



**Tielaitos**

**Routavaurio- ja kuivatustutkimus**

## **Pituushalkeamat osa II**

**Tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin**

### **TULOKSET:**

Routivat maalajit voidaan jaotella routanousun perusteella. Maalajin hienoainespitoisuuden ja pohjaveden vaikutus routanousun suuruuteen on esitetty sivulla 31.

Hienoaineksen laatu (0,02 mm läp. % / 0,074 mm läp. %) pysyy melko vakiona laajallakin hiekkamoreenialueella.(s.39)

Kapeisiin syväojaisiin teihin tulee herkemmin pituus- halkeamia kuin muihin poikkileikkaustyyppeihin, kun routanousu on kaikissa yli 50 mm.(s.8)

Paksu rakenne halkeaa herkemmin kuin ohut, kun routanousu on sama.(s.12)

**Tiehallituksen  
sisäisiä  
julkaisuja**

**22/1991**

Helsinki 1991

**Tiehallitus  
Kehittämiskeskus**

Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja  
22/1991

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

## **Pituushalkeamat osa II**

**Tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus  
tien routanousuihin**

**Tielaitos**  
Tiehallitus, Kehittämiskeskus

Helsinki 1991

TIEL 4000005  
Tähti-Offset Ky  
Helsinki 1991

Julkaisua myy  
Tiehallitus, painotuotevarasto

**Tielaitos**  
Tiehallitus  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puh. vaihde (90) 1541

## ALKUSANAT

Käsilläoleva pituushalkeamatutkimuksen osaraportti II liittyy syksyllä 1987 käynnistettyyn routavaurio- ja kuivatustutkimukseen, jonka tavoitteena on tuottaa tietoa tierakenteen suunnitteluohjeiden ja rakenteen parantamishjeiden kehittämisen perustaksi. Näiden ohjeiden uusiminen on parhaillaan käynnissä Tiehallituksessa.

Routavaurio- ja kuivatustutkimuksessa tarkastellaan tien pituushalkeamia, kallion ja lohkareiden aiheuttamia routanousuepätasaisuuksia ja tierakenteen kuivatuksen toimintaa. Tutkimuksen toteutus perustuu keväällä 1988 valmistuneeseen tutkimussuunnitelmaan /1/.

Tutkimusprojektin toteutuksesta on laadittu väliraportti /2/ kesällä 1988 ja osaraportti kalliokohdetutkimuksista /3/ helmikuussa 1990 sekä osaraportti pituushalkeamatutkimuksista /4/ elokuussa 1990. Käsilläolevassa osaraportissa tarkastellaan tien poikkileikkauksen, rakenteen ja olosuhteiden vaikutusta tien roustimiseen ja pituushalkeiluun.

Tierakenteen kuivatuksen toimintaa käsittelevä tutkimus jatkuu edelleen ja siitä tullaan laatimaan erillinen tutkimusraportti kuluvan vuoden loppuun mennessä.

Routavaurio- ja kuivatustutkimusta on tehty Tiehallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta. Kehittämiskeskukselta työtä on valvonut dipl. ins. Kari Lehtonen. Insinööritoimisto PSV Oy:stä projektissa ovat työskennelleet tekn. tri. Esko Ehrola, dipl. insinöörit Reima Petäjäjärvi, Markku Vähäkainu, Tuomas Turunen ja Pekka Koskela sekä ins. Risto Laukka.

Lapin, Oulun, Keski-Pohjanmaan, Vaasan, Pohjois-Karjalan ja Mikkelin tiepiirit ovat tehneet suurimman osan kenttämittauksista.

Oulussa toukokuussa 1991

Esko Ehrola



## SISÄLLYS

	Sivu
ALKUSANAT	
1. JOHDANTO	1
2. TIEN POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS POIKKILEIKKAUKSEN ROUTANOUSUEROIHIN JA PITUUSHALKEILUUN	2
2.1 Poikkileikkaustyyppin vaikutus tien keskikohdan ja reunan routanousueroihin	2
2.2 Poikkileikkaustyyppin vaikutus tien pituushalkeiluun	5
3. TIEN RAKENNEPAKSUUDEN JA MAASTON VAIKUTUS PITUUSHALKEILUUN	10
3.1 Päällysrakennepaksuuden vaikutus pituushalkeiluun	10
3.2 Maaston vaikutus pituushalkeiluun	13
4. TIEN ALUSRAKENTEEN ROUTIVUUSLUOKITTELU	13
4.1 Tavoite ja tutkimusmenetelmät	13
4.2 Routivuusluokittelu	18
4.2.1 Routanousumalli	18
4.2.2 Alusrakenteen turpoaminen	20
5. PENKEREEN JA TURVEKERROKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTIMISEEN	32
5.1 Penkereen vaikutus tien routimiseen	32
5.2 Turvekerroksen vaikutus tien routimiseen	33
6. POHJAVEDEN TASON JA POHJAMAAN RAKEISUUSTUNNUS- LUKUJEN MÄÄRITTÄMINEN	36
6.1 Pohjaveden tason määrittely	36
6.2 Pohjamaan 0,02 mm seulan läpäisyprosentin arvioiminen seulan 0,074 mm läpäisy- prosentin avulla	39
7. YHTEENVETO	42
KIRJALLISUUS	48

## 1. JOHDANTO

Tiestömme vaurioitumisessa on routiminen liikenteen ohella toinen erittäin merkittävä tekijä. Routiminen aiheuttaa teihin epätasaisuutta ja erilaisia halkeamia. Routineen tierakenteen sulaessa keväällä tapahtuu tien kantavuudessa merkittävää alenemista, mikä edesauttaa tiestön ennen aikaista vaurioitumista.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tien routanousua ja tien poikkileikkauksen epätasaisen routanousun aiheuttamia pituushalkeamia. Tutkimus perustuu lapin, Oulun, Keski-Pohjanmaan, Vaasan, Pohjois-Karjalan ja Mikkelin tiepiirin tiestöllä vuosina 1987 - 1989 kerättyyn tutkimus- ja havaintoaineistoon. Aineisto on kuvattu pituushalkeamatutkimuksen ensimmäisessä osassa, osaraportissa I/4/.

Osaraportissa I on selvitetty pituushalkeamien muodostumisen todennäköisyyttä poikkileikkauksen routanousua kuvaavien routanousumuuttujien avulla. Raportissa on esitetty poikkileikkauksen routanousuille ja niitä kuvaaville muuttujille kriittiset arvot eli raja-arvot, joilla pituushalkeamien syntyminen on hyvin todennäköistä.

Pituushalkeamatutkimuksen toisessa osassa, jota tämä raportti käsittelee, tutkitaan tien poikkileikkaustyyppien vaikutusta poikkileikkauksen routanousueroihin ja pituunhalkeiluun. Edelleen selvitetään tien rakenteen ja olosuhteiden vaikutusta tien routimiseen ja pituushalkeiluun.

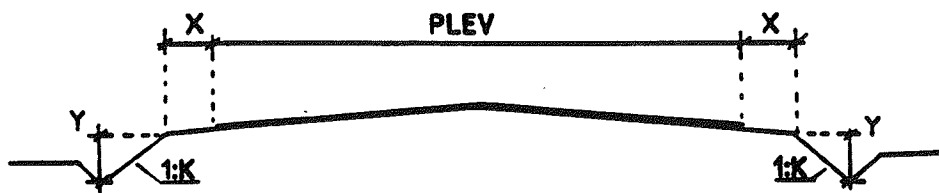
Pituushalkeamatutkimuksen aineiston perusteella pyritään kehittämään myös tien alusrakenteen routimisluokista tien routanousujen mukaiseksi.

Tien routimiseen vaikuttavien tekijöiden osalta selvitetään edelleen tien routimisprosessiin vaikuttavan pohjaveden tason ja pohjamaan rakeisuustunnuslukujen määrittämiseen liittyviä kysymyksiä.

## 2. TIEN POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS POIKKILEIKKAUKSEN ROUTANOUSUEROHIN JA PITUUSHALKEILUUN

### 2.1 Poikkileikkaustyyppin vaikutus tien keskilinjan ja reunan routanousueroihin

Poikkileikkausta kuvaavina tekijöinä on tarkasteltu tien ja pientareen leveyksiä, luiskan muotoa ja ojasyvyyttä kuvan 1 mukaisesti.



PLEV = Päällysteen leveys  
 Y = Ojan syvyys  
 X = Pientareen leveys  
 K = Luiskan kaltevuuskerroin  
 Syvemmän ojan puoli määräävä

KUVA 1. POIKKILEIKKAUKSEN KUVAUS.

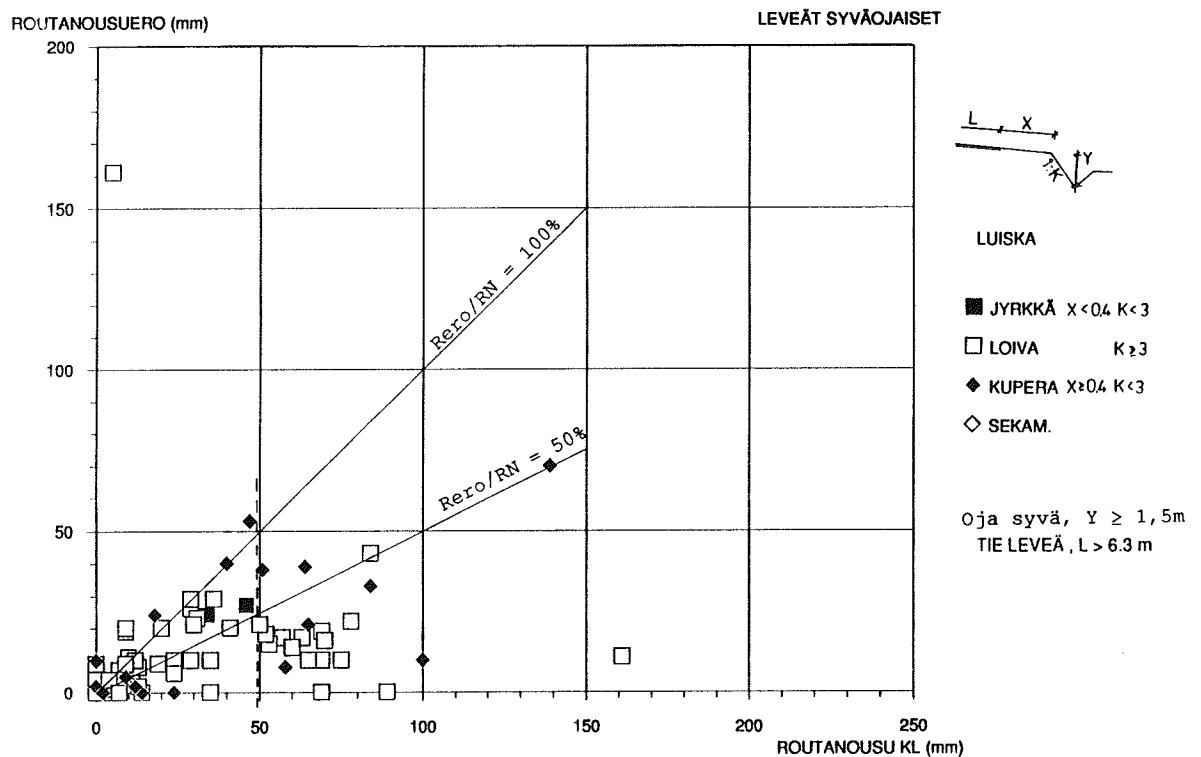
Poikkileikkausta kuvaavat tekijät on tulosten tarkastelussa luokiteltu taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. POIKKILEIKKAUSTEKIJÖIDEN LUOKITTELU.

	Luokittelu	Ka	Vaihteluväli
Luiska	Jyrkkä $K < 3$	2,6	1,5...3,0
	$X < 0,4$	0,3	0,3...0,4
	Kupera $K < 3$	2,3	0,0...3,0
	$X \geq 0,4$	0,8	0,4...2,3
	Loiva $K \geq 3$	3,9	3,0...14,3
Tien leveys	Leveä pääl. $L > 6,3$ m	7,2	6,3...12,0
	Kapea pääl. $L \leq 6,3$ m	6,1	5,0...6,3
Ojan syvyys	Syvä $Y \geq 1,5$	2,0	1,5...4,2
	Matala $Y < 1,5$	1,1	0,1...1,5
Päällysrakennepaksuus	Pieni $H < 1,0$ m	0,5	0,3...1,0
	Suuri $H \geq 1,0$ m	1,3	1,0...2,9

Tien poikkileikkauksen routanousuja kuvaavina tekijöinä on tarkasteltu routanousueroa (keskilinja - tien reuna = rero), keskilinjän routanousua (RN) ja näiden suhdetta.

Tarkastelumallit (kuvat) on esitetty liitteissä 1 - 5 ja esimerkki kuvassa 2. Kuvasta 2 nähdään mm. että loivaluiskaisilla teillä routanousuerot ovat yleensä jonkin verran pienempiä kuin kuperilla ja jyrkkäluiskaisilla teillä.



KUVA 2. TIEN POIKKILEIKKAUKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTANOUSUIHIN (esimerkkikuva).

Pituushalkematutkimuksen osaraportin I (1) mukaan on routanousuerolla ja ajoratahalkeamien (keskihalkeamat ja ajokaistahalkeamat) syntymistodennäköisyydellä erittäin selvä yhteys. Routanousueron kasvaessa 20...40 mm suuruusluokkaan nousee halkeamatodennäköisyys tasolle, joka on kolminkertainen verrattuna halkeamatodennäköisyyteen routanousuerolla 1...20 mm.

Routanoususuhde (routanousueron suhde keskilinjän routanousuun) kuvaa poikkileikkauksen epätasaisen routanousun suuruutta. Mitä pienempi on routanoususuhde, sitä paremmin tien poikkileikkaus tasaa poikkisuuntaisia routanousueroja.

Arvosteltaessa poikkileikkaustyyppisiä routanoususuhteiden perusteella voidaan taulukon 2 mukaan todeta, että selvästi parhaiten toimiva on loivaluiskainen ja syväojainen leveä poikkileikkaus.

TAULUKKO 2. POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS ROUTANOUSUSUHTEESEEN.

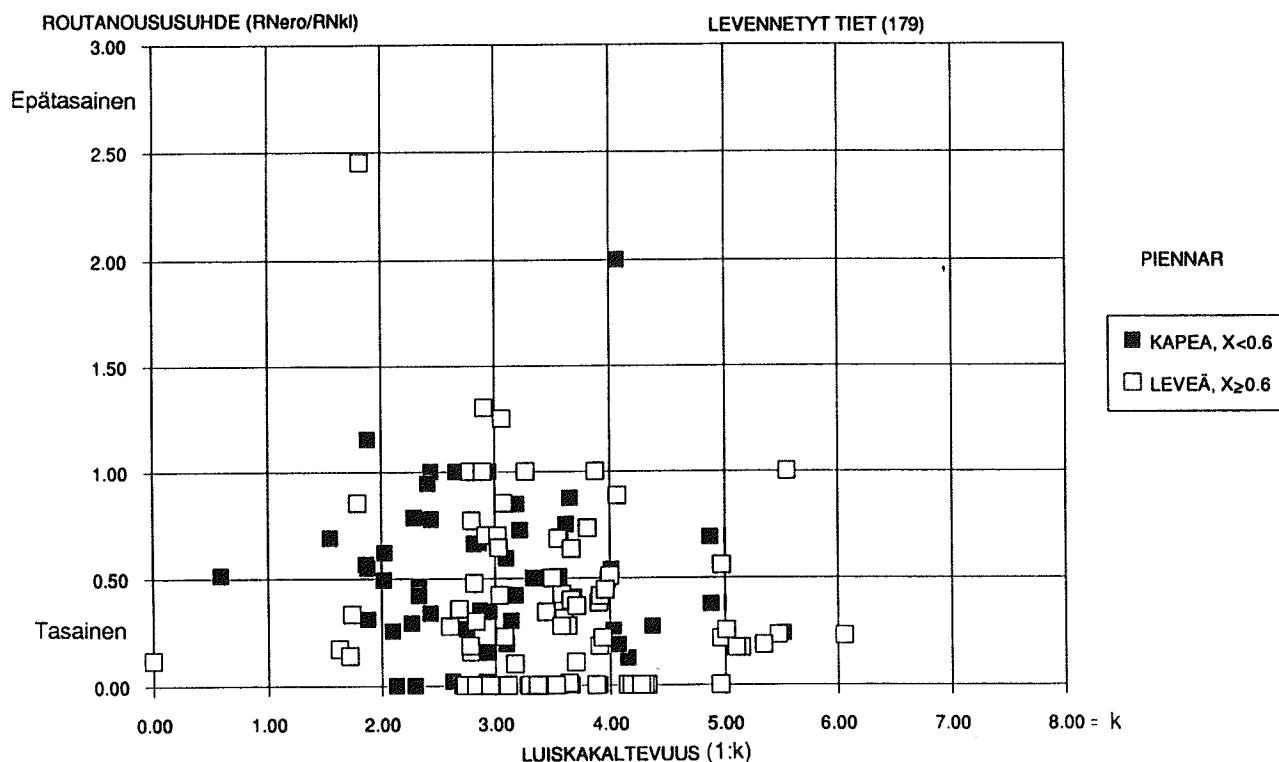
POIKKILEIKKAUS TYYPPI	KPL	ROUTANOUSUSUHDE		SUHTEEN MAXARVO
		RNero/RNkl KPL	> 0,5 %	
LEVENNETTY	66	20	30,0	1,2 -
Jyrkkä	4	1	(25,0)	(1,2)
Kupera	23	8	34,8	1,1
Loiva	39	11	28,2	0,9
LEVEÄ MATALAOJA	25	11	44,0	1
Kupera	3	1	(33,3)	(0,9)
Loiva	21	10	47,6	1
LEVEÄ SYVÄOJA	24	3	12,5 +	0,8
Kupera	7	2	28,6	0,8
Loiva	17	1	5,9 +	0,5 +
KAPEA MATALAOJA	36	6	16,7 +	0,9
Kupera	20	3	15,0 +	0,8
Loiva	16	3	18,8 +	0,9
KAPEA SYVÄOJA	16	9	56,3 -	0,8..1,2
Kupera	7	4	57,1 -	1,2 -
Loiva	9	5	55,6 -	0,8
YHTEENSÄ	166	49	29,3	

RNkl < 50 mm havainnot on poistettu

Leveissä teissä näyttäisivät matalaojaiset poikkileikkaukset olevan routanousun tasaisuuden suhteen selvästi huonompia kuin syväojaiset.

Kaikkein huonoin ryhmä on kapeat syväojaiset tiet. Matalaojaiset kapeat tiet toimivat selvästi paremmin.

Liitekuvilla 6, 7, 8 (esimerkki kuvassa 3) on tarkasteltu luiskakaltevuuden vaikutusta routanoususuhteeseen.



KUVA 3. LUISKAKALTEVUUDEN VAIKUTUS TIEN POIKKILEIKKAUKSEN ROUTANOUSUSUHTEEN (ESIMERKKIKUVA).

Näiden kuvien perusteella näyttää, että luiskakaltevuuksilla 1:2 - 1:4 ei routanoususuhteessa ole juurikaan eroa. Vasta luiskan ollessa loivempi kuin 1:4 on havaittavissa jonkin asteista routanousuerojen lieventymistä.

## 2.2 Poikkileikkaustyyppin vaikutus tien pituushalkeiluun

Pituushalkeilua on kuvattu halkeamien lukumäärän (halkeamatodennäköisyyden), halkeaman sijainnin ja leveyden avulla.

Poikkileikkaustyyppiä ja sen muotoa kuvaavat tekijät ovat tässä samat kuin edellä (kuva 1, taulukko 1). Poikkileikkauksen routimista on kuvattu keskilinjan routanousun avulla.



Tien leveydellä on aikaisempien tutkimusten (5) perusteella halkeamien sijaintiin tien poikkileikkauksessa seuraavanlainen periaatteellinen yhteys:

Tien leveysluokka	Halkeamien todennäköisin sijainti
Kapea 5 - 6 m	Tien reuna-alue
Normaali 7 - 9 m	Keskitie
Leveä 12 - 13 m	Tien reuna-alue

Käsilläolevan tutkimusaineiston perusteella on päällysteen leveyden, halkeamatodennäköisyyden ja halkeaman sijainnin välille saatu vastaavasti taulukon 3 mukainen yhteys.

TAULUKKO 3. TIEN LEVEYDEN, HALKEAMATODENNÄKÖISYYDEN JA HALKEAMAN SIJAINNIN VÄLINEN YHTEYS.

Halkeaman sijainti	PÄÄLLYSTEEN LEVEYS (m)								KAIKKI			
	< 6.0 m		6.0 ... 6.5 m		6.5 ... 7.5 m		7.5 ... 9.0 m				> 9.0 m	
Keskihalkeama	78	6%	263	12%	117	21%	9	67%	21	10%	488	14%
Reunahalkeama	78	13%	263	8%	117	6%	30	10%			488	9%
Ajokaistahalkeama	78	28%	263	26%	117	19%	30	0%			488	23%

1) Aineiston määrä

2) Halkeamatodennäköisyys

Taulukon 3 mukaan lisääntyy keskihalkeamien todennäköisyys 6 %:sta aina 67 %:iin, kun päällysteen leveys kasvaa alle 6 m:sta 7,5 - 9,0 m:iin. Yli 9 m leveillä teillä keskihalkeamien todennäköisyys putoaa 10 %:iin. Keskihalkeamatodennäköisyys on siis selvästi suurimmillaan tien leveysluokassa 7,5 - 9,0 m. Tulos käy yksiin erittäin hyvin edellä esitettyjen aikaisemmin saatujen tutkimustulosten kanssa.

Reunahalkeamien suhteen taulukon 3 mukaiset tulokset osoittavat, että reunahalkeamien todennäköisyys taas on suurin kapeilla teillä (leveys < 6 m). Tässäkin tulos käy hyvin yksiin edelläesitetyn asetelman kanssa. Reunahalkeamien suhteen päällysteen leveyden vaikutus ei ole kuitenkaan yhtä voimakas kuin keskihalkeamilla.

Ajokaistahalkeamia esiintyy selvästi eniten kapeilla (leveys < 6,5 m) teillä. Leveillä teillä (leveys > 7,5 m) ei ajokaistahalkeamia ole käsilläolevan tutkimuksen havainnoissa yhtään.

Tien poikkileikkaustyyppin ja poikkileikkauksen muodon vaikutus pituushalkeamien syntymiseen on käsilläolevan tutkimusaineiston perusteella taulukon 4 mukainen.

TAULUKKO 4. TIEN POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS HALKEAMATODENNÄKÖISYYTEEN TEILLÄ, JOIDEN ROUTANOUSU ON SUUREHKO.

POIKKILEIKKAUS: TIEN LEVEYS LUISKA	POIKKILEIKKAUSTEN MÄÄRÄ (KPL)	HALJENNEIDEN MÄÄRÄ (KPL)	OSUUS (%)	PAHASTI HALJENNEIDEN (HALK. LEV. > 40 MM) OSUUS (%)
LEVENNETTY	66	37	56	12
Jyrkkä	4	3	(75)	(0)
Kupera	23	14	61	23
Loiva	39	20	51	6 +
LEVEÄ MATALAOJA	25	17	68	21
Kupera	3	3	(100)	(50)
Loiva	21	14	67	18
LEVEÄ SYVÄOJA	24	12	50	9
Kupera	7	6	86 -	34 -
Loiva	17	6	35 +	0 +
KAPEA MATALAOJA	36	26	72	11
Kupera	20	13	65	12
Loiva	16	13	81 -	9
KAPEA SYVÄOJA	16	14	88 -	26
Kupera	7	6	86 -	21
Loiva	9	8	89 -	30 -
YHTEENSÄ	166	106	64	14

Taulukosta on poistettu havainnot, joissa keskilinjän routanousu on ollut alle 50 mm, koska tällaisissa tapauksissa routanousun vaikutus halkeiluun on todennäköisesti vähäinen.

Taulukon 4 mukaan on halkeamatodennäköisyys selvästi pienin (35 % kaikkien halkeamien ja 0 % leveiden halkeamien osalta) loivaluiskaisella ja syväojaisella leveällä poikkileikkauksella. Suurimmat halkeamatodennäköisyydet ovat kapeilla syväojaisilla poikkileikkaustyypeillä sekä kuperaluiskaisella ja syväojaisella leveällä poikkileikkauksella. Syynä näihin halkeamatodennäköisyyseroihin voidaan otaksua olevan nimenomaan poikkileikkauksen muodon eikä esim. päällysrakennepaksuudessa olevat erot. Päällysrakennepaksuuden vaikutus halkeamatodennäköisyyteen on todettu varsin pieneksi (taulukko 7).

Edellä on todettu, että tien leveydellä on selvä yhteys halkeaman sijaintiin. Tämä näkyy hyvin selvästi myös taulukon 5 halkeamatodennäköisyysvertailussa.

TAULUKKO 5. TIEN POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS HALKEAMAN SIJAINTIIN JA HALKEAMATODENNÄKÖISYYTEEN TEILLÄ, JOIDEN ROUTANOUSU ON SUUREHKO.

POIKKILEIKKAUS: TIEN LEVEYS LUISKA	POIKKILEIKKAUSTEN		HALJENNEIDEN POIKKILEIKKAUSTEN OSUUS, %			
	MÄÄRÄ	(KPL)	KESKI- HALKEAMAT	AJORATA- HALKEAMAT	REUNA- HALKEAMAT	KAIKKI HALKEAMAT
LEVENNETTY	66		8	35	14	56
Jyrkkä	4		(25)	(50)	(0)	(75)
Kupera	23		13	39	9	61
Loiva	39		3 +	31	18	51
LEVEÄ MATALAOJA	25		28	32	8	68
Kupera	3		(0)	(100)	(0)	(100)
Loiva	21		33 -	24	10	67
LEVEÄ SYVÄOJA	24		25	17	8	50
Kupera	7		14	57	14	86 -
Loiva	17		29 -	0 +	6 +	35 +
KAPEA MATALAOJA	36		22	33	17	72
Kupera	20		25	30	10	65
Loiva	16		19	38	25 -	81 -
KAPEA SYVÄOJA	16		13	63	13	88 -
Kupera	7		29 -	29	29 -	86 -
Loiva	9		0 +	89 -	0 +	89 -
YHTEENSÄ	166		17	34	13	64

Taulukosta on poistettu havainnot, joissa keskilinjan routanousu on ollut alle 50 mm, koska tällaisissa tapauksissa routanousun vaikutus halkeiluun on todennäköisesti vähäinen.

Keskihalkeamia on vähiten loivaluiskaisilla levenne-tyillä teillä sekä loivaluiskaisilla ja syväojaisilla kapeilla teillä. Eniten keskihalkeamia on leveillä loivaluiskaisilla teillä sekä kuperaluiskaisilla ja syväojaisilla kapeilla teillä.

Ajoratahalkeamien todennäköisyys on selvästi suurin kapeilla syväojaisilla poikkileikkaustyypeillä. Vähiten ajoratahalkeamia on loivaluiskaisilla ja syväojaisilla leveillä poikkileikkauksilla.

Reunahalkeamien todennäköisyys on levennetyillä ja kapeilla teillä samaa suuruusluokkaa, 13-17 %. Leveillä teillä reunahalkeamatodennäköisyys on odotetusti selvästi pienempi (8 %) kuin kapeilla teillä. Vähiten reunahalkeamia on loivaluiskaisilla ja syväojoisilla poikkileikkauksilla.

Taulukossa 6 on tarkasteltu poikkileikkaustyyppin ja keskilinjan routanousujen (RN) suuruuden vaikutusta leveiden (> 40 mm) halkeamien syntymiseen.

TAULUKKO 6. POIKKILEIKKAUSTYYPIN JA ROUTANOUSUJEN VAIKUTUS LEVEIDEN (> 40 MM) HALKEAMIEN SYNTYMISEEN.

POIKKILEIKKAUS TYYPPI	KAIKKI POIKKILEIKKAUKSET		KUPERAT POIKKILEIKKAUKSET	
	KPL	%	KPL	%
LEVENNETYT TIET	139	8	50	11
RN < 50 mm	74	6	28	3 +
RN ≥ 50 mm	65	10 -	22	21 -
LEVEÄT MATALAOJAT	57	7	7	10
RN < 50 mm	34	2 +	4	0 +
RN ≥ 50 mm	23	13 -	3	22 -
LEVEÄT SYVÄOJA	64	7	16	10
RN < 50 mm	40	7	9	0 +
RN ≥ 50 mm	24	8	7	24 -
KAPEAT MATALAOJA	83	4	39	7
RN < 50 mm	47	2 +	19	4
RN ≥ 50 mm	36	6	20	8
KAPEA SYVÄOJA	40	11 -	16	13
RN < 50 mm	26	8	9	15
RN ≥ 50 mm	14	15 -	7	10

Taulukon 6 mukaan näyttäisi siltä, että matalaojoisissa poikkileikkauksissa on pienillä (< 50 mm) keskilinjan routanousuilla leveiden halkeamien halkeamistodennäköisyys pieni. Erityisesti näin on tilanne leveillä teillä.

Syväojoisissa poikkileikkauksissa näyttää kapeilla kuperaluiskaisilla ja leveillä loivaluiskaisilla taas siltä, että pienikin routanousu riittää halkeaman aikaansaamiseksi.

