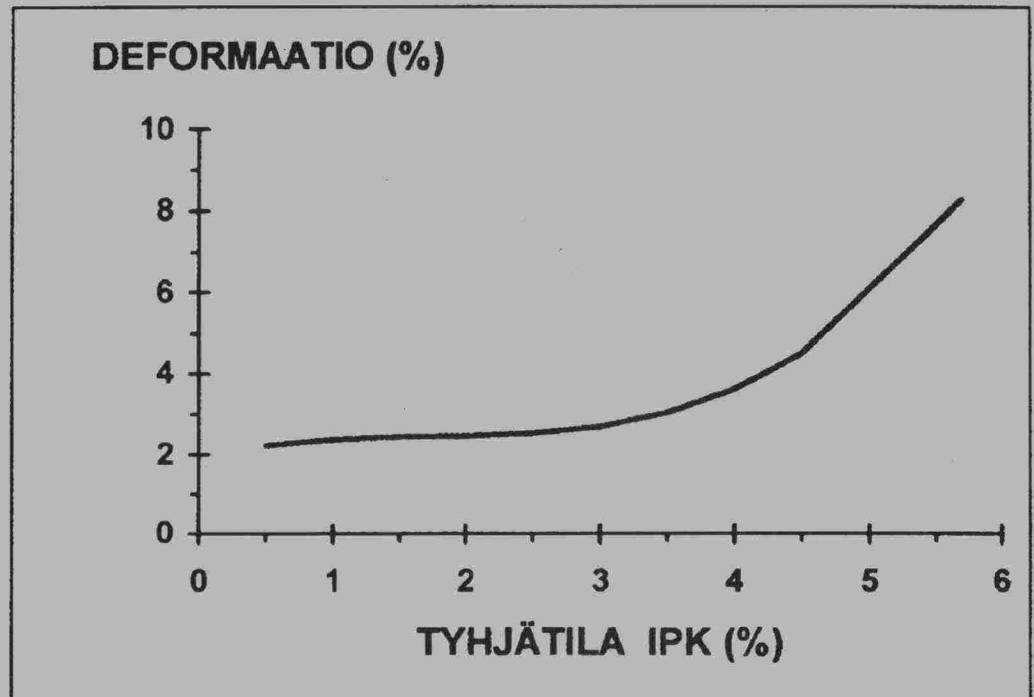


## Tyhjätilan vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin



Tielaitoksen selvityksiä  
63/1996

Tuomo Kollanen

**Tyhjätilan vaikutus asfalttipäällysteen  
ominaisuuksiin**

**Tielaitos**  
Kehittämiskeskus

Helsinki 1996

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-282-5  
TIEL 3200430  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:  
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,  
painotuotepalvelut  
Telefaksi 0204 44 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

**Tielaitos**  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde 0204 44 150

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tyhjätilan vaikutusta asfalttipäällysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin. Samalla tutkittiin näiden päällysteen ominaisuuksien perusteella, kuinka eri mittausmenetelmillä saatavien tyhjätilojen raja-arvot tulisi asettaa. Tutkittava massa oli SMA 20 -tyyppinen ja siitä valmistettiin koekappaleita eri tutkimustarkoituksiin laboratoriossa keinuyllyllä ja ICT-kiertotiivistimellä. Kokeet tehtiin käyttäen samaa massareseptiä; tyhjätilavaihtelut saatiin aikaan käyttämällä erilaisia tiivistystyövälineitä.

Laatoista porattujen koekappaleiden tiheydet tutkittiin perinteisellä ilma-vesipunnituksella (PANK 4110), imeytys-pintakuivausmenetelmällä (PANK 4112), ulkomittojen mukaan (PANK 4111) sekä muovikalvoa ilma-vesipunnituksessa käyttäen (CEN, prEN 227111, luonnos). Kiertotiivistysnäytteistä määritettiin tiheydet imeytys-pintakuivausmenetelmällä, ulkomittojen mukaan ja ICT-laitteen avulla.

Laatosta valmistetuista koekappaleista tutkittiin deformaatiokestävyys jaksollisella virumiskokeella (PANK 4208), vedenkestävyys (TIE 407) sekä vanhenemisominaisuudet soveltaen SHRP:n vanhentamiskäytäntöä ja halkaisuvetolujuuden määrittämismenetelmää (TIE 407). ICT-näytteistä tutkittiin säänkestävyyttä CENin kiviaineksille tarkoitetun jäädytys-sulatuskokeen (PANK 2110, luonnos) ja halkaisuvetokokeen avulla.

Tutkimustulosten perusteella vedenkestävyys- ja vanhenemisominaisuudet heikkenevät tyhjätilan kasvaessa. Tyhjätillä ei sinänsä ole optimaalista arvoa näiden ominaisuuksien suhteen. Säänkestävyyssuhteissa ei havaittu tyhjätilan vaikutusta, mutta tulokseen saattoi vaikuttaa myös se, että näytteet oli valmistettu ICT-kiertotiivistimellä. Todellisia ongelmia tyhjätilan vaihtelu aiheuttaa kuitenkin deformaatio- tai paremminkin alkutiivistymisherkkyydessä, johon tyhjätilan vaikutus on huomattava. Tyhjätilan kasvaessa liian suureksi on tuloksena rakenteeltaan heikko päällyste, joka ei kestä kuormitusta.

Tutkitussa tapauksessa tyhjätilan maksimiarvon voidaan sanoa olevan imeytys-pintakuivausmenetelmällä 4 % ja ulkomitta- / muovikalvomenetelmällä 6 %. Tyhjätilan minimiarvoa ei saatujen tulosten perusteella voida määrittää.

Tulokset kertovat selvästi sen, että varsinaisesti tyhjätilan raja-arvojen asettamiselle on perusteena oltava suhteituksessa saatu tiiviys eli mitoitustyhjätila, johon päällystystyössä tulisi pyrkiä. Tutkitussa tapauksessa tavoitetiheyden tulisi olla vähintään 98 % suhteituksessa saadusta arvosta eli tyhjätila saisi olla enintään 2 % mitoitustyhjätilaa korkeampi. Massan koostumuksen tulee kuitenkin olla reseptin mukainen, jotta tätä arvostelua voitaisiin soveltaa. Minimityhjätilarajan käyttö on perusteltua, jos massaa ei ole suhteitettu ja testattu asianmukaisesti. SMA-massoilla tyhjätilan minimiarvoa voidaan arvostella siinä mielessä, että pintarakenne ei saa olla liian bituminen.

KOLLANEN Tuomo: Tyhjätilan vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin. [The effect of void content to the properties of asphalt pavement]

**Keywords:** pavement, voids

## ABSTRACT

The aim of the study was to find out the effect of void content to the functional properties of the asphalt pavement. These relationships were used to find out how the void content limits should be set for different void content measurement methods. The used mixture was SMA 20 type and the samples were manufactured in laboratory for different research purposes with laboratory roller and ICT-gyratory. Tests were made using only one mixture formula; void content variations were obtained by using different compaction amounts.

The densities of core samples taken from the slabs made in laboratory were examined by traditional air-water weighing (PANK 4110), surface saturated dry method (PANK 4112), measuring dimensions of the sample (PANK 4111) and also using plastic film in air-water weighing (prEN 227111, draft). The densities of gyratory samples were measured by surface saturated dry method, measuring dimensions of the sample and with ICT-gyratory.

The core samples were used to test deformation resistance by repeated load creep test (PANK 4208), water resistance (TIE 407) and ageing properties using SHRP's ageing procedure and indirect tensile test (TIE 407). Weather resistance was tested from ICT-samples by using freeze-thaw -test (CEN-standard for aggregates, PANK 2110 draft) and indirect tensile test.

On the basis of the results water resistance and ageing properties decreases as the void content increases. Void content was not seen to have optimum value against these properties. In weather resistance tests the effect of void content couldn't be found. This might be a consequence of that the samples were made by ICT-gyratory. What void content really has an affect on is deformation resistance or rather initial compaction of pavement. When void content increases too high the result is too weak pavement which doesn't last load.

In the case studied the maximum void content with saturated surface dry method is 4 % and with dimension or plastic film method 6 %. Minimum void content could not be defined.

The results showed that actually the void content limits should be chosen with the help of mix design void content, which is the target in paving work. In this case the goal should be the density of at least 98 % of target density. In other words the void content should not be more than 2 % over target void content. Mixture composition should anyway be in accordance with mix design formula when using this kind of evaluation. Minimum limit for void content is reasonable for mixtures which are not designed and tested properly. With SMA-mixtures minimum void content can be used in that sense that surface structure must not be too bituminous.

## ALKUSANAT

Tutkimus on tehty jatkotutkimuksena vuonna 1995 tehdylle "Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittaussuomenetelmien vertailu" -tutkimukselle, josta on julkaistu raportti Tielaitoksen selvityksiä 11/1996, TIEL 3200380. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tyhjätilan vaikutus päällysteen eräisiin keskeisiin ominaisuuksiin.

Tämä tutkimus on tehty tielaitoksen kehittämiskeskuksen tilaamana tutkimustyönä VTT:n Yhdyskuntatekniikan tutkimusyksikössä. Tutkimuksen on tehnyt dipl.ins. Tuomo Kollanen. Tutkimuksen yhteyshenkilönä on tielaitoksen puolelta ollut insinööri Kalevi Toikkanen tielaitoksen kehittämiskeskuksesta.

Helsingissä lokakuussa 1996

*Tielaitos  
Kehittämiskeskus*

---

## SISÄLTÖ

---

### TIIVISTELMÄ

---

### ABSTRACT

---

### ALKUSANAT

---

1 JOHDANTO	9
2 TUTKIMUSMENETELMÄT	10
2.1 Näytteiden valmistus	10
2.2 Tyhjätilamittaukset	10
2.3 Toiminnalliset ominaisuudet	12
2.3.1 Deformaatiokestävyys	12
2.3.2 Vedenkestävyys	13
2.3.3 Vanheneminen	13
2.3.4 Säänkestävyys	14
3 TULOKSET	15
3.1 Tyhjätilamääritykset	15
3.2 Deformaatiokestävyys	16
3.3 Vedenkestävyys	16
3.4 Vanheneminen	18
3.5 Säänkestävyys	18
4 TULOSTEN TARKASTELU	19
4.1 Tyhjätilat	19
4.2 Deformaatiokestävyys	22
4.3 Vedenkestävyys	28
4.4 Vanheneminen	32
4.5 Säänkestävyys	33
5 YHTEENVETO	36
6 LÄHTEET	37

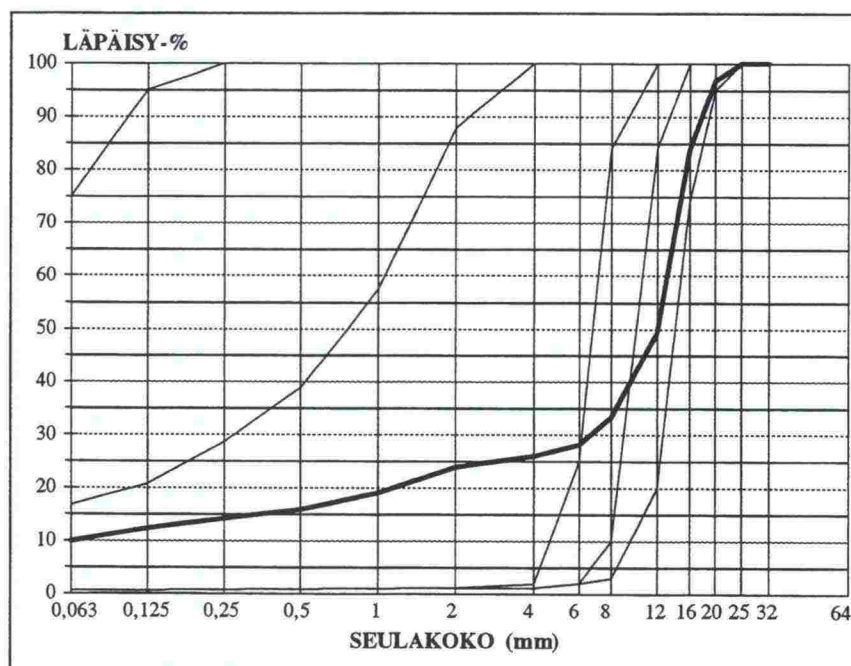
---

## 1 JOHDANTO

Päällystystöissä on perinteisesti tutkittu päällysteen tyhjätilaa, joka on ollut keskeinen tasalaatuisuuden mittari. Tyhjätilan raja-arvot on määritetty empiirisesti kertyneen tutkimusaineiston mukaan. Tyhjätilan ja toiminnallisten ominaisuuksien yhteys samaa massan koostumusta käytettäessä ei ole ollut kuitenkaan tarkkaan tiedossa. ASTO-tutkimusohjelman aineisto eri tyhjätilojen vaikutuksesta päällysteen ominaisuuksiin perustui eri massojen vertailuun. Näin saatiin viitteelliset arvot päällysteen tavoitetyhjätiloille.

Tyhjätilaan vaikuttaa merkittävästi mm. se, mikä on massan koostumus. Osa tyhjätilavaihteluista on seurausta rakeisuuden tai sideainepitoisuuden vaihtelusta esimerkiksi lajittumisen tai virheellisen annostelun seurauksena. Massan koostumuksen ollessa oikea kyse on tiivistystyömäärän, tiivistysaikaisen lämpötilan tai levitetyn päällysteen paksuuden vaihtelusta aiheutuneista eroista. Kun arvostelun lähtökohta on, että massa on koostumukseltaan tietynlaista, on tyhjätilavaihtelun arvostelunkin perustuttava tälle pohjalle. Päällysteen tyhjätila ei sinänsä ole arvosteltava ominaisuus. Se vaikuttaa tärkeisiin päällysteen ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi vedenkestävyyteen, mutta se ei ole toiminnallinen ominaisuus. Jotta tyhjätilan raja-arvot voidaan asettaa, on niiden yhteydet toiminnallisiin ominaisuuksiin selvitettävä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tyhjätilan vaikutusta SMA-päällysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin ja eri tyhjätilan mittausten yhteyksiä niihin. Tutkimuksessa käytettäväksi massaksi otettiin Koskenkylän kivistä valmistettu SMA 20. Massan rakeisuuskäyrä on kuvassa 1 ja koostumus kokonaisuudessaan liitteessä 1.



Kuva 1. Tutkittavan SMA 20 -massan rakeisuuskäyrä.



## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa haluttiin vertailla eri tyhjätilamittausten tuloksia eräiden keskeisten asfalttipäällysteen ominaisuuksien kanssa. Tutkittaviksi ominaisuuksiksi otettiin deformaatiokestävyys, vedenkestävyys, vanheneminen ja säänkestävyys. Tyhjätilan otaksuttiin vaikuttavan eniten juuri näihin ominaisuuksiin.

### 2.1 Näytteiden valmistus

Tutkittavasta asfalttimassasta tiivistettiin koekappaleita kahdella eri tiivistyslaitteella: Ø100 mm ICT-kiertotiivistimellä ja keinujuyrällä.

Kiertotiivistimessä käytettiin normaaleja asetuksia: näytteeseen kohdistuva paine oli 1,6 bar ja tiivistyskulma 2°17'. Kierrosnopeus oli 40 r/min. Tiivistyksessä käytettiin kymmentä eri kierrosmäärää, jotta koekappaleiden tyhjättiloihin saataisiin mahdollisimman suuri hajonta. Kierrosmäärät olivat: 5, 10, 20, 40, 81, 161, 323, 406, 567 ja 812 kierrosta. Kullakin tiivistystyömäärällä valmistettiin 2 koekappaletta.

