

Tielaitos

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

Kuivatustutkimus osa I

sekä roudan syvyyshavainnot

Tutkimuksessa on 12 poikkileikkausta, joista on tukittu routarajat, orsivesi ja tierakenne. Kolmessa tehtiin vedensyöttökokeet keväällä ja kesällä (osa B).

Tavalliseen tierakenteeseen syntyy roudan sulamiskauden alussa helposti jäätyneen maan muodostama kaukalo, joka estää veden pääsyn sivuojiin. Ehjissä tierakenteissa päällysrakenteeseen ei kuitenkaan kerry tavallisesti vettä (osa C).

Keväällä päällysrakenne on niin löyhää, että siihen voidaan johtaa paljon vettä putkesta (tai halkeamasta). Kesällä tierakenne on tiivis (osa A).

Tien reunaosissa pohjamaa turpoaa jäätyessään 1,5...6 kertaa niin paljon kuin tien keskikohdalla suhteessa jäätyneen pohjamaakeroksen paksuuteen (osa D).

Loivat luiskat eivät tasoita merkittävästi tien reunan ja keskilinjan välistä routanousueroa (osa D).

Tiehallituksen
sisäisiä
julkaisuja

35/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus
Kehittämiskeskus

Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja
35/1992

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

Kuivatustutkimus osa I
sekä roudan syvyyshavainnot

Tielaitos
Tiehallitus, kehittämiskeskus

Helsinki 1992

TIEL 400018
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1992

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

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

ALKUSANAT

Käsilläoleva kuivatustutkimuksen osaraportti I liittyy syksyllä 1987 käynnistettyyn routavaurio- ja kuivatustutkimukseen, jonka tavoitteena on tuottaa tietoa tierakenteen suunnitteluohjeiden ja rakenteen parantamishojjeiden 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.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, syntykö tierakenteeseen kevättalvella vettä pidättävä jäinen kaukalo, ja mitä kautta ja kuinka nopeasti vesi poistuu tierakenteesta. Kysymyksiin on saatu osittaiset vastaukset ja tutkimusta jatketaan uusissa poikkileikkauksissa vuosina 92-93. Tutkimuksessa on kertynyt tarkkoja tietoja roudan syvyydestä ja tiepoikkileikkauksesta. Näiden tietojen perusteella on pyritty selittämään luiskakaltevuuden vaikutusta routanousueroihin. Routanousuerojen vaikutusta pituushalkeamiin on selvitetty routavaurio- ja kuivatustutkimuksen muissa raporteissa (Pituushalkeamatutkimus, osat I...III).

Routavaurio- ja kuivatustutkimusta on tehty Tiehallituksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta. Kehittämiskeskuksesta työtä on valvonut dipl. ins. Kari Lehtonen. Insinööritoimisto PSV Oy:stä projektissa ovat työskennelleet tekn. tri Esko Ehrola, tekn. lis. Sakari Lotvonen, dipl. insinöörit Markku Vähäkainu ja Pekka Koskela.

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

Oulussa elokuussa 1992

Esko Ehrola

TIEHALLITUS

ROUTAVAUURIO- JA KUIVATUSTUTKIMUS
KUIVATUSTUTKIMUS OSA I
SEKÄ ROUDAN SYVYYSHAVAINNOT

- A. HAVAINTOJA KEVÄÄN -91 JA KESÄN -91
VEDENSYÖTTÖKÖKEISTA
- B. KOE JA MITTAUSJÄRJESTELYT
- C. ROUDAN SYVYYS- JA ORSIVESIHAVAINNOT
- D. ROUDAN SYVYYDEN JA POIKKILEIKKAUKSEN
VAIKUTUS ROUNTANOUSUUN

30.6.1992

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

Kuivatustutkimus osa I
sekä roudan syvyshavainnot

A. HAVAINTOJA KEVÄÄN -91 JA KESÄN -91
VEDENSYÖTTÖKOKEISTA

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

KUIVATUSTUTKIMUS OSA I SEKÄ ROUDAN SYVYYSHAVAINNOT

A. HAVAINTOJA KEVÄÄN -91 JA KESÄN -91 VEDENSYÖTTÖ- KOKEIDEN TULOISTA

1. YLEISTÄ

Kuivatustutkimukseen liittyen tehtiin vedensyöttökokeita Lapin tiepiirin instrumentoiduissa kohteissa MT 930 paaluilla 10800, 11300 ja 11700.

Vedensyöttökokeet toteutettiin keväällä 29.4.1991... 8.5.1991 välisenä aikana ja kesällä vastaavasti 4.7.1991...11.7.1991 välisenä aikana.

Oheisissa poikkileikkauskuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty paaluittain orsivesipinnat ennen koetta ja vaiheen I syötön jälkeen sekä routaraja ennen koetta termoelementti/routamittari havaintojen perusteella.

Taulukossa 1 on esitetty kevään koetulokset ja taulukossa 2 vastaavasti kesän koetulokset. Taulukoissa on esitetty orsiveden imeytymisnopeus (mm/h), joka on laskettu syötön jälkeisten orsivesihavaintojen perusteella keskimääräisenä arvona kantavan/jakavan kerroksen, suodatinkerroksen ja lisäksi pengerr/ pohjamaan osalla. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty lisäksi kevään ja kesän kokeista veden imeytymisnopeuden maksimi- ja minimiarvot.

2. KEVÄÄN VEDENSYÖTTÖKOKKEET

2.1 Veden syöttö

Vedensyöttökokeet tehtiin kahdessa vaiheessa. Lähtötilanne määritettiin aluksi mittaamalla eri instrumentit. Ensimmäisessä vaiheessa tierakenteeseen syötetyn veden esiintymistä seurattiin orsivesiputkista. Veden syöttöä jatkettiin niin kauan, kun orsivesipinta nousi orsivesiputkissa (ovp) tai kun veden imeytyminen tierakenteeseen selvästi pieneni. Syötön päätyttyä veden poistumista seurattiin orsivesipintamittauksin ja Troxlermittauksin. Lopputilanne määritettiin mittaamalla kaikki instrumentit.

Veden syöttökokeen toisessa vaiheessa toimittiin kuten I vaiheessa. Lisäksi II vaiheessa aukaistiin tien toinen luiska kaivinkoneella veden syötön loputtua. Aukaisu tehtiin niin pitkälle, kun se oli mahdollista tien päällystettä rikkomatta. Luiskan aukaisulla pyrittiin selvittämään aukaisun vaikutusta veden poistumiseen tierakenteesta.

Kaikissa poikkileikkauksissa syötön aikana voitiin havaita orsivedenpinnan nousu ovp:ssa.

Syötetty vesimäärä oli vaiheessa I poikkileikkauksessa 10800 noin $0,65 \text{ m}^3$, poikkileikkauksessa 11300 noin $2,3 \text{ m}^3$ ja poikkileikkauksessa 11700 vastaavasti noin $1,6 \text{ m}^3$.

Keväällä, tiepoikkileikkauksen ollessa vain osittain sulanut, imeytyi tierakenteeseen vettä syöttöputken kautta hyvin nopeasti - imeytymisnopeudet vaihtelivat $2,4 \text{ l/min} \dots 7,3 \text{ l/min}$ - niin kauan, kunnes sulana olleet rakennekerrokset tulivat kyllästetyksi vedellä. Tämän jälkeen imeytymisnopeus väheni äkisti $1/6 \dots 1/7$ -osaan alkuperäisestä.

Syöttökokeiden II-vaiheenkin aikana imeytymisnopeus oli vain noin $1/3$ -osa alkuperäisestä, 'kuivaan' poikkileikkaukseen imeytyneestä määrästä.

Orsivesiputkihavainnoista voidaan päätellä, että syötetty vesi imeytyi pääasiassa syöttövesiputken ($l = 3 \text{ m}$) molemmille puolille tien reunoja kohti. Syöttövesiputken päissä tien pituussuunnassa ja päiden ulkopuolella ei vesi noussut ovp:iin.

2.2 Veden poistuminen tierakenteesta

Poikkileikkauksessa 10800 oli kokeen alussa kaukalomainen routaraja. Pl:lla 10800 orsiveden imeytymisnopeus oli keväällä vain 10 mm/h ja kesäällä 155 mm/h. Sen sijaan muissa poikkileikkauksissa, joissa sulamisraja oli epämääräinen, oli imeytymisnopeus 45...112 mm/h, vaikka veden poistumisnopeus kesällä oli sama kuin pl:lla 10800.

Tuloksista voidaan päätellä, että kaukalomainen sula tierakenne täyttyi putken kohdalla syöttövedellä ja kaukalon reunat toimivat 'virtaus-kynnyksinä' hidastaen veden poistumista tien rakennekerroksista.

Poikkileikkauksissa 11300 ja 11700 routarajan muoto oli epämääräinen; toinen reuna tiestä oli sulanut huomattavasti syvemmälle kuin vastapuoli tiestä:

- Pl:lla 11300 veden poistumisnopeudessa ei voitu havaita eroa jäätyneen ja sulan reunan välillä (ovp:t 8 ja 9).

- Pl:lla 11700 sen sijaan vesi hävisi sulalla reunalla selvästi nopeammin kuin jäätyneellä reunalla (ovp 6 4 mm/h ja ovp 9 11 mm/h).

Veden tuloa luiskan läpi sivuojiin ei voitu havaita näin pienillä syöttövesimäärillä. Sen sijaan enemmän sulaneeseen tien reunaan kaivetuista kuopista havaittiin, että vesi virtasi sulamisrajaa pitkin kaivantoon. Poikkileikkauksessa 11300 veden tulo kaivantoon oli niin voimakasta, että tierakenteessa syntyi sisäistä eroosiota ja kaivanto oli täytettävä kaivumailloilla nopeasti.

2.3 Veden poistumisnopeus eri rakennekerroksissa

Poistumisnopeus kantavan/jakavan kerroksen ja suodatin-kerroksen osalla on vähintään 2-...3-kertainen verrattuna veden poistumisnopeuteen penkereen tai pohjamaan osalla.

Paalulla 11300 poistumisnopeus suodatinkerroksen osalla oli kuitenkin 7-kertainen ja kantavan/jakavan kerroksen osalla peräti yli 50-kertainen verrattuna poistumisnopeuteen penkereen tai pohjamaan osalla.

Paalun 11300 suuri poistumisnopeus selittynee sillä, että vesi oli alussa korkeammalla kuin muissa poikkileikauksissa, jolloin suurempi osa vedestä pääsi virtaamaan päällysteen alapuolisessa karkeassa kerroksessa (murske).

3. KESÄN SYÖTTÖKOKKEET

Kesällä veden imeytyminen syöttövesiputken kautta oli selvästi hitaampaa kuin keväällä.

Syötetyn veden imeytyminen oli niin hidas ja toisaalta imeytyvän veden määrä niin pieni, että vettä ei havaittu ovp:ssa.

Syöttökoe toteutettiin lopuksi niin, että vettä syötettiin suoraan orsivesiputkiin. Tiepoikkileikkaus (ovp:ien ympäryys) pyrittiin kyllästämään ennen mittauksen suorittamista siten, että ovp:t täytettiin useaan kertaan vedellä. Poistumisnopeus määritettiin lopuksi ovp:ien vedenpinnan muutosta seuraamalla.

Mitatut poistumisnopeudet orsivesiputkista olivat pääosin 5-...10-kertaiset kevään arvoihin verrattuna. Pl:lla 11300 veden poistumisnopeus kantavan/jakavan kerroksen osalla oli kesälläkin suurin ja vielä yhtäsuuri kuin keväällä, koska orsivedenpinta mittauksen alussa oli jälleen päällysteen alapuolisessa karkeassa kerroksessa.

Poistumisnopeus kantavan/jakavan kerroksen ja suodatin-kerroksen osalla on kesällä vähintään 3-...5-kertainen verrattuna veden poistumisnopeuteen penkereen/pohjamaan osalla.

Paalulla 11700, jossa tie on penkereellä, oli veden poistumisnopeus penkereen osalla noin 2-kertainen pl:n 10800 ja 11300 pohjamaan vedenläpäisevyyttä kuvaaviin arvoihin verrattuna.

Kesällä sulaan penkereeseen ja pohjamaan on ollut imeytymisnopeus keskimäärin 4...10-kertainen verrattuna kevään arvoihin, jolloin pengere/pohjamaa on ollut pääosin jäässä.

Pl:n 11300 poikkileikkaus on jyrkkäluiskainen ja kantava/jakava kerros on hienoainespitoisempi (8 %). Tällöin pl:lla 11300 veden poistuminen oli kesällä hitaampaa kuin muissa poikkileikkauksissa, joissa luiskat ovat loivat ja kantava/jakava kerros on avoin (hienoainespit. 4 %).

4. YHTEENVETO

Kevään vedensyöttökoetuloksista kävi ilmi, että roudan sulamisvaiheessa sulana olevat tien rakennekerrokset kyllästyvät suhteellisen pienillä vesimäärillä. Veden imeytymisnopeus ennen kerrosten kyllästymistä oli 6...7-kertainen kuin kyllästymisen jälkeen.

Mikäli tien luiskassa on huonosti vettä läpäisevä täyttö tai mikäli tien luiska/reunaosa on jäässä, näyttää vesi virtaavan vain tien pituussuunnassa tai pysyvän paikoillaan, kunnes routa sulaa ja vesi voi poistua alaspäin.

Kesällä veden syöttäminen oli paljon hitaampaa kuin keväällä. Tämä johtuu siitä, että rakennekerrokset ovat tiiviimmät kuin keväällä. Vesi näytti myös imeytyvän suoraan pohjamaahan, sillä vesi ei virrannut tien pituus- tai poikkisuunnassa seuraavaan orsivesiputkeen.

Keväällä yhdessä poikkileikkauksessa oli jäätyneen maan muodostama kaukalo, joka hidasti veden poistumista tierakenteesta, sillä kesällä poistumisnopeus oli lähes sama kaikissa poikkileikkauksissa. Kaukalomainen sulamisraja syntyy poikkileikkaukseen, jossa lumivallit säilyvät pitkään tien molemmilla reunoilla. Sulamisrajan reunat toimivat virtauskynnyksinä ja vesi virtaa sulamisvaiheessa tien pituussuunnassa.

Tierakenteeseen imeytyvän veden poistumisnopeus oli tutkimustulosten mukaan rakennekerroksissa (kantava-, jakava- ja suodatinkerros) 2...5-kertainen verrattuna imeytymisnopeuteen pengertäytteen tai pohjamaan osalla. Lisäksi veden poistuminen eli tierakenteen kuivuminen näytti olevan nopeampaa penkereellä sijaitsevalla tiellä kuin tierakenteessa, jossa suodatinkerros on suoraan pohjamaan päällä.

Pl:n 11300 poikkileikkaus on jyrkkäluiskainen ja kantava/jakava kerros on hienoainespitoisempi (8 %). Pl:lla 11300 veden poistuminen olikin kesällä hitaampaa kuin muissa poikkileikkauksissa, joissa luiskat ovat loivat ja kantava/jakava kerros on avoin (hienoainespit. 4 %).

Tutkimuskohteena olevissa poikkileikkauksissa ei ollut luonnostaan orsivettä. Pohjavesikin sijaitsi syvällä, yli 3 metrin syvyydellä tsv:sta.

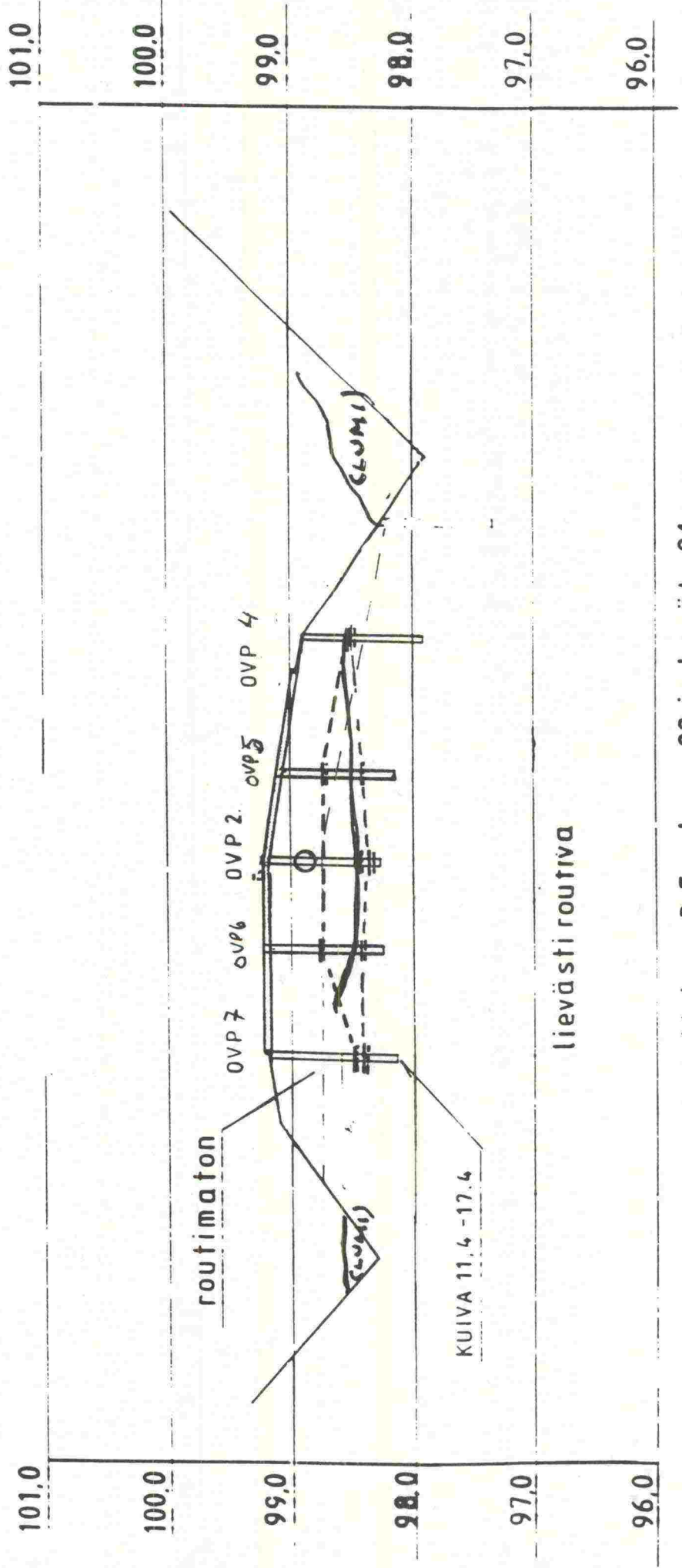
Roudan sulamisrajan muoto näyttää olevan herkkä mm. ilmansuunnille ja tiepoikkileikkauksen muodolle. Epämääräinen sulamisraja näyttää syntyvän silloin, kun lumi sulaa nopeammin tien toisesta reunasta.

