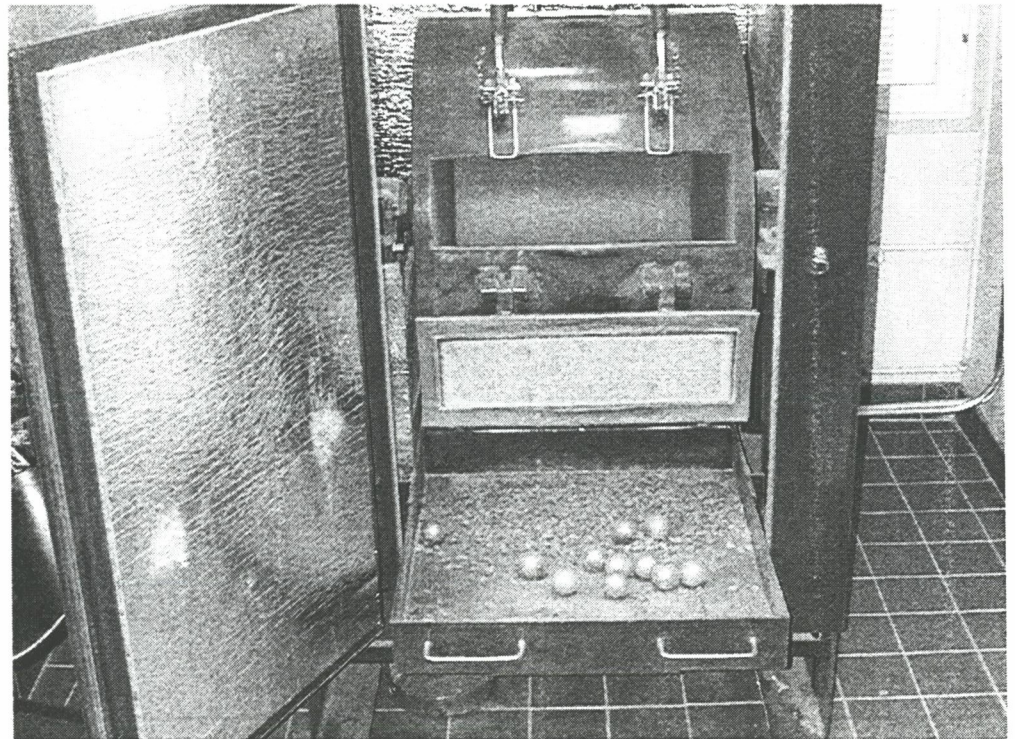
NRO	KIVILAJI	A	B	C
1	Kiilleliuske		X	X
2	Granodioriittigneissi		X	X
3	Gabro		X	X
4	Kiilleliuske		X	X
5	Emäksinen vulkaniitti		X	X
6	Amfiboliitti		X	X
7	Tonaliitti		X	X
8	Graniitti		X	X
9	SrM (pääosin gran. ja granodior.)		X	X
10	Graniitti		X	X
11	Gabro	X		
12	Emäksinen vulkaniitti	X		
13	Graniitti	X		
14	Gneissi	X		
15	Intermediäärinen vulkaniitti	X		
16	Graniitti	X		
17	Graniitti	X		
18	Tonaliittigneissi	X		
19	Diabaasi	X		
20	Kvartsidioriitti	X		

3 LABORATORIOKOKKEET

Taulukossa 5 esitetyistä kiviaineksista (kivet 1 – 20) määritettiin VTT:n Yhdyskuntatekniikan kivilaboratoriossa seuraavat ominaisuudet:

- Los Angeles -luku / uusi menetelmä = kivet 1 – 20
- Los Angeles -luku / vanha menetelmä = kivet 11 – 20
- Micro-Deval-arvo = kivet 1 – 10
- Kuulamylyarvo = kivet 1 - 10
- Litteysluku = kivet 1 – 20
- Kiintotiheys = kivet 1 – 20

Edellä mainituista testeistä Micro-Deval- ja kuulamylykokeet sekä kivien 1 – 10 litteysluvut ja kiintotiheydet on määritetty aiemman tutkimuksen /13/ yhteydessä.



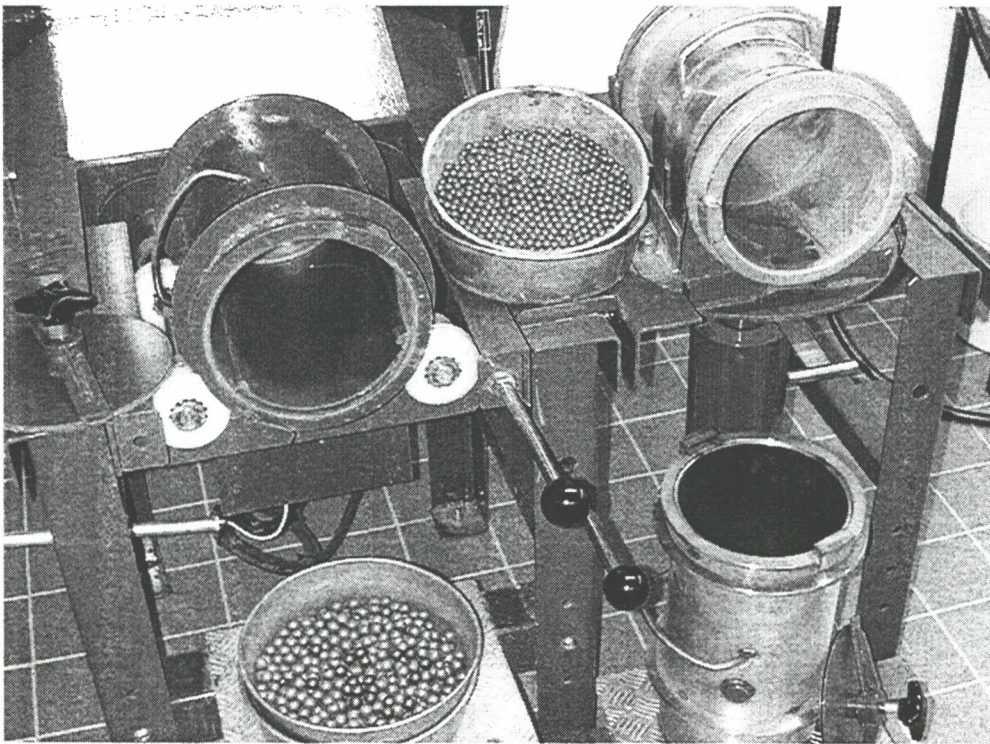
Kuva 1. Los Angeles -laite.

Los Angeles -koe (kuva 1) on tehty sekä uuden menetelmän SFS-EN 1097-2 /8/ että vanhan menetelmän TIE 231 B (PANK-2201) /7/ mukaisesti. Kuten jo aiemmin mainittiin näiden menetelmien erot ovat lähinnä testattavan näytteen raekoossa ja tuloksen määrittämiseen käytettävän seulan aukkoosossa. TIE-menetelmässä Los Angeles -luku saadaan pesemättömästä 9,5 – 12,7 – 19 mm aineksesta 1,68 mm seulan läpäisyarvona, kun taas SFS-EN-menetelmässä testataan pestyä 10 – 11,2 tai 12,5 - 14 mm ainesta ja tulos saadaan 1,6 mm seulan läpäisyä (pesuseulonta).

Micro-Deval -koe (kuva 2) on tehty menetelmällä SFS-EN 1097-1 /9/. Kokeessa testataan yhtäaikaaisesti kaksi 10 – 14 mm kiviainenäytettä. Micro-Deval-arvo saadaan kahden näytteen 1,6 mm seulan läpäisyarvojen keskiarvona.

Los Angeles - ja Micro-Deval -kokeiden tulokset ilmoitetaan standardien mukaan kokonaislukuna. Tässä tutkimuksessa tulokset on kuitenkin ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella.

