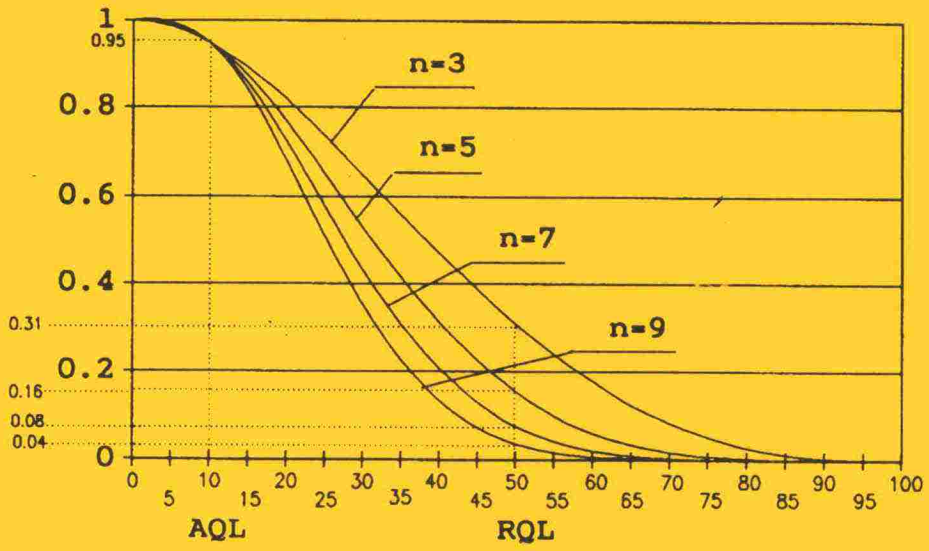
Tielaitos

Laadunvalvonta

Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 3

Tielaitoksen aineiston analyysi
Otoskoot



Valvonta ja laadunvalvonta

Helsinki 1991

Tiehallitus

Laadunvalvonta

Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 3

Tielaitoksen aineiston analyysi
Otoskoot

Tielaitos
Tiehallitus

Helsinki 1991

2. painos
ISBN 951-47-5009-8
TIEL 2223515
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1991

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI

Tiehallitus, To:Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 3. Helsinki 1991, Tiehallitus. Tuotantoa ohjaavat julkaisut, 43 s. +liitt. 4 s, ISBN 951-47-5009-X, TIEL 2223515

Asiasanat tienrakentaminen, tilastolliset menetelmät, muuttujatarkastus, ominaisuustarkastus

TIIVISTELMÄ

Eräiden tierakentamisen laatumuuttujien jakaumatyyppien selvittämiseksi analysoitiin tilastollisia menetelmiä käyttäen tielaitoksen piirien sitomattomien kerrosten kantavuus- ja tiiviysmittauksia vuosilta 1987- 1988 sekä VTT:n tielaitoksen töistä tutkimia poranäytteitä vuodelta 1988. Analyysin tuloksena voitiin määritellä eri laatumuuttujille soveltuva tarkastustyyppi. Normaalijakautuneita laatumuuttujia olivat

- eri kerrosten kantavuudet
- korkeusasema.

Näille laatumuuttujille suositellaan ns. **muuttujatarkastusta** ja erityisesti **M-menetelmää**, joka soveltuu tapauksiin, joissa keskiarvo ja keskihajonta ovat ennalta tuntemattomia.

Selvästi normaalijakaumasta poikkeava laatumuuttuja oli päällysteen tyhjätila. Tällöin voidaan soveltaa **ominaisuustarkastusta**, jossa tarkasteltava näyteyksilö on joko kelvollinen tai kelvoton. Ominaisuustarkastus on periaatteiltaan yksinkertaisempi kuin muuttujatarkastus, mutta tehottomampi. Ominaisuustarkastusta voidaan soveltaa kaikille tilastollisesti arvosteltaville laatumuuttujille.

Sellaisia laatumuuttujia, joiden normaalisuus tai siitä poikkeavuus jäi epäselväksi, olivat

- eri kerrosten tiiviydet
- päällysteen bitumipitoisuus poranäytteistä mitattuna (huom! bitumipitoisuus mitataan yleensä massanäytteistä, joten analyysi oli tässä mielessä tarpeeton).

Näiden laatumuuttujien arvosteluun voidaan kuitenkin soveltaa ominaisuustarkastusta.

Teknisiin laatuvaatimuksiin ei tässä tutkimuksessa puututtu. Sen sijaan määriteltiin kummallekin tarkastustyypille sopiva **laatutavoite**. Laatutavoite määritellään hyväksyttävänä ja hylättävänä laatutasona, joita ilmaisevat

- AQL (Acceptable Quality Level)
  = sallittu kelvottoman materiaalin osuus, jolla materiaalierä hyväksytään
- RQL (Rejectable Quality Level)
  = se kelvottoman materiaalin osuus, jolla erä hylätään.

Laatutavoitteeseen liittyvät vielä urakoitsijan riski (α) ja rakennuttajan riski (β). Nämä riskit tulee määritellä hyväksyttävälle tasolle, jolloin saadaan annetut ehdot täyttävä tarkastus- eli näytteenottosuunnitelma. Näyt-

teenottosuunnitelmassa ilmoitetaan otoskoko (n) ja laatutavoite (AQL, RQL).
Kantavuuksille (ja M-menetelmälle yleensä) suositellaan tarkastussuunnitelmaa, jossa

- otoskoko n = 5 - 8
- AQL = 5 % - 10 %
- RQL = 40 % - 50 %.

Päällysteen tyhjätilalle (ja omainaisuustarkastukselle yleensä) esitetään tarkastussuunnitelmaa, jossa

- otoskoko n = 7 - 10, hyväksymisluku c $\leq$ 3
- AQL = 5 % - 10 %
- RQL = 40 % - 50 %.

Hyväksymisluku c ilmoittaa suurimman sallitun laatuvaatimusten ulkopuolelle jäävien näyteyksilöiden (testitulosten) lukumäärän otoksessa.

Sisältö

1 JOHDANTO 7

2 TUTKIMUSMETODI 9

2.1 Aineisto 9
2.11 Aineiston koostumus 9
2.12 Aineiston ryhmittely 9
2.13 Käytetyt mittausmenetelmät 9
2.2 Tulosten esitystapa 10
2.21 Koko maa 10
2.211 Lasketut tunnusluvut 10
2.212 Kuvat 11
2.213 Luettelo käytetyistä merkinnöistä 11
2.22 Hankekohtainen analyysi 12
2.221 Yleistä 12
2.222 Tavoite 12
2.223 Vertailu tilastollisen kelpoisuuden toteamisen soveltuvuudelle 12

3 TUTKIMUSTULOKSET 14

3.1 Koko maa 14
3.11 Graafiset esitykset 14
3.12 Tulosten kommentointi 26
3.121 Kantavuus 26
3.122 Tiiviys 26
3.123 Päällysteen bitumipitoisuus 26
3.124 Päällysteen tyhjätila 26
3.125 Korkeusasema, kantava kerros 26
3.2 Hankekohtaisen analyysin tulokset 27
3.21 Kantavuus 27
3.211 Yleistä 27
3.212 Vertailu tilastollisen kelpoisuuden toteamisen soveltuvuudelle - tulokset 28
3.23 Päällysteen tyhjätila 30
3.3 Tutkimustulosten yhteenveto 31
3.31 Kelpoisuuden toteaminen - tarkastustyyppi 31
3.32 Laatuvaatimukset 31

4 VAIHTOEHTOTARKASTELUJA 33

4.1 Yleistä 33
4.2 Simulaatioita 34

4.21 Esimerkkitapaus 1 - kantavuus 34
4.22 Esimerkkitapaus 2 - päällysteen tyhjätila 37

4.3 Johtopäätökset 39
4.4 Arvonmuutosmenettelyistä 40

5 SUOSITUKSET 42

KIRJALLISUUSLUETTELO 43

LIITTEET 44

1 JOHDANTO

Finnmap Oy on tie- ja vesirakennushallituksen (nykyisen tiehallituksen) toimeksiannosta tutkinut **laatuvastuurakentamista** (LVR). LVR:ssä sovelletaan laadunvarmistusjärjestelmää, jonka pääpiirteet ovat syntyneet muilla teollisuusaloilla 40...60-luvuilla. LVR:n pääpiirteet voidaan kirjata seuraavasti:

1 Urakoitsija (tuottaja) vastaa täysin tuotantonsa **laadunohjauksesta ja toteutuneesta laadusta.** Tällöin urakoitsija voi valita mieleisensä teknisen toteutustavan ja suunnitella vapaasti resurssien käytön.

2 Rakennuttaja (tilaaja) **toteaa urakoitsijan suoritteen kelpoisuuden.** Tällöin rakennuttaja varmistaa vastaanottavansa vaatimustensa mukaisen tuotteen.

LVR:ään liittyy myös tilastomatematiikan voimakas soveltaminen sekä laadunohjaukseen että kelpoisuuden toteamiseen.

Kelpoisuuden toteamisessa oikean hyväksymistarkastustyypin valinta riippuu tarkasteltavan laatumuuttujan jakaumatyypistä. Normaalijakautuneiden laatumuuttujien arvosteluun käytetään **muuttujatarkastusta**. Muilla tavoin jakautuneille suureille voidaan soveltaa **ominaisuustarkastusta**. Jakautumatyyppi voidaan selvittää historiallisen aineiston analyysillä.

Tilastollisten menetelmien selvitystyön tuloksena on laadittu kolme raporttia:

1. osaraportti: Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 1 - Perusteet/ Kelpoisuuden toteaminen.

2. osaraportti: Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 2 - Tilastollinen laadunohjaus.

3. osaraportti: Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 3 - Tielaitoksen aineiston analyysi/Otoskoot.

Tämä kolmas osaraportti sisältää:

- Tielaitoksen aineiston analyysin
- otoskoon vaihtoehtotarkasteluja.

Projektiryhmä koostui seuraavista henkilöistä:

Rasilainen, Matti-Pekka	tiehallitus
Huomo, Ari	tiehallitus
Orama, Reijo	tiehallitus
Kallionpää, Tuomo	tiehallitus
Schröder, Pertti	Finnmap Oy
Leviäkangas, Pekka	Finnmap Oy
Koljonen, Juha	Finnmap Oy

Työn käytännön toteutuksesta 3. osaraportin osalta ovat vastanneet dipl. ins. Pekka Leviäkangas ja fil.kand. Juha Koljonen.

2 TUTKIMUSMETODI

2.1 Aineisto

2.11 Aineiston koostumus

Aineisto koostui tielaitoksen piirien sitomattomien kerrosten kantavuus- ja tiiviysmittaustuloksista vuosilta 1987 - 1988 sekä VTT:n tielaitoksen töistä tutkimista poranäytteistä vuodelta 1988. Kaikki tielaitoksen piirit sisältyivät tarkasteluun.

Virheellisiä tai epäselviä mittaustuloksia ei kelpuutettu tarkasteluun.

Tarkasteltavia laatumuuttujia olivat:

- eri kerrosten kantavuudet
- eri kerrosten tiiviydet
- päällysteen bitumipitoisuus
- päällysteen tyhjätila
- kantavan kerroksen korkeusasema

Mittaustulokset sisälsivät myös rakeisuusmittauksia, mutta näiden osalta aineisto oli liian vähäinen.

2.12 Aineiston ryhmittely

Aineisto ryhmiteltiin kahdessa vaiheessa:

1. Koko maan kattava aineisto ryhmiteltiin kunkin laatumuuttujan osalta.

2. Aineisto ryhmiteltiin hankekohtaisesti kunkin laatumuuttujan osalta.

Hankekohtaiseen analyysiin kelpuutettiin ainoastaan kantavuusmittauksia ja tyhjätilan arvoja, koska muiden laatumuuttujien mittaustuloksia oli tällä tavoin tarkasteltuna liian vähän.

2.13 Käytetyt mittausmenetelmät

Eri mittausmenetelmillä ja -laitteilla (Troxler- ja Proctor-menenetelmät) mitattuja tuloksia ei ollut mahdollista erotella aineistosta. Käytäntö on kuitenkin suhteellisen yhtenäinen koko maassa, joten merkittävää virhettä tämän ei oletettu aiheuttavan.

Pääsääntöisesti käytetyt mittausmenetelmät eri laatumuuttujille on lueteltu alla

LAATUMUUTTUJA	MITTAUSMENETELMÄ
kantavuus	levykuormitus
tiiviysaste	parannettu Proctor
päällysteen bitumipitoisuus	massanäyte*)
päällysteen tyhjätila	poranäyte
korkeusasema	vaaitus

*) Tutkimusaineiston päällysteen bitumipitoisuusmittaukset olivat peräisin poranäytteistä.

2.2 Tulosten esitystapa

2.21 Koko maa

2.211 Lasketut tunnusluvut

Kustakin laatumuuttujasta laskettiin molemmilla tarkastelutasoilla (koko maa/hanke) seuraavat tilastolliset tunnusluvut:

- keskiarvo $\bar{x}$
- keskihajonta s
- pienin mittaustulos x_{min}
- suurin mittaustulos x_{max}
- vaihteluväli R (= x_{max} - x_{min}).

Lisäksi laskettiin seuraavat laatua kuvaavat tunnusluvut:

- minimivaatimuksen L täyttävä havaittu suhteellinen osuus, merkitään PWL_{hav}
- minimivaatimuksen L täyttävä teoreettinen suhteellinen osuus, merkitään PWL_{teor}
- tyhjätilan osalta toleranssirajojen L ja U väliin jäävä havaittu ja teoreettinen suhteellinen osuus, PWL_{hav} ja PWL_{teor}.

Keskiarvovaatimuksen täyttymisen voi luonnollisesti todeta vertailemalla pienintä sallittua keskimääräistä arvoa $\bar{x}_L$ ja toteutunutta keskiarvoa $\bar{x}$.

2.212 Kuvat

Kustakin laatumuuttujasta on piirretty mittaustulosten jakauman mukainen histogrammi ja teoreettinen normaalijakaumakäyrä. Lisäksi on laskettu todelliset ja teoreettiset suhteelliset kumulatiiviset frekvenssit. Näin on saatu toisenlainen visuaalinen havainnollistus.

Jakauman muotoa, tunnuslukuja tms. on kommentoitu lyhyesti kuvien alla.