Vedensyöttökokeiden tuloksista voidaan havaita, että vesi pyrkii poikkileikkauksessa virtaaman alenevan sulamisrajan suuntaan.

KUVA 1. PL 10800

ORSIVESIIHVAIVAINNOT KEVÄÄILLÄ VEDENSYÖTTÖKOKKEEN
PL 10800 YHTEYDESSÄ
mittakaava 1:100 / 1:50 (VAIHE I 7.5.91)

———— Routaraja ennen koetta
- - - - - Vesipinta ennen koetta
- - - - - Vesipinta syötön jälkeen



W<tsv - 3.5 syksy - 89 ja kevät - 91

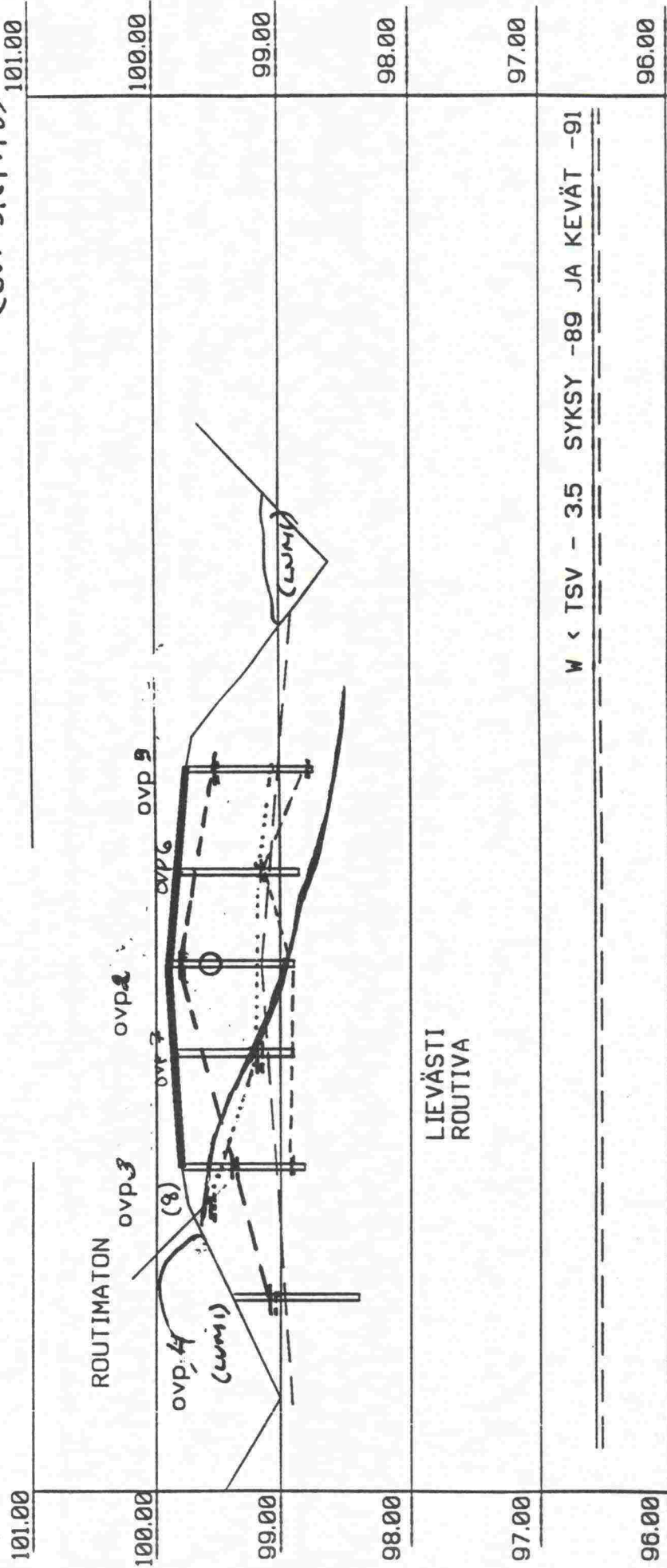
KUVA 2. PL 11300

ORSIVESIPINTAHAVAINNOT KEVÄLLÄ VEDEN-
 PI 11300 SYÖTÖKORKEEN YH-
 TEYDESSÄ

Mittakaava: 1:100/1:50

(VAIHE I, 2.5. 91)

- Routaraja ennen koetta
- - - - Vesipinta ennen koetta
- - - - Vesipinta syötön jälkeen
(ovp 1,2,3,4)
- Vesipinta syötön jälkeen
(ovp 5,6,7,8)



KEVÄT -91, VEDENSYÖTTÖKOKKEET PAALU/ TUNNUS	RAKENNE a,b,c,d,e,f	ROUDAN SULAMIS- SYVYYS KEVÄÄLLÄ (m)		TSV-PVP	ORSIVESIHAVAINNOT SYÖTÖN JÄLKEEN		VESIPINNAN MUUTOS SYÖTÖN JÄLKEEN (keskiarvot)			
		keskellä	reunalla		Wmaks	Wmin	kantava	suodatin	pengeri/pohjamaa	
10800/7156	leveä matalaojainen, loiva	0,7 m	0,4 m	A	> 3,5 m	TSV-0,35 m	TSV-0,90 m	10 mm/h	10 mm/h	5 mm/h
11300/7166	leveä matalaojainen, jyrkkä	1,0 m	0,1...1,1	C	> 3,5 m	TSV-0,12 m	< TSV-0,8 m	112 mm/h	15 mm/h	2 mm/h
11700/7176	leveä syväojainen, loiva	1,5 m	0,2...1,6	C	> 3,8 m	TSV-0,38 m	< TSV-1 m	45 mm/h	9 mm/h	3 mm/h
	a = rak.kerrosten paksuus (m)									
	b = kantavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			A = kaukalo						
	c = jakavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			B = puhki sulanut kaukalo						
	d = suodatinkerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			C = epä määräinen						
	e = pengertäytön hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			D = täysin sula						
	f = pohjamaan hienoainespitoisuus (#0.074 mm)									

KESÄ -91, VEDENSYÖTTÖKOKEET PAALU/ TUNNUS	POIKKILEIKKAUS	RAKENNE a,b,c,d,e,f	ROUDAN SULAMIS- SYVYYS (m)	TSV-PVP	ORSIVESIHAVAINNOT SYÖTÖN JÄLKEEN		VESIPINNAN MUUTOS SYÖTÖN JÄLKEEN (keskiarvot)		
					Wmaks	Wmin	kantava	suodatin	penger/pohjamaa
10800/7156	leveä matalaojainen, loiva	0.5,4%, -,3%, -,13%	-	> 3,5 m	TSV-0,15 m	< TSV-1 m	150 mm/h	110 mm/h	23 mm/h
11300/7166	leveä matalaojainen, jyrkkä	0.75,8%, -,1%, -,21%	-	> 3,5 m	TSV-0,04 m	< TSV-1 m	110 mm/h	58 mm/h	20 mm/h
11700/7176	leveä syväojainen, loiva	0.6,4%, -,2%, -,14%,25%	-	> 3,8 m	TSV-0,16 m	< TSV-1 m	123 mm/h	112 mm/h	43 mm/h
	a = rak.kerrosten paksuus (m)								
	b = kantavan kerroksen hienoinespitoisuus (#0.074 mm)								
	c = jakavan kerroksen hienoinespitoisuus (#0.074 mm)								
	d = suodatinkerroksen hienoinespitoisuus (#0.074 mm)								
	e = pengertätyn hienoinespitoisuus (#0.074 mm)								
	f = pohjamaan hienoinespitoisuus (#0.074 mm)								

TAULUKKO 2.

KEVÄT -91, VEDENSYÖTTÖKOKKEET PAALU/ TUNNUS	RAKENNE a,b,c,d,e,f	ROUDAN SULAMIS- SYVYYS KEVÄÄLLÄ (m)		TSV-PVP	ORSIVESIHAVAINNOT SYÖTÖN JÄLKEEN		VESIPINNAN MUUTOS SYÖTÖN JÄLKEEN		
		keskeillä	reunalla		Wmaks	Wmin	minimi ja maksimi [mm/h]	kantava suodatln penger/pohjamaa	
10800/7156	leveä matalaojainen, loiva	0,7 m	0,4 m	> 3,5 m	TSV-0,35 m	TSV-0,90 m	8 ... 12	2 ... 21	4 ... 5
11300/7166	leveä matalaojainen, jyrkkä	1,0 m	0,1...1,1	> 3,5 m	TSV-0,12 m	< TSV-0,8 m	98 ... 130	9 ... 26	2 ... 3
11700/7176	leveä sylväojainen, loiva	1,5 m	0,2...1,6	> 3,8 m	TSV-0,38 m	< TSV-1 m	13 ... 80	3 ... 18	0.2 ... 9
	a = rak.kerrosten paksuus (m)								
	b = kantavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			A = kaukalo					
	c = jakavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			B = puhki sulanut kaukalo					
	d = suodatinkerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			C = epämääräinen					
	e = pengertytön hienoainespitoisuus (#0.074 mm)			D = täysin sula					
	f = pohjamaan hienoainespitoisuus (#0.074 mm)								

KESÄ -91, VEDENSYÖTTÖKOKKEET		RAKENNE a,b,c,d,e,f	ROUDAN SULAMIS- SYVYYS (m)		TSV-PVP	ORSIVESIHAVAINNOT SYÖTÖN JÄLKEEN		VESIPINNAN MUUTOS SYÖTÖN JÄLKEEN		
PAALU/ TUNNUS	POIKKILEIKKAUS		keskeillä reunalla	muoto		Wmaks	Wmin	minimi ja maksimi [mm/h]	suodatin	pengeri/pohjamaa
10800/7156	leveä matalaojainen, loiva	0.5,4%,-,3%,-,13%	-	D	> 3,5 m	TSV-0,15 m	< TSV-1 m	150 ... 155	4 ... 250	1 ... 38
11300/7166	leveä matalaojainen, jyrkkä	0.75,8%,-,1%,-,21%	-	D	> 3,5 m	TSV-0,04 m	< TSV-1 m	16 ... 220	7 ... 175	4 ... 60
11700/7176	leveä syväojainen, loiva	0.6,4%,-,2%,-,14%,-,25%	-	D	> 3,8 m	TSV-0,16 m	< TSV-1 m	123	63 ... 160	8 ... 94
	a = rak.kerrosten paksuus (m)									
	b = kantavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)					A = kaukalo				
	c = jakavan kerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)					B = puhki sulanut kaukalo				
	d = suodatinkerroksen hienoainespitoisuus (#0.074 mm)					C = epä määräinen				
	e = pengertäytön hienoainespitoisuus (#0.074 mm)					D = täysin sula				
	f = pohjamaan hienoainespitoisuus (#0.074 mm)									

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

**Kuivatustutkimus osa I
sekä roudan syvyyshavainnot**

B. KOE JA MITTAUSJÄRJESTELYT

SISÄLLYS

	Sivu
1. JOHDANTO	1
1.1 Tausta ja tutkimuksen tarkoitus	1
1.2 Mittauskohteet ja niiden sijainti	2
2. KÄYTETYT INSTRUMENTIT JA MITTALAITTEET	3
2.1 Lämpötilamittaus	3
2.2 Orsivesipinnan, pohjavesipinnan ja vesipitoisuuden mittaus	4
2.3 Roudan mittaus	5
3. MITTAUSTEN SUORITTAMINEN	5
4. VEDENSYÖTTÖKOKEET	6
4.1 Vedensyöttökohteet	6
4.2 Vedensyöttökokeet keväällä 1991	7
4.3 Vedensyöttökokeet kesällä 1991	9
5. MITTAUSTULOKSET	10
5.1 Mittauksen aikana vallinnut sää	10
5.2 Lämpötilamittaukset, routamittaukset ja lumivallimittaukset	10
5.3 Vaaitustulokset	11
5.4 Orsivesihavainnot ja vesipitoisuusmittaukset	12
5.5 Vedensyöttökokeiden tuloksia	12
5.6. Maatutkamittaukset	13
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	13

Liitteet ja liitepiirustukset löytyvät kuivatustutkimuskansiosta -91, jota säilytetään Insinööritoimisto PSV Oy:ssä

LIITTEET

Liite 1	Paalukohtaiset rakenneleikkaukset 1:100/1:100
Liite 2	Ilmatieteenlaitoksen säätiedot
Liite 3	Lämpötilamittaus-, routamittaus- ja lumivallimittaukset keväät ja kesä 1991
Liite 4	Talven ja kesän 1991 vaaitustulokset
Liite 5	Orsivesihavainnot keväät ja kesä 1991
Liite 6	Vesipitoisuushavainnot keväät ja kesä 1991
Liite 7	Vedensyöttökokeen vesimenekki ja valokuvat vedensyöttökokeesta keväät ja kesä 1991
Liite 8	Vedensyöttökokeessa veden poistuminen keväät ja kesä 1991
Liite 9	Maatutkamittaukset keväät 1991
Liite 10	Excelin havaintotietotaulukot

PIIRUSTUKSET

81631/1...12	Paalukohtaiset instrumenttien sijaintipiirustukset 1:100
--------------	--

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

KUIVATUSTUTKIMUS OSA I SEKÄ ROUDAN SYVYSHAVAINNOT

B. KOE JA MITTAUSJÄRJESTELYT

1. JOHDANTO

1.1 Tausta ja tutkimuksen tarkoitus

Kuivatusanalyysin päätarkoituksena on selvittää veden määrään ja kulkuun vaikuttavia tekijöitä tierakenteessa roudan sulamisen aikana. Tutkimuksen tavoitteita oli muunmuassa saada seuraaviin kysymyksiin vastaukset:

- a) Kuinka nopeasti vesi poistuu tierakenteesta? Miten roudan sulamisen vaihe, vesitiivis luiskatäyte, jakavan kerroksen rakeisuus tai pituuskaltevuus vaikuttavat tähän?
- b) Kertyykö tavallisiin tierakenteisiin vettä roudan sulamiskauden alussa? Miten jakavan kerroksen rakeisuus ja pituuskaltevuus vaikuttavat tähän?
- c) Millainen routajan muoto ja routanousu rakenteissa on vuonna 1991? Miten luiskakaltevuus ja lumivallin muoto vaikuttavat tähän?

Käynnistetty tutkimus liittyy tiehallituksen vuonna 1988 aloitettuun routavauriotutkimukseen.

1.2 Mittauskohteet ja niiden sijainti

Kuivatusanalyysi perustuu keväällä ja kesällä 1991 kenttähavaintokohteista kerättyihin havainto- ja tutkimusaineistoon sekä vedensyöttökokeista saatuun aineistoon. Kenttähavaintokohteet ovat instrumentoituja tiekohteita, joita on yhteensä 12 kpl. Tiekohteista on yhdeksän (9) tielaitoksen Lapin piirissä ja kolme (3) Oulun piirissä.

Instrumentoiduista kohteista 2 kpl on raskaasti instrumentoitua ja 10 kpl normaalisti instrumentoitua. Normaalisti instrumentoiduissa kohteissa käytetyt instrumentit ovat: orsivesiputket 4 kpl, termoelementit 4 kpl ja pohjavesiputki 1 kpl. Raskaasti instrumentoidut kohteet poikkeavat normaalisti instrumentoiduista kohteista siinä, että niissä on enemmän orsivesiputkia (~ 16 kpl) ja lisäksi routamittareita (4 kpl). Molemmat raskaasti instrumentoidut kohteet sijaitsevat Lapin piirissä (kt 83).

Instrumentoidut kohteet sijaitsivat seuraavasti:

- 3 kpl Oulun piirissä: tmp Pudasjärvi
 - tie kt 78 (Siivikko -
 Korentokangas)
 - paalut 18100, 26800, 32930
- 9 kpl Lapin piirissä: tmp Pello
 - tie kt 83 (Pello - Matin-
 lompolo)
 - paalut 3200, 4100, 5645
 tmp Tornio
 - tie mt 930 (Muurola -
 Mellakoski)
 - paalut 780, 1000
 tmp Roi. länt.
 - tie mt 930 (Muurola -
 Mellakoski)
 - paalut 8625, 10800, 11300,
 11700

Veden kulusta lisätiedon saamiseksi tehtiin vedensyöttökokeita keväällä roudan sulamisen aikana ja kesällä roudan sulettua. Vedensyöttökokeet tehtiin kolmessa normaalisti instrumentoidussa kohteessa, joihin oli lisätty orsivesiputkien määrää ja rakennettu tien keskilinjan alle syöttövesiputki.

Piirustuksissa 81631/1...12 on esitetty instrumenttien sijainnit paaluittain. Kohteista tehtyjen rakeisuusanalyysien perusteella on esitetty liitteessä 1 tien rakennepoikkileikkaukset paaluittain.

2. KÄYTETYT INSTRUMENTIT JA MITTALAITTEET

Mittauskohteissa mitattiin seuraavia tekijöitä: lämpötila, orsivesipinnan korkeus, pohjaveden korkeus, kosteuspitoisuus, roudan syvyys ja lumen paksuus.

2.1 Lämpötilamittaus

Lämpötilan mittaus suoritettiin termoelementtien avulla. Lämpömittareina käytettiin Lapin piirissä fluke-mittaria ja Oulun piirissä potenttiometriä ja fluke-mittaria.

Termoelementtinä käytettiin kupari-konstantiini-lankaa. Mittauspään langat on liitetty yhteen kaasuhitsauksella 2 - 3 cm matkalla ja päät on suojattu silikoonimasalla.

Käytetyt lämpömittarit toimivat seuraavalla periaatteella:

Referenssimittari (vertaileva mittari)

Mittaustapahtumassa verrataan mittaripään lankojen avulla saadun lämpötilan ja maassa olevan mittauspään langoilla saadun lämpötilan välistä lämpöeroa. Referenssimittarissa mittaripään lämpötila on kiinnitetty/tiedetty, jolloin mitatun lämpötilaeron avulla saadaan mittauspään todellinen lämpötila laskettua.

Se, miten tarkasti mittaripään lämpötila saadaan kiinnitetyksi mittauksena aikana, vaikuttaa oleellisesti saatuun mittauksentulokseen. Kalibroinnin avulla voidaan valita mittausalue, jolla toimitaan. Mittausalueella oletetaan mittaripään lämpötilamittauksen olevan tarkka (tarkkuus riippuu mittarista). Mittausta voidaan tarkentaa asettamalla mittaripään langat jäävesihauteeseen, jolloin tiedetään mittaripään lämpötila melko tarkasti.

Suoraan mittaavassa laitteessa saadaan lämpötila mitattua ilman referenssimittauksia.