Keinujuyrällä tiivistettiin tutkittavasta massasta viisi laatua, joissa kussakin käytettiin erilaista tiivistystyömäärää. Kustakin laatasta porattiin 12 näytettä tyhjättila- ja ominaisuusmittauksia varten. Ennen porausta määritettiin kustakin laatasta myös pinnan karkeus sand-patch -menetelmällä (PANK-5103). Laattojen tiivistystyömäärät ja pinnan karkeudet ovat taulukossa 1.

*Taulukko 1. Laattojen tiivistystyömäärät keinujuyrällä ja laattojen pintojen karkeudet.*

Laatta	Tiivistystyömäärät (jyrän ylitykset, staattinen / täry)	Pintakarkeus HS (mm) PANK 5103
A	8 st.+4 täry+16 st.+8 jälkij.st. (normaali tiivistys)	1,5 (HS > 1,2 : erittäin karkea)
B	2 st. (erittäin kevyt tiivistys)	4,8 (erittäin karkea)
C	5 st. (kevyt tiivistys)	3,8 (erittäin karkea)
D	10 st. (melko kevyt tiivistys)	2,0 (erittäin karkea)
E	8 st.+16 täry+8 st.+8 jälkij.st. (voimakas tiivistys)	1,1 (0,8 < HS ≤ 1,2 : karkea)

## 2.2 Tyhjätilamittaukset

Tyhjätilan määrittämistä varten koekappaleiden tiheyksiä tutkittiin taulukon 2 mukaisin menetelmin.

*Taulukko 2. Tiheyden tutkimusmenetelmien periaatteet.*

Menetelmän nimi	PANK- menetelmä	Lyhyt kuvaus
Ilma-vesipunnitus (IV)	PANK 4110	Punnitaan koekappale ilmassa ja vedessä ja lasketaan tiheys koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden perusteella.
Imeytys- pintakuivaus (IPK)	PANK 4112	Punnitaan koekappale ensin ilmassa, sitten vedessä 3 min upotuksen jälkeen sekä vielä kerran ilmassa pinnasta kuivattuna. Tiheys lasketaan koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden sekä siihen imeytyneen veden tilavuuden perusteella.
Ulkomittamenetelmä (DIM)	PANK 4111	Koekappale punnitaan ja sen tilavuus määritetään mittaamalla sen ulkomitat erityisellä pallopäisellä työntötkillä.
Muovikalvo (KALVO)	-	Koekappale punnitaan, peitetään muovikalvolla ja punnitaan uudestaan ilmassa ja vedessä. Tiheys lasketaan koekappaleen syrjäyttämän vesitilavuuden perusteella.

Eri menetelmin valmistetuista koekappaleista määritettiin tiheydet taulukon 3 mukaisesti. Tyhjätilan määrittämisessä (PANK 4114) käytettiin Ricen menetelmällä mitattua massan tiheyttä (PANK 4109).

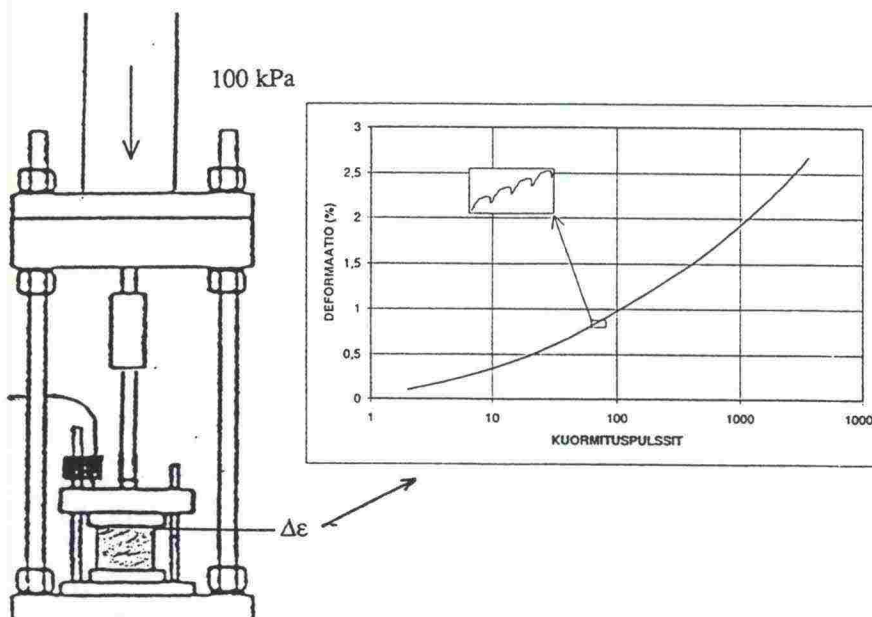
Taulukko 3. Tiheyden määrittäminen valmistetuista koekappaleista.

Näytteen valmistusmenetelmä	Tiheyden määrittäminen
ICT 100	- ICT-mittaus - ulkomittamenetelmä (PANK 4111) - imeytys-pintakuivausmenetelmä (PANK 4112)
Keinujuyrä	- ilma-vesipunnitus (PANK 4110) - imeytys-pintakuivausmenetelmä (PANK 4112) - ulkomittamenetelmä (PANK 4111) - muovikalvomenetelmä (PANK 4110 soveltaen)

## 2.3 Toiminnalliset ominaisuudet

### 2.3.1 Deformaatiokestävyys

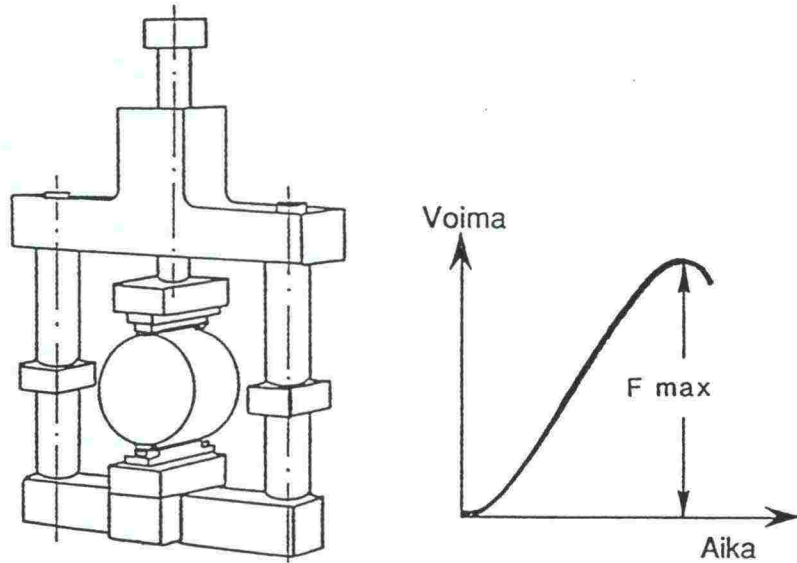
Deformaatiokestävyyden määrittämisessä käytettiin jaksollista virumiskoetta menetelmän PANK 4208 mukaisesti. Kokeessa (kuva 2) lieriön muotoista koekappaletta ( $\varnothing 100 \times 60$  mm) kuormitetaan aksiaalisesti  $+ 40^\circ\text{C}$ :ssa 100 kPa kuormituspulsseilla, joiden kesto on 1,0 s. Kahden pulssin välinen lepoaika on 1,0 s. Ennen varsinaista testausta koekappaleeseen kohdistetaan muutamia esikuormituspulseja epätasaisuuksien vaikutuksen vähentämiseksi. Varsinaisessa kokeessa koekappaletta kuormitetaan 2 tunnin ajan, jolloin pulssien määrä kokeen lopussa on 3600. Deformoituminen ilmoitetaan koekappaleen suhteellisena kokoonpainumisena prosentteina kokeen aikana.



Kuva 2. Deformaation mittaus jaksollisella virumiskokeella.

### 2.3.2 Vedenkestävyys

Vedenkestävyyttä mitattiin epäsuoralla halkaisuvetokokeella (kuva 3). Ko-  
keessa osaa valmistetuista  $\text{Ø}100 \times 60$  mm koekappaleista säilytetään ve-  
dessä ja osaa ilmassa  $+40^\circ\text{C}$  lämpötilassa 72 h tunnin ajan. Vedessä säi-  
lytettävien koekappaleiden kyllästyminen vedellä varmistetaan imeyttämällä  
niihin vesi alipaineessa (loppupaine 20 mmHg). Ennen varsinaista halkai-  
suvetokoetta koekappaleet temperoidaan  $+10^\circ\text{C}$  testilämpötilaan.



Kuva 3. Epäsuora halkaisuvetokoe.

Koekappaleet halkaistaan puristamalla niitä 50 mm/min kuormitusnopeu-  
della. Halkaisuvetolujuus on koekappaleen halkaisevan voiman ja lieriön  
puolikkaan vaipan pinta-alan suhde. Vedenkestävyyttä ilmaiseva tarttu-  
vuusluku on vedessä säilytettyjen koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien  
ja kuivien koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien suhde.

### 2.3.3 Vanheneminen

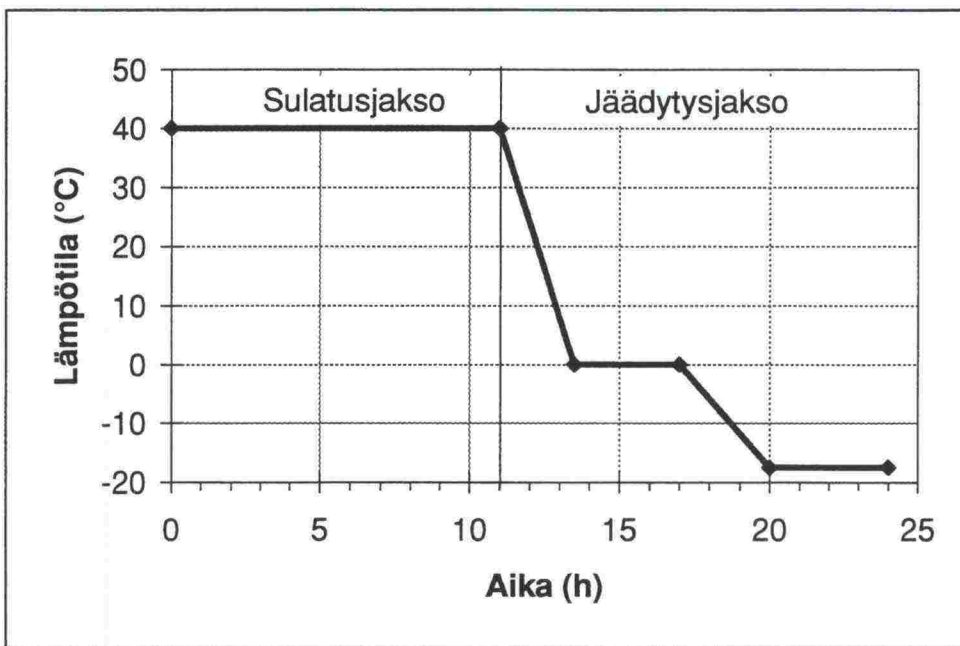
Päällysteen vanhenemista testattiin säilyttämällä valmiita koekappaleita  
uunissa  $+85^\circ\text{C}$  lämpötilassa 2 vrk ajan. SHRP:n tutkimustulosten mukaan  
kyseinen säilytysaika vastaa päällysteen 10 vuoden vanhenemista tiellä.

Vanhenemista tutkittiin tekemällä vanhennetuille koekappaleille halkaisuve-  
toluuskokeet  $+10^\circ\text{C}$  lämpötilassa. Vanhenemisen vaikutusta selvitettiin  
vertaamalla näin saatujen halkaisuvetolujuuksien suhdetta vedenkestä-  
vyyskokeissa (kohta 2.3.2) kuivana säilytettyjen koekappaleiden halkaisu-  
vetolujuuksiin.

### 2.3.4 Säänkestävyys

Säänkestävyyden vaikutuksen selvittämiseen käytettiin CENin mukaisesta kiviaineksen rapautumisalttiutta mittaavasta jäädytys-sulatuskokeesta (PANK 2110, luonnos) sovellettua menetelmää.

Osa tutkittavista koekappaleista säilytettiin normaalissa huoneen lämmössä ja osa jäädytys-sulatussykliin ohjelmoidussa sääkaapissa. Kukin koekappale asetettiin kolmen litran peltipurkkiin, johon laitettiin vettä niin paljon, että koekappale peittyi kokonaan. Peltipurkit koekappaleineen laitettiin sääkaappiin, jonka lämpötilavaihtelut ohjelmoitiin etukäteen tietokoneelle. Lämpötilavaihtelut yhden jäädytys-sulatusjakson (kesto 24 h) aikana on esitetty kuvassa 4. Periaatteena oli, että jakson aikana vesi koekappaleen ympärillä ehtii jäätymä jäädytysjakson aikana ja toisaalta sulaa sulatusjakson aikana. Sulatusjakson alussa lämpötila nousee  $-17,5^{\circ}\text{C}$ :sta  $+40^{\circ}\text{C}$ :een. Jäädytys-sulatusjaksoja kokeessa oli yhteensä 10.



Kuva 4. Lämpötilamuutokset yhden jäädytys-sulatusjakson aikana.

Jäädytys-sulatusjaksossa olleet ja ilmassa säilytetyt kappaleet testattiin halkaisuvetokokeella. Näin saatuja halkaisuvetokokeiden tuloksia verrattiin edelleen toisiinsa.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Tyhjätilamääritykset

Tyhjätilat määritettiin kaikista valmistetuista koekappaleista. Laatoista poratuista näytteistä mitattujen tyhjätilojen keskiarvot ovat taulukossa 4. Yksittäisten porauskappaleiden tyhjätilat ovat liitteessä 2. ICT-kappaleista mitatut tyhjätilojen keskiarvot eri kierrosmäärillä valmistetuista kappaleista ovat taulukossa 5. Yksittäisten ICT-kappaleiden tyhjätilat ovat liitteessä 3.

Taulukko 4. Tyhjätilojen keskiarvot laatoista poratuista näytteistä.

Mittausmenetelmä	Laatta				
	A	B	C	D	E
<u>Massan tiheys 2463 kg/m<sup>3</sup></u>					
Ilma-vesipunnitus	2,1	4,8	3,6	4,0	0,7
Imeytys-pintakuivausmenetelmä	2,4	7,0	5,8	4,5	0,7
Ulkomittamenetelmä	2,4	12,9	10,5	5,5	-0,1
Muovikalvo	4,2	12,6	10,1	6,5	1,4

Taulukko 5. Tyhjätilojen keskiarvot eri työmäärillä valmistetuista ICT-näytteistä.

Mittausmenetelmä	Kierrosmäärä									
	5	10	20	40	81	161	323	406	567	812
<u>Massan tiheys 2463 kg/m<sup>3</sup></u>										
Imeytys-pintakuivausmenetelmä	6,1	6,0	4,8	4,5	3,9	2,7	2,9	2,6	2,4	3,2
Ulkomittamenetelmä	16,7	15,1	10,4	8,9	7,9	5,4	5,1	4,7	4,5	4,8
- sahatuista kappaleista	17,1	14,0	11,3	8,0	6,2	2,5	5,3	2,1	2,7	4,6
ICT-mittaus	20,2	17,8	13,8	11,0	9,2	7,0	5,7	5,3	5,9	5,4

### 3.2 Deformaatiokestävyys

Deformaatiokestävyydet mitattiin jokaisesta laatasta kolmesta poratusta näytteestä. Taulukkoon 6 on koottu kokeiden lopputulokset sekä 900 kuormitusjakson tulokset. 900 kuormitusjakson tulokset otettiin mukaan vertailtavuuden mahdollistamiseksi, koska vähemmän tiivistettyjen laattojen koekappaleet yleensä hajosivat ennen testin loppua. Myös normaalisti tiivistetystä laatasta (laatta A) hajosi yksi koekappale, mikä johtui näytteen lajittuneisuudesta.

