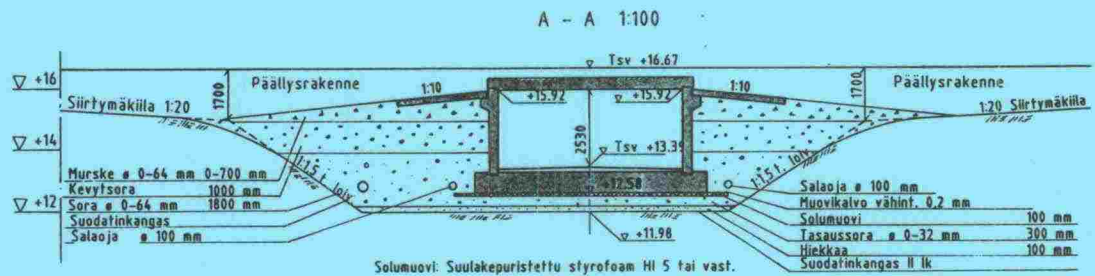
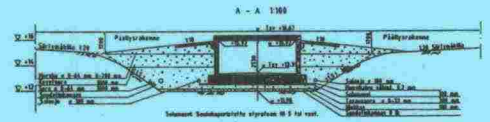
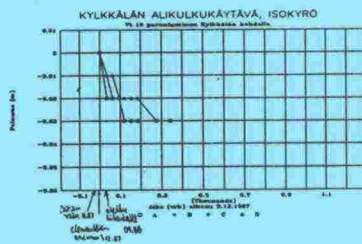


# Saven varaan perustetut alikulukäytävät

1/19 Kytkäille alkukäyttövai-  
Vaanon tiepiiri

Dr- VMP	Pölypitoisuus %	Massa kg	Lipitty-% 0,002	Tilavuus %	Vesipitoisuus Höyryosuus %	Huuma %	Ohjattu lämpöarvo $\rho_{s,0} \cdot C_{p,0} \cdot \rho_{s,0} \cdot \rho_{s,0}$	Sorottavuus $S_r$	Pyyntövoima $\sigma_{s,0} - \sigma_{s,0}$	Moduuliluku $m_1$	Jäykkyys $\sigma_1$	Moduuliluku $m_{mod} \cdot m_{mod} \cdot m_{mod}$	Korostuskerroin $C_{s,0}$	Ladittisuus %
1	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
2	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
3	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
4	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
5	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
6	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
7	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
8	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
9	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
10	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
11	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
12	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
13	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
14	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
15	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
16	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
17	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
18	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
19	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0
20	0	0	20	40	0,002	25,00	75	15	20	80	100	2	4	0



Tiehallituksen  
sisäisiä  
julkaisuja  
44/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus  
Geopalvelukeskus

08 TIEL



**Tielaitos**  
Kirjasto

Doknro: 931037  
Nidenro: 931386

Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja  
44/1992

Jorma Immonen

**Saven varaan perustetut  
alikulukäytävät**

**Tielaitos**  
Tiehallitus, geopalvelukeskus

Helsinki 1992

Painatuskeskus Oy  
Helsinki 1993

Julkaisua saatavana:  
Tielaitos, geokeskus

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

**IMMONEN, Jorma: Saven varaan perustetut alikulkukäytävät.** Helsinki 1992, Tielaitos, geopalvelukeskus. Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 44/1992, 104 s. + liitt. 19 s.

**Asiasanat** Alikulkukäytävät, perustukset, kevennykset, routasuojaus, kuivatus, geotekniset laskelmat, painumat

## **Tiivistelmä**

Tässä työssä on kartoitettu saven varaan perustettujen alikulkukäytävien pohjarakenteita ja niiden suunnittelua. Rakenteiden toimivuuden arvioimiseksi on kohteista kerätty painumatietoja.

Työn kuluessa on koottu suunnitteluaineistoa lähinnä tielaitoksen siltakohteista. Vertailuaineistoa on saatu myös Helsingin, Vantaan ja Turun kaupungeilta. Suunnitteluaineisto on koottu yhteenvetolomakkeille, joissa on tiedot siltapaikkojen pohjasuhteista, sillan rakenteesta ja mahdollisista painumahavainnoista.

Työ liittyy läheisesti kesällä -87 valmistuneiden Someron ohikulkutien alikulkukäytävien geotekniseen suunnitteluun. Aluksi työssä käsitellään lyhyesti alikulkukäytävän teknisiä vaatimuksia. Tämän jälkeen tarkastellaan tielaitoksen vuosina 1981-1991 rakennettujen saven varaisten alikulkukäytävien pohjasuhteita, kuivatus- ja routasuojausrakenteita sekä tulopenkereiden rakenteita. Aineistossa on mukana myös kaksi risteyssiltaa. Rakenteiden toimivuudesta on seurantatietoina käytettävissä ollut ainoastaan rakentamisen aikana ja sen jälkeen tehdyt painumahavainnot. Kaikki käsiteltävät sillat ovat betonisia siltoja, aallotettuja teräsputkia ei ole otettu tarkasteluun mukaan.

Tämän jälkeen käsitellään saven varaan perustettavan alikulkukäytävän geoteknistä suunnittelua, samassa yhteydessä esitellään Someron ohikulkutien saven varaan perustettujen alikulkukäytävien geoteknisiä laskelmia. Pääpaino geoteknisessä mitoituksessa on asetettu painumien arvioimiseen. Kohteen esittely lopetetaan painumahavainnotien ja suunnitteluvaiheessa arvioitujen painumien vertailuun. Lopuksi tarkastellaan muiden tienpitäjien saven varaan perustettuja alikulkukäytäviä.

## Abstract

The purpose of this work has been to collect data and information about underpasses founded on soft clay and also to study design of groundwork structures. Observations of settlements have also been collected.

During this work example projects were collected primarily from Finnish National Road Administration, FinnRa. Material from Helsinki, Vantaa and Turku towns was also received. Data from ground conditions, bridge and ground structures and settlement observations have been collected to uniform summary forms.

This work is associated closely with geotechnical design of Somero underpasses, which were built in 1987. At first technical requirements of underpass have been briefly dealt with. After that there has been made studies of 19 FinnRa's bridges on soft soil constructed in 1981–1991, two of bridges are cross bridges. Ground conditions, drainage structures, frost protection structures and bridge approach structures have been studied closely. Settlement observations have been done under construction time and a couple years after that. All bridges are made of steel concrete.

Geotechnical design and calculations of Somero underpasses have been introduced. Primary importance in geotechnical design has been attached to settlement calculations. Introduction of Somero underpasses is completed by comparing the estimated and measured settlements. In the end of this work underpasses made by others than FinnRa have been studied.

## **Alkusanat**

Tämä diplomityö on tehty tiehallituksen geopalvelukeskuksessa.

Työn tarkastajina ovat toimineet professori Jorma Hartikainen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta ja diplomi-insinööri Aarno Valkeisenmäki tiehallituksen geopalvelukeskuksesta, joista jälkimmäinen on toiminut myös työn ohjaajana.

Helsinki 1992

*Geopalvelukeskus*

## Sisältö

1	JOHDANTO	9
<hr/>		
2	ALIKULKUKÄYTÄVÄN TEKNISET VAATIMUKSET	10
<hr/>		
2.1	Alikulkukäytävän toiminta liikenneväylän osana	10
2.2	Sallitut painumat ja painumaerot	11
3	TUTKITUT SAVEN VARAAN PERUSTETUT ALIKULKUKÄYTÄVÄT	13
<hr/>		
3.1	Kohteet	13
3.2	Pohjasuhteet	15
3.2.1	Pohjatutkimukset	15
3.2.2	Luokitus-, lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet	17
3.3	Rakenneratkaisut	19
3.3.1	Siltatyypit	19
3.3.2	Siltojen peruslaatan alapuoliset rakenteet ja routasuojaus	20
3.3.3	Tulopenkereiden liittyminen siltarakenteeseen	22
3.3.4	Kuivatus	27
3.4	Painumahavainnot	30
4	SAVEN VARAAN PERUSTETTUIEN ALIKULKUKÄYTTÄVIEN GEOTEKNINEN MITOITUS; SOMERON ALIKULKUKÄYTÄVÄT	32
<hr/>		
4.1	Alikulkukäytävien sijainti sekä siltatyyppin ja perustamistavan valinta	32
4.1.1	Sijainti	32
4.1.2	Alustavat siltatyyppiehdotukset sekä suunnittelun kulku	33
4.2	Pohjatutkimukset ja pohjasuhteet	34
4.3	Kantavuuden arvioiminen	37
4.3.1	Kantokyvyn laskeminen	37
4.3.2	Painuman laskeminen	39
4.3.2.1	Jännitykset painuman laskennassa	41
4.3.2.2	Alkupainuman laskeminen	49
4.3.2.3	Primaarisen konsolidaatiopainuman laskeminen	59
4.3.2.4	Sekundaaripainuman laskeminen	67



	7
4.4 Vakavuustarkastelu	68
4.5 Routasuojusrakenteet	69
4.6 Kuivatusrakenteet	70
4.7 Alikulkukäytävien rakenneratkaisut ja painumatulokset	72
<b>5 MUUT SAVEN VARAAN PERUSTETUT ALIKULKUKÄYTÄVÄT</b>	<b>86</b>
<hr/>	
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>97</b>
<hr/>	
<b>KIRJALLISUUSLUETTELO</b>	<b>100</b>
<hr/>	
<b>LIITELUETTELO</b>	<b>104</b>
<hr/>	

## 1 JOHDANTO

Pehmeiköillä sijaitsevat sillat on perinteisesti rakennettu massanvaihdon tai paalutuksen varaan. Painumattomaksi suunnitellun sillan ja painuvan tien välille on suunniteltu siirtymärakenne, jona useimmin on käytetty paalutusta ja kevennystä.

Raskaita ja kalliita sillan perustusrakenteita ja siirtymärakenteita on voitu keventää sallimalla myös sillan painua. Kokoonpuristuvilla pohjamailla on aallotettua teräsputkea käytetty alikulkukäytävänä ja vesistösiltaan, koska se keveytensä takia rasittaa pohjamaata vähemmän kuin teräsbetoninen rakenne ja taipuisuutensa ansiosta kestää hyvin painumia. Teräsbetonisten siltojen perustaminen hienorakeiselle pohjamaalle on sen sijaan ollut hyvin harvinaista. Alikulkukäytävien perustaminen saven varaan on tullut kysymykseen lähinnä vain silloin, kun maaperän on varmuudella tiedetty olevan hyvin vähän kokoonpuristuvaa ja sillan sekä siihen liittyvien penkereiden painumien on arvioitu muodustuvan hyvin pieniksi. Tavallisesti tällainen tilanne on ollut esimerkiksi silloin, kun alikulkukäytävä on rakennettu vanhan tiepenkereen kohdalle.

Tässä työssä käsitellään saven varaan perustettavien alikulkukäytävien geoteknistä suunnittelua. Työ liittyy läheisesti Someron alikulkukäytävien geotekniseen suunnitteluun, joka tehtiin vuonna 1986 tie- ja vesirakennushallituksen maatumkimustoimistossa. Saven varaan perustettujen alikulkukäytävien käyttäytymisestä oli saatu kokemuksia mittaamalla kahden Turun piirin elementtirakenteisen alikulkukäytävän painumia, joten oikealla siltaratkaisulla ja siirtymärakenteilla tiedettiin myös Someron alikulkukäytävien painumiin pystyttävän varautumaan. Edullisuusvertailussa saatiin maanvarainen perustamistapa selvästi edullisimmaksi, joten esisuunnitteluvaiheessa perustamistavaksi valittu paaluperustus vaihdettiin maanvaraisperustukseksi.

Työn tavoitteena on koota tietoa tielaitoksen saven varaan perustettujen alikulkukäytävien pohjasuhteista, erilaisista pohjarakenteista ja mitatuista painumista. Geoteknisen mitoituksen osalta on tavoitteena selvittää lähinnä painumalaskentaa, lisäksi vertaillaan pohjasuhdetietojen perusteella laskettuja painuma-arvioita mitattuihin painumiin.

## 2 ALIKULKUKÄYTTÄVÄN TEKNISET VAATIMUKSET

Sillat nimitetään käyttötarkoituksen mukaan. Alikäytävä on jalankulku-, polkupyörä- tms. kevyttä liikennettä varten tien tai rautatien alitse tehty silta; tällaisesta tiestä alittavasta sillasta käytetään myös nimitystä alikulkukäytävä /23/. Alikulkukäytävä voi palvella myös pienimuotoista paikallista liikennettä, kuten kevyitä ajoneuvoja, maatalouskoneita tai karjaa /17/.

### 2.1 Alikulkukäytävän toiminta liikenneväylän osana

Alikulkukäytävä palvelee sitä käyttävää liikennettä ja alikulkukäytävän tulee sopeutua sekä alittavan että ylittävän liikenneväylän geometriaan /23/.

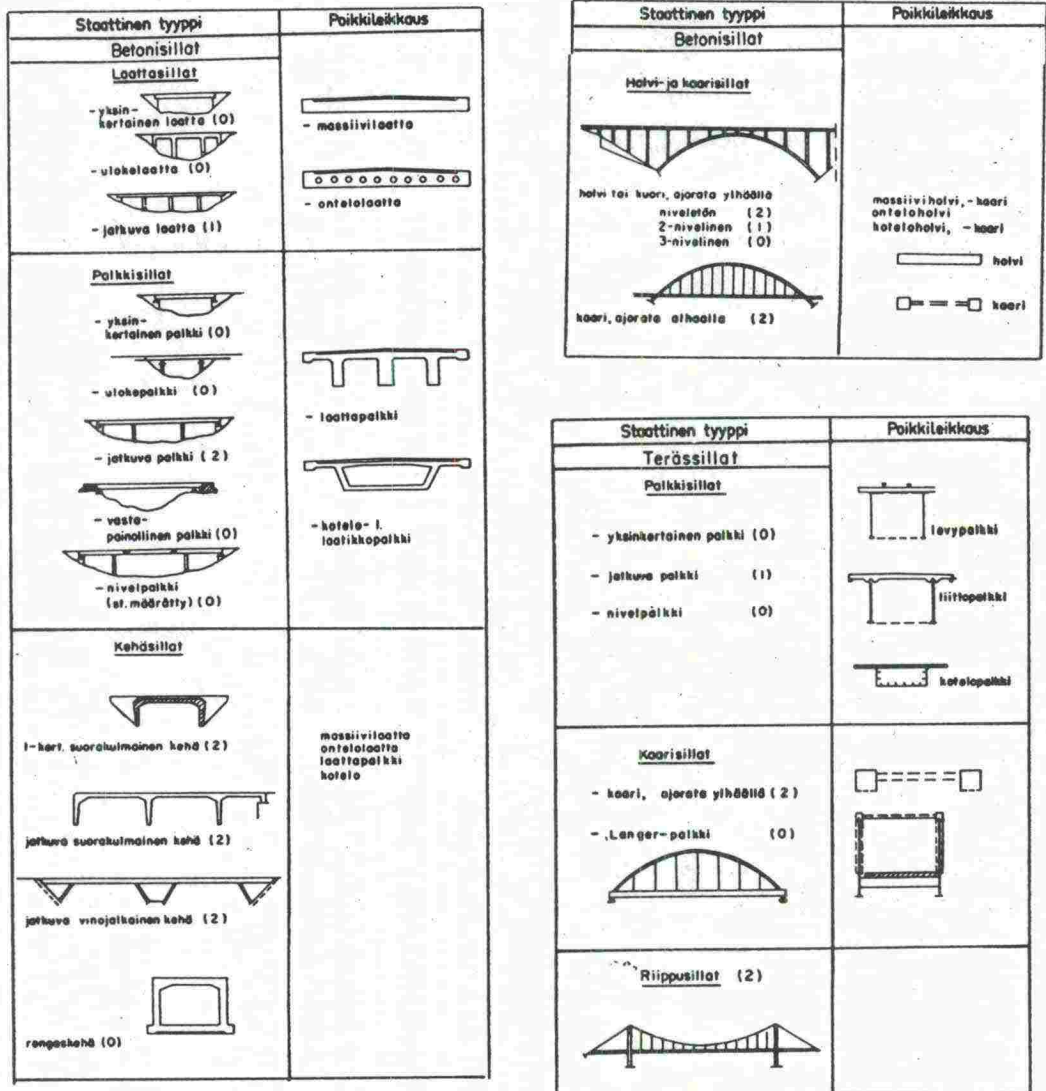
Alikulkukäytävän mitoituskorkeudeksi riittää jalankulkijoiden ja polkupyöräilijöiden kannalta 2,40 m. Kunnossapitokaluston vaatima korkeus huomioon ottaen ei yleensä ole tarvetta rakentaa suurempaa alikulkukorkeutta kuin 2,90 m. Erityisistä syistä voidaan alikulkukorkeutena käyttää alle 2,90 metrin korkeutta. Pienempi korkeus on perusteltu mm., jos pohjaveden alentaminen aiheuttaa suuria lisäkustannuksia ja painumia, tai maa-alueen lunastus on kohtuuttoman kallista. Tällöin kunnossapitokoneena on käytettävä riittävän matalaa työkonetta /15/.

Kohtuullisilla korkeuksilla saadaan alittavan väylän käyttäjille sekä kunnossapitäjille miellyttävät pituuskaltevuudet. Ylälaatan ohentaminen pienentää alittavan väylän pituuskaltevuutta. Rakentamisen aikainen kaivanto saadaan matalaksi mahdollisimman pienellä käytävärakenteen kokonaiskorkeudella /15/.

Ylikorkeat alikulkukäytävät hankaloittavat myös koko risteysalueen yläpuolista ajoneuvoliikennettä. Näkemät huonontuvat ja luiskista tulee korkeita ja vaarallisia /15/.

## 2.2 Sallitut painumat ja painumaerot

Syvälle pehmeikölle maanvaraisesti perustetut alikulkukäytävät, joilla perustamisolosuhteet laatan eri osissa ja molempien tulopenkereiden kohdilla ovat tasalaatuiset, painuvat tasaisesti, vrt. liitteen 1 painumahavainnot. Tulopenkereistä johtuvat lisäjännitykset, esikuormituksen vaihtelut rakennuspaikalla, työnaikainen pohjamaan häiriintyminen sekä muut virheet kaivu- ja täyttötöissä voivat aiheuttaa homogeenisillakin pohjamailla epätasaisia painumia. Kuvassa 1 on esitetty eri siltatyypin arkuus painumille. Alikulkukäytävänä yleisesti käytetyt rengaskehä sekä yksinkertainen laatta eivät ole arkoja epätasaisille painumille.



Kuva 1. Eri siltatyypin arkuus epätasaisille painumille /10/.

Päätypenkereen ja sillan välillä käytetään siirtymärakenteena siirtymäläaattaa. Kokoonpuristuvilla maapohjilla tulopenkereiden painumia pienennetään tai painumat estetään kokonaan perustamalla penkereet kovaan pohjaan, keventämällä penkereitä tai vahvistamalla kokoonpuristuvia kerroksia esirakentamalla. Kovaan pohjaan perustaminen voidaan tehdä paaluilla joko paaluhattuja tai paalulaattaa käyttäen. Matalilla pehmeiköillä voidaan tehdä massanvaihto. Esirakentamisen menetelmistä voi kyseeseen tulla esimerkiksi pystyjoitus tai syvästabilointi yhdessä esikuormituksen kanssa. Pohjamaan lisäjännityksiä voidaan pienentää keventämällä tulopenkereitä.

Alittavan väylän ajomukavuutta häiritseviä siirtymärakenteista johtuvia virheitä ilmenee varsin usein. Ohuesta päällysrakennepaksuudesta johtuen routavauriot ovat yleisiä, lisäksi varsinaisen siltarakenteen ulkopuolella sijaitsevat pintakuivatukseen liittyvät rummut ja putkijohdot aiheuttavat routa- ja painumavaurioiden takia epätasaisuutta ja pintavesien kerääntymistä ajoväylille. Pohjaveteen liuennut rauta aiheuttaa kuivatusrakenteisiin saostuessaan salaojien tukkeutumista /33/.

Taulukossa 1 on esitetty suuntaa-antavia sallittujen painumien ja routanousujen arvoja tien toiminnallisen luokan mukaan.

Taulukko 1. Sallittujen painumien ja routanousujen suuntaa-antavia arvoja /10, 21, 32/.

	Sallittu pituuskalte- vuuden muutos ‰	Sallittu kokonais- painuma (cm)	Sallittu routa- nousu (cm)
Moottoriväylät	4...6	20...30/150 m	4... 7
Valta- ja kantatiet	5...8	20...30/100 m	5...10
Seudulliset tiet	7...11	20...30/ 50 m	
		50...70/150 m	8...20
Kokoojatiet	9...16	50...70/100 m	15...30
Yhdystiet (vähä- liikenteiset tiet)	15...	70...	20...