Virhettä lämpötilamittaukseen voi aiheutua muunmuassa seuraavista tekijöistä:

- termoelementtien juotos huono (irti tai hapettunut, ilmakuplia liitoksessa)
- termoelementistä tai mittalaitteesta tulevan pistokkeen johdot irti/löysällä
- lanka poikki
- routa siirtänyt lankojen paikkoja ts. langat nousseet ylemmäksi
- mittari epäkunnossa, kalibroitu väärällä langalla, patterien lataus pieni (vanhat), huono mittari (hidas)
- Oulun yliopiston geotekn. laboratoriossa saatujen kokemusten perusteella termoelementtien mitaustarkkuus on kenttäolosuhteissa suuruusluokaltaan $\pm 0,5 \dots \pm 1,0^{\circ}\text{C}$

2.2 Orsivesipinnan, pohjavesipinnan ja vesipitoisuuden mittaaminen

Orsiveden ja pohjaveden mittaaminen suoritettiin Oulun piirissä viheltävällä mittalaitteella ja Lapin piirissä sähköjohtokykyyn perustuvalla laitteella. Viheltävä mittalaite on putki, jonka sisään vesi pääsee tunkeutumaan, jolloin ilma putken sisältä virtaa ulos putken yläpäässä olevasta aukosta aiheuttaen vihellysäänen. Sähköjohtoon perustuvassa mittalaitteessa on 2-lankainen sähköjohto, jonka mittauspään langat ovat irti toisistaan. Irti olevien päiden koskiessa vesipintaa kulkee virta veden läpi aikaansaaden ääni- ja valomerkin.

Orsivesimittauksessa virhettä voivat aiheuttaa mm. seuraavat tekijät:

- orsivesi jäässä
- mittalaitteen epäkuntoisuus + huolimaton mittaaminen (epätodennäköistä)

Kosteuden mittauksessa käytettiin Troxler-laitetta, jonka toiminta perustuu radioaktiivisen säteilyn lähettämiseen ja maassa olevista vetyatomeista heijastuvan säteilyn mittaamiseen.

Troxler-mittauksessa virhettä mittauservoihin voi tulla muunmuassa seuraavista tekijöistä:

- laite epäkunnossa (epätodennäköistä)
- laitteen pohjan ja pinnan väliin jää ilmarako alustan ollessa kalteva

2.3 Roudan mittaus

Roudan paksuuden ja syvyyden mittaus tehtiin routamittareilla. Routamittareina käytettiin Gandalin putkia. Routamittari on metyleenin sinisellä värjättyllä vedellä täytetty läpinäkyvä putki, joka asennetaan maan sisään. Kun putkessa oleva vesi jäätyy, se muuttuu vaaleaksi sulan osan pysyessä tummansinisenä.

Routamittarimittauksessa virhettä voi aiheutua mm. seuraavista tekijöistä:

- routamittari vuotaa alapäästä
- mittaustapahtuman aikana putki ehtii lämmetä/sulaa

3. MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

Ennen mittausta kunnostettiin rikkoutuneet instrumentit (maaliskuu -91). Ensimmäiset mittaukset tehtiin huhtikuun alussa ja mittauksia jatkettiin kesäkuun alkupuolelle asti.

Mittaukset pyrittiin aloittamaan ajankohtana, jolloin tierakenne alkoi sulaa. Mittauksia jatkettiin niin kauan kuin voitiin havaita maan olevan jäässä ja orsi-vesiputkissa olevan vettä.

Mittaukset jouduttiin aloittamaan aikaisin, koska pääsiäisen jälkeen oli vuodenaikaan nähden poikkeuksellisen lämmintä. Lämmintä jaksoa kesti noin viikon, jonka jälkeen sää kylmeni uudelleen. Kevät eteni muuten normaalisti. Päivällä lämpötilat nousivat selvästi plussan puolelle ja yöllä oli pakkasta.

Kohteiden mittaus suoritettiin viikon välein. Kohteista mitattiin lämpötilat, orsi- ja pohjavesikorkeudet, kosteuspitoisuudet ja lumen syvyydet.

Lämpötilamittauksen aikana voitiin todeta, että toistettaessa mittaus ei saatu täysin samoja lämpötiloja (havaintojen ero oli noin $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$). Näin ollen lämpötilamittauksessa suoritettiin vain yksi mittaus, jolloin lukemaksi otettiin mittarin ryöminnän lakattua saatu lukema.

Orsivesi- ja pohjavesimittauksessa havaittiin Lapin piirissä sulan veden pinta. Oulun piirissä havaittiin lisäksi orsi- ja pohjavesiputkien pohjien syvyydet.

Troxler-mittaukset tehtiin Lapin piirissä tien keskeltä ja pientareilta sekä joissakin tapauksissa tien kais- toilta. Oulun piirissä mittaukset tehtiin toiselta kaistalta ja pientareelta.

Troxler-mittauksissa mitattiin sulaneen maan vesipitoi- suuksia. Mittalaitteen maksimi mittaussyvyys on 0,30 m. Eri syvyydeltä suoritetuissa mittauksissa saatu vesi- pitoisuus kuvaa maan pinnan (tien pinnan) ja mittaus- syvyyden välistä keskimääräistä vesipitoisuutta, ts. mittaussyvyyttä muuttamalla muutettiin mittaussväliä, jonka vesipitoisuus saatiin mittaustulokseksi.

Vedensyöttökokeet tehtiin kohdan 4.2 periaatteita nou- dattaen. Vedensyöttökokeiden aikana oli tihkusadetta ja joinakin öinä yöpakkasia. Vedensyöttölaitteisto asen- nettiin vasta kun tierakenne oli riittävästi sulanut, jotta kaivu voitiin suorittaa ilman piikkausta.

4. VEDENSYÖTTÖKOKKEET

4.1 Vedensyöttökohteet

Vedensyöttökokeet tehtiin kolmessa eri paikkassa, jotka oli rakennettu normaalisti instrumentoiduista kohteis- ta. Koepaikat sijaitsivat Mt 930:lla peräkkäin tie- osalla kunnanraja - Muurola paaluilla 10800, 11300 ja 11700. Kokeet tehtiin keväällä roudan sulamisen aikana (29.4....27.5.91) ja kesällä roudan sulettua (4.7....13.7.91).

Kohteet rakennettiin keväällä heti, kun tie oli sulanut niin paljon, että tien sisään voitiin asentaa syöttö- putket ilman tien piikkausta. Kohteet rakennettiin laittamalla 3 m pitkä syöttöputki tien keskilinjalle noin 0,5 m:n syvyyteen ja 5 - 7 kpl orsivesiputkia. Syöttöputkena käytettiin harmaata muoviputkea ϕ 160 mm, johon oli porattu 10 mm terällä 100 reikää 4 eri puo- lelle putkea. Lisäksi syöttöputki ympäröitiin suodatin- kankaalla. Orsivesiputkina käytettiin metrin pituisia pohjavesiputkia. Instrumenttien sijainnit on esitetty ko. paalujen instrumenttien sijaintipiirustuksissa.

4.2 Vedensyöttökokeet keväällä 1991

Vedensyöttökokeita tehtiin kaksi (2). Toinen tehtiin keväällä, kun routa oli sulanut noin 0,5 m tien pinnasta ja toinen kesällä, kun routa oli sulanut kokonaan. Vedensyöttökokeet tehtiin kahdessa vaiheessa.

Vedensyöttökokeen I vaihe aloitettiin määrittämällä lähtötilanne mittaamalla eri instrumentit. Tämän jälkeen aloitettiin vedensyöttö tierakenteeseen syöttöputken kautta. Vedensyötön aikana seurattiin veden esiintymistä orsivesiputkissa. Veden syöttöä jatkettiin niin kauan, kun vesipinta nousi orsivesiputkissa tai kun veden imeytyminen tierakenteeseen selvästi pieneni. Syötön päätyttyä seurattiin veden poistumista orsivesipinnan mittauksin ja troxler-mittauksin. Lopuksi määritettiin lopputilanne mittaamalla kaikki instrumentit.

Vedensyöttökokeen II vaihe oli samanlainen kuin I vaihe, paitsi että vedensyötön loputtua aukaistiin tien toinen luiska kaivinkoneella. Aukaisu tehtiin niin pitkälle, kuin se oli mahdollista tien päällystettä rikkomatta. Luiskan aukaisulla pyrittiin selvittämään sen vaikutusta veden poistumiseen tierakenteesta.

Kevään kokeet tehtiin seuraavasti paaluittain:

PL 10800

7.5.	klo	8.30	kokeen I vaiheen aloitus (alkumittaukset)
		8.40	vedensyötön aloitus
		15.00	vedensyötön lopetus
		15.00-	veden poistumisen seurantamittaukset
8.5.	klo	8.00	I vaiheen seurantamittausten lopetus ja II vaiheen aloitus
		8.15	vedensyötön aloitus
		11.15	vedensyötön lopetus ja luiskan aukaisu
		11.15-	veden poistumisen seurantamittaukset
		12.00	luiska takaisin kiinni, koska tien alla olevat hiekkakerrokset alkoivat pursuta tehtyyn kuoppaan - tien stabiliteetti

Veden poistumisen seurantamittauksia jatkettiin noin joka 3. päivä 27.5. asti.

PL 11300

- 2.5. klo 9.00 kokeen I vaiheen aloitus (alkumittaukset)
 9.15 vedensyötön aloitus
 15.30 vedensyötön lopetus
 15.30 - 22.00 vedenpoistumisen seurantamittaukset
- 3.5. klo 7.30 veden poistumisen seurantamittaukset
- 6.5. klo 8.00 kokeen II vaiheen aloitus (alkumittaukset)
 8.30 vedensyötön aloitus
 12.50 vedensyötön lopetus
 13.30 luiskan aukaisu ja veden poistumisen seurantamittausten aloitus
- 8.5. klo 9.00 luiska kiinni

Veden poistumisen seurantamittauksia jatkettiin noin joka 3. päivä 27.5. asti.

PL 11700

- 29.4. klo 8.00 kokeen I vaiheen aloitus (alkumittaukset)
 11.00 vedensyötön aloitus
 15.00 vedensyötön lopetus
 15.00- veden poistumisen seurantamittaukset
- 6.5. klo 9.30 kokeen II vaiheen aloitus (alkumittaukset)
 9.45 vedensyötön aloitus
 14.00 vedensyötön lopetus ja luiskan aukaisu
 14.00- veden poistumisen seurantamittaukset
- 7.5. klo 8.00 luiskan sulkeminen

Veden poistumisen seurantamittauksia jatkettiin noin joka 3. päivä 27.5. asti.

4.3 Vedensyöttökokeet kesällä 1991

Kesän vedensyöttäminen aloitettiin kuten keväälläkin. Syöttöputken kautta vedensyöttäminen oli hyvin hidasta eikä veden nousua voitu havaita orsivesiputkissa eikä veden poistumista aukaistujen luiskien kautta. Tämän vuoksi muutettiin koetta siten, että syötettiin vettä suoraan orsivesiputkiin, minkä jälkeen seurattiin veden laskeutumista orsivesiputkissa. Aluksi orsivesiputkiin meni nopeasti vettä. Kun orsivesiputkia ympäröivä maa kyllästyi vedestä, hidastui veden laskeutuminen orsivesiputkissa selvästi.

Kesän vedensyöttökokeet tehtiin paaluittain seuraavasti:

PL 10800

Aluksi pyrittiin suorittamaan koe samalla tavoin kuin keväällä:

I vaiheen vedensyöttö aloitettiin 4.7. klo 11.30. Syöttö lopetettiin 6.7. klo 15.00. Vesi ei noussut orsivesiputkiin eikä näkynyt luiskissa.

Vedensyöttökokeen "II vaihe" aloitettiin 8.7. Vedensyöttö aloitettiin klo 7.00, kun luiska oli aukaistu. Vedensyöttö lopetettiin 10.7. klo 7.00. Luiskan aukaisu ei vaikuttanut vesimenekkiin.

Koska vedensyöttö ei onnistunut syöttöputken kautta muutettiin koetta siten, että vedensyöttö tehtiin suoraan orsivesiputkiin. Vettä syötettiin orsivesiputkiin noin tunnin ajan, jonka jälkeen seurattiin veden poistumista orsivesiputkista. Vedensyöttö orsivesiputkiin aloitettiin 10.7. klo 7.00, lopetettiin 10.7. klo 8.00. Veden poistumista putkista seurattiin 13.7. klo 12.00 asti.

PL 11300

Kuten kohteessa 10800 aluksi yritettiin koe tehdä samalla tavoin kuin keväällä. Vedensyöttö aloitettiin 10.7. klo 10.00, lopetettiin 12.7. klo 9.00. Orsivesiputkista ja luiskista ei saatu havaintoja.

Vedensyöttö orsivesiputkiin aloitettiin 11.7. klo 10.00 ja syöttöä jatkettiin klo 11.00 asti. Veden poistumista seurattiin 13.7. klo 12.00 saakka.

PL 11700

Kohteessa 11700 tehtiin ensin koe syöttämällä vettä orsivesiputkiin.

Vedensyöttö orsivesiputkiin aloitettiin 5.7. klo 8.00 ja lopetettiin 5.7. klo 8.40 veden poistumista seurattiin 6.7. klo 16.00 asti.

Vedensyöttökoe yritettiin vielä tehdä kuten keväällä. Vettä syötettiin syöttöputkeen 10.7. - 12.7. välisenä aikana. Orsivesiputkista ja luiskista ei saatu nytkään havaintoja.

5. MITTAUSTULOKSET

5.1 Mittauksen aikana vallinnut sää

Liitteessä 2 on esitetty ilmatieteenlaitoksen sääasemien säätiedot (Rovaniemi, Pello, Pudasjärvi):

- vuorokauden lämpötilat (maksimi, minimi ja keskimääräinen lämpötila),
- vuorokauden sademäärä ja
- lumipeitteen paksuus/vuorokausi.

Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoasemilta saadut säätiedot vastannevat melko hyvin eri teillä vallinneita olosuhteita, koska sääasemat sijaitsevat kohtalaisen lähellä tutkittavia kohteita. Lumipeitteen paksuuden arvo kuvaa tien ulkopuolella olevan luonnontilaisen lumen, muttei auratun lumen paksuuksia. Lisäksi on huomattava, että mittauksen alkaessa lumivalli oli aurattu kauemmas tien reunasta.

5.2 Lämpötilamittaustulokset, routamittaukset ja lumivallimittaukset

Liitteessä 3 on esitetty termoelementtimittauksissa saatu lämpötilan jakautuminen tiessä sekä lumivallin sijainti ja paksuus luiskissa. Raskaasti instrumentoitujen kohteiden osalta on tulostettu routamittareiden mittauksen perusteella routaraja (jäätynneen ja sulan maan raja).

Termoelementeillä suoritettut lämpötilamittaukset eivät kaikilta osin ole aivan loogisia. Näin ollen haettaessa esim. 0-isotermiä tulee verrata säätietoja ja eri mittauskertojen tuloksia toisiinsa ja näin ratkaista tuloksen oikeellisuus.

Lisähankaluutta termoelementtien tulkintaan tuo se, että samalla tiellä melko lähekkäin (etäisyys alle 500 m) sijaitsevat kohteet sulivat eri nopeudella. Tämä voitiin havaita, kun asennettiin syöttövesiputkia vedensyöttökohteisiin.

Lämpötilan mittauksen yhteydessä havaittiin jäätyneen maan reunan päättyvän lumivallin reunaan. Routamittareiden tulokset ovat yksiselitteisempiä kuin termoelementtien. Puutteena oli routamittareiden vähyys, koska mittareita oli käytännöllisesti katsoen vain yhdessä kohteessa. Toisessa kohteessa (raskaasti inst.) oli tien alueella olleet mittarit rikkoutuneet ja vain tiealueen ulkopuolella olleet mittarit olivat ehjiä (2 kpl).

Lumipeitteen paksuus mitattiin työntämällä tanko lumen läpi maahan ja mittaamalla lumen alle painuneen tangon pituus. Näin ollen lumen paksuusmittaus on enempi tai vähempi likimääräinen, koska työnnetty tanko voi osua joko kuoppaan tai kohoumaan.

5.3 Vaaitustulokset

Vaaituksilla pyrittiin hakemaan maksimi routanousun suuruus. Koska talvella ei ole tehty kuin yksi vaaitus, ei maksimia routanousun suuruutta voida tarkasti sanoa, mutta routanousun suuruusluokka voitaneekin sanoa.

Liitteessä 4 on esitetty kevään ja kesän vaaitustulokset (taulukot + kuvat).

5.4 Orsivesihavainnot ja vesipitoisuusmittaukset

Liitteessä 5 on kuvat orsivesipintahavainnoista paaluittain ja liitteessä 6 kuvat vesipitoisuuden muuttumisesta ajan funktiona.

Tulkittaessa orsivesi- ja vesipitoisuushavaintoja tulee myös vuorokautiset sademäärät ottaa huomioon. Jos orsivesi on ollut jäässä mittaushetkellä, on putki merkitty kuivaksi.

5.5 Vedensyöttökokeiden tuloksia

Liitteessä 7 on esitetty kevään ja kesän vedensyöttökokeiden aikana havaitut vesimenekit ja liitteessä 8 vastaavasti veden poistuminen vedensyöttökokeiden aikana.

Vedensyöttökokeen aikana vesimenekin seuraaminen onnistui hyvin. Veden poistumisen seuranta oli vaikeampi, koska sääolosuhteet pääsivät vaikuttamaan tuloksiin. Orsivesihavaintojen perusteella ei saatu selvää kuvaa veden poistumissuunnista tierakenteessa (ei ainakaan kevään syöttökokeissa).

Verrattaessa kesän ja kevään vesimenekkejä tulee vertailussa käyttää syöttöputkeen syötetyn veden menekkiä.

Vedensyöttökokeiden aikana tehtiin seuraavia havain-
toja:

- luiskan aukaisun aikana oli havaittavissa, että vesi seurasi jäätyneen ja sulaneen maan rajaa
- paalulla 10800 jouduttiin luiska sulkemaan kohta aukaisun jälkeen, koska hiekka alkoi pursuta kivantoon tien alta (sisäinen eroosio)
- orsivesiputkien täyttyminen ei ollut täysin loogista tien kaltevuuden perusteella. Oliko välittömästi putkien ympärillä oleva maa jäähtynyt muun maan ollessa sulaa?
- vedensyötön aikana vesimenekki hidastui yhtäkkiä (hidastuminen alle 5 minuutissa)

5.6 Maatutkamittaukset

Maatutkamittauksia tehtiin routarajan muodon selvittämiseksi Vedensyöttökokeiden aikana. Maatutkamittausten tulokset on esitetty liitteessä 9.

Värikuvaa tulkittaessa on huomattava, että kuvan mitaustiedot on suoraan maan pinnasta mitattuja etäisyyksiä ja että maan pinta on oikaistu suoraksi viivaksi.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Termoelementeillä tehdyt mittaustulokset eivät ole kaikilta osin aivan loogisia ilmatieteenlaitoksen säähavaintoihin verrattaessa. Lisäksi routarajan siirtyminen on joissakin mittauksissa nopeata tai routarajan muoto kummallinen.