Taulukko 6. Deformaatiotulokset jaksollisesta virumiskokeesta.

Näyte nro	Laatta, deformaatiotulokset eri pulssimäärillä (%)									
	A		B		C		D		E	
	900	3600	900	3600	900	3600	900	3600	900	3600
1	2,7	-	6,9	-	4	-	2,3	4,3	2,2	3,0
6	1,3	2,0	4,2	-	2,6	-	2,4	3,5	1,7	2,1
11	1,9	2,7	5,8	-	2,8	-	3,1	8,0	1,5	2,1
Keskiarvo	2,0	2,4*	5,6	-	3,1	-	2,6	5,3	1,8	2,4

\*) Laskettu onnistuneiden kokeiden keskiarvo

### 3.3 Vedenkestävyys

Vedenkestävyys tutkittiin kustakin valmistetusta laatasta käyttäen kuutta porauskappaletta. Porauskappaleista kolme säilytettiin ilmassa ja kolme vedessä ennen halkaisuvetolujuustestiä. Taulukkoon 7 on koottu näytteiden halkaisuvetolujuus- ja halkaisujäykkyystulokset.

Taulukko 7. Vedenkestävyyskokeiden tulokset laatoista poratuista näytteistä.

Laatta	Näyte nro	Vesisäilytys		Näyte nro	Ilmasäilytys	
		HVL (kPa)	HJ (kPa)		HVL (kPa)	HJ (kPa)
A	3	1469	46630	4	1407	50692
	5	1180	42217	8	1414	49725
	9	1198	39014	10	1509	55850
	ka	1283	42620	ka	1443	52089
B	2	1004	32024	4	887	30223
	5	852	26313	8	1093	36983
	9	834	21754	10	877	32668
	ka	897	26697	ka	952	33261
C	3	1125	29498	4	1188	50050
	5	808	26841	8	1121	37846
	9	788	24841	10	1055	41954
	ka	907	27060	ka	1122	43284
D	3	1179	38295	4	1348	51139
	5	1271	39403	8	1250	34225
	9	1180	31047	10	1224	35170
	ka	1210	36248	ka	1274	40178
E	3	1651	46822	4	1706	61629
	5	1690	51284	8	1803	59314
	9	1589	45802	10	1809	60575
	ka	1643	47969	ka	1773	60506



### 3.4 Vanheneminen

Vanheneminen tutkittiin kustakin valmistetusta laatasta kolmesta porauskappaleesta. Taulukkoon 8 on koottu näytteistä saadut halkaisuvetolujuus- ja halkaisujäykkyydet sekä niiden keskiarvot.

Taulukko 8. Vanhenemiskokeiden tulokset.

Näyte nro	Laatta, halkaisuvetokoetulokset vanhennetuista näytteistä									
	A		B		C		D		E	
	HVL (kPa)	HJ (kPa)	HVL (kPa)	HJ (kPa)	HVL (kPa)	HJ (kPa)	HVL (kPa)	HJ (kPa)	HVL (kPa)	HJ (kPa)
2	1336	45481	779	25545	1102	51078	1251	44150	1828	82655
7	1364	51382	803	36460	701	50217	1351	55228	1816	81195
12	1256	53582	778	31395	882	39786	1644	67722	1955	75283
K.a.	1319	50148	787	31133	895	47027	1416	55700	1866	79711

### 3.5 Säänkestävyys

Säänkestävyyskokeet tehtiin ICT-näytteille, joista oli sahattu päätyosat pois siten, että näytteen korkeudeksi saatiin 60 mm. Kutakin tiivistystasoa kohti valmistetusta kahdesta näytteestä toinen laitettiin ilmasäilytykseen ja toinen jäädytys-sulatuskokeeseen. Näytenuumeroinnin mukaisesti parilliset olivat ilmasäilytyksessä ja parittomat jäädytys-sulatuskokeessa. Taulukkoon 9 on koottu näytteistä mitatut halkaisuvetolujuudet ja halkaisujäykkyydet.

Taulukko 9. Eri tavoin säilytettyjen ICT-näytteiden halkaisuvetolujuuskokeiden tulokset.

Näytteen säilytystapa	Kierros määrä									
	5	10	20	40	81	161	323	406	567	812
Jäädytys- sulatus										
HVL (kPa)	809	946	1303	1409	1709	1213	1677	1719	1432	1603
HJ (kPa)	31662	30951	44859	39848	54980	63124	72119	56268	63988	60856
Ilma										
HVL (kPa)	620	883	1391	1113	1464	1550	1547	1737	1609	1767
HJ (kPa)	19394	30038	35694	33256	70736	51836	58084	62591	59456	67623

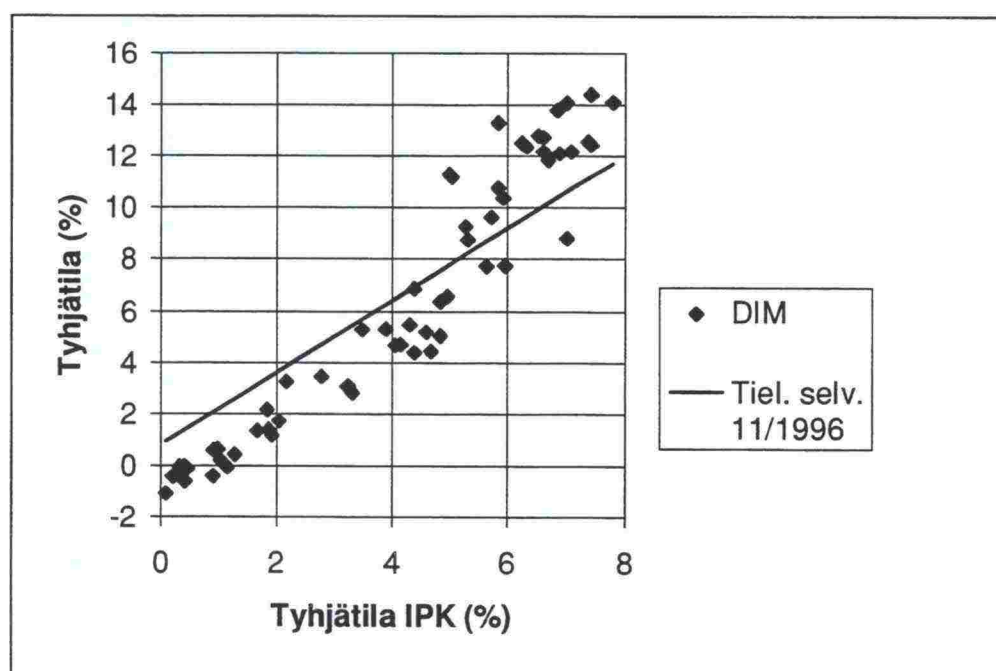
## 4 TULOSTEN TARKASTELO

### 4.1 Tyhjätilat

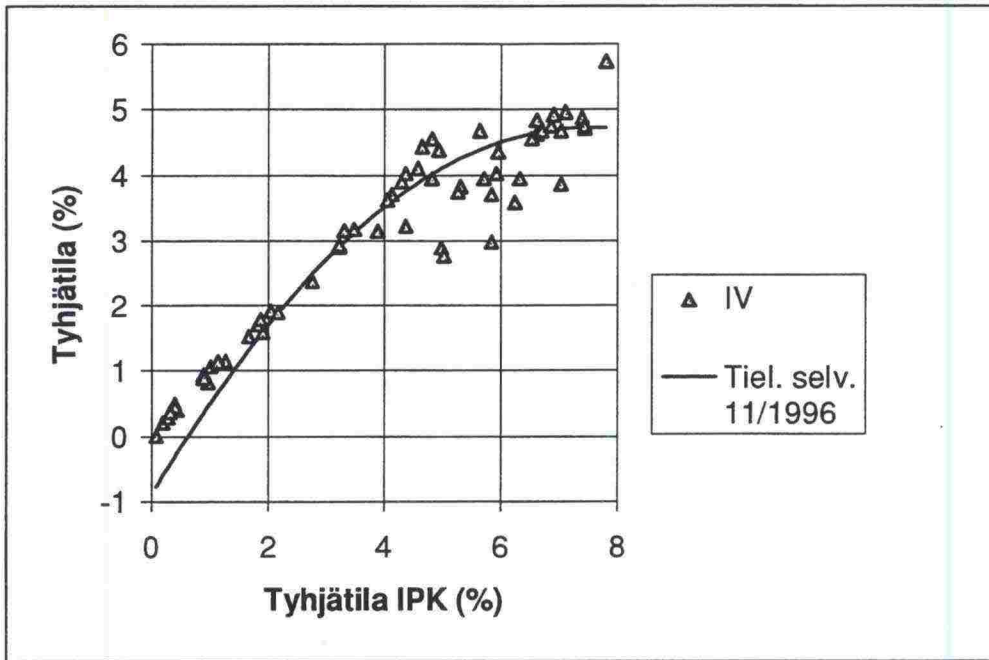
Eri menetelmin mitattuja tyhjätiloja on verrattu toisiinsa kuvissa 5-7. Vertailun vuoksi on kuvaan liitetty tielaitoksen selvityksessä 11/1996 saatu regressiosuora menetelmillä mitattujen tyhjätilojen välillä.

Tielaitoksen selvityksessä 11/1996 saadut tulokset vastaavat kohtalaisen hyvin nyt saatuja tuloksia, eniten poikkeaa ulkomittamenetelmän yhteys IPK-menetelmään. Tuloksen perusteella normaalitiiviillä SMA-massoilla tyhjätilan määrittäminen on suositeltavaa tehdä yksinkertaisella IPK-menetelmällä. Muut soveliaat menetelmät, eli ulkomitta- ja erityisesti kalvomenetelmä, ovat hankalia ja sopivat parhaiten rakenteeltaan hyvin harvoille päällysteille sekä erityiskäyttöön.

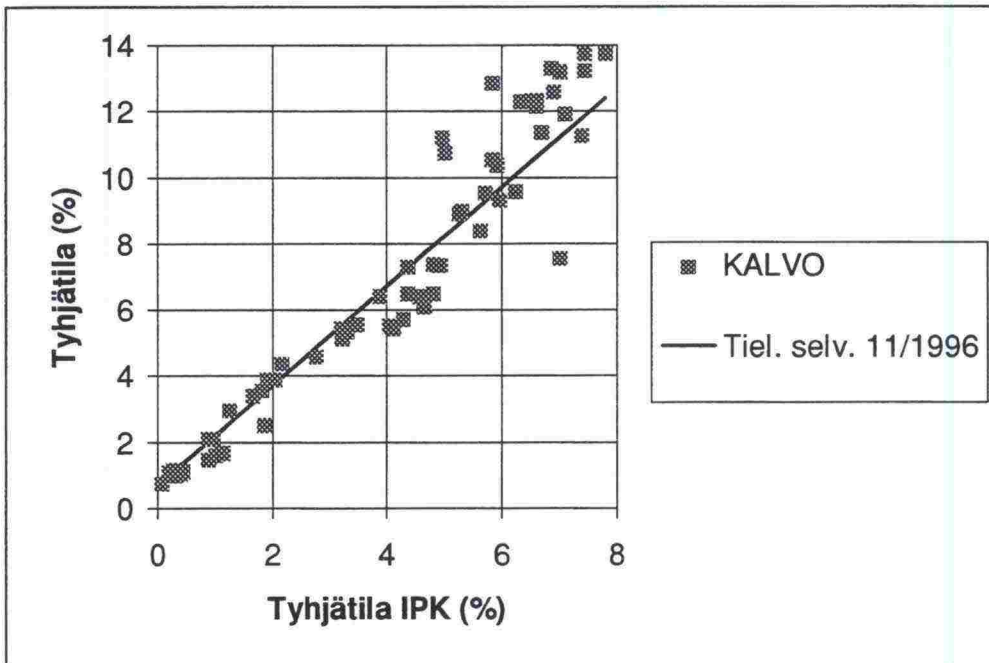
Laboratoriossa tiivistetyistä laatoista tutkittiin tyhjätilojen lisäksi laattojen pinnan karkeus, jota haluttiin verrata laatoista mitattuihin tyhjätiloihin. Kuvassa 8 on esitetty eri menetelmin määritettyjen tyhjätilojen keskiarvot sekä pintakarkeudesta muodostuva tyhjätila, joka on laskettu mitatun karkeusarvon ja laatan paksuuden perusteella. Tuloksista voidaan havaita, että jos IPK-menetelmällä mitattuun tyhjätilaan lisätään laskettu pintatyhjätila, saadaan tuloksena vastaavat tyhjätilat kuin kalvomenetelmälläkin. Päällysteen avoimen pinnan alapuolinen tyhjätila SMA päällysteellä vastaa siis hyvin pitkälle IPK-menetelmällä mitattua arvoa.



Kuva 5. Ulkomittamenetelmän ja imeytys-pintakuivausmenetelmän välinen yhteys porausnäytteistä mitattuna.



Kuva 6. Ilma-vesipunnituksen ja imeytys-pintakuivausmenetelmän välinen yhteys porausnäytteistä mitattuna.

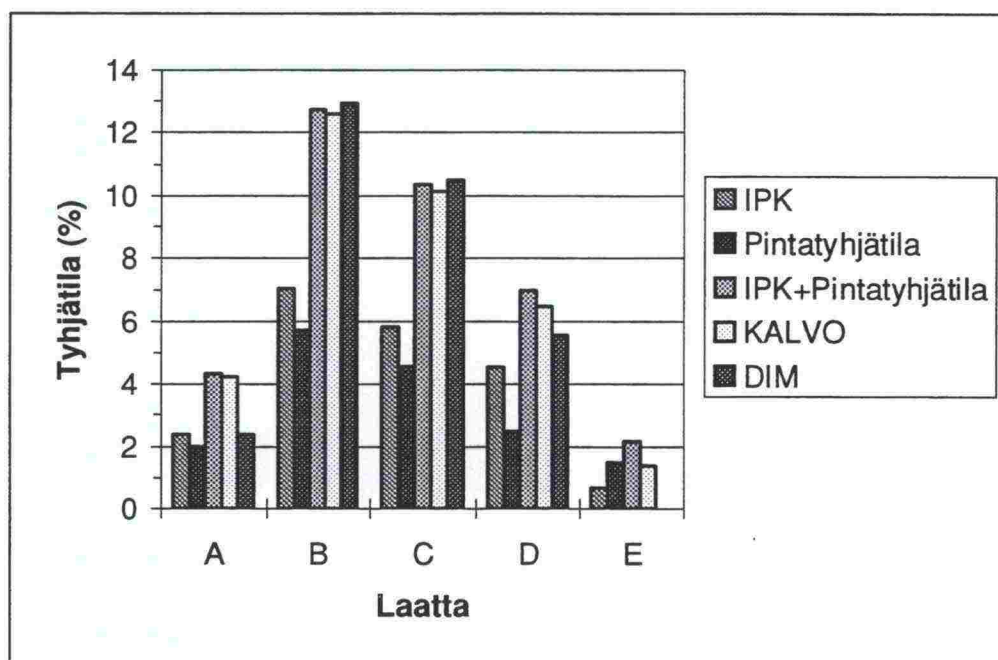


Kuva 7. Kalvomenetelmän ja imeytys-pintakuivausmenetelmän välinen yhteys porausnäytteistä mitattuna.