### 3 TUTKITUT SAVEN VARAAN PERUSTETUT ALIKULKUKÄYTÄVÄT

#### 3.1 Kohteet

Tässä työssä käsitellyt kohteet on esitetty taulukossa 2. Kohteet on saatu tiehallituksen geopalvelukeskuksen ja tiepiirien geoinfotietokantoilta sekä tiepiirien siltainfotietokantoilta kyselemällä. Aineistoon ei ole pystytty keräämään tielaitoksen kaikkien saven varaan perustettujen alikulkukäytävien tietoja, koska tielaitoksessa ylläpidettävissä siltarekistereissä ei maanvaraisperustuksien osalta ole eritelty pohjamaan laatua. Taulukon tiedot on koottu tiehallituksen siltarekisteristä ja siltasuunnitelmista. Siltojen järjestys taulukossa määräytyy siltanumeron mukaan.

Taulukko 2. Työssä käsitellyt kohteet. Mukaan on otettu kaksi risteyssiltaa.

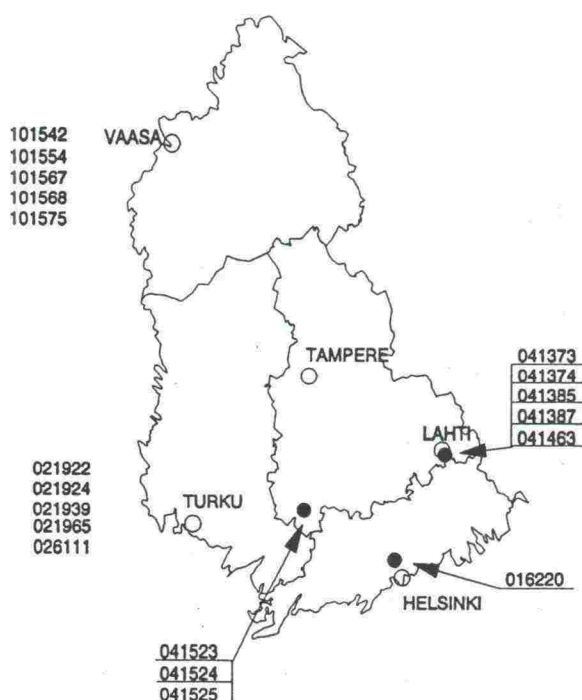
SILTA- NRO <sup>1</sup>	SILLAN NIMI <sup>2</sup>	PAIKKA- KUNTA	TIE- NRO <sup>3</sup>	TIE- OSA <sup>3</sup>	VALM. VUOSI
016220	OJAMÄEN RS	NURMIJÄRVI	3		1991
021922	JOENSUUN AKK	HALIKKO	1	025	1983
021924	RANTATIEN AKK	PARAINEN	180	003	1983
021939	VEHON AKK	RAISIO	40	002	1985
021965	TÖRNINTIEN AKK	HALIKKO	224	001	1985
026111	PIETILÄN AKK	PIIKKIÖ	40	006	1987
041373	LEPOMÄEN RS	LAHTI	991	021	1981
041374	METSÄPEKKALAN AKK	LAHTI	991	021	1981
041385	KYLÄKUNNANTIEN AKK	LAHTI	991	021	1982
041387	PIPON AKK	LAHTI	991	021	1982
041463	HAKALAN AKK	HOLLOLA	4	119	1984
041523	HEIKINTIEN AKK	SOMERO	280	010	1987
041524	RUUNALAN AKK	SOMERO	280	010	1987
041525	ORASMAAN AKK	SOMERO	280	010	1987
101542	ILMAJOEN KK:N AKK	ILMAJOKI	700	002	1985
101554	ILOMÄEN AKK	ILMAJOKI	3	239	1986
101567	VÖYRIN AKK	VÖYRI	725	005	1987
101568	HULMIN AKK	LAIHIA	3	247	1987
101575	KYLKKÄLÄN AKK	ISOKYRÖ	16	003	1988

<sup>1</sup> Tielaitoksen siltarekisterin siltanumero, kahdesta ensimmäisestä numerosta ilmenee tiepiiri: 01 = Uusimaa, 02 = Turku, 04 = Häme, 10 = Vaasa.

<sup>2</sup> AKK = alikulkukäytävä, RS = risteyssilta.

<sup>3</sup> Tielaitoksen tierekisterin mukainen tie- ja tieosanumero.

Kohteiden sijainti selviää kuvasta 2. Heikintien, Ruunalan ja Orasmaan alikulkukäytävät Somerolla kuuluvat alueliitoksen johdosta nykyään Turun tiepiiriin.



Kuva 2. Työssä käsiteltyjen saven varaan perustettujen alikulkukäytävien sijainti.

Taulukko 3. Siltojen liittyminen tienrakennus- tai tienparannushankkeisiin.

SILLAN NIMI	HANKE
OJAMÄEN RS	VALTATIEN 3 RAKENTAMINEN MOOTTORITIENÄ VÄLILLÄ KEIMOLA – KARHUNKORPI
JOENSUUN AKK	VALTATIEN 1 PARANTAMINEN VÄLILLÄ IILIKENMÄKI – MYLLYMÄKI
RANTATIEN AKK	MAANTIE 180 VÄLILLÄ ERSBY – KIRJALA
VEHON AKK	KANTATIEN 40 PARANTAMINEN VÄLILLÄ RAISION ERITASOLIITTYMÄ – ALLASTIE
TÖRNINTIEN AKK	MAANTIEN 224 PARANTAMINEN VÄLILLÄ HALIKKO – MÄRY
PIETILÄN AKK	KANTATIEN 40 PARANTAMINEN VÄLILLÄ KAUSELA – MAKARLA
LEPOMÄEN RS	LAHDEN OHIKULKUTIE, URAKKAOSA I (VILJANIEMI – NIKKILÄ)
METSÄPEKKALAN AKK	LAHDEN OHIKULKUTIE, URAKKAOSA I (NIKKILÄ – AHTIALA)
KYLÄKUNNANTIEN AKK	LAHDEN OHIKULKUTIE, URAKKAOSA I (VILJANIEMI – NIKKILÄ)
PIPON AKK	LAHDEN OHIKULKUTIE, URAKKAOSA I (NIKKILÄ – AHTIALA)
HAKALAN AKK	LAHDEN OHIKULKUTIE, URAKKAOSA I (VILJANIEMI – NIKKILÄ)
HEIKINTIEN AKK	MAANTIEN 280 PARANT. VÄLILLÄ LAMMINNUMMI – PIKKU-JOENSUU
RUUNALAN AKK	MAANTIEN 280 PARANT. VÄLILLÄ LAMMINNUMMI – PIKKU-JOENSUU
ORASMAAN AKK	MAANTIEN 280 PARANT. VÄLILLÄ LAMMINNUMMI – PIKKU-JOENSUU
ILMAJOEN KK:N AKK	ILMAJOEN KK LIITTYMÄN KANAVOINTI
ILOMÄEN AKK	VALTATIEN 3 PARANTAMINEN HUISSIN KOHDALLA
VÖYRIN AKK	VÖYRIN – TUURALAN MT 721 JA VÖYRIN – KAITSORIN MT 729 PARANTAMINEN VÖYRIN KESKUSTASSA
HULMIN AKK	VALTATIEN 3 PARANTAMINEN VÄLILLÄ HULMI – RUTO
KYLKKÄLÄN AKK	VALTATIEN 16 PARANTAMINEN KYLKKÄLÄN KOHDALLA

Siltojen liittyminen tienparannus- tai tienrakennushankkeisiin selviää taulukosta 2. Uusien väylien rakentamisen yhteydessä on saven varaan perustettu aineiston silloista Lahden ohikulkutiellä neljä alikulkukäytävää ja yksi risteyssilta, Someron keskustan tiejärjestelyjen yhteydessä kolme alikulkukäytävää sekä valtatiellä 3 moottoritien allttava risteyssilta. Lahden ohikulkutien sillat sijaitsevat 5,68 km matkalla ja Someron alikulkukäytävät 0,89 km matkalla. Näitä siltakohteita käsitellään myöhemmin tässä tekstissä rakentamiskohteina. Turun ja Vaasan tiepiirien kohteet ovat vanhan tien parantamiseen liittyviä siltoja, jotka on rakennettu jo olemassa olevien teiden alle. Näistä siltakohteista käytetään parantamiskohde-nimitystä.

Rakentamiskohteissa on Lahden ohikulkutiellä sijaitsevat Kyläkunnantien ja Pipon alikulkukäytävät perustettu esikuormitetun perusmaan varaan, Lepomäen risteyssilta ja Metsäpekkalan sekä Hakalan alikulkukäytävät rakentamattomalle pohjalle. Moottoritien alitse johtava Ojamäen risteyssilta on perustettu myös aiemmin rakentamattomalle pohjalle. Someron kolmessa kohteessa on Heikintien alikulkukäytävä rakennettu lähes luonnollisen maanpinnan tasolla olleen vanhan kadun kohdalle, muut kaksi sijaitsevat aiemmin rakentamattomalla peltomaalla.

Parantamiskohteiden kaikki alikulkukäytävät on perustettu vanhan tiepenkereen kohdalle.

## **3.2 Pohjasuhteet**

Kohteiden pohjasuhteet on esitetty liitteen 1 yhteenvetolomakkeissa. Kunkin sillan pohjatutkimuksista on valittu lomakkeelle edustavimmat tulokset painokairauksista, siipikairauksista sekä häiriintymättömistä ja häiriintyneistä näytesarjoista tehdyistä laboratorionkokeista. Sekä kairaus- että laboratoriotiedot on yhtenäisyyden vuoksi esitetty tutkimuspisteistä, jotka sijaitsevat mahdollisen vanhan tiepenkereen ulkopuolella. Laboratoriotulokset ovat yhdestä pisteestä otetun näytesarjan tuloksia, eri tutkimuspisteitten tuloksia ei ole yhdistelty.

### **3.2.1 Pohjatutkimukset**

#### **Parantamiskohteet**

Kaikilta siltapaikoilta on tehty painokairauksia sekä otettu ainakin häiriintynyt näytesarja. Painokairauksia on tehty parantamiskohteissa vähintään yhdestä pisteestä alitettavan tien molemmin puolin. Usealla parantamiskohteen siltapaikalla on paino-



kairattu vähintään neljässä pisteessä, jolloin kaikki pisteet sijaitsevat yleensä alittavan väylän pituusleikkauksen suunnassa, osa kairauksista on saatettu tehdä suunnilleen peruslaatan nurkkapisteiden kohdilla. Siipikairauksia on tehty parantamiskohteissa Törnintien ja Pietilän alikulkukäytäviä lukuun ottamatta kaikilla muilla siltapaikoilla vähintään yhdessä, useimmiten kahdessa pisteessä. Pisteet sijaitsevat yleensä tiepenkerein ulkopuolella sivuojan kohdalla tai ojan ulkopuolella, tiepenkerein alta ei ole tehty siipikairauksia.

Monista parantamiskohteista on otettu ensin maanpinnasta kovaan pohjaan ulottuva häiriintynyt näytesarja, myöhemmässä suunnitteluvaiheessa on otettu 2–3 näytteen häiriintymätön näytesarja aivan perustamistason alapuolelta. Näytteet on otettu yleensä tiepenkerein ulkopuolelta, vain kahdella siltapaikalla on häiriintymätön näytesarja otettu sekä tiepenkerein ulkopuolelta että tiepenkerein alta.

Parantamiskohteissa on pohjaveden pinta määritetty pohjavedenhavaintoputkista vain yhdessä kohteessa. Muiden kohteiden pohjaveden pinta on liitteeseen 1 arvioitu kairaustuloksista.

### **Rakentamiskohteet**

Kohteet, joihin liittyy myös ylittävän väylän rakentaminen, ovat tarkemmin suunniteltuja kuin parantamiskohteet, niinpä myös pohjatutkimukset ovat täydellisempiä.

Lahden ohikulkutien siltapaikoilla on painokairauksia tehty yleensä 10 x 10 ruutuun, lisäksi alittavan väylän keskilinjalta on tehty lisäkairauksia. Yhteensä painokairauksia on n. 50 metrin säteeltä sillasta tehty n. 20–30 kappaletta. Siipikairauksia on tehty 2–4 pisteessä. Kaikilta siltapaikoilta on otettu maanäytteitä, vain yhdeltä siltapaikalta on otettu pelkästään häiriintynyt näytesarja. Pohjavesi on yhtä kohdetta lukuunottamatta havaittu siltapaikalle asennetusta pohjavesiputkesta, yhdessä paikassa havainnot on tehty läheisestä kaivosta. Pohjavedenmittausputkien siiviläosan sijaintia ei ole saatu selville.

Nurmijärven eritasoliittymän pohjoispuolella sijaitsevan Ojamäen risteyssillan siltapaikalla on 50 metrin säteellä painokairattu 15 pisteessä, heijarikairattu 6 pisteessä ja siipikairattu 3 pisteessä. Maaperästä on otettu yksi häiriintynyt näytesarja, pohjavesi on havaittu pohjavesiputkesta.

Someron keskustan siltapaikkojen pohjatutkimukset on käsitelty kohdassa 4.2.

### 3.2.2 Luokitus-, lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet

#### Parantamiskohteet

Häiriintyneet maanäytteet on tutkittu piirien laboratorioissa ja häiriintymättömät tiehallituksessa maatumustoimiston geotekniikan laboratorioissa. Tiedot on liitteeseen 1 koottu laboratoriolomakkeista.

Samalta siltapaikalta otettujen häiriintyneitten ja häiriintymättömien näytteiden rakeisuus-, vesipitoisuus- ja humusarvot ovat hyvin tarkasti samansuuruisia. Vaasan piirin kohteista voidaan havaita, että häiriintyneitten näytteiden savipitoisuudet ovat pienempiä ja humuspitoisuudet suurempia kuin vastaavilta syvyyksiltä otetuissa häiriintymättömissä näytteissä, kun humuspitoisuus on yli 4 %.

Painumaparametrit on ratkaistu käsikäyttöisten ödometrien koetuloksista on Uudenmaan tiepiirin mikrotietokoneohjelmalla. Painumaparametrien ratkaisuun käytetty mikrotietokoneohjelma ratkaisee parametrit  $m_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\sigma_c$  ja  $m_{pal}$ . Vähäähon iteratiivisella menetelmällä, konsolidaatiokertoimen  $c_v$  -arvot ohjelma ratkaisee Taylorin menetelmällä.

Turun piirin kohteissa ovat kaikki ödometrikoeäytteet olleet laihaa tai lihavaa savea, kahdesta kohteesta ei häiriintymättömiä näytteitä ole otettu. Konsolidaatiojännitystä ei ole yksiselitteisesti pystytty määrittämään, vaan paras ratkaisu on saatu yhden käyrän sovituksella. Ödometrikokeiden perusteella voidaan maaperän olettaa olevan normaalisti konsolidoitunutta. Konsolidaatiokertoimen arvot ovat maalajille ominaisia, kaikki arvot ovat kuivakuoren alla noin  $0,5 \text{ m/a}^2$ .

Vaasan piirin kohteiden ödometrikoeäytteet ovat rakeisuudeltaan silttisestä liejusta laihaan liejuiseen saveen. Humuspitoisuus on lähes kaikissa näytteissä yli 2 %. Yhden kohteen konsolidaatiojännityksiä ei ole pystytty ödometrikokeiden perusteella määrittämään, yhdestä kohteesta ei ole häiriintymättömiä näytteitä otettu ollenkaan. Kolmen kohteen maaperän voidaan olettaa olevan normaalisti- tai hiukan ylikonsolidoitunut. Konsolidaatiokertoimet ovat noin  $1 \text{ m/a}^2$ .

#### Rakentamiskohteet

Lahden ohikulkutien siltojen maaperätiedot on kerätty suunnitelmista, laboratoriolomakkeita ei löytynyt. Tiedot ovat monin osin puutteellisia, esimerkiksi painumaparametreja ei ole saatu selville yhdestäkään kohteesta.

Lahden ohikulkutien tienrakennustöiden työkohtaisen työselityksen mukaan pehmeiköalueilla on keskimäärin noin 3 metrin kuivakuorikerros, joka on voimakkaasti ylikonsolidoitunut. Tämän alapuolella esiintyy paikoin jopa 40–50 m paksuiksi normaalisti tai lievästi ylikonsolidoituneita Baltian jääjärven sedimenttikerrostumia, jotka ovat pääasiassa laihaa kerrallista savea sekä savista silttiä. Savipitoisuus vaihtelee noin 15–60 %:n välillä, mikä aiheuttaa vaihtelua maaperän geoteknisiin ominaisuuksiin. Leikkauslujuus on yleensä noin 30 kN/m<sup>2</sup> vaihdellen keskimäärin 20–50 kN/m<sup>2</sup>:n välillä ja kuivapainosta laskettu vesipitoisuus keskimäärin 50 % vaihdellen 40–60 %:n välillä.

Ojamäen risteyssillan maaperä on pehmeää savea noin 18 metrin syvyyteen asti. Saven alapuolella on löyhää ja keskitiivistä hiekkaa noin 30–40 metrin syvyyteen. Noin 25 metrin syvyyteen lyödyssä pohjavesiputkessa on pohjavesi noussut metrin maanpinnan yläpuolelle.

Someron keskustan siltapaikkojen maaperätiedot on esitetty kohdassa 4.2.

### 3.3 Rakenneratkaisut

#### 3.3.1 Siltatyypit

Taulukossa 4 on esitetty siltöjen tyyppi sekä liikennetekniset mitat. Liitteessä 1 on esitetty ylittävän tien suuntainen keskilinjalta otettu leikkaus siltarakenteesta. Leikkaus on kopio sillan yleispiirustuksesta tai vaihtoehtoisesti pohjanvahvistuspiirustuksesta. Leikkauksesta selviävät piirustuksesta riippuen mm. ylittävän ja alittavan väylän tasausviivojen korkeudet, tulopenkereiden rakenteet, mahdolliset kevennysrakenteet sekä routasuojaus- ja kuivatusrakenteet.

Taulukko 4. Siltatyyppi, liikennetekniset mitat sekä alittavan väylän luokka.

SILTA- NRO	SILLAN NIMI	SILTA- TYYPPI <sup>1</sup>	HYÖTY- LEVEYS (m)	VINOUS (gon.)	VAPAA AUKKO (m)	ALIK. KORK. (m)	ALITTAVA VÄYLÄ <sup>2</sup>
016220	OJAMÄEN RS	BLK	2x12,25	0	6	3,000	YKSITYISTIE
021922	JOENSUUN AKK	BLE I	16,50	0	4	2,800	JK + PP
021924	RANTATIE AKK	TOBI	13,00	0	4	2,500	JK + PP
021939	VEHON AKK	BLE I	11,50	0	4	2,800	JK + PP
021965	TÖRNINTIE AKK	BLE I	8,50	0	4	2,700	JK + PP
026111	PIETILÄN AKK	BLE I	15,00	0	4	2,800	JK + PP
041373	LEPOMÄEN RS	BLK	13,00	7,1	12	4,683	PAIKALLISTIE
041374	METSÄPEKKALAN AKK	BLK	13,00	0	6	3,153	YKSITYISTIE
041385	KYLÄKUNNANTIE AKK	BLK	14,92	10	6	4,070	YKSITYISTIE
041387	PIPON AKK	BLK	13,00	0	6	3,423	YKSITYISTIE
041463	HAKALAN AKK	BLK	18,19	0	6	4,636	YKSITYISTIE
041523	HEIKINTIE AKK	BLK	14,13	0	7	3,100	JK + PP
041524	RUUNALAN AKK	BLK	16,00	0	7	3,100	JK + PP
041525	ORASMAAN AKK	BLK	10,90	0	7	3,100	JK + PP
101542	ILMAJOEN KK:N AKK	TOBI	14,00	33,3	4	3,000	JK + PP
101554	ILOMÄEN AKK	BLE I	13,00	0	6	3,000	JK + PP
101567	VÖYRIN AKK	BLE I	11,00	0	6	2,930	JK + PP
101568	HULMIN AKK	BLE I	11,00	0	6	3,000	JK + PP
101575	KYLKKÄLÄN AKK	BLE I	13,00	0	6	2,500	JK + PP

<sup>1</sup> BLE I = teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta /28/

BLK = teräsbetoninen laattakehäsilta

TOBI = TOBI-alikulkukäytävä /30/

<sup>2</sup> JK + PP = jalankulku- ja pyörätie

Parantamiskohteiden sillat ovat kaikki elementtirakenteisia tyyppisilloja /28, 30/, jotka on Ilmajoen kk:n alikulkukäytävää lukuun ottamatta perustettu paikallavaletun yhtenäisen peruslaatan varaan. Rakentamiskohteiden sillat ovat kaikki paikallarakennettuja laattakehäsiltoja.