Routamittareiden tulokset ovat loogisempia, mutta hangen alla olleitten mittareiden oleminen sulana ihmetyttää.

Vaaitustuloksista saadaan routanousun suuruusluokka selville, mutta ei absoluuttista arvoa.

Orsivesipintahavainnot ovat muuten selviä, paitsi että mittauksista ei näy jäässä ollutta vettä, jos sellaista on ollut.

Troxler-mittaukset kuvaavat lähinnä tien pintakerrosten, alle 0,3 m, kosteuden muuttumista. Tien pientareelta ja päällysteen alta saatuja mittaustuloksia verrattaessa päällysteen alla olevan maan kosteuspitoisuus on todellisuudessa hiukan korkeampi kuin mittauksessa saatu. Tämä johtuu siitä, että kosteuden mittaustuloksissa on myös asfaltin vesipitoisuus laskettu mukaan.

Vedensyöttökokeiden tulokset vesimenekin osalta ovat selvät, mutta veden poistumista on hieman vaikeampi tulkita. Tämä johtuu siitä, että sääolosuhteet vaikuttivat voimakkaammin poistumisen havainnointiin kuin veden menekin havainnointiin.

Kevään ja kesän vedensyöttökokeiden vesimenekit erosivat selvästi toisistaan. Keväällä vesimenekki oli yli 2 kertaa suurempi kuin kesällä. Veden syöttöä tehtäessä todettiin, ettei vesimenekin pieneneminen johtunut syöttövesiputken tukkeutumisesta (putki oli tyhjä ja syöttövesiputken reikien tukkeutumista esti suodatin-kangas). Vesimenekin pienenemisen arveltiin johtuvan siitä, että talven aikana tierakenne routii. Keväällä tien sulaessa tiehen jää halkeamia ja rakoja, jotka tiivistyvät liikenteen kuormituksesta kesään mennessä. Siten tierakenne on tiiviimpi ja johtaa vettä huonommin kesällä kuin keväällä.

Maatutkamittaukset antanevat lisävalaistusta routarajan muotoon vaikkakin kuvat ovat tulkinallisia.

Mittaustuloksia voitaneen käyttää apuna ainakin seuraavien seikkojen teoreettisessa tarkastelussa:

- * teoria: roudan eteneminen eri maalajeissa, pohjaveden vaikutus, lumipeitteen vaikutus
- * routarajan muoto:
 - termoelementtimittaus
 - routamittarit
 - maatutka
 - maastohavainnot
- * orsiveden esiintyminen
- * vedensyöttö: vertailu kevät - kesä
 - syötetty vesimäärä
 - kuivuminen (veden poistuminen)
 - luiskan aukaisun vaikutus
 - muita havaintoja

Oulussa 20.9.1991

INSINÖÖRITOIMISTO PSV OY

Pekka Koskela
DI

Sakari Lotvonen
TkL

30.6.1992

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

Kuivatustutkimus osa I
sekä roudan syvyyshavainnot

C. ROUDAN SYVYYS- JA ORSIVESIHAVAINNOT

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

KUIVATUSTUTKIMUS OSA I SEKÄ ROUDAN SYVYSHAVAINNOT

C. ROUDANSYVYYS- JA ORSIVESIHAVAINNOT

Oheisissa poikkileikkauskuvissa 1...8 on esitetty kevään 1991 lämpötilamittaus-, routamittaus- ja lumivallimittaustulokset niissä routavaurio- ja kuivatustutkimuskohteissa, joissa em. tiedot on voitu mitata. Poikkileikkauskuvissa on esitetty roudan ylä- ja alareuna, lumivallin asema tieluiskassa ja orsivesihavainnot eri mittausaikoina sekä tien rakennekerrosten (routimaton) paksuus.

Ko. kohteissa on mitattu myös routanousun suuruus tien keskellä ja reunassa. Roudan syvyyden ja routanousun mittaustulokset on käsitelty kohdassa D. Roudan syvyyden ja poikkileikkauksen vaikutus routanousuun.

Routaantuneen kerroksen yläraja yhtyy mittausten mukaan sulamisvaiheessa lumivallin rajaan. Mittaustulosten tulkintaa vaikeuttaa toisaalta se, että po. keväällä esiintyi takatalvi, jolloin lämpötila laski useana yönä $-10^{\circ}\text{C} \dots -15^{\circ}\text{C}$. Tällöin jo sulanut tierakenteen yläosa jäättyi uudelleen.

Routarajan yläreuna on ollut mittausten mukaan lähes kaikissa kohteissa kaukalomainen tiettyssä sulamisvaiheessa. Kuitenkin poikkileikkauksissa pl 10800, 11300 ja 26800 on kaukalomainen routaraja säilynyt lähes koko sulamiskauden. Sen sijaan muissa poikkileikkauksissa (pl 3200, 5645, 8625, 11700 ja 18100) routarajan muoto on ollut suurimmaksi osaksi sivukalteva tai epämääräinen.

Kaukalomaisen routarajan muodostumisen edellytyksenä näyttäisi olevan, että molemmissa tieluiskissa tulee säilyä lumivallit riittävän pitkään sulamisvaiheessa.

Tutkimuspoikkileikkauksista vain kolmessa kahdestatoista havaittiin roudan sulamisen aikana routaantuneen maakaukalon patoamaa vettä tierakenteessa. Tällöinkin orsivettä havaittiin vain lyhyen ajan alimmassa rakennekerroksessa tai alusrakenteen yläosassa. Päällysrakenteen vesi ei siten tässä aiheuttanut vakavaa vaaraa tien kantavuudelle tutkimustalvena.

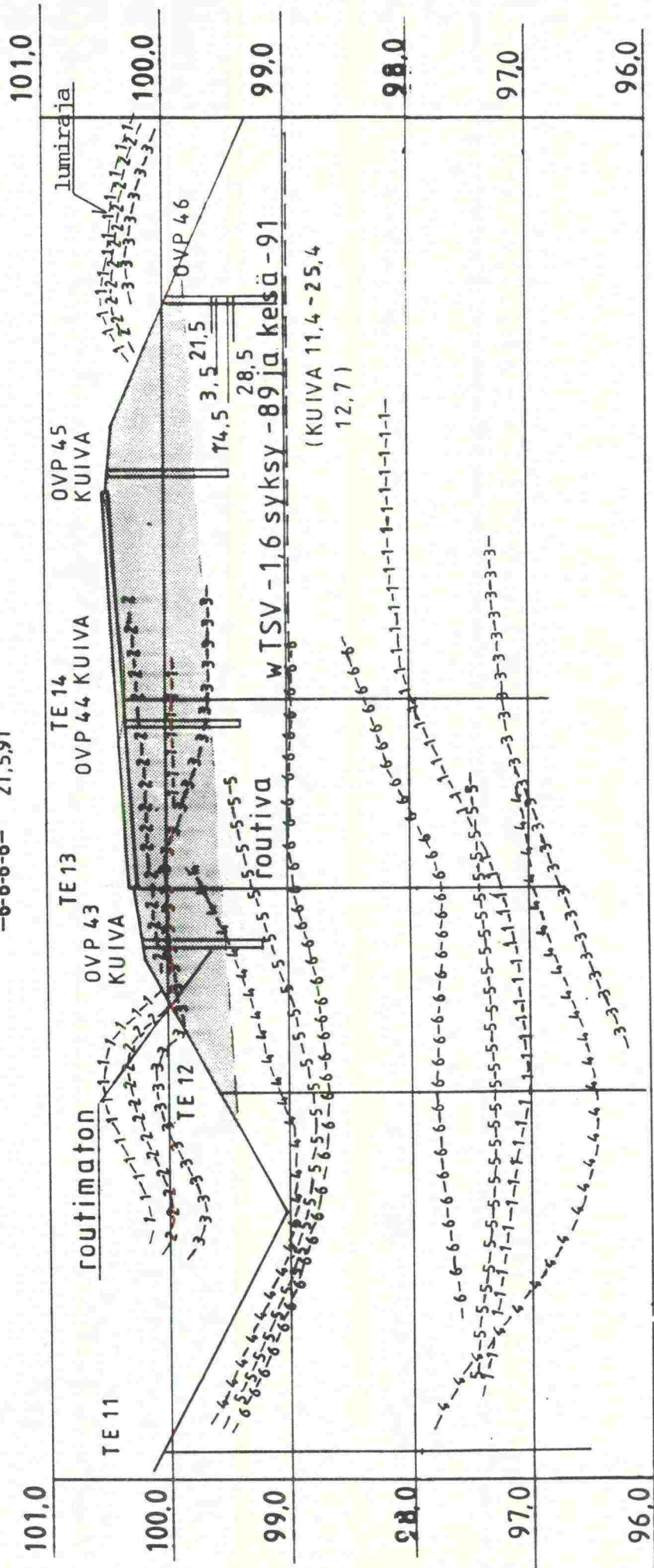
Tilanne voisi kuitenkin olla toinen, jos esimerkiksi päällysteen urien pohjalla olisi pituushalkeamia, joista pääsisi runsaasti vettä tierakenteeseen. Sellaista tilannetta on tutkittu osan A ja B vedensyöttökokeissa.

Roudan sulamisrajaa koskevat havainnot osoittavat kuitenkin, että tierakenteeseen syntyy useimmissa tutkimuspoikkileikkauksissa muutaman viikon ajaksi roudan sulamisaikana jäätyneen maan muodostama kaukalo. Se estää päällysrakenteen veden pääsyn sivuojaan, vaikka routimattomat rakennekerrokset ulottuivat luiskaan asti tutkimuspoikkileikkauksissa. Myös sisäluiskan kohdalle sijoitettu salaoja jäisi jäätyneen maan sisään, kun ajoradan kohdalla oleva päällysrakenne on jo kokonaan sulanut roudasta. On tarpeen tutkia, voidaanko esimerkiksi avoimen murskeen käytöllä välttää jäätyneen tierakenteen muuttuminen vesitiiviiksi.

Kuva 1. Pl 3200.

Roudan ylä- ja
 alaraja
 -1-1-1-1- 11,4,91
 -2-2-2-2- 19,4,91
 -3-3-3-3- 25,4,91
 -4-4-4-4- 14,5,91
 -5-5-5-5- 3,5,91
 -6-6-6-6- 21,5,91

pl 3200 , tunnus 5047 (rask. instrumentoitu)
 mittakaava 1:100/1:50

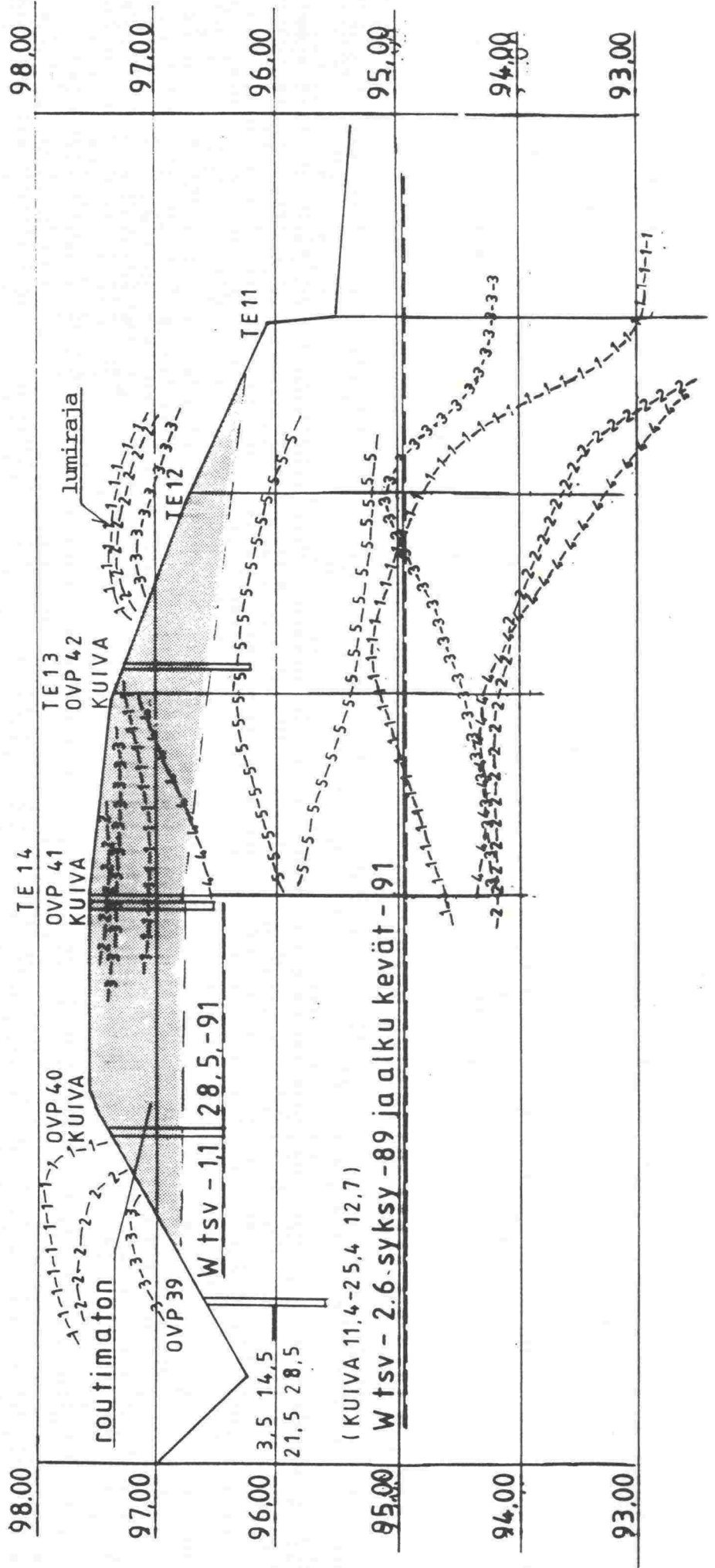


Kuva 2. Pl 5645.

Roudan ylä- ja
 alaraja

-1-1-1-1-	11,4,91
-2-2-2-2-	19,4,91
-3-3-3-3-	25,4,91
-4-4-4-4-	3,5,91
-5-5-5-5-	14,5,91

pl 5645, tunnus 5117 (rask. instrumentoitu)
 mittakaava 1:100/1:50

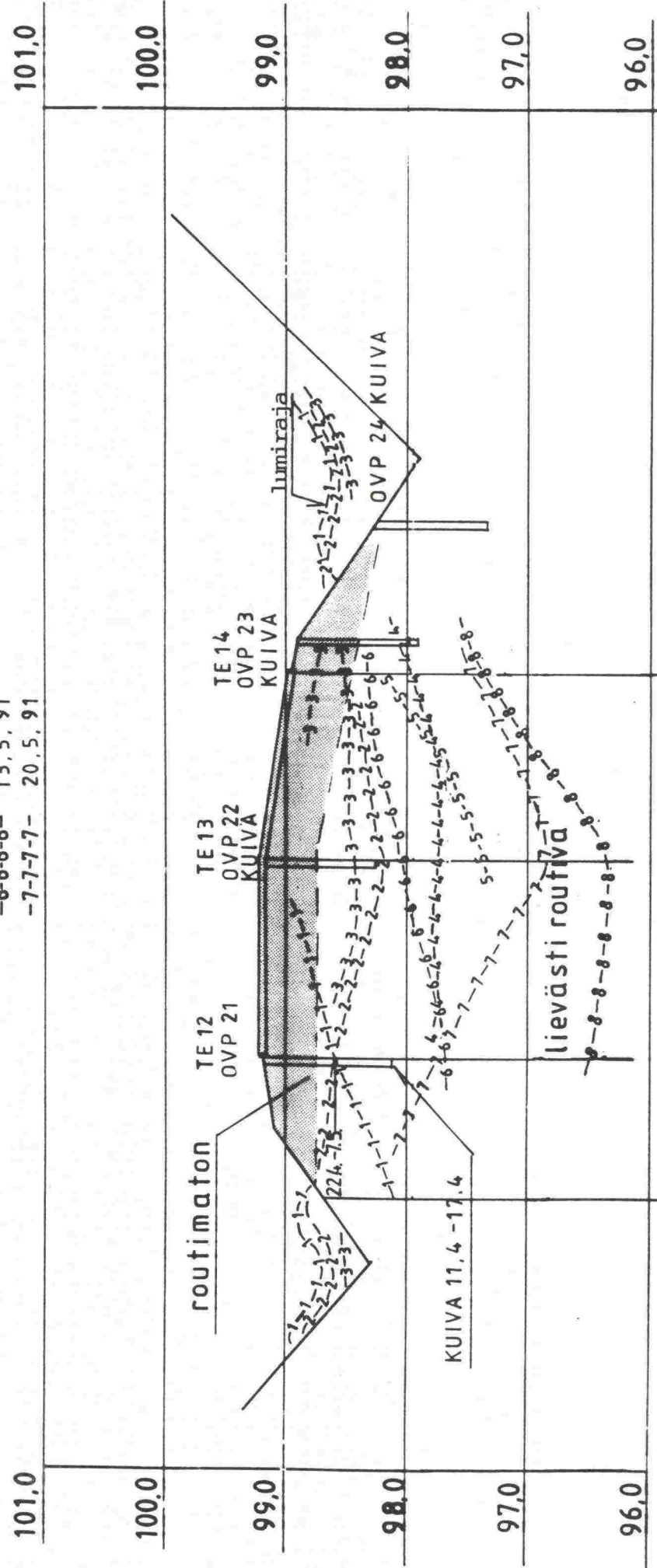


Kuva 4. Pl 10800.

te. moelementtien lämpötila
 pl 10800, tunnus 7156 (instrumentoitu)
 mittakaava 1:100/1:50

Roudan ylä- ja
 alaraja

- 1-1-1-1- 22,4, 91 -8-8-8-8- 27,5, 91
- 2-2-2-2- 2,5, 91
- 3-3-3-3- 7,5, 91
- 4-4-4-4- 8,5, 91
- 5-5-5-5- 9,5, 91
- 6-6-6-6- 13,5, 91
- 7-7-7-7- 20,5, 91