Kuulamylykoe (kuva 2) on tehty menetelmällä SFS-EN 1097-9 /11/, jossa testataan erikseen kaksi 11,2 – 16 mm yksittäisnäytettä. Kuulamylyarvo, joka ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella, on kahden yksittäisnäytteen tuloksen keskiarvo.



Kuva 2. Kuulamylylaite (vas.), normaali Micro-Deval-rumpu (ylh.oik.), raideseppelin testaamisessa käytettävä Micro-Deval-rumpu (alh. oik.) ja kokeissa käytettävät kuulat.

Kiviaineksen raemuotoa kuvaava litteysluku on määritetty välppämällä menetelmän SFS-EN 933-3 /14/ mukaisesti. Kiintotiheys on määritetty vedessä punnitsemalla menetelmällä PANK-2107 /15/. Kivien 1 – 10 kivilaji on määritetty ohuthiekokeen PANK-2302 /16/ perusteella. Muiden kivien kivilajit perustuvat kiviainestoimittajilta saatuun tietoon (kenttähavainnot tai ohuthiemääritykset).

4 TULOKSET

Taulukossa 6 esitetään tutkituista kiviaineksista määritetyt Los Angeles -luvut (LOSA), Micro-Deval-arvot (MD), kuulamylyarvot (KM), litteysluvut (LL) ja kiihintiheydet (KTIH).

LOSA1 on määritetty SFS-EN- ja LOSA2 TIE-menetelmällä. LL1 on laskettu lajitteelle 10 – 16 ja LL2 lajitteelle 10 – 20 mm. Litteysluku LL1 edustaa lähinnä LOSA1-ainesta ja LL2 LOSA2-ainesta.

Taulukko 6. Kiviaineskokeiden tulokset.

KIVI	LOSA1 (%)	LOSA2 (%)	MD (%)	KM (%)	LL1 (%)	LL2 (%)	KTIH (g/cm ³)
1	10.1	-	7.1	7.7	5.6	-	2.76
2	14.8	-	6.6	9.5	6.2	-	2.72
3	14.9	-	10.4	12.7	6.1	-	3.04
4	17.0	-	12.7	16.4	2.3	-	2.74
5	9.8	-	2.5	6.3	6.8	-	3.02
6	17.9	-	12.9	18.2	10.7	-	2.83
7	32.6	-	10.2	16.0	0.0	-	2.70
8	25.7	-	7.7	12.4	8.8	-	2.74
9	21.5	-	8.8	11.5	8.8	-	2.71
10	22.3	-	6.7	10.1	13.1	-	2.64
11	20.2	18.6	-	-	20.4	20.3	3.06
12	10.8	10.0	-	-	9.6	9.6	3.08
13	42.0	40.8	-	-	19.3	18.9	2.65
14	30.3	26.7	-	-	10.7	10.2	2.68
15	17.1	13.6	-	-	41.8	36.4	2.89
16	26.4	23.5	-	-	21.8	19.0	2.65
17	24.9	21.8	-	-	12.2	12.0	2.68
18	12.8	11.6	-	-	9.4	9.6	2.67
19	14.1	13.0	-	-	16.8	16.5	3.05
20	15.1	14.8	-	-	3.9	4.0	2.87

Taulukoissa 7 esitetään tutkittavien kiviainesten sijoittuminen eri laatuvaatimusten lujuusluokkiin Los Angeles -luvun, Micro-Deval-arvon ja kuulamylyarvon perusteella. Taulukossa 8 on vastaava kiviainesten jaottelu niiden raemuodon eli litteysluvun perusteella. CEN-tuotestandardeissa esitetyt laatuluokkamerkinnot (esim. Los Angeles -kokeen LA₂₀, Micro-Deval -kokeen M_{DE}20, kuulamylykokeen A_N7 ja litteyslukukokeen FI₂₀) on taulukoissa korvattu suomalaisten laatuluokkien tavoin roomalaisilla numeroilla siten, että vaativin luokka on I jne. Taulukossa 6 esitetyt Los Angeles - ja Micro-Deval -kokeiden tulokset on laatuluokituksessa otettu huomioon kokonaislukuina. Näin on myös menetelty taulukon 8 litteysluvun osalta.

Taulukko 7. Kiviainesten sijoittuminen eri laatuvaatimusten (SF = Suomi ja EN = CEN-tuotestandardi) lujuusluokkiin (LL = kyseisen laatuvaatimuksen lujuusluokat ja L = luokaton). LOSA = Los Angeles -luku (* = TIE-menetelmä), MD = Micro-Deval-arvo ja KM = kuulamylyarvo (** = luokat I – IV samat kuin Asfaltti-normeissa /2/).

KIVI	LOSA			MD		KM
	SF/1/ EN/3/	SF*/1/	EN/4/	EN/3/	EN/4/	SF/1/**, EN/4/
1	I	-	I	I	I	II
2	I	-	I	I	I	II
3	I	-	I	I	I	III
4	I	-	II	I	II	IV
5	I	-	I	I	I	I
6	I	-	II	I	II	IV
7	IV	-	V	I	I	IV
8	III	-	IV	I	I	III
9	II	-	III	I	I	III
10	II	-	III	I	I	III
11	I	II	II	-	-	-
12	I	I	I	-	-	-
13	V	L	VI	-	-	-
14	III	IV	IV	-	-	-
15	I	I	II	-	-	-
16	III	III	IV	-	-	-
17	II	III	III	-	-	-
18	I	I	I	-	-	-
19	I	I	I	-	-	-
20	I	I	I	-	-	-
LL	I – VII	I – IV	I – VII	I – V	I – VI	I – VI

Tutkimukseen valitut kiviainekset kuuluvat Tielaitoksen laatuvaatimusten ja sitomattomia kiviaineksia koskevan CEN-tuotestandardin Los Angeles -luvun perusteella pääosin (12 kiveä 20:stä) parhaaseen I-luokkaan. II-luokan kiviä on kolme, kuten myös III-luokan kiviä. Sekä IV- että V-luokan kiviä on yksi. Micro-Deval-arvon perusteella kiviainekset 1 – 10 kuuluvat päällystekiviaineksia koskevassa CEN-standardin luokittelussa kahta lukuun ottamatta I-luokkaan. Sitomattomia kiviaineksia koskevassa CEN-standardin luokittelussa edellä mainitut kiviainekset kuuluvat kaikki I-luokkaan. Päällystekiviaineksia koskevien kuulamylyluokitusten perusteella nämä kiviainekset kuuluvat vastaavasti pääosin III ja IV-luokkiin (taulukko 7).

Taulukko 8. Kiviainesten sijoittuminen eri vaatimusten (SF = Suomi ja EN = CEN tuotestandardi) laatuluokkiin (LL = kyseisen laatuvaatimuksen lujuusluokat ja L = luokaton) raemuodon perusteella (* = Asfalttinormeissa vain luokat I – IV ja ** = vanha laatuluokka päällystekiviainekselle 12,5 – 20 mm).