Kolmessa Vaasan piirin elementtirakenteisessa BLE I-alikulkukäytävässä on vinot siipimuurit, jotka on perustettu erillisten perustusten varaan. Vaasan piirin yhden BLE I:n ja TOBI:n sekä Turun piirin elementtisiltojen suorat siipimuurit ovat alittavan väylän suuntaiset, ja ne on perustettu samalle yhtenäiselle perustukselle kuin siltakin. Someron keskustan kehäsilloissa on ylittävän väylän suuntaiset siipimuurit, kaikissa muissa kehäsilloissa on vinot siipimuurit.

### 3.3.2 Siltojen peruslaatan alapuoliset rakenteet ja routasuojaus

Neljän sillan; Turun tiepiirin Ble I:n, Vaasan tiepiirin TOBI-alikulkukäytävän, Lahden ohikulkutien alittavan laattakehän sekä moottoritien alittavan laattakehän, routasuojaus on tehty massanvaihdolla, kaikki muut on suojattu routaa vastaan eristeellä, ks. liitteen 1 leikkauskuvat. Eriste on Törnintien alikulkukäytävää lukuunottamatta asennettu peruslaatan alle. Eristeenä on suunnitelmien mukaan käytetty Lahden ohikulkutien silloissa Styrox P40:tä tai vastaavaa, puristuslujuusvaatimus  $100 \text{ kN/m}^2$  pysyväälle kuormalle, muissa silloissa suulakepuristettua polystyreeniä, tuotenimistä mainitaan Styrofoam HL5, Styrofoam HI5 ja Finnfoam FFS 4000, Törnintien alikulkukäytävässä Finnfoam FFS 3000.

Massanvaihtokohteista on Pison alikulkukäytävä Lahden ohikulkutiellä perustettu metrin paksuiselle sora-arinalle 1,8 metrin syvyyteen alittavan väylän poikkileikkauksen alimmasta kohdasta mitattuna. Ilmajoen kk:n TOBI-alikulkukäytävässä vastaava mitta on 1,6 m ja materiaaleina 0,95 m eristyshiekkaa, jonka päällä on 0,25 m murskesoraa. Pietilän alikulkukäytävässä on suunnitelmassa määrätty perustamissyvyudeksi 1,65 metriä taseusviivasta, suodatinkankaan ja 0,2 metrin hiekkakerroksen päälle on suunniteltu 0,5 metrin murskekerros.

Lahden ohikulkutien silloissa on käytetty 100 mm paksua eristettä. Ohuen tasaushiekkakerroksen päälle on asennettu eriste, ja peruslaatta on valettu suoraan eristeen päälle. Vain Kyläkunnantien alikulkukäytävän routaeriste on ohennettu kiilamaisesti alittavan tien suunnassa. Kyläkunnantien alikulkukäytävän siltasuunnitelma on tehty vuonna 1979, muut suunnitelmat on päivätty vuosille 1975–1976.

Vaasan tiepiirin neljässä routaeristetyssä alikulkukäytävässä on kaikissa käytetty 100 mm paksua suulakepuristettua eristettä. Rakenne näissä kohteissa on alhaalta lukien seuraava:

- perusmaa
- suodatinkangas käyttöluokka II
- hiekka, (Vöyri 200 mm, Kylkkälä 100 mm, ei muissa)
- sora raekoko 0–32 mm, 300–500 mm suunnitelmasta riippuen
- solumuovi, 100 mm
- muovikalvo, vähintään 0,2 mm (Vöyri ja Kylkkälä)
- tasaussora raekoko 0–32 mm, 200 mm (ei Vöyri eikä Kylkkälä)
- peruslaatta.

Rakenteiden paksuudeksi saadaan peruslaatan alapinnasta perusmaahan mitattuna 500–800 mm. Eristettä ei ole kiilattu alittavan väylän suunnassa päistään, vaan siirtymärakenteena on käytetty siirtymäkiilaa.

Turun tiepiirissä vuonna 1983 valmistuneen Joensuun alikulkukäytävän ja 1985 valmistuneen Vehon alikulkukäytävän routasuojaus tehty käyttäen 40 mm paksua suulakepuristettua eristettä. Rakenne on alhaalta lukien seuraava:

- perusmaa
- suodatinkangas käyttöluokka II
- eristyshiekka, 200 mm
- solumuovi, 40 mm
- muovikalvo, 0,15–0,20 mm
- murske tai soramurske maksimi raekoko 25–40, 400 mm.
- peruslaatta.

Paksuutta rakenteelle tulee peruslaatan alapinnasta perusmaahan mitattuna 640 mm. Perustamissyvyys on 1,45–1,55 m alittavan väylän tasausviivasta mitattuna. Routaeristysrakenteet on mitoitettu Ble I:n tyyppiierustussarjan /28/ aikaisempien, vuosina 1979 ja 1983, ilmestyneiden painosten mukaan. Vanhimman tyyppiierustussarjan mukaan on eristeen paksuudeksi riittänyt 40 mm, routimaton perustussyvyys on ollut Pohjarakennuksen normit 1964 mukaisesti 1,60 m. Vuoden 1983 julkaisussa ovat vastaavat mitat olleet 40 mm ja 1,50 m. Uusimmassa vuoden 1989 julkaisussa /28/ routamitoitus perustuu lähteen /26/ mitoitusohjeisiin, ja vastaavat mitat ovat 80 mm ja 1,50 m.

Törnintien alikulkukäytävässä on routaeriste sijoitettu peruslaatan päälle. Maatuki-elementtien ulkopuolelle eriste on ulotettu noin 1,7 m. Peruslaatan alapuolinen maarakenne koostuu saven päälle asennetusta suodatinkankaasta, 200 mm paksusta hiekkakerroksesta ja 400 mm paksusta murskekerroksesta. Turun piirin routaeristetyissä kohteissa peruslaatan ja kuivatusrakenteiden routasuojaus muodostavat yhtenäisen rakenteen.

Ojamäen risteyssillan laattakehien alla on metrin paksuinen kevytsorakerros, jonka yläosa on tehty noin 200 mm paksuudelta sementillä ( $120 \text{ kg/m}^3$ ) sidottuna, kevytsoran alle on laitettu suodatinkangas. Mittaa alittavan tien tasausviivasta perusmaahan kertyy 2,2–2,5 metriä. Massanvaihto yhtyy alittavan tien päällysrakenteeseen siirtymäkiiloilla.

Someron keskustan alikulkukäytävien routasuojusrakenteet esitetään kohdissa 4.5 ja 4.7.

### **3.3.3 Tulopenkereiden liittyminen siltarakenteeseen**

Sillan ja penkereen yhtymäkohtaan ei ole suunniteltu siirtymälaattaa Rantatien ja Ilmajoen TOBI-alikulkukäytävissä eikä Vehon Ble I-alikulkukäytävässä.

#### **Tulopenkereiden rakenteet parantamiskohteissa**

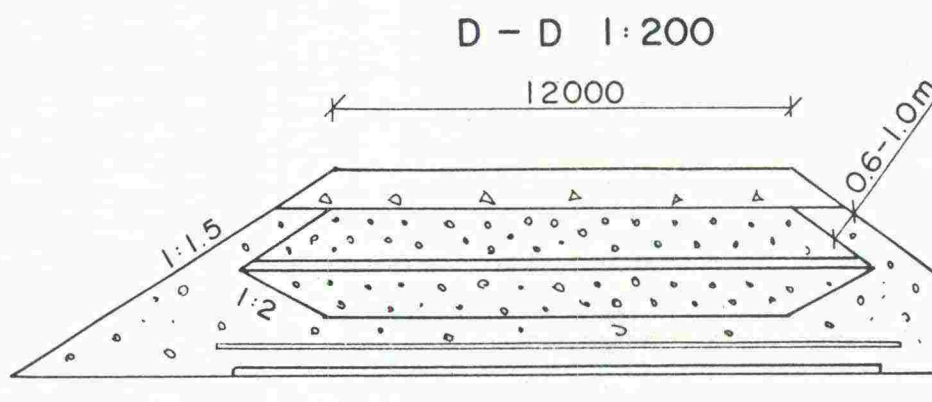
Kaikissa parantamiskohteissa on tien tasausviiva pysynyt samalla tasolla kuin ennen alikulkukäytävän rakentamista.

Tulopenkereitä on kevennetty Ilmajoen kk:n alikulkukäytävää lukuun ottamatta kaikissa muissa kohteissa, kevennysmateriaalina on käytetty kevytsoraa. Kevennyksen mitat ovat määräytyneet kaivannon mittojen mukaan. Kaivannon mitta on määräytynyt alikulkukäytävän aukon suunnassa routasuojaus- ja kuivatusrakenteiden vaatiman tilan mukaan. Kaivanto on luiskattu yleensä kaltevuuteen 1:1,5–1:2. Kaikissa kohteissa on alikulkukäytävän aukkojen päitten väliset sadevesikaivot yhdistetty toisiinsa sillan ulkopuolelle sijoitetulla putkella. Putken vaatiman tilan vuoksi on kevennyksen määrä tullut putken puolella suuremmaksi kuin putkettomalla puolella.

Kevytsoran paksuus on vaihdellut sillan takana 1,0–2,8 metrin välillä. Paksuimmat kevytsorakerrokset on jaettu kahteen osaan tiivistystyön helpottamiseksi 0,3 m paksulla murskekerroksella, joten paksuimmillaan yhtenäinen kevytsorakerros on ollut 1,8 m. Kevytsorakiilan pituus on lyhimmillään ollut noin 6 m ja pisimmillään noin 15 m.

Siirtymälaatan ja kevytsoran väliin on Vöyrin alikulkukäytävää lukuun ottamatta suunniteltu murskekerros. Kevytsoran päällä on tien päällysrakenteen paksuudeksi määrätty Turun piirin kohteissa vähintään 0,6 m, Vaasan piirin kohteissa paksuus on tätäkin suurempi. Vaasan piirin kohteissa liittyy sillan taustan täyttö siirtymäkii-lasyvyvyydestä alkaen siirtymäkii-lakaltevuudessa tierakenteeseen, Turun piirin kohteissa ei liittymistä ole suunnitelmassa esitetty.

Kevytsorakevennyksistä on esitetty poikkileikkauskuva vain yhdessä suunnitelmassa, kuva 3. Turun piirin suunnitelmissa on maininta kitkamaasta luiskiin tehtävistä tukipenkereistä.



Kuva 3. Kevytsorakevennyksestä esitetty poikkileikkauskuva, Vöyrin alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri.

### Rakentamiskohteet

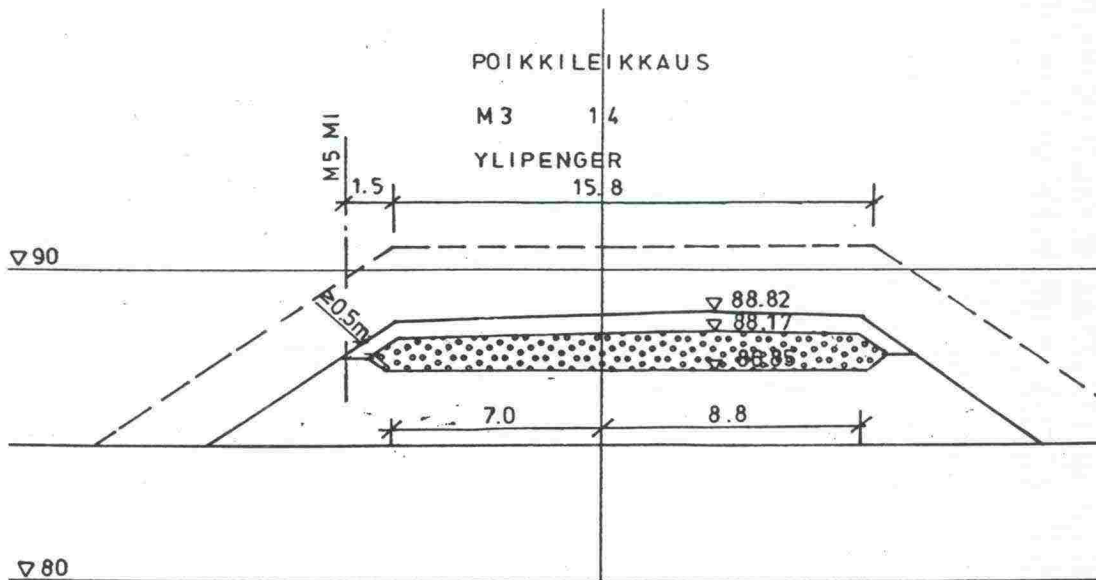
Kyläkunnantien ja Pipon alikulkukäytävien siltapaikkoja Lahden ohikulkutiellä on esikuormitettu ennen siltojen rakentamista. Kyläkunnantien alikulkukäytävä on sijoitettu vanhan noin 0,5 metriä korkean tiepenkereen kohdalle, ja alittavalle väylälle on suunniteltu noin 0,5–1 metriä alempi tasaus kuin vanhalle tielle. Pipon alikulkukäytävä on suunniteltu noin 50 metriä leveään ja 2 metriä syvään painanteeseen, jossa alittavan väylän tasausviiva sijoittuu noin 0,5 metriä luonnollisen maanpinnan yläpuolelle. Ylittävän väylän pengerkorkeudeksi on Kyläkunnantien siltapaikalla tullut noin 3,5–4,5 metriä ja Pipon siltapaikalla noin 5 metriä luonnollisesta maanpinnasta mitattuna.

Kyläkunnantien siltapaikalla ovat ylipenkereen mitat olleet noin 2,0–2,5 x 16 x 30 m ja Pipon siltapaikalla noin 1,5 x 15 x 30 m. Painuma-ajaksi on siltakohtaisten työseli-tysten mukaan arvioitu 1 vuosi, mutta painumahavaintojen perusteella aikaa on voitu



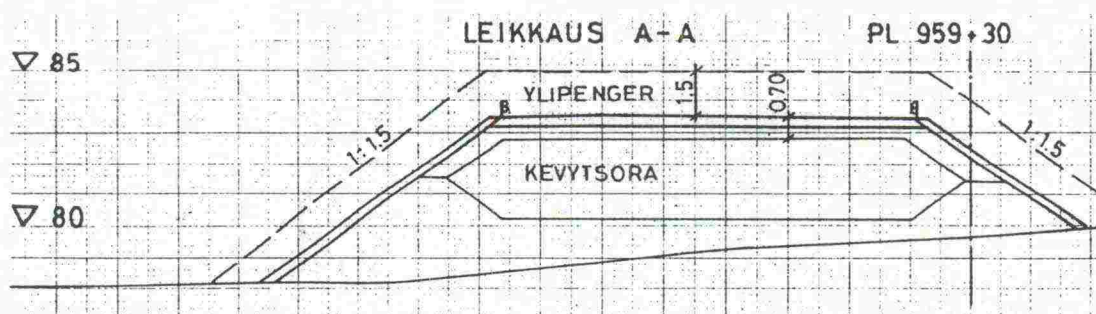
lyhentää puoleen vuoteen. Painumahavainnot on esitetty liitteessä 1 yhteenvetolomakkeissa. Molempiin kohteisiin on suunniteltu kevytsorakevennykset.

Kyläkunnantien alikulkukäytävän rakentaminen on aloitettu noin puolen vuoden painuma-ajan kuluttua. Suunnitellun kevennyksen kevytsoramäärät ovat olleet sillan eri puolilla pengerkorkeudesta johtuen erisuuruiset eli  $130 \text{ m}^3$  noin 9 metriä pitkässä kiilassa ja  $220 \text{ m}^3$  noin 13 metriä pitkässä kiilassa. Kevennysrakenteesta on esitetty poikkileikkauspiirustus, jossa peitepaksuus kevytsoran päällä luiskassa on 0,5 metriä, kuva 4. Päällysrakenteen paksuudeksi on kevytsorakiilan päällä määrätty 0,65 m, päällysrakenteessa on sidottu kantava kerros. Esikuormituspenkereen painumien perusteella on kevytsorakevennys jätetty lopullisesta rakenteesta kokonaan pois.



Kuva 4. Kyläkunnantien alikulkukäytävän tulopenkereestä suunnitelmassa esitetty poikkileikkauskuva, kuvan mittakaava on noin 1:250. Lopullisesta rakenteesta jätettiin esikuormituspenkereen painumien perusteella kevennys pois.

Pipon alikulkukäytävän rakentaminen on aloitettu noin 8 kuukauden painuma-ajan jälkeen. Suunniteltuja 2 metrin paksuisia ja noin 16,5 metriä pitkiä kevytsorakiiloja on lyhennetty noin 11 metriin. Kevennysrakenteesta on esitetty poikkileikkauspiirustus, jossa sidotun kantavan kerroksen sisältävä päällysrakenteen paksuus on määrätty kevennyksen kohdalla vähintään 0,7 metriksi, kuva 5.



Kuva 5. Pison alikulkukäytävän tulopenkereestä suunnitelmassa esitetty poikkileikkauskuva, kuvan mittakaava on noin 1:250. Esikuormituspenkereen painumien perusteella pienennettiin kevytsoran määrää madaltamalla ja lyhentämällä suunnitelmassa esitettyä kevytsorakiilaa.

Lepomäen paikallistie alittaa Lahden ohikulkutien noin 4–5 metrin syvyisessä leikkauksessa. Ylittävän tien penkereiden korkeudet ovat sillan takana noin 1–1,5 metriä. Penkereitä on kevennetty 21 metriä pitkällä  $360 \text{ m}^3/\text{m}$  ja 22 metriä pitkällä  $380 \text{ m}^3/\text{m}$  kevytsorakiiloilla, joiden paksuus heti sillan takana on noin 3 metriä. Kevennetyn rakenteen poikkileikkaus on paalukohtaisesta poikkileikkauksesta arvioituna suunnilleen samanlainen kuin Kyläkunnantien alikulkukäytävässä. Siirtymälautojen alle on suunnitelmassa määrätty rakennettavaksi tiivistetty 0,3 metrin sorakerros.

Hakalan alikulkukäytävän tulopenkereet ovat sillan takana noin 1–2 metriä luonnollisesta maanpinnasta mitattuna. Tulopenkereitä on kevennetty 13 metriä pitkällä kevytsorakiiloilla, joiden paksuus kehän takana on noin 4,5 metriä.

Metsäpekkalan alikulkukäytävän tulopenkereiden korkeudet ovat noin 2 metriä. Kohteeseen ei ole suunniteltu kevennystä.

Ojamäen risteyssillan noin 2 metrin korkuiset tulopenkereet on kevennetty EPS-harkoilla ja kevytsoralla, kuva 6. EPS-harkot kooltaan  $0,5 \times 1,0 \times 3,0 \text{ m}^3$  tai  $0,5 \times 1,0 \times 4,0 \text{ m}^3$  on ladottu asennushiekalla tasatun jakavan kerroksen soran päälle. Paisutetun polystyreenin puristuslujuuden on tullut olla  $\geq 100 \text{ kN/m}^2$  5 %:n kokoonpuristumalla. Harkkokerroksia on 6, täysikorkeana kevennys on moottoritien pituusleikkauksen suunnassa 4 metrin matkalla. Harkot on sidottu toisiinsa ruostesuojuatuilla harjateräksillä  $\phi 10 \text{ mm}$ ,  $L_{\text{max}} 1,5 \text{ m}$ , vähintään 2 kpl jokaisessa harkossa. Yhteensä EPS-harkkoja on neljään kiilaan laskettu kuluvan  $1250 \text{ m}^3$ .