### 3. TIEN RAKENNEPAKSUUDEN JA MAASTON VAIKUTUS PITUUSHALKEILUUN

#### 3.1 Päällysrakennepaksuuden vaikutus pituushalkeiluun

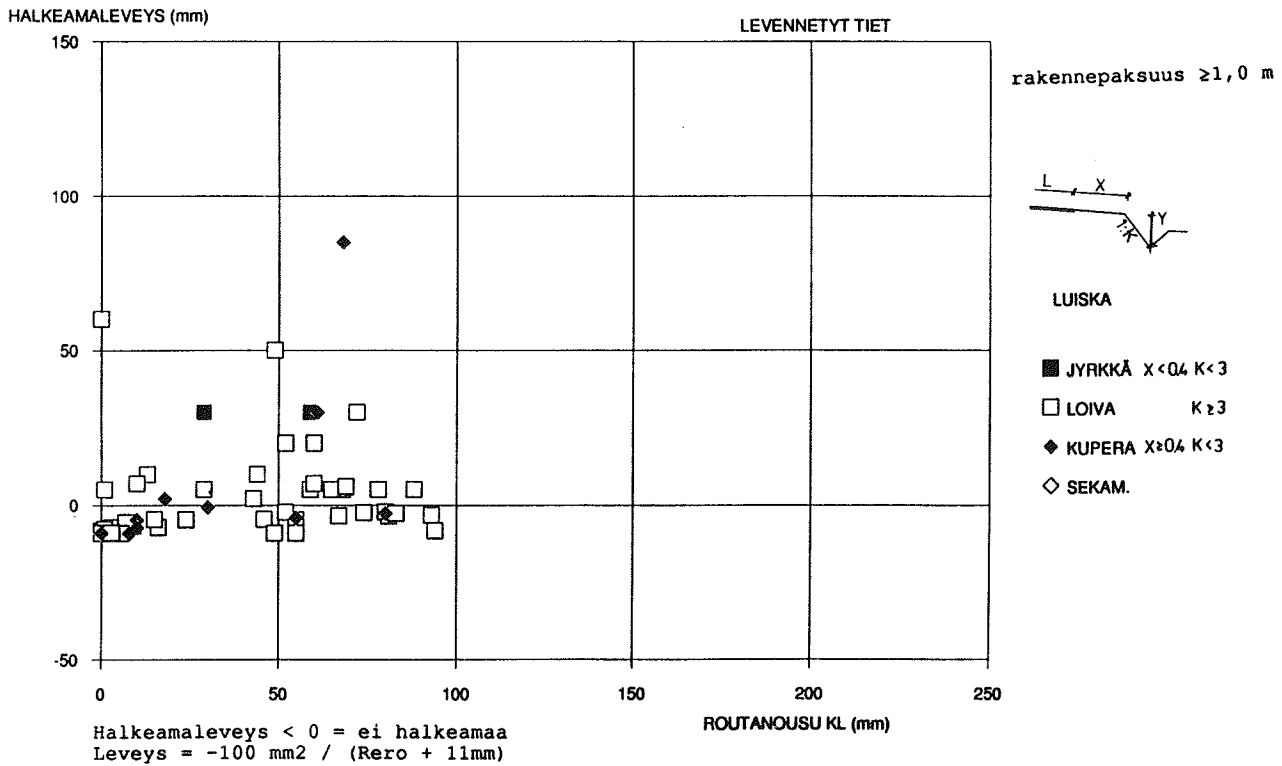
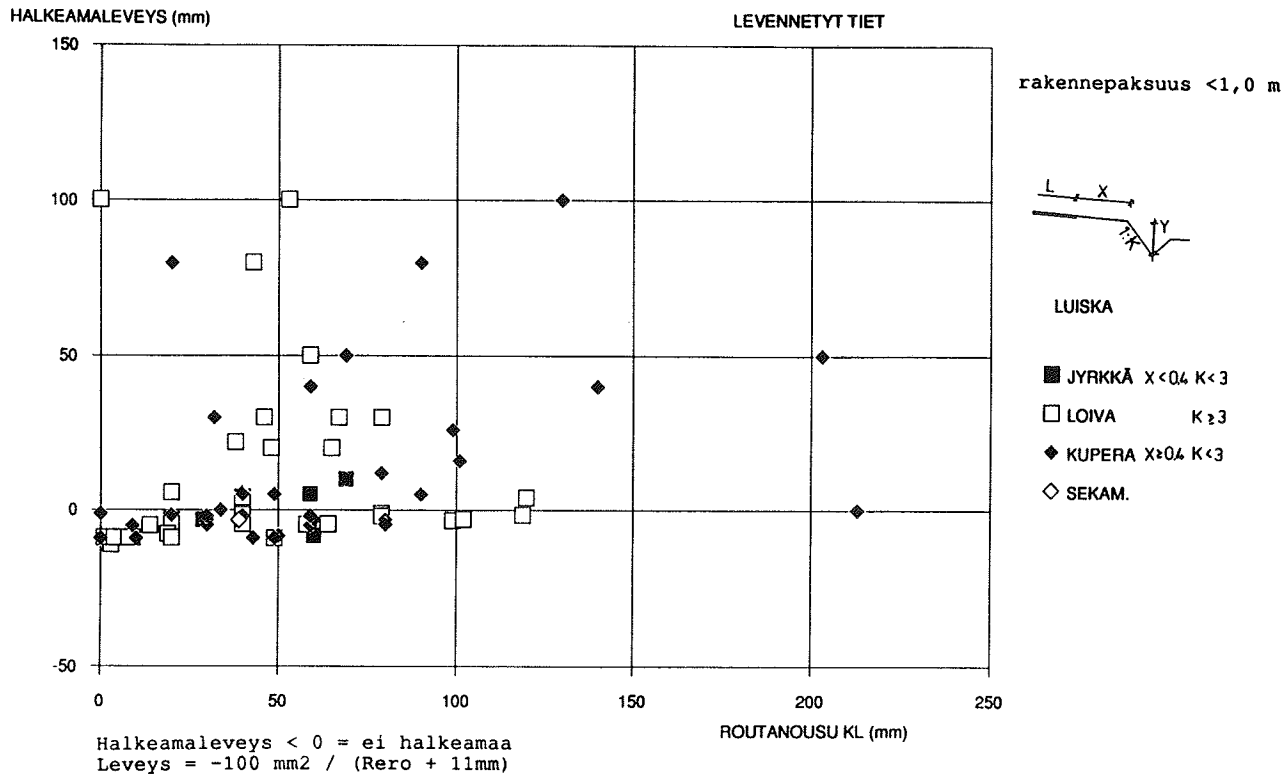
Taulukon 7 mukaan tien rakennepaksuudella ei näyttäisi olevan vaikutusta halkeamatodennäköisyyteen lukuunottamatta ehkä keskihalkeamia. Keskihalkeamia näyttäisi olevan paksuilla päällysrakenteilla (> 1,25 m) enemmän kuin ohuilla päällysrakenteilla.

TAULUKKO 7. TIEN RAKENNEPAKSUUDEN (ROUTIMATON RAKENNEPAKSUUS), HALKEAMATODENNÄKÖISYYDEN JA HALKEAMAN SIJAINNIN VÄLINEN YHTEYS.

HALKEAMAN SIJAINTI	RAKENNEPAKSUUS					kaikki
	<0,75 m	0,75...1,00 m	1,00...1,25 m	1,25...1,75 m	> 1,75 m	
Poikkileikk. määrä	155	100	127	74	32	488
Keskihalkeamat	14 %	12 %	11 %	20 %	22 %	14 %
Reunahalkeamat	8 %	14 %	9 %	7 %	7 %	10 %
Ajokaistahalkeamat	25 %	21 %	19 %	23 %	19 %	23 %

Kuvan 4 perusteella voidaan todeta, että levennetyillä teillä on paksuilla ( $\geq 1,0$  m) päällysrakenteilla haljenneiden poikkileikkausten osuus (halkeamatodennäköisyys) pienempi kuin ohuilla ( $< 1,0$  m) päällysrakenteilla, vaikka routanousu olisi samansuuruinen.

Kuvan 4 mukaan on havaittavissa myös, että paksuilla päällysrakenteilla ovat halkeamaleveydet yleensä pienempiä kuin ohuilla päällysrakenteilla. Näin on tilanne, vaikka halkeamaleveydet suhteutettaisiin routanousun suuruuteen. Toisin sanoen samansuuruisella routanousulla ovat halkeamaleveydet paksuilla päällysrakenteilla pienempiä kuin ohuilla päällysrakenteilla.



KUVA 4. PÄÄLLYSRAKENNAPAKSUUDEN JA POIKKILEIKKAUSTYYPIN VAIKUTUS PITUUSHALKEILUUN.



Toisaalta taulukoiden 8 ja 9 mukaan näyttäisi pienikin routanousuero (0...20 mm) tai kulmanmuutos (0...1 %) saavan aikaan pituushalkeaman paksuissa päällysrakenteissa.

**TAULUKKO 8. POIKKILEIKKAUKSEN ROUTANOUSUERON JA RAKENNEPAKSUUDEN VAIKUTUS TIEN KESKIHALKEAMIEN SYNTYMISEEN.**

**HALKEAMATODENNÄKÖISYYS**

**KESKIHALKEAMAT**

ROUTANOUSU ERO (mm)	RAKENNEPAKSUUS (m)											
	< 0,75 m		0,75...1,00 m		1,00...1,25 m		1,25...1,75 m		> 1,75 m		KAIKKI	
< 0	10	10 %	4	0 %	12	8 %	4	0 %	1	0 %	31	6 %
0...20	85	8 %	60	8 %	82	9 %	46	15 %	23	22 %	296	10 %
21...40	28	21 %	17	24 %	24	17 %	17	41 %	6	17 %	92	24 %
41...60	17	24 %	14	21 %	4	25 %	5	20 %	2	50 %	42	24 %
61...100	10	20 %	4	0 %	3	33 %	2	0 %	0		17	16 %
> 100	5	20 %	1	0 %	2	0 %	0		0		8	13 %
YHTEENSÄ	155	14 %	100	12 %	127	11 %	74	20 %	32	22 %	488	14 %

Routanousuero on suurempi keskilinjan ja reunojen routanousueroista

Halkeamien määrä on merkitty jokaiseen luokkaan prosenttiosuutena luokkaan kuuluvista poikkileikkauksista

Pienien routanousuerojen (0...40 mm) synnyttämä halkeamatodennäköisyys on paksuilla päällysrakenteilla ( $\geq 1,25$  m) yli kaksinkertainen verrattuna ohuisiin päällysrakenteisiin.

**TAULUKKO 9. POIKKILEIKKAUKSEN KULMANMUUTOKSEN JA TIEN RAKENNEPAKSUUDEN VAIKUTUS AJORATAHALKEAMIEN SYNTYMISEEN.**

**HALKEAMATODENNÄKÖISYYS**

**AJORATAHALKEAMAT**

KULMANMUUTOS (%)	RAKENNEPAKSUUS (m)											
	< 0,75 m		0,75...1,00 m		1,00...1,25 m		1,25...1,75 m		> 1,75 m		KAIKKI	
< 0	44	14 %	22	0 %	36	11 %	24	17 %	13	0 %	139	10 %
0...1	60	15 %	45	9 %	58	12 %	32	31 %	14	21 %	209	16 %
1...2	28	54 %	18	44 %	18	33 %	12	42 %	5	60 %	81	46 %
2...4	14	29 %	12	67 %	10	40 %	4	75 %	0		40	48 %
4...6	5	60 %	1	0 %	3	33 %	1	0 %	0		10	40 %
> 6	4	50 %	2	50 %	2	100 %	1	0 %	0		9	56 %
YHTEENSÄ	155	25 %	100	21 %	127	19 %	74	23 %	32	19 %	488	23 %

Kulmanmuutos on suurin absoluuttinen routanousun aiheuttama kulmanmuutos

Halkeamien määrä on merkitty jokaiseen luokkaan prosenttiosuutena luokkaan kuuluvista poikkileikkauksista

Keskihalkeamien suhteen ovat halkeamatodennäköisyydet paksuilla päällysrakenteilla ( $> 1,25$  m) kokonaisuudessaankin kaksinkertaisia ohuisiin päällysrakenteisiin verrattuna.

### 3.2 Maaston vaikutus pituushalkeiluun

Maastoryhminä on tarkasteltu taulukon 10 mukaisia maastotyyppisiä. Maastoryhmittely on tehty videokuvauksen perusteella.

TAULUKKO 10. MAASTOTYYPIN VAIKUTUS TIEN PITUUSHALKEAMA-TODENNÄKÖISYYTEEN.

Maastotyyppi	Määrittely	kpl	Halkeamatod. %	
			kaikki	halk.lev.> 40 mm
Pelto	Pelto, suo	163	21	4
Rinne	Rinne, mäen ja tasan- gon raja	11	36	0
Notko	Notko kumpuilevassa maastossa	1	-	-
Mäki	Mäen laki	12	25	8
Metsä	Tasainen metsä	227	24	8
-	Ei määritelty	9	0	0
Yhteensä		427	23	6

Kohteet jakaantuvat pääosin kahteen maastotyyppiryhmään, jotka ovat pelto ja metsä.

Halkeamatodennäköisyyksissä ei havaittujen maastotyyppien välillä ole kovin merkitseviä eroja (taulukko 9). Kaikkien halkeamien osalta näyttäisi maastotyyppi rinne olevan riski altein. Leveiden halkeamien suhteen taas halkeamariski näyttäisi olevan suurin mäen laella ja tasaisessa metsämaastossa.

## 4. TIEN ALUSRAKENTEN ROUTIVUUSLUOKITTELU

### 4.1 Tavoite ja tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa tarkastellaan tien alusrakenteen ominaisuuksien (raejakauma) ja tien routanousujen välistä riippuvuutta. Tavoitteena on kehittää alusrakenteen routimislukitusta tien routanousujen mukaiseksi.

Alusrakenteen rakeisuuden vaikutusta tien routanousuihin pyritään selvittämään kahdella erilaisella tarkastelutavalla. Nämä ongelman lähestymismenetelmät ovat routanousumalli ja alusrakenteen turpoamisen tutkiminen.

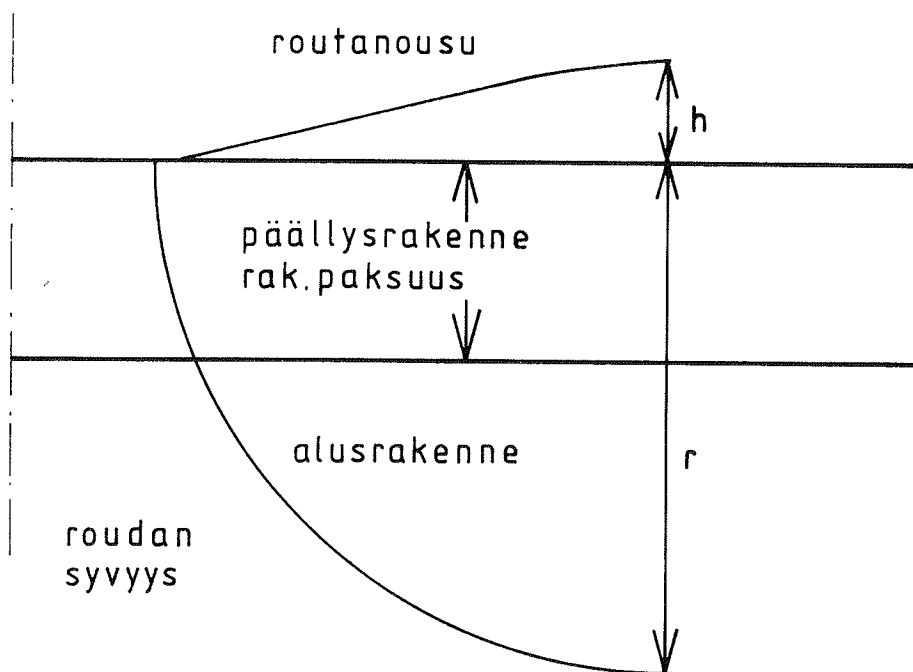
Routanousumallina on käytetty käsilläolevan tutkimuksen havaintoaineiston perusteella kehitettyä seuraavan sisältöistä kaavaa:

$$RN_{KL} = 31.40 * PM^{0.60} * LÄP002^{0.48} * RAKPAK^{-1.03} * PSYV^{-1.1}$$

jossa

- $RN_{KL}$  = keskilinjän routanousu, mm
- $PM$  = pakkasmäärä, vrk ° C
- $LÄP002$  = pohjamaan seulan 0,02 mm, läp.-%
- $RAKPAK$  = päällysrakennepaksuus, m
- $PSYV$  = pohjaveden syvyys tienpinnasta silloin, kun päällysrakenne on jäänyt, cm.

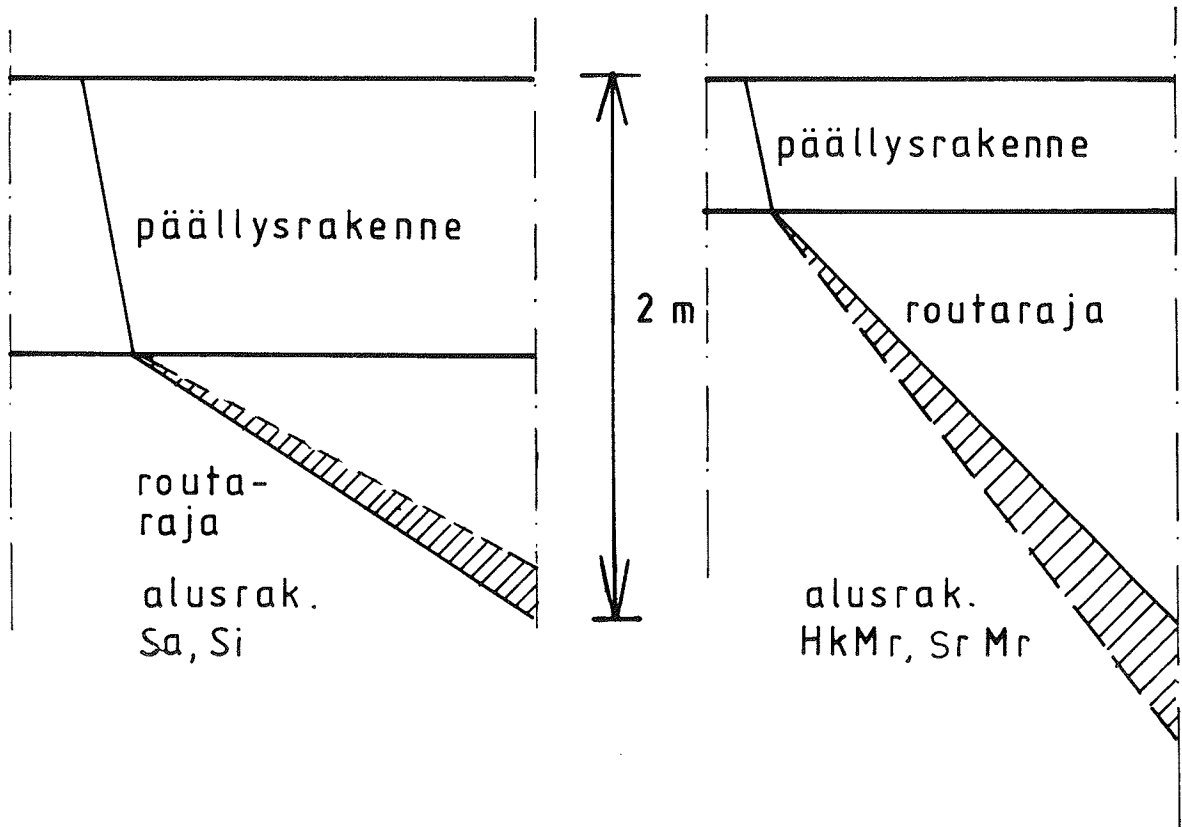
Alusrakenteen turpoamisella tarkoitetaan sen tilavuuden kasvua routimisen seurauksena. Tien päällysrakenteen ollessa routimatonta voidaan alusrakenteen turpoamisen otaksua olevan yhtäsuuri kuin tien routanousu (kuva 5). Tällöin turpoaminen kuvaa suoraan alusrakenteen routimista.



$$\text{alusrakenteen turpoamis -\%} = \frac{h}{r - \text{rak. paksuus}} 100$$

KUVA 5. ALUSRAKENTEEN TURPOAMISPROSENTIN MÄÄRITTÄMINEN.

Käsilläolevan tutkimuksen havaintokohteissa ei ole määritetty roudansyvyiksiä. Tämän vuoksi roudansyvydeksi on turpoamistarkastelussa otettu 2 m syvyys kaikissa kohteissa (kuva 6).



KUVA 6. ROUDANSYVYYDEN OTAKSUMAT ERILAISILLA ALUSRAKENTEILLA.

Turpoamistarkasteluissa on käytetty havaintokohteiden keskimääräistä pakkasmäärää (1036 vrk °C) vastaavia routanousun arvoja. Tällöin myös roudansyvyysarvojen tulisi olla vastaavia. Roudansyvyys tierakenteessa on tietysti riippuvainen alusrakenteen laadusta. Karkeissa maalajeissa routa menee syvemmälle kuin heinorakeisissa. Tätä eroa tasoittaa kuitenkin käytännössä se että hienorakeisilla alusrakenteilla on paksu päällysrakenne, joka jäätyy nopeasti ja lisää sitä kautta kokonaisroudansyvyyttä.

Ilmeistä on kuitenkin, että karkeilla alusrakenteilla roudansyvyys on käsilläolevan tutkimuksen havaintokohteissa keskimäärin suurempi kuin 2 m. Havaintokohteet ovat nimittäin Pohjois-, Itä- ja Keski-Suomessa. Hienoilla alusrakenteilla roudansyvyys on pääosin varsin lähellä 2 m otaksumaa tai jonkin verran sen alle.

Edellä otaksutunlaiset virhesuunnat vääristävät turpoamisprosentteja siten, että hienorakeisilla alusrakenteilla turpoamisprosentit ovat keskimäärin jonkin verran liian pieniä. Karkearakeisille lasketut turpoamisprosentit ovat taas useammin liian suuria kuin liian pieniä.

Suhteelliset virheet ovat tietysti suurimpia silloin kun roudan syvyyden arvo alusrakenteessa on pieni. Tämän vuoksi tarkasteluista on rajattu pois tapaukset, joissa 2 m - RAKPAK saa 0,5 m pienemmän arvon.

Tässä saatujen turpoamisprosenttien yhteys laboratorioolosuhteissa määritettyihin (todellisiin) turpoamisprosentteihin on seuraavanlainen:

tässä saatu turpoamis-%  $\approx$

laboratoriossa saatu turpoamis-% \*  $\frac{\text{(roudan syvyys ko. maalajissa)}}{\text{roudan syvyys siltissä}}$

Tien routimiseen ja routanousun suuruuteen vaikuttavat alusrakenteen rakeisuuden ohella monet muutkin tekijät. Tärkeimmät näistä muista vaikuttavista tekijöistä ovat edellä todettu tien päällysrakenteen paksuus, mahdollisen penkereen paksuus ja materiaali, mahdollinen turvekerros alusrakenteessa, pakkasmäärä ja pohjaveden taso.

Jotta tien routanousussa ja sitä kautta alusrakenteen turpoamisessa voitaisiin erottaa alusrakenteen (pohjamaan) rakeisuuden vaikutus, täytyy edellä esitetyt tierakenne- ja olosuhdetekijät pystyä kontrolloimaan vakioimalla tai luokittelemalla niin, että niiden vaikutus eliminoituu riittävästi.

Tässä on käytetty taulukon 11 mukaista luokittelua ja vakioimista.

TAULUKKO 11. KONTROLLOITAVAT TEKIJÄT JA KONTROLLOINTITAVAT.

Kontrolloitava tekijä	Kontrollointitapa
Tien päällysrakenne Penger	<p>paksuus</p> <p>paksuus: ohut &lt; 0,3 m, paksu ≥ 0,3 m</p> <p>routivuus: läp.% 0,074 mm, läp % 2 mm</p> <p>- lievä 10-20 % &gt; 70 % tai 20-35 % &lt; 70 %</p> <p>- routiva &gt; 20 % &gt; 70 % tai &gt; 35 % &lt; 70 %</p>
Turve tierakenteessa	<p>paksuus: ei turvetta 0 m</p> <p>ohut &lt; 0,5 m</p> <p>paksu ≥ 0,5 m</p>
Pakkasmäärä (PM)	<p>- tarkasteluun on otettu mukaan havaintokohteet, joissa havaintotalvien pakkasmäärä on ollut 500...1400 vrk °C</p> <p>- havaitut routanousut on muutettu vastaamaan havaintokohteiden keskimääräistä pakkasmäärää 1036 vrk °C kaavalla <math>RN = RN * (1036/PM)^{0,6}</math></p>
Pohjaveden taso	<p>korkea: TSV - PVP &lt; 2,0 m</p> <p>ka = 1,6, vaihtelualue 0,3 - 2,0</p> <p>syvä: TSV - PVP ≥ 2,0 m</p> <p>ka = 3,3, vaihtelualue 2,0 - 6,2</p>

Taulukossa 11 esitetty routanousujen muuntamiskaavana käytetty pakkasmäärän ja routanousun välinen yhteys on saatu tämän tutkimuksen kenttähavainnoista tehdyn analyysin perusteella.

Pohjaveden taso on määritetty pakkaskauden alun pohjaveden korkeuden mukaan.



## 4.2 Routivuusluokittelu

### 4.2.1 Routanousumalli

Edellä esitetyn routanousumallin

$$RN_{KI} = 31,40 * PM^{0.60} * LÄP002^{0.48} * RAKPAK^{-1.03} * PSV^{-1.1}$$

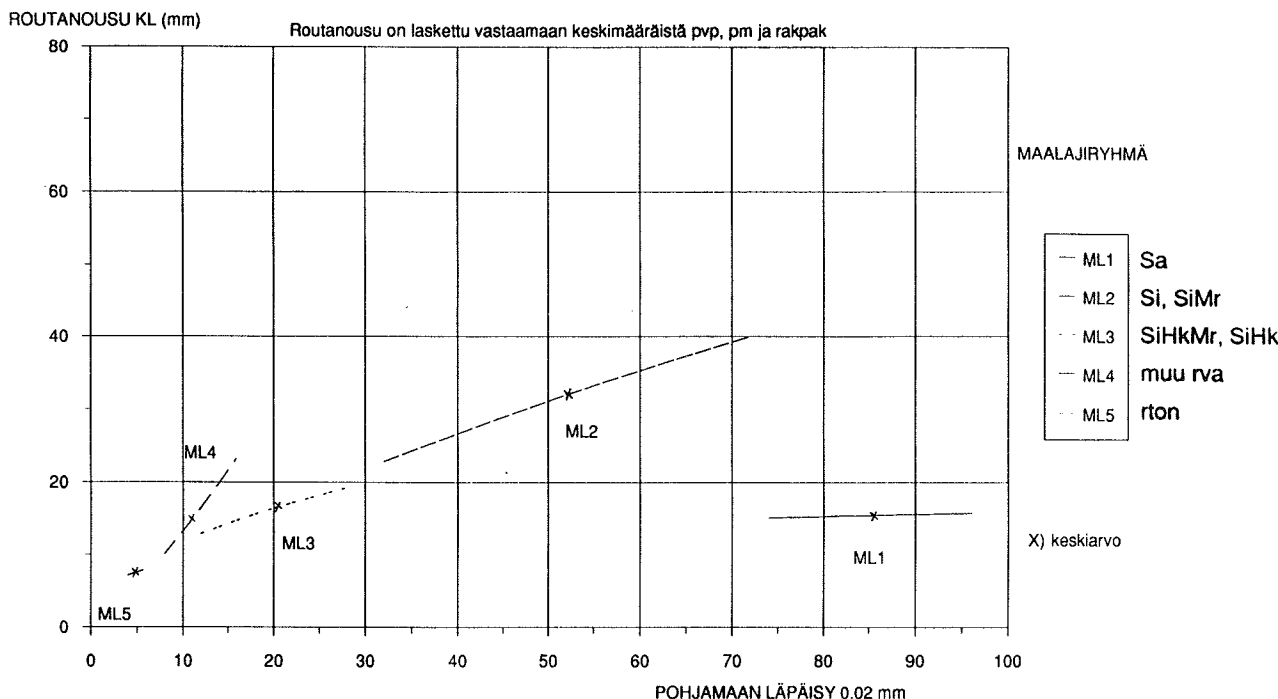
kokonaiskorrelaatiokerroin on 0,45. Mallin muuttujista pohjamaan läpäisyprosentti seulalla 0,02 mm, rakennepaksaus ja pohjaveden syvyys ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ja pakkasmäärä merkitsevä.

Käsilläolevan tutkimuksen routivuustarkasteluissa on käytetty taulukon 12 mukaista aikaisempaan kokemukseen ja käytäntöön perustuvaa maalajien routivuusryhmitteilyä.

TAULUKKO 12. POHJAMAALAJIEN KARKEA ROUTIVUUSRYHMITTELY.

MAALAJIRYHMÄ	MÄÄRITYSSÄÄNTÖ	KPL	%
1 Sa	läp% 0,074 mm > 50 rakeisuuskäyrä	38	6
2 Si, SiMr	läp% 0,074 mm > 50 rakeisuuskäyrä	224	37
3 siHkMr, siHk	läp% 0,074 mm = 35...50	63	10
4 HkMr, SrMr, Hk routivat	läp% 0,074 mm = 20..35 ja 2 mm >70 tai läp% 0,074 mm = 10..35 ja 2 mm <70	142	23
5 SrMr, HkMr, Sr, Hk routimattomat	läp% 0,074 mm < 20 ja 2 mm > 70 tai läp% 0,074 mm < 20 ja 2 mm < 70 tai	83	14
luokittelemattomat		58	10
YHTEENSÄ		608	100

Ko. routanousumallilla saadaan taulukon 12 maalajiryhmille kuvan 7 mukaiset tien keskilinjan routanousun ja pohjamaan seulan 0,02 mm läpäisyprosentin väliset riippuvuudet.