Tielaitoksen selvityksessä 11/1996 saadut tulokset vastaavat kohtalaisen hyvin nyt saatuja tuloksia, eniten poikkeaa ulkomittamenetelmän yhteys IPK-menetelmään. Tuloksen perusteella normaalitiiviillä SMA-massoilla tyhjätilan määrittäminen on suositeltavaa tehdä yksinkertaisella IPK-menetelmällä. Muut soveliaat menetelmät, eli ulkomitta- ja erityisesti kal-

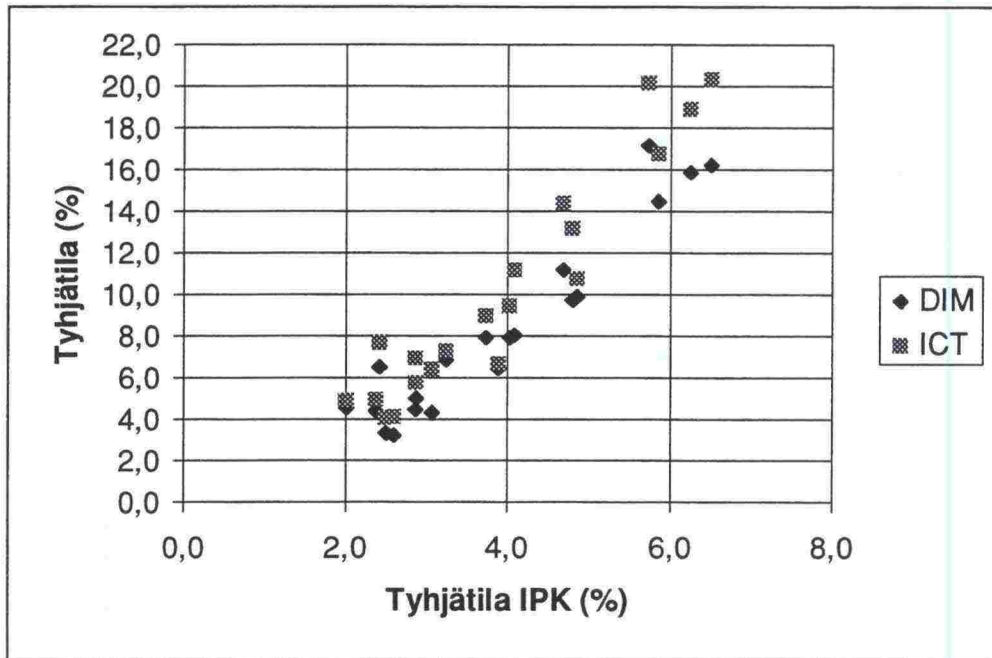
vomenetelmä, ovat hankalia ja sopivat parhaiten rakenteeltaan hyvin harvoille päällysteille sekä erityiskäyttöön.

Laboratoriossa tiivistetyistä laatoista tutkittiin tyhjätilojen lisäksi laattojen pinnan karkeus, jota haluttiin verrata laatoista mitattuihin tyhjätiloihin. Kuvassa 8 on esitetty eri menetelmin määritettyjen tyhjätilojen keskiarvot sekä pintakarkeudesta muodostuva tyhjätila, joka on laskettu mitatun karkeusarvon ja laatan paksuuden perusteella. Tuloksista voidaan havaita, että jos IPK-menetelmällä mitattuun tyhjätilaan lisätään laskettu pintatyhjätila, saadaan tuloksena vastaavat tyhjätilat kuin kalvomenetelmälläkin. Päällysteen avoimen pinnan alapuolinen tyhjätila SMA päällysteellä vastaa siis hyvin pitkälle IPK-menetelmällä mitattua arvoa.

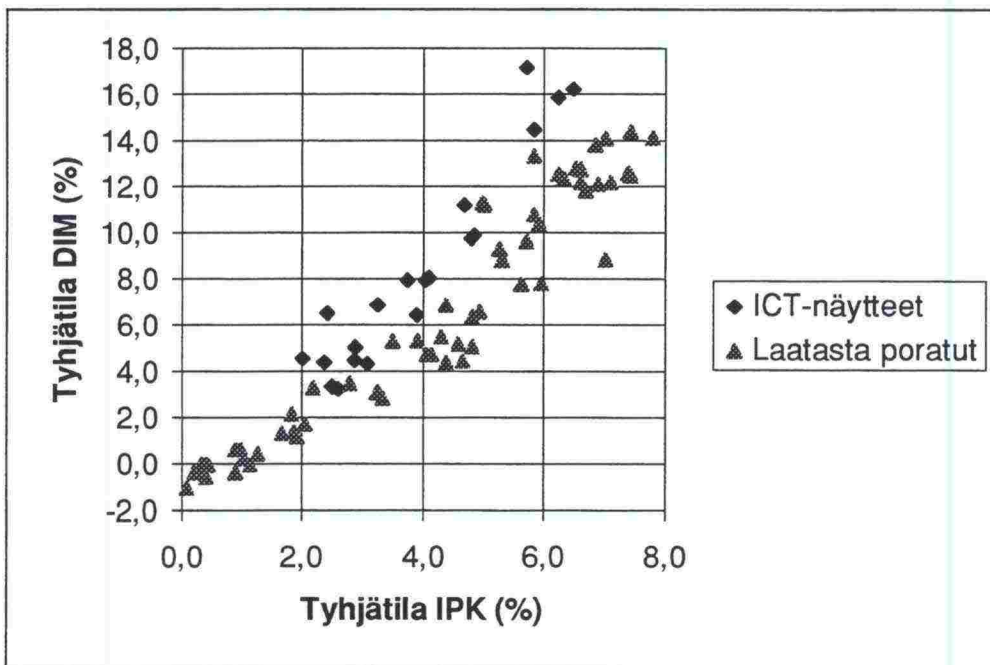


Kuva 8. Laatasta eri tavoin määritettyjen tyhjätilojen keskiarvot.

Kuvassa 9 on verrattu ICT-näytteistä mitattuja tyhjätiloja keskenään. Ulkomittamenetelmällä ja toisaalta ICT-laitteella mitatut tiheydet poikkeavat toisistaan jonkin verran. Ulkomittamenetelmällä mitattujen tyhjätilojen poikkeama harvempaan suuntaan on luonnollista, koska menetelmä ottaa huomioon myös kappaleiden pintarakennetta, mitä ICT-laite ei mittaa. Tuloksista on pääteltävissä, että sekä ICT:llä että ulkomittamenetelmällä määritetyillä tyhjätiloilla vallitsee lineaarinen yhteys IPK-menetelmällä määritettyihin tyhjätiloihin. Kun lisäksi tarkastellaan kuvassa 10 esitettyä ICT- ja porausnäytteiden ulkomitta- ja IPK-menetelmin mitattujen tyhjätilojen yhteyttä, näyttää IPK-menetelmän käyttö ICT-näytteiden tyhjätiloissa edelleen perustellulta.



Kuva 9. Ulkomittamenetelmän ja ICT-mittauksen yhteys imeytys-pintakuivausmenetelmään ICT-näytteistä mitattuna.



Kuva 10. Ulkomittamenetelmän ja imeytys-pintakuivausmenetelmän välinen yhteys porausnäytteistä ja ICT-näytteistä mitattuna.

## 4.2 Deformaatiokestävyys

On selvää, että tyhjätillä on vaikutusta päällysteen deformaatiokestävyyteen. Erityisesti, kun sideainepitoisuus on liian korkea, alhainen tyhjätila on merkki huonosta deformaatiokestävyydestä. Tutkitussa tapauksessa, jossa tarkastelu kohdistui samalla sideainepitoisuudella tehtyyn homogeeniseen

massaan, saatiin tietoa tiivistyksen onnistumisen vaikutuksesta deformaatiotulokseen.

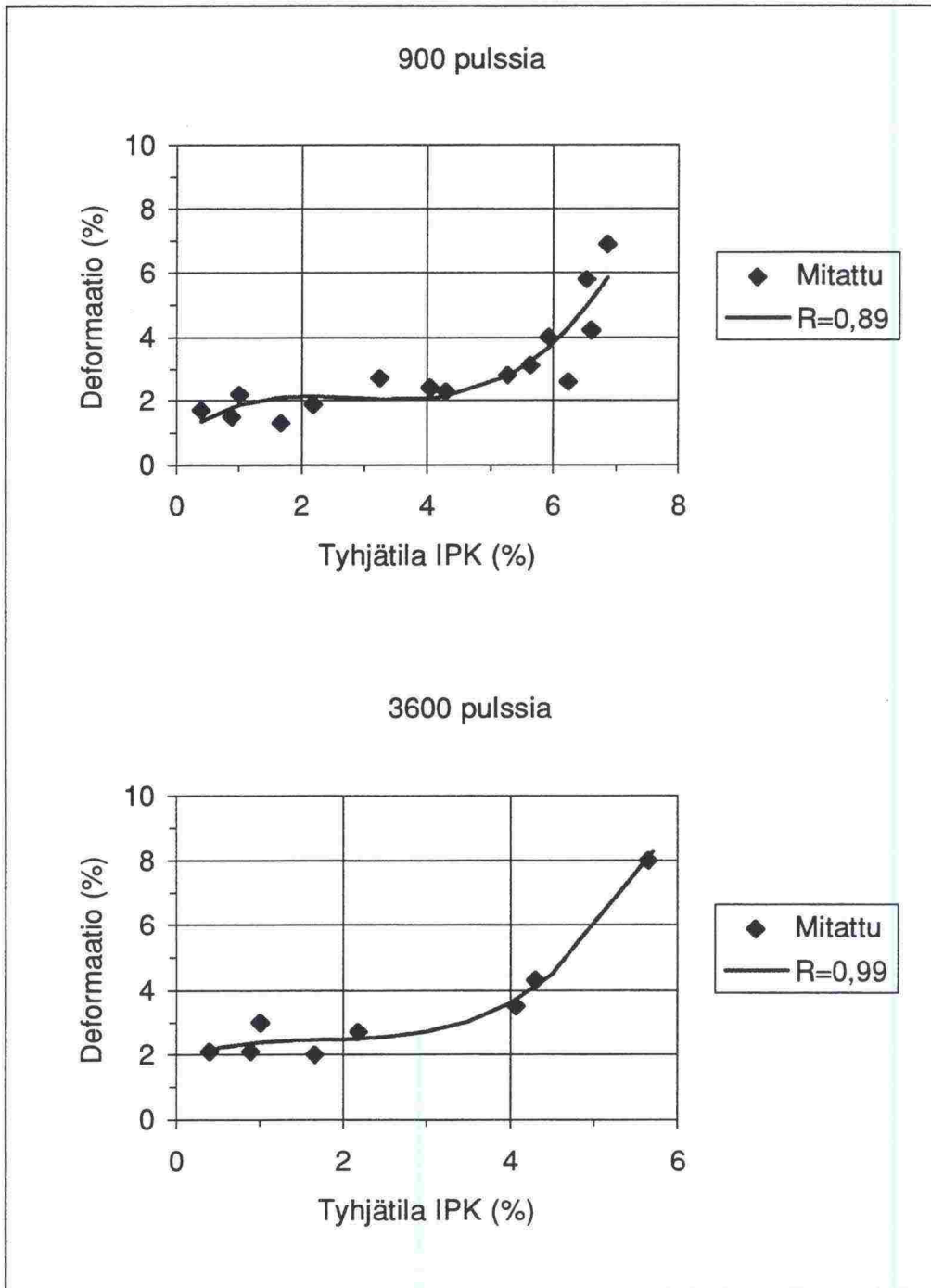
Kuviin 11-14 on koottu saadut yhteydet deformaatiokestävyyden ja eri tavoin mitattujen tyhjätilojen välillä. Deformaatiokestävyys- ja tyhjätilatulosten väliset regressiot on laskettu kolmannen asteen yhtälömallin mukaan.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että noudatettu 6 % maksimityhjätila (IPK-menetelmällä) on liian korkea. Koekappaleet, joiden tyhjätila oli IPK:lla ja IV:lla mitaten alle 4 % ja ulkomitta-/kalvomenetelmällä 6 %, ovat deformaatiokestävyydeltään hyväksyttävissä. Vaikka kyseessä on deformaatiotesti, niin tässä tapauksessa tuloksen selittää pääosin näytteiden alkutiivistyminen. Liian vähäinen tiivistystyö aiheuttaa sen, etteivät näytteet ole riittävän kestäviä.

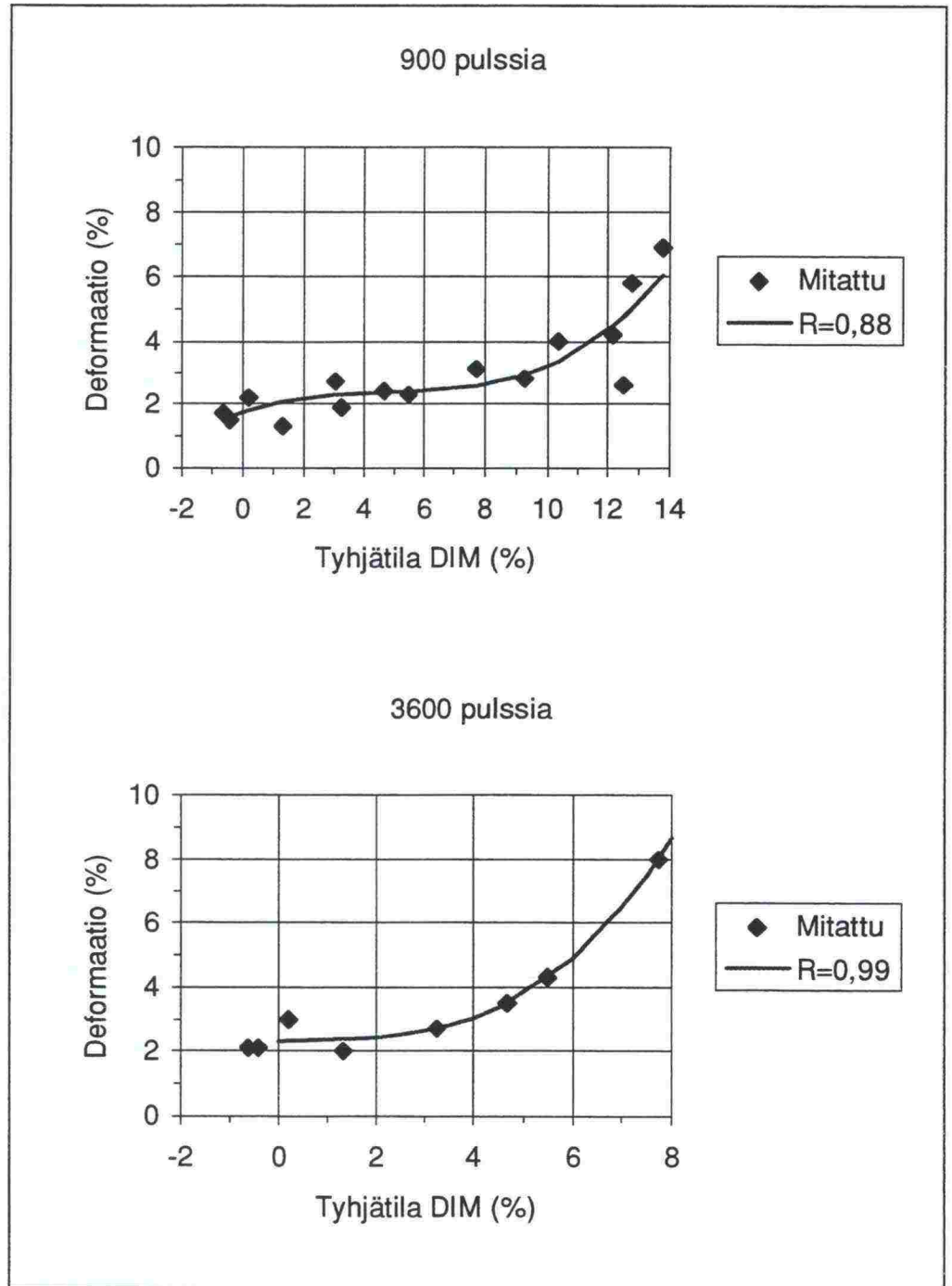
Tuloksista ei ollut havaittavissa tyhjätilan minimirajaa. Sen sijaan deformaatioarvot olivat sitä parempia, mitä alhaisempi tyhjätila koekappaleella oli. Tyhjätilan minimiarvo ei siis ole toiminnallisten ominaisuuksien kannalta välttämätön, kun massa on suhteitettu oikein. SMA:lta edellytetään kuitenkin tietynlaista, karkeahkoa pintarakennetta, jonka arvosteluun minimityhjätilaa voitaisiin periaatteessa käyttää. Tähän tarkoitukseen on käytettävissä myös muita menetelmiä kuten silmämääräinen tarkastelu, makrokarkeuden mittaus tai sand-patch -menetelmä.