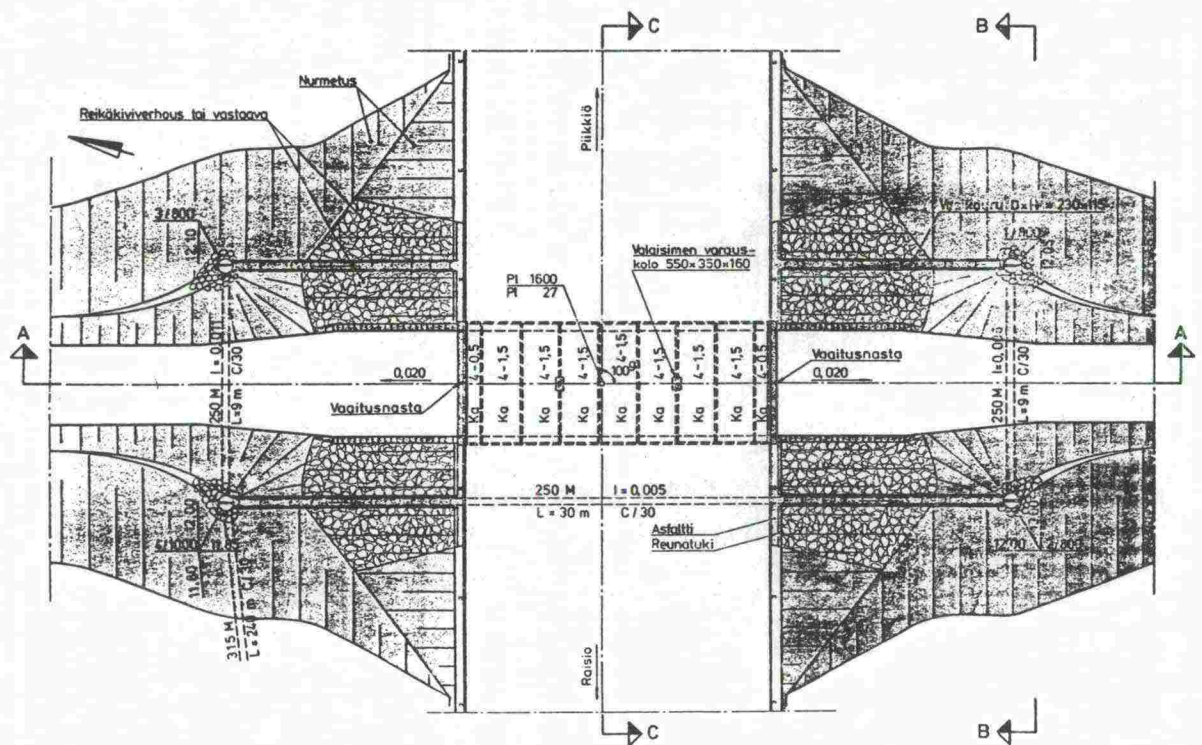


EPS-penkereen päälle on suunniteltu keskeltä 200 ja laidoiltaan 150 mm paksu suojabetonilaatta. Tämän päälle on määrätty asennettavaksi kaksinkertainen 0,5 mm paksu muovikalvo, muovikalvojen väliin on sijoitettu käyttöluokan II suodatinkangas. Tien päällysrakenteen paksuus kevennysrakenteen kohdalla on 800 mm. Suojabetonilaatan ja päällysrakenteen väliin jäävä tila on suunniteltu täytettäväksi kevytsoralla. 6 metriä pitkän siirtymälaatan alapuolella kevytsoran pinta on suunniteltu sidottavaksi sementillä. Risteyssillan tulopenkereiden kevennys liittyy varsinaisen siltakaivannon ulkopuolella tien kevennysrakenteeseen.

Pehmeikölle on siltakohtaisen työselityksen mukaan varattu sillan rakentamisen jälkeen painuma-aikaa vähintään 12 kuukautta ennen sillan päällystämistä.

### 3.3.4 Kuivatus

Siltapaikkojen pintavesien keräys on alittavan väylän osalta ratkaistu kaikissa parantamiskohteissa neljällä sadevesikaivolla, jotka on sijoitettu sillan aukkojen ulkopuolelle eri puolille alittavaa väylää. Aukkojen päissä kaivot on yhdistetty toisiinsa putkella. Periaate selviää oheisesta Vehon alikulkukäytävän tasopiirroksesta, kuva 7.

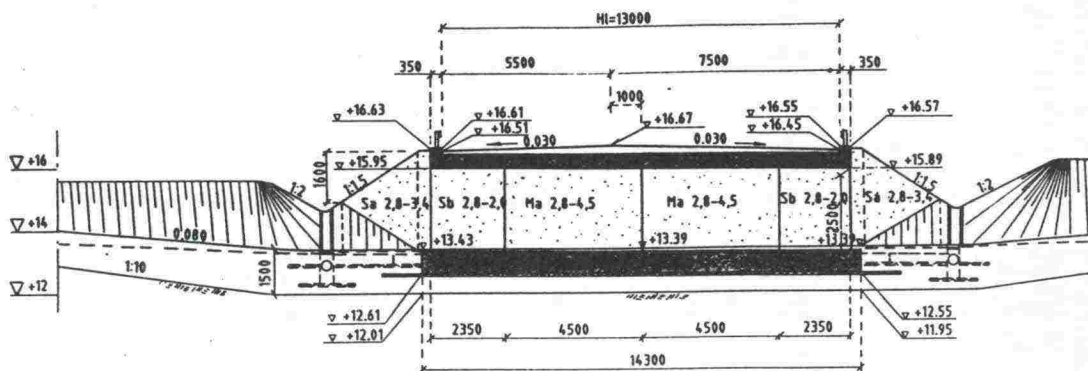


Kuva 7. Periaatekuva siltapaikkojen kuivatuksesta, Vehon alikulkukäytävä, Turun tiepiiri.

Kaikissa Turun piirin parantamiskohteissa sekä Vaasan piiristä Ilmajoen kk:n alikulkukäytävässä on kaivot sijoitettu niin kauas sivuun alittavasta väylästä, että muodostuneet kaivoparit on voitu yhdistää toisiinsa suoralla, sillan peruslaatan ulkopuolelle sijoitetulla putkella ilman tarkistuskaivoja. Vaasan piirin neljässä kohteessa on sadevesikaivot sijoitettu aivan alittavan väylän sivuun, jolloin on tarvittu lisäksi vähintään kaksi tarkastuskaivoa. Näin muodostuneen kuivatusjärjestelmän poistoputki on johdettu yhdestä sadevesi- tai tarkastuskaivosta joko pumppaamoon tai suoraan purkulaskuojaan.

Lahden ohikulkutien kohteissa on alittavan väylän kuivatusrakenteissa käytetty sadevesikaivoja vain Metsäpekkalan alikulkukäytävässä. Muissa kohteissa on pintavedet johdettu alittavan väylän sivuoista lyhyellä noin 2 metrin pituisella putkella tarkastuskaivoon ja sitä kautta edelleen laskujohtoa pitkin pois siltapaikalta. Kyläkunnantien alikulkukäytävää lukuun ottamatta on muissa Lahden ohikulkutien kohteissa parantamiskohteiden tapaan ylittävän väylän alitse johdettu laskujohto. Lepomäen risteyssillan sadevedet on johdettu ohikulkutien rakentamisen yhteydessä rakennettua yli 300 metrin pituista laskujohtoa pitkin.

Parantamiskohteiden sadevesikaivot on perustettu noin 1,3–2,5 metrin syvyyteen kannen pinnasta mitattuna. Vaasan piirin kohteissa on käytetty kolmessa kohteessa muovisia sadevesikaivoja, muut piirin kohteiden kaivoista sekä Turun piirin kohteiden kaivot ovat betonisia. Pienin perustamissyvyys sekä kuivatus- että siltarakenne huomioon ottaen on muovikaivollisessa Kylkkälän alikulkukäytävässä, jossa kaivussyvyys alittavan väylän tasausviivasta mitattuna ei missään kohdassa ole yli 1,5 metriä. Koko alikulkukäytävässä on kaivannon pohja voitu tehdä tasaisena, koska kuivatusrakenteet eivät ole vaatineet sillan peruslaattaa syvempää perustamissyvyyttä, kuva 8.



Kuva 8. Kuivatusrakenteet on routaeristetty, jolloin rakentamisen aikainen kaivanto on voitu tehdä pohjaltaan tasaisena. Leikkauskuva on Kylkkälän alikulkukäytävästä Vaasan tiepiiristä, kuvan mittakaava on noin 1:250.

Esimerkiksi Vöyrin alikulkukäytävässä, jossa Kylkkälän tavoin on siipimuurit perustettu erillisille anturoille, on kuivatusrakenteiden takia toisen puolen siipimuurien perustamis- syvyyksissä noin 0,7 metrin ero. Kylkkälän alikulkukäytävän sadevesikaivot on routasuojattu, kaikki muut parantamiskohteiden kaivot on perustettu vähintään 1,85 metrin syvyyteen. Vaasan piirin muovisten sadevesikaivojen kaivonkansien ympärille on suunniteltu sähkölämmityskaapelit jäätymisen estämiseksi.

Lahden ohikulkutien kohteissa ei kuivatusrakenteiden takia ole jouduttu peruslaatan kohdalla tai sen läheisyydessä menemään laatan vaatimaa kaivutasoa alemmaksi.

Parantamiskohteista on Turun piiristä Pietilän alikulkukäytävä ainoa, johon on suunniteltu salaojitus. Vaasan piirin alikulkukäytävistä on kaikki salaojitettu. Ojat on sijoitettu noin 1–3 metrin etäisyydelle käytävän seinän sisäpinnasta mitattuna seinämän suuntaisesti. Korkeustasoltaan ojat on sijoitettu noin 0,2 metriä peruslaatan alapinnan ylä- tai alapuolelle. Lyhimmillään on mitaksi alikulkukäytävän alanurkasta salaojaan jäänyt noin 1 metri, kohteeseen ei ole suunniteltu routaeristettä. Pisimmillään mitta on ollut noin 2,5 metriä, lisäksi oja on sijoitettu eristeen alle.

Lahden ohikulkutien kohteissa on salaojat suunniteltu Metsäpekkalan ja Pipon alikulkukäytäviin. Ojat on sijoitettu routaeristetyssä Metsäpekkalan kohteessa ja massanvaihdoilla routasuojatussa Pipon kohteessa laatan alapinnan tasoon molemmin puolin laattaa, mittaa käytävän sisäkulmasta on kertynyt ojiin noin 2,5 metriä.

Ojamäen risteyssillan siltapaikalla ei ole tarvinnut käyttää kuivatuksessa viemäröintiä. Rakentamisaikainen kaivannon kuivanapito on järjestetty rakentamalla salaojat massanvaihtokaivantojen pohjalle ja johtamalla salaojat kehäsillojen väliin sijoitettuihin tarkastuskaivoihin, joista vesi on voitu poistaa pumppaamalla. Rakentamisen jälkeinen kuivatustaso on suunniteltu rakennusaikaista tasoa 1–1,7 metriä yleemmäksi. Läntisen kehäsillan, joka on korkeusasemaltaan itäistä alempana, EPS-rakenteen alapinta sijoittuu syväkuivatustasolle. Tarkastuskaivo, josta purkuputki on johdettu laskuojaan, on varustettu takaiskuventtiilillä.

Someron keskustan alikulkukäytävien kuivatusrakenteet on esitetty kohdassa 4.7.

### 3.4 Painumahavainnot

Kohteista mitatut painumat on esitetty liitteen 1 lomakkeissa. Havaintopisteistä on käytetty vaaitsijoiden pisteille antamia tunnuksia. Havaintoihin on pyritty liittämään ajankohdat rakentamisen eri vaiheista, jotka aineiston kokoamisen aikana on saatu selville. Aineistoon saatuja mittausarvoja ei ole tämän työn yhteydessä korjattu, joten esimerkiksi korkeuskiintopisteen liikkumisesta tai itse vaaituksen tekemisen tarkkuudesta johtuvat mahdolliset virheet ovat sellaisenaan kuvaajissa mukana.

Parantamiskohteista on Turun piirissä vaaittu kolmen ja Vaasan piirissä neljän alikulkukäytävän painumia. Rakentamiskohteiden painumia on havaittu Someron kolmesta sillasta. Lahden ohikulkutien silloista on liitteessä 1 esitetty esirakentamisen painumahavainnot Kyläkunnantien ja Pipon alikulkukäytävistä. Kyläkunnantien siltasuunnitelmassa on määrätty kiinnittämään siltakannen nurkkiin vaaituskiintopisteet, mutta mahdollisia havaintoja ei ole tämän työn aineistoon löydetty. Ojamäen risteyssillan laattakehien mittauksista on siltakohtaisessa työselityksessä viitattu SYT 3500 kohdan 1.73 mittatarkkuusvaatimukseen ja mittaustöiden tekemisestä SYT 3000 kohdan 2 ohjeisiin. Painumamittauksista ei ole erikseen mainintaa.

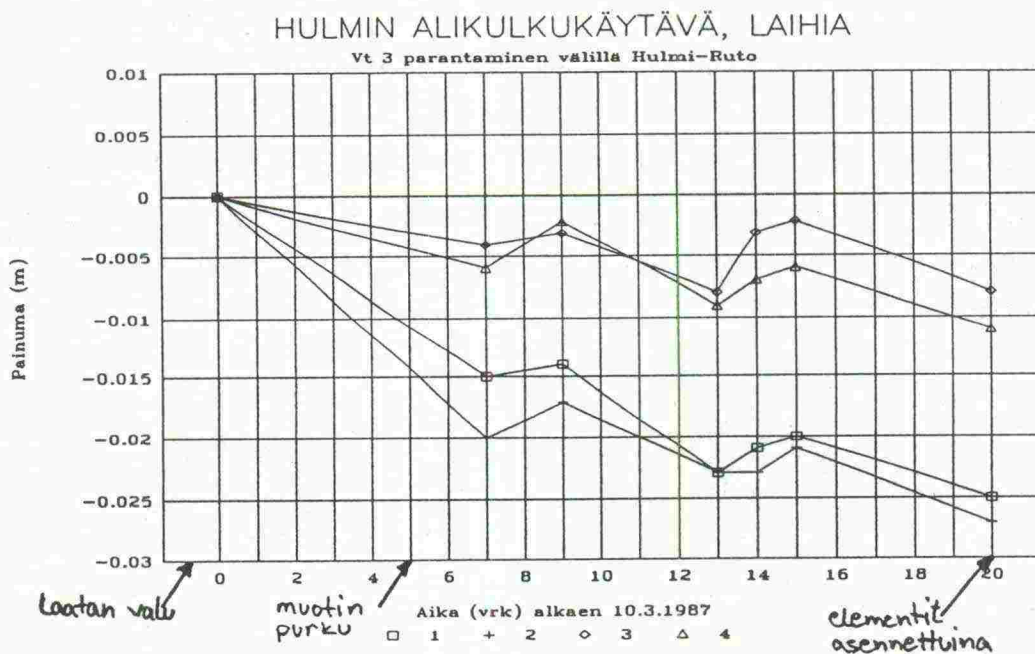
Eniten eli 10 vaaituspistettä siltaa kohti on Someron keskustan alikulkukäytävissä. Pisteitten sijainti ja havaintojen arviointi on esitetty kohdassa 4.7. Turun piirin alikulkukäytävistä on Joensuun ja Rantatien kohteissa kolmesta havaintopisteestä kaksi sijoitettu reunapalkkien keskikohdille sekä yksi alikulkukäytävän sisälle, Törnintien vaaituspisteet ovat reunapalkkien keskellä. Vaasan piirin alikulkukäytävissä on kunkin sillan neljä vaaituspistettä sijoitettu reunapalkkien päihin.

Vaasan piirin neljän alikulkukäytävän siltasuunnitelmassa on yleispiirustuksessa määrätty painumia mitattavaksi seuraavasti (teksti on suora lainaus piirustuksista):

"Sillan painumista on tarkkailtava rakentamisvuonna kuukausittain ja sen jälkeen vuosittain. Jokaiseen kulmaan on asennettava vaaituspultti. Kiintopisteen pitää olla sellaisessa paikassa, että samasta koneasemasta voidaan havaita kiintopiste ja merkkipultit."

Vöyrin ja Hulmin alikulkukäytävien havainnot on koottu "SILLAN TEHOSTETTU TARKKAILU - tarkastusselostus" -lomakkeelle, josta on pitänyt lähettää vuosittain kopio piirin siltainsinöörille. Molemmista kohteista on havainnot tehty rakentamisen aikana rakentajan ja sen jälkeen kunnossapitäjän toimesta.

Hulmin alikulkukäytävän painumia on tarkkailtu ensimmäisen kerran jo laatan valun jälkeisenä päivänä laatan nurkkiin asennetuista pisteistä, kuva 9. Elementtien asennuksen jälkeen on tarkkailupisteet siirretty reunapalkkiin. Hulmin, Vöyrin ja Kylkkälän alikulkukäytävien painumia on vaaittu elementtien asennuksen jälkeen noin vuoden ajan suunnilleen kerran kuukaudessa. Ilomäen alikulkukäytävästä on ensimmäiset painumahaavainnot tehty noin kolmen kuukauden kuluttua liikenteelle avaamisesta.



Kuva 9. Peruslaatan painumat, Hulmin alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri.

Vaasan piirin kohteista on Hulmin alikulkukäytävän painumatarkkailukiintopiste edellä mainitusta lomakkeesta saadun tiedon mukaan routinut talven aikana. Kylkkälän alikulkukäytävän painumatarkkailun vaaitustulokset on esitetty senttimetrin tarkkuudella.

Turun piirin kohteista on Joensuun ja Rantatien alikulkukäytävien painumahavaintoja tehty elementtien asennuksesta lähtien kuukausittain runsaan kolmen vuoden ajan. Törnintien painumia on alettu vaaita kesällä 1986, silta on valmistunut 1985. Vaaituspisteet ovat kolmannen mittauskerran jälkeen vääntyneet, ja tämän jälkeen vaaitukset on tehty reunapalkin päältä.

Painumahavaintoja on tarkemmin analysoitu kohdassa 4.7 Someron keskustan alikulkukäytävien painumahavaintojen yhteydessä.

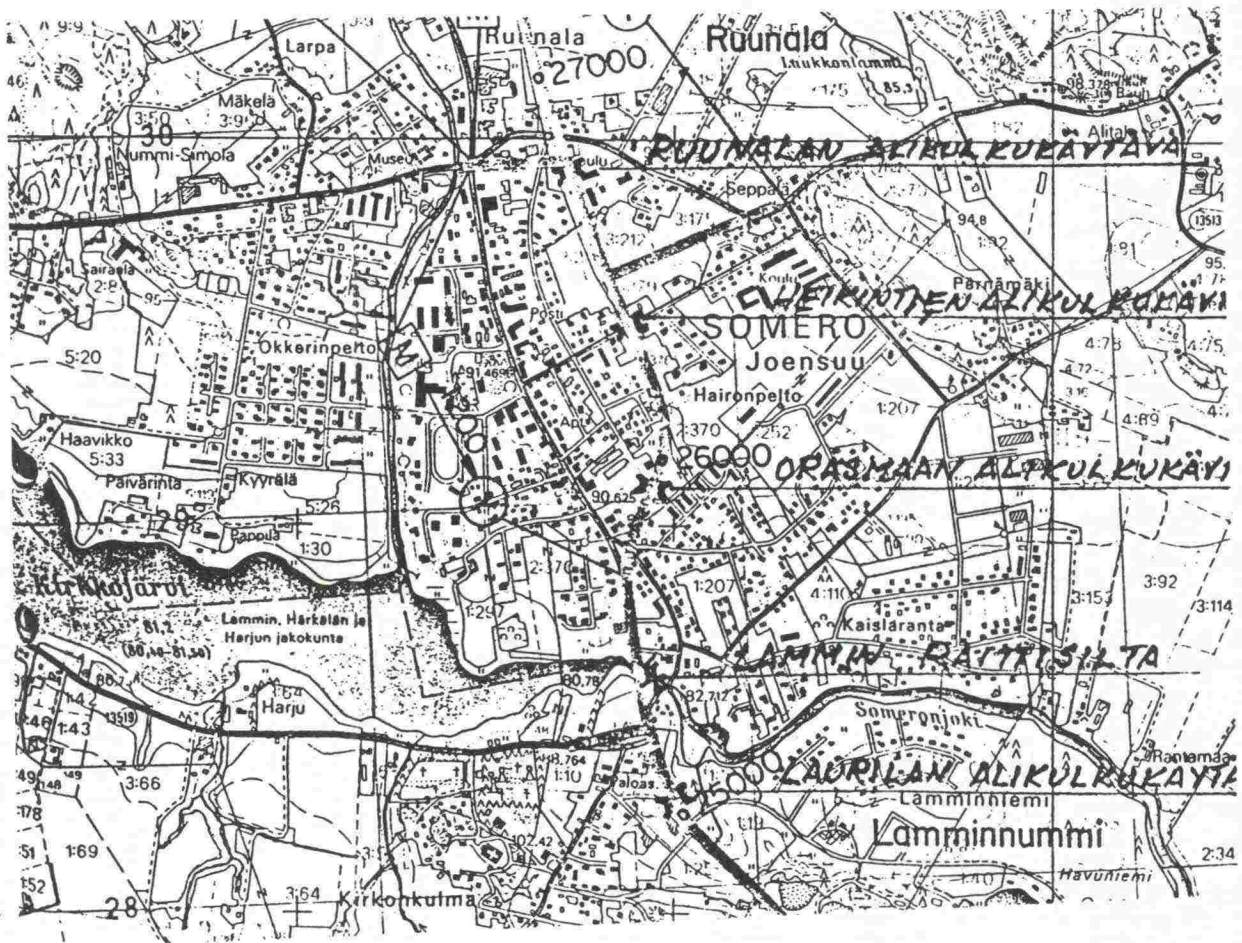


## 4 SAVEN VARAAN PERUSTETTUIJEN ALIKULKUKÄYTTÄVIEN GEOTEKNINEN MITOITUS; SOMERON ALIKULKUKÄYTTÄVÄT

### 4.1 Alikulkukäytävien sijainti sekä siltatyyppin ja perustamistavan valinta

#### 4.1.1 Sijainti

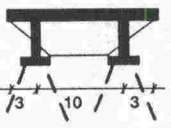
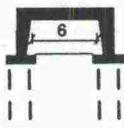


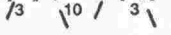

Tässä työssä käsiteltävät Orasmaan, Heikintien ja Ruunalan alikulkukäytävät liittyvät Someron keskustan ohikulkutien rakentamiseen eli maantien 280 parantamiseen välillä Lamminnummi – Pikku-Joensuu. Edellä mainitut sillat sijaitsevat Someron keskustassa tai sen läheisyydessä vahvistetulla rakennuskaava-alueella suunnitelman paaluilla 25860, 26337,50 ja 26750 eli vähän vajaan 900 metrin matkalla, kuva 10. Orasmaan alikulkukäytävästä (pl 25860) noin 800 metrin päässä oleva Laurilan alikulkukäytävä (pl 25035) suunniteltiin ja rakennettiin samassa yhteydessä, silta perustettiin teräsbetonisille lyöntipaaluille.