101,0

100,0

99,0

98,0

97,0

96,0

101,0

100,0

99,0

98,0

97,0

96,0

W<tsv -3.5 syksy -89 ja kevät -91

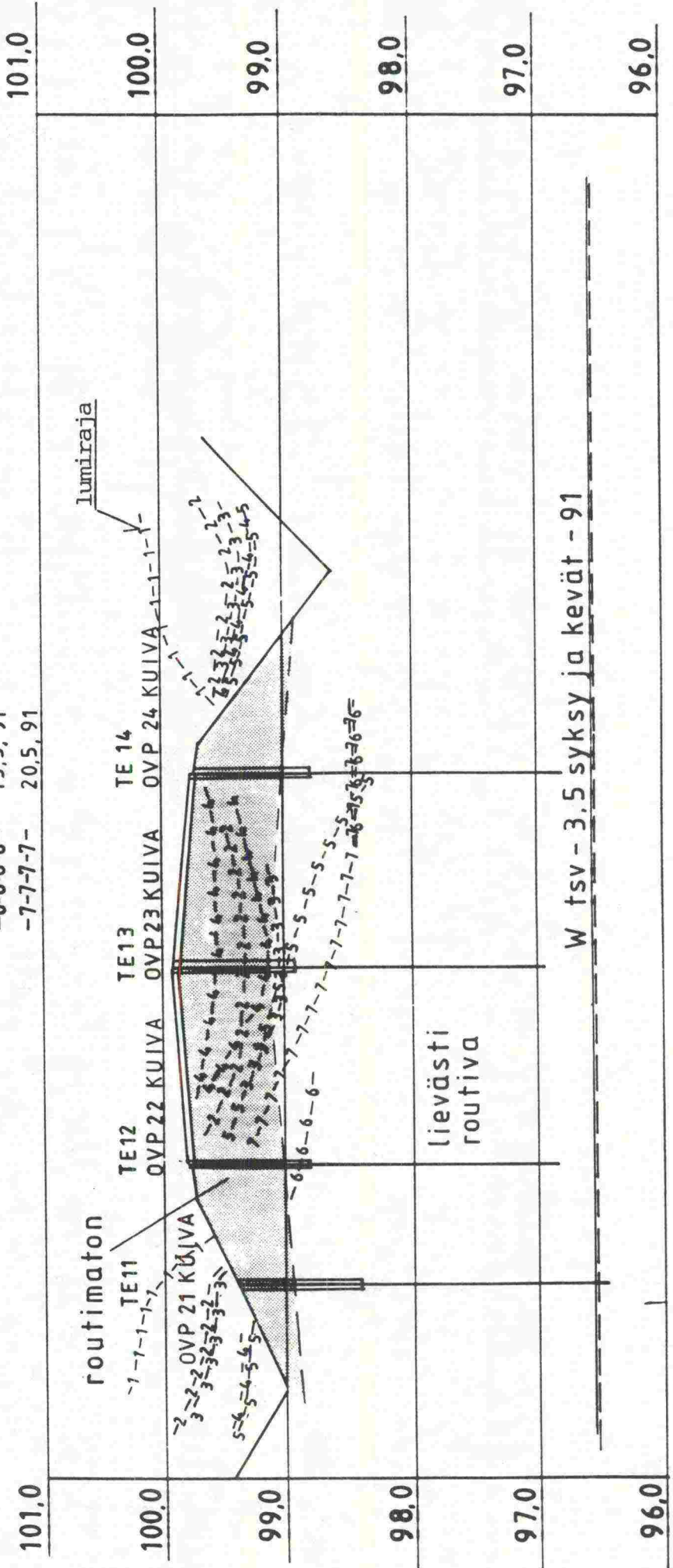
Kuva 5. Pl 11300.

termoelementtien lämpötila

pl 11300, tunnus 7166 (instrumentoitu)
mittakaava 1:100/1:50

Roudan ylä- ja
alaraja

- 1-1-1-1- 11,4,91
- 2-2-2-2- 17,4,91
- 3-3-3-3- 24,4,91
- 4-4-4-4- 6,5,91
- 5-5-5-5- 7,5,91
- 6-6-6-6- 13,5,91
- 7-7-7-7- 20,5,91

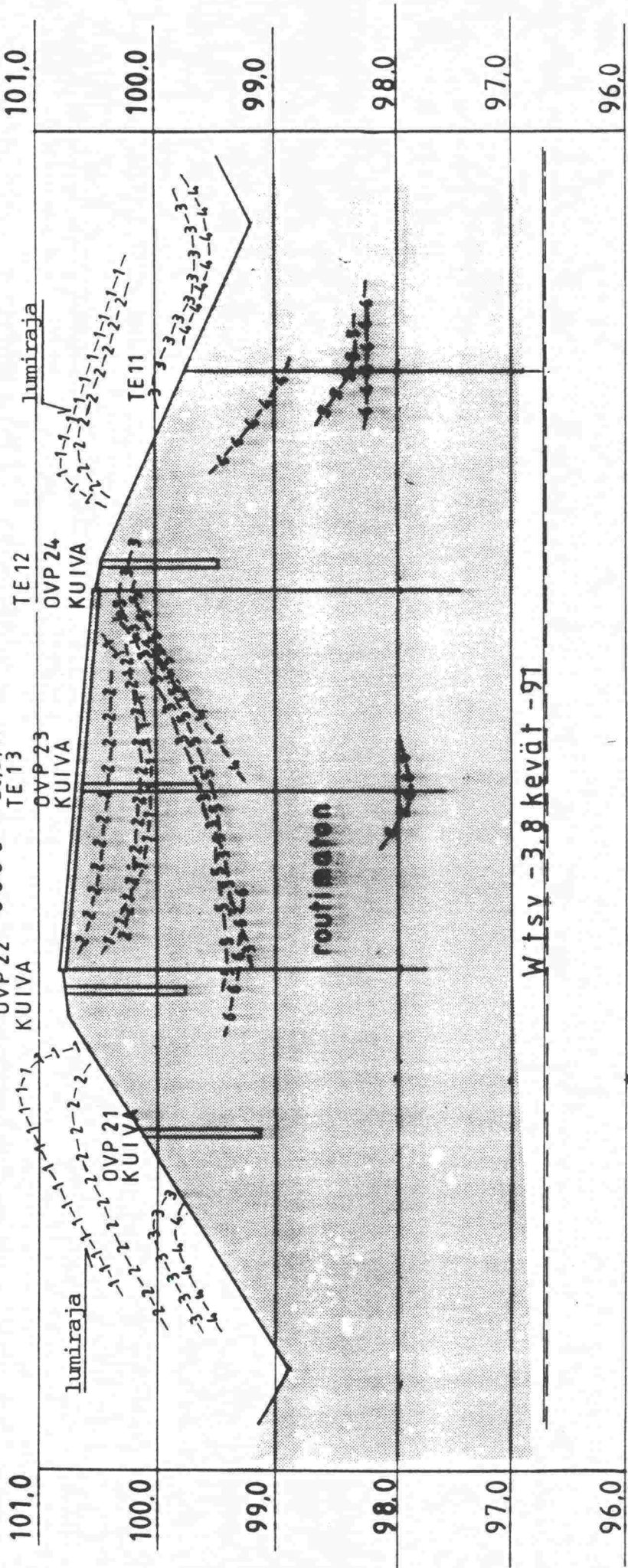


Kuva 6. Pl 11700.

pl 11700, tunnus 7176 (instrumentoitu)
mittakaava 1:100/1:50

Roudan ylä- ja
alaraja

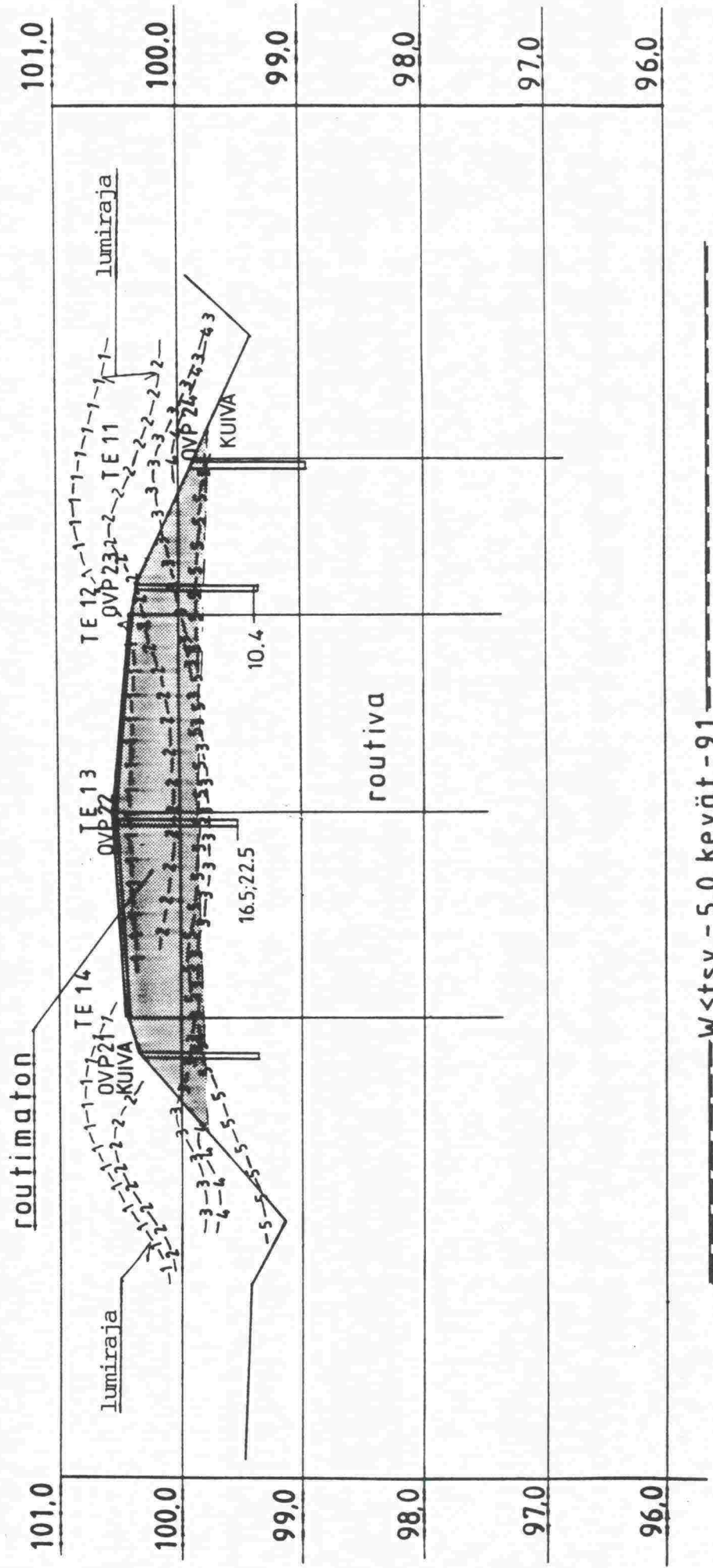
- 1-1-1-1- 11,4,91
- 2-2-2-2- 17,4,91
- 3-3-3-3- 30,4,91
- 4-4-4-4- 6,5,91
- 5-5-5-5- 13,5,91
- 6-6-6-6- 20,5,91



Kuva 8. Pl 26800.

- Roudan ylä- ja alaraja
- 1-1-1-1- 5,4,91
 - 2-2-2-2- 10,4,91
 - 3-3-3-3- 17,4,91
 - 4-4-4-4- 24,4,91
 - 5-5-5-5- 2,5,91

pl 26800, tunnus 26036 (instrumentoitu)
mittakaava 1:100/1:50



----- W<tsv - 5,0 kevät - 91 -----

30.6.1992

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

Kuivatustutkimus osa I

sekä roudan syvyshavainnot

**D. ROUDAN SYVYYDEN JA POIKKILEIKKAUKSEN
VAIKUTUS ROUTANOUSUUN**

Tiehallitus, kehittämiskeskus

Routavaurio- ja kuivatustutkimus

KUIVATUSTUTKIMUS OSA I SEKÄ ROUDAN SYVYSHAVAINNOT

D. ROUDAN SYVYYDEN JA POIKKILEIKKAUKSEN VAIKUTUS ROUTANOUSUUN

Oheisissa taulukoissa 1 ja 2 on esitetty talvien 1988-89 ja 1990-91 roudansyvyys- ja routanousuhavainnot routavaurio- ja kuivatustutkimuskohteissa, jotka sijaitsevat Lapin piirissä (9 kohdetta) ja Oulun piirissä (3 kohdetta). Aineisto on kuvattu tarkemmin raportissa Routavaurio ja kuivatustutkimus, Kuivatustutkimus, Osa I B.

Lapissa kohteet sijaitsevat Pello-Matinlompolo -tiellä kt 83 (kohteet 5047, 5076 ja 5117) ja Muurola- Mella-koski -tiellä mt 930 (tunnukset 7026, 7156, 7166, 7176, 8026 ja 8116). Oulun piirin kohteet sijaitsevat puolestaan Siivikko-Korentokangas -tiellä kt 78 (tunnukset 26016, 26036 ja 26076).

Taulukoista kootut tutkimustulokset eri tekijöiden funktiona on esitetty kuvissa 1...9. Kunkin poikkileikkauksen vasen ja oikea puoli on tarkasteltu erikseen. Kuvissa 10...13 on esitetty lisäksi ko. talvien lämpötila- ja sademäärähavainnot.

Mittausten mukaan keskitalvi -88...-89 on ollut märkä ja leuto, kun taas keskitalvi -90...-91 on ollut kuiva ja pakkasmäärältään normaalimpi.

Talvien erilaisuus näkyy mittaustuloksissa siten, että talvella -88...-89 roudan syvyys on pienempi ja turpoama suurempi kuin talvella -90...-91. Syynä tähän on mm. se, että kuivana pakkastalvena routaraja etenee nopeammin ja maakerrokset turpoavat vähemmän kuin märkänä, leutona talvena, jolloin routaraja etenee hitaammin ja jäälinsit muodostuvat paksummiksi.

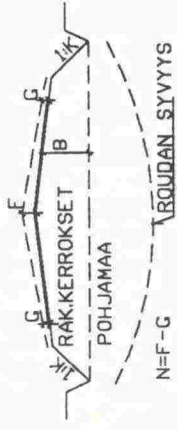
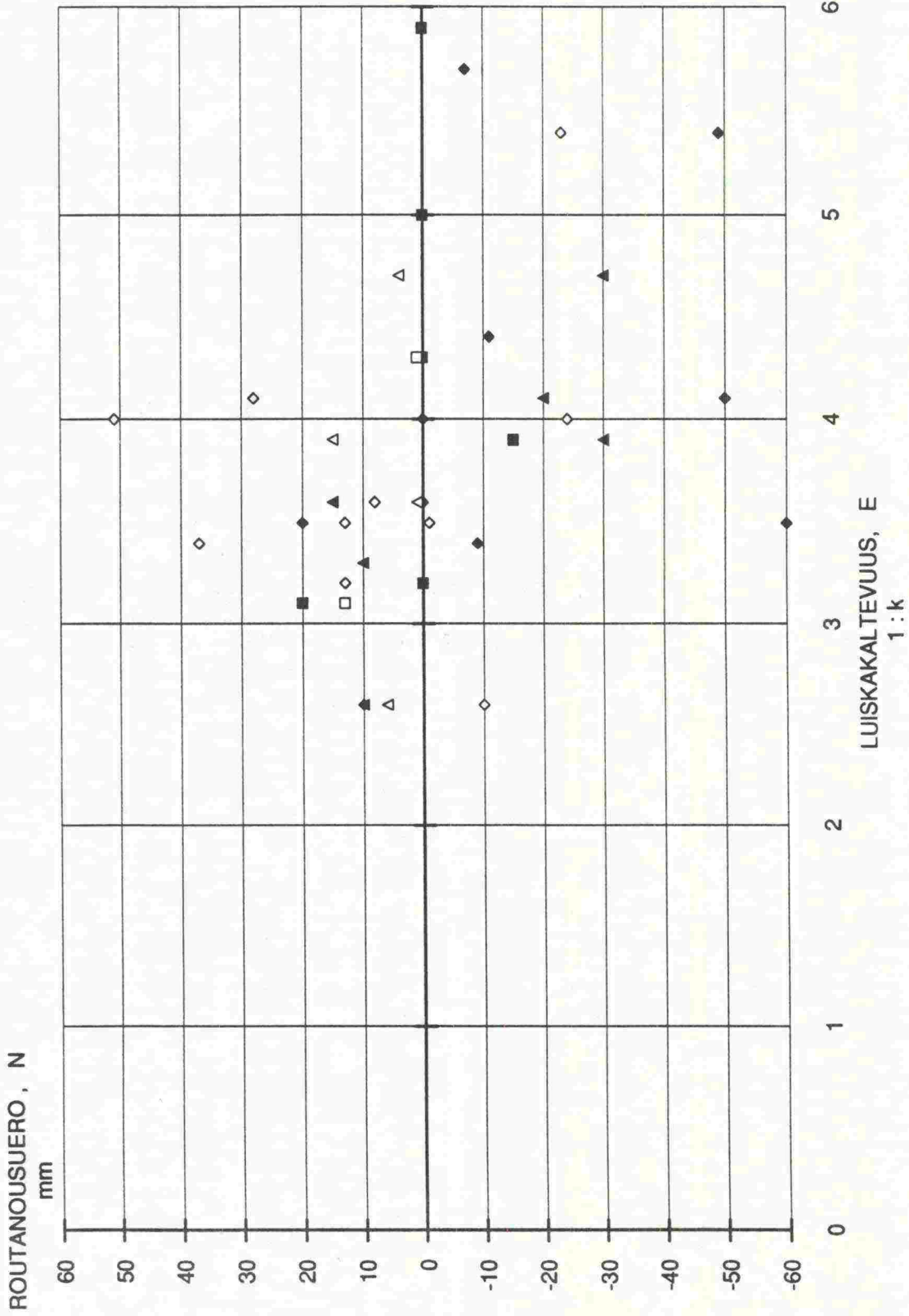
Mittausten mukaan routa tunkeutui tien keskellä 0,5... 1 m syvemmälle kuin tien reunassa. Vuonna -91 roudan syvyyden ollessa suurempi ero oli 0,2 m...0,5 m.

Kuvien 2 ja 3 perusteella voidaan päätellä, että talvella -88...-89 tieluiskan loiveneminen on pienentänyt roudan syvyyseroja ja siten myös keskilinjan ja reunan routanousueroa. Talvella -90...-91, jolloin roudan syvyys oli suuri, roudansyvyyserot olivat kaikilla luisukan kaltevuuksilla pienet, suhde lähellä 1:stä, mikä on rakenteen kannalta hyvä tilanne. Erittäin loivaluiskaisilla teillä tien reunan routanousu on usein suurempi kuin keskellä.

Tien reunassa jäätyvä pohjamaakerros on ohuempi kuin keskellä, mutta se näyttää turpoavan jäätyessään 1,5...6-kertaa enemmän kuin tien keskellä. Vuonna -91 ero oli pienempi kuin vuonna -89. Reunan suurempi turpoama pienentää routanousueroa. Syynä reunan suurempaan turpoamaan on mm. se, että vettä imeytyy rakenteeseen reunassa enemmän kuin keskellä, kuorma on pienempi reunassa kuin keskellä ja toisaalta myös routaraja etenee hitaammin reunassa kuin keskellä.