2.213 Luettelo käytetyistä merkinnöistä

$\bar{x}_L$	=	laatuvaatimusten mukainen pienin sallittu mittaustulosten keskimääräinen arvo
L	=	laatuvaatimusten mukainen pienin sallittu yksittäisen mittaustuloksen arvo
U	=	laatuvaatimusten mukainen suurin sallittu yksittäisen mittaustuloksen arvo
$\bar{x}$	=	mittaustulosten keskiarvo
s	=	mittaustulosten keskihajonta
x_{max}	=	suurin yksittäinen mittaustulos
x_{min}	=	pienin yksittäinen mittaustulos
R	=	mittaustulosten vaihteluväli ($= x_{max} - x_{min}$)
PWL_{hav}	=	L:n ylittävä tai L:n ja U:n väliin jäävä havaittu mittaustulosten suhteellinen osuus prosentteina
PWL_{teor}	=	L:n ylittävä tai L:n ja U:n väliin jäävä teoreettinen mittaustulosten suhteellinen osuus prosentteina.

2.22 Hankekohtainen analyysi

2.221 Yleistä

Hankekohtainen analyysi suoritettiin pääpiirteissään samoin kuin koko maan kattava analyysi. Koska analysoituja hankkeita oli kuitenkin n. 140, ei ollut tarkoituksenmukaista esittää kirjallisesti jokaisen hankkeen tuloksia. Tähän raporttiin onkin koottu ainoastaan yhteenveto analyysin tuloksista.

Hankekohtainen analyysi on tehty ainoastaan eri kerrosten kantavuusmittauksista ja päällysteen tyhjätila-arvoista. Muiden laatumuuttujien osalta hankekohtainen aineisto ei ollut riittävän suuri.

2.222 Tavoite

Eräs hankekohtaisen analyysin keskeisistä tavoitteista oli **hankekohtaisen jakauman muodon** selvittäminen. Vaikka maanlaajuisesti poimitut mittaustulokset näyttäisivätkin noudattavan jotain tiettyä jakaumatyyppiä (yleensä normaalijakaumaa), ei tämä välttämättä kerro mitään yksittäisten hankkeiden mittaustulosten jakaumasta.

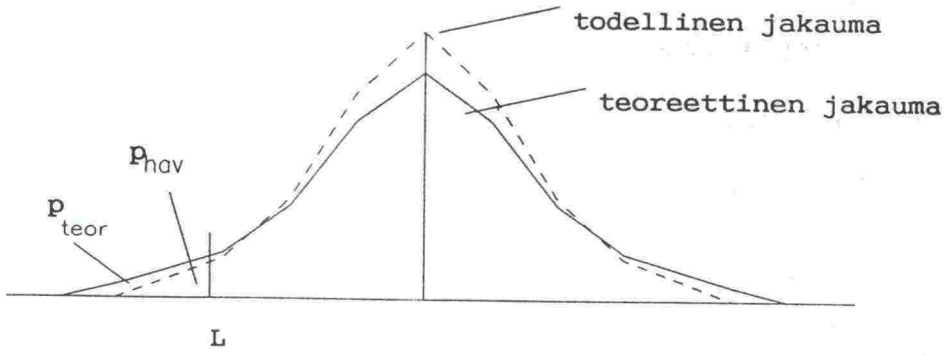
Tienrakentamisessa kelpoisuuden toteamiseen yleisesti sovelletut menetelmät edellyttävät, että tutkittava laatumuuttuja voidaan aina, eli joka hankkeessa, olettaa normaalijakautuneeksi.

Tilastollisen kelpoisuuden toteamisen soveltuvuuden testaamiseksi em. tilanteessa eri hankkeissa suunniteltiin erillinen vertaileva koe, joka kertoo miten havaitut ja teoreettiset virheellisen materiaalin suhteelliset osuudet suhtautuvat toisiinsa.

2.223 Vertailu tilastollisen kelpoisuuden toteamisen soveltuvuudelle

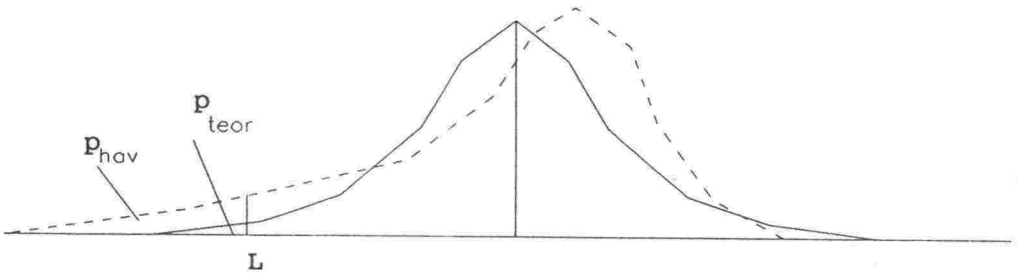
Vertailun filosofia

Jos teoreettinen ja havaittu jakauma ovat toistensa kaltaisia, on kelvottoman materiaalin osuus p molemmissa tapauksissa likimain sama. Tilannetta havainnollistaa kuva 1.



Kuva 1. Teoreettinen ja havaittu p, $p_{teor} \approx p_{hav}$

Jos taas teoreettinen ja havaittu jakauma poikkeavat toisistaan huomattavasti, poikkeavat myös teoreettisen ja havaitun p:n arvot (ks. kuva 2).



Kuva 2. Teoreettinen ja havaittu p, $p_{teor} =/ p_{hav}$

Kun käytettävissä on riittävän monta havaintoa teoreettisesta ja havaitusta p:stä, voidaan päätellä miten hyvin teoreettinen jakauma vastaa todellisuutta ja samalla kuinka luotettavasti teoreettinen jakauma arvioi havaittua kelvottoman materiaalin osuutta.[1]

---

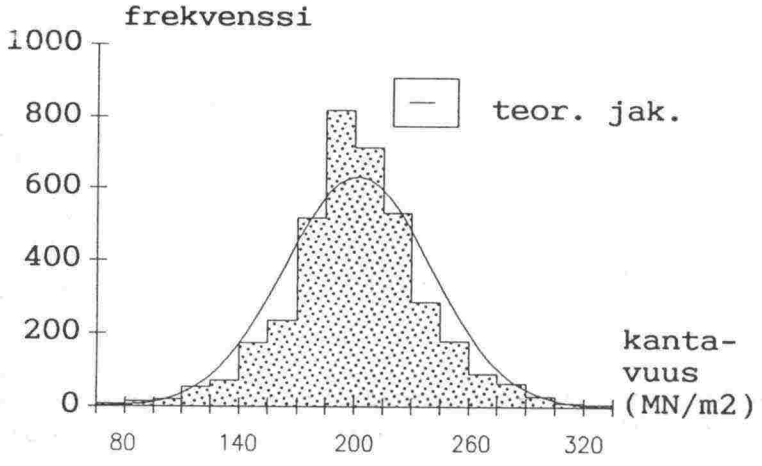
1 Yhtä hyvin voitaisiin arvioida havaittua ja teoreettista laatuvaatimukset ylittävää osuutta PWL (Percentage Within Limits), koska luonnollisesti p = 100 - PWL (%).

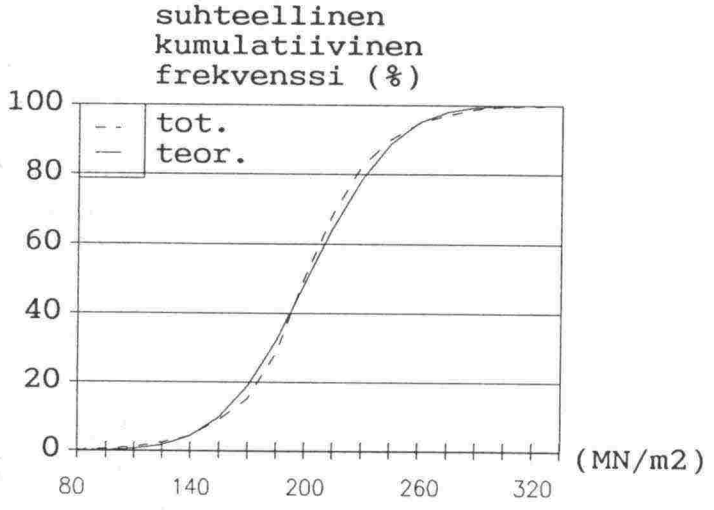
3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Koko maa

3.11 Graafiset esitykset

Kantavuus E_2 (MN/m²), kantava kerros, N = 3812





$\bar{x}_L$ = 180 L = 130

$\bar{x}$ = 201.65 s = 36.08

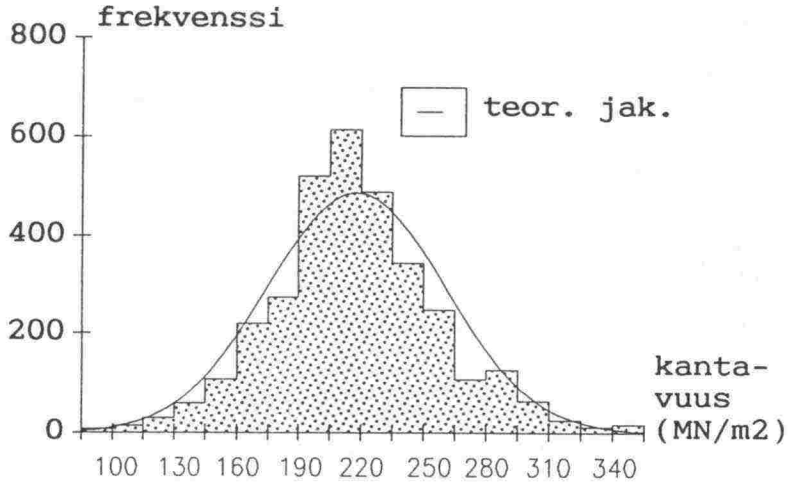
x_{min} = 15 x_{max} = 361

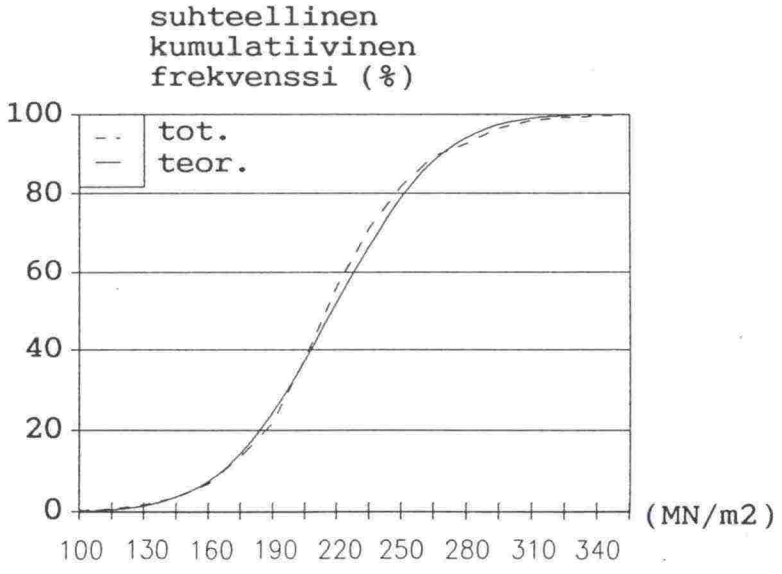
R = 346

PWL_{hav} = 96.94 % PWL_{teor} = 97.67 %

Mittaustulokset noudattavat varsin selvästi normaalijakaumaa.

Kantavuus E_2 (MN/m²), kantava kerros, N = 3276

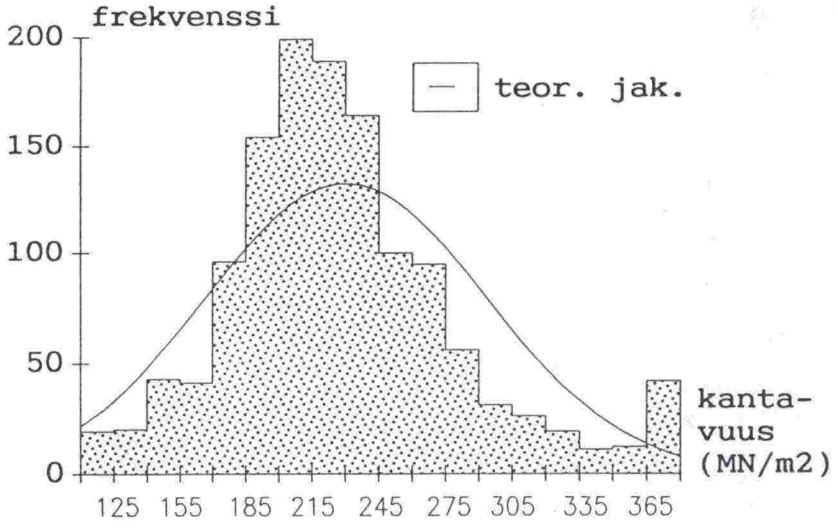


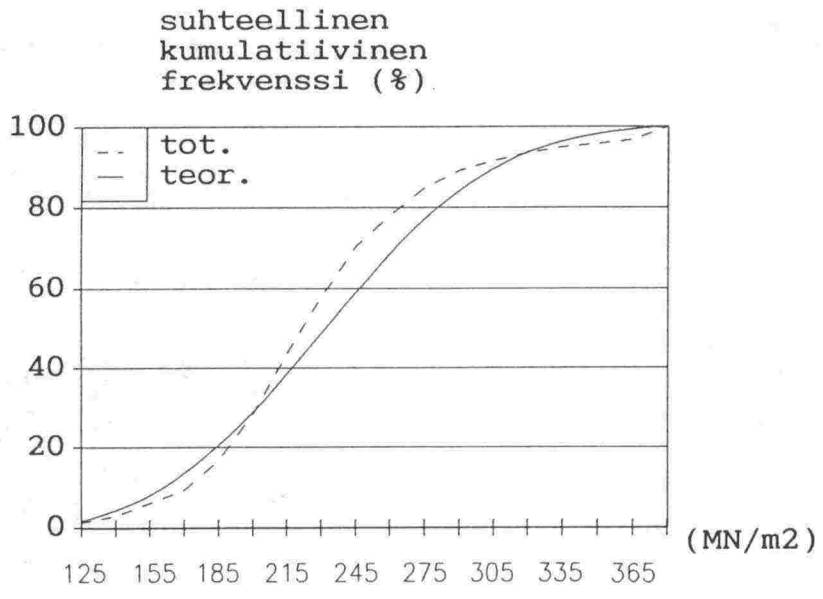


$\bar{x}_L$ =	200	L =	150
$\bar{x}$ =	217.76	s =	40.16
x_{min} =	17	x_{max} =	466
R =	395		
PWL_{hav} =	95.94 %	PWL_{teor} =	95.45 %

Mittaustulokset noudattavat normaalijakaumaa.