Kuva 10. Someron keskustan ohikulkutie, saven varaan perustetut alikulkukäytävät.  
Kartan mittakaava on 1:20 000.

#### 4.1.2 Alustavat siltatyypiehdotukset sekä suunnittelun kulku

Kuvassa 11 on esitetty sillansuunnittelijan tekemä kustannusvertailu Someron alikulkukäytävistä. Arvioituihin kustannuksiin sisältyy siirtymärakenteet.

VAIHTOEHTO	VE 1	VE 2	VE 3	VE 4
siltatyyppi				
Silta				
Ruunalan akk	1,57	1,32	0,83	0,94
Heikintien akk	1,30	1,08	0,74	0,83
Orasmaan akk	1,25	1,00	0,58	0,66
Laurilan akk	1,18	0,96	0,58	0,64
Yhteensä	5,30	4,36	2,73	3,07

Kuva 11. Alustavien ehdotusten kustannusvertailu, lukuarvot ovat miljoonia markkoja.

Kustannuksiin sisältyy silta sekä siirtymärakenteet.

Tiensuunnittelija ehdotti kohteeseen kolmiaukkoisia paalutettuja laattasiltoja, joilla näkemät väljien silta-aukkojen takia muodostuisivat riittäviksi. Alikulkukäytävän poikkileikkauksen mitoiksi B x H oli suunniteltu 7,0 m x 3,1 m. Sillansuunnittelijan laatimien alustavien ehdotusten osoittaessa, että paaluperustus tulisi kalliiksi, haluttiin kuitenkin selvittää halvemmän paaluttamattoman vaihtoehdon sopivuutta kohteeseen. Lähinnä kyseeseen tulisi rengaskehäsilta.

Suunnittelijoina toimivat tiensuunnittelun ja myös siltapaikkojen kuivatuksen osalta Hämeen tiepiiri, sillansuunnittelijana oli konsultti ja geosuunnittelijana silloisessa tie- ja vesirakennushallituksessa maatutkimustoimisto. Aikataulu oli varsin tiukka, koska sillansuunnittelu käynnistyi toukokuussa 1986, ja suunnitelman tuli olla valmis viimeistään lokakuun 1986 lopussa. Lopulliset silta- ja geosuunnitelmat hyväksyttiin joulukuussa, urakkatarjous ratkaistiin helmikuun 1987 alussa, rakentaminen alkoi keväällä ja sillat avattiin liikenteelle kesällä 1987.

## 4.2 Pohjatutkimukset ja pohjasuhteet

Tiensuunnitteluvaiheessa oli siltapaikoilla tehty painokairauksia ja otettu häiriintyneet näytesarjat, liite 1. Sillansuunnittelua varten otettiin jokaiselta siltapaikalta häiriintymättömät näytesarjat sekä tehtiin siipi-, paino- ja heijarikairauksia. Heikintien ja Ruunalan siltapaikoille asennettiin pohjavesiputket ja Orasmaan siltapaikalle huokosvedenpaineen mittausasema, lisäksi pohjaveden korkeus tarkistettiin 18 kaivosta.

Heikintien alikulkukäytävä oli suunniteltu vanhan noin 6 m leveän kadun kohdalle. Lähimmät asuintalot sijaitsivat vajaan 20 metrin etäisyydellä sillasta. Kolmen lähimmän talon painumia aloitettiin tarkkailemaan ennen sillan rakentamista. Rakennukset eivät painuneet rakennustyön aikana. Orasmaan ja Ruunalan alikulkukäytävät sijaitsevat tasaisella pellolla noin 50 metrin etäisyydellä lähimmistä kerrostaloista.

Maaperä siltapaikoilla on 20–30 metrin syvyyteen savea, jonka alla on noin 1–3 metrin kova maakerros. Kaikilla kolmella siltapaikalla on saven luokitus-, lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet lähes tarkalleen samanlaiset. Savi on hyvin lihavaa, noin 2–2,5 metriä paksun kuivakuoren alla on vesipitoisuus hiukan yli 100 % väheten suoraviivaisesti 10 metrin syvyydessä noin 60–70 %:iin. Humuspitoisuus on kuivakuoressa noin 4 % väheten suoraviivaisesti 10 metrin syvyydessä noin 2 %:iin. Orasmaan alikulkukäytävän siltapaikalla on humuspitoisuus noin 2 %-yksikköä ja vesipitoisuus noin 10–20 %-yksikköä suurempi kuin muilla siltapaikoilla. Siipikairalla määritetty suljettu leikkauslujuus on kuivakuoren alla hiukan yli 20 kN/m<sup>2</sup>, lujuus kasvaa suoraviivaisesti ollen 15 metrin syvyydessä noin 35 kN/m<sup>2</sup>.

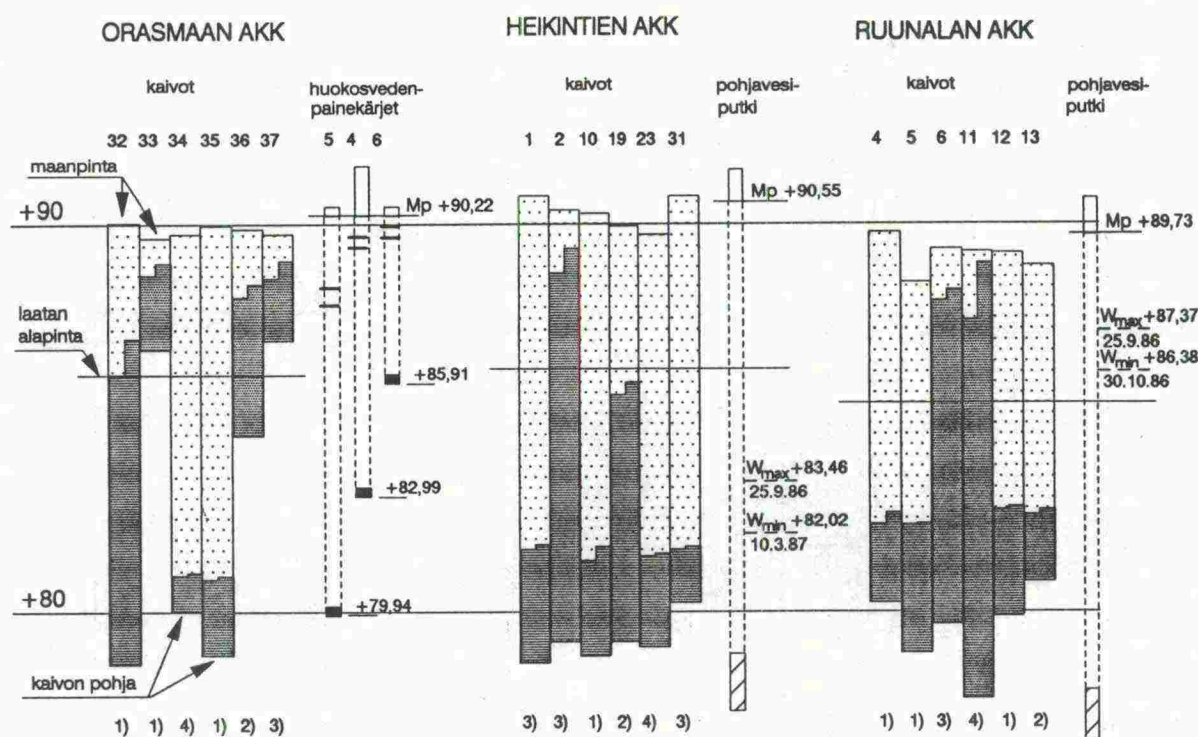
Mitatut pohjaveden syvyydet on esitetty kuvassa 12. Pohjavesiputket ovat sijainneet noin 20–30 metrin ja kaivot 50 – 150 metrin etäisyydellä silloista. Kuvaan on lisätty myös Orasmaan alikulkukäytävästä noin 50 metrin etäisyydellä sijaitsevan huokosvedenmittauspisteen havainnot. Kaivojen vedenpinnan korkeudet on mitattu kahteen kertaan, 11.8.1986 ja 16.9.1986, samalla on täytetty tielaitoksen kaivokortti. Syyskuussa mitattu lukema on ollut kaikissa kaivoissa muutaman sentin korkeampi kuin elokuun lukema, ero on ollut suurempi kaivoissa, joissa vedenpinta on ollut +85 tason yläpuolella.

Kuvasta 12 voidaan havaita, että vedenpinnan korkeus vaihtelee saman siltapaikan samansyvyisissäkin kaivoissa, ilmeisesti ko. kaivoissa pohjavesi pääsee purkautumaan kaivon muualtakin kuin pohjasta. Kaivoissa 1 ja 31, jotka eivät ole käytössä, on vedenpinta ollut samalla tasolla kuin kaivossa 10, josta otetaan kaikki käyttövesi. Pumpausella ei siis välttämättä pysty erilaisia vedenpinnan tasoja selittämään. Läheisen Kirkkojärven keskivedenpinta on peruskartan mukaan +81,2 m (+80,40–+81,50).

Syvällä olevat kaivojen vedenpinnat noudattanevat järven vedenpintaa, lähimpänä järveä sijaitsevan Orasmaan siltapaikan kaivoissa on korkeus ollut noin +80,9, Heikintien siltapaikalla noin +81,5 ja kauimpana olevalla Ruunalan siltapaikalla noin +82,5.

Pohjavesiputket on asennettu kesällä 1986, havainnot on tehty elo-, syys-, loka- ja maaliskuussa. Molempien putkien kärki on savikerroksessa. Heikintien pohjavesiputkessa on vedenpinta ollut suunnilleen sama kuin syvissä kaivoissa. Ruunalan pohjavesiputkessa on ensimmäinen havainto ollut myös syvällä, myöhemmissä mittauksissa vedenpinta on noussut noin +86,8 tasolle. Ruunalan siltapaikalta noin 900 metrin päässä on Luukkonlammi, jonka vedenpinta peruskartan mukaan on +85,3.

Orasmaan siltapaikalle on asennettu kolme huokosvedenpaineen mittauskärkeä kesällä 1986. Paineita ehdittiin mitata asennuksen jälkeen vain kaksi kertaa, syys- ja loka-kuussa, ennen kuin rakentajat rikkoivat mittausputket. Syvimmällä olevasta kärjestä on mitattu pienin huokosvedenpaine, painetaso on kasvanut ylemmissä kärjissä.

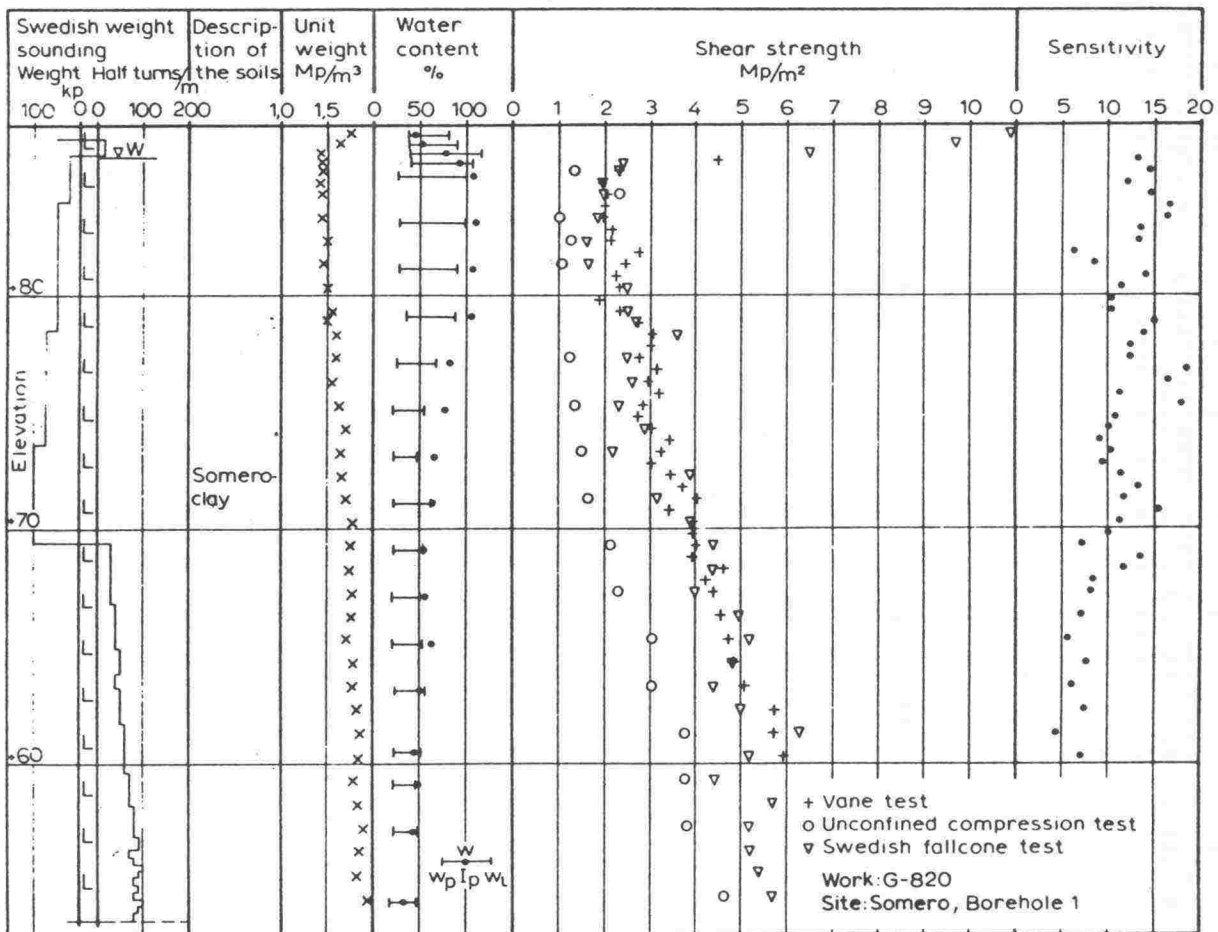


- 1) Kaivosta otetaan kaikki käyttövesi.
- 2) Kaivosta otetaan vain kasteluvesi.
- 3) Kaivo ei ole käytössä.
- 4) Kaivon käytöstä ei ole tietoa.

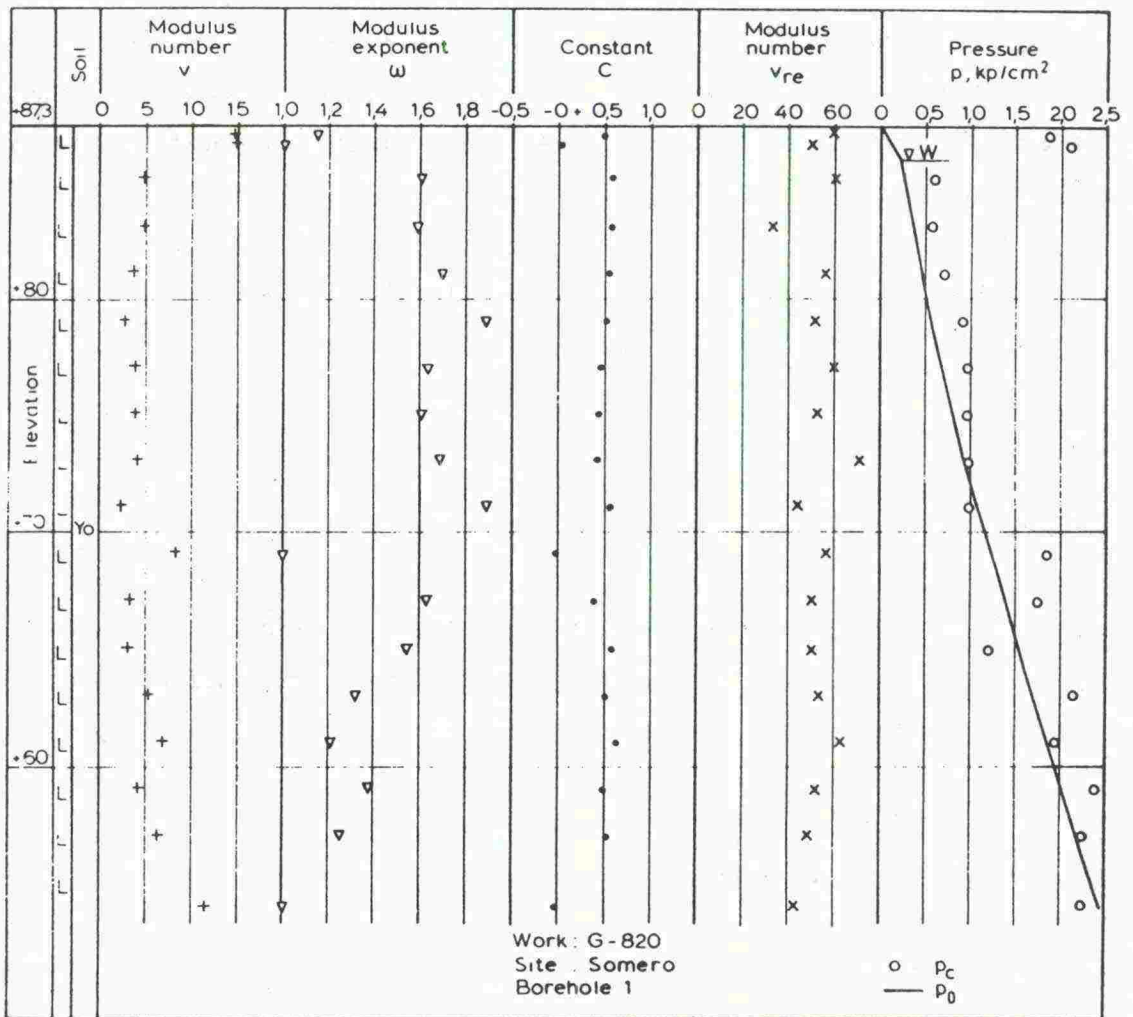
Kuva 12. Someron siltapaikoilta mitatut pohjaveden syvyydet sekä huokosveden paineet.

Häiriintymättömistä näytteistä ei ole määritetty tilavuuspainon arvoja. Ödometrikokeet on tehty käsikäyttöisillä ödometreillä. Kuormitusportaat ovat olleet 17,5, 32, 61, 122, 240 ja 360 kPa, kuormitusaika on ollut 1 vuorokausi porrasta kohti. Palautusvaiheen kuormitukset ovat olleet 122 ja 17,4 kPa, toistokuormitus on tehty 61, 240 ja 360 kPa kuormituksilla. Painumaparametrit on konsultti ratkaissut Vähäähon iteratiivisella menetelmällä mikrotietokonetta käyttäen, konsolidaatiokertoimet on käsin tehdyn määrittelyn lisäksi ratkaistu Uudenmaan tiepiirin mikrotietokoneohjelmalla. Liitteessä 1 on esitetty palautusvaiheen moduuliluvun lisäksi myös toistokuormitusvaiheen moduuli.