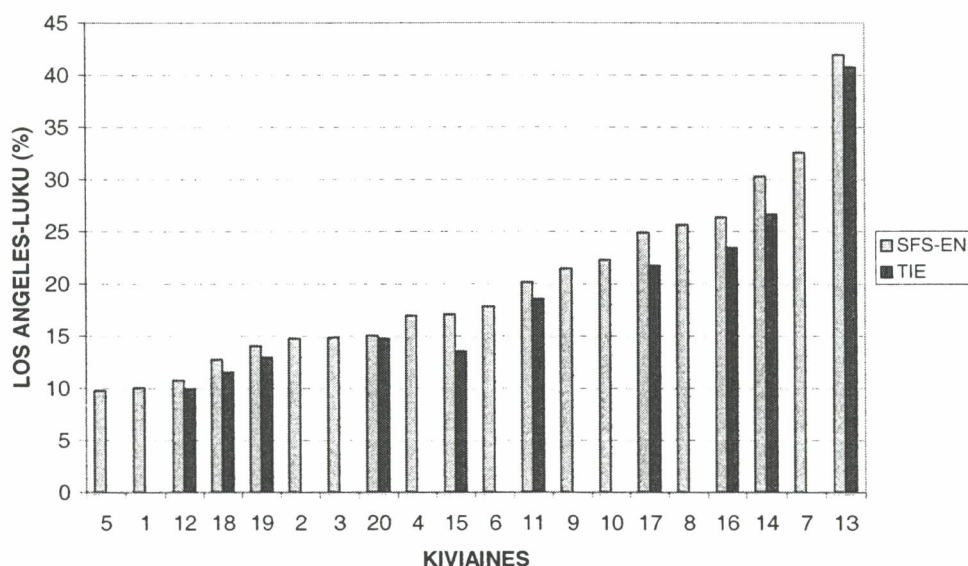
KIVI	LITTEYSLUKU 10 – 16 mm				LITTEYSLUKU 10 – 20 mm			
	SF/1/ SF/2*	SF/1/ /17/**	EN/3/	EN/4/	SF/1/ SF/2*	SF/1/ /17/**	EN/3/	EN/4/
1	I	I	I	I	-	-	-	-
2	I	I	I	I	-	-	-	-
3	I	I	I	I	-	-	-	-
4	I	I	I	I	-	-	-	-
5	I	I	I	I	-	-	-	-
6	II	I	I	II	-	-	-	-
7	I	I	I	I	-	-	-	-
8	I	I	I	I	-	-	-	-
9	I	I	I	I	-	-	-	-
10	II	II	I	II	-	-	-	-
11	III	III	I	III	III	III	I	III
12	I	I	I	I	I	I	I	I
13	III	III	I	III	III	III	I	III
14	II	I	I	II	I	I	I	II
15	V	L	III	VII	V	L	III	VII
16	IV	III	II	IV	III	III	I	III
17	II	II	I	II	II	II	I	II
18	I	I	I	I	I	I	I	I
19	III	III	I	III	III	III	I	III
20	I	I	I	I	I	I	I	I
LL	I - VI	I - III	I - IV	I - VIII	I - VI	I - III	I - IV	I - VIII

Los Angeles - ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vertailuun valitut kiviainekset 1 – 10 kuuluvat litteysluvultaan lähes poikkeuksetta I-luokkaan. Sen sijaan Los Angeles -kokeiden tulosten keskinäiseen vertailuun valitut kiviainekset 11 – 20 kuuluvat moneen eri luokkaan pääpainon ollessa kuitenkin I – III -luokissa.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Kuvassa 3 esitetään tutkittavista kiviaineksista määritetyt Los Angeles -luvut. SFS-EN-menetelmällä saadut tulokset olivat tasaisesti välillä 10 – 33 yhden kiviaineksen Los Angeles -luvun ollessa yli 42. Näin ollen tutkimusmateriaali kattoi hyvin sitomattomaan tai hydraulisesti sidottuun kantavaan kerrokseen käytettävien murskeiden Los Angeles -vaatimuksen, joka on ≤ 30 .

TIE-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut olivat poikkeuksetta lukuarvoltaan vähän pienempiä kuin SFS-EN-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut. Tämä onkin luonnollista, koska TIE-menetelmässä testattava kiviaines on karkearakeisempaa ja täten myös iskunkestävämpää kuin SFS-EN-menetelmässä testattava kiviaines. Ero oli tutkittavilla kymmenellä kiviaineksilla 0,3 – 3,6 %-yksikköä ollen keskimäärin 1,9 %-yksikköä.



Kuva 3. Kiviainesten Los Angeles -luvut määritettynä SFS-EN- ja TIE-menetelmillä.

Kuvan 4 pistejoukkoa tarkasteltaessa havaitaan SFS-EN- ja TIE-menetelmien mukaisten Los Angeles -lukujen korreloivan erittäin hyvin keskenään ($r = 0,99$). Los Angeles -lukujen (%) keskinäiset muuntokaavat ovat seuraavat:

$$\text{Los A (TIE)} = 0,956 \times \text{Los A (SFS-EN)} - 0,9888 \text{ ja}$$

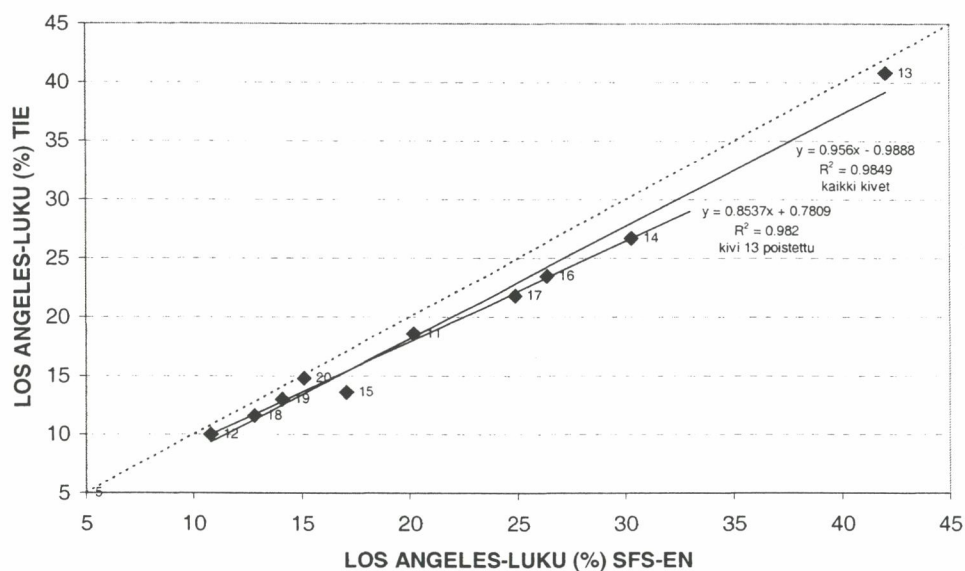
$$\text{Los A (SFS-EN)} = 1,0303 \times \text{Los A (TIE)} + 1,3404$$

Taulukoissa 1 ja 2 esitettiin kiviainesten luokituksia Los Angeles -luvun perusteella. Verrattaessa sitomattoman kantavan kerroksen kiviainesvaatimusten /1, 3/ ja asfalttipäällysteiden kiviaineksia koskevan CEN-tuotestandardin /4/ laatuluokkien Los Angeles -lukuja vanhan TIE-menetelmän mukaisesti Los Angeles -lukuihin saadaan taulukossa 9 esitetyt TIE-menetelmän mu-

kaiset raja-arvot. Yli 30:n Los Angeles -lukuja omaavien kiviainesten vähyyden vuoksi taulukon arvot ovat luotettavia vain mainittuun Los Angeles -lukuun asti. Mikäli kiviaineksen 13 suuri Los Angeles -luku poistetaan aineistosta, saadut TIE-raja-arvot poikkevat jonkin verran edellä mainitusta. Nämä arvot on esitetty taulokossa 9 suluissa. Kiven 13 poistaminen aineistosta on perusteltua, koska yleensä sitomattomaan tai hydraulisesti sidottuun kantavaan kerrokseen käytettävien murskeiden tulee täyttää laatuluokan III vaatimukset eli Los Angeles -luvun on oltava ≤ 30 %. Tässä tapauksessa ($r = 0,99$) aiemmin mainitut muuntokaavat muuttuvat seuraavanlaisiksi:

$$\text{Los A (TIE)} = 0,8537 \times \text{Los A (SFS-EN)} + 0,7809 \text{ ja}$$

$$\text{Los A (SFS-EN)} = 1,1503 \times \text{Los A (TIE)} - 0,5548$$

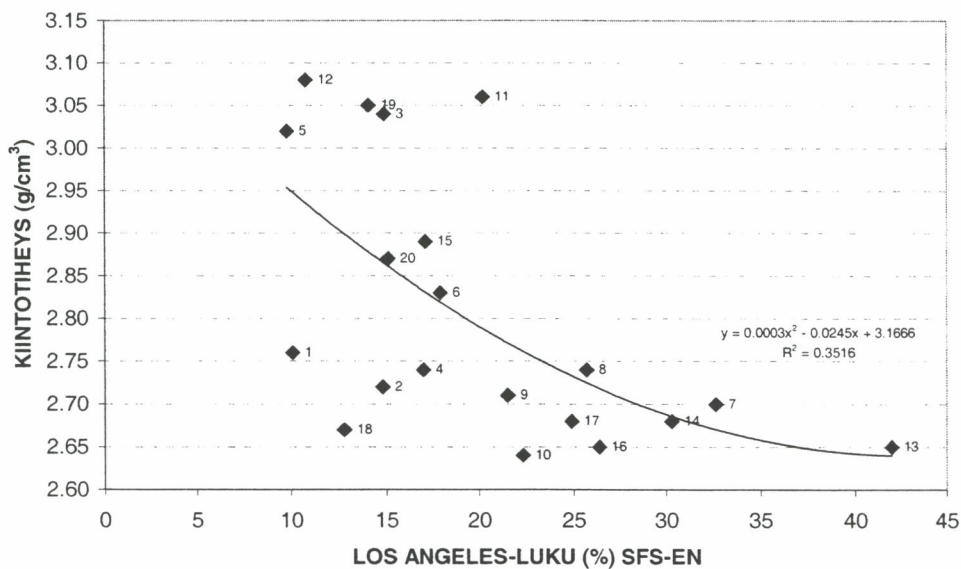


Kuva 4. SFS-EN- ja TIE-menetelmillä määritettyjen Los Angeles -lukujen välinen riippuvuus.

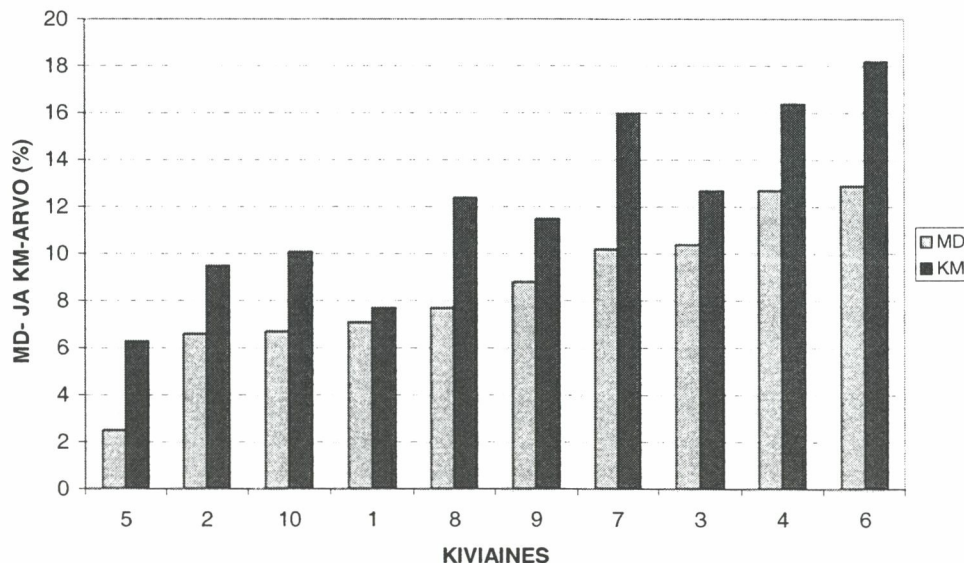
Taulukko 9. Lujusluokkien SFS-EN-menetelmän mukaisia Los Angeles -lukuja /1, 3, 4/ vastaavat TIE-menetelmän mukaiset Los Angeles -luvut. Suluissa esitetään vastaava arvo, kun aineistosta on poistettu kiviaines 13.

LUJUUSLUOKAN RAJA-ARVO / LOS ANGELES -LUKU SFS-EN 1097-2	VASTAAVA LOS ANGELES -LUKU TIE 231 B
15	13 (14)
20	18 (18)
25	23 (22)
30	28 (26)
40	37
50	47
60	56

Tarkasteltaessa Los Angeles -lukuja kiviainesten kiintotiheyden suhteen havaitaan, että yli $2,80 \text{ g/cm}^3$ kiintotiheyden omaavilla kiviaineksilla (8 kiveä 20:stä) Los Angeles -luku on poikkeuksetta alle 25 % (kuva 5). Nämä kiviainekset sisältävät pääosin sitkeitä Fe- ja Mg-pitoisia, tummia mineraaleja. Sen sijaan alle $2,80 \text{ g/cm}^3$ kiintotiheyden omaavilla, runsaasti hauraita Si- ja Al-pitoisia, vaaleita mineraaleja sisältävillä kiviaineksilla Los Angeles -luvut vaihtelevat laidasta laitaan riippuen pääosin mineraalien maksimiraekoosta. Mineraalien raekoon kasvaessa kiven iskunkestävyys tavallisesti heikkenee. Nämä havainnot täsmäävät hyvin ruotsalaisten /18/ suuremmalla kiviainemäärällä tekemien havaintojen kanssa.



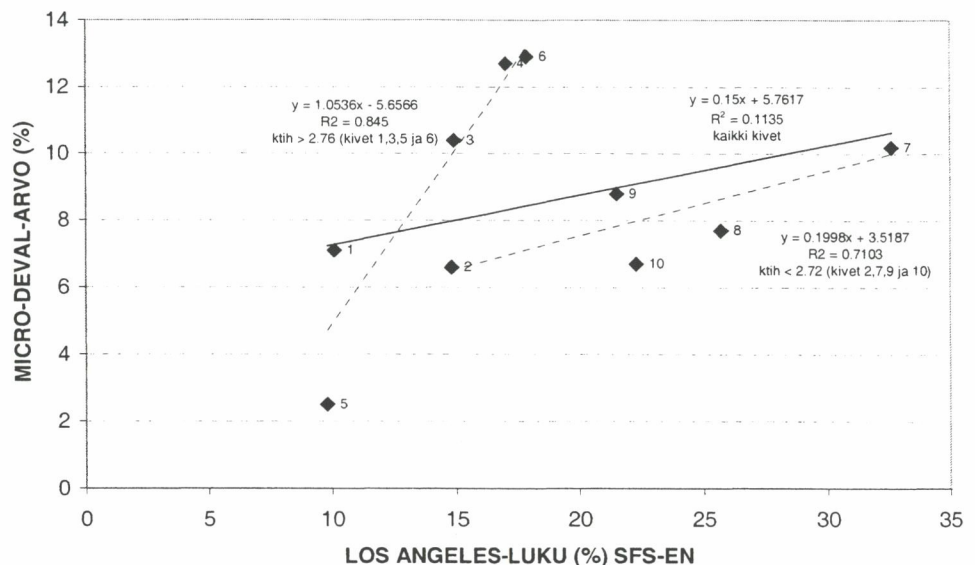
Kuva 5. Los Angeles -luvun (SFS-EN) ja kiintotiheyden välinen riippuvuus.



Kuva 6. Kiviainesten Micro-Deval- (MD) ja kuulamylyarvot (KM).

Kiviainesten Micro-Deval-arvot vaihtelivat välillä 2,5 – 12,9 % ja kuulamylyarvot välillä 6,3 – 18,2 % (kuva 6).

Kuvan 7 mukaisesti Los Angeles -luvun ja Micro-Deval-arvon välinen riippuvuus on kaikki tutkimuksen kiviainekset huomioiden huono ($r = 0,34$). Tämä on sikäli ymmärrettävää, että kyseiset testit ovat täysin erilaisia luonteeltaan. Los Angeles -koe testaa kiviaineksen iskunkestävyyttä ja Micro-Deval -koe kiviaineksen kestävyttä hiovaa kulutusta vastaan.