Kantavuus E_2 (MN/m²), kantava kerros, N = 1317

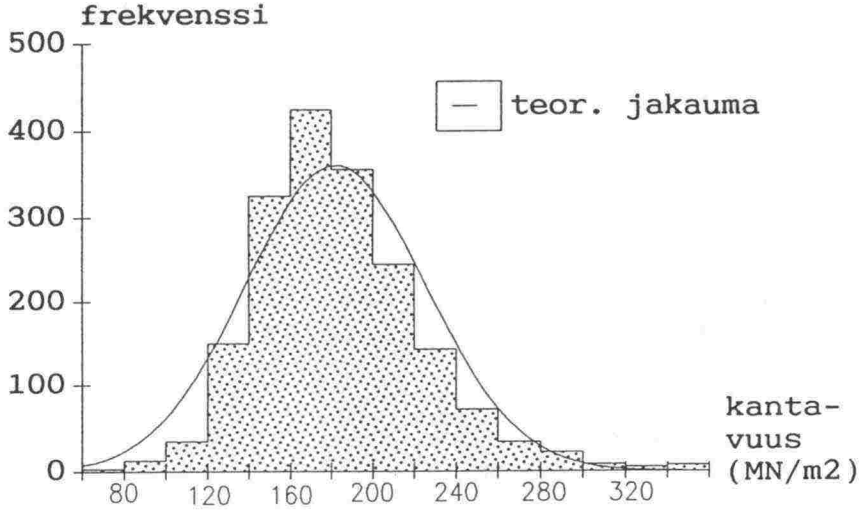


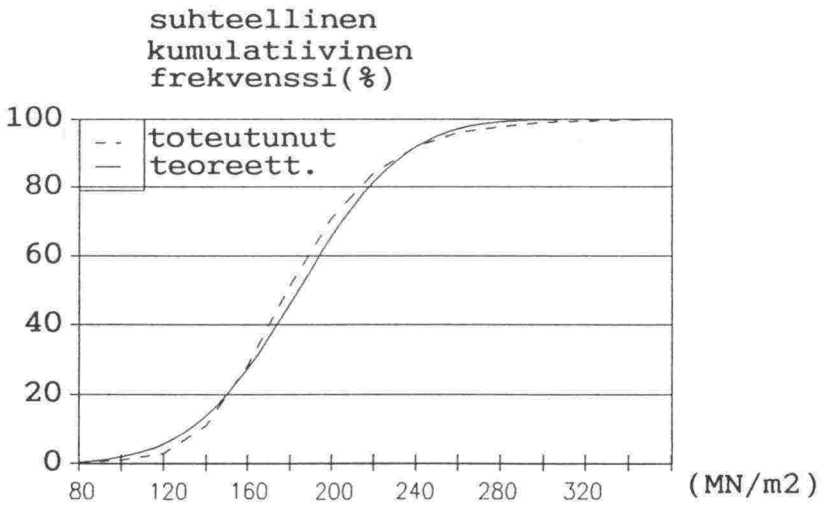


$\bar{x}_L$ =	230	L =	180
$\bar{x}$ =	230.90	s =	59.54
x_{min} =	84	x_{max} =	616
R =	532		
PWL_{hav} =	86.48 %	PWL_{teor} =	80.23 %

Histogrammin oikean laidan "piikki" levittää ja siirtää teoreettista käyrää. Ilman piikkiä suure olisi selvästi normaalijakautunut. Piikki aiheuttaa myös selvän eron lukuihin PWL_{hav} ja PWL_{teor}.

Kantavuus E_2 (MN/m²), jakava kerros, N = 1840

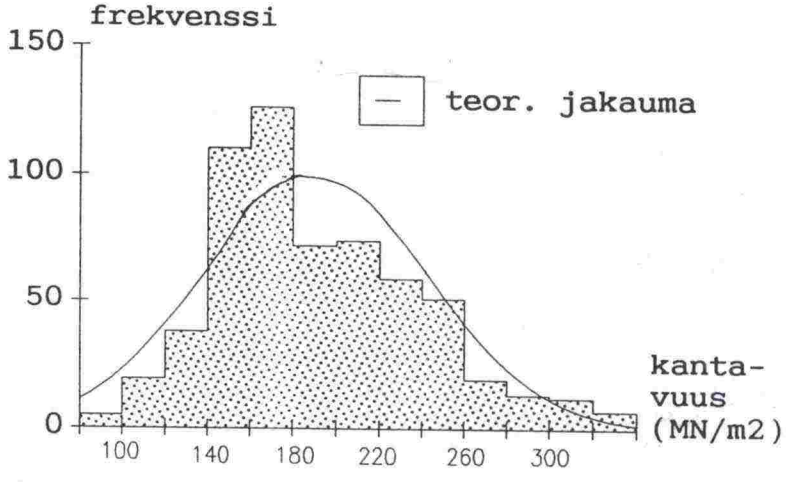


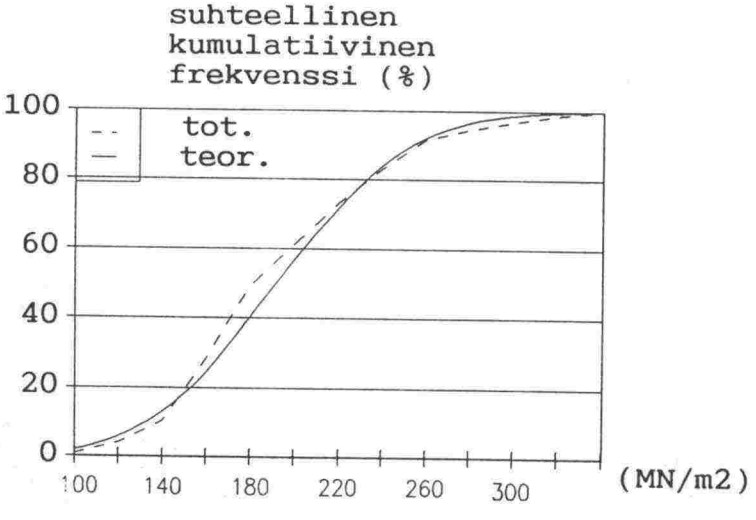


$\bar{x}_L$ =	130	L =	80
$\bar{x}$ =	183.88	s =	40.51
x_{min} =	64	x_{max} =	478
R =	414		
PWL_{hav} =	99.84 %	PWL_{teor} =	99.48 %

Mittaustulosten jakauma näyttää aavistuksen vinolta, muuta verrattaessa lukuja PWL_{hav} ja PWL_{teor} on ero alle 0.5 %-yksikköä.

Kantavuus E_2 (MN/m²), jakava kerros, N = 605

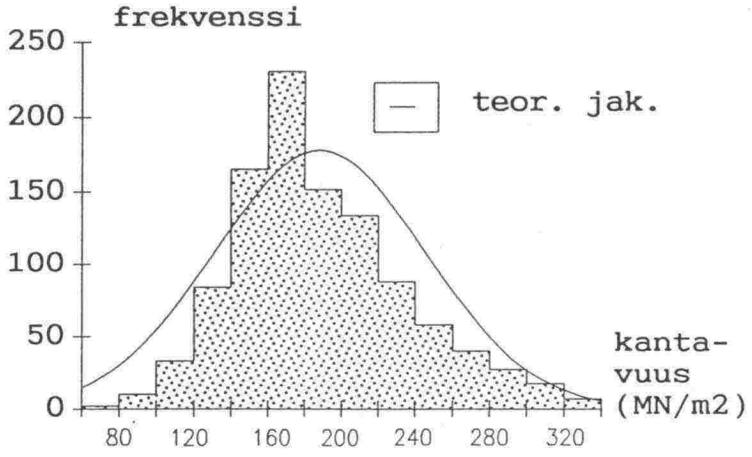


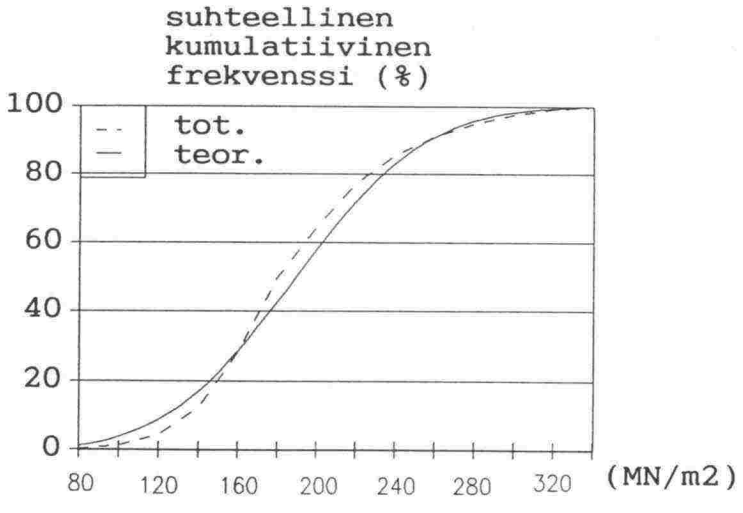


$\bar{x}_L$ =	140	L =	90
$\bar{x}$ =	191.87	s =	48.73
x_{min} =	64	x_{max} =	390
R =	326		
PWL_{hav} =	99.83 %	PWL_{teor} =	98.17 %

Mittaustulosten jakauma on vino.

Kantavuus E_2 (MN/m²), jakava kerros, N = 1047

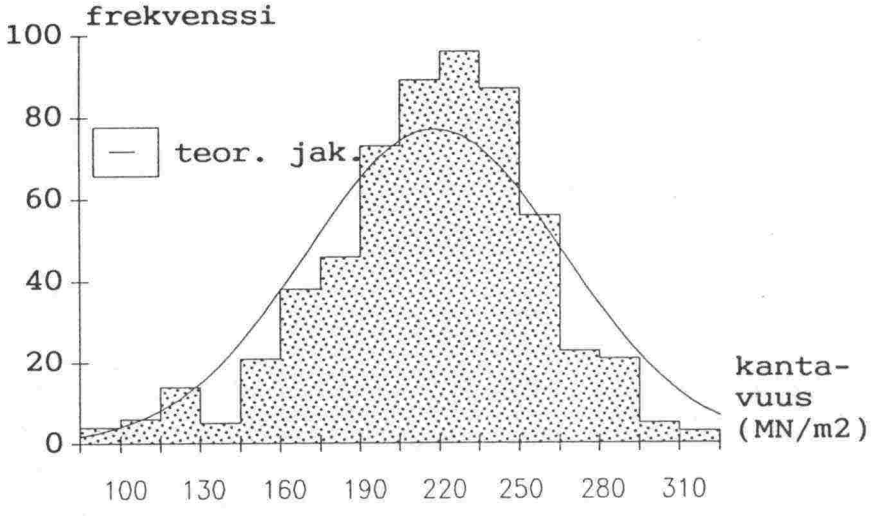


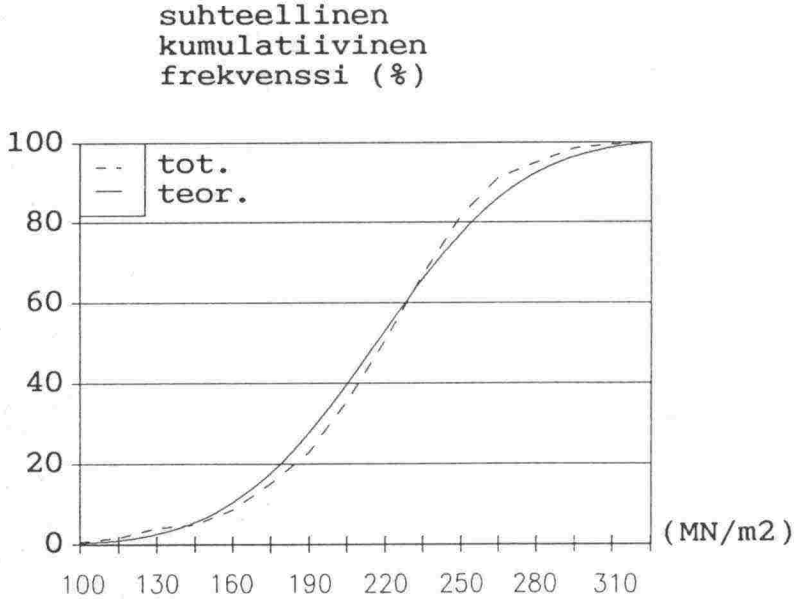


$\bar{x}_L$ =	150	L =	100
$\bar{x}$ =	189.10	s =	46.91
x_{min} =	57	x_{max} =	398
R =	341		
PWL_{hav} =	98.85 %	PWL_{teor} =	97.13 %

Mittaustulosten jakauma on hieman vino. PWL_{hav} ja PWL_{teor} ovat kuitenkin suhteellisen lähellä toisiaan.

Kantavuus E_2 (MN/m²), päällysteen päältä, N = 587

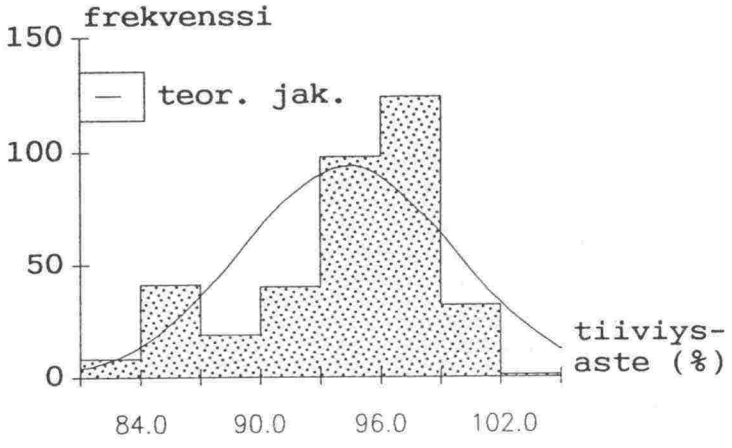


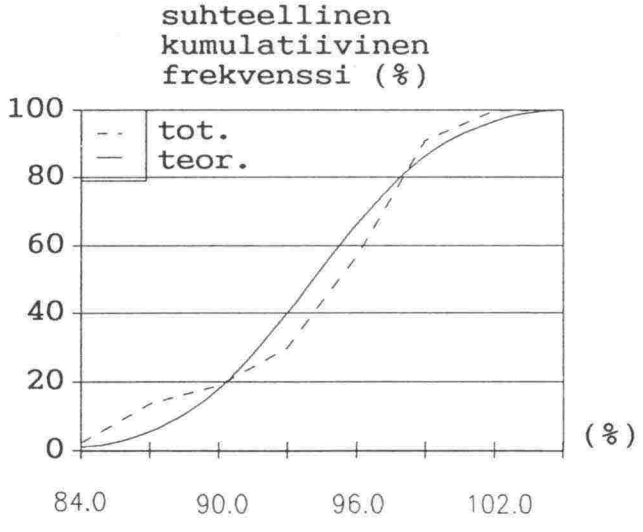


$\bar{x}_L$ =	195	L =	145
$\bar{x}$ =	217.22	s =	45.54
x_{min} =	85	x_{max} =	736
R =	651		
PWL_{hav} =	95.06 %	PWL_{teor} =	94.41 %

Histogrammin vasemmalla laidalla oleva "piikki" levittää teoreettista jakaumakäyrää ja siirtää sitä vasemmalle. Muutoin mittausarvot noudattelevat tyydyttävästi normaalijakaumaa.