Kuvissa 13 ja 14 on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen vuonna 1968 ottaman näytesarjan luokitus-, lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet /5/. Tutkimuspiste on sijainnut Someronjoen pohjoispuolella noin 1,5 km Someron keskustasta kaakkoon tasaisella peltoalueella, maanpinnan korkeus on ollut noin +85 – +90 m. Pohjavesi on arvioitu tutkimusreiästä, eikä sitä voida välttämättä pitää pohjavesipintana. Savi on ödometrikokeiden mukaan lievästi ylikonsolidoitunutta. Konsolidaatiokertoimen arvot vaihtelevat noin  $3-30 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$  eli  $0,09-0,9 \text{ m}^2/\text{a}$  välillä.



Kuva 13. Luokitus- ja lujuusominaisuudet /5/.



Kuva 14. Muodonmuutosominaisuudet. ModuuliekspONENTTI  $\omega$  voidaan esittää jännitysekspONENTTINA  $\beta=1-\omega/5/$ .

### 4.3 Kantavuuden arvioiminen

Geoteknisessä kantavuustarkastelussa määritetään se pohjapaine, jolla maaperän varmuus murtumista vastaan on riittävä ja painumat pysyvät sallituissa rajoissa [22]. Kantokyky mitoitetaan murtorajatilassa ja painumat käyttörajatilassa.

#### 4.3.1 Kantokyvyn laskeminen

Anturaperustuksen kantokyky voidaan laskea kantavuuskaavan avulla silloin, kun kantavuuskaavan edellyttämä murtokuvio voi muodostua homogeenisessa maapohjassa [22, 26].

Kuormina käytetään ominaiskuormia. Kuormayhdistelmissä otetaan ominaiskuorman suuruisina huomioon kaikki pysyvät kuormat, pystysuora liikennekuorma ja vaikutukseltaan määräävä yksi muuttuva kuorma. Muut kuormat otaksutaan vaikuttavaksi puolella ominaiskuorman arvolla /26/. Epäkeskeisessä kuormitustapauksessa kuormat lasketaan ns. tehokkaalle alalle /22, 26/.

Savenvaraisen anturan kantokyky lyhytaikaisille kuormituksille voidaan määrittää kaavaa (1) käyttäen /22/.

$$q_{md} = c_{ud}N_c s_c i_c + \gamma' D \quad (1)$$

missä

$q_{md}$  on maapohjan kantokyky lyhytaikaisille kuormille,  $\text{kN/m}^2$

$c_{ud}$  saven suljetun leikkauslujuuden laskenta-arvo,  $c_{ud} = c_u / 1,75$  (lähteen /22/ mukaan),  $\text{kN/m}^2$

$N_c$  5,14

$s_c$   $1 + 0,2(B/L)$

$i_c$   $0,5 + 0,5(1 - (H_d/Ac_{ud}))^{1/2}$ , missä

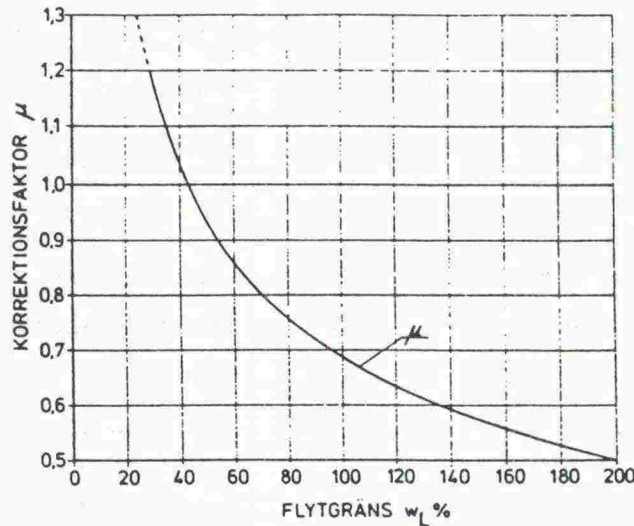
$H_d$  on vaakakuorman laskenta-arvo

$A$  anturan pohjapinta-ala

Kaavalla (1) voidaan lyhytaikainen kantokyky laskea myös eri työvaiheissa.

**Esimerkki 1.** Lasketaan Orasmaan alikulkukäytävän peruslaatan lyhytaikainen kuivatamaton kantokyky kaavalla (1), laatan pohjapaineen voidaan otaksua tasaisesti jakautuvaksi. Siipikairalla mitattu suljettu leikkauslujuus on perustamistasossa ollut noin  $23 \text{ kN/m}^2$ , peruslaatan leveys  $B=8,4 \text{ m}$  ja pituus  $L=11,7 \text{ m}$ , pienin perustamissyvyys  $1,0 \text{ m}$  ja vastaava maan tilavuuspaino  $20 \text{ kN/m}^3$ , kertoimen  $i_c$  arvona voidaan käyttää 1.

Lähteen /36/ mukaan tulee siipikairalla mitattua leikkauslujuuden arvoa redusoida, kuva 15. Juoksurajaa  $w_L$  ei ole siltapaikan maanäytteistä määritetty, kuvassa 13 on  $w_L$  ollut kuivakuoren alla vähän pienempi kuin vesipitoisuus. Redusoiduksi lujudeksi saadaan  $w_L$ -arvolla  $100 \% \quad 0,7 \cdot 23 = 16 \text{ kN/m}^2$ .



Kuva 15. Siipikairalla määritetyn leikkauslujuuden redusointi /36/.

Kantokyvyn arvoksi saadaan

$$q_{\text{md}} = 16,1/1,75 \cdot 5,14 \cdot (1 + 0,2(8,4/11,7)) \cdot 1 + 20 \cdot 1,0 = 74 \text{ kN/m}^2,$$

joten lyhytaikainen kantokyky on riittävä, koska vaarallisimman kuormayhdistelmän mukainen pohjapaine on sillansuunnittelijan laskelmien mukaan  $74 \text{ kN/m}^2$ . Laskennassa ei ole otettu huomioon peruslaatan alle mahdollisesti rakennettavan kitkamaakerroksen jännitystä jakavaa vaikutusta.

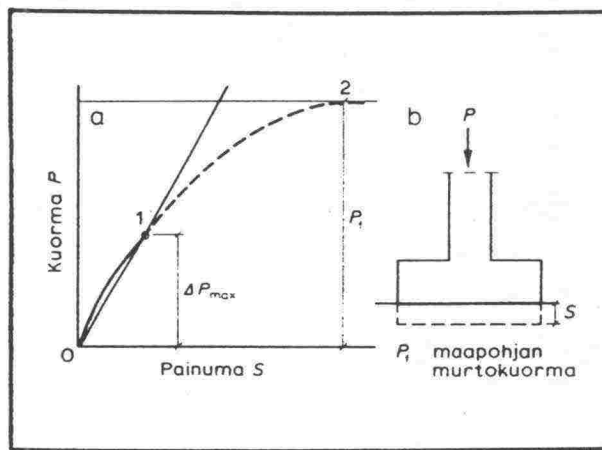
Pitkäaikainen kantokyky voidaan myös laskea kantavuuskaavalla /19, 20, 22, 26/. Laskennassa tarvittavien tehokkaiden lujuusparametrien puuttumisen takia jätetään tämä usein kuitenkin laskematta. Saven varaan perustettaessa ei pitkäaikaisella kantokyvyllä ole kantavuustarkastelussa useinkaan merkitystä, määrääviä ovat lyhytaikainen kantokyky ja painumat.

#### 4.3.2 Painuman laskeminen

Pohjarakennusohjeiden /22/ mukaan hienorakeisten maakerrosten varaan perustettaessa on painuma aina laskettava. Painumalaskelmilla on osoitettava, ettei suunniteltavaan rakenteeseen muodostu sitä teknisesti tai arkkitehtonisesti vaurioittavia painumia tai painumaeroja /22/.



Painumalaskentamenetelmä valitaan sen mukaan, mitä fysikaalisia tapahtumia painuvissa maakerroksissa pohjatutkimusten ja laboratoriotutkimusten perusteella tulee esiintymään. Perinteisesti painumia lasketaan lineaarisen muodonmuutoksen periaatteeseen perustuvilla yhtälöillä ja lisäjännitykset määritetään Boussinesqin teorian mukaan. Yhtälöiden voidaan otaksua olevan voimassa silloin, kun maapohjaan ei pääse muodostumaan laajoja vyöhykkeitä, joissa kuorman aiheuttama leikkausjännitys lähestyy maaperän leikkauslujuutta. Esimerkiksi koheesiomaan tapauksessa, jossa kuorma sijaisee tasaisella maanpinnalla, tulee varmuuskertoimen murtumista vastaan olla  $F \geq (\pi + 2)/\pi = 1,63$ , jotta pohjamaan plastisoitumista ei esiinny /9/. Kuvassa 16 on lineaarisen muodonmuutoksen periaate voimassa pisteiden 0 ja 1 välillä /14/.



Kuva 16. Maan varaan perustetun rakenteen kuorman ja painuman välinen vuorosuhde /14/.

Koheesiomaakerrosten kokonaispainuma koostuu alkupainumasta  $S_u$ , primaarisesta konsolidaatiopainumasta  $S_p$ , sekundaarisesta konsolidaatiopainumasta  $S_s$  sekä plastisista ja kimmoisista sivusiirtymistä aiheutuvasta painumasta /13/.

Alkupainuman aiheuttavat maapohjaan kehittyvät leikkausmuodonmuutokset. Alkupainuma tapahtuu veden kyllästävässä koheesiomaakerroksessa kolmiulotteisessa suljetussa muodonmuutostilassa, jossa ei tapahdu tilavuuden muutoksia eikä suotovirtausta. Alkupainuman otaksutaan tapahtuvan yleensä samalla nopeudella kuin rakenteen kuormat lisääntyvät /14, 25/.

Konsolidaatiopainumalla tarkoitetaan rakennuspohjan tiivistymisestä aiheutuvaa painumaa. Primaarisessa konsolidaatiossa kuormitettu maakerros painuu huokosveden ylipaineen purkautumisen johdosta. Konsolidaatiopainuman yhteydessä painuviin maakerrokseen muodostuva suotovirtaustila on yleensä kolmiulotteinen. Laskelmien yksinkertaistamiseksi määritetään määräävät muodonmuutokset kuitenkin yleensä yksisuuntaisen muodonmuutostilan yhtälöillä. Varsinkin savikerroksissa konsolidaa-

tiopainuma tapahtuu hyvin hitaasti, joten primaarisen konsolidaatiopainuman suuruuden lisäksi on tärkeää tietää painuman ajallinen kehittyminen /14, 25/.

Sekundaaripainumalla tarkoitetaan raerungon muodonmuutoksesta aiheutuvaa painumaa. Sekundaaripainuman otaksutaan alkavan silloin, kun jännityksen lisäyksen aiheuttama huokosveden ylipaine kokoonpuristuvissa maakerroksissa on kokonaan purkautunut. Primaarisen ja sekundaarisen painuman rajakohdan määrittäminen on yleensä erittäin vaikeaa. Sekundaarinen painuma jätetään usein laskematta varsinkin silloin, kun primaarinen konsolidaatio tapahtuu hitaasti /14, 25/.

Plastisista ja kimmoisista sivusiirtymistä aiheutuvaa painumaa tapahtuu merkittävästi silloin, kun varmuus maapohjan murtumista vastaan on pieni ( $F < 1,7-2,0$ ) /13/. Maanvaraisen perustuksen kantokyvyn varmuusluvulle on Pohjarakennusohjeessa /22/ annettu minimiarvo 2,0, joten plastisoitumisesta johtuvan painuman suuruuden määrittämisellä ei ole siltojen perustuksia mitoitettaessa sanottavaa merkitystä.

#### 4.3.2.1 Jännitykset painuman laskennassa

##### Geostaattiset jännitykset

Geostaattiset jännitykset ovat maassa ennen rakentamista vallitsevia jännityksiä, jotka aiheutuvat maan omasta painosta. Geostaattisia jännityksiä käytetään painumalaskelmissa alkujännityksinä, joihin rakentamisen aiheuttamat jännitykset lisätään.

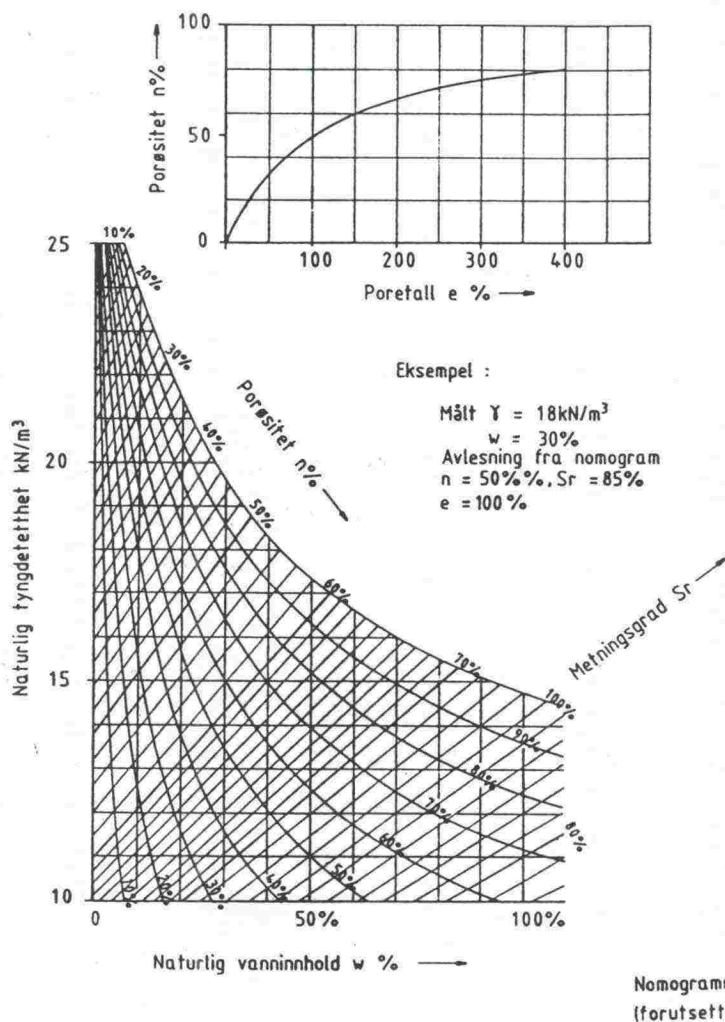
Geostaattisia jännityksiä laskettaessa sovelletaan kimmoteoriaa. Maakerrosta käsitellään elastisena puoliavuutena ja se oletetaan homogeeniseksi ja isotrooppiseksi. Maan omasta painosta aiheutuvat jännitykset lasketaan maakerrosten tilavuuspaino- ja kerrospaksuustietojen sekä lepopainekertoimen perusteella. Vastaavasti saadaan vallitseva tehokas jännitys, kun tunnetaan huokospaine- ja pohjavesitaso.

Kapillaarijännitys ja alaspäin suuntautuva veden virtaus kasvattavat tehokasta vertikaalista jännitystä, ylöspäin suuntautuva virtaus vastaavasti pienentää tehokasta vertikaalijännitystä.

Taulukossa 5 sekä kuvassa 17 on eri lähteissä esitettyjä irtotiheyden ja tilavuuspainon arvoja.

Taulukko 5. Luonnonmaakerrosten irtotiheyden ominaisarvoja /22/.

Maakerros	Irtotiheys $t/m^3$
Kuiva siltti, hiekka tai sora	1,5...1,8
Kostea siltti, hiekka tai sora	1,6...2,0
Veden kyllästämä siltti, hiekka tai sora	1,8...2,2
Kostea moreeni	1,8...2,2
Veden kyllästämä moreeni	1,9...2,3
Veden kyllästämä savi	1,4...1,7
Veden kyllästämä lieju	1,1...1,5
Veden kyllästämä turve	1,0...1,2



Kuva 17. Saven tilavuuspaino vesipitoisuuden funktiona /24/.

Someron alikulkukäytävien siltapaikoilta ei ole määritetty saven tilavuuspainoja. Laskelmissa on käytetty kuvasta 13 saatuja tilavuuspainon arvoja, eli kuivakuorisavessa  $16 \text{ kN/m}^3$  ja tämän alla  $15 \text{ kN/m}^3$ .

### Jännitysten jakautuminen Boussinesqin teorian mukaan

Geomekaniikassa yleisesti käytetyt jännitysjakautumateoriat pitävät maapohjaa lineaarisesti kimmoisena puoliavaruutena eli maaperän oletetaan noudattavan Hooken lakia. Boussinesqin teoriassa oletetaan lisäksi, että maaperä on homogeeninen, isotrooppinen, jatkuva ja painoton. Kuorma vaikuttaa puoliavaruuden pinnalla sitä vastaan kohtisuoraan /35/.

Pistemäisestä pystykuormasta aiheutuvien jännitystenkomponenttien lausekkeista on erilaisille kuormituspinta-aloille ratkaistu sekä tarkkoja että likimääräisiä kaavoja ja nomogrammeja. Jännitysten laskennassa käytetään nykyään useimmiten tietokoneita.

Yleisesti käytetty tapa on tarkastella jännitysjakautumaa suorakaiteen muotoisen taipuisan kuormitusalueen nurkkapisteen alapuolella. Jännitykset voidaan laskea kaavoja (2) käyttäen, merkinnät ovat kuvan 18 mukaiset. Pystyjännitykset voidaan määrittää myös kuvassa 18 esitetyn nomogrammin avulla /35/.

$$\sigma_z = \frac{p}{2\pi} \left[ \arctan \frac{BL}{zR_3} + \frac{BLz}{R_3} \left( \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \right] \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x = \frac{p}{2\pi} \left[ \arctan \frac{BL}{zR_3} - \frac{BLz}{R_1^2 R_3} \right. \\ \left. + (1 - 2\nu) \left( \arctan \frac{L}{B} - \arctan \frac{Lz}{BR_3} - \arctan \frac{BL}{zR_3} \right) \right] \quad (2b) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_y = \frac{p}{2\pi} \left[ \arctan \frac{BL}{zR_3} - \frac{BLz}{R_2^2 R_3} \right. \\ \left. + (1 - 2\nu) \left( \arctan \frac{B}{L} - \arctan \frac{Bz}{LR_3} - \arctan \frac{BL}{zR_3} \right) \right] \quad (2c) \end{aligned}$$

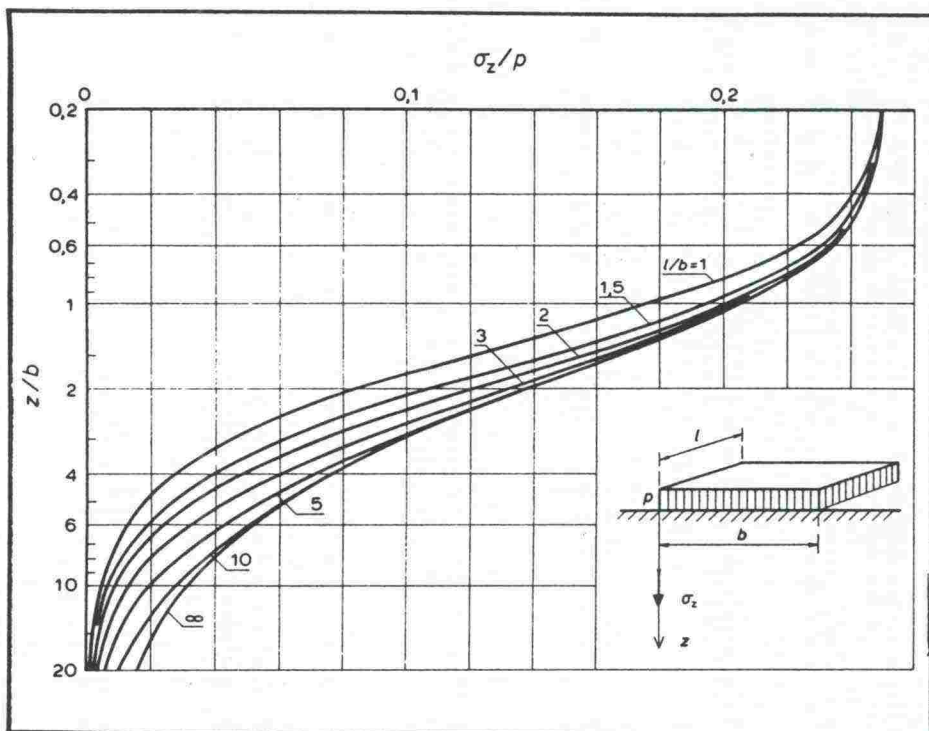
$$R_1 = \sqrt{b^2 + z^2}$$

$$R_2 = \sqrt{l^2 + z^2}$$

$$R_3 = \sqrt{b^2 + l^2 + z^2}$$

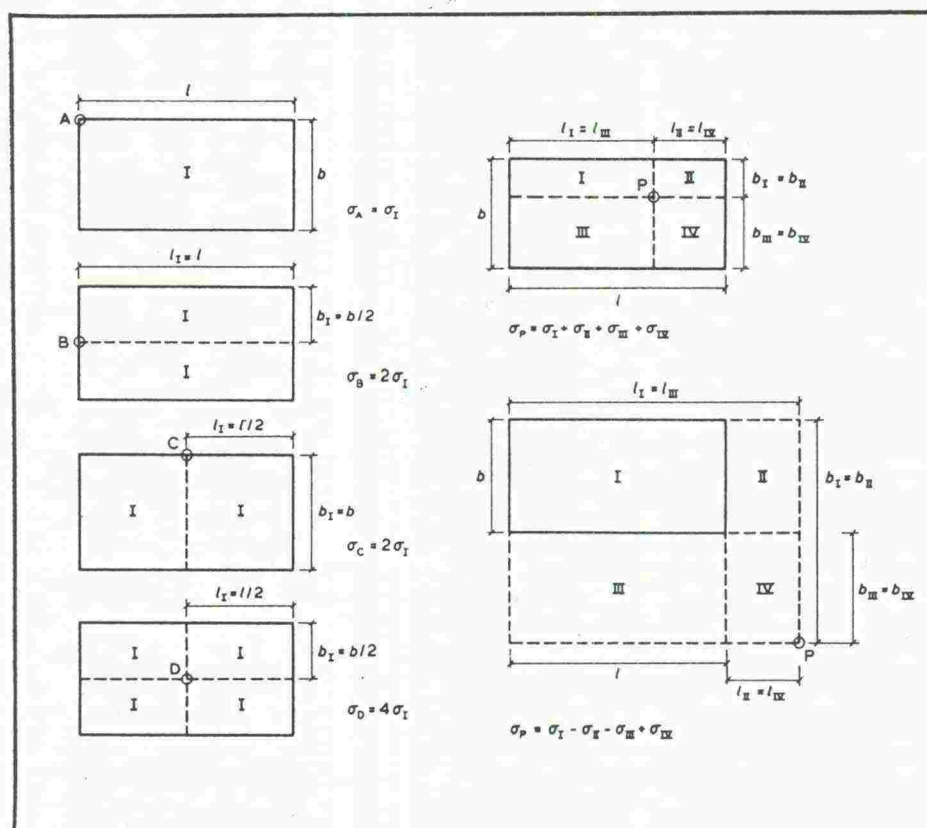
missä

- $\sigma_z$  on kuormasta aiheutuva pystyjännitys  
 $\sigma_x$  kuormasta aiheutuva vaakajännitys x-akselin suunnassa  
 $\sigma_y$  kuormasta aiheutuva vaakajännitys y-akselin suunnassa  
 B laatan leveys  
 L laatan pituus  
 $\nu$  maapohjan Poissonin luku  
 p tasaisesti jakautunut kuorma



Kuva 18. Tasaisesti kuormitetusta taipuisasta laatasta aiheutuvan pystyjännityksen määrittäminen laatan nurkan alapuolella maapohjassa [35/].