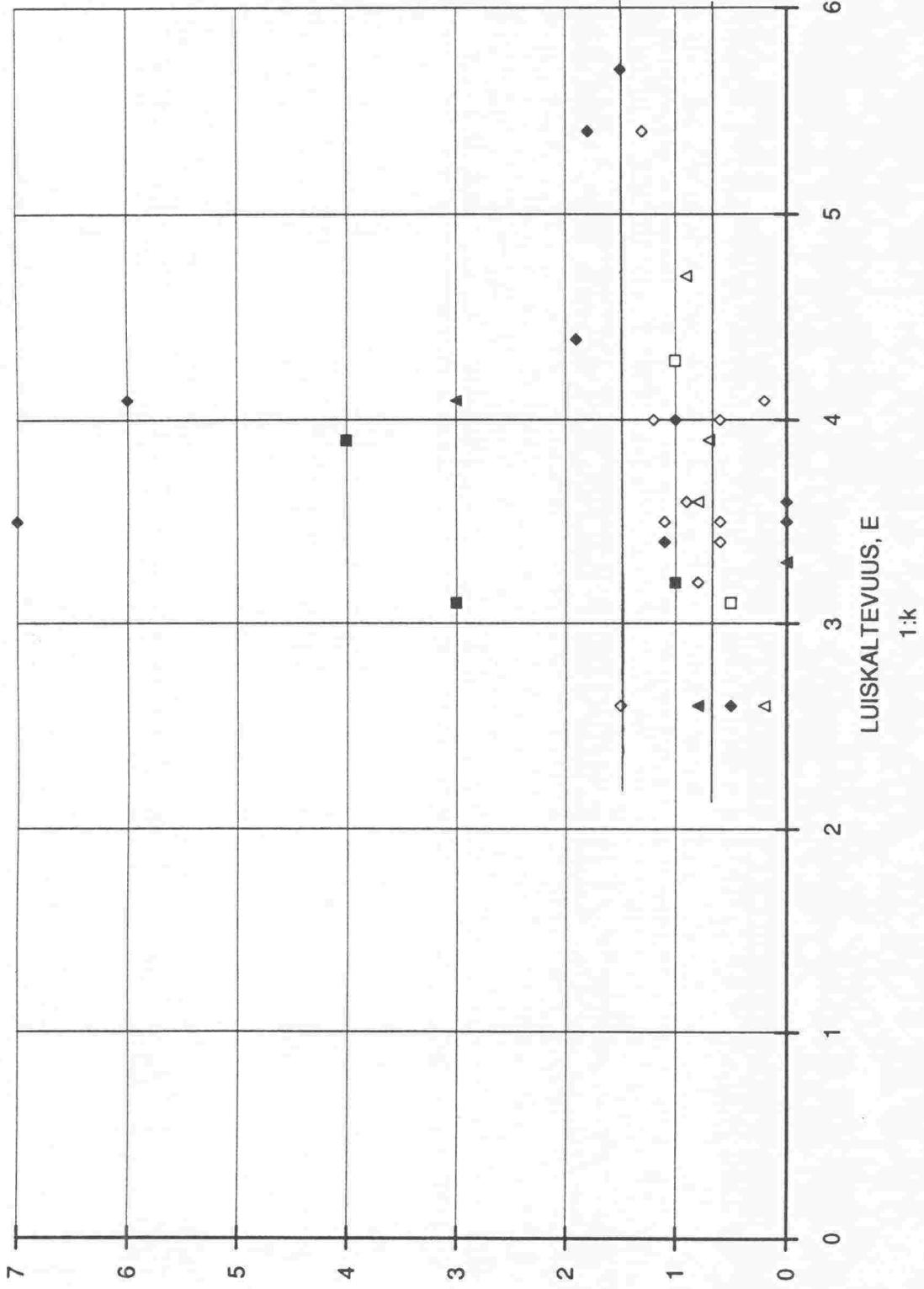
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1																					
2																					
3																					
4	TUNNUS	RAKENNE PAKSUUS (m)	T= turve P= pengeri	POHJA- MAA, % 0.074 mm	KESKI, NOUSUA (mm)	REUNA, NOUSUA (mm)	KESKI, SYVYYS (mm)	REUNA, SYVYYS (mm)	J H-B, (mm)	K REUNA I-B, (mm)	L TURPOAMA KESKI F/J	M REUNA G/K	N ROUTANOUSU ERO, F-G (mm)	O SUHDE G/F	P HALKE- AMA	Q R. SYV. POHJAM. ERO, J-K (mm)	R SUHDE K/J	S TURPOA- MA SUHDE M/L	T ROUDAN SYVYYS ERO, H-I (mm)	U SUHDE I/H	V RAKENNE b,c,d,e,f 4%, 3%, 1, 3% 4%, 2%, 1, 4%, 2, 5% 4%, 1%, 1, 2% 5%, 3%, 3, 6% 7%, 3%, 3, 0%, 6, 6% 8%, 1%, 2, 1% 5%, 5%, 5%, 7% 7%, 3%, 4, 3% 8%, 7%, 1, 4%, 2, 7% 6%, 4%, 6%, 7, 6% 3%, 6%, 1, 5%, 3, 0% 6%, 3%, 1, 6, 9%
5	6	5a	7156	500	3.9	0	2	1250	1400	650	0.018	0.018	13	0.5	0	750	0.5	1	750	0.6	4%
7	7	5b	500	3.2	0	2	2000	1500	1400	900	0.018	0.027	1	1	0	500	0.6	1.5	500	0.8	4%
8	8	7a	7176	600	3.1	25	2000	1600	900	900	0.152	0.179	-24	1.2	2	0	1	1.18	0	1	5%
9	9	7b	600	4.3	25	24	2000	1100	1400	400	0.152	0.215	51	0.6	0	500	0.4	1.41	500	0.7	7%
10	10	12a	26076	600	5.9			1000	950	250	0.063	0.208	8	0.9	0	700	0.3	3.3	700	0.6	7%
11	11	12b	600	5	137	161	1600	1000	950	250	0.063	0.188	13	0.8	0	700	0.3	2.98	700	0.6	8%
12	12	1a	5047	700	4	137	1600	900	900	150	0.021	0.133	-1	1.1	0	750	0.2	6.33	750	0.6	8%
13	13	1b	700	4	137	86	1600	900	900	150	0.021	0.133	-10	1.1	0	750	0.2	9.19	750	0.6	5%
14	14	2a	5076	750	3.6	60	1700	1100	1000	300	0.036	0.077	13	0.6	0	700	0.3	2.14	700	0.6	7%
15	15	2b	750	3.2	60	47	1700	1300	1000	500	0.036	0.016	28	0.2	0	500	0.5	0.44	500	0.7	7%
16	16	6a	7166	750	3.5	19	1650	2000	1150	1150											4, 3%
17	17	6b	750	2.6	19	29	1650	600	1150	600											8%
18	18	3a	5117	800	3.5	36	1800	500	1000	1000											6%
19	19	3b	800	4.1	36	8	1800	500	1000	500											7%
20	20	10a	26016	850	4.4		2000	600	1150	1150											8%
21	21	10b	850	5.7			2000	500	1000	1000											6%
22	22	11a	26036	1000	3.4	85	2000	500	1000	1000	0.085	0.085	37	0.6	0	0	0	1500	0.3	0.3	6%
23	23	11b	1000	5.4	85	108	2000	500	1000	1000			-23	1.3	0	0	0	1500	0.3	0.3	6%
24	24	4a	7026	1600	3.6	5	750	0	1000	500			1	0.8	0	0	0	1500	0.3	0.3	6%
25	25	4b	1600	2.6	5	4	750	0	1000	500			6	0.2	0	0	0	1100	0	0	3%
26	26	8a	8026	2300	4.7	44	1100	200	1000	200			4	0.9	0	0	0	900	0.2	0.2	3%
27	27	8b	2300	3.9	44	29	1100	0	1000	200			15	0.7	0	0	0	600	0	0	6%
28	28	9a	8116	2300	3.3	-1	600	0	1000	200			15	0.7	0	0	0	600	0	0	6%
29	29	9b	2300	4.1	-1	-1	600	0	1000	200			15	0.7	0	0	0	600	0	0	6%
30																					
31	a	vasen reuna											0 = ehjä								b = kantavan kerroksen hienoaiespitoisuus (#0.074 mm)
32	b	oikea reuna											1 = reunahalkeama								c = jakavan kerroksen hienoaiespitoisuus (#0.074 mm)
33													2 = keski- tai ajoratahalkeama, kuollut								d = suodatinkerroksen hienoaiespitoisuus (#0.074 mm)
34													3 = keski- tai ajoratahalkeama, elävä								e = pengertyksen hienoaiespitoisuus (#0.074 mm)
35																					f = pohjamaan hienoaiespitoisuus (#0.074 mm)
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					

Taulukko 1. Roudan syvyyden ja poikkileikkauksen vaikutus routanousuun. Talvi -88....-89.



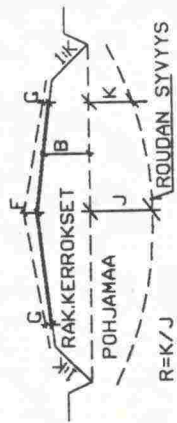
Kuva 1. Loivaluiskaisilla (1:4...1:6) teillä tien reuna nousee talvella tässä aineistossa enemmän kuin keskilinja. Tavallisesti keskilinja nousee enemmän. Muissa tutkimuksissa on havaittu, että pituushalkeamien todennäköisyys kasvaa voimakkaasti, kun routanousuero ylittää 30 mm. Tämän kuvan perusteella ei voida osoittaa luiskien loiventamisen vähentävän tehokkaasti routanousueroa (itseisarvoa) ja sitä kautta pituushalkeamien todennäköisyyttä.

ROUTANOUSUSUHDE, O
G/F

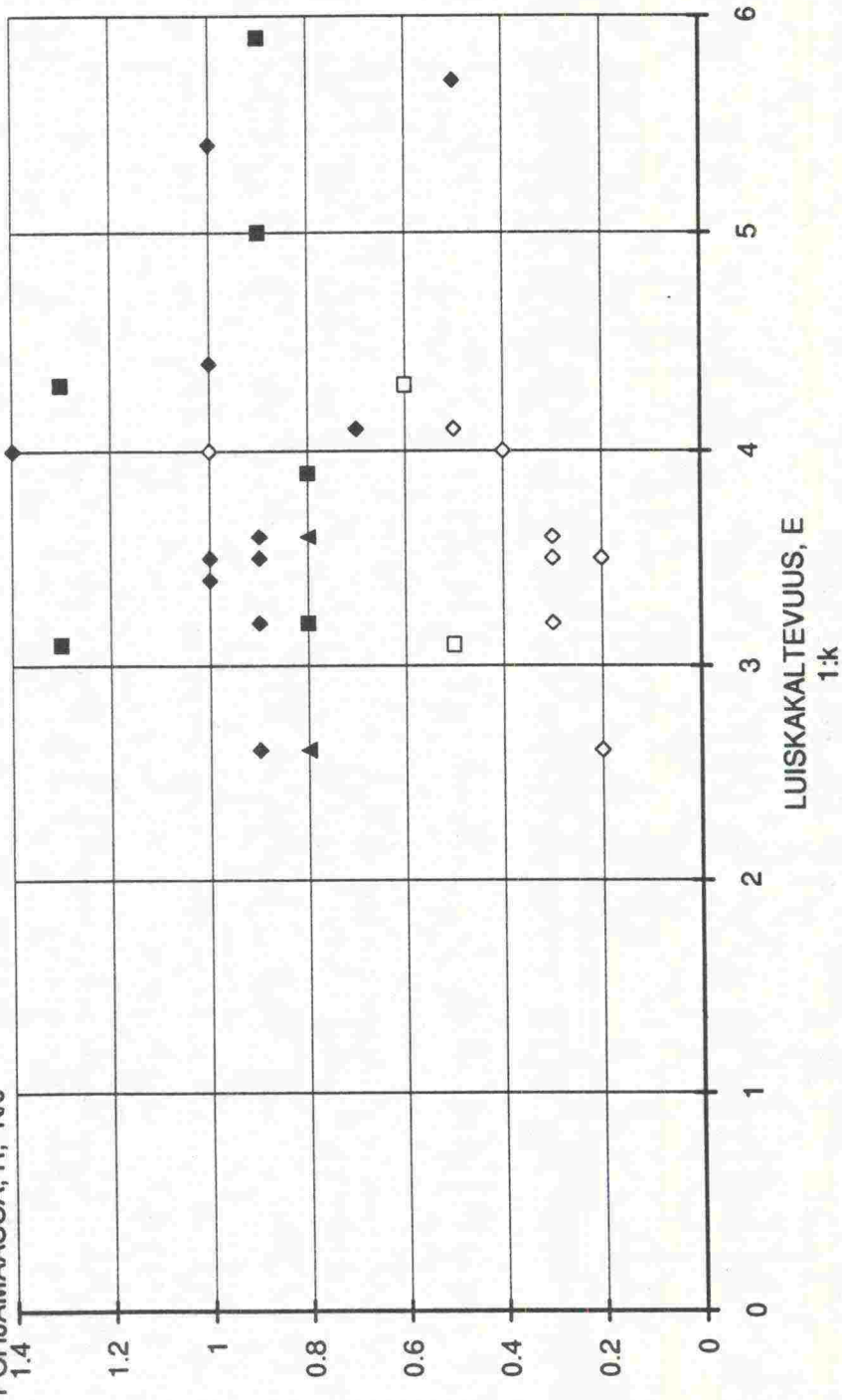


- B < 0.7 m v. -91
- ◆ B ~ 1 m
- ▲ B ~ 1.7 m
- B < 0.7 m v. -89
- ◇ B ~ 1 m
- △ B ~ 1.7 m

Kuva 2. Loivat luiskat tasoittavat tien reunan ja keskilinjän routanousujen suhdetta lähemmäksi tavoiteltavaa arvoa 1. Kuvan 1 perusteella vaikutus ei ole yhtä tehokas.

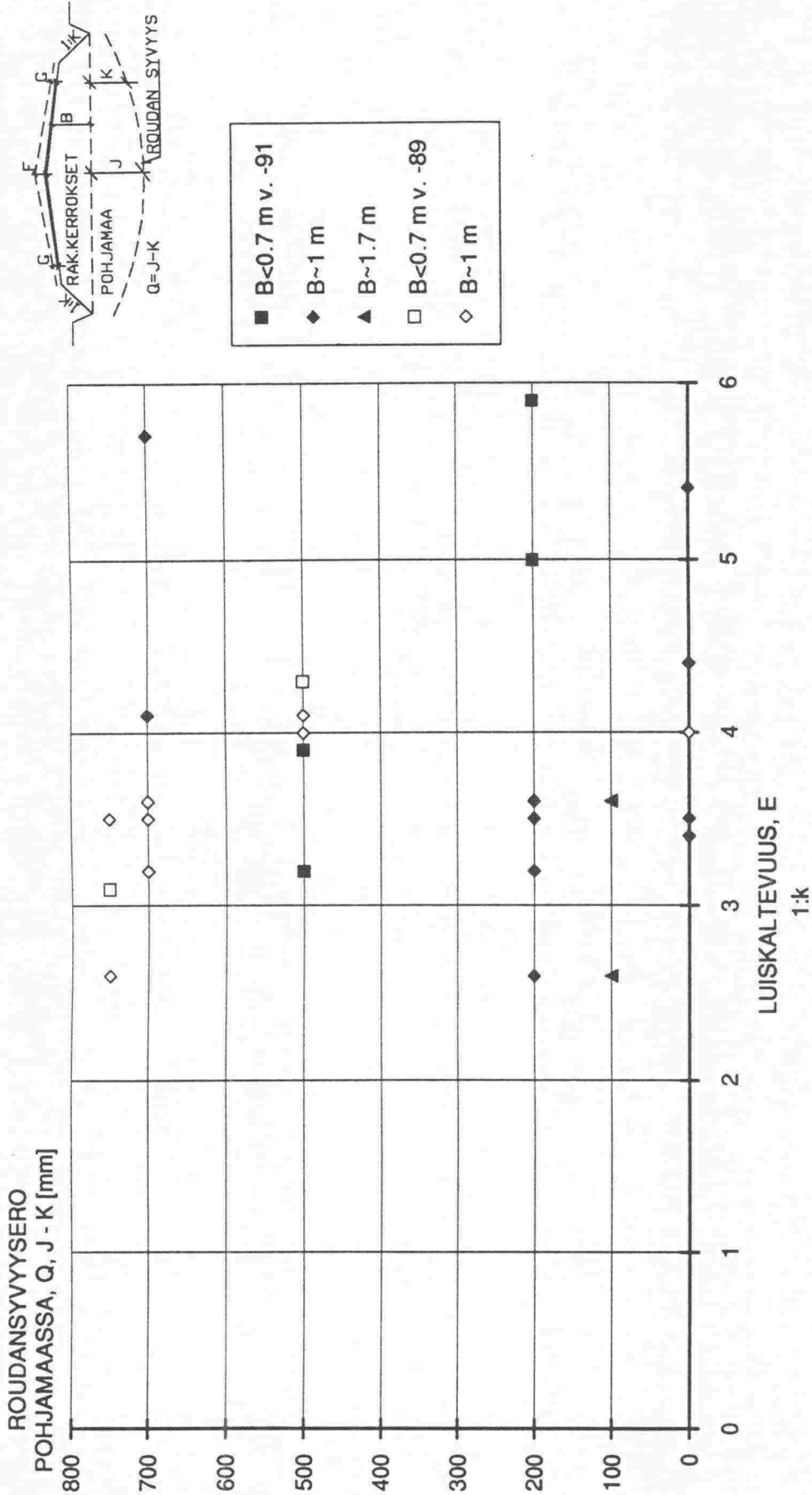


ROUDANSYVYYSUHDE
POHJAMAASSA, R, K/J



Vuonna -89 luiskan loiventuminen on pienentänyt roudan syvyyseroja ja siten myös kl:n ja reunan routanousueroa (halkeamatodennäköisyyttä). Vuonna -91, jolloin roudan syvyys oli erittäin suuri, roudansyvyyserot olivat kaikilla luiskakaltevuuksilla pienet, suhde lähellä 1:stä, mikä on rakenteen kannalta hyvä tilanne.