Tiiviys (%), kantava kerros, N = 363

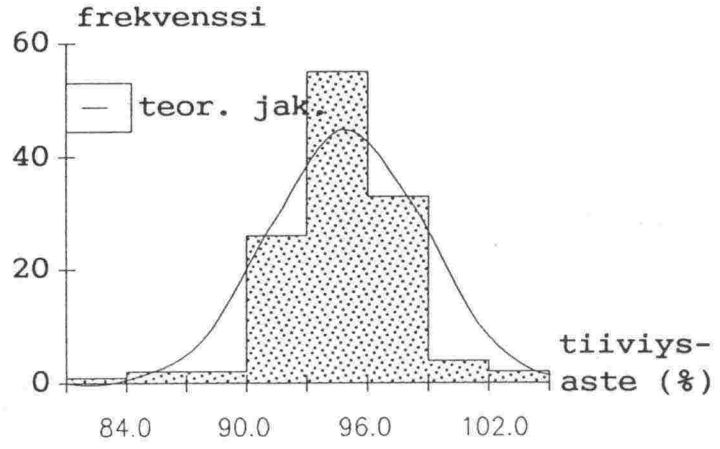


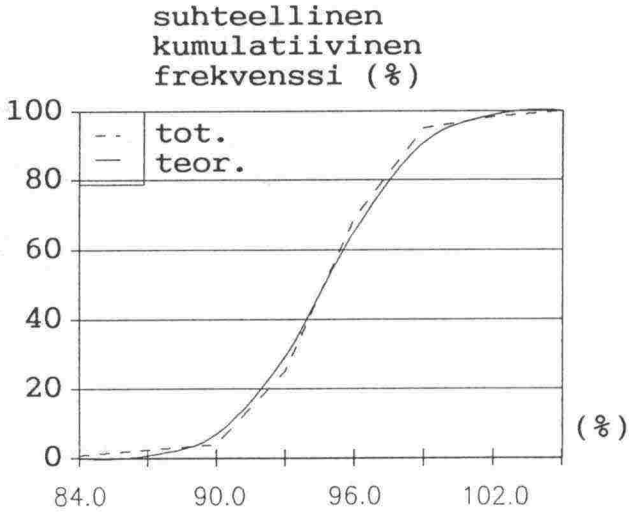


$\bar{x}_L$ =	97	L =	92
$\bar{x}$ =	94.18	s =	46.12
x_{min} =	81	x_{max} =	102.5
R =	21.50		
PWL_{hav} =	76.31 %	PWL_{teor} =	68.08 %

Jakauman normaalisuus vahvasti kyseenalainen. Laatuvaatimukset täyttyneet huonosti.

Tiiviys (%), suodatinkerros, N = 125





$\bar{x}_L$ = 95 L = 90

$\bar{x}$ = 94.75 s = 33.23

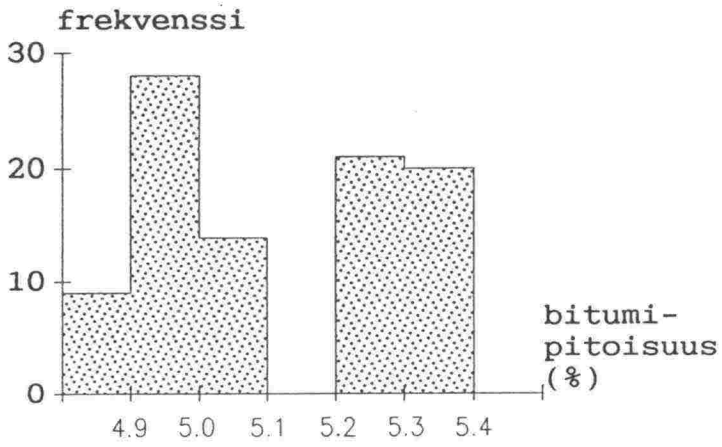
x_{min} = 81.20 x_{max} = 108.5

R = 27.30

PWL_{hav} = 82.40 % PWL_{teor} = 79.67 %

Normaalijakaumalla approksimointi on mahdollista, mutta ei itsestään selvää.

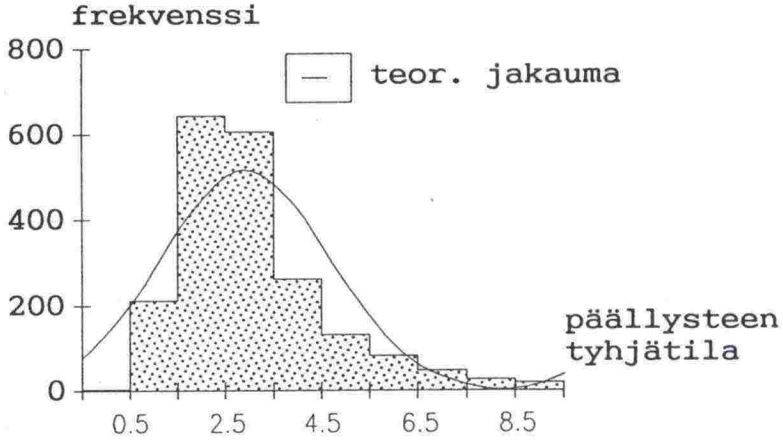
Päällysteen bitumipitoisuus (%), N = 92

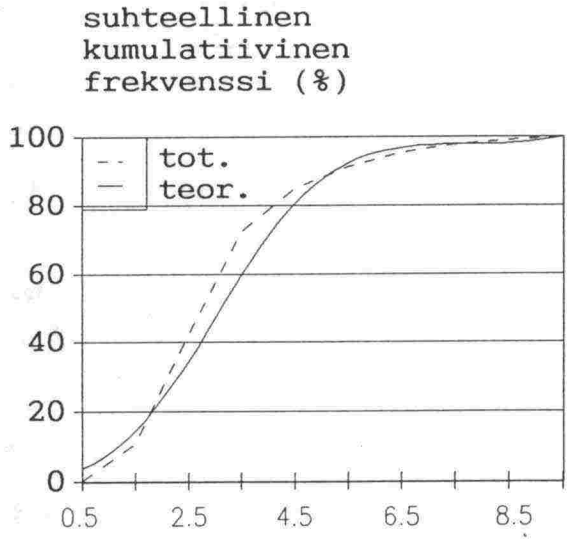


L =	4.8	U =	5.6
$\bar{x}$ =	5.16	s =	0.18
x_{min} =	4.9	x_{max} =	5.4
R =	0.5		
PWL_{hav} =	100 %		

Histogrammin muoto on niin erikoinen, että teoreettinen jakauma ja suhteellinen frekvenssi on jätetty piirtämättä.

Päällysteen tyhjätila, päällystetyyppi MPAB20,
N = 2033

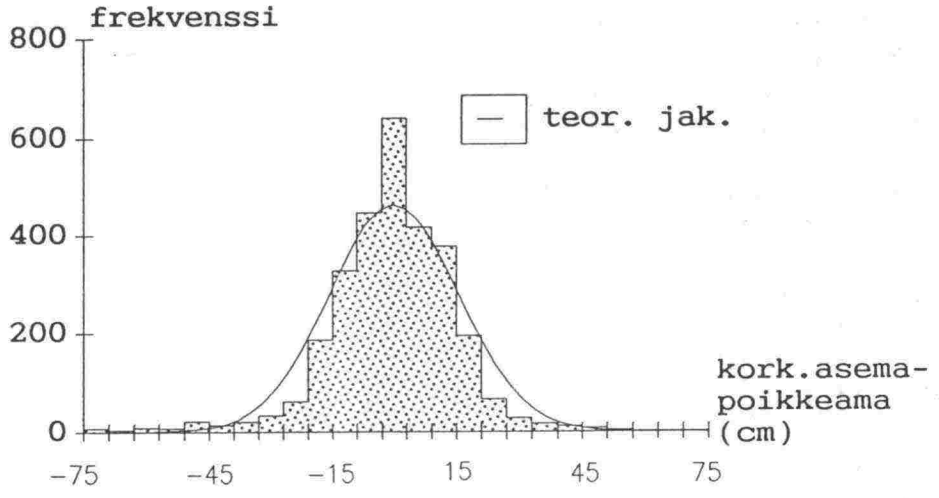


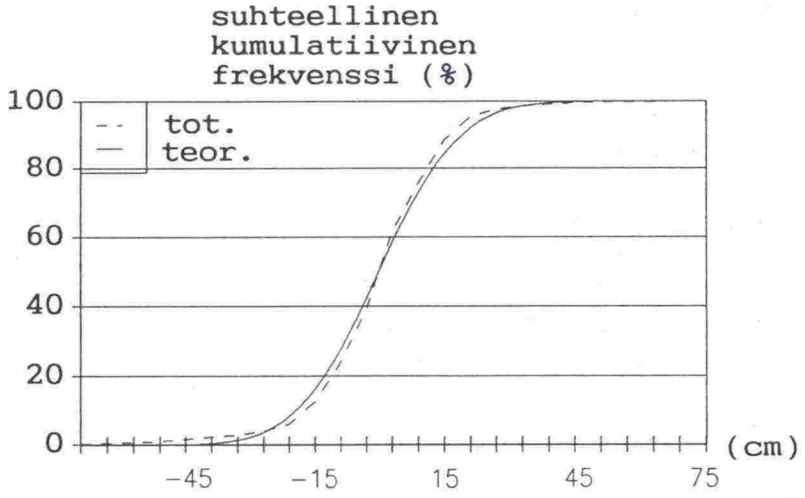


L =	1.0	U =	5.0
$\bar{x}$ =	3.07	s =	1.57
x_{min} =	0.26	x_{max} =	9.97
R =	9.71		
PWL_{hav} =	86.3 %	PWL_{teor} =	79.7 %

Histogrammin muoto selvästi vino. Havaitun ja teoreettisen PWL:n ero syntyykin selvästi vasemmassa "hännässä".

Korkeusaseman poikkeama (cm), kantava kerros,
N = 2909





$\bar{x}$ = -0.14 s = 15.07

Korkeusaseman poikkeama on selvästi normaalijakautunut suure, mutta ei välttämättä tilastollisesti mitattava (otos).

3.12 Tulosten kommentointi

3.121 Kantavuus

Yleensä ottaen kantavuus näyttäisi olevan likimain normaalijakautunut suure, kun tarkastellaan koko maan mittaustuloksia. Yksittäisten hankkeiden kantavuusmittausten jakaumasta tämä ei tietenkään oikeuta mihinkään johtopäätöksiin. Alemman toleranssirajan (L) yläpuolella on keskimäärin noin **96 %** mittaustuloksista. Keskiarvovaatimus täyttyy lähes aina (tässä on tarpeen jälleen huomioida yksittäisiin hankkeisiin sisältyvä epävarmuus laatuvaatimusten täyttymisestä). Näin ollen nykyisiä laatuvaatimuksia voidaan pitää realistisina ja kohtuullisina.

Nykyisin keskiarvovaatimuksesta ollaan luopumassa tai ainakin se edustaa toissijaista laadun mittaria.

3.122 Tiiviys

Tiiviyden osalta laatuvaatimukset eivät ole täyttyneet yhtä hyvin kuin kantavuudessa. Lisäksi tiiviyden jakauma ei kovinkaan hyvin noudattanut normaalijakaumaa. Hankekohtainen analyysi ei ollut lainkaan mahdollinen. Hankekohtainen analyysi sanelee viime kädessä tilastollisten menetelmien soveltumisen kelpoisuuden toteamiseen. Ominaisuustarkastus on mahdollinen tiiviyden arvostelemisessa.

3.123 Päällysteen bitumipitoisuus

Bitumipitoisuuden analyysin informaatioarvo on pieni. Tämä seikka on nähtävissä jo kuviosta. Laatuvaatimukset ovat kuitenkin toteutuneet hyvin. Normaalijakaumaan perustuvia tilastollisia menetelmiä ei voida saatujen tulosten perusteella suositella bitumipitoisuuden arvosteluun poranäytteistä. Yleensä bitumipitoisuus arvostellaankin massanäytteistä.

3.124 Päällysteen tyhjätila

Päällysteen tyhjätilan laatuvaatimukset ovat toteutuneet heikohkosti (PWL_{hev} = 86,3 %). Normaalijakautuneena satunnaismuuttujana tyhjätilaa ei ehkä ole syytä arvostella.

3.125 Korkeusasema, kantava kerros

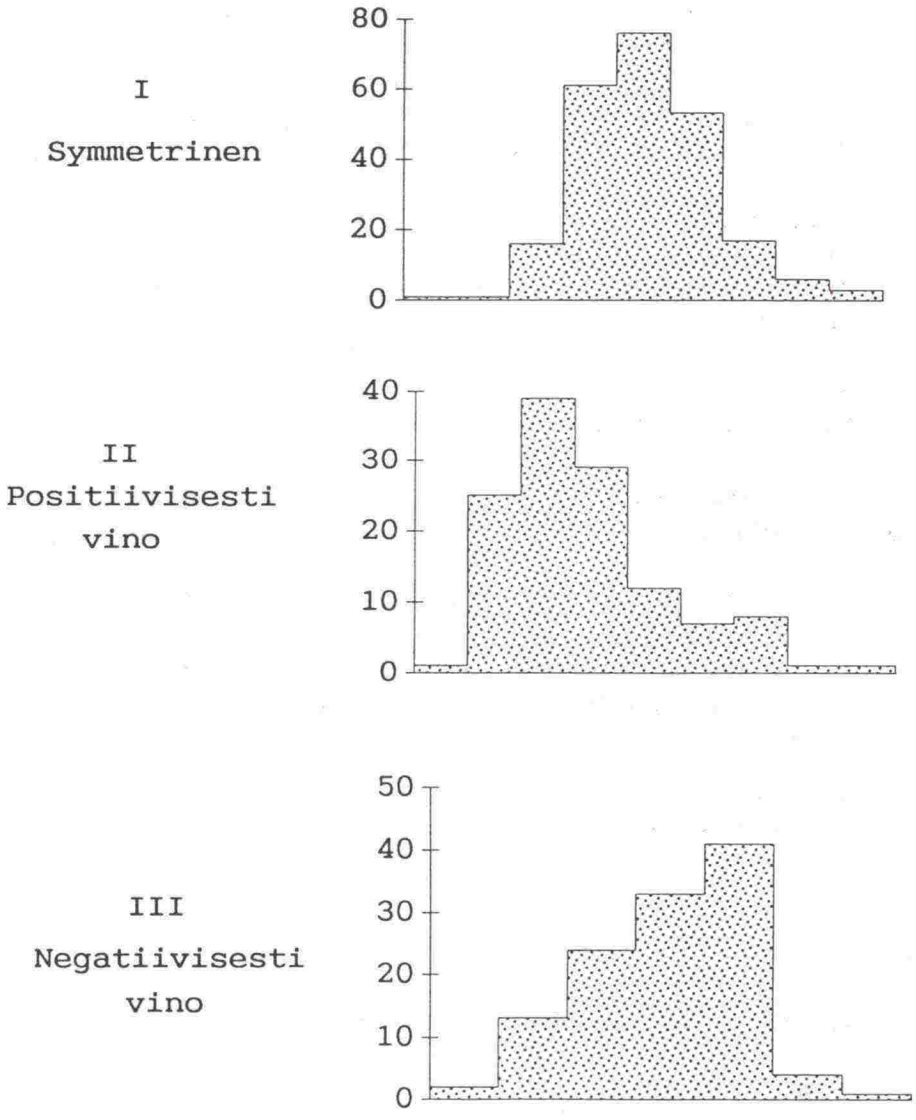
Korkeusasema on selvästikin likimain normaalijakautunut suure, mutta mittaustapa on yleensä jatkuva mittaus, ei otanta. Otantaa voidaan kuitenkin soveltaa haluttaessa.