KUVA 7. TIEN KESKILINJAN ROUTANOUSUN JA POHJAMAAN SEULAN 0,02 MM LÄPÄISYPROSENTIN VÄLISET RIIPPUVUUDET MAALAJIRYHMITÄIN.

Kuvan 7 riippuvuudet on laskettu käyttäen routanousumallin muuttujille aineiston keskimääräisiä arvoja (PM = 1026 vrk.° C, RAKPAK = 1.05 m ja PSYV = 245 cm). Kuvaan on piirretty maalajiryhmittäiset riippuvuusikäyrät läpäisyprosentin 0,02 mm keskihajonnan mukaisilta osuuksilta.

Kuvan 7 tuloksista voidaan tehdä eräitä havaintoja käytetyn maalajijaon onnistuneisuudesta ja pohjamaan läpäisyprosentin 0,02 mm vaikutuksesta tien routanousuun.

Ensiksikin maalajiryhmä 1 eli savi poikkeaa muiden ryhmien muodostamasta jatkuvuudesta. Routanousu putoaa ML1:ssä eli suurella hienoainespitoisuudella alemmalle tasolle hyvin odotusten mukaisesti. Toinen havainto on, että riippuvuuskuvaaja on ML1:ssä melkein vaakasuora. Tämä merkitsee sitä, että näissä hienoainespitoisuuksissa ei hienoainespitoisuuden muutoksella ole enää juurikaan vaikutusta routanousun suuruuteen.

Toinen poikkeava maalajiryhmä on ML4 (HkMr, SrMr, Hk). Tällä maalajiryhmillä riippuvuusikäyrä on selvästi muita jyrkempi. Tämä merkitsee sitä, että pieni hienoainespitoisuuden lisäys kasvattaa routanousua merkittävästi.

Edelläesitetyn tarkastelun perusteella näyttäisi siltä, että taulukon 12 mukainen maalajiryhmäjako kaipaisi tarkennusta erityisesti maalajiryhmän 4 ja sitä lähellä olevilla rakeisuusalueilla. Seuraavan luvun turpoamistarkastelulla pyritäänkin löytämään tarkempaa routivuusluokittelujakoa erityisesti tällä rakeisuusalueella.

#### 4.2.2 Alusrakenteen turpoaminen

Taulukon 13 maksimiturpoamisprosenttien perusteella saadaan maalajiryhmien routimisesta varsin samankaltaiset keskimääräiset suhteet kuin edellä kuvassa 7.

TAULUKKO 13. MAALAJIRYHMITTÄISET MAKSIMITURPOAMISPROSENTIT JA TURPOAMAPROSENTTIEN JAKAUMAT, POHJAVESI KORKEALLA, KA = 1,6 M TASAUS-VIIVASTA.

MAALAJIRYHMÄ	KPL	(ROUTANOUSU * 100) / (2 M - RAKPAK)			
		max	< 5	5 - 10	> 10
ML1 Sa	2	(8,3)		100 %	
ML2 Si,SiMr	37	17,8	46 %	49 %	5 %
ML3 siHkMr,siSrMr,siHk	3	(7)		100 %	
ML4 muut routivat	16	8,1	38 %	62 %	
ML5 routimattomat	3	(2,1)	100 %		
ML6 paksu turve	10	11,4	10 %	80 %	10 %
ML7 paksu pengerr	1	(9,4)		100 %	

Pakkasmäärä alue 500 - 1400 vrkc  
 Routanousut muutettu vastaamaan keskimääräistä pakkasmäärää 1036 vrkc  
 kaavalla :  $RN(k) = RN * (1036/PM)^{0,6}$   
 2 m - rakennepaksuus < 0,5 m, havainnot ovat poistettu  
 ML 6 turve + rakpak > 1,5 m  
 ML 7 pengerr + rakpak > 1,5 m  
 Pohjavesi korkealla (TSV-PVP < 2,0 m), ka 1,6 m, std = 0,3 m

Märässä alusrakenteessa (pohjavesi korkealla) on siltti ja silttimoreeni maalajiryhmässä (ML2) maksimi turpoamisprosentti yli kaksinkertainen (18 %) verrattuna muihin routiviin maalajiryhmiin (ML1, ML3 ja ML4), joissa maksimiturpoamisprosentit ovat keskenään hyvin samansuuruisia 7 - 8 %.

Tierakenteissa, joissa alusrakenne sisältää paksun (> 0,5 m) turvekerroksen on maksimiturpoamisprosentti varsin suuri 11,4 %.

Routimattomien maalajien ryhmässä (ML5) on maksimiturpoamisprosentti 2 % sekä korkealla pohjavedellä (taulukko 13) että matalalla pohjavedellä (taulukko 14).

Turpoamisprosentin riippumattomuus pohjaveden korkeudesta on hyvänä todisteena ML5:n maalajien routimattomuudesta.

TAULUKKO 14. MAALAJIKOHTAISET MAKSIMITURPOAMISPROSENTIT JA TURPOAMAPROSENTTIEN JAKAUMAT, POHJAVESI MATALALLA, KA = 3,3 M TASAUSVIIVASTA.

MAALAJIRYHMÄ	KPL	(ROUTANOUSU * 100) / (2 M - RAKPAK)			
		max	< 5	5 - 10	> 10
ML1 Sa	7	8,7	43 %	57 %	
ML2 Si,SiMr	17	6,8	82 %	18 %	
ML3 siHkMr,siSrMr,siHk	12	6,7	83 %	17 %	
ML4 muut routivat	21	5,8	86 %	14 %	
ML5 routimattomat	8	2	100 %		
ML6 paksu turve	4	3,3	100 %		
ML7 paksu pengeri	2	0,7	100 %		

Pakkasmäärä alue 500 - 1400 vrkc

Routanousut muutettu vastaamaan keskimääräistä pakkasmäärää 1036 vrkc  
kaavalla :  $RN(k) = RN * (1036/PM)^{0,6}$

2 m - rakennepaksuus < 0,5 m, havainnot ovat poistettu

ML 6 turve + rakpak > 1,5 m

ML 7 pengeri + rakpak > 1,5 m

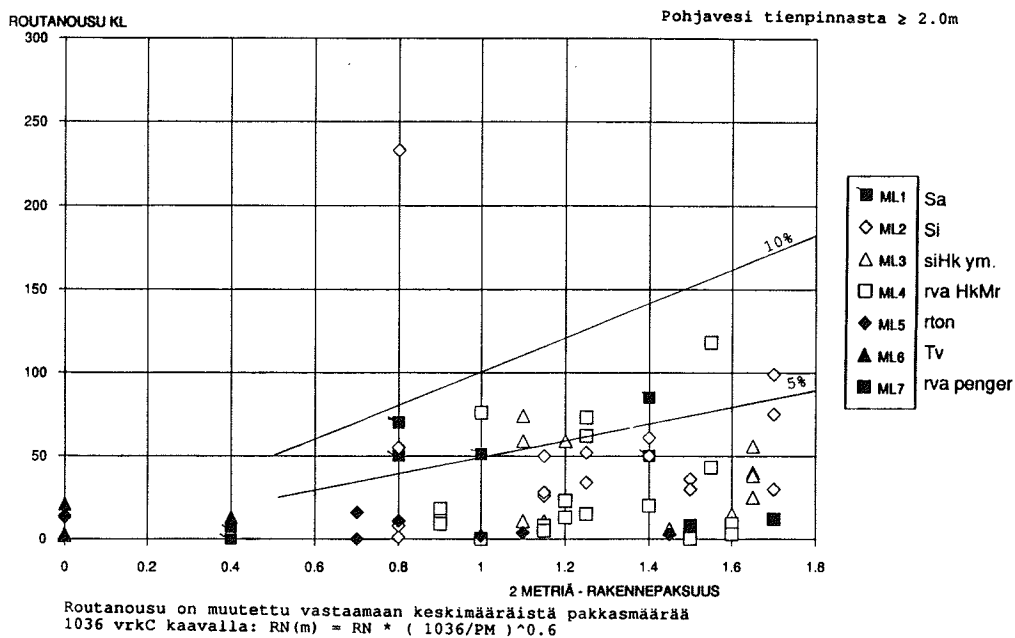
Pohjavesi syvällä (TSV-PVP > 2,0 m), ka 3,3 m, std = 1,1 m

Matalalla pohjavedellä (kuva 8) on routanousujen taso selvästi alhaisempi kuin korkealla pohjavedellä (kuva 9).

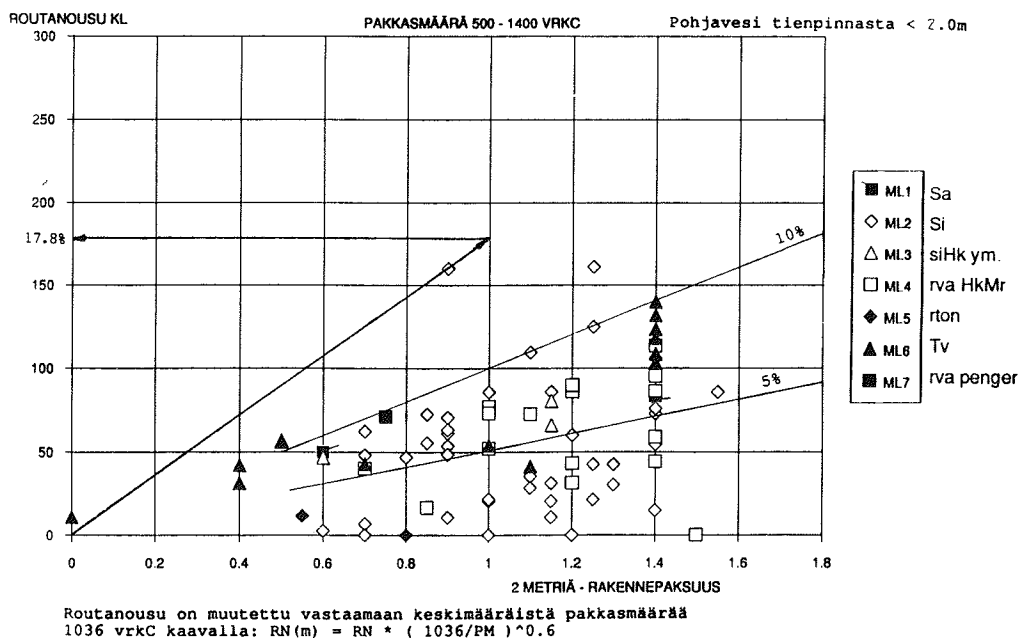
Erityisesti siltti ja silttimoreeni maalajiryhmässä tapahtuu routanousuissa merkittävää laskua pohjaveden ollessa syvemmillä. Maksimiturpoamisprosentti laskee samalle tasolle (7 %) muiden routivien maalajiryhmien kanssa (6 - 9 %).

Paksun turvekerroksen omaavissa tien alusrakenteissa laskee turpoamisprosentti myös merkitsevästi (11,4 %:stä 3,3 %:iin), kun pohjaveden taso laskee korkeasta matalaan.

Turpoamisprosentti saadaan kuvista piirtämällä suora origosta havaintoon ja lukemalla suoran ja x-akselin arvon 1,0 m leikkauspisteestä y-akselin arvo \* 0,1 (katso kuva 9).



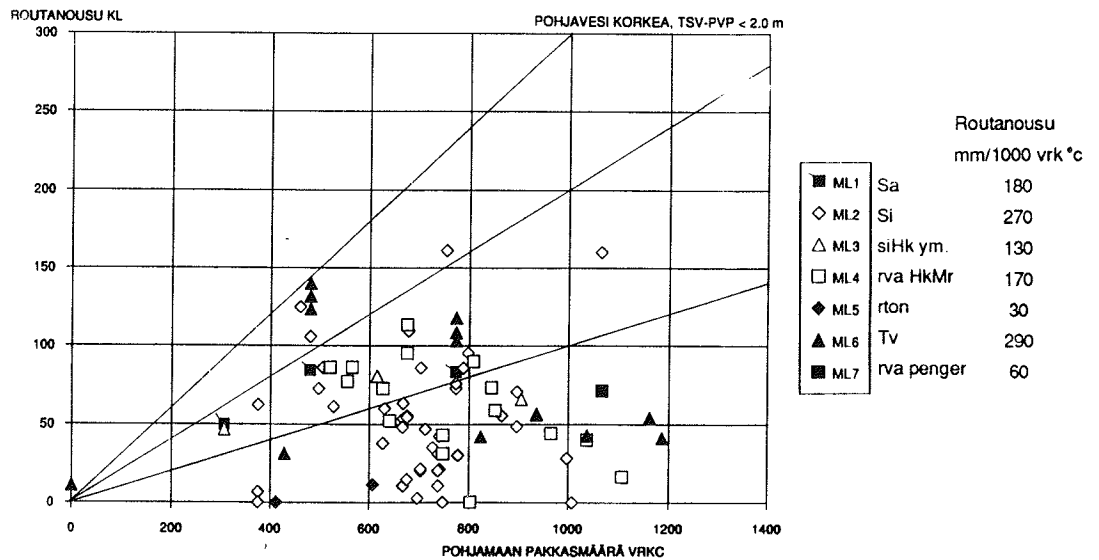
KUVA 8. HAVAINTOKOHTEIDEN ROUTANOUSUT MATALALLA POHJAVEDELLÄ, KA = 3,3 M TASAUSVIIIVASTA.



KUVA 9. HAVAINTOKOHTEIDEN ROUTANOUSUT KORKEALLA POHJAVEDELLÄ, KA = 1,6 M TASAUSVIIIVASTA.

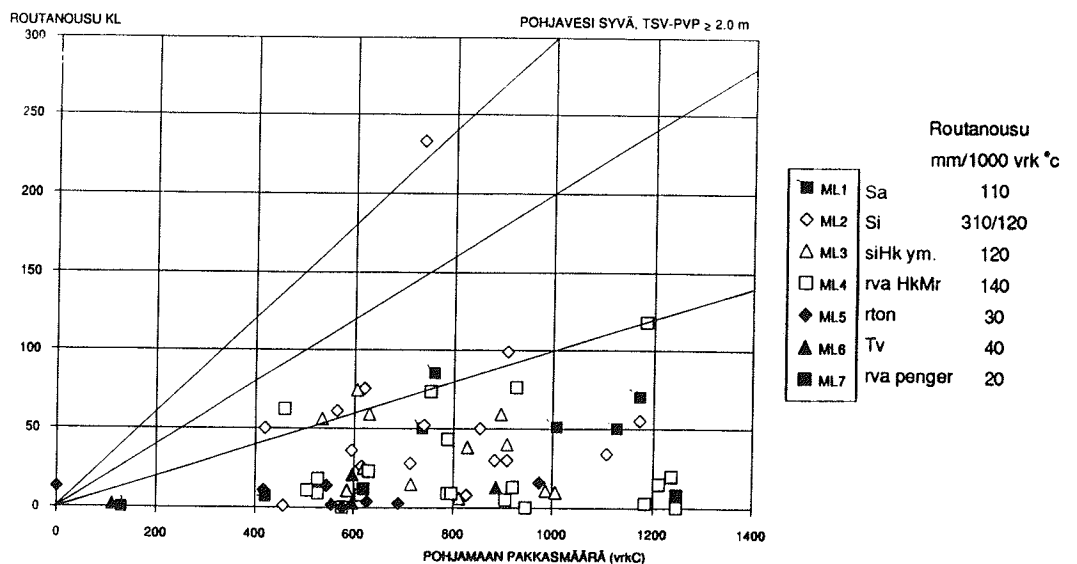
Kuvissa 10 ja 11 on tarkasteltu tien routanousua pohjamaan pakkasmäärän funktiona. Pohjamaan pakkasmäärä tarkoittaa talven pakkasmäärää vähennettynä tie päällysrakenteen jäätymiseen "kuluneella" pakkasmäärällä.

Kuvan 10 mukaan voidaan tehdä samat johtopäätökset kuin taulukosta 13. Siltti alusrakenneryhmässä ja paksun turvekerroksen omaavassa alusrakenteessa ovat routanousut suurimmat.



KUVA 10. TIEN ROUTANOUSUN RIIPPUVUUS POHJAMAAN PAKKASMÄÄRÄSTÄ MÄRISSÄ ALUSRAKENNE OLOSUHTEISSA, POHJAVESI KORKEALLA.

Kuvasta 11 nähdään sama tulos kuin edellä taulukosta 14. Kuivissa alusrakennelosuhteissa ovat routanousujen erot maalajiryhmien välillä pieniä.

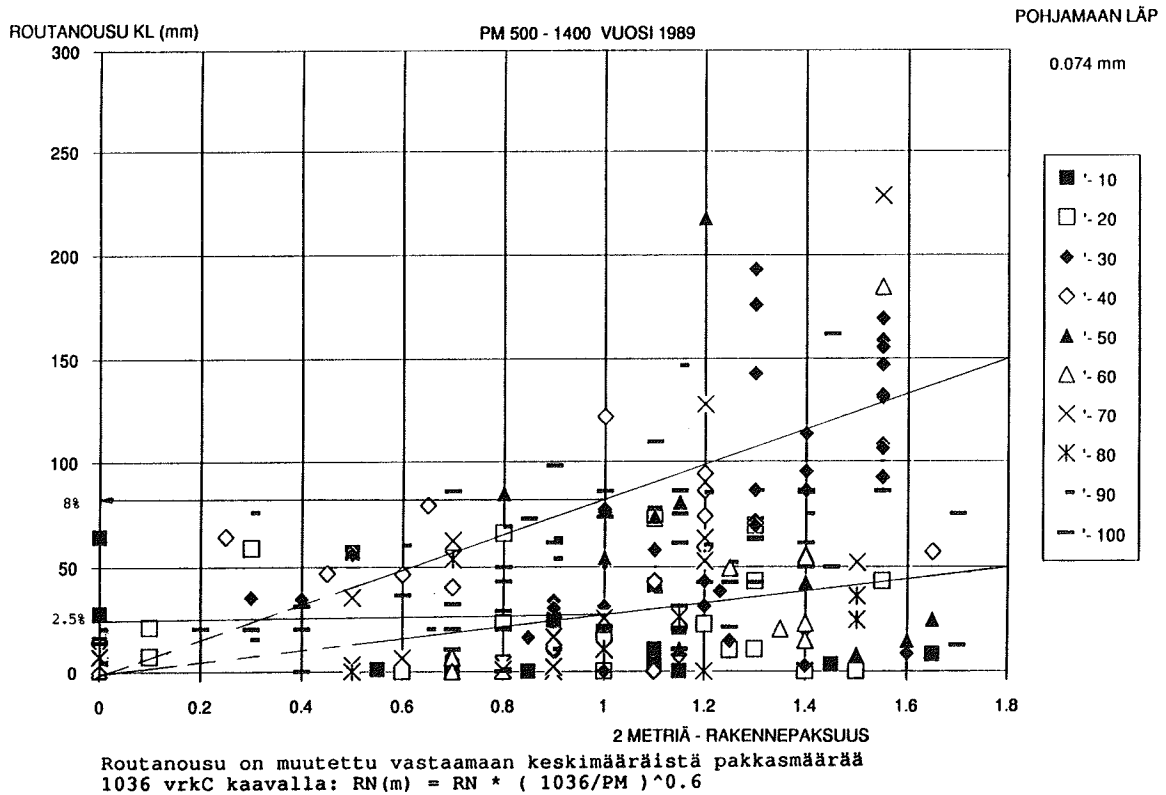


KUVA 11. TIEN ROUTANOUSUN RIIPPUVUUS POHJAMAAN PAKKASMÄÄRÄSTÄ KUIVISSA ALUSRAKENNE OLOSUHTEISSA, POHJAVESI SYVÄLLÄ.



Alusrakenteen raejakauman (rakeisuuden) vaikutusta routimiseen on tarkasteltu seuraavaksi muutamien rakeisuustunnuslukujen avulla. Käytettyjä tunnuslukuja ovat pohjamaan 0,02 mm, 0,074 mm ja 2 mm läpäisyprosentit sekä raesuhde 0,074 mm. Raesuhde on laskettu seuraavasti:  $5 * \text{löp.} \% 0,074 \text{ mm} / \text{löp.} \% 2 \text{ mm} + 10$ .

Kuvasta 12 voidaan todeta, että pohjamaa turpoaa enintään 2,5 % kun löp.% seullalla 0,074 on alle 10 %. Pääosin turpoamisprosentit ovat alle 1 %:n eli maalajeja voidaan pitää lähes routimattomina. Turpoamistaso on tässä hyvin samanlainen kuin edellä routimattomaksi luokitellussa ML5:ssä. On huomattava, että tarkastelussa ei ole otettu huomioon tapauksia, joissa  $2 \text{ m} - \text{rak.pak} < 0,5$ . Tällaisissa tapauksissa kasvaa tarkastelutavan suhteellinen virhe liian suureksi.

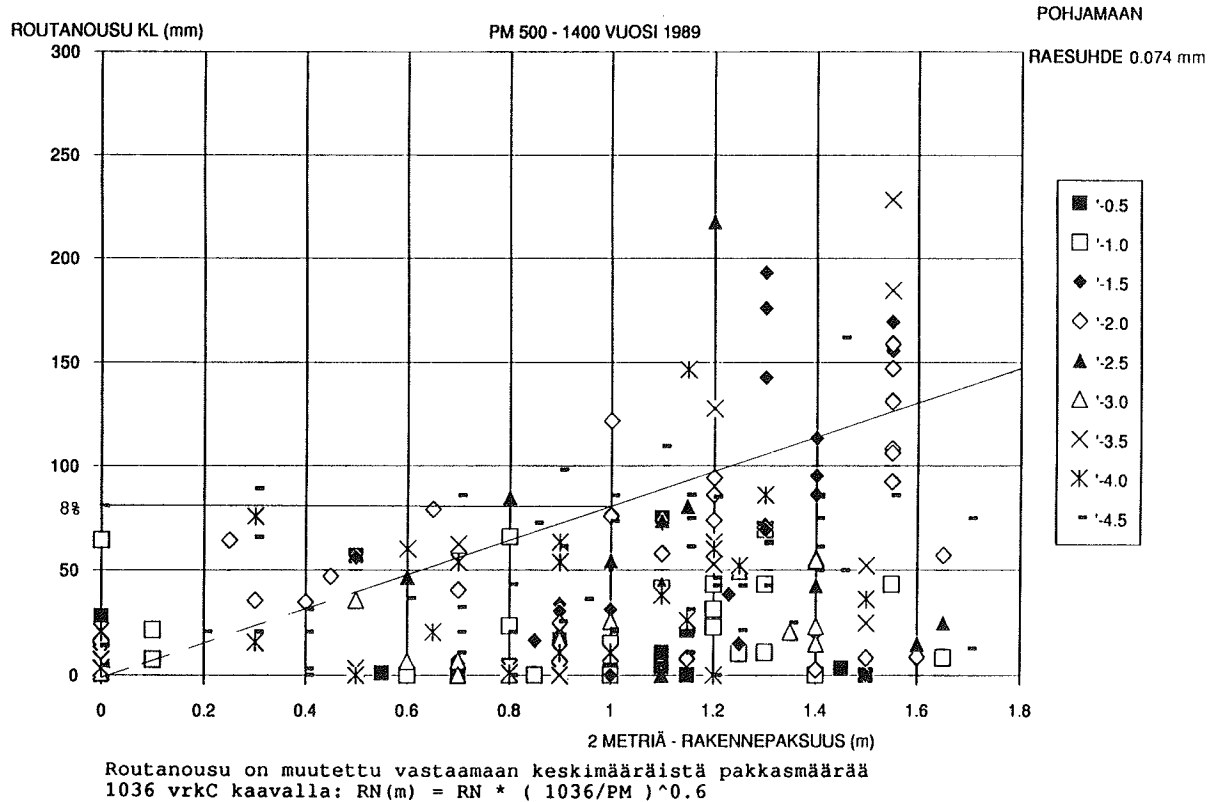


KUVA 12. TIEN ROUTANOUSUT POHJAMAAN RAKEISUUSTUNNUSLUVUN LÖP.% 0,074 MM FUNKTIOLLA.

Kun pohjamaan läpäisyprosentti 0,074 mm seullalla on 10...20 % turpoaa maalaji enintään 8 %. Pääosin turpoamisprosentit ovat tässäkin tapauksessa alle 3 %:n.

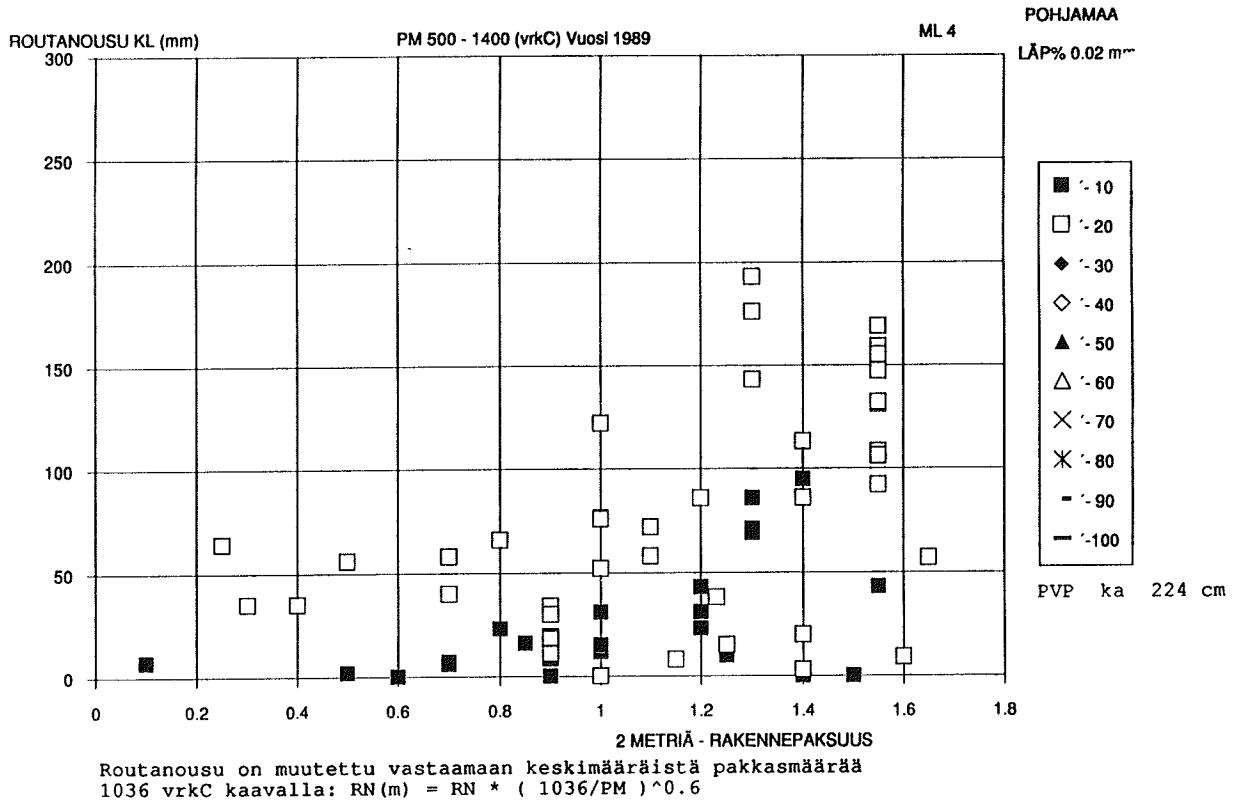
Hienoainespitoisemmissa maalajeissa (0,074 löp.% > 20 %) ovat suurimmat turpoamat 10...20 %.

Kun pohjamaan routivuutta arvioidaan raesuhteen 0,074 perusteella havaitaan (kuva 13), että raesuhteen ollessa alle 1,0 on turpoaminen vähäistä, enimmillään 8 % ja pääosin alle 3 %. Raesuhde on laskettu seuraavasti:  $5 * \text{löp.} \% 0,074 \text{ mm/löp.} \% 2 \text{ mm} + 10$ .



KUVA 13. TIEN ROUTANOUSUT POHJAMAAN RAKEISUUSTUNNUSLUVUN RAESUHDE 0,074 FUNKTIONA.