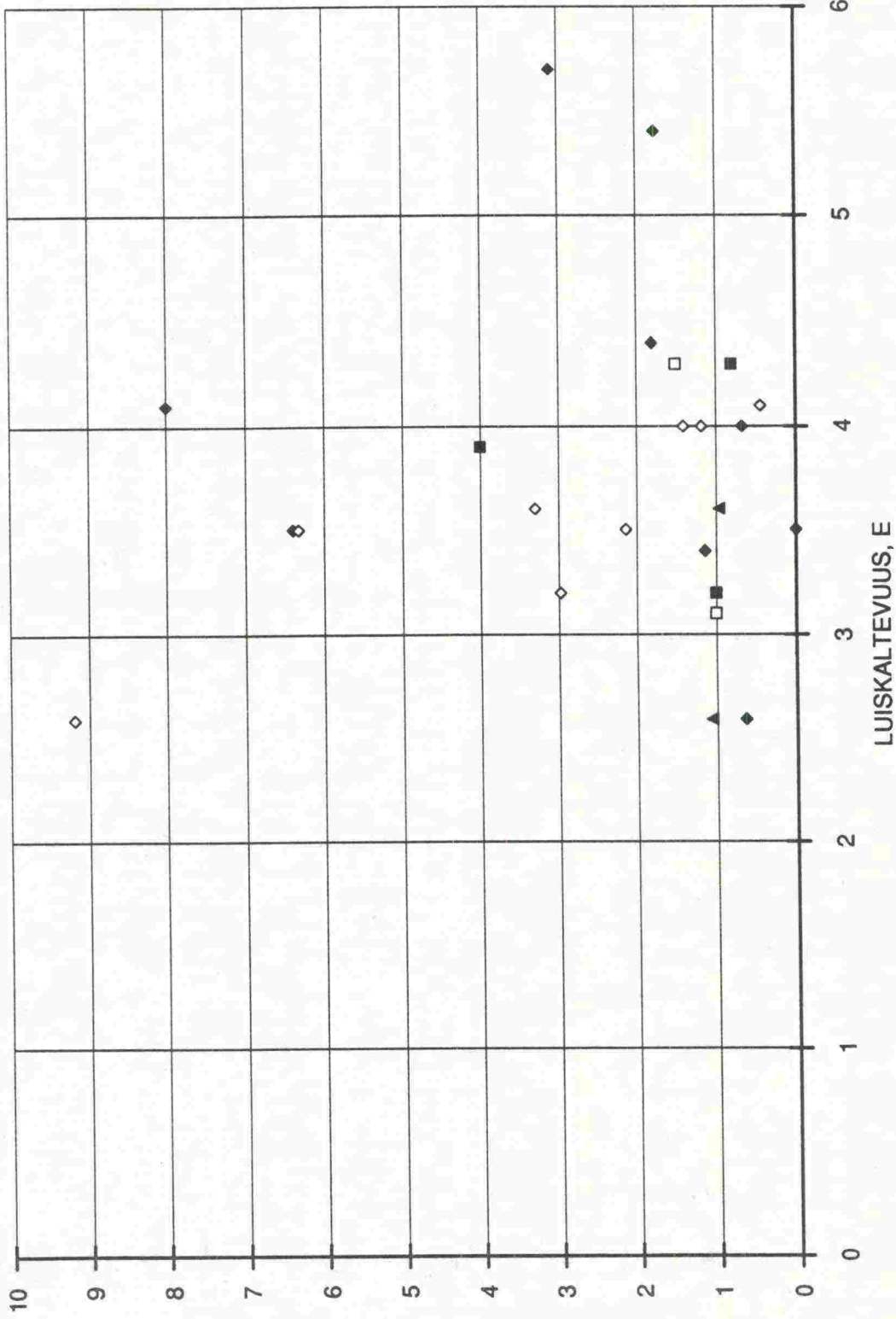
Kuva 3. Teoriassa routanousuero ja pituushalkeaman todennäköisyys kasvaa, jos tien keskikohta jäätyy paljon syvemmälle kuin reunat. Pohjamaan roudansyvyysosuuteen tulisi olla lähellä arvoa 1. Tästä kaukana olevia arvoja esiintyy kaikilla luiskakaltevuuksilla. Kuvasta puuttuu muutama loivaluiskaisen tien havainto, joissa routa ei ole tunkeutunut pohjamaahan asti tien reunassa, mutta joissa roudansyvyysosuus on 0 (ks. kuva 8).



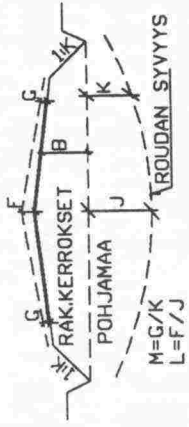
Vuonna -89 luiskan loiventuminen on pienentänyt roudan syvyyseroja ja siten myös ki:n ja reunan routausueroa (halkeama todennäköisyyttä).
 Vuonna -91, jolloin roudansyvyys oli erittäin suuri, roudansyvyyserot olivat kaikilla luiskankaltevuuksilla pienemmät kuin v. -89, mikä on rakenteen kannalta hyvä tilanne.

Kuva 4. Teoriassa routausuero ja pituushalkeaman todennäköisyys kasvaa, jos tien keskikohta jäätyy paljon syvemmälle kuin reunat. Pohjamaan roudansyvyyseron tulisi olla mahdollisimman pieni. Suuria arvoja esiintyy kaikilla luiskankaltevuuksilla. Kuvasta puuttuu mutama loivaluiskaisen tien havainto, joissa routa ei ole tunkeutunut pohjamaahan asti tien reunassa, mutta joissa roudan syvyys on erittäin suuri (ks. kuva 8).

TURPOAMASUHDE, S
M/L

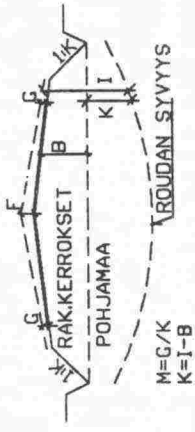


1:k

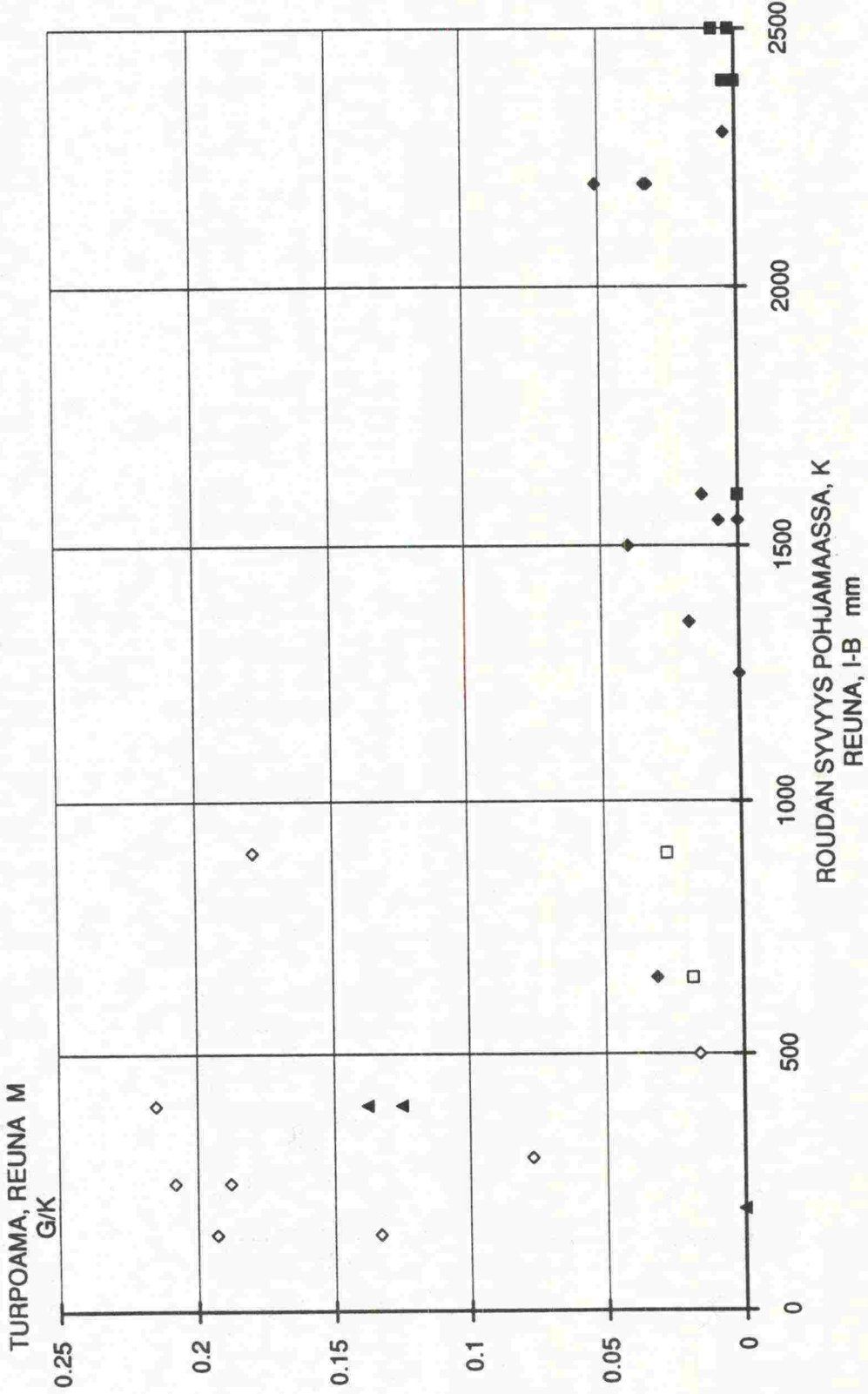


- B<0.7 m v. -91
- ◆ B~1 m
- ▲ B~1.7 m
- B<0.7 m v. -89
- ◇ B~1 m

Kuva 5. Tien reunassa jäätyvä pohjamaa turpoaa usein selvästi enemmän kuin keskellä suhteessa jäätyvän maakerroksen paksuuteen. Syynä lienee se, että vettä on enemmän saatavilla, ja routa etenee hitaammin. Tien reunan suurempi turpoama vähentää tien reunan pienemmän roudansyvyyden vaikutusta. Kuvan 1 loivaluiskaisilla teillä turpoamasuhde jopa ylikompensoi roudan syvyyseron.

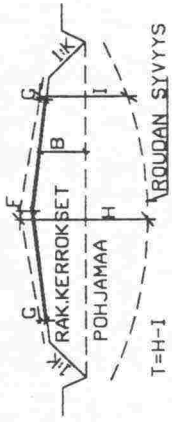
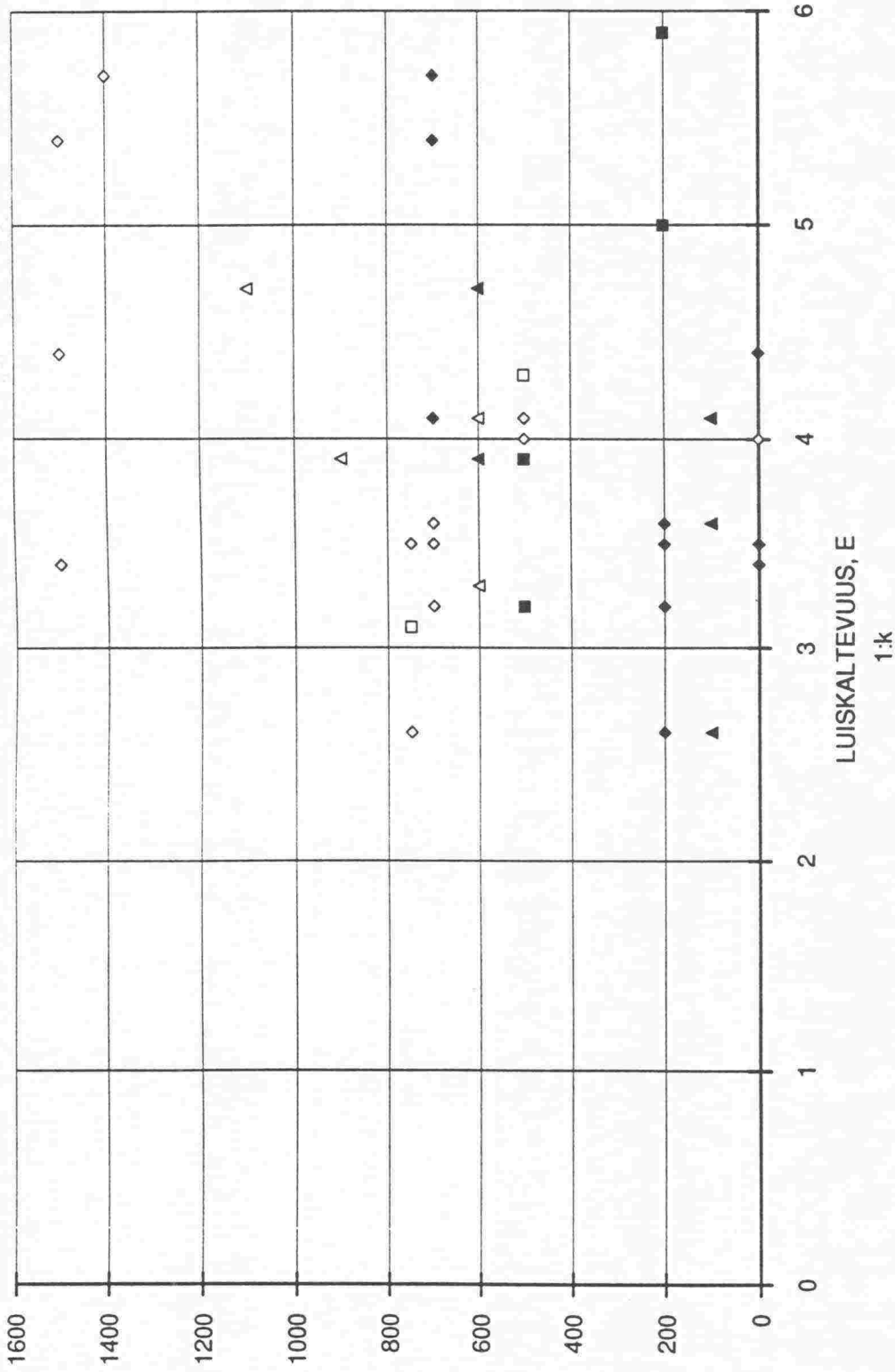


- B<0.7 m v. -91
- ◆ B~1 m
- ▲ B~1.7 m
- B<0.7 m v. -89
- ◇ B~1 m



Kuva 7. Jäätyvä maakerros turpoaa suhteessa sitä enemmän, mitä ohuempi maakerros jäätyy. Leutona talvena -89 jäänyt pohjamaakerros turposi 2...22 % paksuudestaan. Kylmänä vuonna -91 turpoama oli yleensä alle 6 %. Tien reunassa turpoamat ovat selvästi suurempia kuin keskellä tietä kuvassa 6.

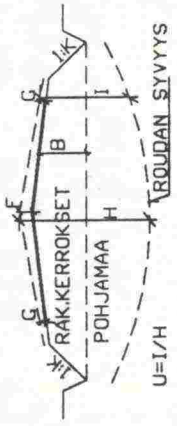
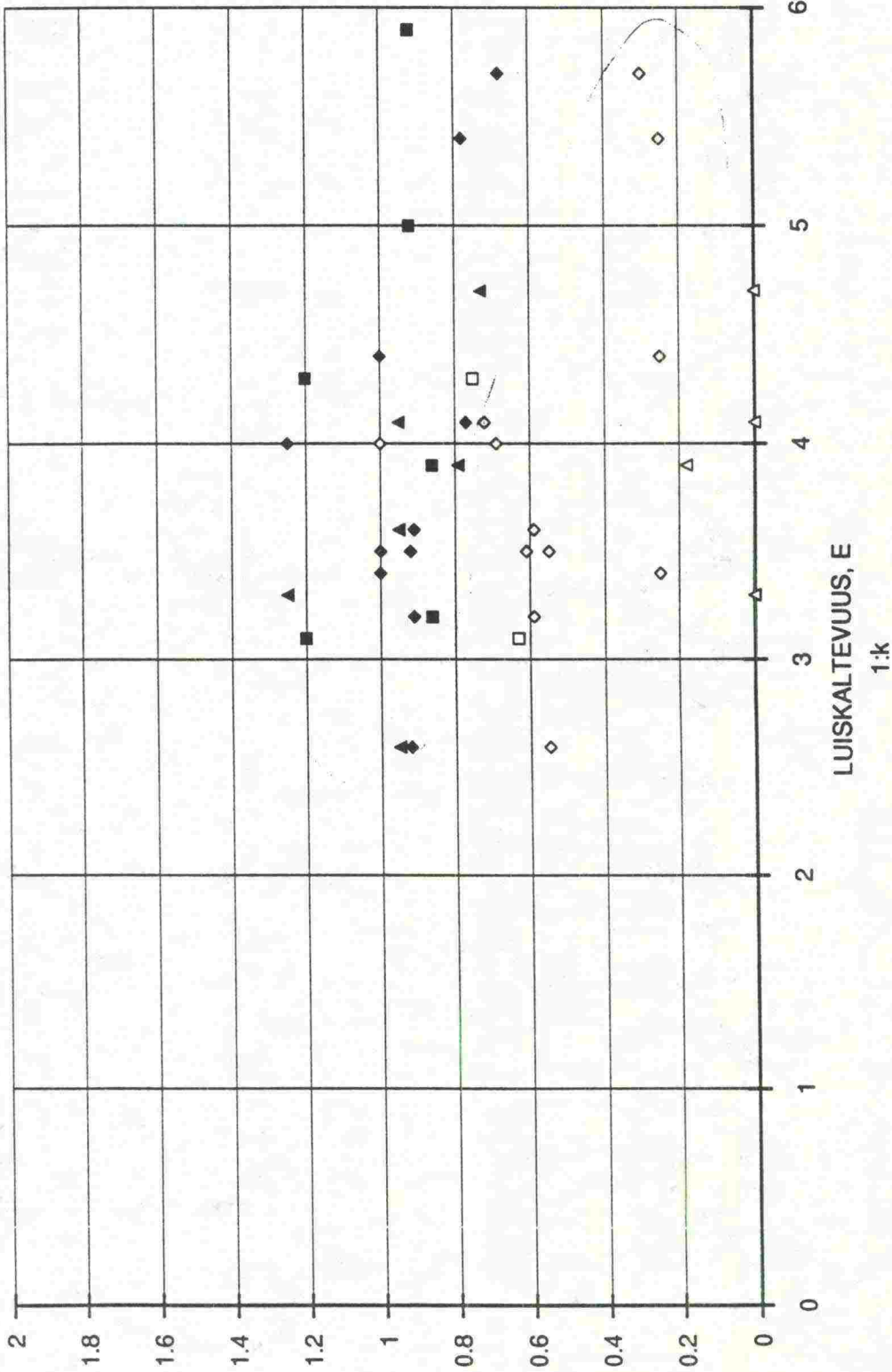
ROUDAN SYVYYSERO, T
KESKI - REUNA, H - I mm