3.2 Hankekohtaisen analyysin tulokset

3.21 Kantavuus

3.211 Yleistä

Kaiken kaikkiaan hankekohtainen analyysi sisälsi n. 140 hanketta, joista laskettiin kantavuusmittausten tunnusluvut. Mittaustulosten jakaumaa kuvaavat histogrammit piirrettiin n. 70 hankkeesta. Kuvassa 3 on esitetty eräitä tyypillisiä jakaumatyyppejä.



Kuva 3. Kantavuuden jakaumatyyppejä

Silmämääräisen tarkastelun perusteella olivat eri jakaumatyyppien osuudet seuraavat:

I	Symmetrinen normaalijakauma	n. 50 % jakaumista
II, III	Vinoja jakaumia	n. 45 % jakaumista
IV	Muut	alle 5 % jakaumista

Jakauman vinouteen vaikuttavat useat seikat yhdessä ja erikseen. Tärkeimmät näistä ovat

- huonojen arvojen karsiminen. Huonoja mittaustuloksia ei kirjata pysyvästi, vaan työn tulosta parannetaan kunnes mittaustulos on tyydyttävä. Kantavuuden ollessa kyseessä tämä aiheuttaa vasemmalle kallistuneen (positiivisesti vinon) jakauman. Analysoidun joukon vinoista jakaumista selvästi suurin osa oli positiivisesti vinoja.

- olosuhteiden voimakkaat vaihtelut. Kantavuuden tapauksessa maapohjan vaihtelulla on suuri merkitys. Lukuisat mittaukset esim. kallion tai stabiloidun kerroksen päällä kallistavat jakaumaa oikealle (negatiivisesti vino). Harvemmat mittaukset kallion päällä aiheuttavat kantavuusmittausten jakaumalle "hännän" oikealle, ja jakauma saattaa näyttää positiivisesti vinolta.

3.212 Vertailu tilastollisen kelpoisuuden toteamisen soveltuvuudelle - tulokset

Luvussa 2.223 esitetty vertailu suoritettiin käyttäen aineistona 89 hanketta. Näissä vertailtiin mittaustuloksista laskettua toleranssirajan L alittavien mittaustulosten havaittua suhteellista osuutta teoreettisen normaalijakauman vastaavaan osuuteen. Yksinkertaistaen voidaan vertailun suoritus kirjata seuraavasti:

1. Lasketaan hankkeesta niiden mittaustulosten suhteellinen osuus, jotka alittavat toleranssirajan L. Merkitään tulosta p_{hav}.

2. Lasketaan hankkeen mittaustulosten keskiarvo ja keskihajonta s.

3. Lasketaan $N(0,1^2)$ -jakautunut suure \:

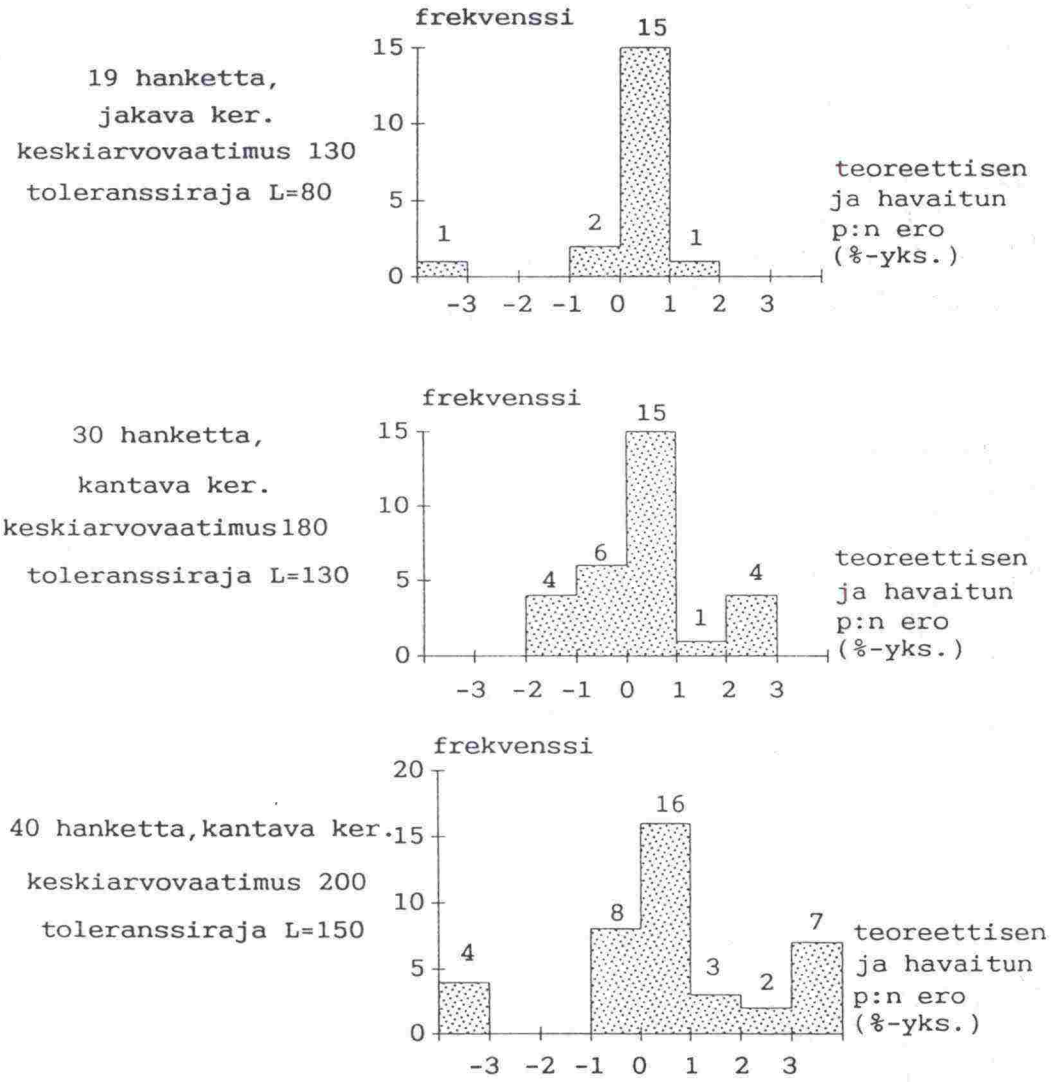
$$\lambda = \frac{\bar{x} - L}{s}$$

4. Lasketaan teoreettinen kelvottomien osuus p_{teor}.

5. Verrataan toisiinsa arvoja p_{hav} ja p_{teor}.

Vertailun tulokset on esitetty kuvassa 4, jossa on vertailtu havaitun (p_{hav}) ja teoreettisen (p_{teor}) p:n eroja prosenttiyksikköinä. Huomattakoon tarkasteltaessa kuvaa, että ± 3 prosenttiyksikön ylittävät erot saattavat olla suuriakin. Suurin yksittäinen ero oli 10,58 %-yksikköä. ± 6 %-yksikön ylittäviä eroja oli kuitenkin vain yhteensä 5 kpl.

Normaalijakaumaan perustuvat tilastolliset menetelmät näyttävät soveltuvan kantavuuden arvostelemiseen.



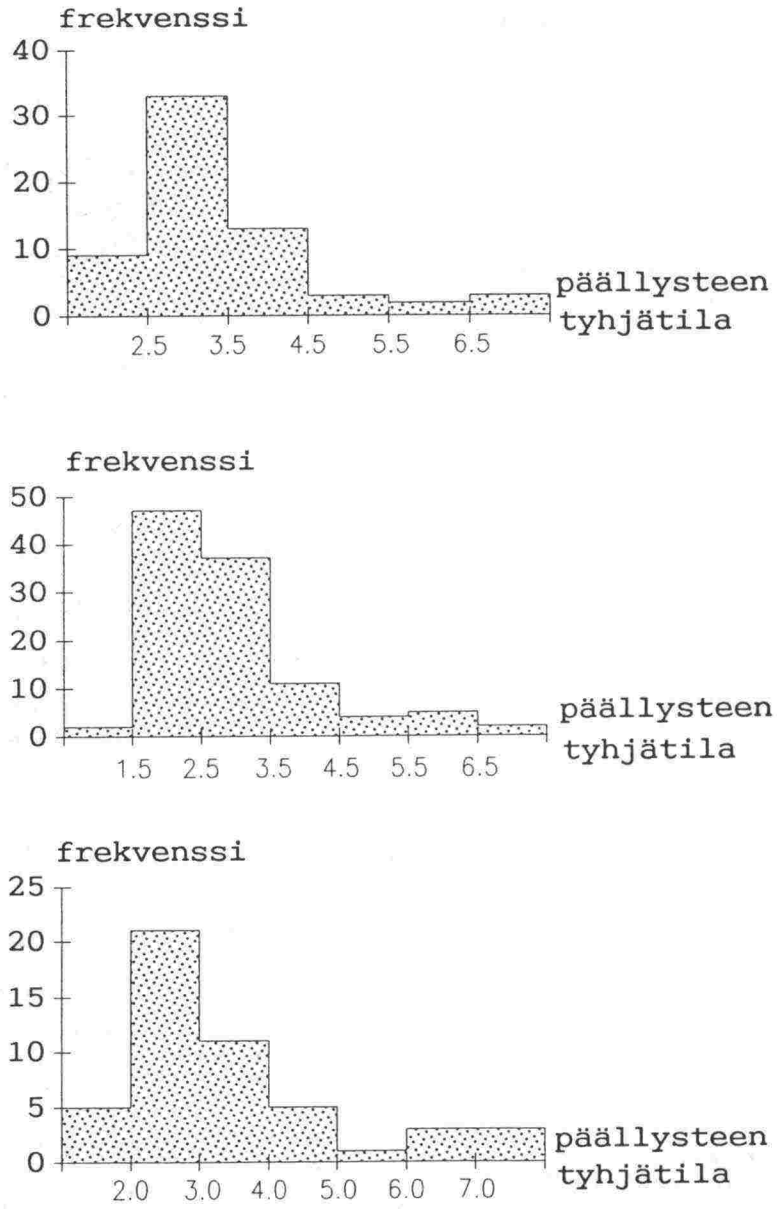
Kuva 4. Havaitun ja teoreettisen p:n erot

Kuva 4. Havaitun ja teoreettisen p:n erot

3.23 Päällysteen tyhjätila

Tyhjätilan osalta hankekohtaista analyysiä ei tehty samoin kuin kantavuudelle. Ensinnäkin erillisten hankkeiden lukumäärä oli liian vähäinen ja toiseksi hankekohtaiset jakaumat olivat hyvin selvästi tyypiltään vinoja jakaumia. Kuvassa 5 on esitetty kolmen hankkeen histogrammit, joista jakauman muoto on havaittavissa.

Päällystetyypin tyhjätila ei ole normaalijakautunut laatumuuttuja.



Kuva 5. Päällysteen tyhjätilan jakaumia

3.3 Tutkimustulosten yhteenveto

3.31 Kelpoisuuden toteaminen - tarkastustyyppi

Taulukossa 1 on lueteltu kullekin tarkastellulle laatumuuttujalle soveltuva kelpoisuuden toteamistapa. Muuttujatarkastus soveltuu likimain normaalijakautuneille laatumuuttujille ja ominaisuustarkastus laatumuuttujille, joiden testiyksilöt luokitellaan joko kelvollisiksi tai kelvottomiksi. Jälkimmäisessä tapauksessa laatumuuttujaan sovelletaan binomijakaumaa. Eräiden laatumuuttujien osalta tarvitaan lisätutkimusta.

Taulukko 1. Laatumuuttujien tarkastustyypit

Laatumuuttuja	Muuttuja–tarkastus	Ominaisuus–tarkastus	Tarvitaan lisä–tutkimusta
Kantavuus	x		
Tiiviys			x
Bitumipitoisuus			x
Tyhjätila (MPAB 20)		x *)	
Korkeusasema	x **)		

*) Muiden päällystetyyppien osalta kaivataan lisätutkimusta
**) Ei välttämättä tilastollisesti tarkasteltava suure

3.32 Laatuvaatimukset

Toteutunut laatu eri laatumuuttujilla oli vaihteleva. Laatuvaatimusten tarkistaminen on laatupoliittinen kysymys, mutta taulukko 2 antaa viitteitä tarkistamisen tarpeesta. Aineistona ovat koko maasta poimitut mittaukset. Keskiarvovaatimuksia ei ole taulukossa huomioitu.

Taulukko 2. Laatutavoitteiden toteutuminen

Laatumuuttuja	Laatutavoitteiden toteutuminen			
	Erittäin hyvin PWL = 100...95 %	Hyvin PWL = 95...90 %	Tyydyttävästi PWL = 90...70 %	Heikosti PWL = 70...0 %
Kantavuus eri kerroksissa	x			
Tiiviysaste eri kerroksissa			x	
Päällysteen bitumipitoisuus	x			
Päällysteen (MPAB 20) tyhjätila			x	

Taulukkoa tarkasteltaessa tulee huomioida, että mittaustuloksiin on saattanut vaikuttaa huonojen mittausarvojen karsiutuminen - ts. osa mittaustuloksista on peräisin korjatun tai uusitun tuotteen uusintamittauksista.