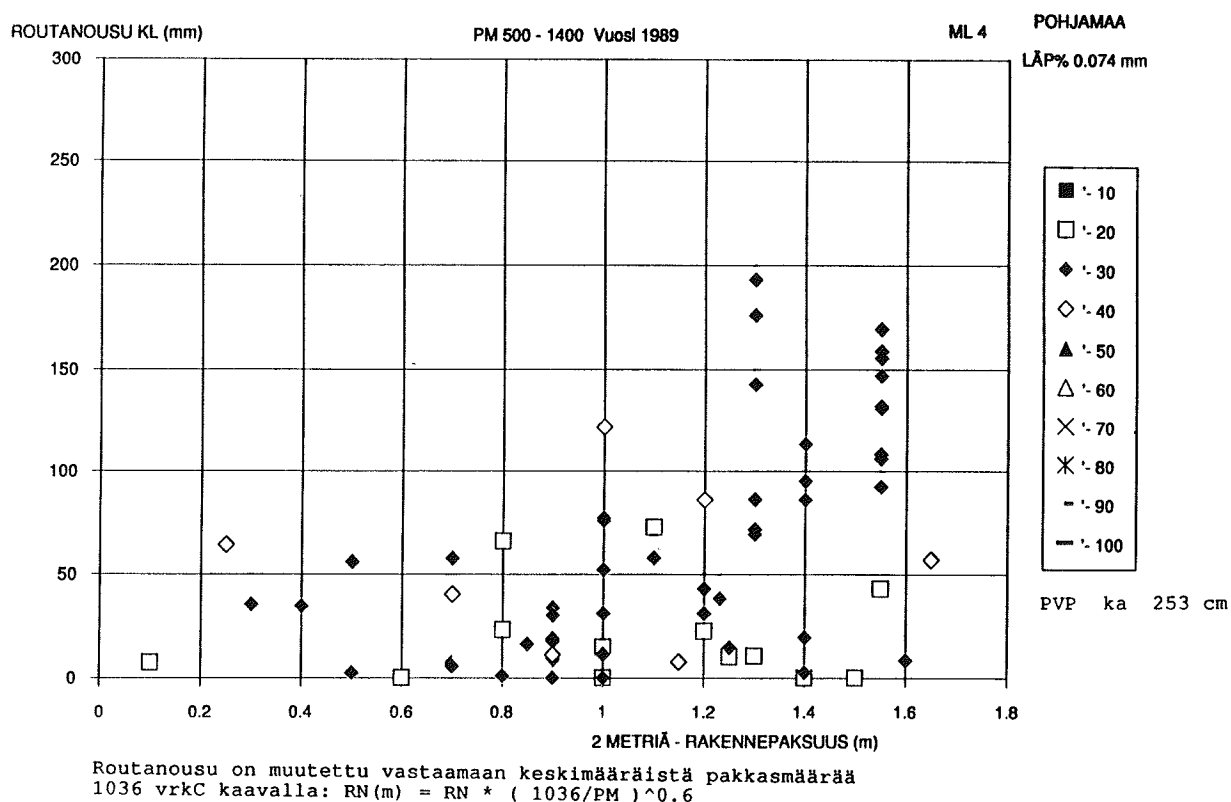
Kuvan 14 mukaan voidaan todeta, että maalajiryhmä 4 (HkMr, SrMr ja Hk) voidaan jakaa routivuuden suhteen kahteen osaan käyttäen jakoperusteena seulan 0,02 mm läpäisyprosenttia 10 %. Pohjamaan läpäisyprosentin seuralalla 0,02 mm ollessa alle 10 % ovat tien turpoamisprosentit enimmillään 7 % ja pääosin alle 3 %:n.



KUVA 14. TIEN ROUTANOUSUT POHJAMAAN SEULAN 0,02 MM LÄPÄISYPROSENTIN FUNKTIONA.

Seulan 0,02 mm läpäisyprosentin ollessa 10...20 % ovat alusrakenteen turpoamisprosentit ML 4:ssä suurimmillaan 15 %.

Kuvan 15 perusteella voidaan maalajiryhmä 4 jakaa routivuuden suhteen vastaavasti kahteen osaan käyttäen jakoperusteena seulan 0,074 mm läpäisyprosenttia 20 %.

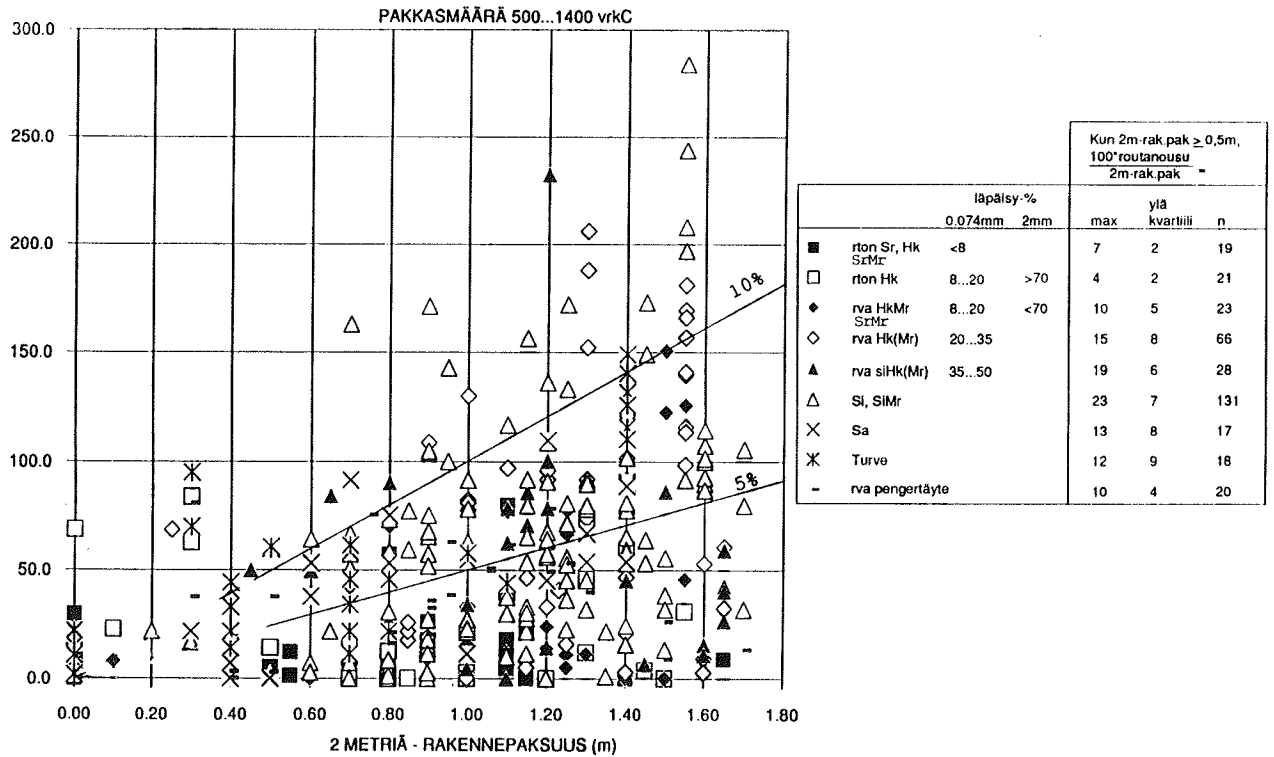


KUVA 15. TIEN ROUTANOUSUT POHJAMAAN SEULAN 0,074 MM LÄPÄISYPROSENTIN FUNKTIONA.

Edellä esitetyssä tarkastelussa löydettyjen pohjamaan tunnuslukujen ja routivuuden välisten yhteyksien perusteella voidaan taulukon 12 karkealle routivuusluokitukselle esittää kuvan 16 mukainen tarkennettu routivuusluokittelu. Tarkennustarve koskee lähinnä maalajiryhmää 4 kuten jo luvussa 4.21 myös todettiin. Lisäksi on pyritty tarkentamaan hieman maalajiryhmien 4 ja 5 välistä rajaa.

Kuvassa 16 on esitetty tulokset koko aineiston perusteella. Kuvan mukaan voidaan todeta että, kun seulan 0,074 mm läpäisyprosentti on alle 8 % tai 8 - 20 % ja lisäksi seulan 2 mm läpäisyprosentti yli 70 % on pohjaan turpoamisprosentti pääosin alle 2 %:n ja suurimmillaan 4 - 7 %. Tällaisen turpoamisen omaavia maalajeja voitaneen pitää jokseenkin routimattomina.

ROUTANOUSU KL ( muutettu vastaamaan ka pakkasmäärää kaavalla  $RN * (1036/PM)^{0.6}$ )



KUVA 16. ALUSRAKENTEEN LAADUN (RAEJAKAUMAN) JA TURPOAMISPROSENTIN VÄLINEN RIIPPUVUUS.

Kun seulan 0,074 läpäisyprosentti on edelleen 8 - 20 %, mutta seulan 2 mm läpäisyprosentti on alle 70 % muuttuu maalaji moreeniksi ja routivuus lisääntyy edellisiin ryhmiin verrattuna. Turpoamisprosentti on tällaisella maalajilla suurimmillaan 10 % ja neljäsosassa tapauksista yli 5 %.

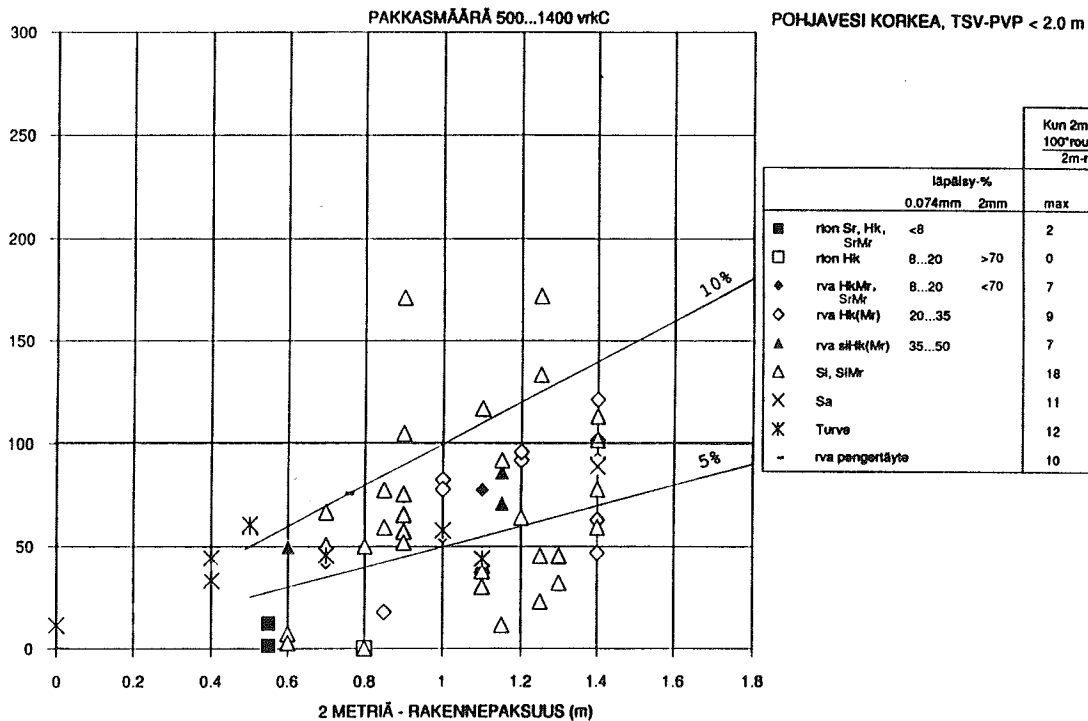
Hienoainespitoisuuden lisääntyessä 20...35 %:iin kasvaa myös maalajin routivuus. Turpoamisprosentti on tällöin suurimmillaan 15 % ja neljäsosassa tapauksista yli 8 %. Samassa suuruusluokassa ovat turpoamisprosentit myös savipohjamaalla (13 % ja 8 %) ja paksun turvekerroksen omaavassa pohjamaassa (12 % ja 9 %).

Pohjamaalla, jossa hienoainespitoisuus on 35...50 % on yksittäiseksi maksimiturpoamisprosentiksi saatu 19 %, mutta seuraavaksi suurimmat turpoamisprosentit ovat vain 13 ja 11 %. Samoin yläkvarttiiliraja on vain 6 %. Näin ollen tämä maalajiryhmä on turpoamisprosenttien perusteella samaa routivuusluokkaa edellisessä kappaleessa esitettyjen maalajiryhmien kanssa.

Selvästi routivimmaksi maalajiryhmäksi erottuvat kuvan 16 mukaankin Si- ja SiMr-maalajit. Maksimiturpoamisprosentti on tässä ryhmässä 23 % ja yläkvarttiiliraja 7 %.

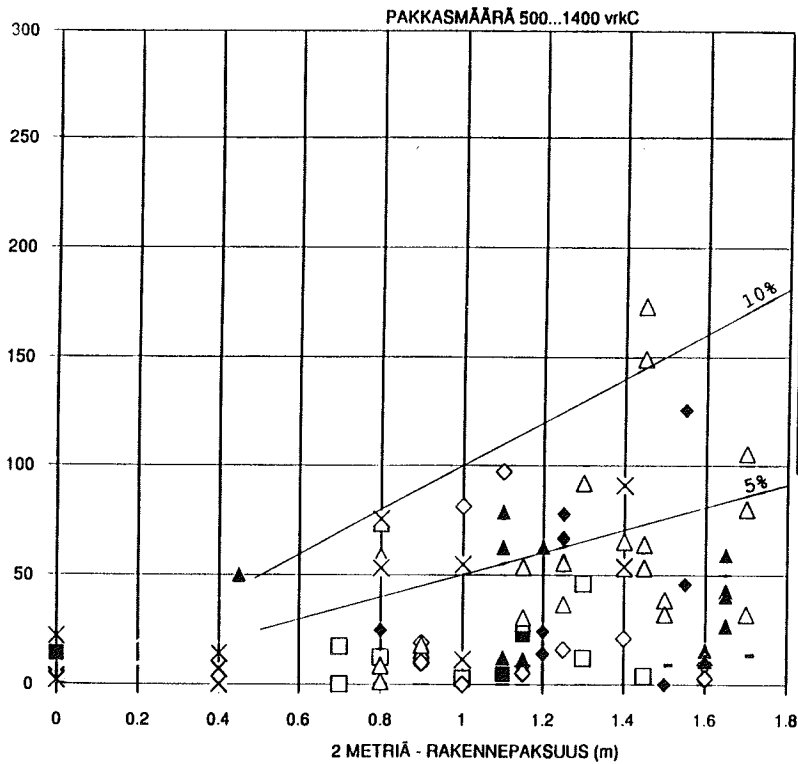
Kuvissa 17 ja 18 on esitetty kuvan 16 koko aineistoa vastaavat tulokset eroteltuna korkealle ja matalalle pohjavedelle. Pohjavesihavaintojen vähäinen määrä rajoittaa tällaista tarkastelua merkittävästi. Kuvista 17 ja 18 voidaan kuitenkin tehdä eräitä edelläesitettyä tarkastelua täydentäviä havaintoja.

ROUTANOUSU KL (muutettu vastaamaan ka pakkasmäärää kaavalla  $RN^*(1036/PM)^{0.6}$ )



KUVA 17. ALUSRAKENTEEN LAADUN (RAEJAKAUMA) JA TURPOAMISPROSENTIN VÄLINEN RIIPPUVUUS KORKEALLA POHJAVEDELLÄ.

Kuvan 17 esittämässä määrässä olosuhteissa (pohjavesi korkealla) on havaintojen määrä maalajiryhmäkohtaista tarkastelua varten riittävä vain Si, SiMr ryhmässä ja routiva Hk(Mr) ryhmässä. Näissä ryhmissä tulokset tukevat hyvin edellä esitettyjä johtopäätöksiä. Si, SiMr ryhmässä on maksimiturpoamisprosentti tässä 18 % ja yläkvarttiiliraja 8 % (edellä 23 % ja 7 %). Hk(Mr) ryhmässä yläkvarttiiliraja on tässä sama kuin edellä (8 %) ja suurin turpoamisprosentti 9 % (edellä 15 %).

ROUTANOUSU KL (muutettu vastaamaan ka pakkasmäärää kaavalla  $RN^*(1036/PM)^{0.6}$ )POHJAVESI SYVÄ, TSV-PVP  $\geq 2.0$  m

	läpäisy-%		Kun 2m-rak.pak $\geq 0.5$ m, 100% routanousu 2m-rak.pak =		
	0.074mm	2mm	max	ylä kvartiili	n
■ rton Sr, Hk, SiMr	<8		2	-	2
□ rton Hk	8...20	>70	3	2	7
◆ rva HkMr, SiMr	8...20	<70	8	5	9
◇ rva Hk(Mr)	20...35		9	1	16
▲ rva siHk(Mr)	35...50		10	4	11
△ Si, SiMr			12	6	22
× Sa			10	7	6
* Turve			-	-	0
- rva pengertäyte			1	-	2

KUVA 18. ALUSRAKENTEEN LAADUN (RAEJAKAUMA) JA TURPOAMISPROSENTIN VÄLINEN RIIPPUVUUS MATALALLA POHJAVEDELLÄ.

Kuvan 18 kuivissa olosuhteissa (pohjavesi matalalla) saatujen tulosten mukaan tapahtuu turpoamisessa merkittävä muutos Si, SiMr ryhmässä. Suurin turpoamisprosentti laskee tässä maalajiryhmässä 18 %:sta (23 %:sta) 12 %:iin.

Edelläesitettyjen turpoamisarvojen perusteella saadaan tien pohjamaalle yhteenvedona taulukon 15 mukainen routivuusluokittelu.

TAULUKKO 15. POHJAMAAN TURPOAMISEEN PERUSTUVA ROUTIVUUSLUOKITTELU.

ROUTIVUUS	MAALAJIRYHMÄ	MÄÄRITYSSÄÄNTÖ		SUURIN TURPOAMA- %	
		LÄPÄISY- %		max	kuivissa olosuhteissa
		0,074 mm	2 mm		
Routimaton	Sr, SrMr	< 8		7	2
Routimaton	Hk	< 8	tai	7	2
		8 - 20	> 70	4	3
Lievästi routiva	SrMr, HkMr	8 - 20	< 70	10	8
Routiva	Hk, HkMr	20 - 35		15	9
	siHk, siHkMr	35 - 50		19(13) <sup>1)</sup>	7
	Sa			13	10
	Tv			12	-
Erittäin routiva	Si, SiMr			23	12

1) yksittäinen poikkeava havainto

Tierakenteen suurin odotettavissa oleva routanousu voidaan laskea taulukon maksimiturpoamisprosenttien perusteella seuraavasti:

tierakenteen suurin routanousu (cm) = pohjamaan maksimiturpoama-% \* [roudan syvyys (m) - routimaton rakennepaksaus (m)].

Roudan syvyytenä voidaan käyttää tarkasteltavan alueen siirtymäkiilasyvyyttä (tielaitoksen ohjeet).

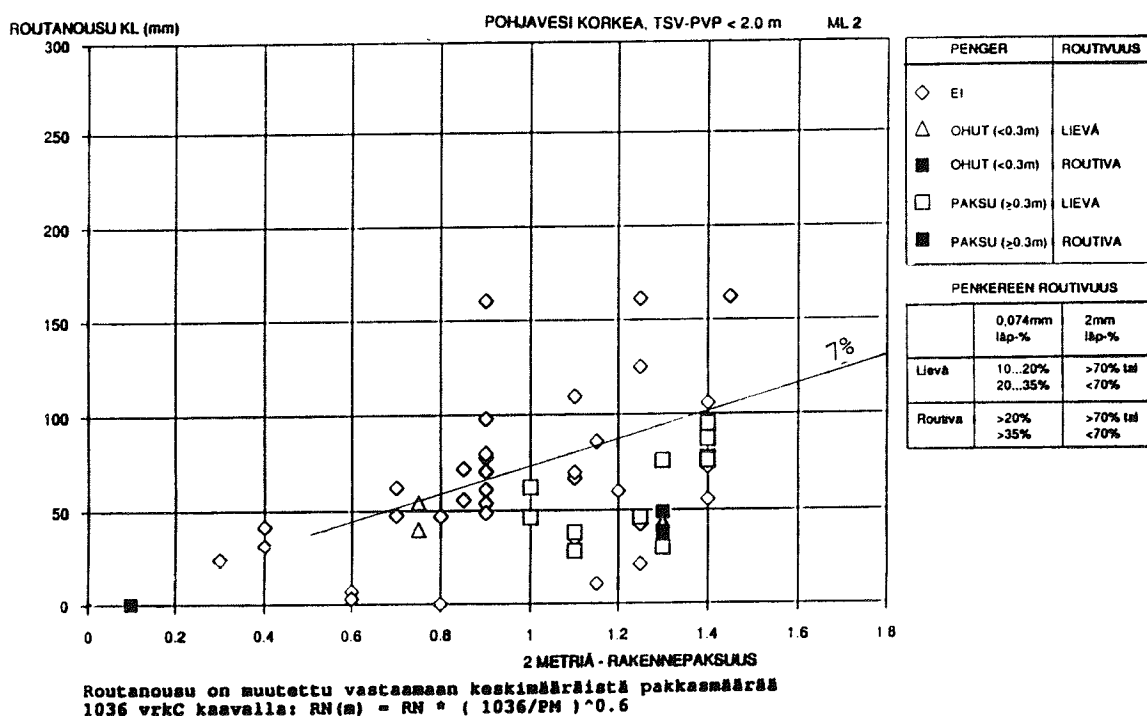


## 5. PENKEREEN JA TURVEKERROKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTIMISEEN

### 5.1 Penkereen vaikutus tien routimiseen

Penkereen vaikutusta tien routimiseen on tarkasteltu kahdella alusrakenneluokalla, ML2 ja ML4. Maalajiryhmä 2 on erittäin routiva siltti tai silttimoreeni ja maalajiryhmä 4 routiva HkMr, SrMr tai Hk.

Penkereet on jaoteltu tarkastelussa paksuuden ja routivuuden mukaan oheisen kuvan 19 mukaisesti.



KUVA 19. PENKEREEN VAIKUTUS TIEN ROUTANOUSUIHIN ERITTÄIN ROUTIVALLA ALUSRAKENTEELLA (Si, SiMr), POHJAVESI KORKEALLA, < 2 M TIEN TASAUSVIIVASTA.

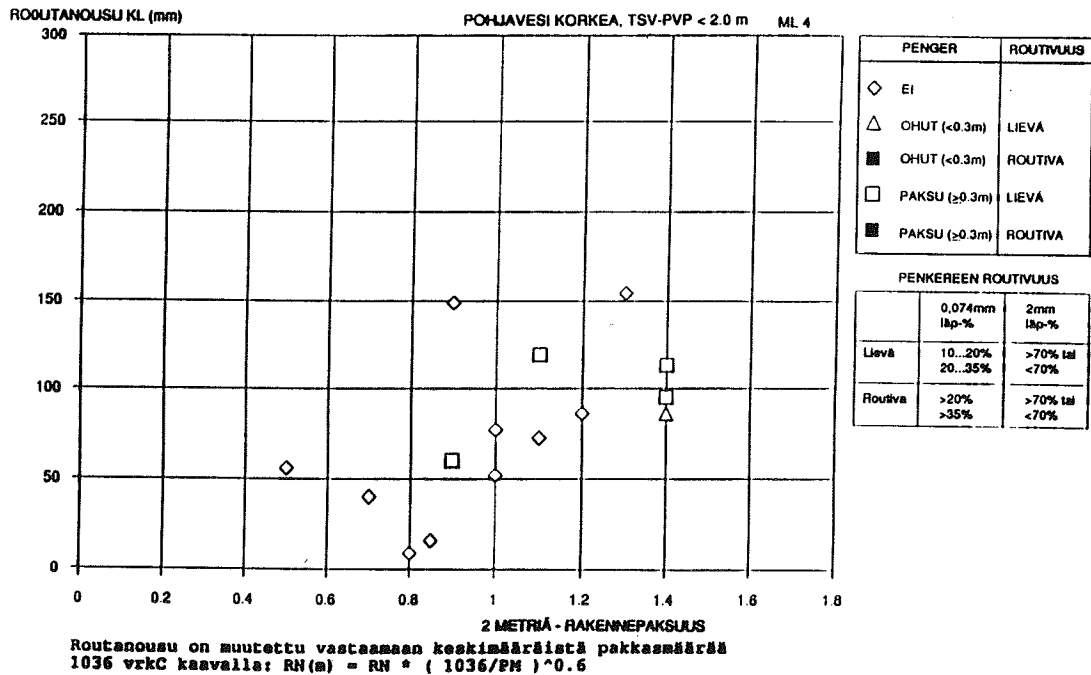
Erittäin routivalla alusrakenteella voidaan todeta (kuva 19), että tierakenteilla, joissa on routiva tai lievästi routiva pengertä olevilla rakenteilla. Kuvan 19 havainnot ovat märissä olosuhteissa eli pohjaveden etäisyys on alle 2 m tasausviivasta.

Routivalla tai lievästi routivalla penkereellä olevissa tierakenteissa ovat alusrakenteen turpoamisprosentit alle 7 %. Ilman pengertä olevissa rakenteissa ovat turpoamisprosentit suurimmillaan yli 15 %. Syynä routanousueroihin on tietysti se, että pengertä jarruttaa roudan tunkeutumista itseään routivampaan alusrakenteeseen.

Edellä todettu "itsestään selvyys" on käyttökelpoinen rakenneratkaisu erittäin routivilla alusrakenteilla. Esim. hiekka- ja soramoreenin käyttö pengermateriaalina silttialusrakenteilla on varmasti edullinen ratkaisu. Tällaisia moreeneja on helposti saatavissa, jolloin rakentamiskustannukset ovat alhaiset ja tierakenteen routanousuissa saavutetaan merkittävää pienenemistä.

Kuivissa olosuhteissa (liite 9) on tilanne hyvin samanlainen kuin edellä.

Lievästi routivalla alusrakenteella (kuva 20) ei samankaltainen penger luonnollisestikaan vaikuta tien routimiseen puoleen eikä toiseen.

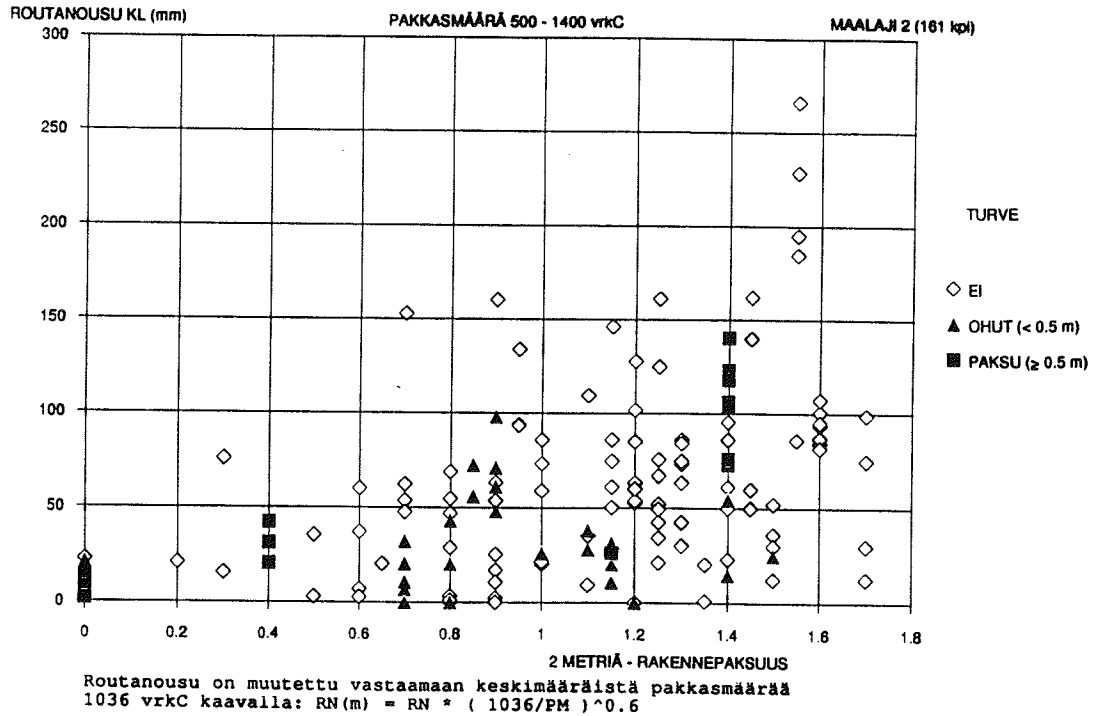


KUVA 20. PENKEREEN VAIKUTUS TIEN ROUITANOUSUIHIN LIEVÄS-  
TI ROUITIVALLA ALUSRAKENTEELLA (HkMr, SrMr, Hk),  
POHJAVESI KORKEALLA, <2 M TIEN TASAUSVIIIVASTA.

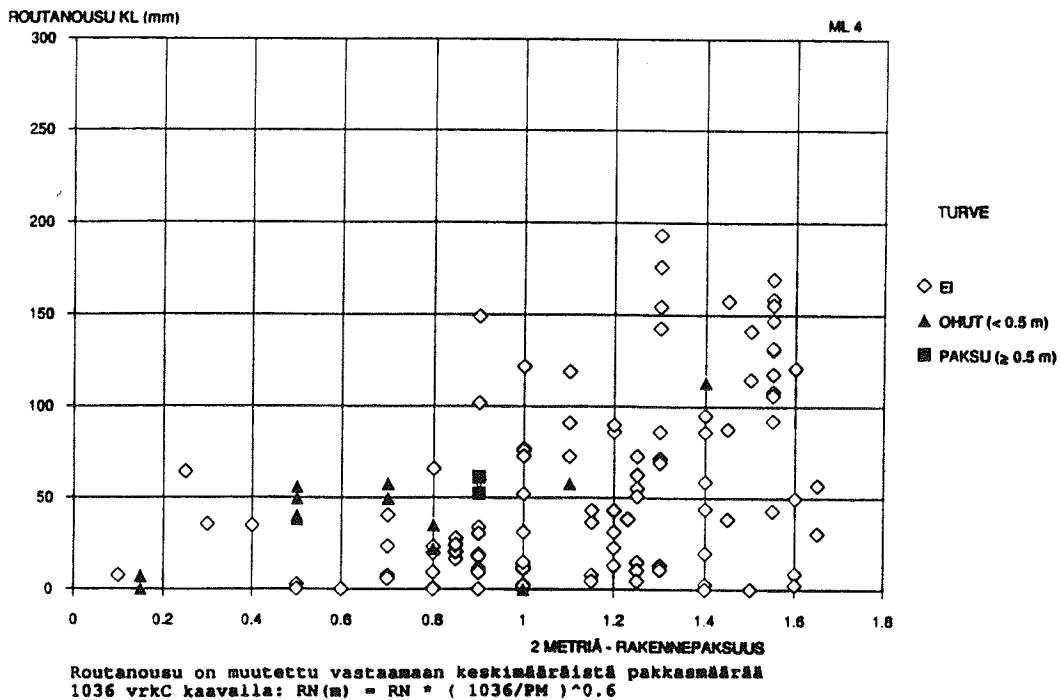
## 5.2 Turvekerroksen vaikutus tien routimiseen

Turvekerroksen vaikutusta tien routimiseen on tarkasteltu samoilla alusrakenteilla kuin edellä penkereen vaikutusta. Turvekerroksen paksuuden vaikutusta on yritetty selvittää tarkastelemalla erikseen ohuita (< 0,5 m) ja paksuja (≥ 0,5 m) turvekerroksia.