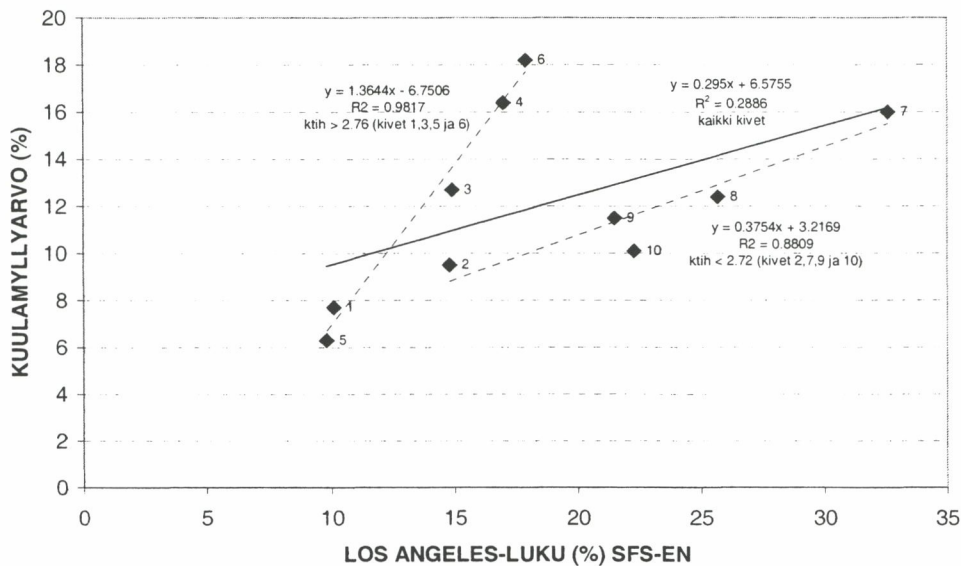


Kuva 7. Los Angeles -luvun (SFS-EN) ja Micro-Deval-arvon välinen riippuvuus.

Mikäli kuvan 7 aineistoa tarkastellaan tarkemmin kiviainesryhmittäin kiintotiheyden mukaan, havaitaan Los Angeles -luvun korreloivan varsin hyvin Micro-Deval-arvon kanssa toisaalta kiviaineksilla, joiden kiintotiheys on $\leq 2,72 \text{ g/cm}^3$ ($r = 0,84$) ja toisaalta taas kiviaineksilla, joiden kiintotiheys on $\geq 2,76 \text{ g/cm}^3$ ($r = 0,92$).

Ensin mainittu kiviryhmä ($n = 4$) koostuu ns. graniittisista kivistä eli granodioriittigneissistä, tonaliitista, graniitista ja pääosin graniittia / granodioriittia sisältävästä soramurskeesta. Toinen kiviryhmä ($n = 4$) koostuu puolestaan ns. tummista kivistä eli kiilleliuskeesta, gabrosta, emäksisestä vulkaniitista ja amfiboliitista. Edellä mainittujen kiintotiheysluokkien ulkopuolelle jää kaksi kiviainesta, joiden kiintotiheys on $2,74 \text{ g/cm}^3$. Mikäli kivi 8 (graniitti) liitetään vielä graniittisiin kiviin ja kivi 4 (kiilleliuske) tummiin kiviin, saadaan Los Angeles -luvun ja Micro-Deval-arvon väliseksi korrelaatiokertoimeksi (r) ensin mainituilla kivillä $0,80$ ja jälkimmäisillä kivillä $0,94$ ($n = 5$; liite 1).

Tilanne on samankaltainen verrattaessa keskenään Los Angeles - ja kuulamylykoetta (kuva 8). Kokeiden tulokset korreloivat keskenään huonosti ($r = 0,54$). Ruotsalaisten /18/ tekemien selvitysten perusteella Los Angeles -luvun (10 – 14 mm) ja kuulamylyarvon välinen $r = 0,74$ ($n = 51$).



Kuva 8. Los Angeles -luvun (SFS-EN) ja kuulamylyarvon välinen riippuvuus.

Los Angeles -luku korreloi varsin hyvin myös kuulamylyarvon kanssa, kun käsitellään eri kiintotiheyden omaavia kiviaineksia. Kiviaineksilla, joiden kiintotiheys on $\leq 2,72 \text{ g/cm}^3$ korrelaatiokerroin $r = 0,94$ ja toisaalta taas kiviaineksilla, joiden kiintotiheys on $\geq 2,76 \text{ g/cm}^3$ $r = 0,99$. Korrelaatiokertoimet pysyvät lukuarvoltaan samana, mikäli myös kivet 4 ja 8 otetaan mukaan luokitteluun aiemmin mainitulla tavalla ($n = 5$; liite 1).

Koska ns. tummat kivet ovat päinvastoin kuin vaaleat, graniittiset kivet hyvin iskunkestäviä, mutta huonosti hiovaa kulutusta kestäviä, on luonnollista, että kuvissa 7 ja 8 sekä liitteessä 1 esitetyissä kuvissa nämä kiviryhmät saavat hyvinkin erilaiset kulmakertoimet korrelaatio-suorille. Tummillä kivillä Los Angeles -luvut olivat SFS-EN-menetelmällä määritettynä 10 – 18 %, kun taas graniittisilla kivillä skaala oli selvästi suurempi eli 15 – 33 %. Sen sijaan hiovien kokeiden tuloksissa graniittisten kivien skaala oli tummia kiviä selvästi kapeampi Micro-Deval-arvojen vaihdellessa välillä 6 – 10 % ja kuulamylyarvojen välillä 10 – 16 %. Tummillä kivillä nämä olivat vastaavasti 3 – 13 % ja 6 – 18 %.

Mikäli tämän tutkimuksen suppean aineiston ($n = 10$) perusteella halutaan verrata keskenään sitomattoman kantavan kerroksen tai asfalttipäällysteiden kiviaineksen Los Angeles -luokkien raja-arvoja hiovien kokeiden tuloksiin saadaan taulukossa 10 esitetyt Micro-Deval- ja kuulamylyarvot. Suluisissa esitetyt luvut ovat epäluotettavia, ekstrapoloituja arvoja varsinaisen pistejoukon ulkopuolella. Viivalla (-) merkittyyn kohtaan ei voi tämän aineiston perusteella edes antaa suuntaa-antavaa lukua.

Taulukko 10. Lujuusluokkien SFS-EN-menetelmän mukaisia Los Angeles -lukuja /1, 3, 4/ vastaavat Micro-Deval- ja kuulamylyarvot ns. graniittisilla (GRAN.) ja tummilla (TUMMA) kivillä.

LUJUUSLUOKAN RAJA-ARVO / LOS ANGELES -LUKU (%) SFS-EN 1097-2	VASTAAVA MICRO-DEVAL- JA KUULAMYLLYARVO (%)			
	MICRO-DEVAL		KUULAMYLLY	
	GRAN.	TUMMA	GRAN.	TUMMA
15	6	10	9	14
20	7	(16)	11	(20)
25	8	-	13	-
30	9	-	15	-
40	(11)	-	(18)	-
50	-	-	-	-
60	-	-	-	-

Kiviaineksen raemuoto saattaa vaikuttaa eri kivillä erilaisilla laboratoriokokeiden tuloksiin. Los Angeles -kokeen ja hiovien kokeiden vertailussa tämä vaikutus minimoitiin käyttämällä tutkimuksessa mahdollisimman hyvämuotoista, välppätyä kiviainesta (kiviainekset 1 – 10). Välppäykset on kuvattu aiemmassa kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden vertailuraportissa /13/. Los Angeles -kokeen uuden ja vanhan menetelmän vertailun kiviainekset 11 – 20 olivat sen sijaan raemuodoltaan hyvinkin toisistaan poikkeavia. Tällä seikalla ei sinänsä ole tässä tapauksessa merkitystä, koska kyseessä on lähes identtisten testien keskinäinen vertailu.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

TIE-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut olivat poikkeuksetta lukuarvoltaan vähän pienempiä kuin SFS-EN-menetelmällä saadut Los Angeles -luvut. Ero oli tutkittavilla kiviaineksilla 0,3 – 3,6 %-yksikköä ollen keskimäärin 1,9 %-yksikköä.