4 VAIHTOEHTOTARKASTELUJA

4.1 Yleistä

Jäljempänä esitetyt vaihtoehtotarkastelut ovat itse asiassa simulaatioita, joissa tarkastellaan esimerkiksi

- millaiset ovat urakoitsijan ja rakennuttajan riskit kun poimitaan erästä 5 näytettä?
- miten riskit muuttuvat jos näytteitä poimitaankin 7 tai 9?
- miten otoskoot muuttuvat jos tiukennetaan laatutavoitteita, mutta pidetään riskit ennallaan?

Lisäksi tarkastellaan erilaisten arvonvähennysperusteiden vaikutuksia.

Simulaatiot on tehty käyttäen tielaitoksen aineiston analyysin tuloksia. [2] Simuloinneissa käytetään seuraavia merkintöjä:

AQL = Kelvottoman materiaalin suhteellinen osuus, jolla erä hyväksytään (Acceptable Quality Level)

RQL = Kelvottoman materiaalin suhteellinen osuus, jolla erä hylätään (Rejectable Quality Level)

α = Riski, jolla todellisuudessa hyväksyttävä erä hylätään; urakoitsijan riski

ß = Riski, jolla todellisuudessa hylättävä erä hyväksytään; rakennuttajan riski

---

2 Osassa simulaatioita on käytetty NONCENTT-ohjelmistoa, jonka toiminnot ja ominaisuudet on esitetty lähteessä /1/, ja osa on tehty tätä toimeksiantoa varten laaditulla tietokoneohjelmalla. NONCENTT-ohjelmistoa on esitelty lyhyesti myös raportin 1. osassa "Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 1 - Perusteet/Kelpoisuuden toteaminen".

4.2 Simulaatioita

4.21 Esimerkkitapaus 1 - kantavuus

Kantavuus on tielaitoksen aineiston analyysin nojalla likimain normaalijakautunut laatumuuttuja. Kantavuus arvostellaan tilanteessa, jossa keskiarvo (μ) ja keskihajonta (σ) ovat tuntemattomia. Tällöin kelpoisuus todetaan esim. M-menetelmällä[3], jolloin tarkastellaan ainoastaan sitä materiaalierän suhteellista osuutta, joka alittaa alemman toleranssirajan L.

Kuvassa 6 on piirretty erilaisten näytteenottosuunnitelmien OC-käyriä, kun

- AQL = 10 % (erä hyväksytään)
- RQL = 50 % (erä hylätään)
- α = 0.05 (urakoitsijan riski)

Kuvassa esiintyvä luku M ilmoittaa suurimman sallitun otoksen perusteella lasketun kelvottoman materiaalin osuuden, jolla todellisuudessa AQL-tasoinen materiaalierä hylätään tai siitä maksetaan pienempi hinta korkeintaan todennäköisyydellä 0.05 (α). Lukua M vastaa aina tietty laatuindeksin arvo Q, joka lausutaan

$$Q_L = \frac{\bar{x} - L}{s} \quad , \qquad Q_U = \frac{U - \bar{x}}{s},$$

missä

$\bar{x}$ = otoskeskiarvo

s = otoskeskihajonta

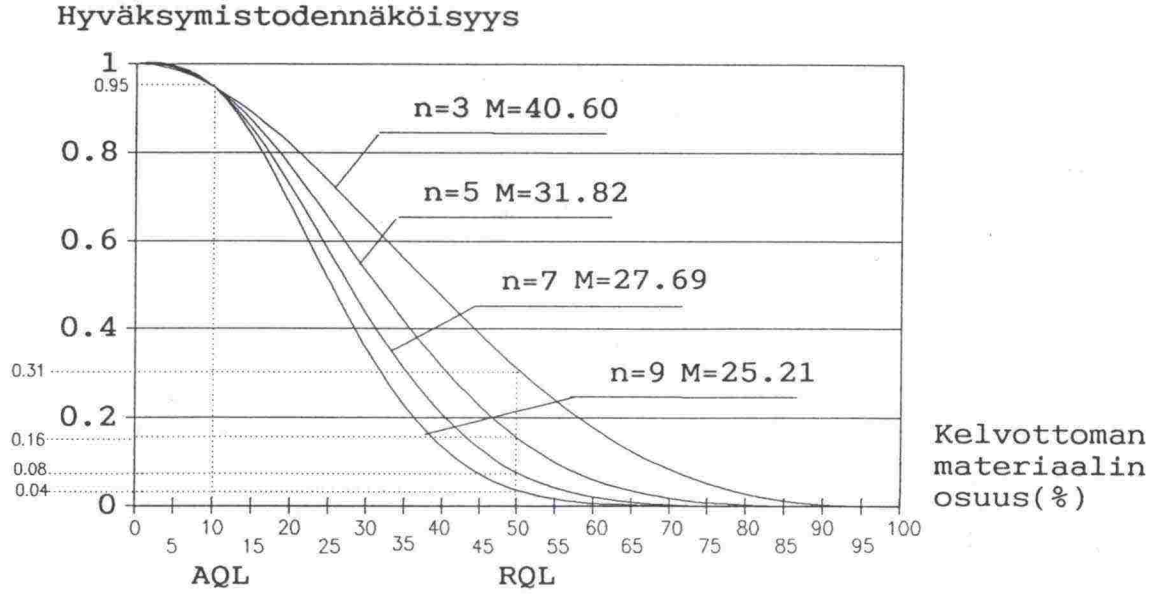
L = alempi toleranssiraja

U = ylempi toleranssiraja

Liitteessä 1 on esitetty laatuindeksin Q arvoja eri otoskoon n arvoilla ja Q:ta vastaavat kelvottoman materiaalin %-osuudet.

---

[3] M-menetelmästä käytetään myös nimitystä s-menetelmä (esim. standardissa SFS 4760) ja menetelmä on esitelty raportin 1. osassa "Tilastolliset menetelmät laatuvastuurakentamisessa 1 - Perusteet/Kelpoisuuden toteaminen".



Kuva 6. OC-käyriä

Kuvasta voidaan lukea, että

- kun erästä poimitaan 3 näytettä, niin α:n ollessa 0.05, tulee rakennuttajan riskiksi ß = 0.31. On siis olemassa todennäköisyys α = 0.05, jolla erä hylätään, vaikka kelvottoman materiaalin osuus ei ylitä 10 % koko materiaalierästä ja todennäköisyys ß = 0.31, jolla erä hyväksytään, vaikka erässä olisi 50 % kelvotonta materiaalia.

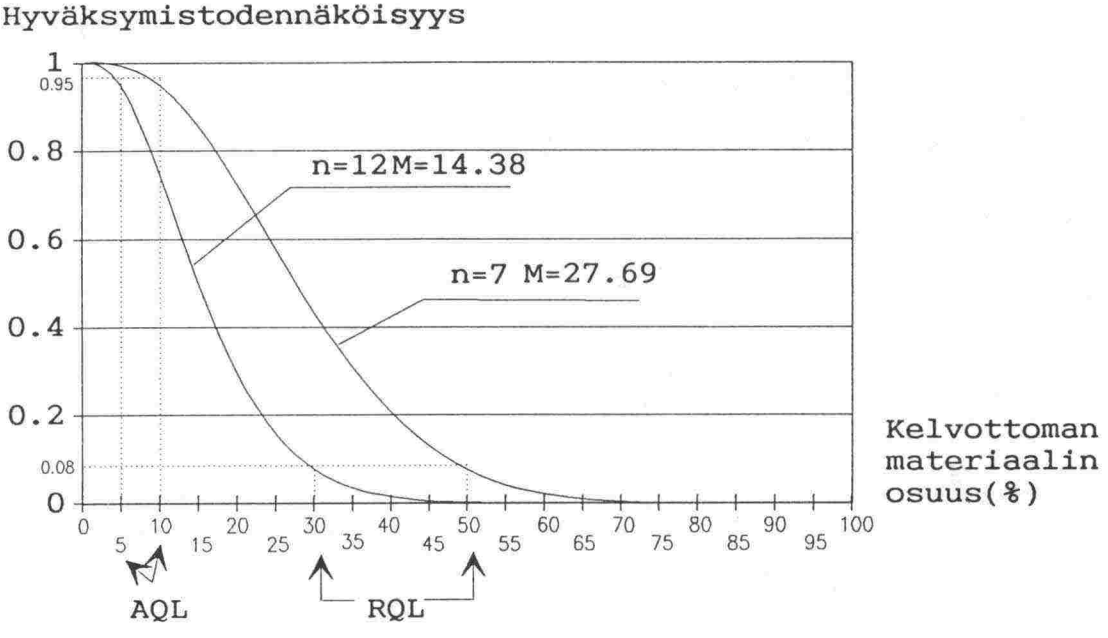
- pidettäessä urakoitsijan riski α ennallaan (0.05), pienenee rakennuttajan riski arvoon ß = 0.16, kun kasvatetaan näytekokoa arvosta n = 3 arvoon n = 5.

- rakennuttajan riski on tyypillisellä tasolla (ß = 0.08), kun näytteitä poimitaan 7.

- urakoitsijan riski (α = 0.05) ja rakennuttajan riski (ß = 0.04) ovat lähes samat, kun näytteitä poimitaan 9.

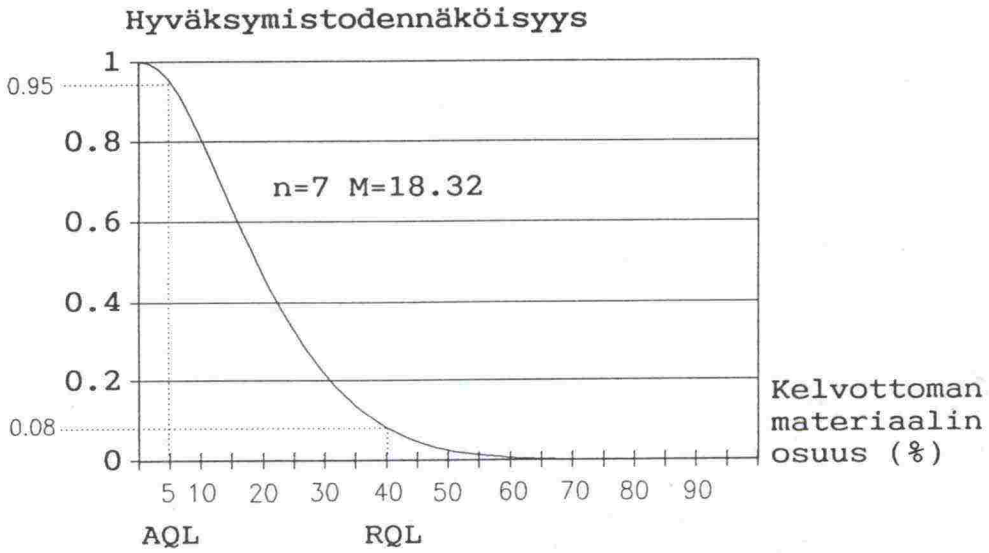
Kuvan käyräparven perusteella voidaan päätellä, että laatutavoitteella AQL = 10 % ja RQL = 50 % sopiva otos on n = 7. Tällöin sekä urakoitsijan että rakennuttajan riskit ovat hyväksyttävällä tasolla.

Jos laatutavoitteita kiristetään ja silti halutaan pitää riskit samalla tasolla (α = 0.05, ß = 0.08), on tarpeen kasvattaa otoskokoa. Kuva 7 esittää tilannetta, jossa AQL muuttuu 10 % → 5 % ja RQL 50 % → 30 %.



Kuva 7. Laatutavoitteen kiristäminen

Kuvasta nähdään, että laatutavoitteen kiristäminen ja riskien pitäminen ennallaan kasvattaa otoskokoa: n = 7 → n = 12. Kuva 8 puolestaan kertoo, että kun AQL = 5 % ja RQL = 40 %, niin otoskoko n = 7 pitää riskit kohtuullisina.



Kuva 8. OC-käyrä, n = 7, AQL = 5 %, RQL = 40 %

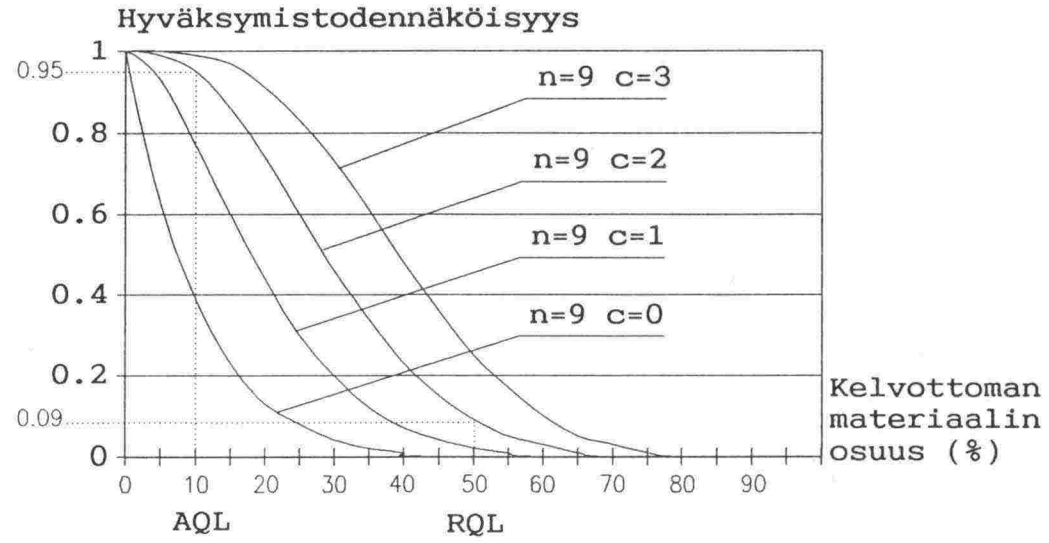
Edellä esitetyn perusteella näyttäisi kantavuuden arvostelu tarkoituksenmukaiselta, kun

- käytetään M-menetelmää
- poimitaan 7 näytettä
- AQL = 5 - 10 %,
- RQL = 40 - 50 %, jolloin erä hylätään
- AQL:n ja RQL:n välissä sovelletaan arvonvähennysmenettelyjä.

4.22 Esimerkkitapaus 2 - päällysteen tyhjätila

Päällysteen tyhjätila on tielaitoksen aineiston perusteella arvosteltava ominaisuus- eli attribuuttitarkastuksella, jos halutaan käyttää tilastollisia menetelmiä kelpoisuuden toteamiseen.