Jännitykset voidaan laskea mielivaltaisessa pisteessä suorakaiteen muotoisen kuormitusalueen alla tai sivulla kuvan 19 superpositioperiaatteella.



Kuva 19. Jännitysten määrittäminen maapohjassa suorakaiteen muotoisen kuormitusalueen alla tai sivulla, superpositioperiaate /35/.

Äärettömän jäykän peruslaatan (kuorman) aiheuttama pystysuora muodonmuutos on heti laatan alla vakio, eli laatta painuu tasaisesti. Kosketuspaine jäykän laatan ja elastisen maa-aineksen kontaktipinnassa ei olekaan tällöin vakio vaan noudattaa pitkänomaisen tasaisen kuorman tapauksessa kuvan 20 merkintöjä käytettäessä kaavaa (3a) /7, 11/.

$$p = \frac{2q}{\pi \sqrt{1 - (2x/B)^2}} \quad (3a)$$

missä

- p on kosketuspaine  
 q tasaisesti jakautunut pystysuora kuorma  
 B pitkänomaisen kuorman leveys.

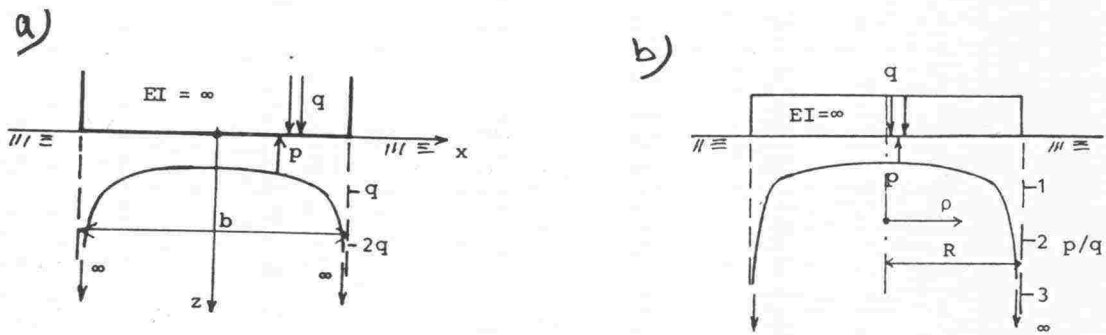
Vastaavasti ympyrälaatan alapuolella saadaan kosketuspaine kaavasta (3b), kuva 20

$$p = \frac{q}{2\sqrt{1 - (r/R)^2}} \quad (3b)$$

missä  $r$  on tarkasteltavan pisteen etäisyys laatan keskipisteestä ja  $R$  on ympyrälaatan säde. Suorakaidelaatalle saadaan vastaavasti

$$p = \frac{4q}{\pi^2 \sqrt{(1 - (2x/B)^2)(1 - (2y/L)^2)}} \quad (3c)$$

missä  $x$  on sivun  $B$  ja  $y$  sivun  $L$  suuntainen etäisyys laatan keskipisteestä.



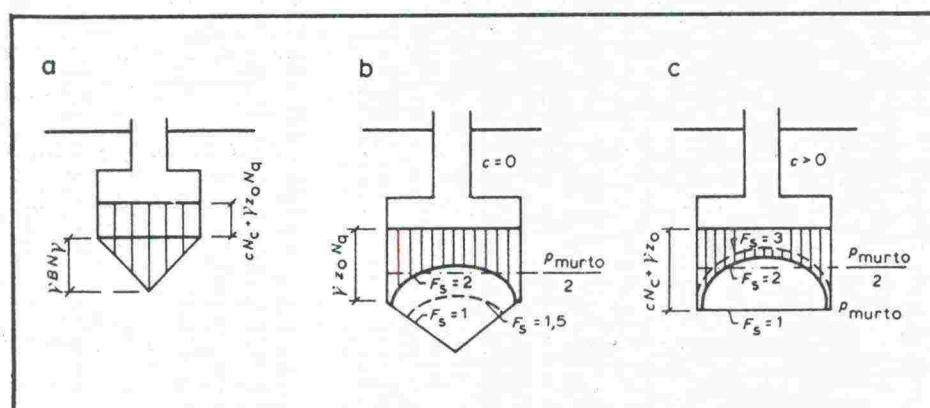
Kuva 20. Kosketuspaine jäykän (a) pitkänomaisen laatan ja (b) ympyrälaatan alla // //.

Epätasainen kosketuspaineen jakautuma vaikuttaa jännityksiin ainoastaan lähietäisyydellä kuorman alla. Syvemmällä jännitysjakautuma poikkeaa esimerkiksi painumatarkastelussa käytetystä tasaisen jännitysjakautuman oletuksesta merkityksettömän vähän, taulukko 6 // //.

Taulukko 6. Jännitysten jakautuminen pitkänomaisen laatan alla, vertailu taipuisan ja jäykän laatan välillä. Merkinnot kuvan 20 mukaan /7/.

z/b	x/b=0		x/b=0,5		x/b=1,0		x/b=2,0	
0,0	1,000	0,637	0,500	∞	0,000	0,000	0,000	0,000
0,25	0,960	0,683	0,493	0,710	-	-	-	-
0,5	0,818	0,676	0,480	0,535	0,084	0,104	0,005	0,006
1,0	0,550	0,513	0,409	0,407	0,185	0,186	0,029	0,031
1,5	0,396	0,383	0,334	0,329	0,211	0,215	0,059	0,061
2,0	0,306	0,300	0,275	0,271	0,205	0,209	0,083	0,085
3,0	0,208	0,206	0,198	0,196	0,170	0,170	0,103	0,103
4,0	0,157	0,156	0,153	0,152	0,140	0,140	0,102	0,102
5,0	0,126	0,126	0,124	0,124	0,117	0,117	0,084	0,084

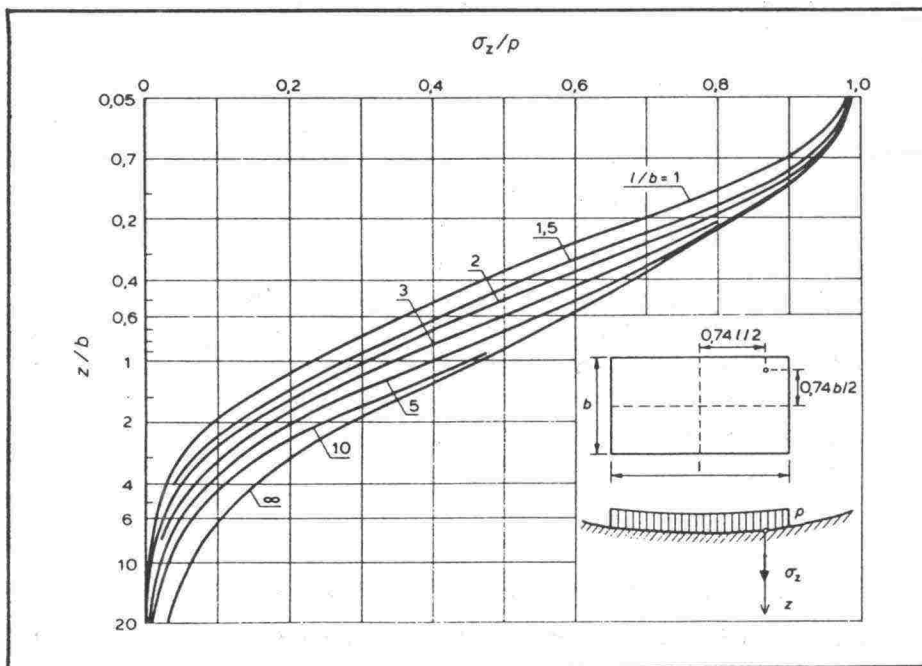
Jäykän laatan reunalla muodostuu kaavoilla (3) laskettu jännitys äärettömän suureksi. Kosketuspaine ei voi kuitenkaan muodostua suuremmaksi kuin murtotilassa esiintyvä reunapaine, joka kantavuuskaavojen mukaan on koheesiomaassa  $cN_c + \gamma z_0$ , kuva 21 /11, 35/.



Kuva 21. Pohjapaineen jakautuminen jäykän anturan ja koheesiomaan (suljettu tila) välisessä kosketuspinnassa, käyttötila.  $F_s$  on kokonaisvarmuuskerroin /11/.

Jäykän ja taipuisan laatan painumat ovat yhtä suuret ns. merkitsevien (tunnetaan myös vastinpisteinä) pisteiden kohdalla. Pisteiden paikat selviävät kuvasta 22. Jännitysten laskentaan voidaan käyttää kaavoja (4) tai kuvan 22 nomogrammia.





Kuva 22. Pystyjännityksen jakautuminen suorakaiteen muotoisen laatan merkitsevän pisteen alla /35/.

Koheesiomailla esiintyy usein pinnassa niin paksu kuivakuorikerros, että sillä on merkitystä jännitysten jakautumiseen myös syvemmällä maaperässä. Myös täytemaakerroksella on vastaava vaikutus. Jos lujemman pintakerroksen kimmomoduuli on merkittävästi suurempi kuin sen alla olevalla maakerroksella, "keskittyy jännitys" pintakerrokseen ja tämän seurauksena pintakerroksen päällä olevan kuormituksen aiheuttama lisäjännitys pehmeämmässä maakerroksessa jää pienemmäksi kuin homogeenisessa maapohjassa /25/.

Burmisterin teorialla laskettujen jännitysten on todettu korreloineen hyvin mitattujen arvojen kanssa silloin, kun luja ylempi kerros, esim. koheesiota omaava kuivakuori, on pystynyt ottamaan vastaan leikkausjännityksiä. Boussinesqin teorialla määritettyjen jännitysten on todettu korreloineen hyvin mitattujen jännitysten kanssa tapauksessa, jossa ekvivalenttipaksuudeksi muutettu kerros on ollut vetoakestämätöntä kitkamaata /25, 35/.

Jännitysten jakautumaan vaikuttavia tekijöitä, mm. kuormituksen muoto (esim. ympyrä, neliö, äärettömän pitkä) ja kuormitusalueen koko, maaperän plastisuus, maaperän kerroksellisuus (esim. poikkeavuudet muodonmuutosominaisuuksissa, kiinteän pohjan vaikutus, poikkeavuudet kimmomoduuleissa), perustamissyvyys sekä kuormituksen epäkeskeisyys, on selvitetty mm. lähteissä /11, 18, 25, 35/.

### 4.3.2.2 Alkupainuman laskeminen

Suljetussa tilassa tapahtuva koheesiomaiden alkupainuma lasketaan yleensä suurimman mahdollisen rakennusaikana esiintyvän kuorman tai kuormayhdistelmän aiheuttaman bruttopohjapaineen perusteella. Alkupainuma lasketaan suljetun tilan muodonmuutosmoduulin  $E_u$  ja sitä vastaavan Poissonin luvun  $\nu=0,5$  avulla /14/.

Homogeenisen koheesiomaan varaan perustettavan tasaisesti pystysuoraan kuormitetun laatan keskimääräinen alkupainuma voidaan laskea kaavalla (4), kuva 23 /12/.

$$S_u = \mu_0 \mu_1 \frac{pB}{E_{um}} \quad (4)$$

missä

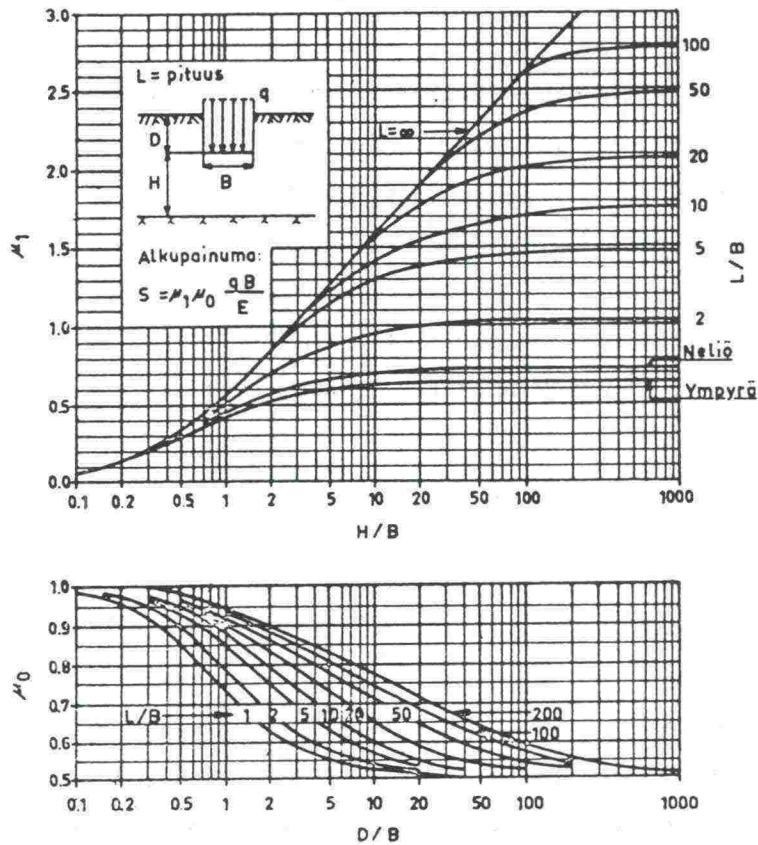
$S_u$  on alkupainuma  
 $\mu_0, \mu_1$  peruslaatan pituudesta  $L$  ja leveydestä  $B$ , perustamissyvyydestä  $D$  sekä painuvan kerroksen paksuudesta  $H$  riippuvat kertoimet, kuva 23  
 $p$  bruttopohjapaine  
 $E_{um}$  suljetussa tilassa painuvan maakerroksen keskimääräinen muodonmuutosmoduuli

Homogeenisen, paksun maakerroksen pinnalle tai lähelle maanpintaa perustetun rakenteen alkupainuma voidaan laskea kaavalla (5) /18/.

$$S_u = C_d p B \frac{1 - \nu^2}{E_u} \quad (5)$$

missä

$S_u$  on alkupainuma  
 $C_d$  kuorman muodosta ja tarkasteltavan pisteen sijainnista kuorman suhteen riippuva kerroin, taulukko 7  
 $p$  bruttopohjapaine  
 $B$  kuorman leveys  
 $E_u$  painuvan kerroksen muodonmuutosmoduuli  
 $\nu$  painuvan kerroksen Poissonin luku



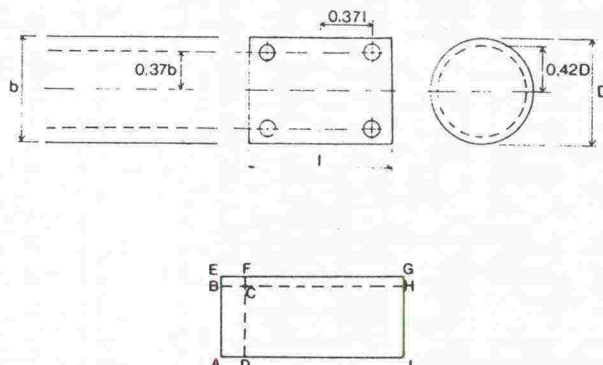
Kuva 23. Suorakaiteen muotoisen laatan alkuperäisen laskennassa tarvittavat kertoimet  $\mu_0$  ja  $\mu_1$  /12/.

Taulukko 7. Kuorman muodosta ja jäykkyydestä riippuvan kertoimen  $C_d$  arvoja eri kohdilla kuormaa /18/. Taulukkoon on lisätty kertoimen  $C_d$  arvo merkittävissä pisteissä /7/.

Kuorman muoto	Sivun B		Sivun L		Keski- määrin	Merkittävä piste
	Keskipiste	Nurkka	keskellä	keskellä		
Ympyrä, taipuisa	1,00	0,64	0,64	0,64	0,85	0,79
Ympyrä, jäykkä	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	
Neliö, taipuisa	1,12	0,56	0,76	0,76	0,95	0,86
Neliö, jäykkä	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	
Suorakaide, taipuisa:						
L/B 1,5	1,36	0,67	0,89	0,97	1,15	1,04
2	1,52	0,76	0,98	1,12	1,30	1,18
3	1,78	0,88	1,11	1,35	1,52	1,40
5	2,10	1,05	1,27	1,68	1,83	1,69
10	2,53	1,26	1,49	2,12	2,25	2,11
100	4,00	2,00	2,20	3,60	3,70	3,56
1000	5,47	2,75	2,94	5,03	5,15	
10000	6,9	3,50	3,70	6,50	6,60	

Taulukosta 7 saatavien kertoimien  $C_d$  perusteella voidaan todeta, että laatan jäykkyydellä on varsin pieni vaikutus laatan keskimääräiseen painumaan.

Suorakaiteen muotoisen taipuisan laatan keskipisteen painuma on puolet nurkan painumasta. Alkupainuman laskennassa on superpositioperiaate voimassa, joten esimerkiksi merkitsevän pisteen painuma voidaan laskea jakamalla laatta osiin, kuva 24. Myös useamman kuin yhden kuorman aiheuttama alkupainuma voidaan laskea tällä menetelmällä.



Kuva 24. a) Merkitsevän pisteen sijainti

b) Merkitsevän pisteen C alkupainuma saadaan superpositioperiaatteella suorakulmioiden CDAB, CBEF, CFGH ja CHID avulla /7/.

Taulukosta 7 saatavia kertoimen  $C_d$  arvoja voidaan käyttää tapauksessa, jossa kokoonpuristuva maapohja on paksu kuormitusalueen mittoihin nähden. Kovan pohjan vaikutus voidaan ottaa huomioon korvaamalla kaavassa (7) oleva kerroin  $C_d$  taulukoista 8 tai 9 saatavalla kertoimella  $C'_d / 18/$ .