Kuvien 21 ja 22 mukaan näyttäisi siltä, että turvekerroksen omaavissa tierakenteissa ovat routanousut jonkin verran rajoittuneet.



KUVA 21. TURVEKERROKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTANOUSUIHIN ERITTÄIN ROUTIVALLA ALUSRAKENTEELLA (Si, SiMr).



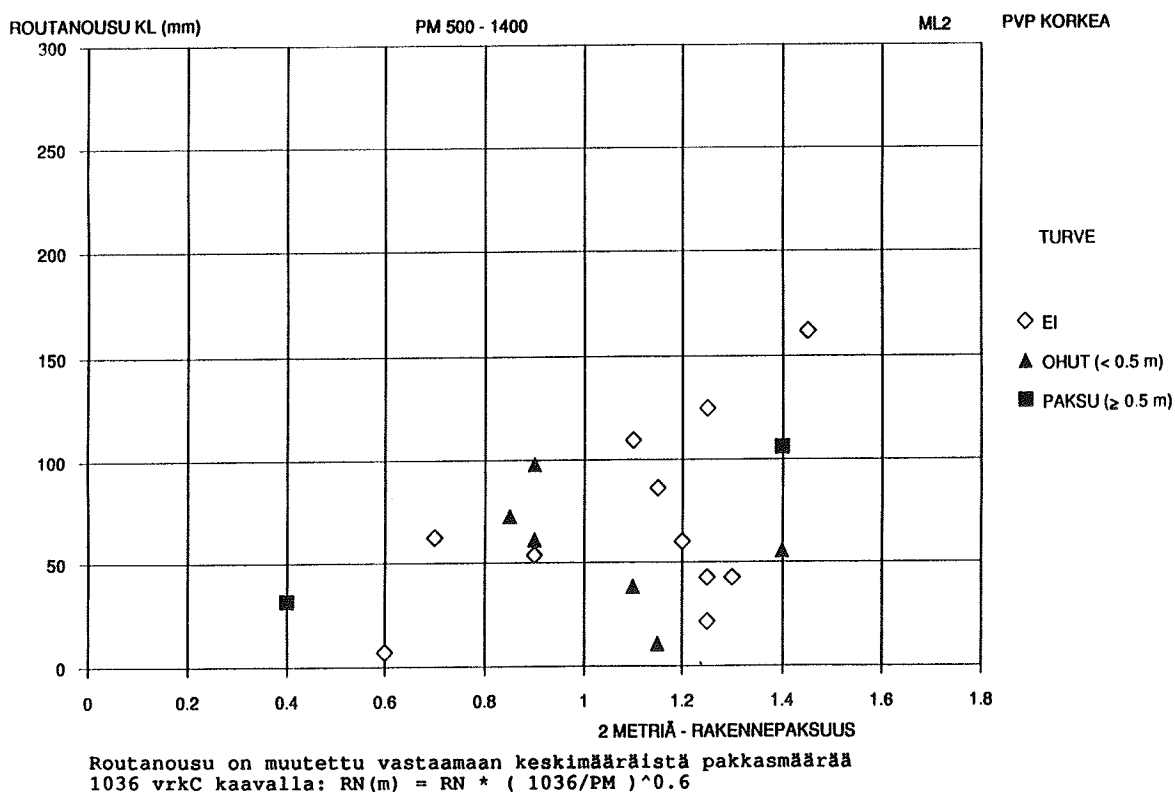
KUVA 22. TURVEKERROKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTANOUSUIHIN LIEVÄSTI ROUTIVALLA ALUSRAKENTEELLA (HkMr, SrMr, Hk).

Erittäin routivalla alusrakenteella (kuva 21) ovat alusrakenteen turpoamisprosentit turverakenteissa alle 10 %. Ilman turvetta olevissa rakenteissa suurimmat turpoamisprosentit ovat 20 % luokkaa.

Lievästi routivalla alusrakenteella (kuva 22) ovat alusrakenteen turpoamisprosentit turverakenteissa vastaavasti alle 8 %, ilman turvetta olevissa rakenteissa ovat suurimmat turpoamisprosentit 15 % suuruusluokkaa.

Kummallakaan alusrakenteella ei turvekerroksen paksuudella näytä olevan havaittavaa eroa tarkastelussa käytetyllä paksuusjaolla.

Tarkasteltaessa turvekerroksen vaikutusta pohjaveden syvyyden mukaan rajatussa aineistossa ei turvekerroksen vaikutusta ole enää havaittavissa (kuva 23). Syynä tähän voi olla se, että märkä turve turpoaa yhtä paljon kuin märkä siltti. Tällaista ajatusta tukevat myös taulukon 13 mukaiset tulokset.



KUVA 23. TURVEKERROKSEN VAIKUTUS TIEN ROUTANOUSUIHIN ERITTÄIN ROUTIVALLA ALUSRAKENTEELLA (Si, SiMr), POHJAVESI KORKEALLA, < 2,0 M TIEN TASAUSVIVASTA.

## 6. POHJAVEDEN TASON JA POHJAMAAN RAKEISUUSTUNNUSLUKUIEN MÄÄRITTÄMINEN

### 6.1 Pohjaveden tason määrittely

Pohjaveden tasolla on tunnetusti erittäin voimakas vaikutus tien routanousun suuruuteen. Pohjaveden korkeuden vaikutus routanousuun näkyy selvästi myös edellä esitettyssä routanousumallissa. Vaikutus on käänteinen eli mitä pienempi on pohjaveden pinnan etäisyys tien pinnasta sitä suurempaa on routanousu.

Edellä esitetyn perusteella on tien routimisen arvioinnissa ensiarvoisen tärkeää, että tiedetään kohtuullisella tarkkuudella pohjaveden taso. Pohjaveden mittauksessa on käytännön ongelmana se, että pohjaveden taso vaihtelee huomattavastikin vuoden eri aikoina ja vuodesta toiseen.

Routimisprosessin ja samalla routanousun suuruuden enustamisen kannalta olisi tärkeintä tietää pohjaveden pinnan ja routarajan välinen etäisyys. Pohjaveden mittauksia on käsilläolevassa tutkimuksessa tehty kahtena syksynä (1988 ja 1989). Syksyllä 1989 lisättiin pohjaveden havaintokohteita merkittävästi vuoteen 1988 verrattuna. Syksyn mittaukset on tehty syyskuun puolen välin paikkeilla.

Pohjaveden mittauksia on tehty myös alkutalvella 1988 ja 1989. Alkutalven pohjaveden korkeustasomittauksilla on ollut tavoitteena löytää pohjaveden korkeus tien routimisprosessin alussa. Tulokset pohjaveden korkeustasoista mittausjaksolla on esitetty liitetaulukoissa 10 ja 11.

Taulukossa 16 on esitetty peräkkäisten vuosien syksyn arvojen ja syksyn 1989 ja alkutalven 1989 pohjaveden korkeuksien erot. Erot on esitetty pohjamaalajiryhmittäin ja maastotyypeittäin.

Tämän tarkastelun tavoitteena on selvittää voidaanko loppusyksyn pohjaveden mittauksista arvioida routimisprosessin alkuaikojen pohjaveden syvyys ja toisaalta onko loppusyksyn ja routimisprosessin alun pohjaveden korkeuksissa merkittävää eroa.

Peräkkäisten syksyjen pohjaveden korkeuden vertailulla pyritään arvioimaan eri vuosina tehtyjen mittausten käyttökelpoisuutta routimistarkastelujen pohjana.

TAULUKKO 16. POHJAVEDEN KORKEUSTASON VAIHTELU PERÄKÄISTEN SYKSYJEN JA SYKSYN 1989 JA ALKUTALVEN 1989 VÄLILLÄ.

POHJAVEDEN VAIHTELU (cm)

Taulukko 3/3

MAASTO TYYPPI	POHJAMAALAJIRYHMÄ				
	1	2	3	4	5
PELTO	-3	19	8	75	33
	2	16	X 30	-6	X -5
RINNE		X 20	-4	X -4	X 10
NOTKO		X -63			
MÄEN LAKI	-1	X 18	133	X -5 60	X 7
METSÄ		21	-4	20	22
		-5	0	0	4
KAIKKI	-3	20	3	26	24
	X 2	6	0	0	0

Kussakin ruudussa ylärivillä on syksyn 88 ja syksyn 89 eron keskiarvo

Alarivillä on syksyn 89 ja talven 89 eron mediaani

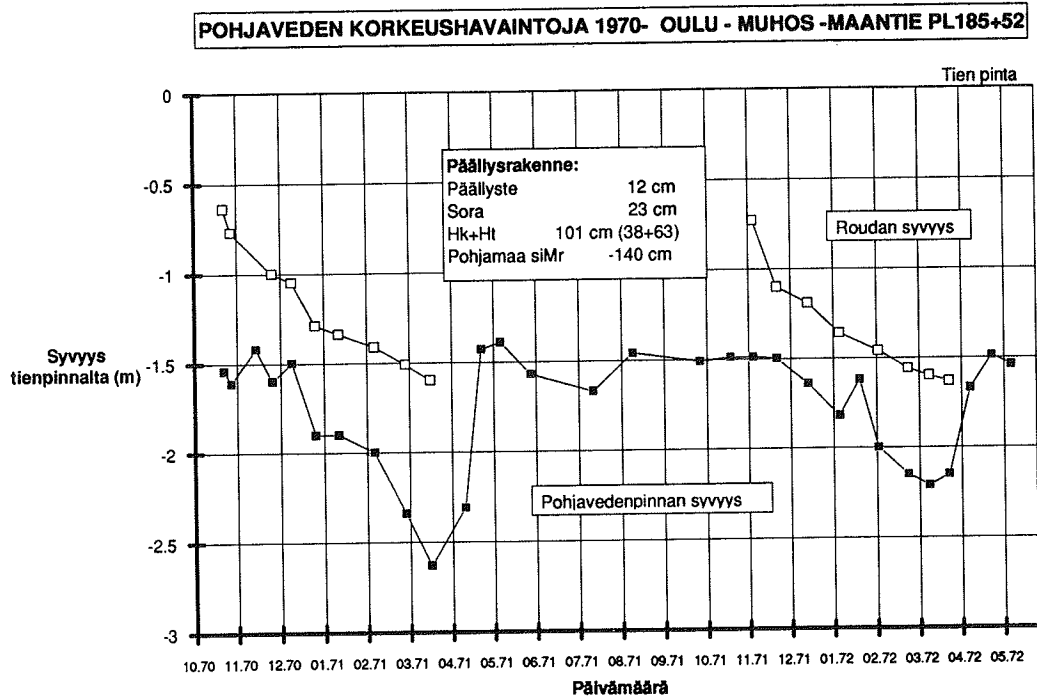
X = aineisto < 8 kpl, mediaanin tilalla keskiarvo

Peräkkäisten vuosien väliset pohjavesikorkeuksien erot ovat suurimmat karkeissa pohjamaaryhmissä. Muutoin erot ovat pieniä.

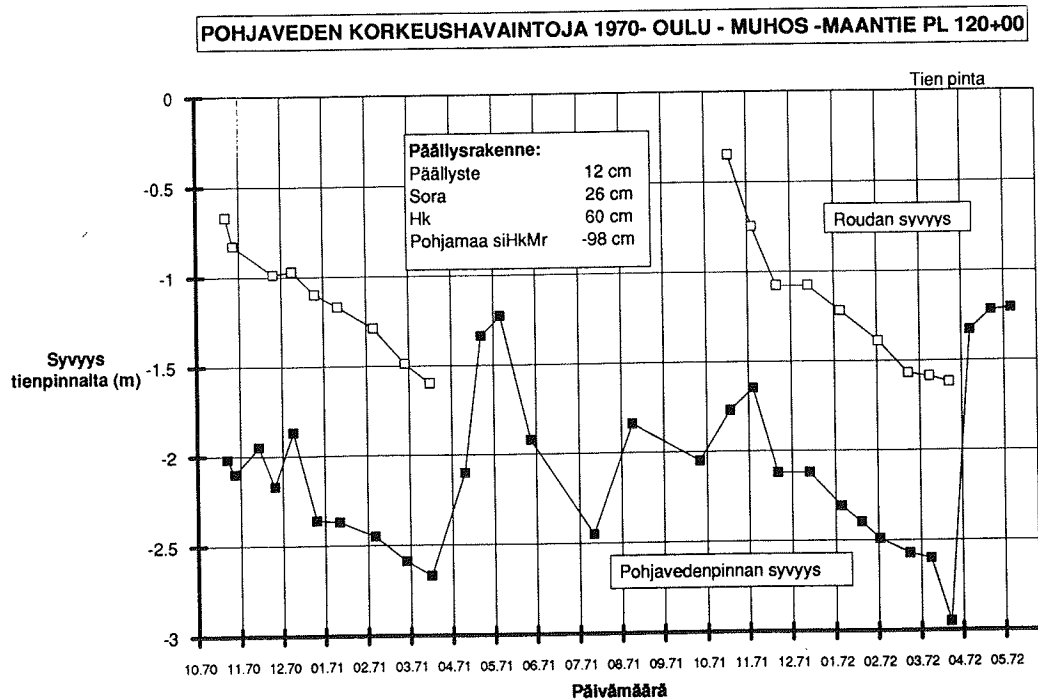
Syksyn ja alkutalven välinen pohjaveden pinnan vaihtelu on suurinta mäkisessä maastossa. Muuten erot ovat tässäkin varsin pieniä.

Käsilläolevan tutkimuksen pohjavesimittaukset ovat sen verran vähäisiä ja hajanaisia ettei niiden tulosten perusteella ole mahdollisuus tehdä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä. Tässä saatujen tulosten täydentämiseksi ja johtopäätösten varmentamiseksi tarkastellaan seuraavassa Oulun ympäristön teillä aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia /6/ pohjaveden syvyyden ja roudan syvyyden vaihteluista.

Kuvissa 24, 25 ja liitteissä 12 - 14 on esitetty mitaustuloksia erilaisilla tierakenteilla alusrakenteen vaihdelta siltistä hiekkaan. Pohjaveden ja roudan syvyyden mittaukset on tehty kahtena peräkkäisenä vuotena 1 - 2 kertaa kuukaudessa.



KUVA 24. POHJAVEDEN JA ROUDAN SYVYYDEN VAIHTELUT TIESSÄ siMr-ALUSRAKENTEELLA.



KUVA 25. POHJAVEDEN JA ROUDAN SYVYYDEN VAIHTELUT TIESSÄ siHkMr-ALUSRAKENTEESSA.

Kuvien 24 ja 25 perusteella voidaan todeta, että pohjaveden korkeusvaihtelut ovat peräkkäisinä vuosina pääsääntöisesti hyvin samanlaisia. Peräkkäisten syksyjen pohjaveden korkeustasoissa ei ole suuria eroja.

Syksystä pohjaveden taso laskee ja saavuttaa alimman tason Oulun seudulla yleensä maaliskuussa eli suurimman roudan syvyyden aikoihin.

Keväällä lumen ja roudan sulamisen aikoihin pohjaveden taso nousee takaisin syksyn tasolla tai sen yläpuolelle. Keskikesällä heinäkuussa on pohjaveden tasossa todettavissa selvä laskuvaihe.

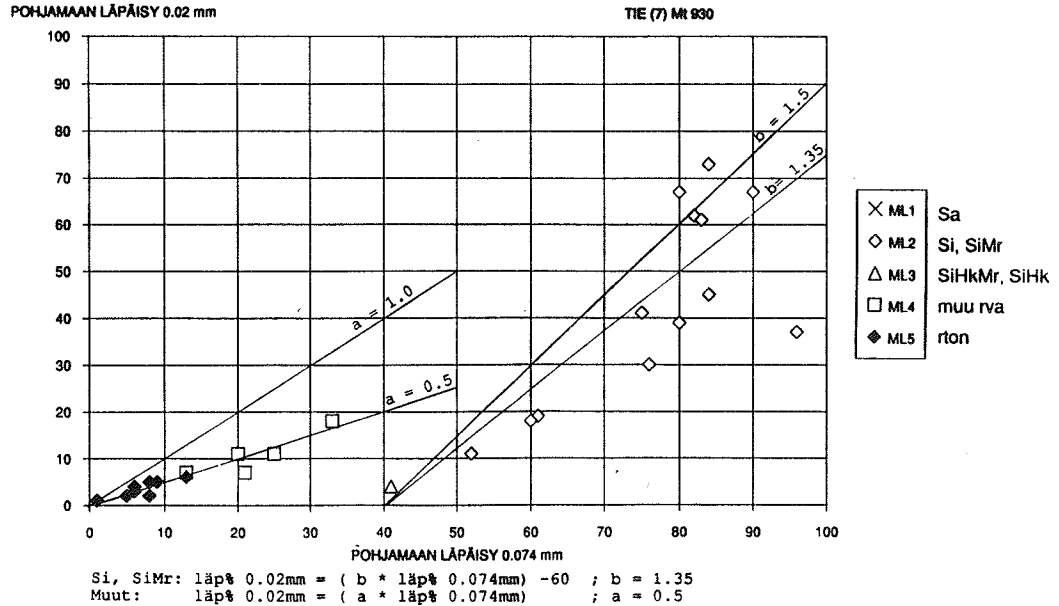
Roudansyvyyden kehityksessä ja pohjaveden tasossa voidaan todeta talven aikana hyvin samankaltainen tendenssi. Roudansyvyyden kasvaessa laskee pohjaveden taso jokseenkin samaa tahtia. Erityisesti näin tapahtuu alusrakenteen routaantumisen aikana eli sen jälkeen, kun päällysrakenne on jäänyt. Tällöin roudansyvyyden ja pohjaveden pinnan välinen korkeusero pysyy jokseenkin samana. Tämä merkitsee että tien routanousutarkasteluissa voidaan routarajan ja pohjavedenpinnan välistä etäisyyttä pitää tietyllä tarkkuudella vakiona.

Useimmissa tapauksissa (kuvat 24, 25 ja liitteet 12 - 14) ei pohjaveden korkeustasossa tapahdu suuria muutoksia syksyn ja alkutalven aikana. Tällöin loppusyksyn pohjaveden korkeutta voitaisiin käyttää routimisprosessin aikaisen pohjaveden tason arvioimiseen. Syksyn pohjaveden korkeudesta vähennetään päällysrakenteen paksaus, jolloin saadaan routarajan ja pohjaveden syvyyden välinen etäisyys alusrakenteen routimisprosessin aikana. Tämä erotus on se tunnusluku jonka avulla pohjaveden vaikutusta voidaan arvioida.

#### 6.2 Pohjamaan 0,02 mm seulan läpäisyprosentin arvioiminen seulan 0,074 mm läpäisyprosentin avulla

Seulan 0,02 läpäisyprosentti on maan routivuuden määrittämisessä tärkeä tunnusluku. Tien suunnitteluvaiheessa ei kuitenkaan yleensä kaikista pohjamaanäytteistä tehdä areometrimääritystä, jolloin ei myöskään pohjamaan läpäisyprosenttia 0,02 mm seulalla saada selville. Tämän vuoksi olisi tarpeellista, että seulan 0,02 mm läpäisyprosentti voitaisiin arvioida seulan 0,074 mm läpäisyprosentin avulla. Tätä on selvitetty liitekuvien 15 - 21 avulla. Esimerkki tarkastelukuvista on esitetty kuvassa 26.





KUVA 26. POHJAMAAN SEULAN 0,02 MM LÄPÄISYPROSENTIN RIIPPUVUUS SEULAN 0,074 LÄPÄISYPROSENTTISTA (ESIMERKKIKUVA).

Liitekuvilla 15 - 21 (esimerkkikuva 26) on rakeisuuk-sien välistä riippuvuutta tarkasteltu teittäin ja maalajiryhmittäin. Maalajiryhmäjako on ollut edelläesite-tyn taulukon 14 mukainen.

Kuvista voidaan todeta, että silttiä karkeammilla maalajeilla (maalajiryhmät 3 - 5) seulan 0,02 mm läpäisyprosentti on yleensä 0,5 x seulan 0,074 mm läpäisyprosentti. Tällainen yhteys pitää paikkansa teittäin Vt 21:llä, Mt 930:llä, Mt 464:llä, Pt 15739:llä ja Mt 542:lla (liitekuvat 15, 16, 18, 19 ja 21). Näillä teillä tutkimuspisteet jakautuvat keskimäärin 13 km:n alueelle.

Maantiellä 6991 (liitekuva 20) on edellä esitetty ker-roin hieman suurempi eli noin 0,6. Havaintoja tällä tiellä oli vain kolme. Maantiellä 773 (liitekuva 17) kerroin on taas vähän pienempi eli noin 0,3.

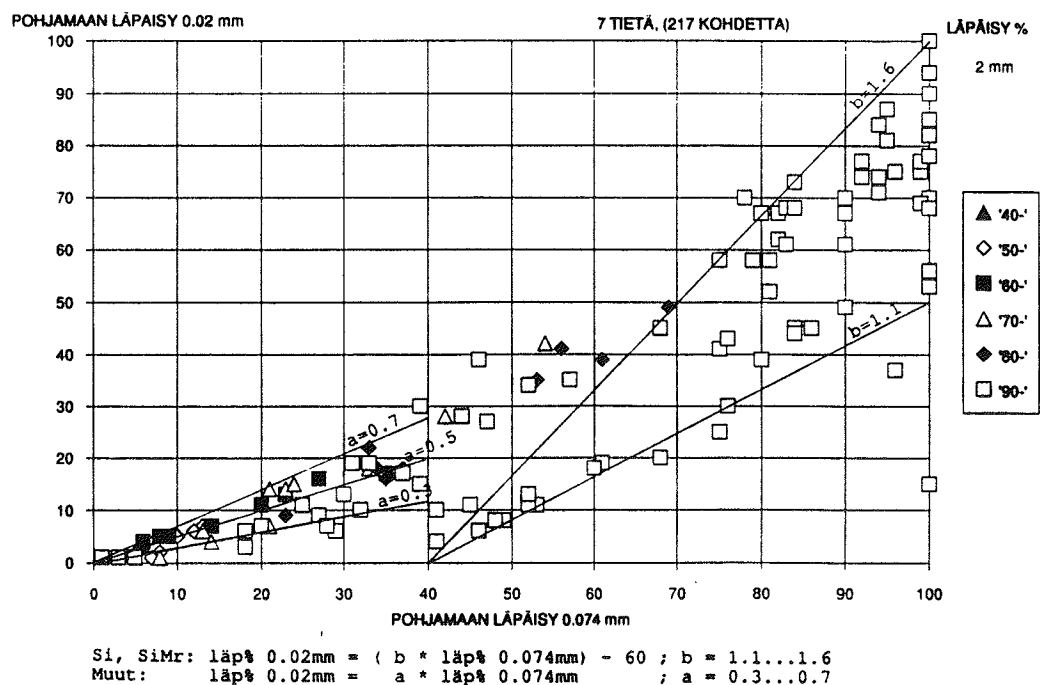
Edellä esitetty kaava (läp 0,02 mm = 0,5 x läp 0,074 mm) pitää parhaiten paikkansa, kun läp 0,074 on välillä 0...40 %.

Kaavan kerroin saattaa kuitenkin vaihdella 0,3...0,7 välillä (liitekuvat 22-23). Tästä johtuen kaavaa ei tulisi käyttää tekemättä ensin tutkittavan alueen pohjamaasta muutamia areometrikokeita kertoimien tason määrittämiseksi. Suppealla alueella suhde pysynee jokseenkin vakiona, jolloin kaikista näytteistä ei tarvitse tehdä areometrikoeita, vaan hienoaaines voidaan arvioida viereisten näytteiden perusteella.

Hienoainespitoisille maalajeille, joiden seulan 0,074 läpäisyprosentti on > 55 eli siltit ja sitä hienommat maalajit, on seulojen 0,02 mm ja 0,074 mm läpäisyprosenttien välillä seuraavanlainen yhteys: läp. % 0,02 mm = 1,5 x läp. % 0,074 mm - 60 (liitekuvat 15 - 21). Kerroin 1,5 on yksittäisten teitten kertoimien keskiarvo.

Kerroin vaihtelee kuitenkin 1,1:stä noin 1,8:aan (liitekuvat 22 ja 23). Näin ollen esitettyä kaavaa ei voida käyttää yleisesti. Toisaalta tässä tarkastellulla rakeisuusalueella (läp. % 0,074 > 55) ovat maalajit aina selvästi routivia eikä näin ollen routivuuden arvostelemiseksi tarvita enää seulan 0,02 mm läpäisyprosentin arvioimista.

Kuvan 27 mukaan voidaan tarkastella kaavan läp. 0,02 mm = b \* läp. 0,074 mm kertoimen b ja maalalajin läpäisyprosentin # 2 mm välistä yhteyttä. Seulan 0,074 mm läpäisyalueella 0...40 % voidaan todeta että kun läpäisyprosentti seulalla 2 mm on alle 90 % eli maalaji on moreenia on eo. kaavan kerroin b alueella 0,5...0,7. Vastaavasti kun läp. 2 mm on yli 90 % eli maalaji on hiekkaa kertoimen b arvo on 0,3...0,5 välillä.



KUVA 27. POHJAMAAN SEULAN 0,02 MM LÄPÄISYPROSENTIN RIIPPUVUUS SEULAN 0,074 MM LÄPÄISYPROSENTISTA. 7 TIETÄ YHDISTETTYNÄ.

## 7. YHTEENVETO

### Yleistä

Käsillä olevan osatutkimuksen tarkoituksena on ollut selvittää tien poikkileikkaustyyppin vaikutusta poikkileikkauksen routanousueroihin ja pituushalkeiluun. Samalla on tutkittu tien rakenteen ja olosuhteiden vaikutusta tien routimiseen ja pituushalkeiluun.

Tien routimiseen vaikuttaviin tekijöihin liittyen on pyritty kehittämään tien alusrakenteelle routimisluokitus, joka perustuisi tien routanousuihin. Edelleen tien routimiseen liittyen on selvitetty routimisprosessiin oleellisesti vaikuttavien pohjaveden tason ja pohjamaan rakeisuustunnuslukujen määrittämiseen liittyviä kysymyksiä.

Tutkimus perustuu Lapin, Oulun, Keski-Pohjanmaan, Vaasan, Pohjois-Karjalan ja Mikkelin tiepiirien tiestöllä vuosina 1987 - 1989 kerättyyn tutkimus- ja havaintoaineistoon. Aineisto koostuu 608:sta tiepoikkileikkauksesta tehtyihin halkeama-, routanousu-, rakenne- ja tieolosuhdetutkimuksiin ja havaintoihin.

### Poikkileikkaus ja pituushalkeilu

Tien poikkileikkaustyyppiä kuvaavina tekijöinä on tutkittu tien ja pientareen leveyksiä, luiskan muotoa ja ojasyvyyttä.

Kaikkien pituushalkeamien osalta, näyttäisi toimivan parhaiten leveä, syväojainen ja loivaluiskainen poikkileikkaustyyppi. Tällaisella poikkileikkaustyyppillä on kaikkienensa selvästi vähiten pituushalkeamia ja leveitä > 40 mm halkeamia ei havaintoaineistossa ole ollenkaan.

Huonoiten toimivia poikkileikkaustyyppisiä ovat olleet kapeat syväojaiset poikkileikkaukset ja leveät syväojaiset, joissa on jyrkkä luiska. Syväojaisissa poikkileikkauksissa näyttää myös siltä, että erityisesti kapeilla jyrkkäluiskaisilla teillä pienikin routanousu riittää aikaansaamaan halkeaman.

Tien leveydellä on todettu selvä yhteys pituushalkeamien sijaintiin tiepoikkileikkauksessa. Keskihalkeamien todennäköisyys on selvästi suurimmillaan tien leveysluokassa 7,5 - 9,0 m. Reunahalkeamia ja ajokais-tahalkeamia on taas eniten kapeilla teillä (leveys < 6 m reunahalkeamilla ja < 6,5 m ajoratahalkeamilla).

Tien leveyden ja pituushalkeamien sijainnin välinen riippuvuus merkitsee samalla sitä, että poikkileikkaustyyppin ja halkeamatodennäköisyyden väliset yhteydet ovat erilaiset keskihalkeamilla, ajoratahalkeamilla ja reunahalkeamilla.

Keskihalkeamia on ollut vähiten loivaluiskaisilla ja syväojaisilla kapeilla teillä ja eniten loivaluiskaisilla ja matalaojaisilla leveillä poikkileikkauksilla.

Reunahalkeamien todennäköisyys on ollut suurin kuperaluiskaisilla ja syväojaisilla kapeilla teillä ja pienin loivaluiskaisilla ja syväojaisilla leveillä sekä kapeilla teillä.