Jos asetetaan laatutavoitteet siten, että AQL = 10 %, RQL = 50 %, $\alpha \approx 0.05$ ja $\beta \approx 0.1$, niin kuvan 9 OC-käyräparvesta toteuttaa näytteenottosuunnitelma n = 9, c = 2 annetut ehdot.

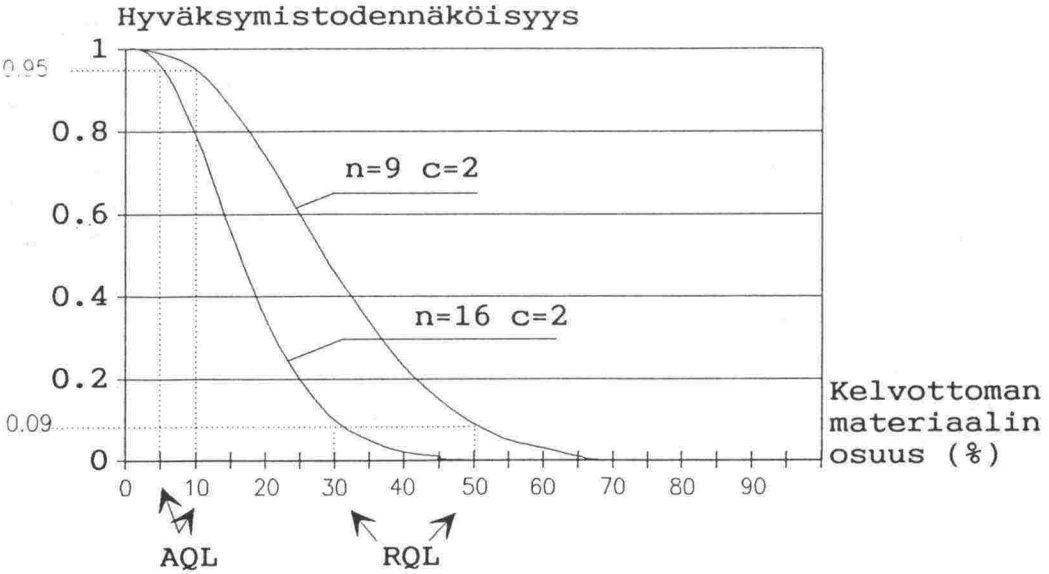


Kuva 9. Ominaisuustarkastuksen OC-käyriä

Luku c ilmoittaa sallitun laatuvaatimusten ulkopuolelle jäävän testitulosten lukumäärän otoksessa.

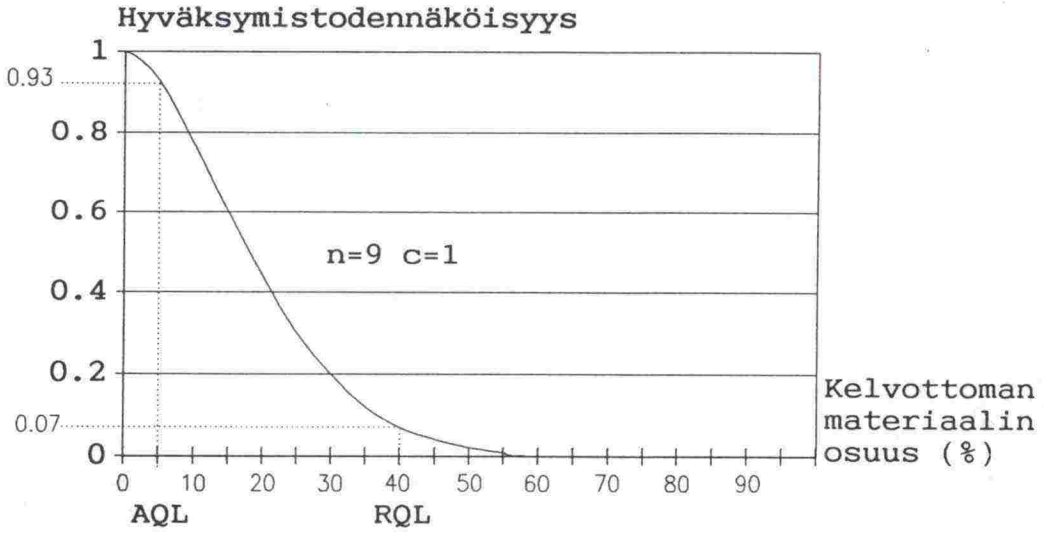
Jos päällysteen tyhjätila olisi likimain normaalijakautunut, riittäisi samoilla lähtöarvoilla otoskooksi n = 7.

Jos kiristetään laatutavoitetta niin, että AQL = 5 % ja RQL = 30 %, mutta α ja ß pysyvät samalla tasolla, on tilanne kuvan 10 mukainen.



Kuva 10. Laatutavoitteen kiristäminen

Lähimmäksi tavoitteita kohtuullisella otoskoolla päästään näytteenottosuunnitelmalla, jossa n = 16 ja c = 2. Kuvasta 11 nähdään, että kun AQL = 5 % ja RQL = 40 %, asettuvat urakoitsijan ja rakennuttajan riskit hyväksyttävälle tasolle (α = ß = 0.07), kun n = 9 ja c = 1.



Kuva 11. OC-käyrä, n = 9, c = 1

4.3 Johtopäätökset

Simulointien perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

1. Tienrakentamisen muuttujatarkastuksessa soveltuva otoskoko on n = 5...8 (kun AQL = 5 - 10 % ja RQL = 40 - 50 %).

2. Soveltuva otoskoko ominaisuustarkastuksessa on n = 7...10, c ≤ 3 (kun AQL = 5 - 10 % ja RQL = 40 - 50 %).

3. Hyväksymisrajan ja hylkäämisrajan tulee olla AQL = 5 - 10 % ja RQL = 40 - 50 %. Rajojen tiukentaminen kasvattaa otoskokoa.

Yksityiskohtaiset näytteenottosuunnitelmat tulee aina laatia tapauskohtaisesti. Liitteessä 2 on esitetty erilaisia näytteenottosuunnitelmia muuttujatarkastelulle. Ominaisuustarkastuksen OC-käyrät ovat suhteellisen helppoja laskea. Menetelmä on esitetty raportin 1. osassa. Myös erilaiset standardit sisältävät valmiita taulukoita tarkastussuunnitelmille (esim. muuttujatarkastukselle SFS 4760 ja ominaisuustarkastukselle SFS 4010).

4.4 Arvonmuutosmenettelyistä

Tilastollinen laadunarvostelu ja niihin liitetyt arvonmuutosmenettelyt, joita sovelletaan AQL:n ja RQL:n välissä, ovat kiinteässä yhteydessä toisiinsa. Esimerkkinä voidaan tarkastella arvonmuutostaulukkoa

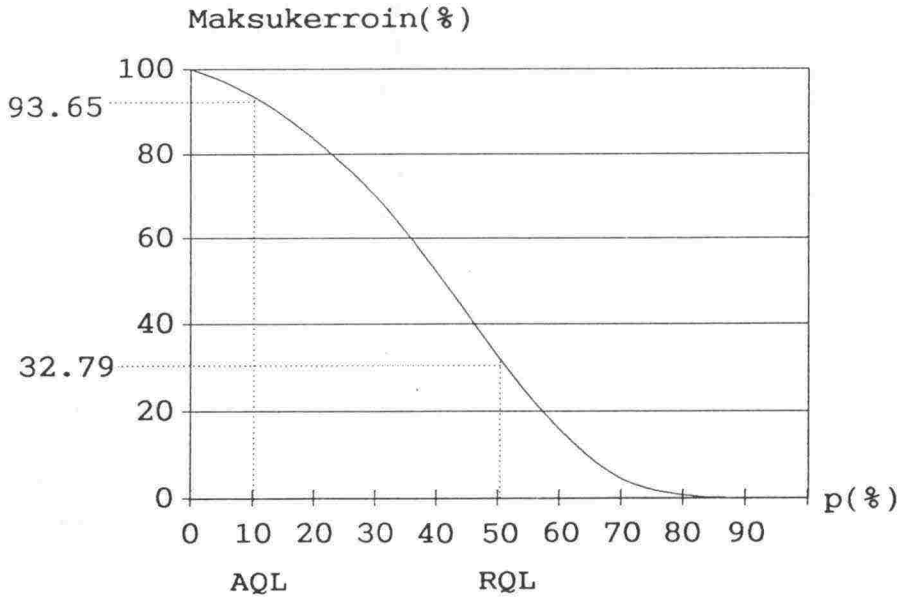
p (%)	maksukerroin (%)
0 - 10	100
10 - 20	90
20 - 30	80
30 - 40	70
40 - 50	50
50 - 100	0*)

*) erä korjataan tai uusitaan

missä

p = kelvottoman materiaalin osuus (%).

Kyseisen arvonmuutostaulukon maksukertoimen odotusarvo, otoskoolla n = 7, on esitetty kuvassa 12.



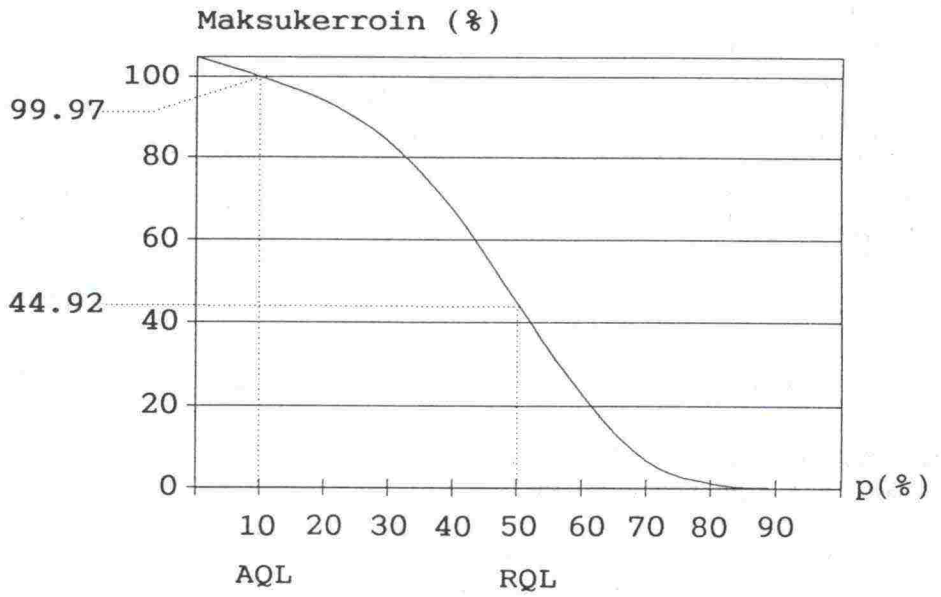
Kuva 12. Maksukertoimen odotusarvo, n = 7

Kuten kuvasta nähdään, on todellinen maksukertoimen odotusarvo AQL:ssä (p = 10 %) 93.65 %, vaikka taulukko lupaakin täyden maksun.

On mahdollista käyttää myös yhtälömuotoista ilmaisua arvonmuutokselle, esimerkiksi

$$\text{maksukerroin} = 105 - 0.5p,$$

jolloin maksukertoimen odotusarvon kuvaaja on kuvan 13 mukainen.



Kuva 13. Maksukertoimen odotusarvo yhtälömuotoiselle arvonmuutokselle, n = 7

Nyt on maksukertoimen odotusarvo 99.97 %, kun p = 10 %, mitä voidaan pitää urakoitsijan kannalta oikeudenmukaisempana. Yhtälömuodosta huolimatta voidaan minimimaksukerroin määrätä 50 %:ksi. Jos p ≥ RQL, erä korjataan tai uusitaan.

5 SUOSITUKSET

Yhteenvetona tutkimuksesta voidaan esittää taulukko 3, jossa on suositeltu kunkin tutkitun laatumuuttujan osalta tarkastustyyppi, otoskoko ja laatutavoite (AQL ja RQL). Suluissa on ilmoitettu mittausmenetelmä.

Taulukko 3. Suosituksia

Laatumuuttuja	Tarkastustyyppi	Otoskoko	AQL (%)	RQL (%)
Kantavuus E_2 (levykuormitus)	muuttuja–tarkastus	5–8	5 – 10	40 – 50
Tiiviys (Proctor–koe)	x	x	x	x
Päällysteen bitumipitoisuus, tyyppi MPAB 20	x	x	x	x
Päällysteen tyhjätila, tyyppi MBAP 20	ominaisuus–tarkastus	7 – 10	5 – 10	40 – 50

x = lisätutkimus tarpeen (voidaan käyttää ominaisuustarkastusta)

Niissä tapauksissa, joissa on todettu lisätutkimuksen tarve, voidaan kuitenkin aina soveltaa ominaisuustarkastusta. Suositukset ovat tällöin samankaltaiset kuin tyhjätilan arvostelussa. Muuttujatarkastuksen soveltuminen vähentäisi tarvittavien näytteiden lukumäärää ja siten säästäisi näytteenpoiminta- ja mittauskustannuksia. Liitteessä 2 on erilaisia tarkastussuunnitelmia muuttujatarkastukselle ja liitteessä 3 ominaisuustarkastukselle.

Edellä esitetyn ja saatujen kokemusten perusteella voidaan suositella myös seuraavia toimenpiteitä:

1. Laatumittaustulosten jalostus-, tallennus- ja hyväksikäyttöjärjestelmän kehittäminen niin, että historiallisen aineiston käyttö eri tarkoituksiin helpottuu.

2. ATK-sovellutusten kehittäminen edelliseen liittyen.

KIRJALLISUUSLUETTELO

/1/ Barros, RT & Weed, RM & Willenbrock, JH.
Software Package For Design and Analysis of
Acceptance Procedures Based on Percent Defective.
Trans Res Rec No 924 (1983). pp. 85 - 92.