SFS-EN- ja TIE-menetelmien mukaiset Los Angeles -luvut korreloivat erittäin hyvin keskenään ($r = 0,99$). Los Angeles -lukujen (%) keskinäiset muuntokaavat ovat seuraavat:

$$\text{Los A (TIE)} = 0,96 \times \text{Los A (SFS-EN)} - 0,99 \text{ ja}$$

$$\text{Los A (SFS-EN)} = 1,03 \times \text{Los A (TIE)} + 1,34$$

Eri lujuusvaatimusten laatuluokkien SFS-EN-menetelmän mukaisia Los Angeles-lukuja 15, 20, 25, 30, 40, 50 ja 60 % vastaavat tällöin TIE-menetelmän mukaiset arvot 13, 18, 23, 28, 37, 47 ja 56 %.

Sitomattomaan tai hydraulisesti sidottuun kantavaan kerrokseen käytettävien murskeiden tulee täyttää laatuluokan III vaatimukset eli Los Angeles -luvun on oltava ≤ 30 %. Tällöin ($r = 0,99$) aiemmin mainitut muuntokaavat muuttuvat seuraavanlaisiksi:

$$\text{Los A (TIE)} = 0,85 \times \text{Los A (SFS-EN)} + 0,78 \text{ ja}$$

$$\text{LoS A (SFS-EN)} = 1,15 \times \text{Los A (TIE)} - 0,55$$

Tässä tapauksessa eri lujuusvaatimusten laatuluokkien SFS-EN-menetelmän mukaisia Los Angeles-lukuja 15, 20, 25 ja 30 % vastaavat TIE-menetelmän mukaiset arvot 14, 18, 22 ja 26 %.

Tarkasteltaessa Los Angeles -lukuja kiviainesten kiintotiheyden suhteen havaittiin, että yli $2,80 \text{ g/cm}^3$ kiintotiheyden omaavilla kiviaineksilla (8 kiveä 20:stä) Los Angeles -luku oli poikkeuksetta alle 25 %. Nämä kiviainekset sisältävät pääosin sitkeitä Fe- ja Mg-pitoisia, tummia mineraaleja. Sen sijaan alle $2,80 \text{ g/cm}^3$ kiintotiheyden omaavilla, runsaasti hauraita Si- ja Al-pitoisia, vaaleita mineraaleja sisältävillä kiviaineksilla Los Angeles -luvut vaihtelivat laidasta laitaan riippuen pääosin mineraalien maksimiraekoosta.

Los Angeles -luvun riippuvuus sekä Micro-Deval- että kuulamylyarvon kanssa on kaikki kiviainekset huomioiden huono. Riippuvuus paranee oleellisesti, mikäli käsitellään vain tietyn kiintotiheyden tai SiO_2 -pitoisuuden omaavia kiviä. Toisaalta viimeksi mainitut tulokset ovat vain suuntaa-antavia, koska kiviainesten lukumäärä käsitellyissä kiintotiheys- tai kivilajiluokituksissa on vain 4 – 5. Luotettavan tuloksen saaminen edellyttäisi kattavampaa aineistoa.

Koska Los Angeles -koe ja Micro-Deval -koe ovat luonteeltaan hyvin erilaisia kokeita ja koska niille saadaan hyvä keskinäinen riippuvuus vain tietyillä kiviryhmillä, Los Angeles -koetta ei voida sellaisenaan korvata Micro-Deval -kokeella sitomattoman kantavan kerroksen murskeiden laatuluokituksessa.

Lisäksi nykyiset CEN-tuotestandardin raja-arvot eivät sovellu suomalaisille kiviaineksille, koska tämän tutkimuksen kymmenen kiviaineksen Micro-Deval-arvot ovat 3 – 13 %, kun taas CEN-luokitus alkaa vasta 20 %:sta.

Los Angeles -kokeen ja Micro-Deval -kokeen soveltuvuus sitomattoman kantavan kerroksen kiviainesten testaamiseen tulisi selvittää kenttäkokein. Tällaisten koerakennelmien, joissa selvitetään yksinomaan kiviaineksen laatu-kriteerejä, rakentaminen ei valitettavasti ole ollut mahdollista esimerkiksi TPPT-projektissa. Koerakennelmin tai vanhoista rakenteista saatujen tietojen perusteella tulisi ensinnäkin selvittää minkä luonteista kiviaineksen hienoneminen on eli onko hienonemisellä parempi riippuvuus iskunkestävyyttä kuvaavan kokeen kanssa vai hioutuvuuskestävyyttä kuvaavan kokeen kanssa. Mahdollisesti Los Angeles -luvulla on jonkinlainen riippuvuus kantavan kerroksen rakentamistyön aikaisen kiviaineksen hienonemisen kanssa ja Micro-Deval-arvolla (ja kuulamylyarvolla) vastaavasti riippuvuus rakentamiseen kohdistuvan liikennesäätömuutoksen aiheuttaman kiviaineksen hienonemisen kanssa.

Mikäli tämän tutkimuksen suppean aineiston (n = 10) perusteella halutaan verrata keskenään sitomattoman kantavan kerroksen tai asfalttipäällysteiden kiviaineksen Los Angeles -luokkien raja-arvoja hiovien kokeiden tuloksiin, vertailu on tehtävä kivityhmittäin. Graniittisilla kivillä SFS-EN-menettelyn mukaisia Los Angeles -lukuja 15, 20, 25 ja 30 % vastaavat Micro-Deval-arvot 6, 7, 8 ja 9 % ja kuulamylyarvot 9, 11, 13 ja 15 %. Mainitut Micro-Deval-arvot ovat tosin lukuarvoltaan liian lähellä toisiaan ajatellen testi-menettelyn sisäistä tarkkuutta. Tummilli kivillä Los Angeles -lukuja 15 ja 20 % vastaavat Micro-Deval-arvot ovat 10 ja 16 % sekä kuulamylyarvot 14 ja 20 %.