Tyhjätilan arvostelussa tulisi noudattaa periaatetta, jossa etukäteen suhteituksessa määritetyn tyhjätilan perusteella asetetaan tyhjätilan raja-arvot, johon työssä tulisi pyrkiä. Suhteituksessa on selvitettävä tilavuussuhteiden lisäksi myös massan toiminnalliset ominaisuudet. Asfalttinormeissa mainittuja yleisiä tyhjätilarajoja voitaisiin noudattaa tapauksissa, joista ei ole tehty tarkempaa analyysiä etukäteen.

Kuvassa 15 nähdään suhteellisen tiiveyden merkitys deformaatioon. Suhteellinen tiiveys on koekappaleen tiheyden suhde ICT:llä 406 kierrosta tiivistettyjen näytteiden tiheyteen. Tulosten mukaan päällysteellä tulisi saavuttaa vähintään 98 % tiiveys, jotta deformaatiokestävyys ei olennaisesti heikkenisi. Tulos tarkoittaa käytännössä sitä, että tyhjätilan maksimiarvo saisi olla 2 % korkeampi kuin suhteituskokeissa saavutettu tyhjätila. Luonnollisesti tämä edellyttää lisäksi, että massa on koostumukseltaan suhteituksen mukaista.

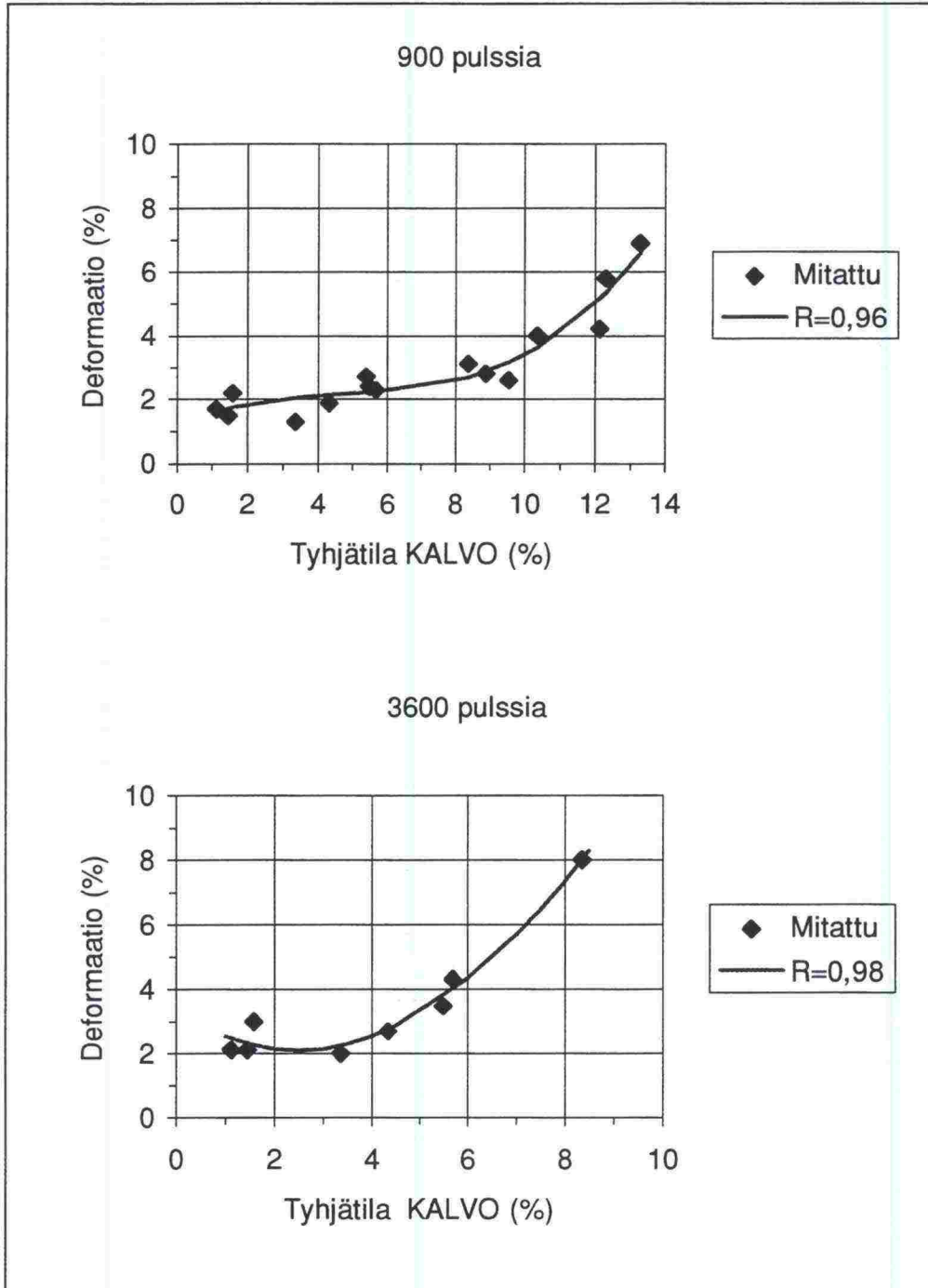


Kuva 11. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys jaksollisen virumiskokeen tuloksiin.

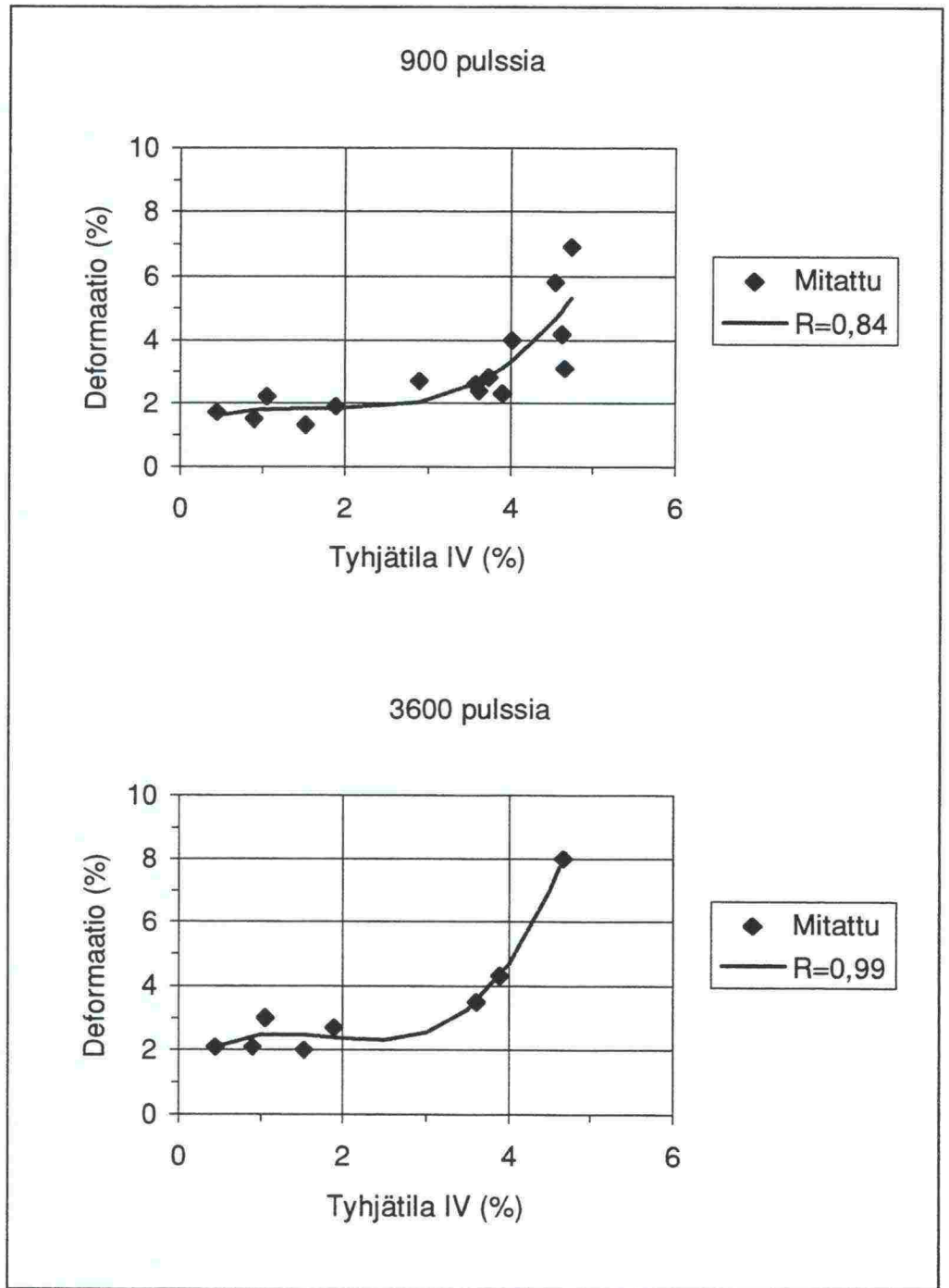


Kuva 12. Ulkomittamenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys jaksollisen virumiskokeen tuloksiin.

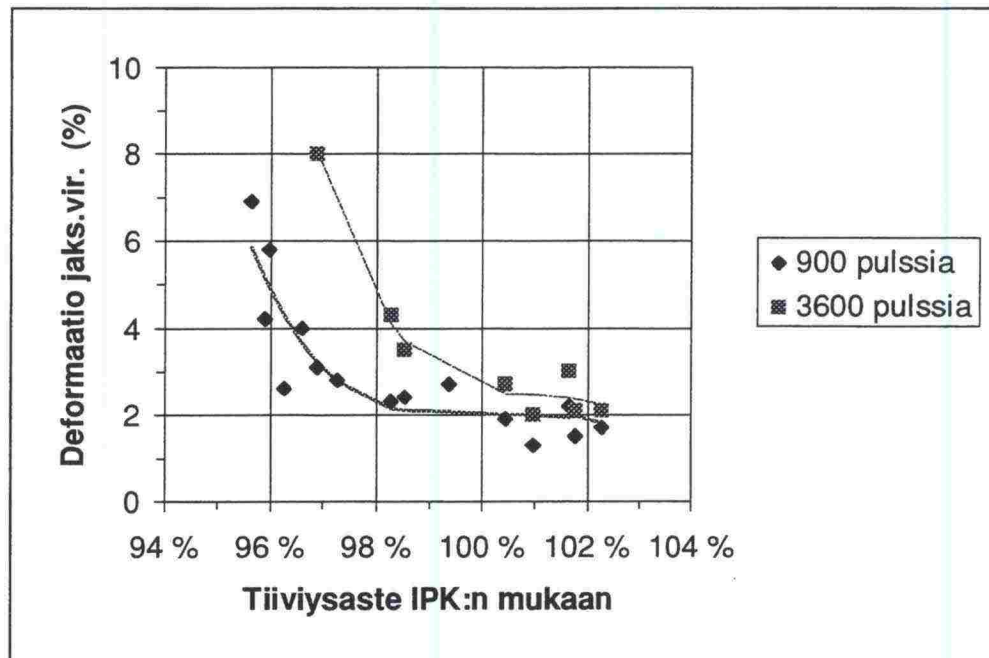




Kuva 13. Kalvomenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys jaksollisen virumiskokeen tuloksiin.



Kuva 14. Ilma-vesipunnitusmenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys jaksollisen virumiskokeen tuloksiin.



Kuva 15. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitattujen tiiviysasteiden suhde jaksollisen virumiskokeen tuloksiin.

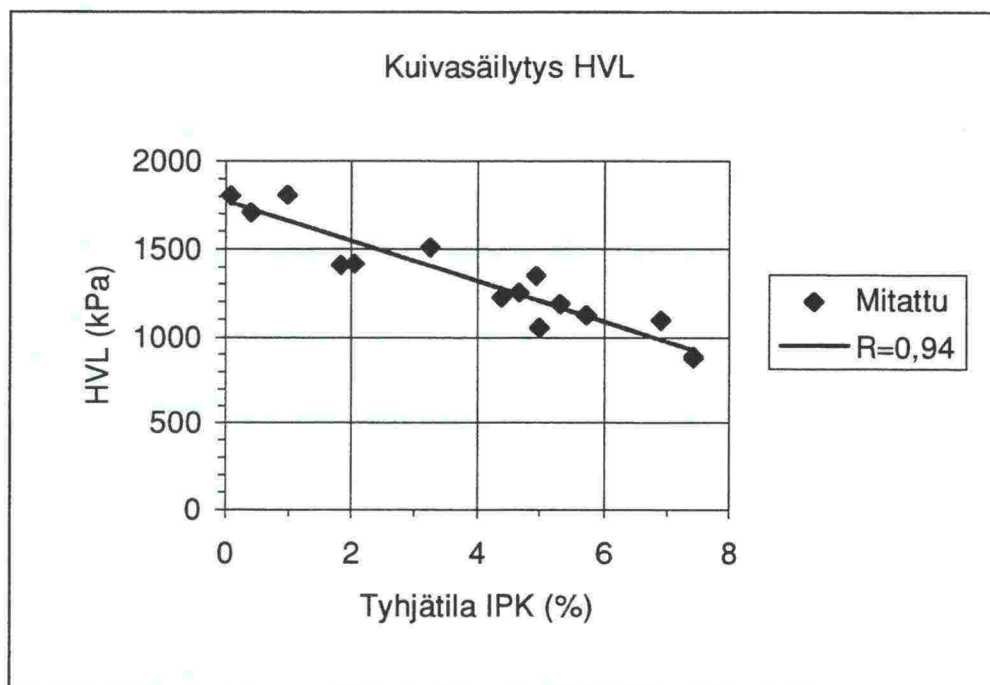
### 4.3 Vedenkestävyys

Tyhjätilan vaikutus koekappaleiden halkaisuvetolujuuteen ja vedenkestävyyteen on ilmeinen. Kuviiin 16-19 on koottu tulokset kuivana säilytetyistä näytteistä tehdyistä halkaisuvetolujuuskokeista suhteessa eri tavoin mitattuihin tyhjätiloihin. Korkeat tyhjätila-arvot tuottavat selvästi heikomman massan kuin tiiviit, mikä oli havaittavissa deformaatiokokeidenkin tuloksista.