Ajoratahalkeamien suhteen parhaiten toimiva poikkileikkaustyyppi on ollut sama kuin edellä kaikkien halkeamien yhteydessä. Eniten ajoratahalkeamia on taas ollut loivaluiskaisella ja syväojaisella kapealla tiepoikkileikkauksella.

#### Päällysrakenteen paksuus ja routanousu

Tien rakennepaksuudella ei näytä olevan vaikutusta pituushalkeamien syntymistodennäköisyyteen lukuunottamatta keskihalkeamia. Keskihalkeamia näyttäisi olevan paksuilla päällysrakenteilla (> 1,25 m) selvästi enemmän kuin ohuilla päällysrakenteilla. Paksuilla päällysrakenteilla on todettu myös, että jo pieni routanousu (< 20 mm) tai kulmanmuutos (< 1 %) tiepoikkileikkauksessa saa aikaan pituushalkeamien syntymisen.

Tien maastotyyppillä ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta halkeamistodennäköisyyteen.

### Maalajien luokittelu routanousun perusteella

Tien routanousueroihin perustuvaa alusrakenteen (pohjamaan) routimisluokitusta on selvitetty käsilläolevan aineiston perusteella muodostetun routanousumallin ja tien alusrakenteen turpoamisen avulla. Alusrakenteen turpoamisella tarkoitetaan sen tilavuuden kasvua routimisen seurauksena. Tässä tutkimuksessa käytetty suhteellinen turpoama sisältää myös roudan syvyyden vaikutuksen. Turpoama on laskettu kaavalla  $100 \times \text{routanousu} / (2 \text{ m} - \text{rakennepaksuus})$ .

Todellisen turpoaman (laboratorio-olosuhteissa saatu) ja tässä tutkimuksessa käytetyn suhteellisen turpoaman välinen yhteys on seuraavanlainen.

todellinen turpoamis-% =

tässä käytetty turpoamis-% \*  $\left( \frac{\text{roudan syvyys siltissä}}{\text{roudan syvyys ko. maalajissa}} \right)$

Käsilläolevassa selvitystyössä on käytetty suhteellista turpoamaa sen vuoksi, että todellisia roudansyvyyyksiä ei ollut käytettävissä. Käytännössä tilanne on useimmiten myös näin, jolloin suhteellista turpoaman käyttö on ainoa mahdollisuus. Suhteellista turpoamaa on myös helppo käyttää suurimman routanousun ennustamiseen.

Tierakenteen suurin odotettavissa oleva routanousu voidaan laskea maksimiturpoamisprosenttien perusteella seuraavasti:

tierakenteen suurin routanousu (cm) = pohjamaan maksimiturpoama-% \* [roudan syvyys (m) - routimaton rakennepaksuus (m)].

Roudan syvyytenä voidaan käyttää tarkasteltavan alueen siirtymäkiilasyvyyttä (tielaitoksen ohjeet).

Laajan havaintoaineiston tarkastelun perusteella on tien pohjamaalle saatu oheisen asetelman mukainen routivuusluokittelu, joka pohjautuu tien routanousujen suuruuteen.

ROUTIVUUS	MAALAJIRYHMÄ	MÄÄRITYSSÄÄNTÖ		SUURIN TURPOAMA- %	
		LÄPÄISY- %		max	kuivissa olosuhteissa
		0,074 mm	2 mm		
Routimaton	Sr, SrMr	< 8		7	2
Routimaton	Hk	< 8	tai	7	2
		8 - 20	> 70	4	3
Lievästi routiva	SrMr, HkMr	8 - 20	< 70	10	8
Routiva	Hk, HkMr	20 - 35		15	9
	siHk, siHkMr	35 - 50		19 <sup>1)</sup> (13)	7
	Sa			13	10
	Tv			12	-
Erittäin routiva	Si, SiMr			23	12

1) yksittäinen poikkeava havainto

Pohjamaat on jaettu neljään ryhmään: routimattomat, lievästi routivat, routivat ja erittäin routivat. Luokitteluperusteena on käytetty seulojen 0,074 mm ja 2 mm läpäisyprosentteja. Lisäksi tiedetään, että jos 0,02 mm läpäisyprosentti on alle 10 %, suurin turpoama on yleensä alle 7 %, eli maalaji voi olla routimaton.

Kuivissa olosuhteissa pohjavesi on vähintään 2 m syvyydessä tien pinnasta syksyllä.

## Pohjavesi

Tarkastelussa on käynyt selvästi ilmi myös se tosiasia, että pohjaveden korkeudella on ratkaiseva osa routanousujen suuruudessa. Merkitys on sitä suurempi mitä routivampaa pohjamaa on. Tämä merkitsee sitä, että routanousujen erot eo. asetelman mukaisilla maalajiryhmillä ovat varsin suuret korkealla pohjavedellä, mutta tasoittuvat voimakkaasti pohjaveden ollessa syvällä.

Routimisprosessin ja routanousujen suuruuden ennustamisen kannalta on pohjaveden tason suhteen tärkeintä tietää pohjaveden pinnan ja routarajan välinen etäisyys.

Roudansyvyyden kehityksessä ja pohjaveden tasossa on voitu todeta talven aikana hyvin samankaltainen tendenssi. Roudansyvyyden kasvaessa laskee pohjaveden taso jokseenkin samaa tahtia. Erityisesti näin tapahtuu alusrakenteen routaantumisen aikana eli sen jälkeen, kun päällysrakenne on jäänyt. Tällöin roudansyvyyden ja pohjaveden pinnan välinen korkeusero pysyy jokseenkin samana. Tämä merkitsee, että tien routanousutarkasteluissa voidaan routarajan ja pohjavedenpinnan välistä etäisyyttä pitää tietyllä tarkkuudella vakiona.

Peräkkäisinä vuosina tehtyjen pohjavesihavaintojen perusteella on voitu todeta, että pohjaveden korkeusvaihtelut ovat olleet pääosin hyvin samanlaisia. Peräkkäisten syksyjen pohjaveden korkeustasoissa ei ole suuria eroja.

Useimmissa tapauksissa ei pohjaveden korkeustasossa tapahdu suuria muutoksia myöskään syksyn ja alkutalven aikana. Tällöin loppusyksyn pohjaveden korkeutta voitaisiin käyttää routimisprosessin aikaisen pohjaveden tason arvioimiseen. Syksyn pohjaveden korkeudesta vähennetään päällysrakenteen paksuus, jolloin saadaan routarajan ja pohjaveden syvyyden välinen etäisyys alusrakenteen routimisprosessin aikana.

### Pengertäytteen ja turpeen vaikutus

Edelläkerrotun alusrakenteen routivuustarkastelun lisäksi on tarkasteltu penkereen ja alusrakenteessa olevan turvekerroksen vaikutusta tien routimiseen.

Erittäin routivalla alusrakenteella on voitu todeta, että tierakenteilla, joissa on routiva tai lievästi routiva penger ovat routanousut pääosin pienempiä kuin ilman pengertä olevilla rakenteilla. Syynä routanousueroihin on tietysti se, että penger jarruttaa roudan tunkeutumista itseään routivampaan alusrakenteeseen.

Saatu tulos merkitsee, että erittäin routivalla alusrakenteella on routivan penkereen (esim. HkMr, SrMr) käyttö harkinnan arvoinen rakennevaihtoehto monessa tapauksessa.

Turvekerroksen vaikutuksesta tien routimiseen ei ole saatu kovin selviä tuloksia. Yleisesti tarkasteltuna näyttäisi, että turvekerroksen omaavissa tierakenteissa ovat routanousut jonkin verran rajoittuneet. Toisaalta on todettu, että märkä turve turpoaa jäätyessään kuten routivat maalajit.

### Hienoainespitoisuuden arviointi

Pohjamaan rakeisuustunnuslukujen suhteen on selvitetty mahdollisuutta arvioida seulan 0,02 mm läpäisyprosentti seulan 0,074 mm läpäisyprosentin avulla.

Silttiä karkeammilla maalajeille eli maalajeille, joissa seulan 0,02 mm arvoa tarvitaan routivuuden arvioimiseen on em. seuloilla saatu seuraavanlainen yhteys: läp 0,02 mm = 0,5 x läp 0,074 mm. Yhteys pitää parhaiten paikkansa, kun läp 0,074 on välillä 0...40 %.

Kaavan kerroin vaihtelee välillä 0,3...0,7, mutta suppean alueen sisällä se pysyy vakiona. Tällöin kaikista maanäytteistä ei tarvita aerometrianalyysiä, vaan viereisten näytteiden 0,074/0,02 suhdetta voidaan käyttää 0,02 mm läpäisyprosentin määrittämisessä.



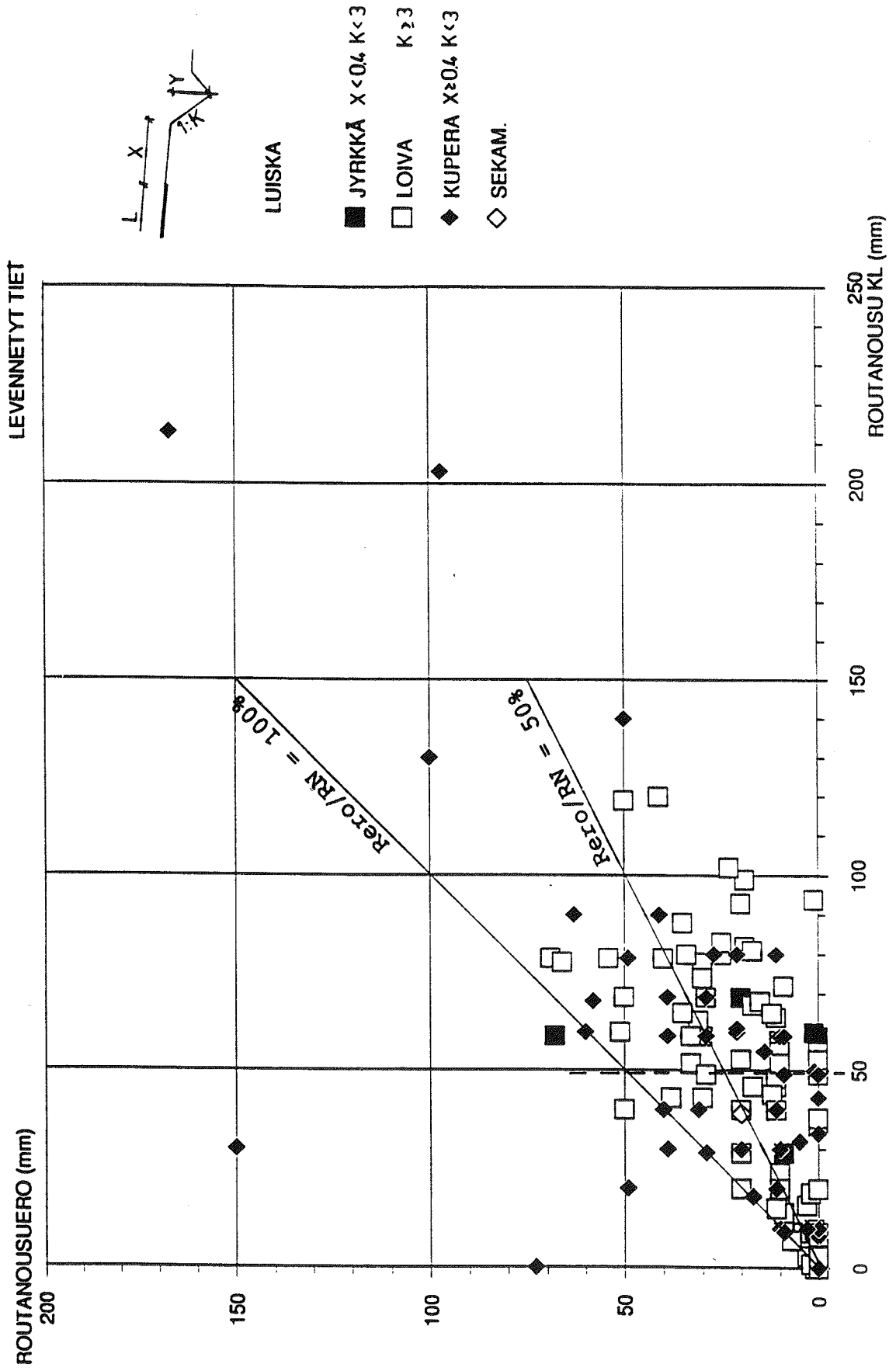
## KIRJALLISUUS

## Routavaurio ja kuivatustutkimuksen raportit

1. Tutkimussuunnitelma. Insinööritoimisto PSV Oy 87516. Oulu 1988.
2. Väliraportti. Insinööritoimisto PSV Oy 753650. Oulu 1988.
3. Kalliokohdetutkimus. Insinööritoimisto PSV Oy 980331. Oulu 1990.
4. Pituushalkeamat osaraportti I. Routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. Insinööritoimisto PSV Oy 980331. Oulu 1990.

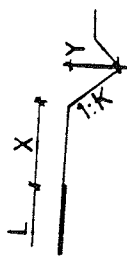
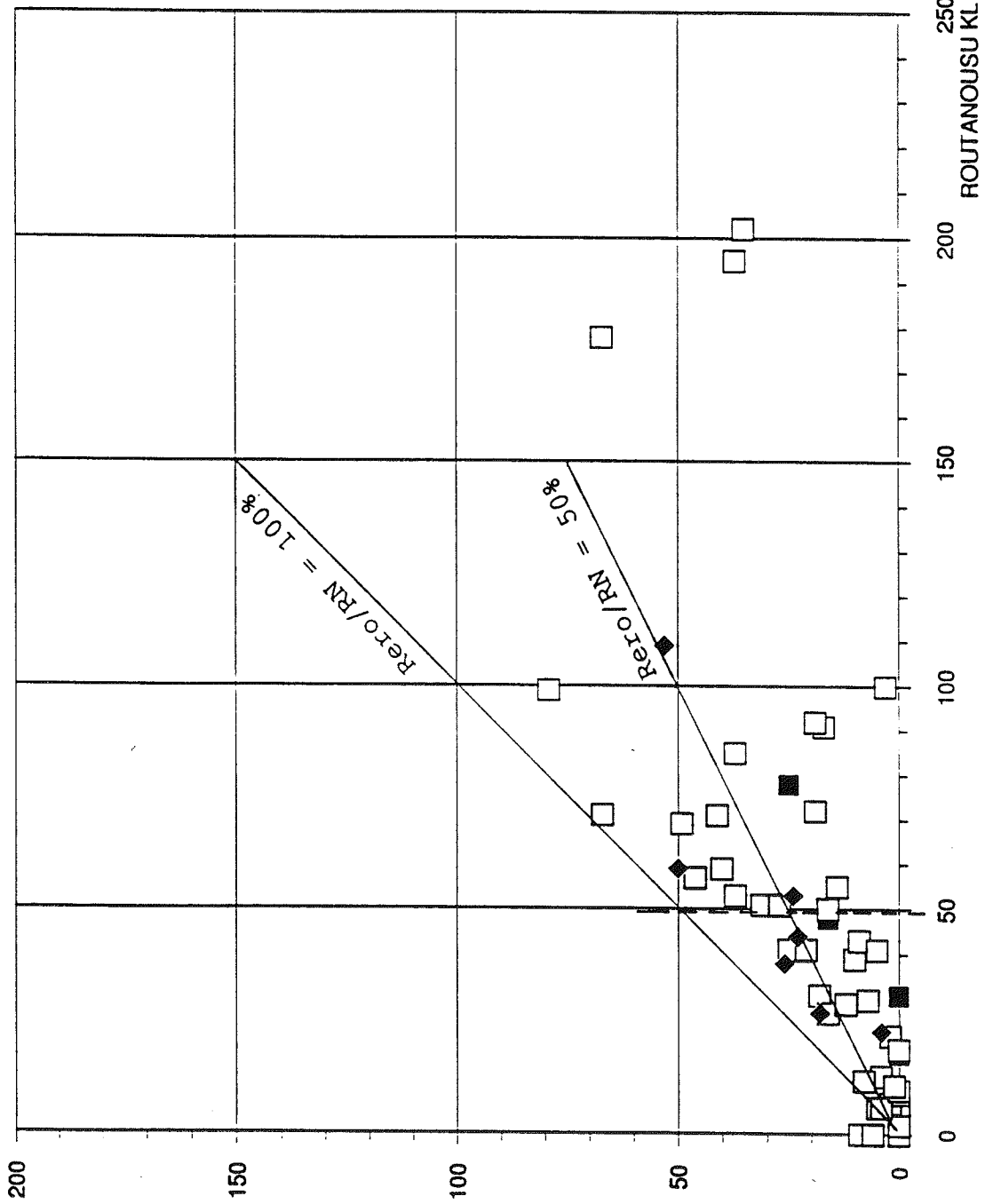
## Muu kirjallisuus

5. Gandahl, R. Tjälisolerande material i vägar. Statens väg- och trafikinstitut. Rapport nr. 40. Stockholm 1974.
6. Ehrola, E. Ilmastollisten ja rakenteellisten tekijöiden vaikutuksesta tien routaantumisen ja routimiseen. Oulun yliopisto, Rakentamistekniikan osasto liseniaatin työ. Oulu 1973.



LEVEÄT MATALAOJAISET

ROUTANOUSJERO (mm)



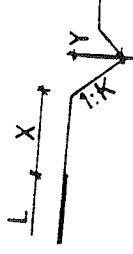
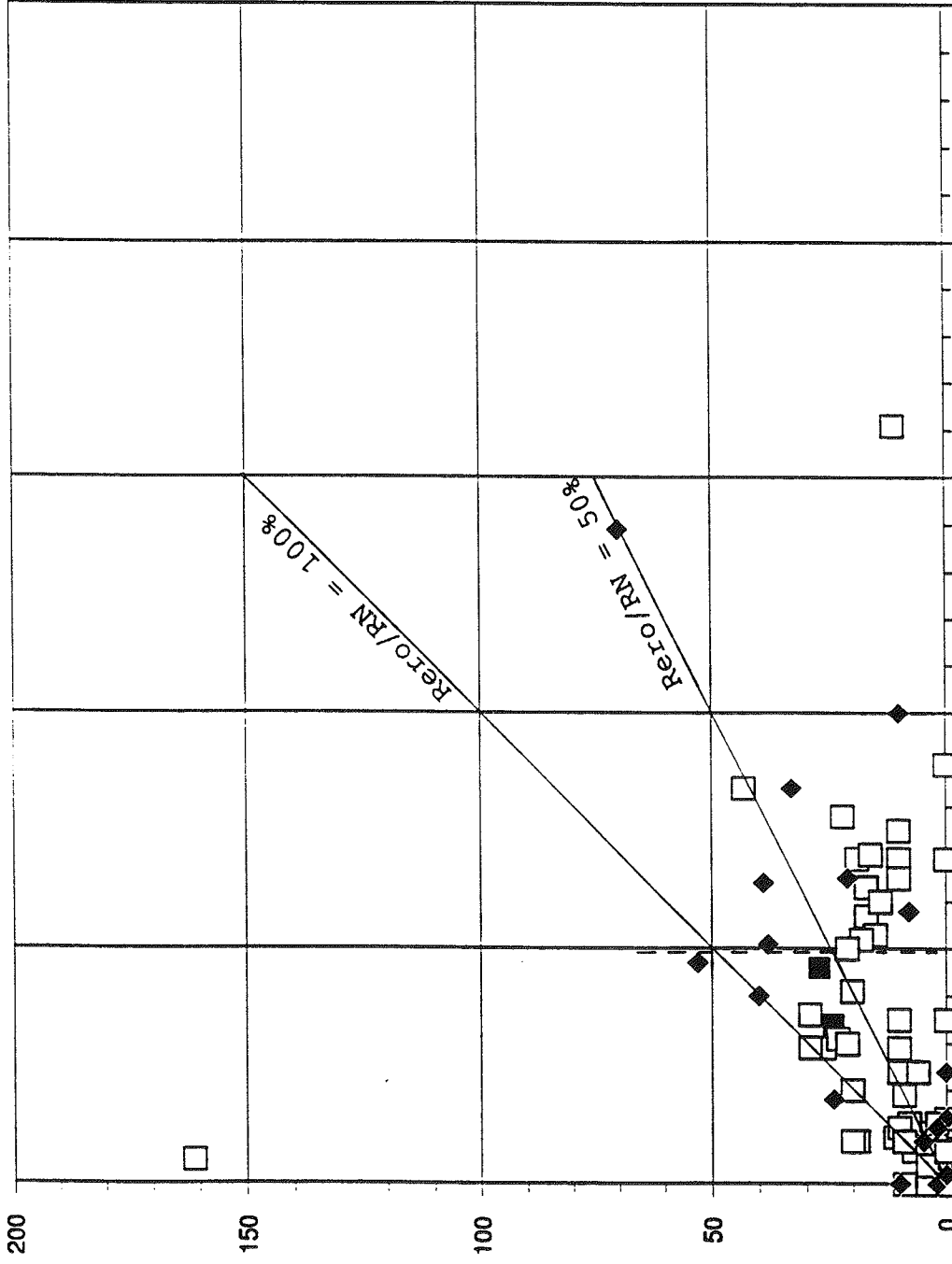
LUISKA

- JYRKKÄ  $X < 0.4$   $K < 3$
- LOIVA  $K \geq 3$
- ◆ KUPERA  $X \geq 0.4$   $K < 3$
- ◇ SEKAM.

Oja matala,  $Y < 1,5m$

LEVEÄT SYVÄOJAISET

ROUTANOUSUERO (mm)



LUISKA

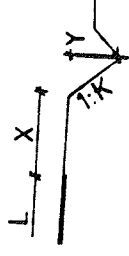
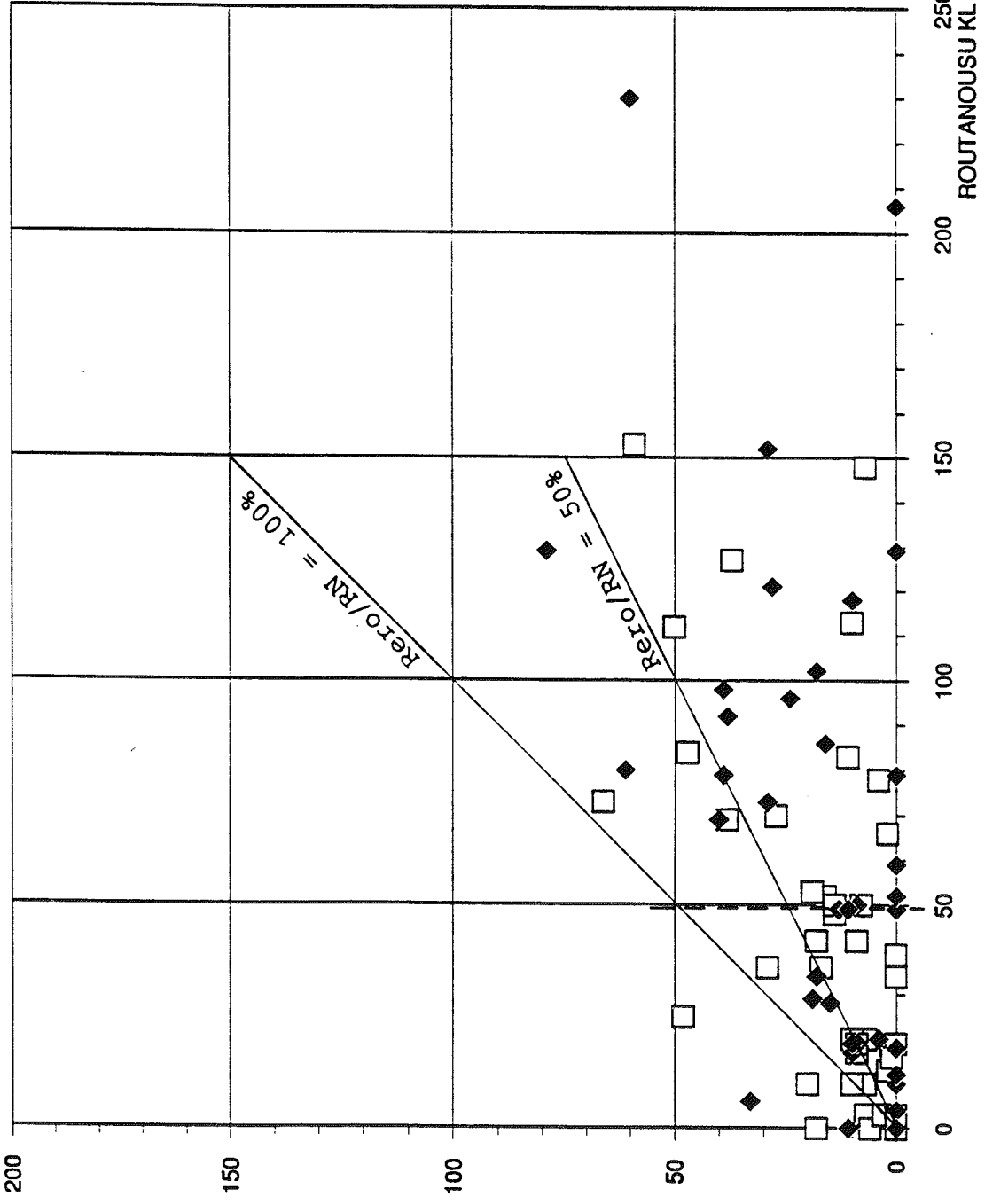
- JYRKKÄ  $X < 0.4 K < 3$
- LOIVA  $K \geq 3$
- ◆ KUPERA  $X \geq 0.4 K < 3$
- ◇ SEKAM.

Oja syvä,  $Y \geq 1,5m$   
TIE LEVEÄ,  $L > 6.3m$

ROUTANOUSU KL (mm)

KAPEAT MATALAOJAISET

ROUTANOUSUERO (mm)



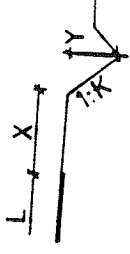
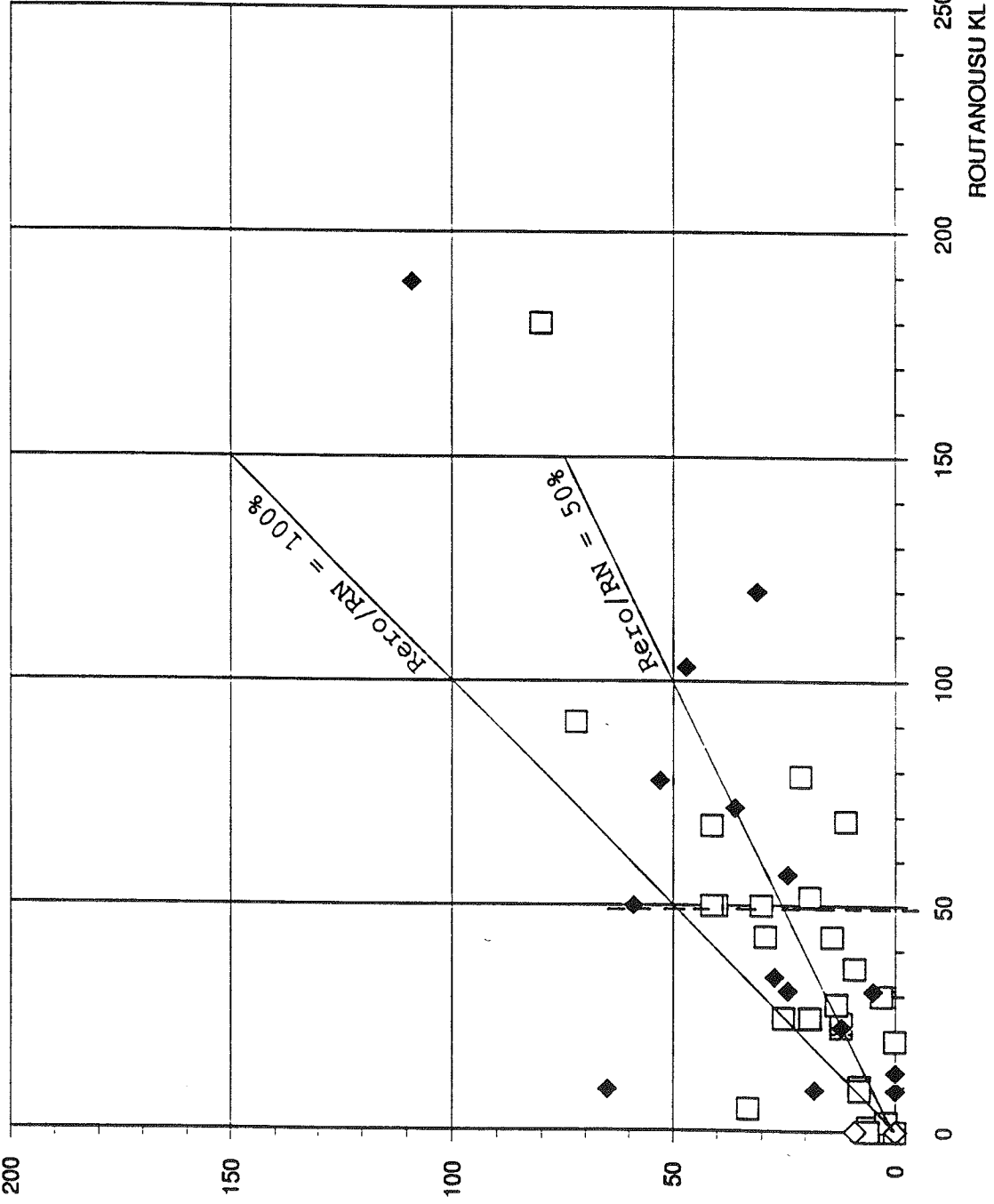
LUISKA

- JYRKKÄ  $X < 0.4 K < 3$
- LOIVA  $K \geq 3$
- ◆ KUPERA  $X \geq 0.4 K < 3$
- ◇ SEKAM.