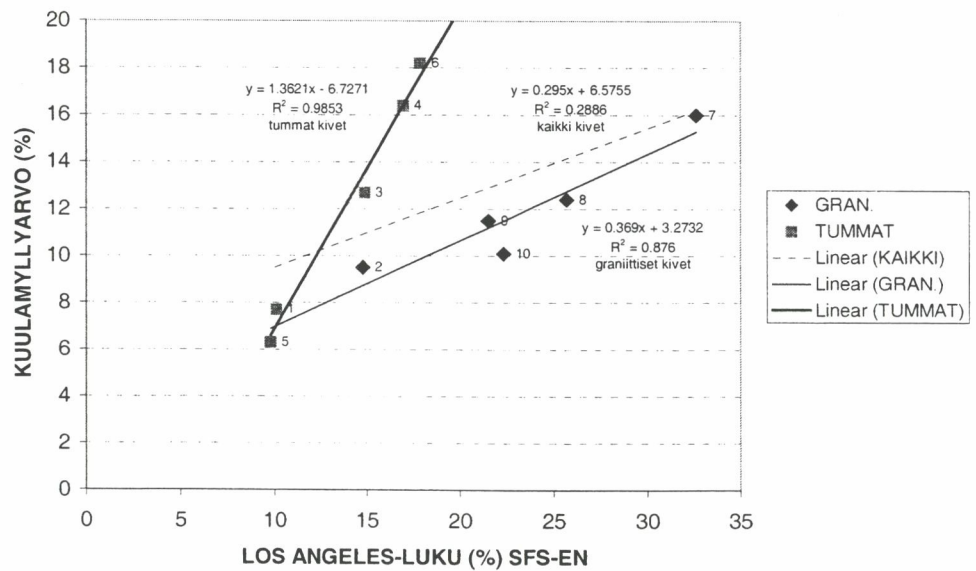
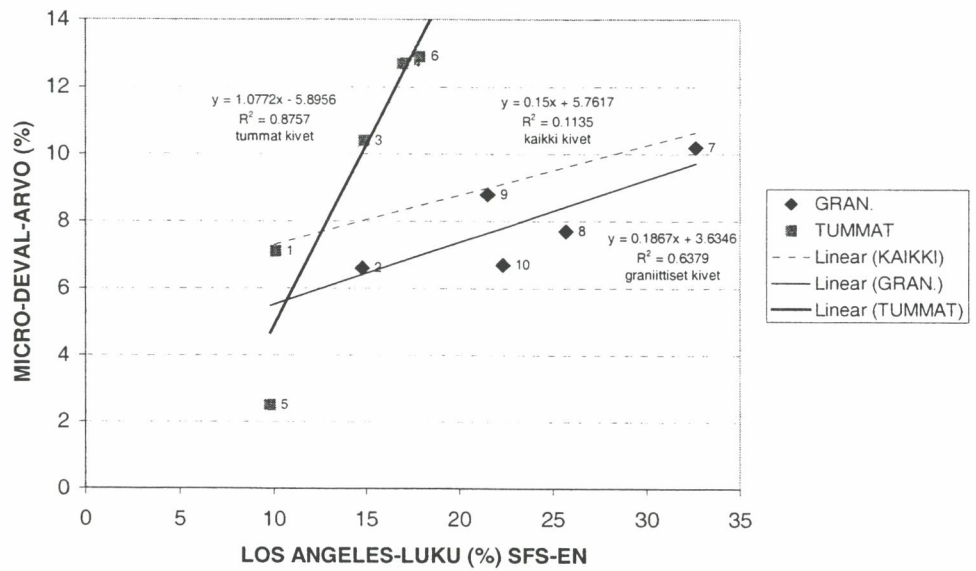
Ns. graniittiset kivet käsittävät tässä tutkimuksessa pääosin Si- ja Al-pitoisia, vaaleita mineraaleja (kvartsi, plagioklaasi, kalimaasälpä ym.) sisältäviä kiviaineksia, joiden kiintotiheys on $\leq 2,74 \text{ g/cm}^3$. Yleistäen voitaisiin myös puhua happamista kivistä, jolloin tähän kivityhmään voisivat kuulua syväkivistä ainakin anortosiitti, apliitti, graniitti, syeniitti, granodioriitti ja monzoniitti sekä metamorfisista kivistä ainakin pääosa gneisseistä, migmatiitti, kvartsiitti ja hapen vulkaniitti.

Ns. tummat kivet käsittävät pääosin sitkeitä Fe- ja Mg-pitoisia, tummia mineraaleja sisältäviä kiviainekset, joiden kiintotiheys on $\geq 2,74 \text{ g/cm}^3$. Yleistäen tähän kiviluokkaan voisivat kuulua magmakivistä mm. kvartsidioriitti, dioriitti, gabro, peridotiitti, hornblendiitti, pyroksemiitti ja diabaasi sekä metamorfisista kivistä fylliitti, kiilleliuske, amfiboliitti sekä intermediäärinen ja emäksinen vulkaniitti.

7 KIRJALLISUUS

- /1/ Murskaustyöt. Tienrakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Työselitykset ja laatuvaatimukset. Tielaitos, Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 1999. 30 sivua. ISBN 951-726-464-x, TIEL 2212809-98.
- /2/ Asfalttinormit 2000. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry. Jyväskylä 1999. 74 s.
- /3/ Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction. European Standard, draft, prEN 13242, 4/2000. 33 sivua.
- /4/ Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas. European Standard, draft, EN 13043, 3/2000. 37 sivua.
- /5/ Raideseppelin laatuvaatimukset. VR. 30.6.1995. 30 sivua.
- /6/ Aggregates for railway ballast. European Standard, draft, prEN 13450, January 1999. 27 sivua.
- /7/ TIE 231, Los Angeles -luku. Kannisto et al., Asfalttipäällysteiden testausmenetelmiä – TIE-menetelmät. VTT, Tie- ja liikennelaboratorio, Tiedonanto 50, Espoo 1979. 219 s.
- /8/ Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto SFS, Standardi SFS-EN 1097-2, vahvistettu 1998-08-31, 22 sivua.
- /9/ Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kulutuskestävyyden määrittäminen (Micro-Deval). Suomen Standardisoimisliitto SFS, Voimaansaattamisilmoitus, SFS-EN 1097-1, vahvistettu 1997-01-07. 1 sivu.
- /10/ Katurakenteet ja -päällysteet-tutkimusohjelma. Katupäällysteetutkimukset 1999 – Koekohteiden seuranta. Koonneet L. Apilo, S. Koivisto & J. Vuorinen. Suomen Kuntaliitto & VTT Yhdyskuntatekniikka.
- /11/ Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 9: Nastarengaskulutuskestävyyden määrittämismenetelmä. Pohjoismainen testi (kuulamyllymenetelmä). Suomen Standardisoimisliitto SFS, Standardi SFS-EN 1097-9, vahvistettu 1998-08-31, 7 sivua.
- /12/ Kiviaines. Kuulamyllyarvo. VTT, Yhdyskuntatekniikka, Tie- ja geotekniikka. VTT-menetelmäkuvaus TIE 242. 1.11.1994. 7 sivua.

- /13/ Vuorinen, Jarmo, Kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vastaavuus. Tielaitos, Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 1999. Tielaitoksen selvityksiä 30/1999. 31 s + liitt. 2 s. ISSN 0788-3722, ISBN 951-726-559-X, TIEL 3200575.
- /14/ Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Litteysluku. Suomen Standardisoimisliitto SFS, Standardi SFS-EN 933-3, vahvistettu 1997-06-16, 7 sivua.
- /15/ Kiviainekset. Kiintotiheys. Pyknometri, avopyknometri, vedessä punnitseminen. Päälystealan neuvottelukunta PANK ry. PANK-2107. Hyväksytty 4.5.1995. 6 sivua.
- /16/ Kiviainekset. Petrografinen tutkimus. Ohutleikkotutkimus. Päälystealan neuvottelukunta PANK ry. PANK-2302. Hyväksytty 20.3.1997. 2 sivua.
- /17/ Kiviainekset. Raemuoto. Liuskeisuus. Päälystekiviaines. Päälystealan neuvottelukunta PANK ry. PANK-2203. Hyväksytty 21.11.1995. 4 sivua.
- /18/ Lars Stenlid, Klassificering av bergarter med Los Angeles - trumma. Skanska Mellansverige AB, Väglaboratoriet Bålsta 1996. Slutrapport SBUF projekt nr 2135.84 s.