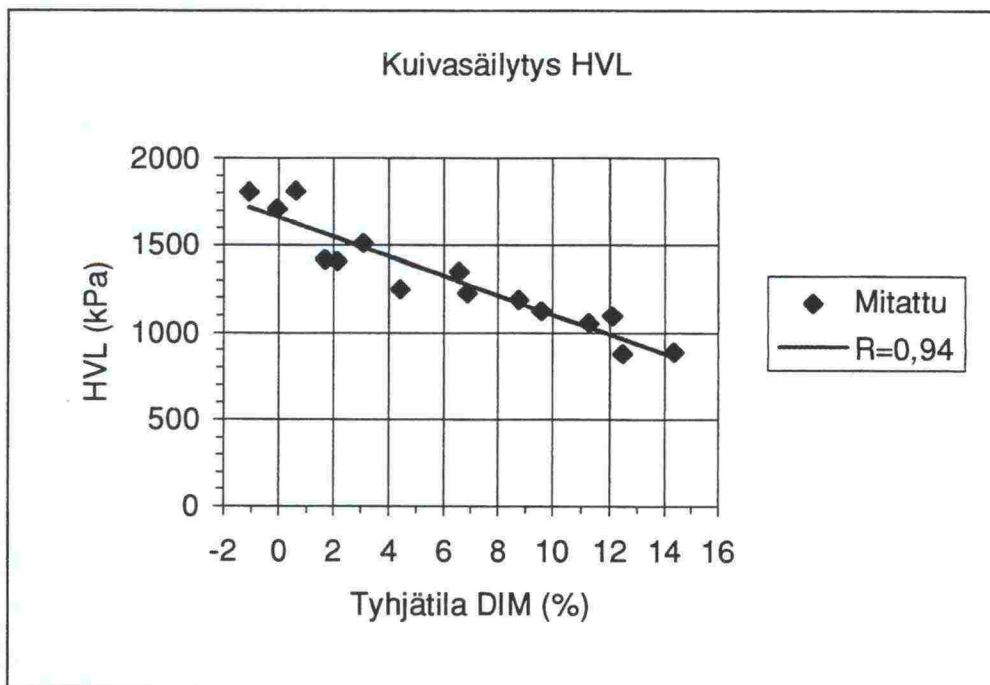
Halkaisuvetolujuudessa ei ole havaittavissa selvää optimikohtaa, vaan tulokset paranevat lineaarisesti tyhjätilan pienetessä. Sopivaa sideainepitoisuutta käytettäessä päällysteen pieni tyhjätila on näiden tulosten mukaan siis eduksi.

Kuvassa 20 on esitetty kaikkien mittaustulosten perusteella lasketut käyrät eri mittaustavoin määriteltujen tyhjätilojen ja halkaisuvetokokeista lasketujen tarttuvuuslukujen yhteydestä. Tulokset on laskettu vedessä säilytettyjen koekappaleiden ja kuivana säilytettyjen koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien regressiosuorien suhteena. Kuvassa 21 on vastaava tarttuvuusluku halkaisujäykkyyksistä laskettuna.

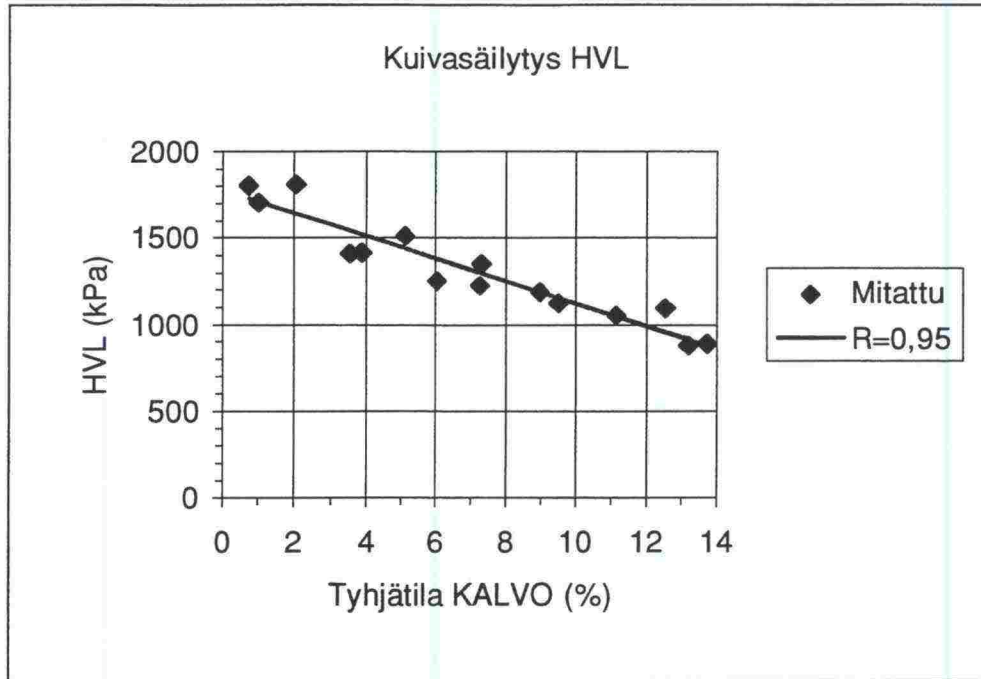
Tuloksista ei ole nähtävissä selvää kohtaa, jossa vedenkestävyys alenisi huomattavasti. Arvot pienenevät tasaisesti tyhjätilan kasvaessa. Kaikilla testatuilla tyhjätila-arvoilla täytettiin kuitenkin Asfalttinormien vedenkestävyysvaatimus 80 %. SMA-massan korkea sideainepitoisuus todennäköisesti lieventää tyhjätilan vaikutusta tulokseen. Tyhjätilan vaikutus korostuu käytettäessä alhaisempia sideainemääriä ja kiviaineksia, joiden tarttuvuusominaisuudet eivät ole kovin hyvät.



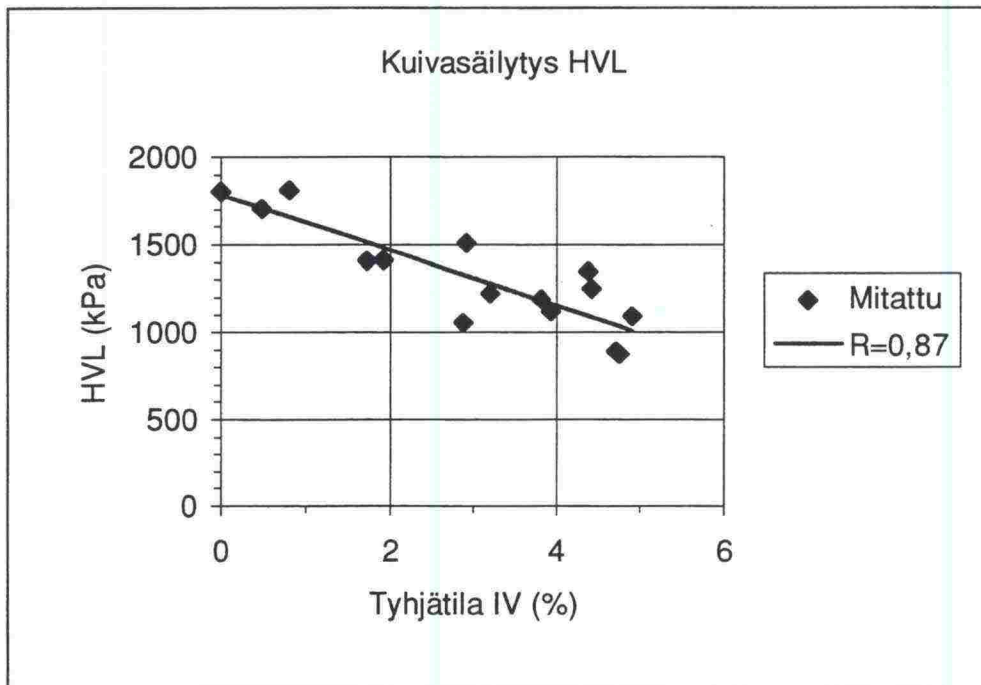
Kuva 16. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetolujuuteen (+10°C).



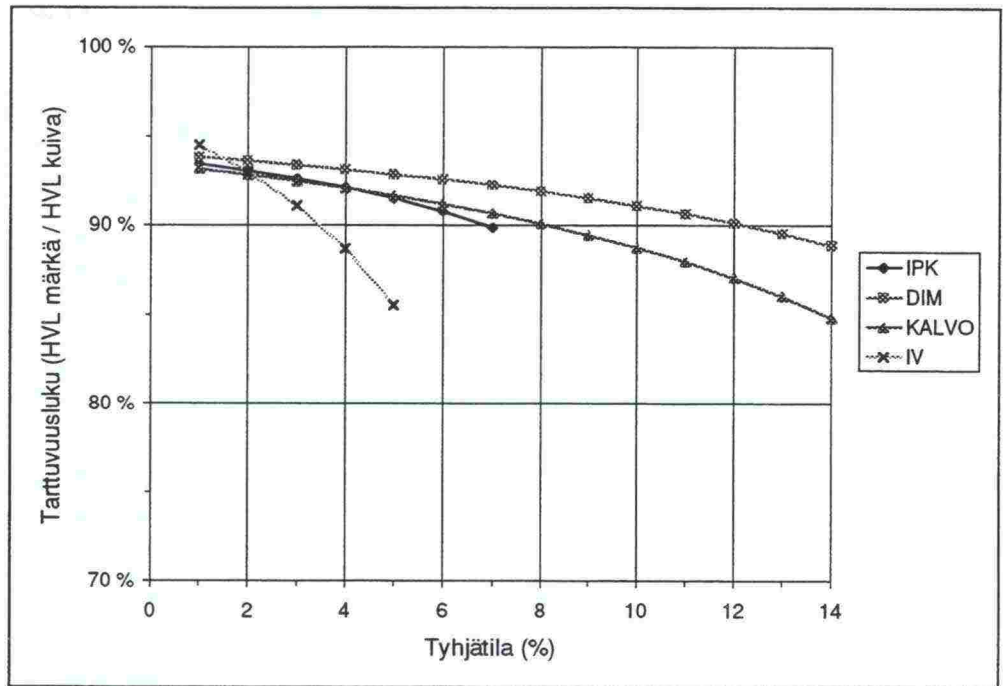
Kuva 17. Ulkomittamenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetolujuuteen (+10°C).



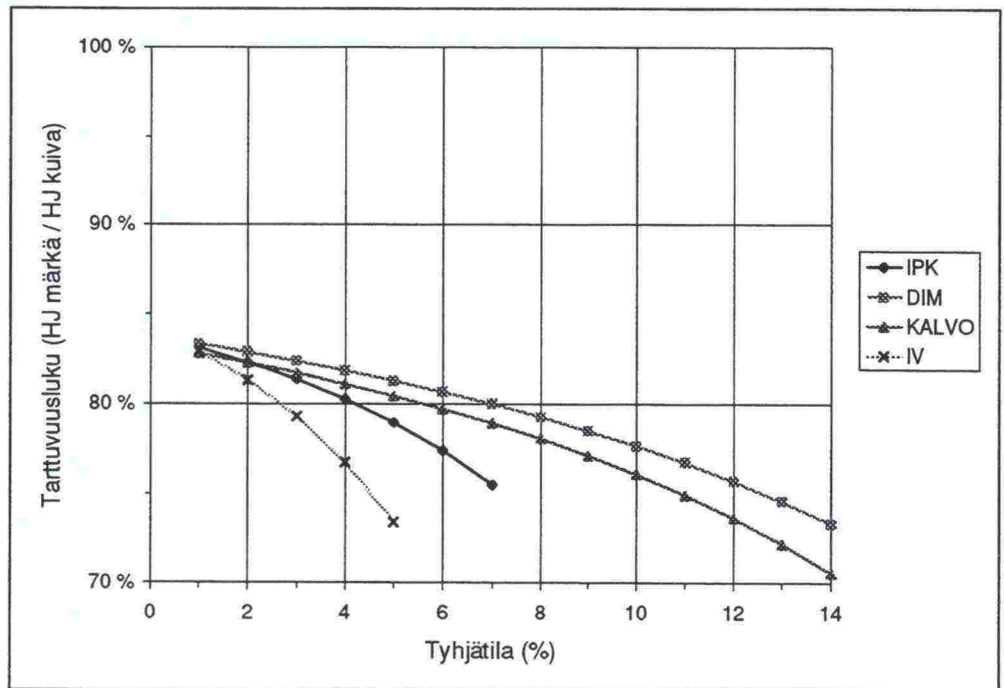
Kuva 18. Kalvomenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetolujuuteen (+10°C).



Kuva 19. Ilma-vesipunnitusmenetelmällä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetolujuuteen (+10°C).



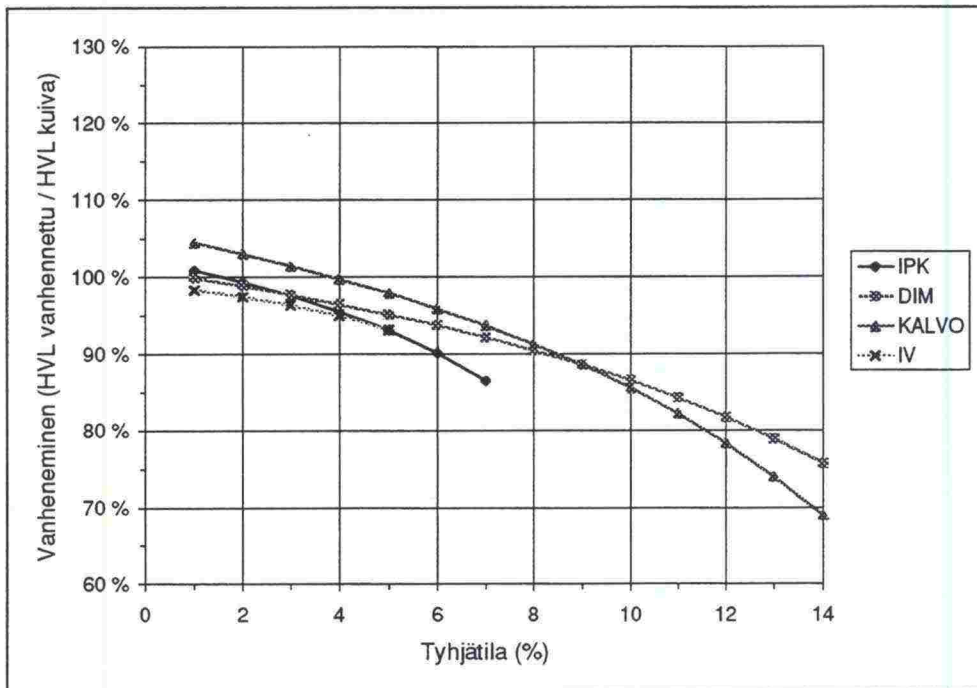
Kuva 20. Eri menetelmillä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetoluukuksista määritettyyn tarttuvuuslukuun.