- B<0,7 m v. -91
- ◆ B~1 m
- ▲ B~1,7 m
- ◻ B<0,7 m v. -89
- ◇ B~1 m
- △ B~1,7 m

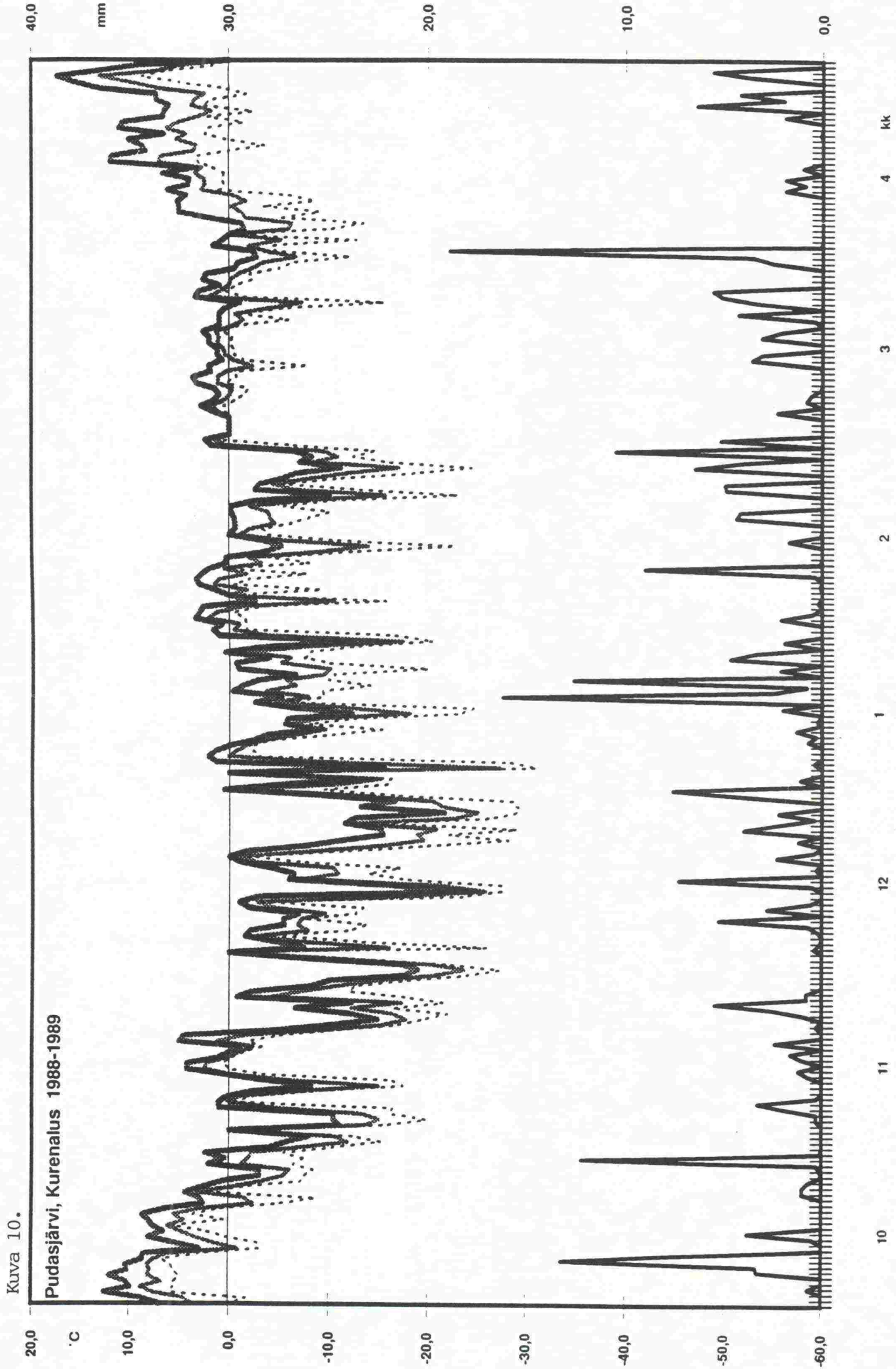
Kuva 8. Tässä kuvassa luiskien loiventamisella 1:2,5:stä loivermaksi ei näytä olevan vaikutusta roudan syvyyseroon tien keskilinjan ja reunan välillä.

ROUDAN SYVYSSUHDE, U
REUNAKESKI, I/H

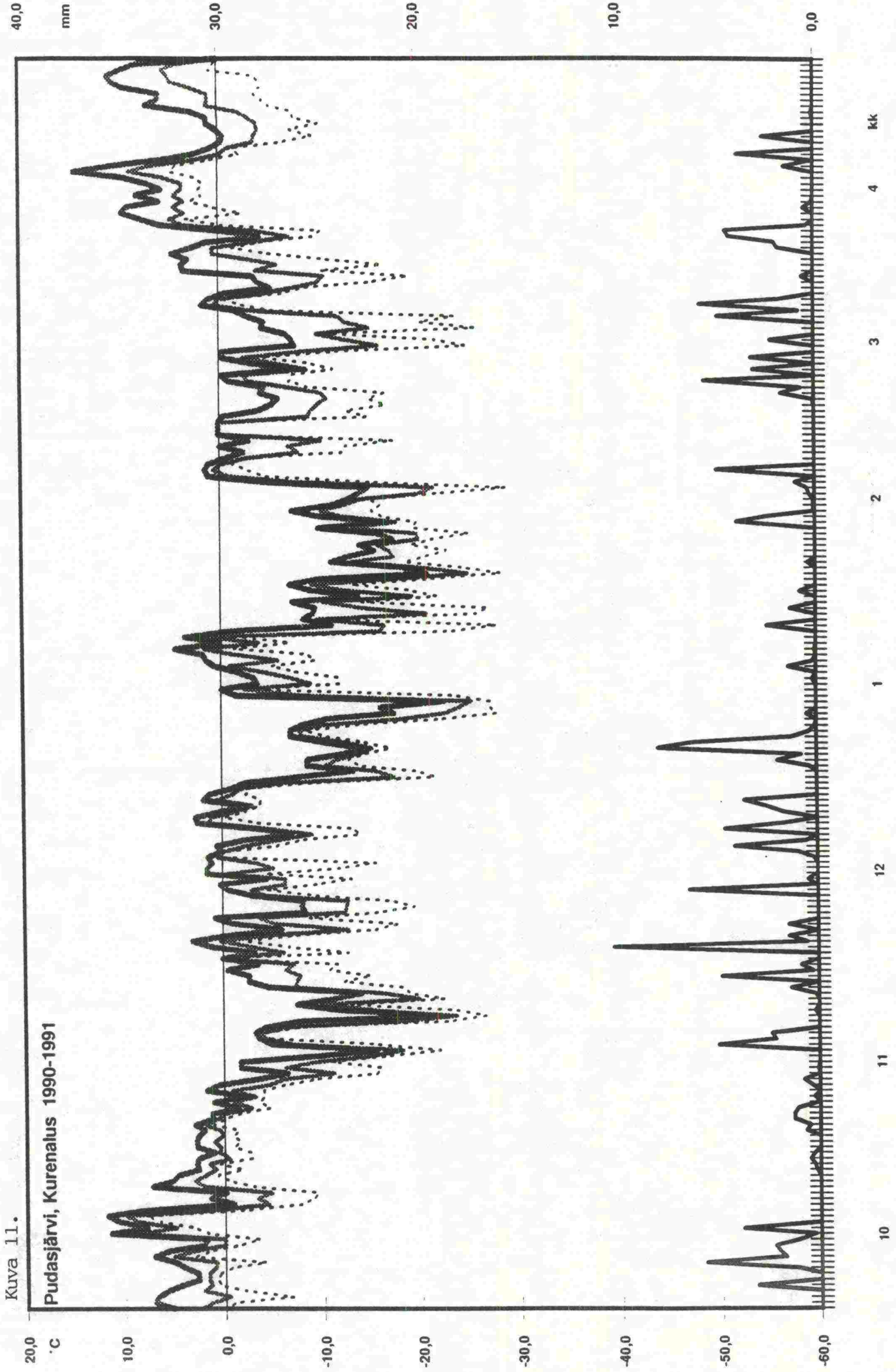


Kuva 9. Pituushalkeamien välttämiseksi roudan syvyyssuhteen tulisi olla lähellä arvoa 1. Loivista luiskista ei näytä olevan hyötyä roudan syvyyden tasoittamisessa. Leutona talvena -89 suhteelliset erot ovat suurimmat.

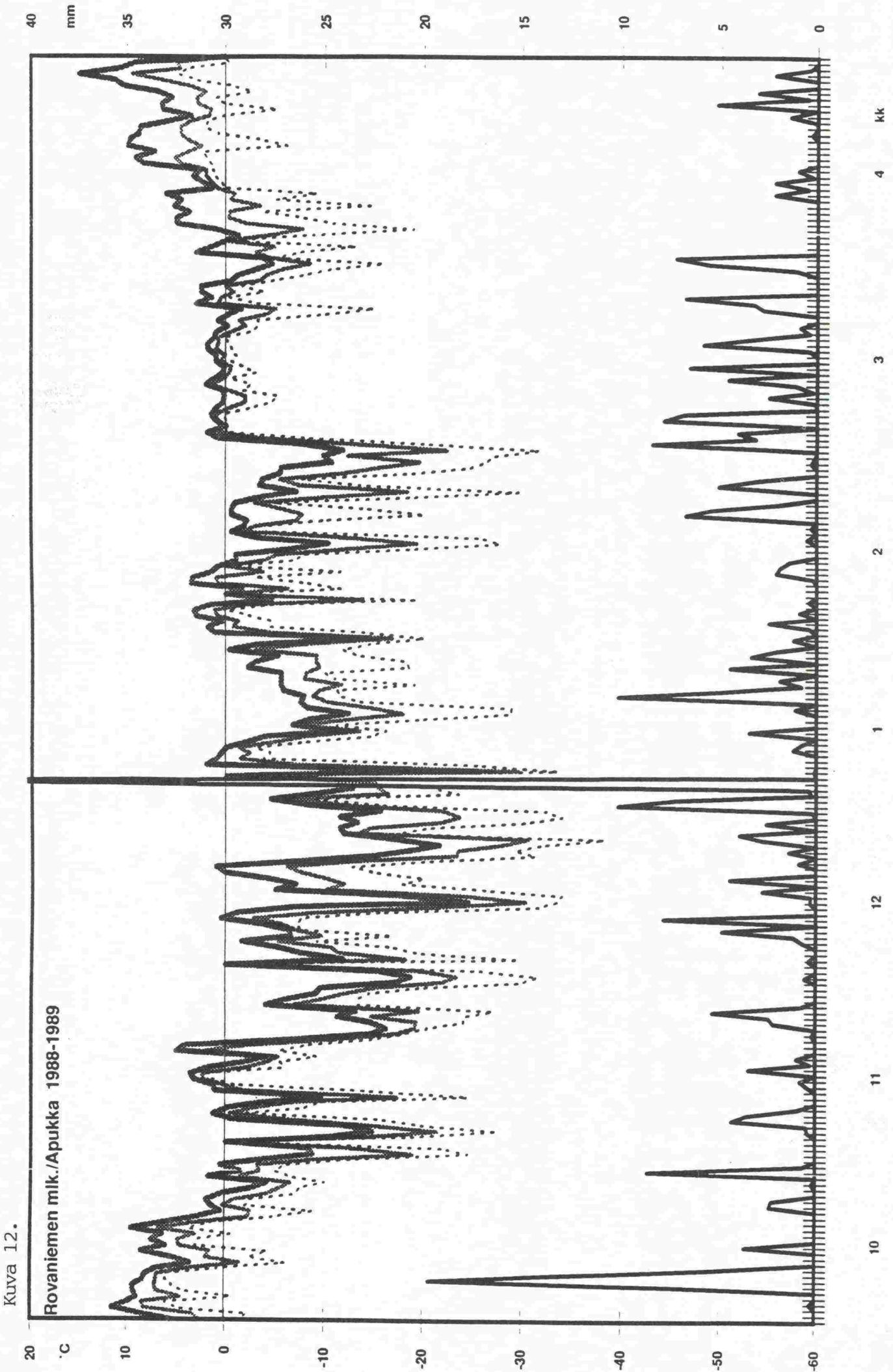
— KESKILÄMPÖTILA — YLIN LÄMPÖTILA ······ ALIN LÄMPÖTILA — SADEMAÄRÄ



----- KESKILÄMPÖTILA ——— YLIN LÄMPÖTILA - - - - - ALIN LÄMPÖTILA ——— SADEMAÄRÄ



KESKILÄMPÖTILA
 YLIN LÄMPÖTILA
 ALIN LÄMPÖTILA
 SADEMAÄRÄ



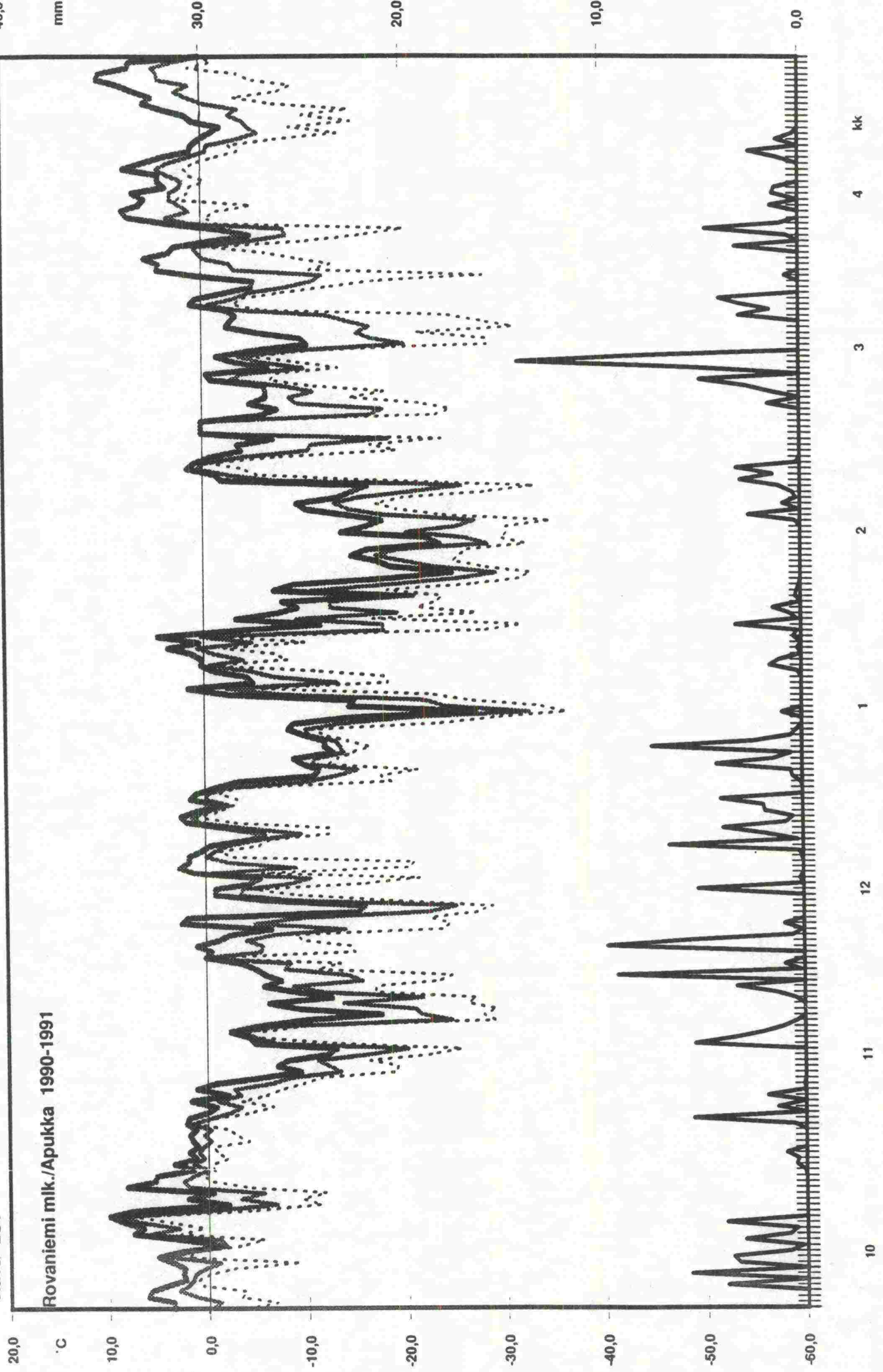
Kuva 12.

Rovaniemen mlk./Apukka 1988-1989

10 11 12 1 2 3 4 kk

— KESKILÄMPÖTILA — YLIN LÄMPÖTILA - - - - - ALIN LÄMPÖTILA — SADEMAÄRÄ

Kuva 13. Rovaniemi mlk./Apukka 1990-1991



TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 18/1992 Tielaitoksen henkilöstö 1991. Henkilöstöhallinto
- 19/1992 Muovisten putkien ja kaivojen asennusohje. TIEL 4000015
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö.
Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 21/1992 Tasoliittymän rakentaminen eritasoliittymäksi ja lossin korvaaminen
sillalla. Tiensuunnittelu
- 22/1992 Suurien ja raskaiden esineiden kuljetusten suoritusmahdollisuudet
eri kuljetusmuodoilla, yhdistetyt kuljetukset. Tutkimuskeskus
- 23/1992 Liikenne- ja autokantaennuste 11989-2010; ennusteen seuranta 1992,
ennusteen tarkistaminen 1992. Tutkimuskeskus
- 24/1992 Talvisuolan esikosteitus; konstit on monet. Tampereen tuotantotekninen
kehitysyksikkö
- 25/1992 Suunnittelun ja rakentamisen teknisen henkilöstön täydennyskoulutuksen
tarveselvitys. Henkilöstöhallinto
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rakennekerroksissa, esiselvitys.
Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 27/1992 Tulohajauksen tietoaaineisto. TIEL 4000016
- 28/1992 Tiehallituksen tavoitteet 1992. Hallintopalvelut
- 29/1992 Liuosasemien materiaalit; pinnoitettu, ruostumaton ja haponkestävä
teräs. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 30/1992 Kolme päivystyskeskusta: Lieto, Nyköping ja Tukholma. Tampereen
tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 31/1992 Autojen nopeudet pääteillä 1991. TIEL 4001836-92
- 32/1992 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II; Prosessikipsin ja
biotiitin materiaalitutkimukset. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 33/1992 Ympäristöosaaminen tielaitoksessa. Kehittämiskeskus
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Kalliokohdetutkimus. TIEL 4000003
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa I; routanousun
vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. TIEL 4000004
- 22/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa II; tien rakenne- ja
olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin. TIEL 4000005
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa III, elävät pituus-
halkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa.
TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Kuivatustutkimus osa I sekä roudan
syvyshavainnot. TIEL 4000018