Oja matala,  $Y < 1,5m$   
TIE KAPEA,  $L \leq 6.3 m$

KAPEAT SYVÄOJAISET

ROUTANOUSUERO (mm)



LUISKA

- JYRKKÄ  $X < 0,4 K < 3$
- LOIVA  $K \geq 3$
- ◆ KUPERA  $X \geq 0,4 K < 3$
- ◇ SEKAM.

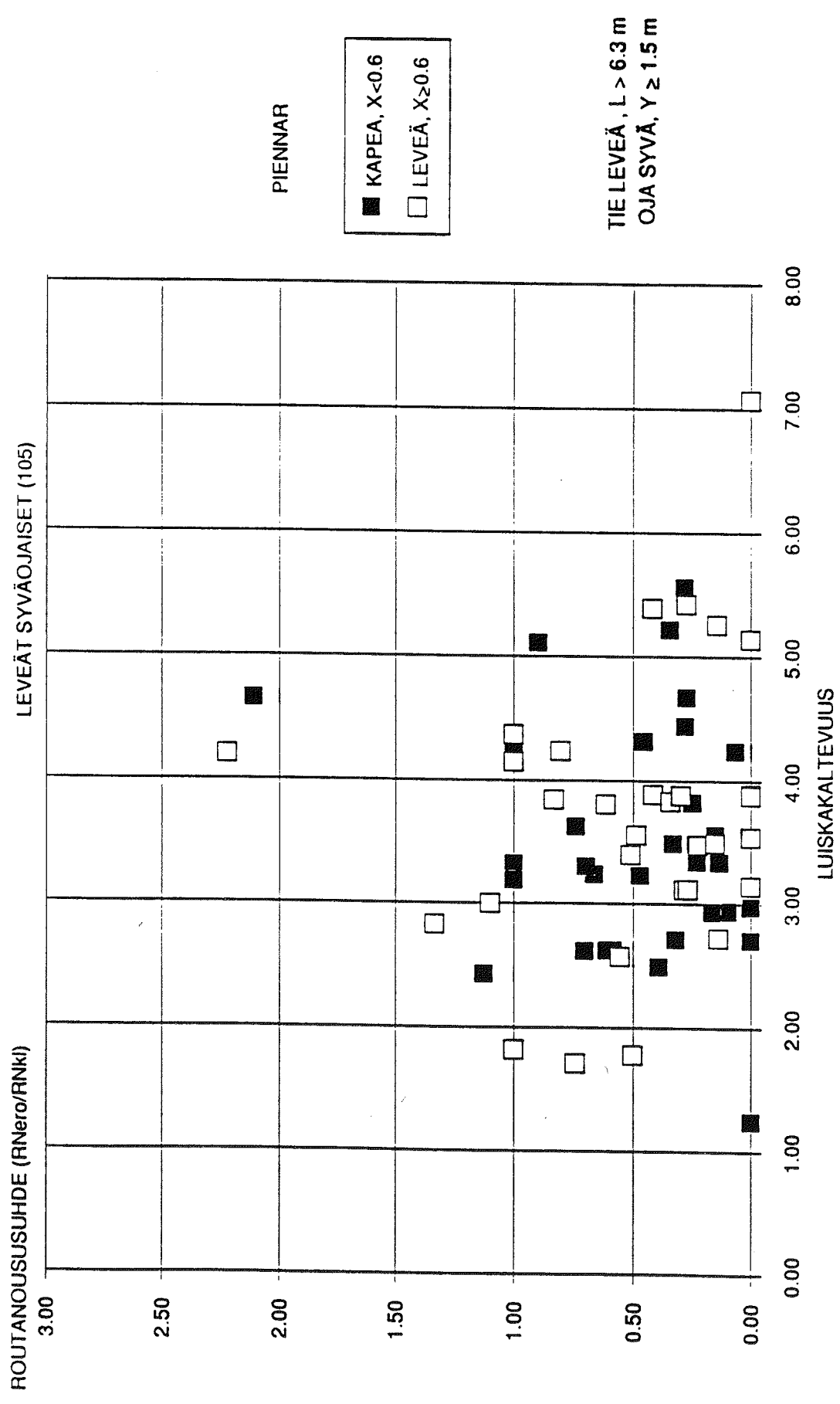
Oja syvä,  $Y \geq 1,5m$

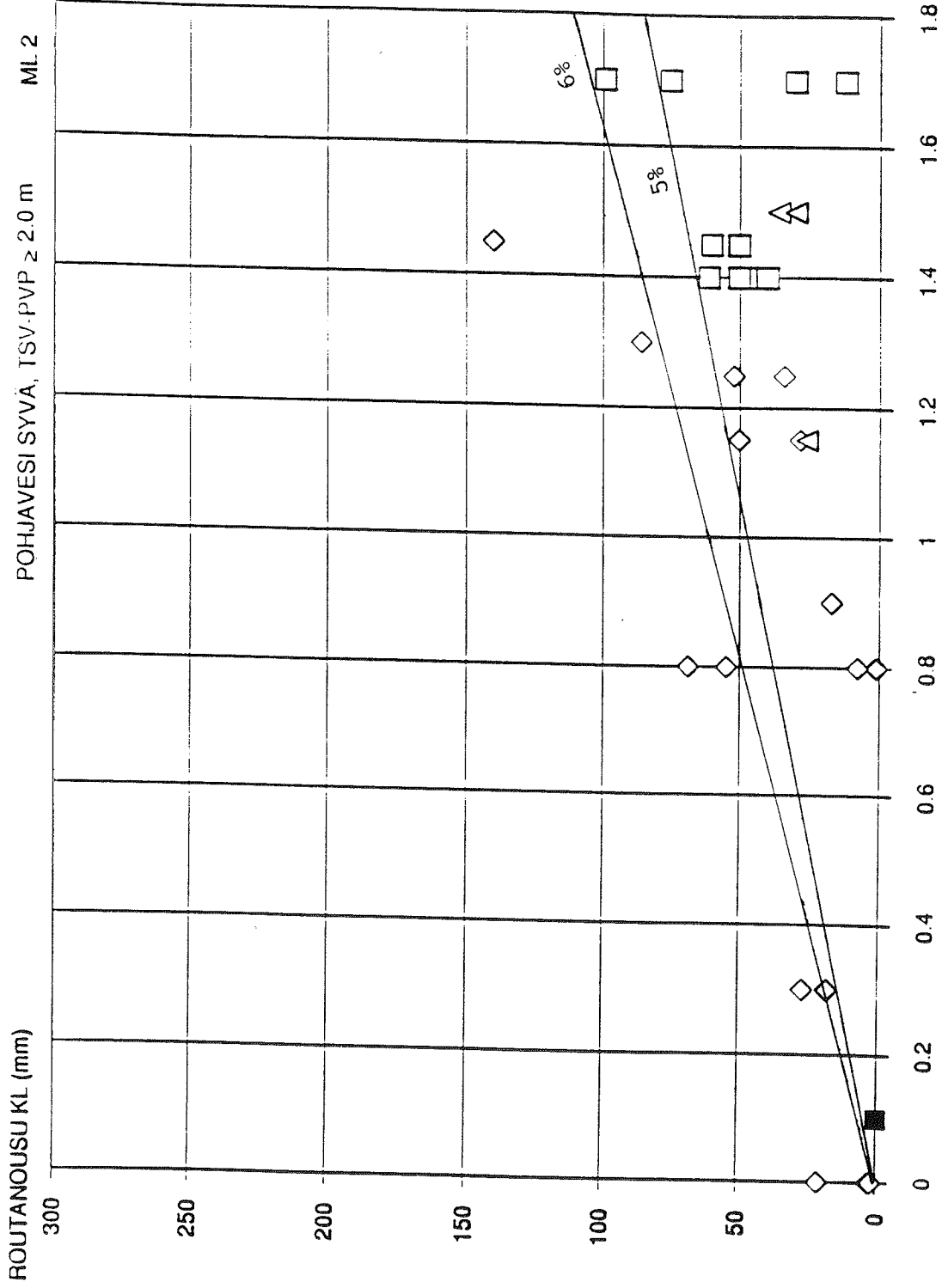
TIE KAPEA,  $L \leq 6,3 m$











PENGER	ROUTIVUUS
◇	---
△	LIEVÄ
■	ROUTIVA
□	LIEVÄ
■	ROUTIVA

PENKEREEN ROUTIVUUS	
0,074mm läp-%	2mm läp-%
10...20%	>70% tai <70%
20...35%	>70% tai <70%
>20%	>70% tai <70%
>35%	>70% tai <70%

2 METRIÄ - RAKENNEPAKSUUS

ROUTANOUSU ON MUUTETTU VASTAAMAAN KESKIMÄÄRÄISTÄ PAKKASMÄÄRÄÄ  
 1036 virkC kaavalla:  $RN(m) = RN * (1036/PM)^{0.6}$

Taulukko 1/3

POHJAVEDEN SYVYYS (cm) 1988

MAASTO TYYPPI	POHJAMAALAJIRYHMÄ				
	1	2	3	4	5
PELTO	X 232	X 203	X 156	X 216	X 225
RINNE	X 272	X 215	X 161	X 223	X 254
NOTKO					
MÄEN LAKI	X 151 X 177			X 294 X 294	
METSÄ		X 118 X 132	X 157 X 196	X 158 X 200	X 277 X 285
KAIKKI	X 216 X 253	X 161 X 173	X 157 X 175	X 197 X 222	X 240 X 252

Kussakin ruudussa ylärivillä syksyn arvot ja alarivillä talven arvot  
Ruuduissa olevat luvut ovat kunkin luokan havaintojen keskiarvot

X = aineisto < 8 kpl, mediaanin tilalla keskiarvo

POHJAVEDEN SYVYYS (cm) 1989 Taulukko 2/3

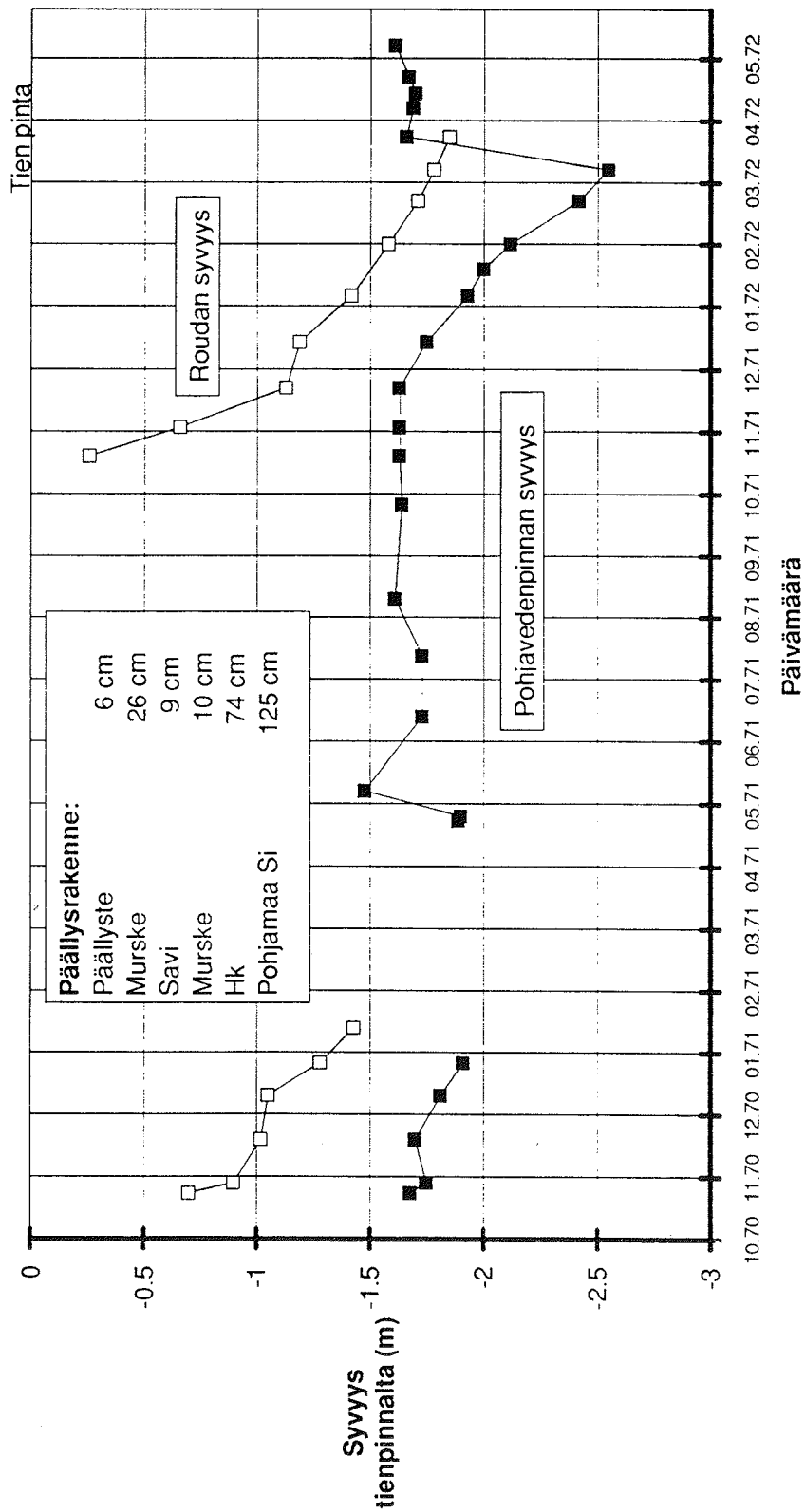
MAASTO TYYPPI	POHJAMAALAJIRYHMÄ				
	1	2	3	4	5
PELTO	X 242	147 189 208	155 215 260 X	X 255	X 216
	X 244	174 212 252	145 284 299 X	X 235	X 206
RINNE		X 261	X 167	X 105	X 130
		X 281	X 163	X 151	X 84
NOTKO		X 304			
		X 241			
MÄEN LAKI	X 270 X 269	X 255 X 273	X 424 X 357	X 300 X 420	X 209 X 216
METSÄ		134 175 215	172 195 316	178 313 386	191 246 427
		114 151 181	172 243 395	146 172 352	199 286 439
KAIKKI	X 247	147 186 225	176 243 329	172 250 351	183 249 332
	X 249	151 197 241	164 264 357	146 252 352	176 241 268

Kussakin ruudussa ylärivillä syksyn arvot ja alarivillä talven arvot

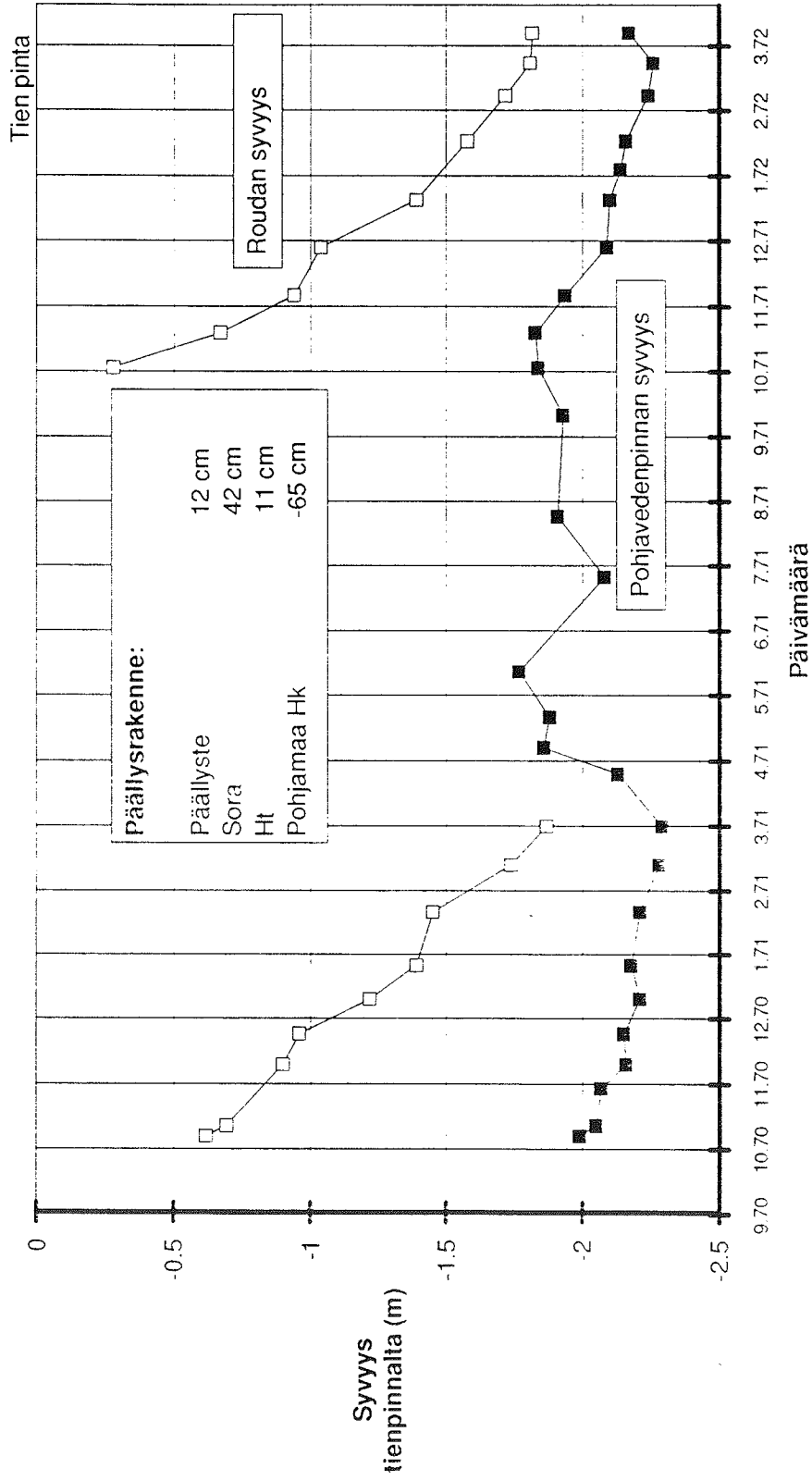
Ruuduissa olevat luvut ovat vasemmalta oikealle: alakvartiili, mediaani ja yläkvartiili

X = aineisto < 8 kpl, mediaanin tilalla keskiarvo

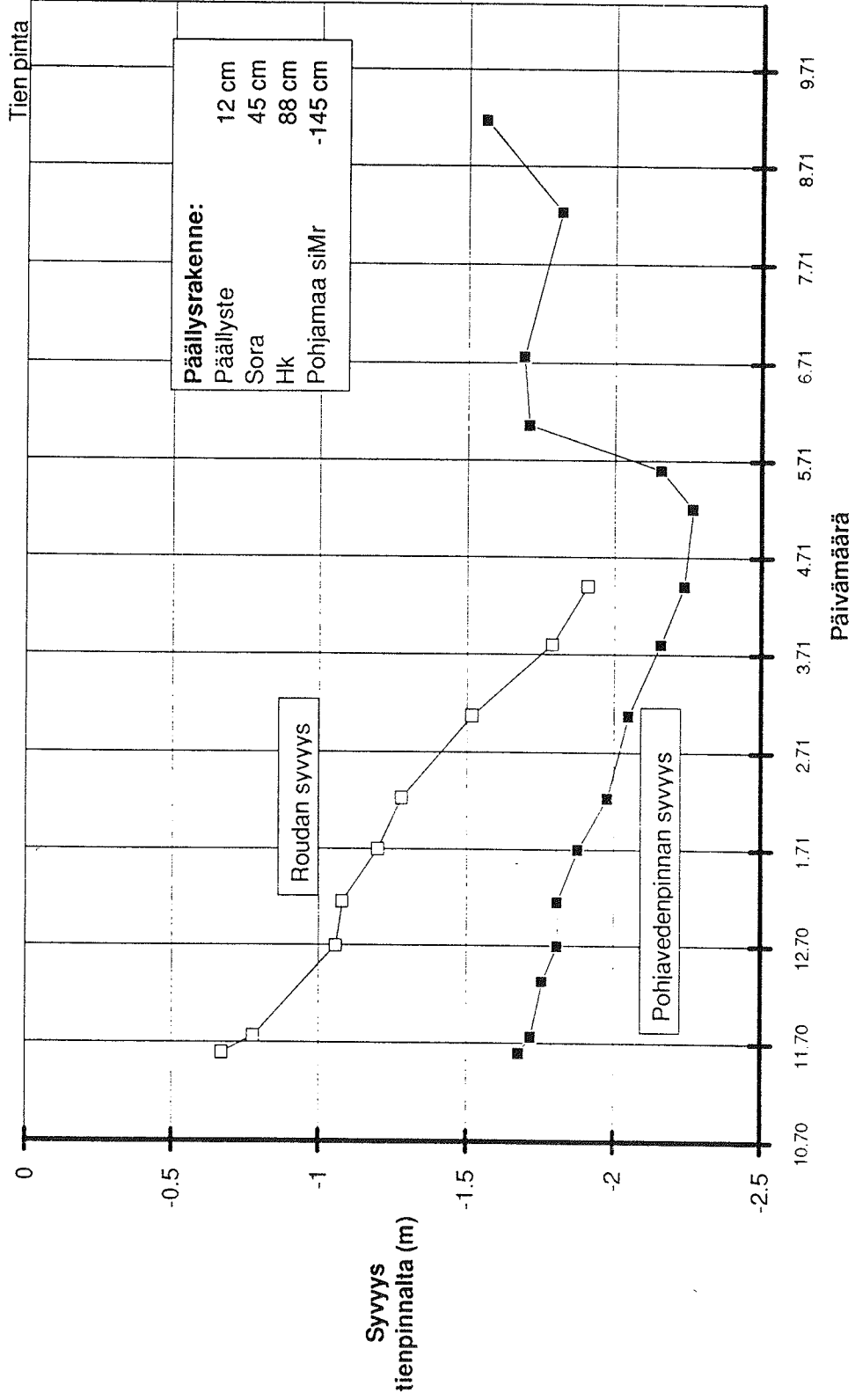
**POHJAVEDEN KORKEUSHAVAINTOJA 1970- OULU - HAARANSILTA - MAANTIE  
PL 739+00**

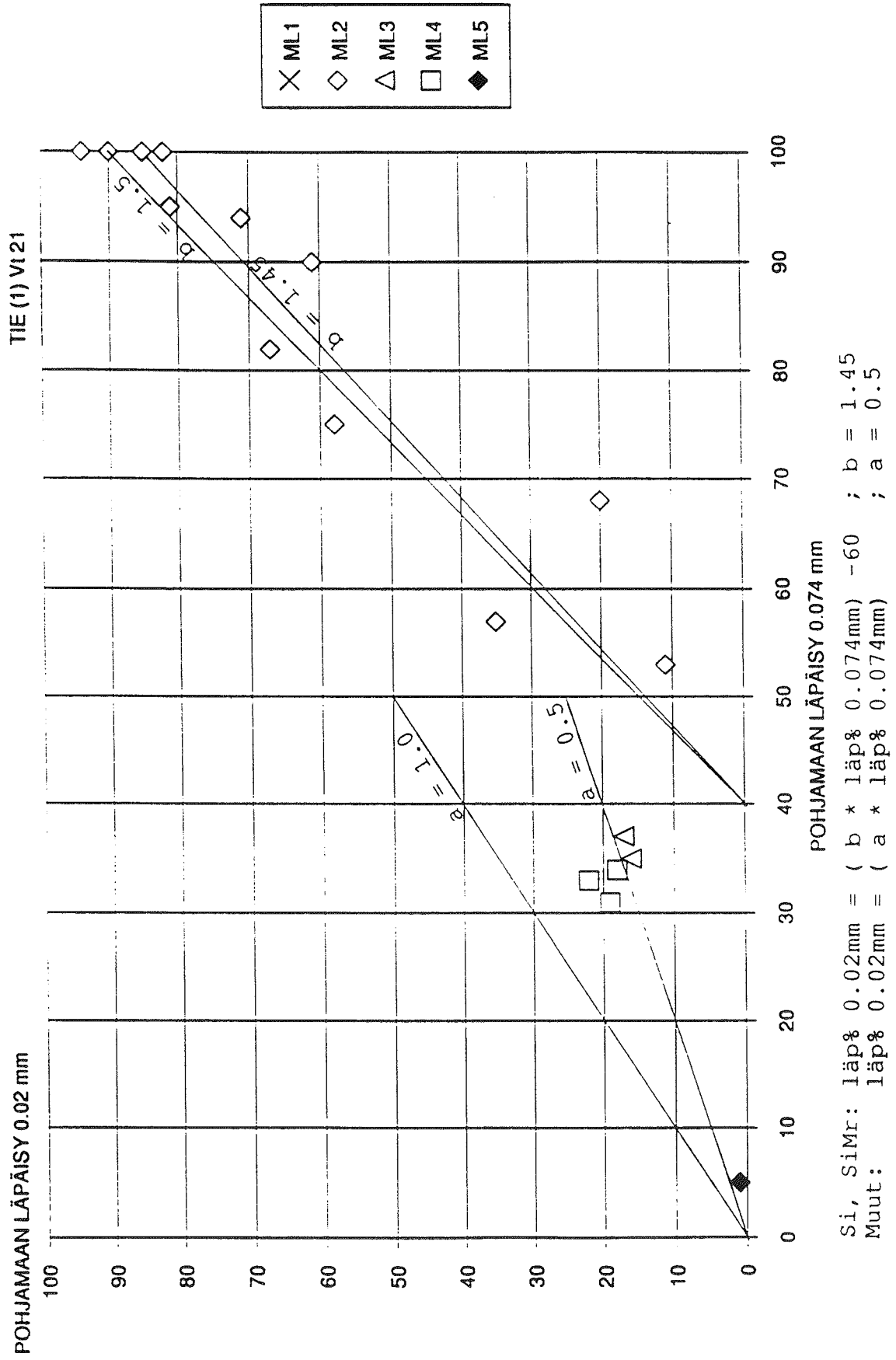


**POHJAVEDEN KORKEUSHAVAINTOJA 1970- OULU - MUHOS -MAANTIE PL 242+00**

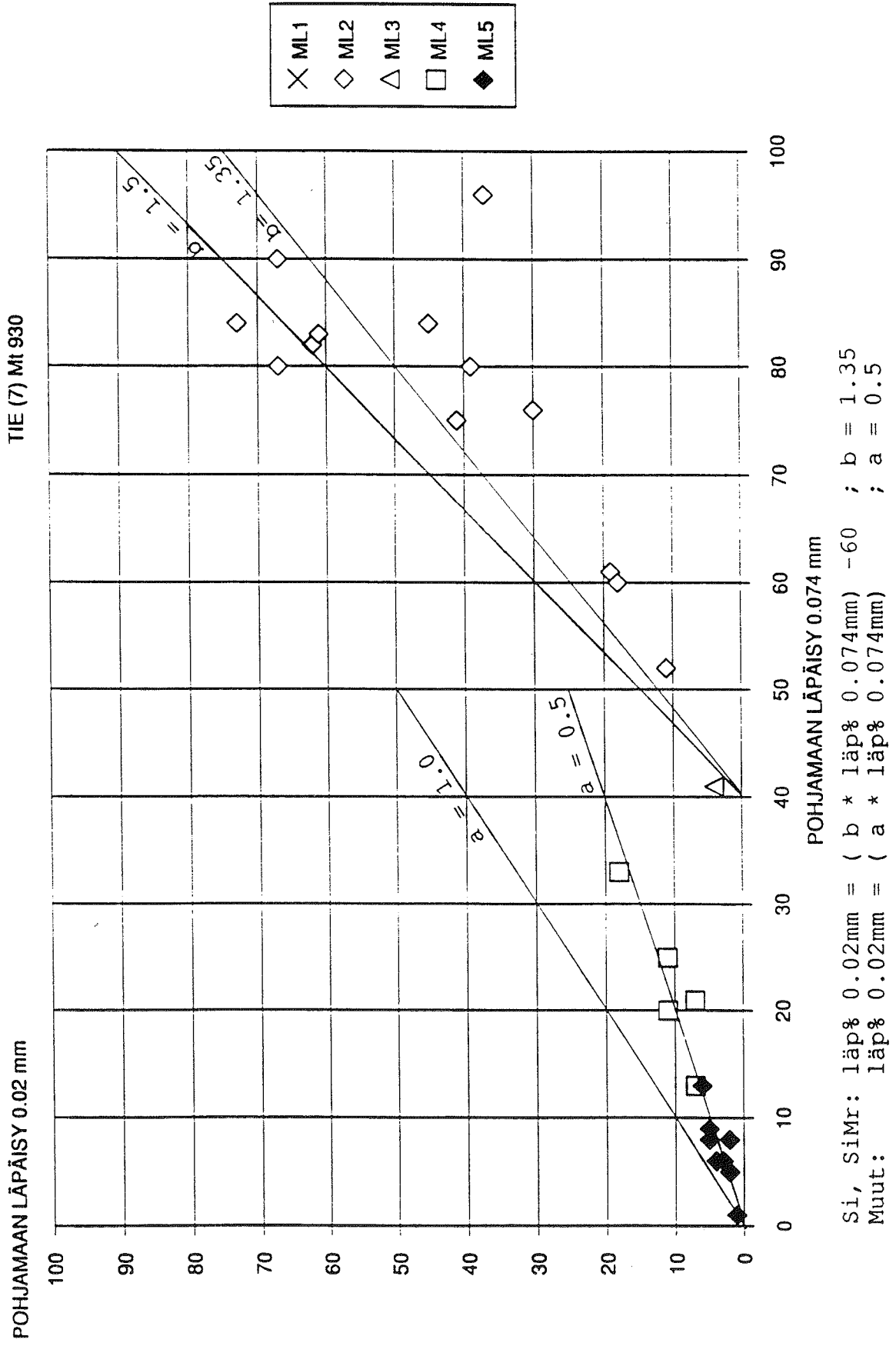


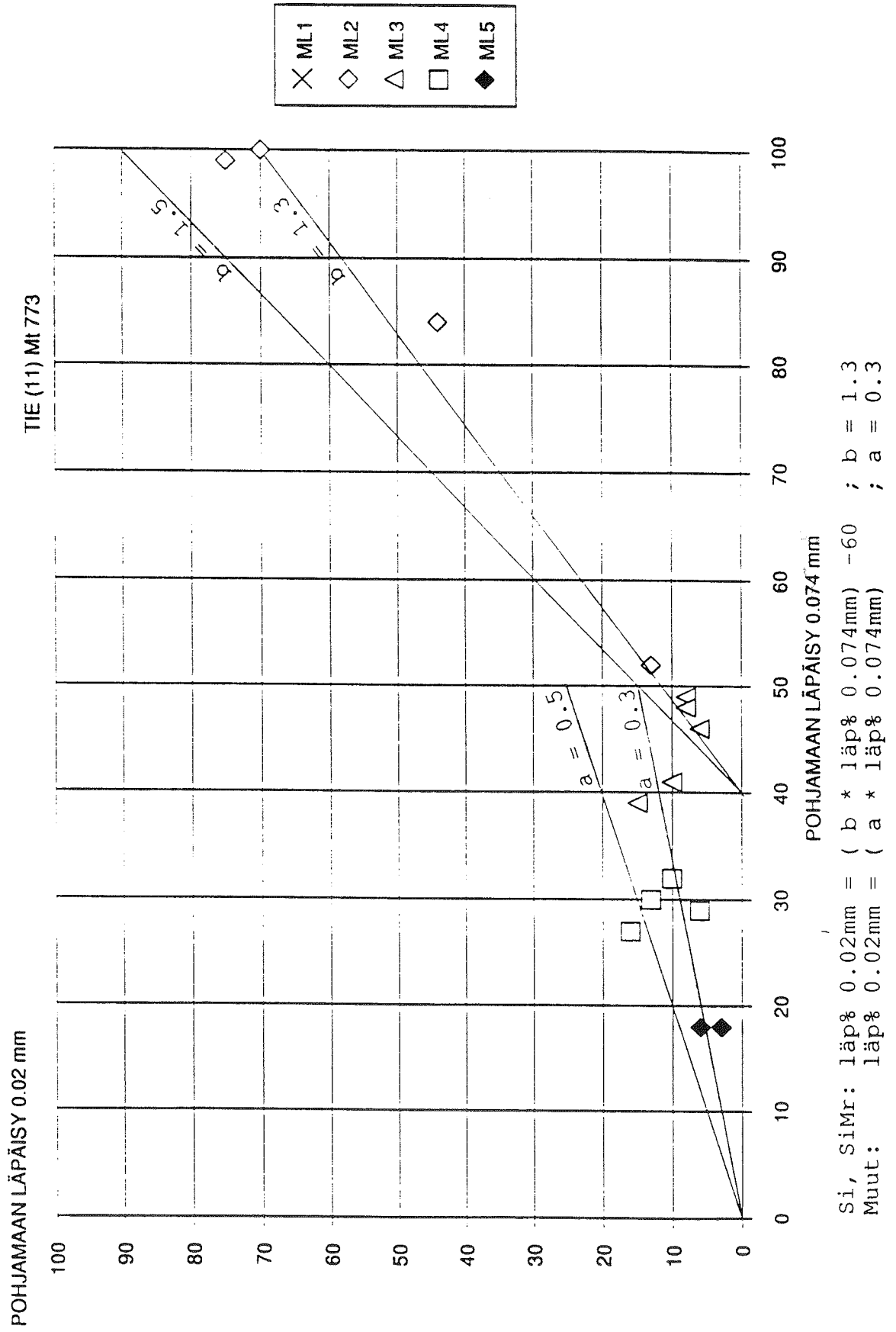
**POHJAVEDEN KORKEUSHAVAINTOJA 1970- OULU - MUHOS -MAANTIE PL181+00**