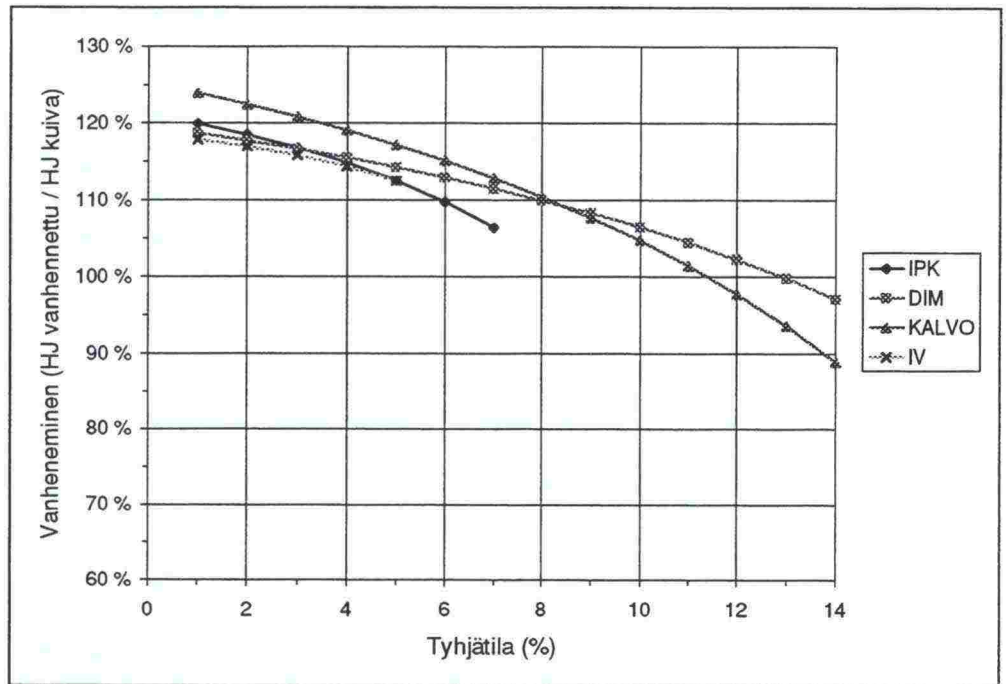
Kuva 21. Eri menetelmillä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisujäykkydestä määritettyyn tarttuvuuslukuun.

#### 4.4 Vanheneminen

Kuten kuviin 22-23 kootuista vanhenemista eri tyhjätiloissa kuvaavista suorista voidaan päätellä, että tyhjätilan kasvaessa päällysteen kestävyys ikääntymistä vastaan heikkenee. Toisin sanoen korkeilla tyhjätila-arvoilla halkaisuvetolujuudet alenevat merkittävästi verrattuna vastaaviin vanhentamattomiin koekappaleisiin. Alhaisissa tyhjätiloissa ei halkaisuvetolujuuden arvo juurikaan muutu. Halkaisujäykkyys sen sijaan kasvaa koko testatulla tyhjätila-alueella, mitä voidaan pitää varsin luonnollisena sideaineen kovettumisen seurauksena. Halkaisuvetolujuus alenee vastaavasti bitumin haurastumisen ja mahdollisen halkeilun myötä. Kuvien 22-23 tulokset on laskettu vanhennettujen ja vanhentamattomien (vedenkestävyysskokeen kuivat näytteet) koekappaleiden halkaisuvetolujuuksien ja -jäykkyyksien regressiosuorien suhteena.



Kuva 22. Eri menetelmillä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisuvetolujuuksista määritettyyn vanhenemiseen.

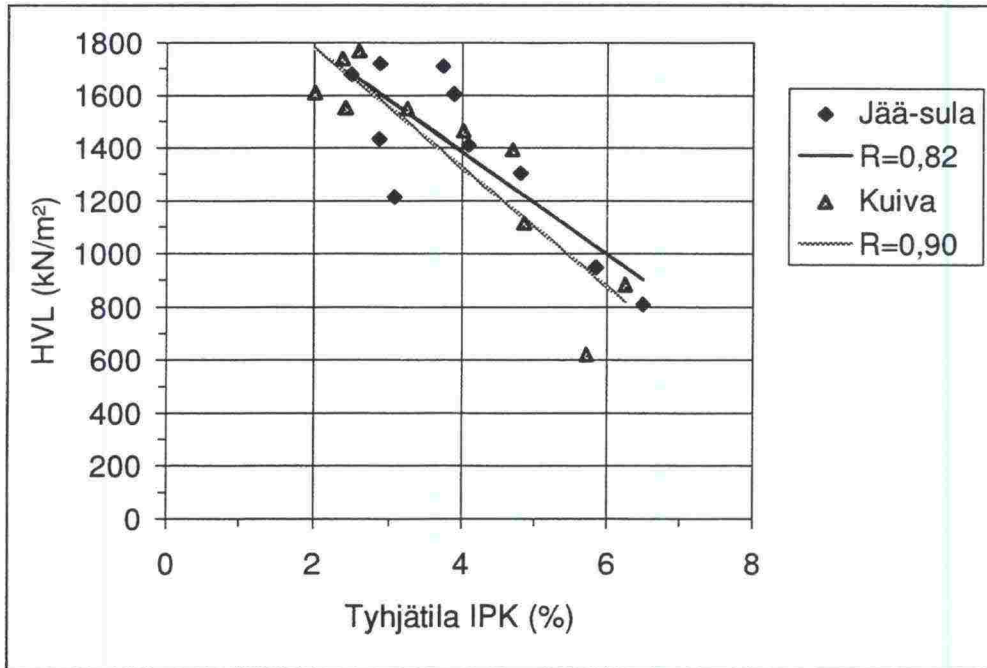


Kuva 23. Eri menetelmillä mitattujen tyhjätilojen yhteys halkaisujäykkyyksistä määritettyyn vanhenemiseen.

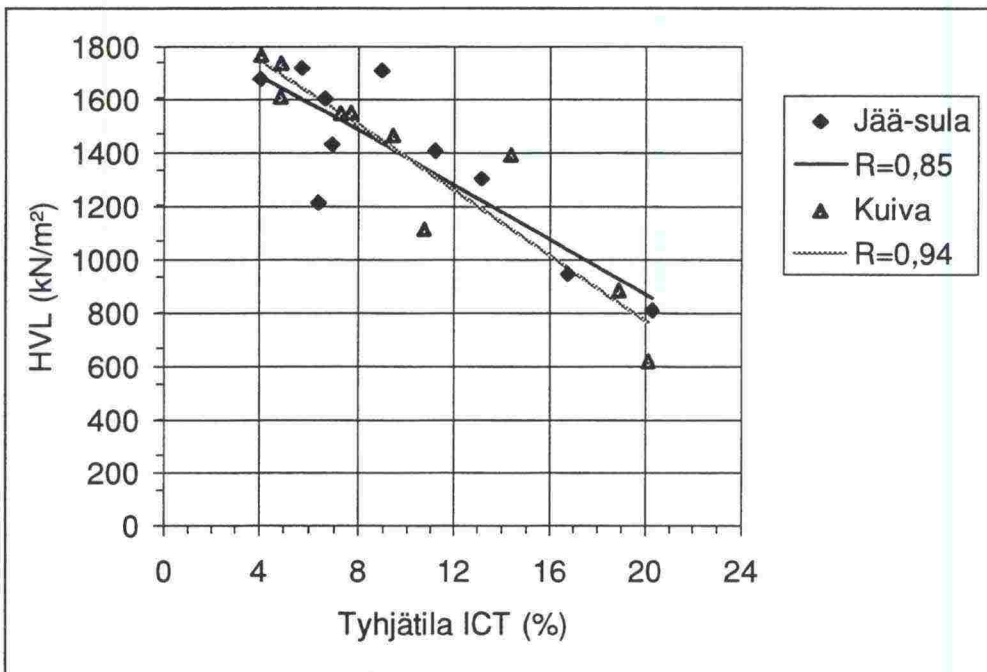
#### 4.5 Säänkestävyys

Säänkestävyytulokset (kuvat 24-27) osoittavat, ettei SMA:n kaltainen massa ole herkkää sään vaihtelulle. Korkea sideainepitoisuus aiheuttaa sen, etteivät kivrakeet irtoa helposti toisistaan. Näytteiden valmistustapakin (ICT) saattaa vaikuttaa tulokseen, sillä esimerkiksi vedenkestävyyskokeissa, joissa vesisäilytysaika oli lyhyempi, tyhjätilalla oli selvä vaikutus. Tähän saattaa olla syynä se, että laattaa tiivistettäessä kivrakeita hajoaa jonkin verran, jolloin näytteisiin syntyy veden vaikutukselle alttiita heikkoja kohtia. ICT:ssä vastaavaa hajoamista tapahtuu hieman vähemmän. Myös porattaessa näytteitä laatasta syntyy heikkouskohtia. Tuloksista voidaan kuitenkin todeta, että ICT:llä ja laatasta valmistettujen kuivina säilytettyjen näytteiden halkaisuvetolujuudet ovat suhteessa tyhjätilaan samalla tasolla.

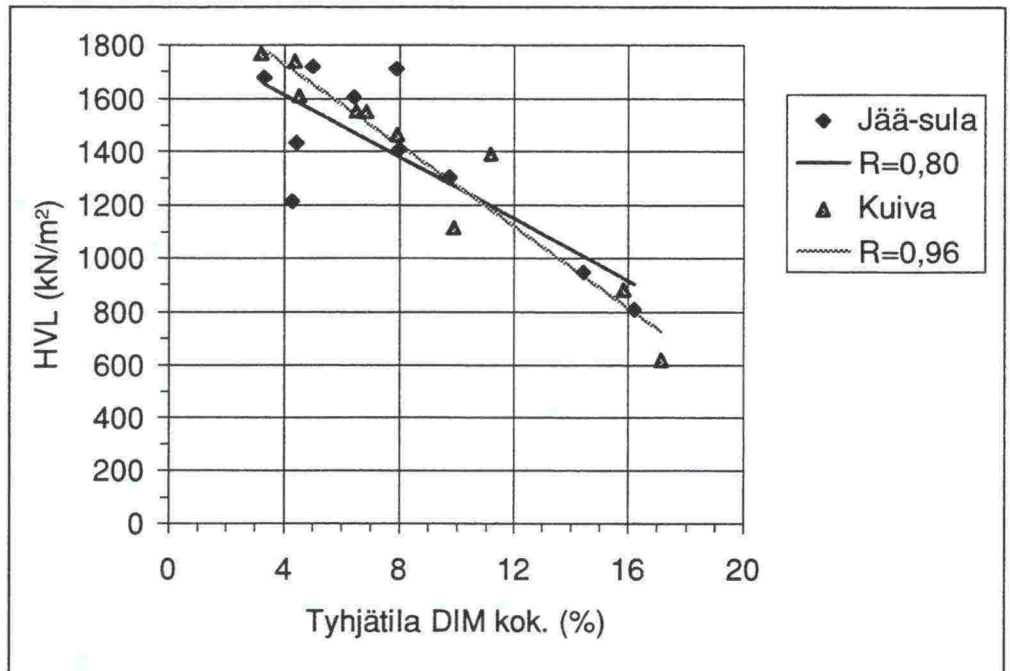




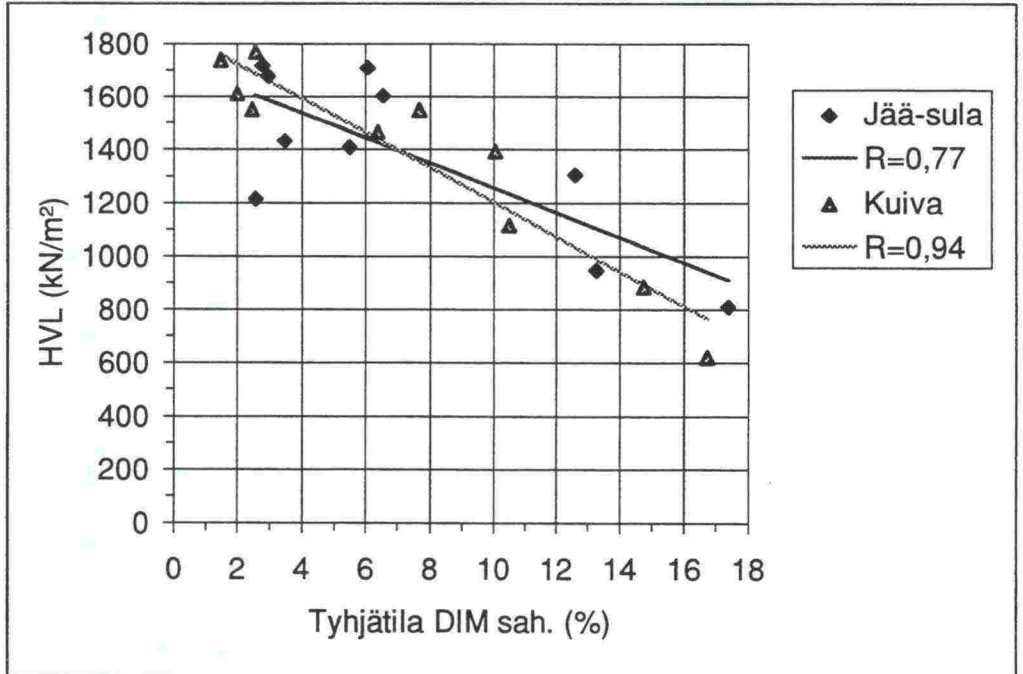
Kuva 24. Imeytys-pintakuivausmenetelmällä määritettyjen tyhjätilojen yhteys jäädytys-sulatuskokeessa ja kuivana olleiden näytteiden halkaisuvetolujuuksiin (+10°C).



Kuva 25. ICT:llä määritettyjen tyhjätilojen yhteys jäädytys-sulatuskokeessa ja kuivana olleiden näytteiden halkaisuvetolujuuksiin (+10°C).



Kuva 26. Ulkomittamenetelmällä kokonaisista näytteistä määritettyjen tyhjätilojen yhteys jäädytys-sulatuskokeessa ja kuivana olleiden näytteiden halkaisuvetolujuuksiin (+10°C).



Kuva 27. Ulkomittamenetelmällä sahatuista näytteistä määritettyjen tyhjätilojen yhteys jäädytys-sulatuskokeessa ja kuivana olleiden näytteiden halkaisuvetolujuuksiin (+10°C).

## 5 YHTEENVETO

Tutkimuksen pääasiallinen tavoite oli päällysteen tyhjätilan yhteyden löytäminen toiminnallisiin ominaisuuksiin. Tulokset osoittavat, että tietyillä ominaisuuksilla on selvä yhteys tyhjätila-arvoihin. Tulosten tarkastelussa on kuitenkin syytä muistaa, että tutkimuksessa on kyseessä karkea SMA 20-massa, joten yleistystä esimerkiksi asfalttibetoneihin ei voida tehdä. Tyhjätilan vaikutus saattaa lisäksi korostua käytettäessä huonompia materiaaleja.

Tyhjätilamittausvertailut osoittavat Tielaitoksen selvityksessä 11/1996 saadut tulokset paikkansa pitäviksi. Imeytys-pintakuivausmenetelmän käyttö on suositeltavin tiheyden ja tyhjätilan määrittäminen normaaleilla SMA-massoilla. Ulkomitta- ja kalvomittausmenetelmien heikkous on niiden vaikeampi toteutus ja siten suurempi virhemahdollisuus. Nämä menetelmät soveltuvat parhaiten rakenteeltaan harvoille massoille sekä erityiskäyttöön.

Tutkimuksessa selvitettyjen näytteiden pintojen tyhjätilat vastaavat sitä arvoa, mikä on kalvomenetelmällä ja imeytys-pintakuivausmenetelmällä mitattujen tyhjätilojen erotus. Toisin sanoen imeytys-pintakuivausmenetelmällä saadaan hyvä kuva päällysteen pintarakenteen alapuolisesta tyhjätilasta kun kalvomenetelmällä mitattu tyhjätila sisältää myös pintarakenteessa olevan tyhjätilan.