TABLE FOR ESTIMATING THE PERCENT DEFECTIVE OF A NORMAL POPULATION

SAMPLE SIZE = 3

Q	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	49.95	49.67	49.40	49.12	48.84	48.57	48.29	48.02	47.74	47.47
.1	47.19	46.91	46.64	46.36	46.08	45.80	45.53	45.25	44.97	44.69
.2	44.41	44.13	43.85	43.57	43.29	43.01	42.73	42.44	42.16	41.87
.3	41.59	41.30	41.02	40.73	40.44	40.15	39.87	39.57	39.28	38.99
.4	38.70	38.40	38.11	37.81	37.52	37.22	36.92	36.62	36.32	36.01
.5	35.71	35.40	35.09	34.78	34.47	34.16	33.85	33.53	33.21	32.89
.6	32.57	32.25	31.92	31.60	31.27	30.93	30.60	30.26	29.92	29.58
.7	29.24	28.89	28.54	28.19	27.83	27.47	27.10	26.74	26.36	25.99
.8	25.61	25.23	24.84	24.44	24.04	23.64	23.23	22.81	22.39	21.96
.9	21.53	21.08	20.63	20.17	19.70	19.22	18.73	18.23	17.72	17.19
1.0	16.65	16.09	15.51	14.91	14.29	13.65	12.97	12.25	11.50	10.69
1.1	9.83	8.88	7.81	6.59	5.08	2.87	.00	.00	.00	.00

(Q VALUES ARE COMPUTED BY THE STANDARD DEVIATION METHOD. FOR POSITIVE Q VALUES, THE PERCENT DEFECTIVE ESTIMATE IS READ DIRECTLY FROM THE TABLE. FOR NEGATIVE Q VALUES, THE TABLE VALUE MUST BE SUBTRACTED FROM 100.00.)

SAMPLE SIZE = 5

Q	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	50.04	49.68	49.32	48.97	48.61	48.26	47.90	47.54	47.19	46.83
.1	46.48	46.12	45.77	45.41	45.06	44.70	44.35	43.99	43.64	43.28
.2	42.93	42.57	42.22	41.87	41.51	41.16	40.81	40.46	40.11	39.75
.3	39.40	39.05	38.70	38.35	38.00	37.65	37.30	36.95	36.61	36.26
.4	35.91	35.56	35.22	34.87	34.53	34.18	33.84	33.49	33.15	32.81
.5	32.46	32.12	31.78	31.44	31.10	30.76	30.42	30.09	29.75	29.41
.6	29.08	28.74	28.41	28.07	27.74	27.41	27.08	26.75	26.42	26.09
.7	25.76	25.43	25.10	24.78	24.45	24.13	23.81	23.49	23.16	22.84
.8	22.53	22.21	21.89	21.57	21.26	20.95	20.63	20.32	20.01	19.70
.9	19.39	19.09	18.78	18.47	18.17	17.87	17.57	17.27	16.97	16.67
1.0	16.38	16.08	15.79	15.50	15.21	14.92	14.63	14.34	14.06	13.77
1.1	13.49	13.21	12.93	12.66	12.38	12.11	11.84	11.57	11.30	11.03
1.2	10.77	10.50	10.24	9.98	9.72	9.47	9.22	8.96	8.71	8.47
1.3	8.22	7.98	7.73	7.50	7.26	7.02	6.79	6.56	6.33	6.11
1.4	5.88	5.66	5.45	5.23	5.02	4.81	4.60	4.40	4.20	4.00
1.5	3.80	3.61	3.42	3.23	3.05	2.87	2.70	2.52	2.35	2.19
1.6	2.03	1.87	1.72	1.57	1.42	1.28	1.15	1.02	.89	.77
1.7	.66	.55	.45	.36	.27	.19	.12	.06	.02	.00

(Q VALUES ARE COMPUTED BY THE STANDARD DEVIATION METHOD. FOR POSITIVE Q VALUES, THE PERCENT DEFECTIVE ESTIMATE IS READ DIRECTLY FROM THE TABLE. FOR NEGATIVE Q VALUES, THE TABLE VALUE MUST BE SUBTRACTED FROM 100.00.)

Käyttöohje:

Positiivinen laatuindeksin Q:n arvo Q = 1.02 antaa kelvottoman materiaalin osuudeksi 15.79 %, kun n = 5. Negatiivinen Q:n arvo Q = -0.30 antaa kelvottoman materiaalin osuudeksi 100 % - 39.40 % = 60.60 %, kun n = 5.

Jos on laskettu esim Q_L = 1.02 ja Q_U = 1.77, niin kelvottoman materiaalin osuudeksi tulee 15.79 % + 0.06 % = 15.85 %, kun n = 5.

TABLE FOR ESTIMATING THE PERCENT DEFECTIVE OF A NORMAL POPULATION

SAMPLE SIZE = 7

Q	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	50.02	49.65	49.27	48.90	48.52	48.15	47.78	47.40	47.03	46.65
.1	46.28	45.91	45.53	45.16	44.79	44.42	44.05	43.67	43.30	42.93
.2	42.56	42.19	41.82	41.45	41.09	40.72	40.35	39.98	39.62	39.25
.3	38.89	38.52	38.16	37.80	37.43	37.07	36.71	36.35	35.99	35.63
.4	35.28	34.92	34.56	34.21	33.85	33.50	33.15	32.80	32.45	32.10
.5	31.75	31.40	31.06	30.71	30.37	30.03	29.69	29.35	29.01	28.67
.6	28.33	28.00	27.66	27.33	27.00	26.67	26.34	26.01	25.69	25.36
.7	25.04	24.72	24.40	24.08	23.76	23.45	23.13	22.82	22.51	22.20
.8	21.89	21.59	21.28	20.98	20.68	20.38	20.08	19.79	19.49	19.20
.9	18.91	18.62	18.33	18.05	17.77	17.49	17.21	16.93	16.65	16.38
1.0	16.11	15.84	15.57	15.30	15.04	14.78	14.52	14.26	14.01	13.75
1.1	13.50	13.25	13.00	12.76	12.52	12.28	12.04	11.80	11.57	11.33
1.2	11.10	10.88	10.65	10.43	10.21	9.99	9.77	9.56	9.35	9.14
1.3	8.93	8.72	8.52	8.32	8.12	7.93	7.74	7.54	7.36	7.17
1.4	6.99	6.81	6.63	6.45	6.28	6.11	5.94	5.77	5.61	5.44
1.5	5.28	5.13	4.97	4.82	4.67	4.53	4.38	4.24	4.10	3.96
1.6	3.83	3.70	3.57	3.44	3.32	3.19	3.07	2.96	2.84	2.73
1.7	2.62	2.51	2.41	2.30	2.20	2.11	2.01	1.92	1.83	1.74
1.8	1.66	1.57	1.49	1.41	1.34	1.26	1.19	1.12	1.06	.99
1.9	.93	.87	.81	.76	.70	.65	.61	.56	.51	.47
2.0	.43	.39	.36	.32	.29	.26	.23	.21	.18	.16
2.1	.14	.12	.10	.08	.07	.06	.05	.04	.03	.02
2.2	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

(Q VALUES ARE COMPUTED BY THE STANDARD DEVIATION METHOD. FOR POSITIVE Q VALUES, THE PERCENT DEFECTIVE ESTIMATE IS READ DIRECTLY FROM THE TABLE. FOR NEGATIVE Q VALUES, THE TABLE VALUE MUST BE SUBTRACTED FROM 100.00.)

TABLE FOR ESTIMATING THE PERCENT DEFECTIVE OF A NORMAL POPULATION

SAMPLE SIZE = 9

Q	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	50.01	49.63	49.25	48.87	48.49	48.10	47.72	47.34	46.96	46.58
.1	46.20	45.82	45.44	45.06	44.68	44.30	43.92	43.54	43.16	42.78
.2	42.41	42.03	41.66	41.28	40.91	40.53	40.16	39.79	39.41	39.04
.3	38.67	38.30	37.93	37.56	37.20	36.83	36.47	36.10	35.74	35.38
.4	35.01	34.65	34.29	33.94	33.58	33.22	32.87	32.51	32.16	31.81
.5	31.46	31.11	30.76	30.42	30.07	29.73	29.39	29.05	28.71	28.37
.6	28.03	27.70	27.37	27.03	26.70	26.38	26.05	25.72	25.40	25.08
.7	24.76	24.44	24.12	23.81	23.49	23.18	22.87	22.56	22.26	21.95
.8	21.65	21.35	21.05	20.75	20.46	20.16	19.87	19.58	19.29	19.01
.9	18.73	18.44	18.17	17.89	17.61	17.34	17.07	16.80	16.53	16.27
1.0	16.00	15.74	15.49	15.23	14.98	14.72	14.47	14.23	13.98	13.74
1.1	13.50	13.26	13.02	12.79	12.56	12.33	12.10	11.88	11.65	11.43
1.2	11.21	11.00	10.78	10.57	10.36	10.16	9.95	9.75	9.55	9.35
1.3	9.16	8.97	8.78	8.59	8.40	8.22	8.04	7.86	7.68	7.51
1.4	7.34	7.17	7.00	6.84	6.67	6.51	6.35	6.20	6.05	5.89
1.5	5.75	5.60	5.46	5.31	5.17	5.04	4.90	4.77	4.64	4.51
1.6	4.38	4.26	4.14	4.02	3.90	3.78	3.67	3.56	3.45	3.34
1.7	3.24	3.14	3.04	2.94	2.84	2.75	2.65	2.56	2.47	2.39
1.8	2.30	2.22	2.14	2.06	1.98	1.91	1.84	1.77	1.70	1.63
1.9	1.56	1.50	1.44	1.38	1.32	1.26	1.20	1.15	1.10	1.05
2.0	1.00	.95	.90	.86	.82	.77	.73	.70	.66	.62
2.1	.59	.55	.52	.49	.46	.43	.41	.38	.36	.33
2.2	.31	.29	.27	.25	.23	.21	.20	.18	.17	.15
2.3	.14	.13	.11	.10	.09	.08	.08	.07	.06	.05
2.4	.05	.04	.04	.03	.03	.02	.02	.02	.01	.01
2.5	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

(Q VALUES ARE COMPUTED BY THE STANDARD DEVIATION METHOD. FOR POSITIVE Q VALUES, THE PERCENT DEFECTIVE ESTIMATE IS READ DIRECTLY FROM THE TABLE. FOR NEGATIVE Q VALUES, THE TABLE VALUE MUST BE SUBTRACTED FROM 100.00.)

MUUTTUJATARKASTUS, M-MENETELMÄ

AQL (%)	RQL (%)	n	M (%)	Q	α = 0.05	β < 0.10
1	10	21	3.48	1.761	.0500	.0955
1	15	13	4.37	1.639	.0500	.0920
1	20	9	5.30	1.531	.0500	.0985
5	20	24	11.70	1.210	.0500	.0934
5	25	16	12.87	1.128	.0500	.0875
5	30	11	14.91	1.042	.0500	.0962
5	35	9	16.26	.990	.0500	.0805
5	40	7	18.32	.921	.0500	.0833
5	45	6	19.83	.875	.0500	.0724
10	30	21	19.39	.868	.0500	.0975
10	35	15	21.33	.802	.0500	.0879
10	40	11	23.53	.734	.0500	.0874
10	45	8	26.32	.655	.0500	.0981
10	50	7	27.69	.619	.0500	.0762
					α = 0.075	β < 0.125
5	30	9	14.40	1.063	.0750	.1150
5	35	7	16.09	1.001	.0750	.1103
5	40	6	17.34	.960	.0750	.0934
5	45	5	19.12	.909	.0750	.0885
10	30	17	19.07	.880	.0750	.1164
10	35	12	21.04	.815	.0750	.1097
10	40	9	23.06	.754	.0750	.1046
10	45	7	25.21	.695	.0750	.1013
10	50	5	28.87	.606	.0750	.1234

AQL = hyväksyttävä laatutaso
RQL = hylättävä laatutaso
n = otoskoko
M = ylin sallittu otoksen perusteella arvioitu kelvottoman materiaalin osuus, joka johtaa laatutasoon AQL
Q = (alempi) laatutaso, joka lausutaan

$$Q = \frac{\bar{x} - L}{s}$$

α = urakoitsijan riski
β = rakennuttajan riski

Käyttöohje:

Jos laatutavoite on esim. AQL = 10 % ja RQL = 40 %, niin poimittaessa 11 näytettä ovat urakoitsijan ja rakennuttajan riskit kohtuulliset (= 0.05, ß = 0.087). Otoksen perusteella laskettu suurin sallittava kelvottoman materiaalin osuus tulisi olla M = 23.53 %. Pienin sallittava laatuindeksi olisi Q = 0.734.

OMINAISUUSTARKASTUS

n	c	AQL = 5 % α	RQL = 30 % β	AQL = 5 % α	RQL = 40 % β	AQL = 10 % α	RQL = 40 % β	AQL = 10 % α	RQL = 50 % β
5	0	0.226	0.168	0.226	0.078	0.410	0.078	0.410	0.031
5	1	0.023	0.528	0.023	0.337	0.081	0.337	0.081	0.188
5	2	0.001	0.837	0.001	0.683	0.009	0.683	0.009	0.500
7	0	0.302	0.082	0.302	0.028	0.522	0.028	0.522	0.008
7	1	0.044	0.329	0.044	0.159	0.150	0.159	0.150	0.063
7	2	0.004	0.647	0.004	0.420	0.026	0.420	0.026	0.227
7	3	0.000	0.874	0.000	0.710	0.003	0.710	0.003	0.500
9	0	0.370	0.040	0.370	0.010	0.613	0.010	0.613	0.002
9	1	0.072	0.196	0.072	0.071	0.225	0.071	0.225	0.020
9	2	0.008	0.463	0.008	0.232	0.053	0.232	0.053	0.090
9	3	0.001	0.730	0.001	0.483	0.008	0.483	0.008	0.254
9	4	0.000	0.901	0.000	0.733	0.001	0.733	0.001	0.500
12	1	0.118	0.085	0.118	0.020	0.341	0.020	0.341	0.003
12	2	0.020	0.253	0.020	0.083	0.111	0.083	0.111	0.019
12	3	0.002	0.493	0.002	0.225	0.026	0.225	0.026	0.073
14	4	0.000	0.724	0.000	0.438	0.004	0.438	0.004	0.194
15	1	0.171	0.035	0.171	0.005	0.451	0.005	0.451	0.000
15	2	0.036	0.127	0.036	0.027	0.184	0.027	0.184	0.004
15	3	0.005	0.297	0.005	0.091	0.056	0.091	0.056	0.018
15	4	0.001	0.515	0.001	0.217	0.013	0.217	0.013	0.059
15	5	0.000	0.722	0.000	0.403	0.002	0.403	0.002	0.151

n = otoskoko
c = sallittu laatuvaatimusten ulkopuolelle jäävä testitulosten lukumäärä otoksessa eli ns. hyväksymisluku
AQL = hyväksyttävä laatutaso
RQL = hylättävä laatutaso
α = urakoitsijan riski
β = rakennuttajan riski

Käyttöohje: Jos poimitaan erästä esim. 7 näytettä, joista sallitaan kelvottomia 1 kpl, saadaan laatutavoitteella AQL = 5 % ja RQL = 40 % urakoitsijan riskiksi 0.004 = 4,4 % ja rakennuttajan riskiksi 0.159 = 15,9 %.

ISBN 951-47-5009-8
TIEL 2223515