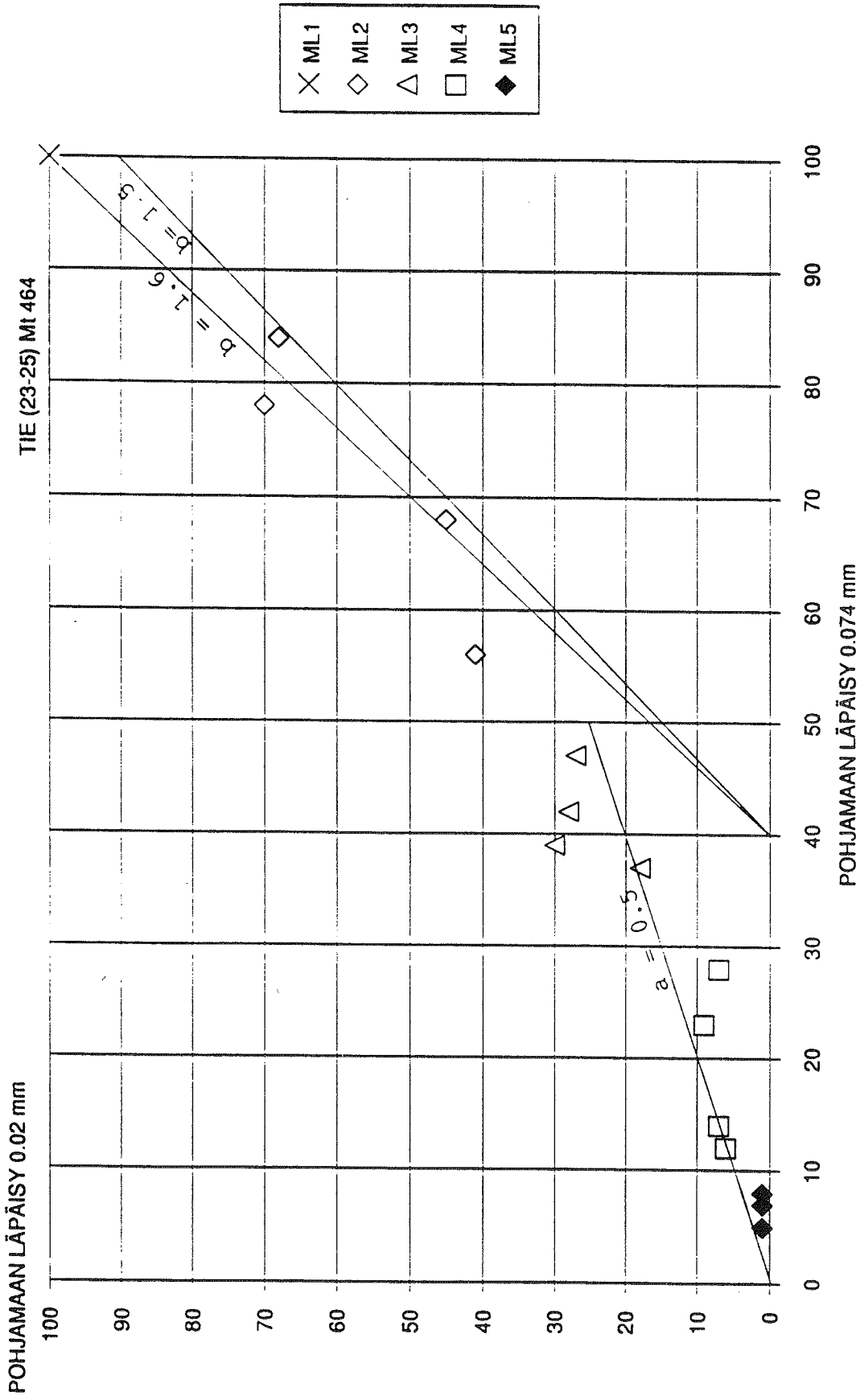




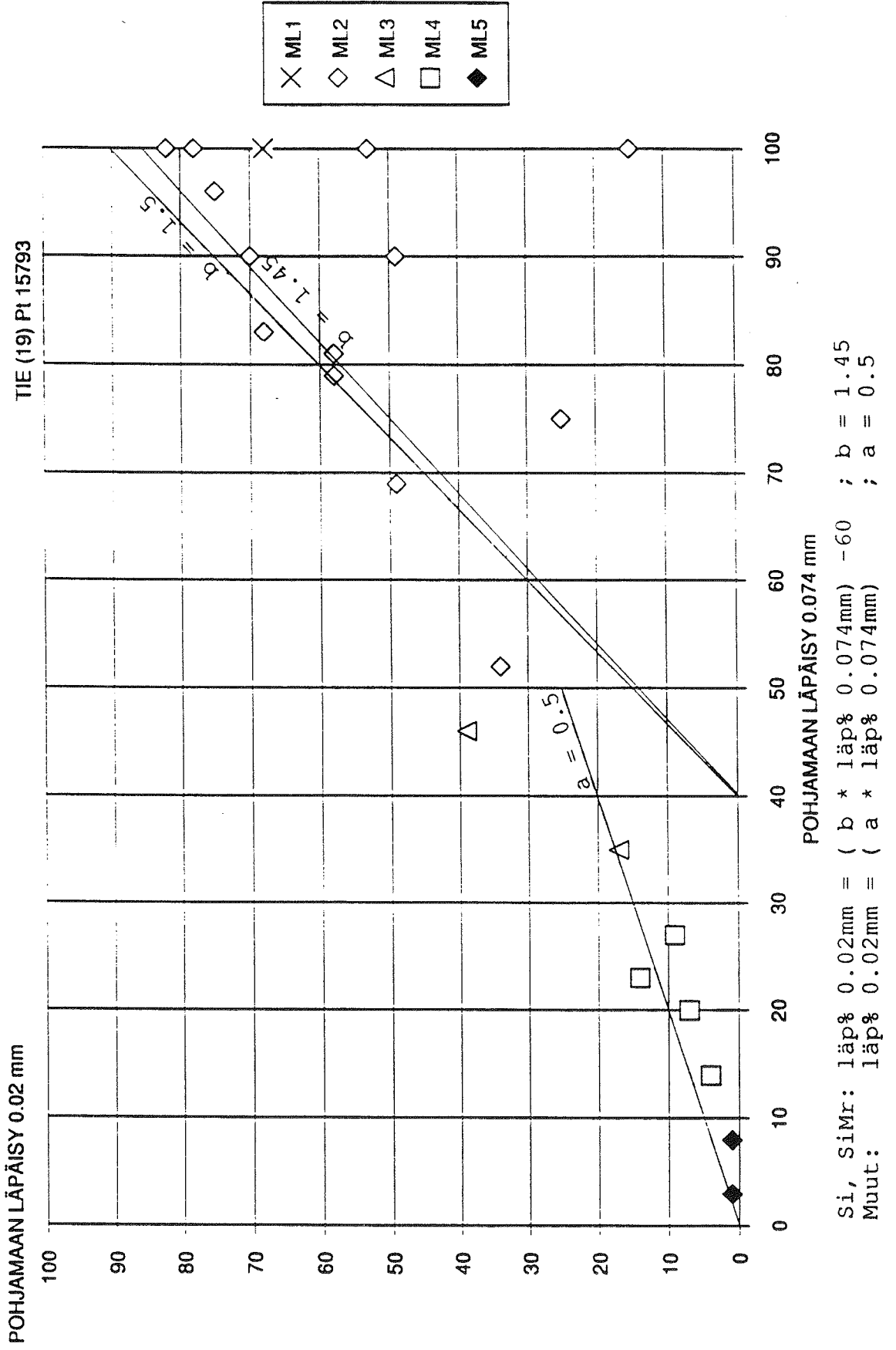


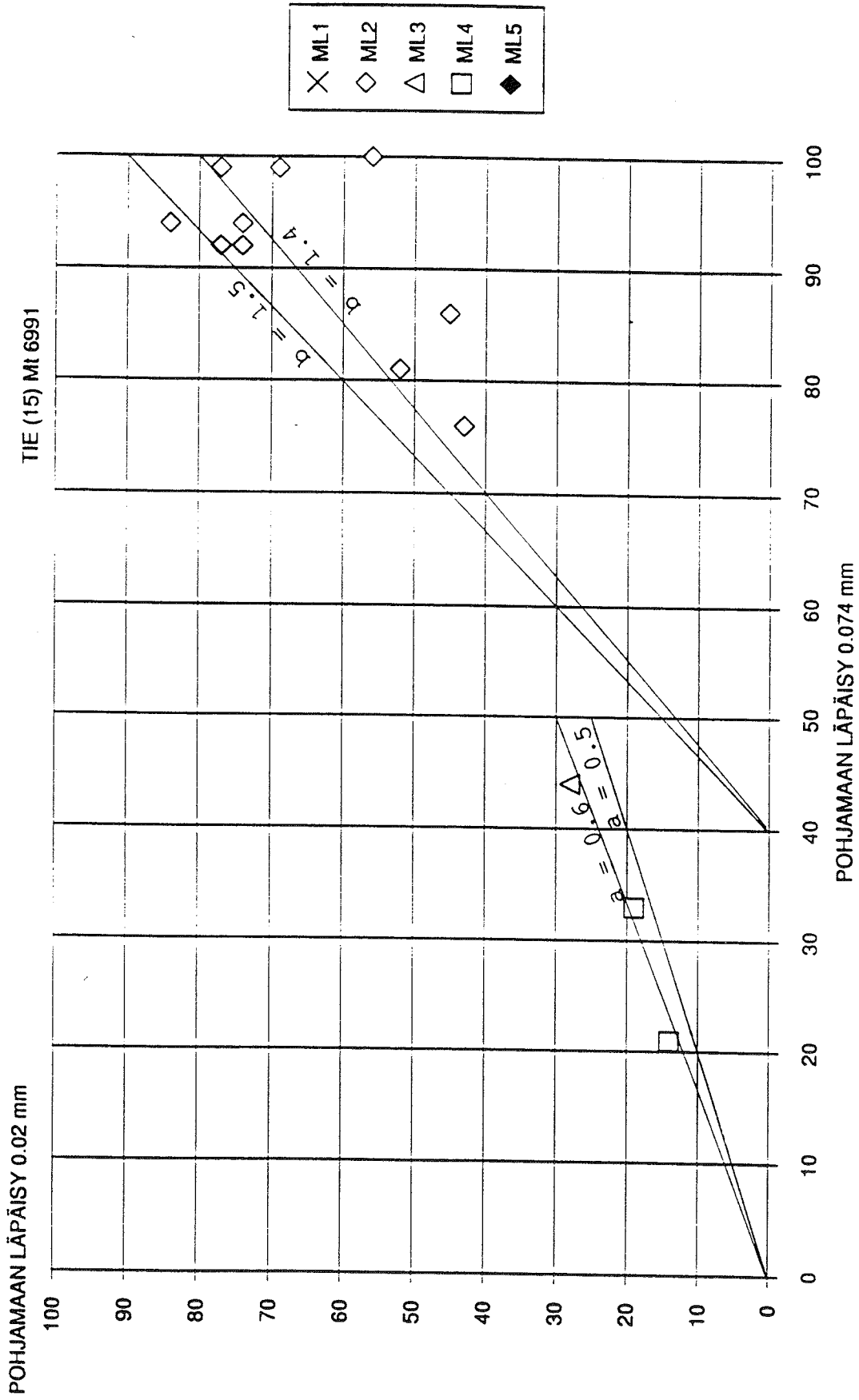




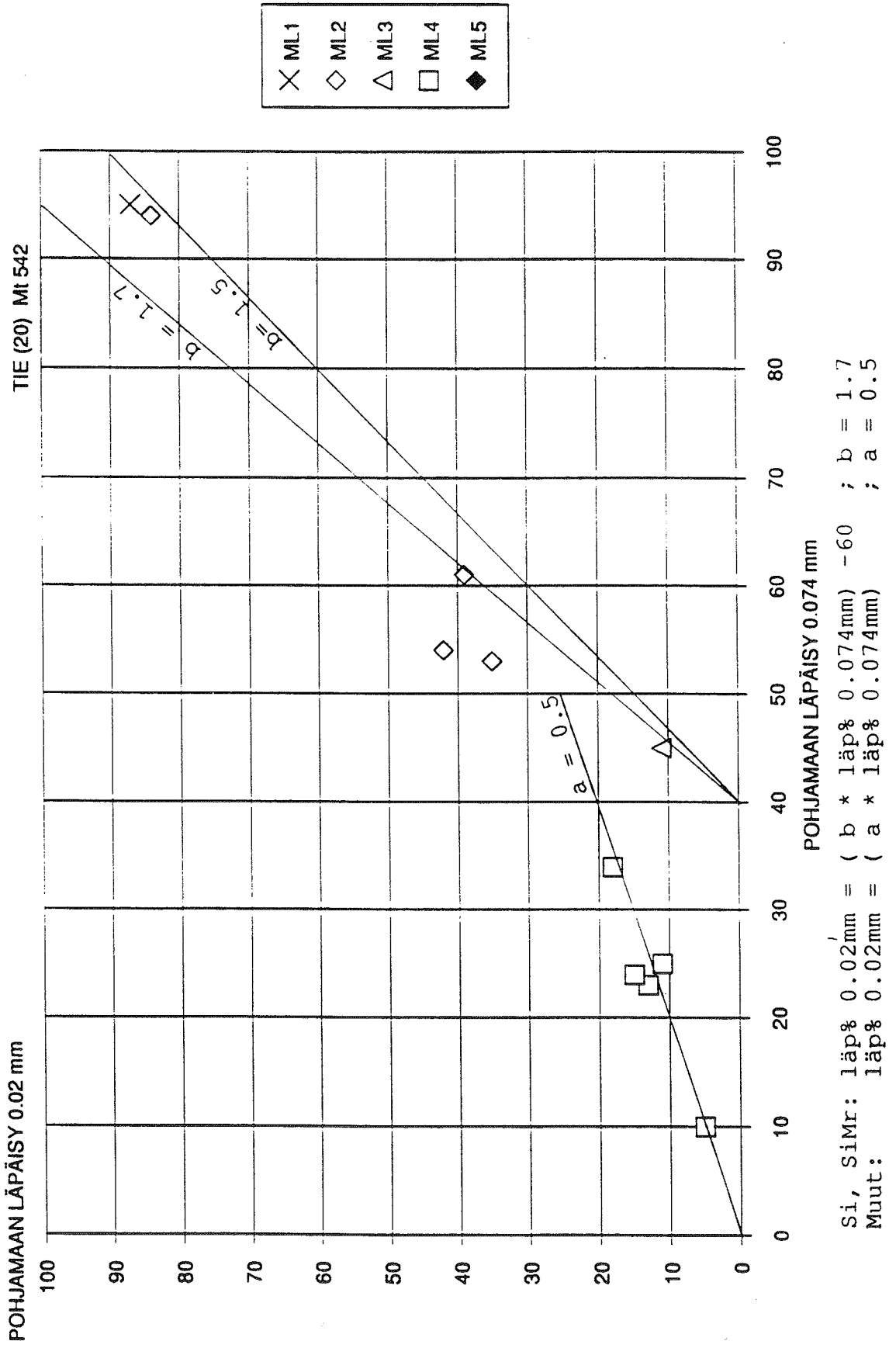


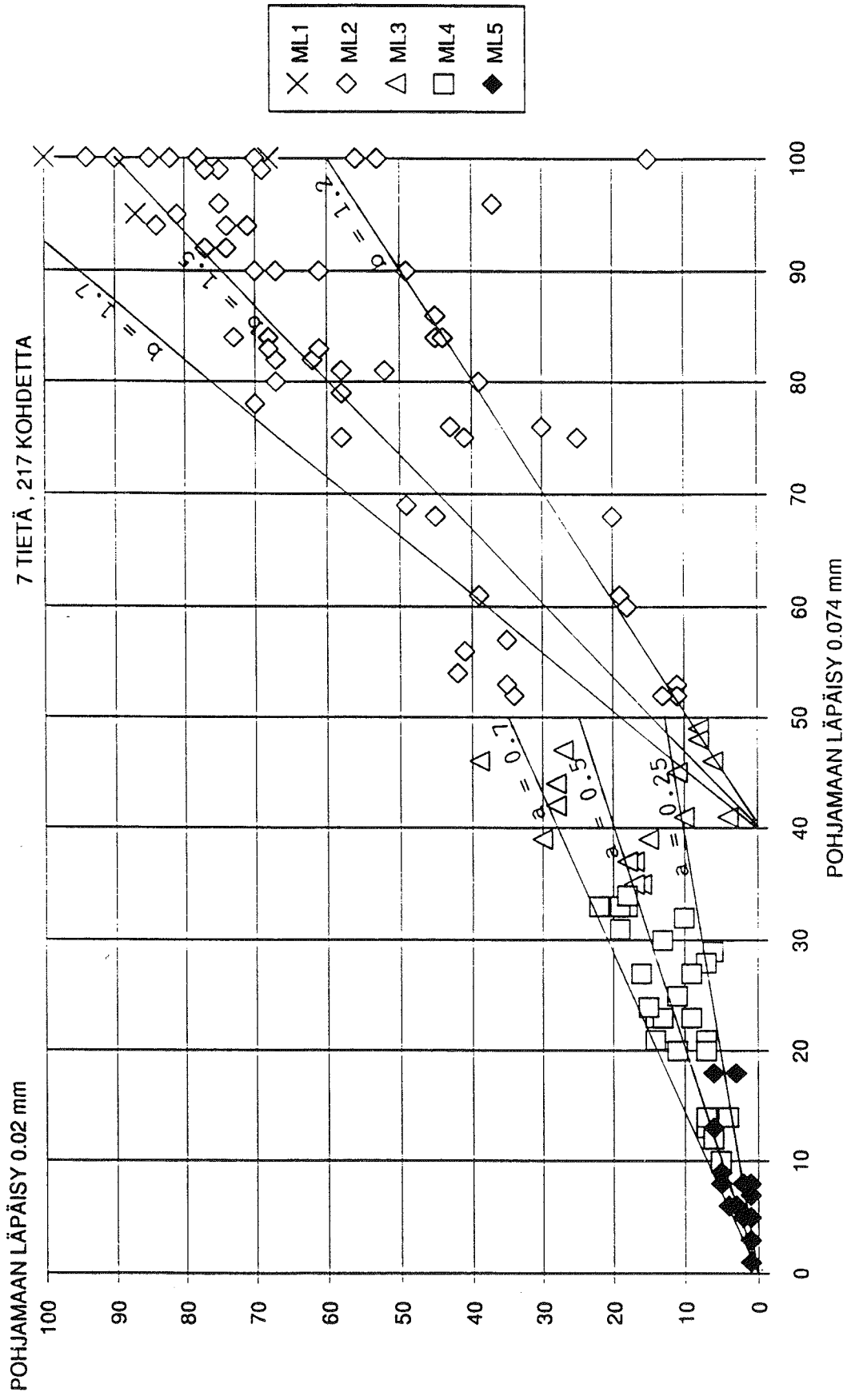
Si, SiMr: läp% 0.02mm = ( b \* läp% 0.074mm) - 60 ; b = 1.6  
 Muut: läp% 0.02mm = ( a \* läp% 0.074mm) ; a = 0.5



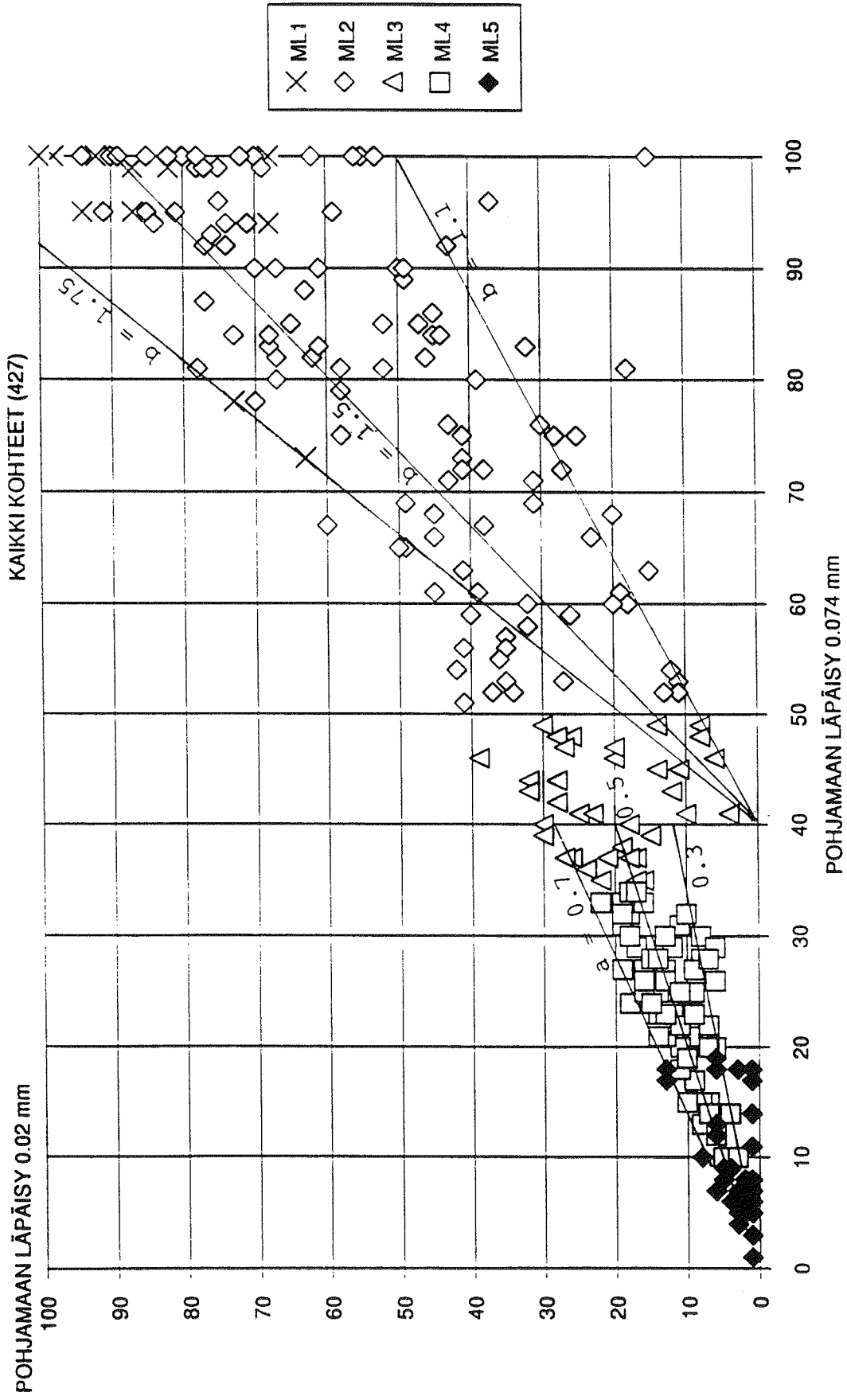


$S_i, S_{iMr}: \text{läp\% } 0.02\text{mm} = (b * \text{läp\% } 0.074\text{mm}) - 60$  ;  $b = 1.4$   
 $\text{Muut: läp\% } 0.02\text{mm} = (a * \text{läp\% } 0.074\text{mm})$  ;  $a = 0.6$





Si, SiMr: läp% 0.02mm = ( b \* läp% 0.074mm ) - 60 ; b = 1.2...1.7  
 Muut: läp% 0.02mm = ( a \* läp% 0.074mm ) ; a = 0.3...0.7



Si, SiMr: läp% 0.02mm = ( b \* läp% 0.074mm) -60 ; b = 1.1...1.75  
 Muut: läp% 0.02mm = ( a \* läp% 0.074mm) ; a = 0.3...0.7





## TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 1/1991 Kerrostien laatuvirheiden esto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 2/1991 Hämeen piirin tasaisuusrajat. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 3/1991 Lumenpoisto : Kaksoisteräaurojen kenttäkoe. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 4/1991 Tieliikenneonnettomuudet eri nopeusrajoituksilla vuonna 1989. TIEL 4001828 Tutkimuskeskus
- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 7/1991 Päivystysjärjestelmät : Kehittäviä kokemuksia. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 8/1991 Tiehallituksen henkilöstö : Lukumäärä- ja jakautumatietoja. Hallintopalvelut
- 9/1991 Tieliikenteen kuntien väliset tavaravirrat 1989. Tutkimuskeskus
- 10/1991 Liikenteen määrä- ja kasvukertoimet yleisillä teillä 1990-2010. Tutkimuskeskus
- 11/1991 Lumenpoisto : Sohjonpoistomenetelmien kenttäkoe 1991. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö, Keski-Suomen tiepiiri
- 12/1991 Tiehallituksen tavoitteet 1991. Hallintopalvelut
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 14/1991 Tielaitoksen henkilöstö 1990. Henkilöstöhallinto
- 15/1991 Vaurioinventoinnin tulosten käsittelyohjelmistot, lomake, mittari ja siirto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshall-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 18/1991 Ulkomaantyötä koskeva kirjallinen työsopimus, muistilista. Hallintopalvelut
- 19/1991 SYSTEM 2000 - eli tappiterän käyttökokemuksia ja muita teräkokeiluja. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Kalliokohdetutkimus. Kehittämiskeskus
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa I, Routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. Kehittämiskeskus