Ympäristö/vaikutukset

- TIEL 3200555 Ohikulkutie ja taajama (TS 9/1999)
- TIEL 3200558 Niittykasvillisuuden perustaminen tieluiskiin - Koetuloksia ja kirjallisuusselvitys (TS 12/1999)
- TIEL 3200560 Saneerattujen taajamien viherympäristö, kivetty pinnat, kalusteet - Kuntotarkastelu (TS 15/1999)
- TIEL 3200590 Taajamateiden suunnittelun kehittäminen. Seurantatutkimus. Jaala, Keuruu, Sotkamo. (TS 1/2000)
- TIEL 4000205 Tierummut vaellusesteinä - Ongelman kuvaus ja ratkaisumalleja (SJ 22/1999)
- TIEL 4000206 Suomen tieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset - Vuoden 1996 selvityksen päivitys (SJ 23/1999)
- TIEL 4000215 Tieliikenne-ennuste vuosille 1997-2030. Vuoden 1995 ennusteen päivitys (SJ 35/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Onnettomuuskustannukset Suomessa ja Ruotsissa (SJ 36/1999)
- TIEL 4000217 Tieliikenteen ajokustannukset: Ajoneuvokustannukset (SJ 37/1999)
- TIEL 4000216 Tieliikenteen ajokustannukset: Aikakustannukset (SJ 36/1999)
- TIEL 4000241 Mitä on tehty? - Tielaitoksen ympäristön toimenpideohjelman 1997 - 2000 toteuttaminen (SJ 13/2000)
- TIEL 4000250 Miten on käynyt? - Tielaitoksen ympäristöohjelman vaikutukset (SJ 30/2000)

Tietekniikka

- TIEL 3200562 Törmäykseet Tielaitoksen tiekaiteeseen 1993-1999 (TS 17/1999)
- TIEL 3200571 Asfalttinormien kiviainesten hienoainesseoksen laatuvaatimukset (TS 26/1999)
- TIEL 3200575 Kuulamyly- ja Micro-Deval -kokeiden tulosten vastaavuus (TS 30/1999)
- TIEL 3200578 Halvat kevyen liikenteen väylät (TS 35/1999)
- TIEL 3200579 Kiviaineksen pintakarkeuden vaikutus kuulamylyarvoon (TS 36/1999)
- TIEL 3200580 Kiviaineksen välilajitteen raemuodon vaikutus päällysteen ominaisuuksiin (TS 37/1999)
- TIEL 3200591 Kasvipeitteisen meluesteen kokeilu (TS 2/2000)
- TIEL 3200594 Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Mitoitus- ja työohje (TS 5/2000)
- TIEL 3200599 Tiesuolan käytön arviointi talvikuukausien lämpötilan avulla (TS 9/2000)
- TIEL 3200604 Syvästabiloitujen pilarien ja maan yhteistoiminta (TS 15/2000)
- TIEL 3200611 Lentotuhkafilleri SMA-päällysteessä - Työskentely- ja ympäristövaikutukset (TS 23/2000)
- TIEL 3200622 Asfalttipäällysteiden deformatiivisuuden vähentäminen (TS 36/2000)
- TIEL 3200625 Varusteluettelot (TS 39/2000)
- TIEL 4000199 Selvitys tien häikäisysojista (SJ 5/1999)
- TIEL 4000200 Kelirikkoisen soratien kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti. (SJ 6/1999)
- TIEL 4000201 Teiden talvihoidon yhteiskunnalliset vaikutukset. Yhteenveto tehdyistä selvityksistä. (SJ 9/1999)
- TIEL 4000202 Tutkimus- ja kehittämistoiminnan vuosiraportti 1998 (SJ 10/1999)
- TIEL 4000209 Kevyen liikenteen kaatumistapaturmien selvittäminen sairauskertomusten perusteella - Jyväskylä (SJ 26/1999)
- TIEL 4000210 Laatuvaatimusten asettaminen, kun urakka sisältää suunnittelun ja rakentamisen (SJ 27/1999)
- TIEL 4000222 Tunnin pilotti. Hoidon toteutuminen, II väliraportti syyskuu 1999 (SJ 41/1999)
- TIEL 4000228 Masuunikuonatuotteiden E-moduulit (SJ 49/1999)
- TIEL 4000229 Analyttisessä mitoituksessa käytettävät asfalttipäällysteen jäykkyudet ja väsymismallit (SJ 50/1999)
- TIEL 4000232 Tunnin pilotti - Vaikutus liikenneturvallisuuteen (SJ 54/1999)
- TIEL 4000236 Kevyen liikenteen väylien kunnossapitotason ja kaatumistapaturmien selvitys. Kesäkauden osaraportti (SJ 5/2000)
- TIEL 4000239 Pyöräteiden routavauriotutkimus (SJ 10/2000)
- TIEL 4000255 Los Angeles ja Micro-Deval -kokeiden vertailu (SJ 35/2000)

OHJEET JALAAATUVAATIMUKSET

- TIEL 2110014 Läjitysalueen suunnittelu - Läjitysalueohje
 TIEL 2140015 Rakenteen parantamista edeltävät tutkimukset
 TIEL 2140016 Puun käyttö melusteissa
 TIEL 2150008 Luonnon monimuotoisuus ja tienpito - Tieluonnon hoito-ohjelma
 TIEL 2150009 Tiehankkeiden ja tienpidon toimien ympäristövaikutusten selvittäminen
 TIEL 2150010 Tiehankkeen vaikutukset ihmisiin ja yhteisöihin
 TIEL 2210013 TYLT: Tiekaiteet
 TIEL 2210014-2000 TYLT: Yleiset perusteet - Leikkaukset, kaivannot ja avo-ojarakenteet - Penger- ja kerrosrakenteet - Lisäykset ja muutokset vuonna 2000
 TIEL 2212456-2000 TYLT: Perustamis- ja vahvistamistyöt
 TIEL 2212802-2000 TYLT: Päälystystyöt
 TIEL 2212809-98 TYLT: Murskaustyöt
 TIEL 2230054 Kevyen liikenteen väylien hoito; Menetelmätietyt
 TIEL 2230055 Viherhoito tieympäristössä
 TIEL 2240002-98 Yleiset arvonmuutosperusteet: Murskaustyöt
 TIEL 2243560-2000 Yleiset arvonmuutosperusteet: Päälystystyöt

SELVITYKSIÄ (=TS) JA SISÄISIÄ JULKAISUJA (=SJ):

Liikennetekniikka

- TIEL 3200561 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Ohitusnäkemät (TS 16/1999)
 TIEL 3200566 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Perusverkon eritasoliittymien turvallisuus (TS 21/1999)
 TIEL 3200570E S 12 Improvement solutions for main roads: New road types - Summary on test roads in Finland (TS 25/1999)
 TIEL 3200602 Raskaat ajoneuvot kiertoliittymissä (TS 12/2000)
 TIEL 3200602E Roundabouts and heavy vehicles (TS 13/2000)
 TIEL 3200603 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Tietyömaiden liikennehaittojen arviointi (TS 14/2000)
 TIEL 3200613 Kiertoliittymien turvallisuus (TS 25/2000)
 TIEL 4000191 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Koeteiden turvallisuus (SJ 20/1999)
 TIEL 4000193 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uudet tietyypit - Selvitys ulkomaisista kokemuksista (SJ 21/1999)
 TIEL 4000212 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Parannettavien pääteiden suuntaus (SJ 30/1999)
 TIEL 4000213 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyppivaihtoehtojen vertailu - Vt 6 välillä Koskenkylä - Kouvola Osa A: Raportti, Osa B: Liitekartat (SJ 31/1999)
 TIEL 4000214 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kevyen liikenteen ja yksityistieliittymien yhteiset ratkaisut (SJ 33/1999)
 TIEL 4000221 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Tutkimussuunnitelma (SJ 42/1999)
 TIEL 4000227 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Kapeiden pientareiden vaikutus kaksiajorataisten teiden turvallisuuteen (SJ 48/1999)
 TIEL 4000233 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyppivaihtoehtojen vertailu - Vt 5 välillä Joroinen - Varkaus (SJ 55/1999)
 TIEL 4000234 S 12 Pääteiden parantamisratkaisut: Uusien tietyppivaihtoehtojen vertailu - Vt 4 välillä Haurukylä - Haaransilta - Kempele (SJ 56/1999)
 TIEL 4000242 Liikenneteknisen mitoituksen perusarvot (SJ 14/2000)
 TIEL 4000243 Taajamakeskustateiden poikkileikkaukset Testiajo- ja kirjallisuusselvitys (SJ 18/2000)
 TIEL 4000245 Joukkoliikenne - Opas tiepiiriin joukkoliikenneselvityksen laatimiseksi (SJ 23/2000)
 TIEL 4000247 S 12 Improvement solutions for main roads: Nordic Highway Capacity - Uninterrupted Flow Facilities in Denmark, Finland, Norway and Sweden (Finnra Internal Publications 4/2000)