Tutkimustulosten mukaan vedenkestävyys- ja vanhenemisominaisuudet heikkenevät tyhjätilan kasvaessa. Tyhjätilalla ei sinänsä havaittu optimaalista arvoa näiden ominaisuuksien suhteen, vaan ominaisuudet heikkenevät lähes suoraviivaisesti tyhjätilan kasvaessa. Myös rakenteellinen lujuus halkaisuvetolujuuden mukaan mitattuna pienenee tyhjätilan kasvaessa. Säänkestävyysskokeessa ei havaittu tyhjätilan vaikutusta, mutta tulokseen saattoi vaikuttaa myös se, että näytteet oli valmistettu ICT-kiertotiivistimellä: kiertotiivistyksessä näytteeseen ei synny halkeamia ja heikkouskohtia vastaavaan tapaan kuin laattaa tiivistettäessä ja näytteitä porattaessa.

Todellisia ongelmia tyhjätilan vaihtelu aiheuttaa deformaatio- tai paremmin alkutiivistymisherkkyudessa, johon tyhjätilan vaikutus on huomattava. Tyhjätilan kasvaessa liian suureksi on tuloksena rakenteeltaan heikko päällyste, joka ei kestä kuormitusta. Deformaatiokestävyyden perusteella tyhjätilan maksimiarvo on selkeintä määritellä. Tyhjätilan maksimiarvon voidaan näin sanoa olevan imeytys-pintakuivausmenetelmällä 4 % ja ulkomitta- / muovikalvomenetelmällä 6 %. Tyhjätilan minimiarvoa ei saatujen tulosten perusteella voitu määritellä.

Varsinaisesti tyhjätilan raja-arvojen asettamiselle on perusteena oltava suhteituksessa saatu tiiviys eli mitoitustyhjätila, johon päällystystyössä tulisi pyrkiä. Tutkitussa tapauksessa tavoitetiheyden tulisi olla vähintään 98 % suhteituksessa ilmoitetusta arvosta eli tyhjätila saisi olla 2 % mitoitustyhjätilaa korkeampi. Massan koostumuksen tulee kuitenkin olla reseptin mukainen, jotta tätä arvostelua voidaan soveltaa. Minimityhjätilarajan käyttö on perusteltua, jos massaa ei ole suhteitettu ja testattu asianmukaisesti. SMA-massoilla tyhjätilan minimiarvo on toki siinä mielessä arvostelukriteeri, että päällysteen pintarakenne ei saa olla liian bituminen.

## 6 LÄHTEET

Asfalttinormit 1995. PANK ry. Helsinki 1995.

Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittausmenetelmien vertailu. Tielaitoksen selvityksiä 11/1996. TIEL 3200380. Tielaitos, Helsinki 1996.

PANK 2110: Kiviainekset, rapautumisalttius, jäädytys-sulatuskoe. Luonnos 1/1.3.1996.

PANK 4108: Asfalttimassan tiheys, laskennallinen menetelmä. Hyväksytty 30.1.1995.

PANK 4109: Asfalttimassan tiheys, Ricen menetelmä. Hyväksytty 16.1.1995.

PANK 4110: Asfalttipäällyste tiheys, ilma-vesipunnitusmenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

PANK 4111: Asfalttipäällyste tiheys, ulkomittamenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

PANK 4112: Asfalttipäällyste tiheys, imeytys-pintakuivausmenetelmä. Hyväksytty 4.5.1995.

PANK 4113: Asfalttipäällyste tiheys, DOR-menetelmä. Hyväksytty 23.5.1995.

PANK 4114: Asfalttipäällyste, tyhjätila ja tilavuussuhteet. Hyväksytty 23.5.1995.

PANK 4208: Asfalttipäällyste, jaksollinen virumiskoe. Hyväksytty 4.5.1995.

prEN 1367-1: Determination of resistance to freezing and thawing. Tests for thermal and weathering properties of aggregates. European standard. Draft, November 1993.

prEN 227111: Determination of the bulk density of bituminous specimens. Testing bituminous materials. European standard. Third WG1-draft, April 1995.

TIE 407 (VTT 3207-87): Vedenkestävyys, halkaisuvetolujuuskoe. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo 1987.

**Tilaaaja: Tielaitos / Kehittämiskeskus**

**Kohde: Tyhjätilan vaikutus asfalttipäällysteen ominaisuuksiin**

**Massa: SMA 20**

**Sideaine: B-65 6,5 %**

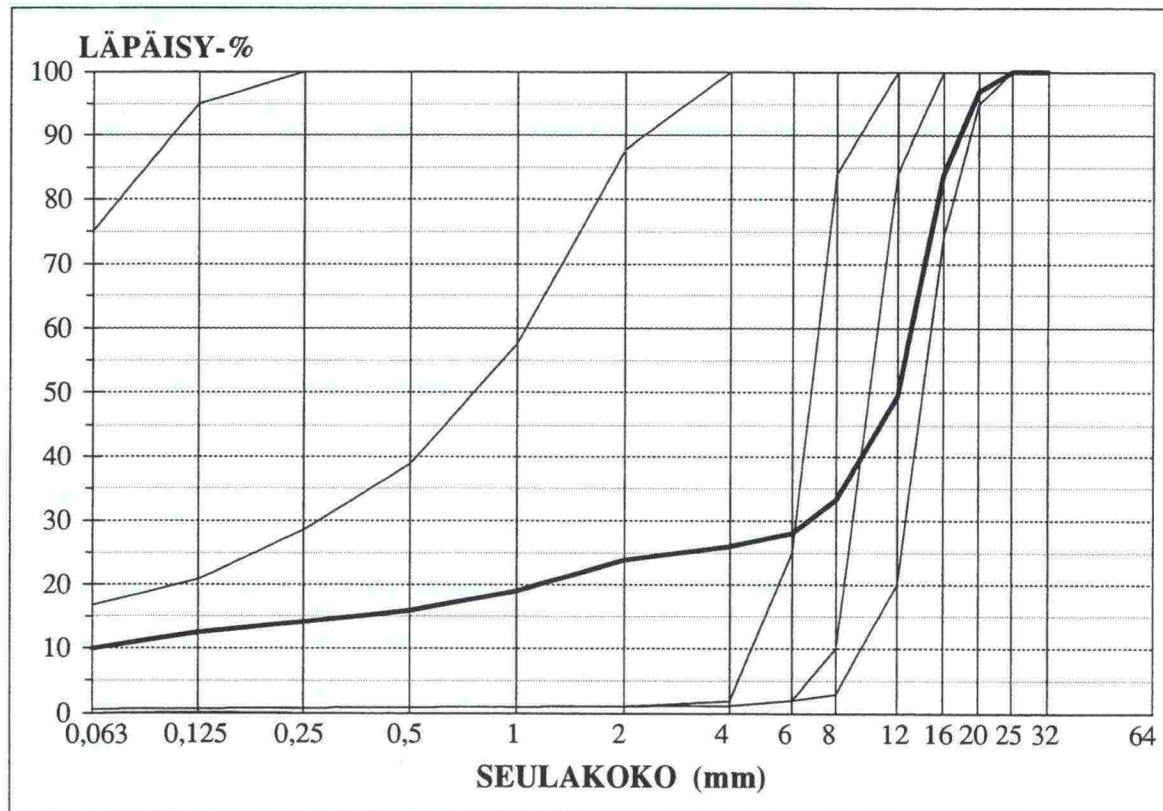
**Täytejauhe: Kalkkifilleri**

**Lisäaineet: Arbocel-kuitu 0,4 %**

**Kiviaines: Koskenkylä KaM 0-2, 5-8, 8-12 ja 12-18 mm**

**Muuta:**

**Massan tiheys:**



**Tiheydet:** 2732      2750      2730      2730      2730      2730  
**Seososuudet:** 100,0 %    9,0 %    16,0 %    7,0 %    6,0 %           62,0 %

Seula	Massa	KF	0-2	5-8	8-12	12-18
0,063	9,9	75	16,7	0,6	0,6	0,6
0,125	12,4	95	20,8	0,7	0,7	0,7
0,25	14,2	100	28,6	0,8	0,8	0,8
0,5	15,9	100	38,8	0,9	0,9	0,9
1	19,0	100	57,5	1	1	1
2	23,9	100	87,7	1,1	1,1	1,1
4	25,9	100	100	1,9	1,2	1,2
6	28,1	100	100	25	2	2
8	33,3	100	100	84	10	3
12	49,4	100	100	100	84	20
16	83,9	100	100	100	100	74
20	96,9	100	100	100	100	95
25	100,0	100	100	100	100	100
32	100,0	100	100	100	100	100

## Laatoista poratuista näytteistä mitatut tyhjätilat

Laatta	Näyte	Imeytys- pinta- kuivaus (%)	Ulkomitta- menetelmä (%)	Kalvo- menetelmä (%)	Ilma-vesi- punnitus (%)
A	1	3,2	3,1	5,4	2,9
	2	1,9	1,1	3,9	1,6
	3	0,9	0,6	2,1	0,9
	4	1,8	2,1	3,5	1,7
	5	2,8	3,4	4,5	2,4
	6	1,7	1,3	3,4	1,5
	7	1,3	0,4	2,9	1,1
	8	2,0	1,7	3,9	1,9
	9	3,9	5,3	6,4	3,1
	10	3,2	3,1	5,1	2,9
	11	2,2	3,3	4,3	1,9
	12	3,3	2,8	5,3	3,1
B	1	6,9	13,8	13,3	4,8
	2	7,1	12,2	11,9	5,0
	3	7,4	12,6	11,2	4,9
	4	7,4	14,4	13,7	4,7
	5	6,6	12,7	12,3	4,8
	6	6,6	12,2	12,1	4,6
	7	6,7	11,8	11,3	4,7
	8	6,9	12,1	12,5	4,9
	9	7,0	14,1	13,2	4,7
	10	7,4	12,4	13,2	4,8
	11	6,5	12,8	12,3	4,5
	12	7,8	14,1	13,7	5,7
C	1	5,9	10,4	10,4	4,0
	2	6,0	7,8	9,3	4,3
	3	7,0	8,8	7,5	3,9
	4	5,3	8,8	9,0	3,8
	5	6,3	12,4	12,3	3,9
	6	6,3	12,5	9,5	3,6
	7	5,8	10,8	10,5	3,7

## Laatoista poratuista näytteistä mitatut tyhjätilat

Laatta	Näyte	Imeytys- pinta- kuivaus (%)	Ulkomitta- menetelmä (%)	Kalvo- menetelmä (%)	Ilma-vesi- punnitus (%)
	8	5,7	9,6	9,5	3,9
	9	5,8	13,3	12,8	3,0
	10	5,0	11,3	11,2	2,9
	11	5,3	9,3	8,9	3,7
	12	5,0	11,2	10,7	2,8
D	1	4,3	5,5	5,7	3,9
	2	4,4	4,4	6,5	4,0
	3	3,5	5,3	5,5	3,2
	4	5,0	6,6	7,3	4,4
	5	4,1	4,7	5,4	3,7
	6	4,1	4,7	5,5	3,6
	7	4,6	5,2	6,4	4,1
	8	4,7	4,4	6,0	4,4
	9	4,8	6,3	7,3	3,9
	10	4,4	6,9	7,3	3,2
	11	5,6	7,7	8,4	4,7
	12	4,8	5,0	6,5	4,5
E	1	1,0	0,2	1,6	1,1
	2	0,4	-0,1	1,1	0,4
	3	0,2	-0,4	1,1	0,2
	4	0,4	-0,1	1,0	0,5
	5	1,1	-0,1	1,7	1,1
	6	0,4	-0,6	1,1	0,4
	7	0,3	-0,3	1,1	0,3
	8	0,1	-1,1	0,7	0,0
	9	1,9	1,4	2,5	1,8
	10	1,0	0,6	2,1	0,8
	11	0,9	-0,4	1,5	0,9
	12	0,3	-0,1	1,0	0,4

## ICT-näytteistä mitatut tyhjätilat

Kierrosmäärä	Imeytys- pinta- kuivaus (%)	Ulkomitta- menetelmä (koko) (%)	Ulkomitta- menetelmä (sahattu) (%)	ICT- mittaus (%)
5	6,5	16,2	17,4	20,3
5	5,7	17,2	16,7	20,1
10	5,9	14,4	13,3	16,7
10	6,2	15,8	14,8	18,9
20	4,8	9,7	12,6	13,2
20	4,7	11,2	10,1	14,4
40	4,1	8,0	5,5	11,2
40	4,9	9,9	10,5	10,7
81	3,7	7,9	6,1	9,0
81	4,0	7,9	6,4	9,4
161	3,1	4,3	2,6	6,4
161	2,4	6,5	2,5	7,7
323	2,5	3,3	3,0	4,0
323	3,2	6,9	7,7	7,3
406	2,9	5,0	2,8	5,7
406	2,4	4,4	1,5	4,9
567	2,9	4,4	3,5	6,9
567	2,0	4,5	2,0	4,9
812	3,9	6,4	6,5	6,6
812	2,6	3,2	2,6	4,1



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 37/1996 Koerakennekohteiden materiaalien routakestävyys; Pohjoiset kohteet  
TIEL 3200405
- 38/1996 Rakenneratkaisujen alustava suunnittelu ja kehittäminen. TIEL 3200406
- 39/1996 Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka. TIEL 3200407
- 40/1996 Suurten liikennehankkeiden vaikutus kaupunkien kehitykseen. TIEL 3200408
- 41/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - maisema. TIEL 3200409
- 42/1996 Yleisten teiden ympäristön tila; Tiepiirien tilaselvitysten yhteenveto.  
TIEL 3200410
- 43/1996 Tielaitoksen ympäristöraportti 1995; Vuosiraportti Tielaitoksen toiminnan  
ympäristönäkökohdista. TIEL 3200411
- 44/1996 Sitomattomien materiaalien moduulit; Muutosmoduulin arviointi karkea-  
rakeisilla kiviaineksilla, Osa 2. TIEL 3200412
- 45/1996 Eurooppatie E18-hankkeen ympäristöpoliittinen analyysi. TIEL 3200413
- 46/1996 LD-teräskuona tienrakennusmateriaalina. TIEL 3200414
- 47/1996 Kaksikaistaiset kiertoliittymät. TIEL 3200415
- 48/1996 Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajokäyttäytymiseen. TIEL 3200416
- 49/1996 Tienpidon ympäristöhaasteet ja Tielaitoksen toimintalinjat; Tielaitoksen  
ympäristövuoden juhlaseminaari. TIEL 3200417
- 50/1996 Suomen, Ruotsin ja Norjan liikenneturvallisuuden vertailu. TIEL 3200418
- 51/1996 Autoton kaupunki? Maankäytön ja liikenteen selvityksiä. TIEL 3200419
- 52/1996 Elinkeinoelämän tiekuljetukset Suomessa. TIEL 3200420
- 53/1996 Erikoiskovabitumistabilointikokeilut. TIEL 3200421
- 54/1996 E18 suunnitteluperiaatteiden kehittäminen; Tiemiljö. TIEL 3200422
- 55/1996 E18 suunnitteluperiaatteiden kehittäminen; Liikenteenohjaus. TIEL 3200423
- 56/1996 E18 suunnitteluperiaatteiden kehittäminen; Tienvarsipalvelut. TIEL 3200424
- 57/1996 Kiviaineksen raemuodon vaikutus päällystekiviaineksen kulutuskestävyyteen.  
TIEL 3200425
- 58/1996 En jämförelse av trafiksäkerheten i Finland, Sverige och Norge. TIEL 3200418R
- 59/1996 Kestävä kehitys alueellisessa kehittämistyössä. TIEL 3200426
- 60/1996 Kevyen liikenteen väylien kuntoluokitusjärjestelmä. TIEL 3200427
- 61/1996 Kokemuksia liikennesektorin eurooppalaisista strategioista. TIEL 3200428
- 62/1996 Kuhmon taajamatien parantaminen; Yhteenveto seurannasta. TIEL 3200429