Taulukko 8. Kertoimen  $C'_d$  arvoja taipuisan laatan keskipisteen alkupainuman laskemista varten eri syvyisille pehmeiköille, H on mitta kuorman alapinnasta kovaan pohjaan /18/.

H/B	Ympyrä	Suorakaide						
	Halk.=B	L/B=1	L/B=1,5	L/B=2	L/B=3	L/B=5	L/B=10	L/B=∞
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
0,5	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
1,0	0,70	0,75	0,81	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
1,5	0,80	0,86	0,97	1,03	1,07	1,08	1,08	1,08
2,5	0,88	0,97	1,12	1,22	1,33	1,39	1,40	1,40
3,5	0,91	1,01	1,19	1,31	1,45	1,56	1,59	1,60
5,0	0,94	1,05	1,24	1,38	1,55	1,72	1,82	1,83
∞	1,00	1,12	1,36	1,52	1,78	2,10	2,53	∞

Taulukko 9. Kertoimen  $C'_d$  arvoja taipuisan laatan pidemmän sivun  $L$  keskellä sijaitsevan pisteen alkupainuman laskemista varten eri syvyisille pehmeille,  $H$  on mitta kuorman alapinnasta kovaan pohjaan /18/.

H/B	Ympyrä	Suorakaide						
	Halk.=B	L/B=1	L/B=1,5	L/B=2	L/B=3	L/B= 5	L/B=10	L/B=∞
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
0,25	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
0,5	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
1,0	0,36	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
1,5	0,44	0,52	0,60	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
2,5	0,51	0,61	0,74	0,82	0,91	0,97	0,97	0,97
3,5	0,55	0,65	0,80	0,90	1,03	1,13	1,17	1,17
5,0	0,58	0,69	0,85	0,96	1,12	1,28	1,39	1,39
∞	0,64	0,76	0,97	1,12	1,35	1,68	2,12	∞

Tapauksessa, jossa paksun kokoonpuristuvan maakerroksen päällä on ohut vähemmän kokoonpuristuva kerros, saadaan alkupainuma kaavasta (6) /18/.

$$S_{u1} = \alpha S_{u\infty} \quad (6)$$

missä  $S_{u1}$  on tasaisesti kuormitetun ympyrälaatan keskipisteen painuma, kun alla olevan kerroksen muodonmuutosmoduuli on  $E_{u1}$ , Poissonin luku  $\nu_1$  ja paksuus  $H$  ja kokoonpuristuvamman äärettömän paksun kerroksen vastaavat termit ovat  $E_{u2}$  ja  $\nu_2$ .  $S_{u\infty}$  on tasaisesti kuormitetun ympyrälaatan keskipisteen painuma kokoonpuristuvamman kerroksen muodonmuutosparametreilla  $E_{u2}$  ja  $\nu_2$  laskettuna. Muunnoskaavan (6) kerroin  $\alpha$  saadaan taulukosta 10 erilaisille  $H/B$  ja  $E_1/E_2$  suhteille, lisäksi on oletettu, että liukumia kerrosten rajapinnassa ei tapahdu /18/.

Taulukko 10. Korjauskertoimen  $\alpha$  arvoja laskettaessa tasaisesti kuormitetun ympyrälaatan keskipisteen alkupainumaa. Ylinnä olevan vähemmän painuvan paksuudeltaan  $H$  olevan kerroksen muodonmuutosmoduuli on  $E_{u1}$ , tämän alla olevan äärettömän paksun pehmeämmän kerroksen muodonmuutosmoduulista on käytetty merkintää  $E_{u2}$ ;  $\nu_1 = \nu_2 = 0,4$  /18/.

H/B	$E_{u1}/E_{u2}$				
	1	2	5	10	100
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,1	1,000	0,972	0,943	0,923	0,760
0,25	1,000	0,885	0,779	0,699	0,431
0,5	1,000	0,747	0,566	0,463	0,228
1,0	1,000	0,627	0,399	0,287	0,121
2,5	1,000	0,550	0,274	0,175	0,058
5,0	1,000	0,525	0,238	0,136	0,036
$\infty$	1,000	0,500	0,200	0,100	0,010

Kerroksellisen maaperän alkupainuman laskennassa tarvittavien jännitysten sekä alkupainuman laskentaa on tarkemmin käsitelty mm. lähteissä /18, 25, 35/.

**Esimerkki 2.** Lasketaan Hulmin alikulkukäytävän peruslaatan alkupainuma. Laatan mitat ovat: pituus  $L=20,0$  m, leveys  $B=7,6$  m ja paksuus  $0,7$  m, jolloin tasaisesti jakautunut pystykuorma  $p \approx 16,0$  kN/m<sup>2</sup>. Perustamissyvyytensä voidaan käyttää maanpintaa, mitta laatan alapinnasta kovaan pohjaan on  $9,0$  m.

Laskennassa tarvittava kokoonpuristuvan maakerroksen suljetun tilan muodonmuutosmoduuli  $E_u$  voidaan arvioida kaavalla (7) /3/

$$E_u = (250 \dots 500)s_u \quad (7)$$

missä kerroin riippuu konsolidaatioasteesta ja maapohjan varmuudesta murtumista vastaan,  $s_u$  on maaperän suljettu leikkauslujuus. Kaavalla (7) saadaan muodonmuutosmoduulille vain karkea likiarvo, laboratoriossa määrittäminen voidaan tehdä suljetulla kolmiakselikokeella /25/.

Kaavaan (4) saadaan kertoimet suhteilla  $L/B = 20,0/7,6 \approx 2,63$ ,  $H/B = 9,0/7,6 \approx 1,18$ ,  $D/B = 0/7,6 = 0$ .

Laatan keskimääräiseksi painumaksi saadaan näin

$$S_u = 1,0 \cdot 0,6 \cdot 16,0 \cdot 7,6 / (250 \cdot 30) = 9,7 \text{ mm},$$

kun muodonmuutosmoduuli on laskettu kertoimen arvolla 250 ja leikkauslujuuden arvolla  $30 \text{ kN/m}^2$ , ks. liite 1.

Kaavalla (5) saadaan taipuisan laatan keskipisteen alkupainumaksi syvällä pehmeiköllä

$$S_u = 1,68 \cdot 16,0 \cdot 7,6 \cdot (1 - 0,5^2) / (250 \cdot 30) = 20,4 \text{ mm}.$$

Kovan pohjan vaikutuskerroin saadaan taulukosta 8 taipuisan laatan keskipisteelle, kertoimen  $C_d=1,68$  sijasta on käytettävä kerrointa  $C'_d=0,92$ . Taulukon 7 mukaan on suhteella  $L/B=2$  laatan keskimääräisen painuman suhde keskipisteen painumaan noin 0,85, joten alkupainumaksi saadaan  $S_u = 9,5 \text{ mm}$ . Molemmilla laskentatavoilla saadaan täten aivan sama tulos.

Hulmin alikulkukäytävän peruslaatan painumat on esitetty kuvassa 9. Painumahavaintopisteet ovat sijainneet  $7,6 \times 20,0 \text{ m}^2$  laatan nurkissa. Ensimmäinen havainto on tehty laatan valua seuraavana päivänä. Toinen havainto on tehty viikon päästä, muotit on purettu kahta päivää aiemmin. Laatan toinen pää on painunut havaintojen perusteella 15–20 mm, toinen 4–6 mm. Tästä 13 päivän kuluttua on vaaituspisteet siirretty reuna-palkkeihin eli elementit on asennettu tällä välillä, lisäkuormaa on elementeistä elementtiluettelon mukaan tullut 165,4 tonnia eli  $10,7 \text{ kN/m}^2$ . Laatasta on aiemmin enemmän painunut pää painunut tämän 13 päivän aikana 7–10 mm, toinen 4–5 mm, ks. liite 1. Edellä pelkän peruslaatan alkupainumassa käytettyjä lähtöoletuksia käyttäen saadaan jäykän laatan lasketuksi alkupainumaksi  $10,7 \text{ kN/m}^2$  kuormalla 6,1 mm.

**Esimerkki 3.** Lasketaan Heikintien alikulkukäytävän alkupainuma. Sillansuunnittelijan laskema pysyvä kuorma on  $55 \text{ kN/m}^2$ , laatan mitat ovat  $B=8,4 \text{ m}$  ja  $L=15,0 \text{ m}$ . Kokoonpuristuvan kerroksen paksuus on 15,0 m.

Kaavan (4) kertoimien arvoiksi saadaan  $\mu_0=1,0$  ja  $\mu_1=0,65$ , keskimääräiseksi muodonmuutosmoduulin arvoksi valitaan  $(250 \dots 500) \cdot (20 \dots 30) \text{ kN/m}^2$ , joten alkupainuman arvioiduksi vaihteluväliksi saadaan 20–60 mm. Koska kokoonpuristuva pohjamaa on ylikonsolidoitunut, voidaan alkupainuman arvo valita lähempää vaihteluvälin alarajaa, joten  $S_u \approx 30 \text{ mm}$ . Vastaavasti arvioitiin Ruunalan akk:n alkupainumaksi noin 40 mm ja Orasmaan akk:n alkupainumaksi noin 60 mm.

Koheesiomaakerrokselle perustettavan rakenteen alkupainuman suuruudella on usein käytännöllistä merkitystä lähinnä liitosrakenteiden suunnittelussa /14/. Alikulkukäytävien alkupainuman laskenta on tarpeen arvioitaessa mm. kuivatusrakenteiden välittömästi kuormitusten mukaan muodostuvia painumia ja painumaeroja.

### **Kaivannon pohjan kohoaminen**

Alkupainuman laskemiseksi on edellä esitetty kaksi eri laskentakaavaa. Kaavassa (4) otetaan huomioon perustamissyvyys, kaavaa (5) käytettäessä oletetaan kuormituksen vaikuttavan maanpinnalla tai lähellä maanpintaa. Seuraavassa esitetään laskentakaava kaivannon pohjan kohoamisen suuruuden arvioimiseen ja verrataan eri kaavoilla määritettyjen kaivannon pohjan kohoamisen suuruuksia.

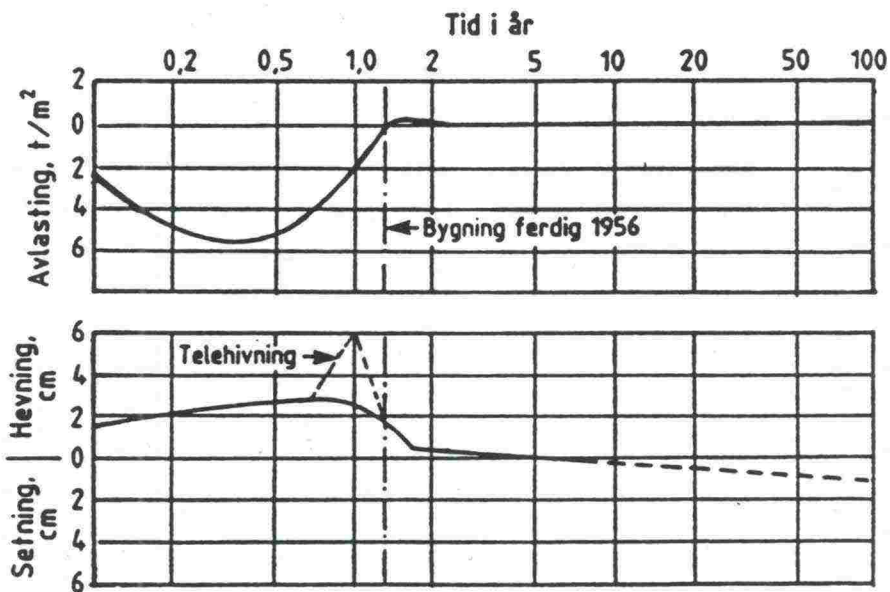
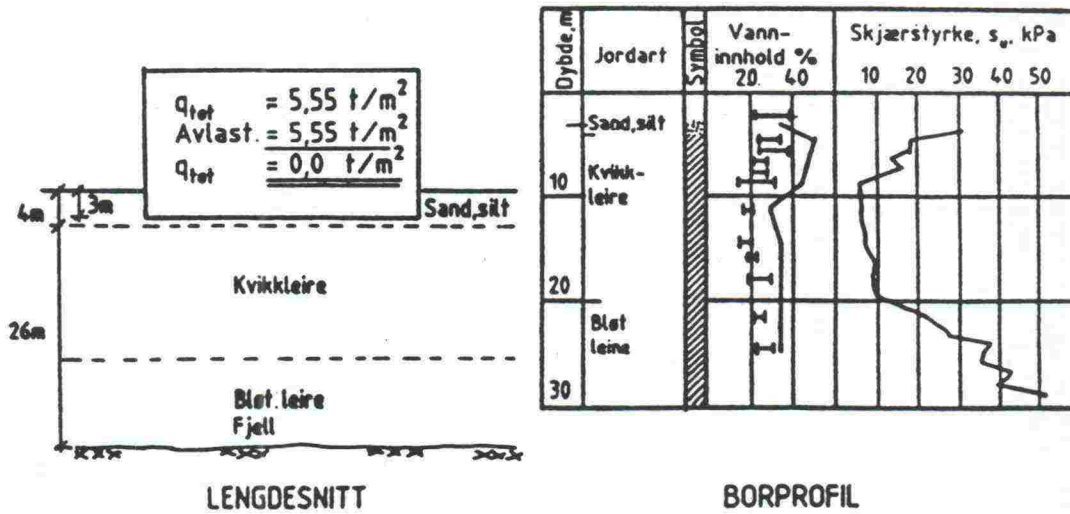
Alikulkukäytävän vaatiman kaivannon teko aiheuttaa jännitystilän muutoksen pohjamaahan, jolloin kaivannon pohja kohoaa. Rakentamisvaiheessa kohoaminen palautuu ja aiheuttaa rakenteen painumaa. Pohjan kohoamista ja siitä aiheutuvaa rakenteen painumaa ei voida estää, mutta kohoamisen suuruuteen voidaan vaikuttaa /6/.

Lähteen /6/ mukaan kaivannon pohjan kohoaminen voi johtua kolmesta erilaisesta tekijästä. Ensiksikin kaivannon pohjassa tapahtuu kimmoista siirtymää, koska poistettu maa-aines pienentää kuormitusta; toiseksi, kaivannon ollessa avonaisena pitemmän aikaa, tapahtuu maa-aineksen vähittäistä paisumista ja vesipitoisuuden kasvua johtuen jännitysten pienenemisestä; kolmanneksi, varmuuden kaivannon pohjan nousua vastaan olessa pieni, voi tapahtua ympäröivän maa-aineksen plastista siirtymää kohti kaivantoa.

Saveen tehdyn kaivannon pohjan kohoamista voidaan vähentää esimerkiksi tekemällä kaivanto pienissä osissa. Hyvin tärkeä kohoamisen suuruuteen vaikuttava tekijä on kaivannon aukioloaika. Jos kaivanto pystytään kuormittamaan välittömästi aukikaivamisen jälkeen, voidaan pohjamaan paisumisesta ja vesipitoisuuden kasvusta johtuvaa pohjan kohoamista rajoittaa /1, 6/.

Esimerkki kaivannon pohjan kohoamisesta ja siitä aiheutuvasta painumasta on esitetty kuvassa 25. Havaintopiste on sijainnut kooltaan noin  $34 \times 19,5 \text{ m}^2$  olevan yhtenäiselle peruslaatalle perustetun 4,5 kerroksisen rakennuksen kulmassa. Kaivun aikana on suurimmaksi pohjan kohoamisen arvoksi mitattu 29 mm. Myös rakennuksen mitattu painuma on 29 mm, painuma on päättynyt rakennuksen valmistuttua. Rakennuksesta aiheutuva tasainen kuormitus on kuvassa käytettyinä yksikköinä ilmaistuna  $5,6 \text{ t/m}^2$ . Poiskaivettujen massojen paino on ollut sama, jolloin nettokuormitus on nolla /1, 3/.





Kuva 25. Bragernesin apteekki, Drammen /1, 3/.

Periaatteessa pohjan kohoamisen suuruuden arviointi on aivan samanlainen laskenta-tehtävä kuin painuman laskenta, laskennassa tarvittava muodonmuutosmoduulin arvo valitaan kolmiakselikokeen palautusvaiheesta ja kokoonpuristuvuusmoduulin arvo kuormitus-kokoonpuristumakuvaajan palautusvaiheen sopivalta jännitysalueelta /6/.

Elastinen kaivannon pohjan kohoaminen voidaan pitkälle kaivannolle laskea kaavalla (8) /18/

$$R_u = \Delta_{\text{strip}} \frac{\gamma D^2}{E_u} \quad (8)$$

missä

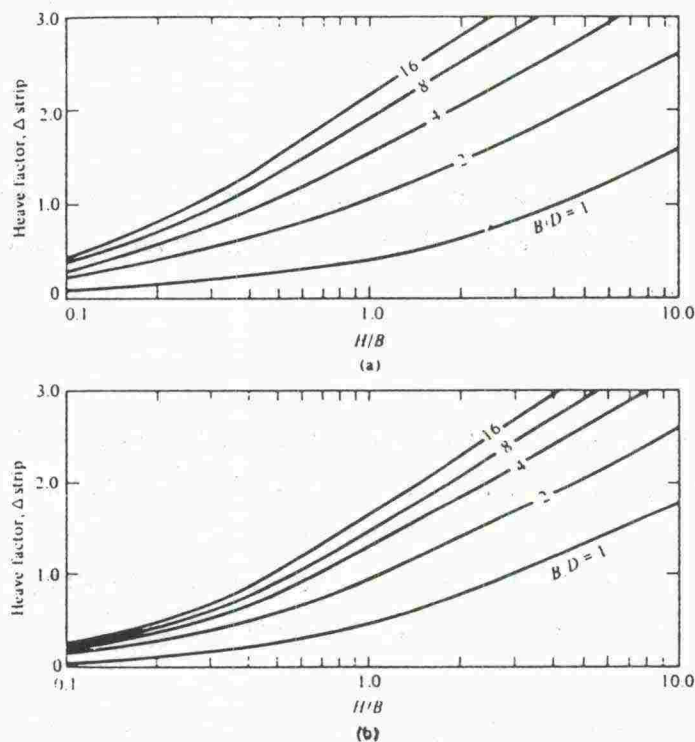
$R_u$  on pitkänomaisen kaivannon pohjan kohoaminen

$\Delta_{\text{strip}}$  kuvan 26 nomogrammista saatava kerroin

$\gamma$  poistettavan maa-aineksen tilavuuspaino

$D$  kaivannon syvyys

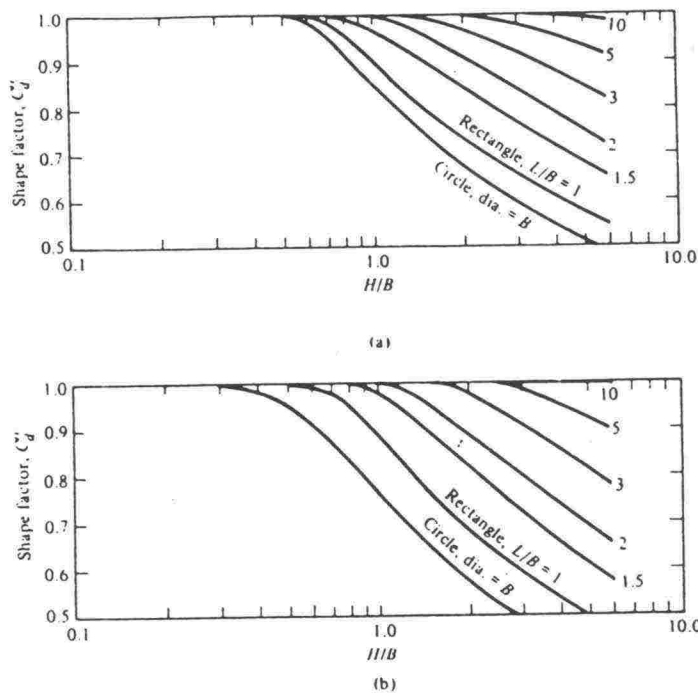
$E_u$  kaivannon pohjan alapuolisen kokoonpuristuvan maa-aineksen muodonmuutosmoduuli (palautusvaiheen moduuli)



Kuva 26. Kaivannon pohjan kohoamisen laskennassa tarvittava kerroin  $\Delta_{\text{strip}}$ , kaivanto pitkänomainen, pohjamaa lineaarisesti kimmoista ja paksuudeltaan rajoitettu. (a) Keskilinjalla; (b) kaivannon kulmassa /18/.

Kaivannon pituuden suhteen leveyteen ollessa pienempi kuin 5 saadaan pohjan kohoaminen määritettyä kaavalla (9). Kerroin  $C_u$  saadaan kuvasta 27 /18/.

$$R_u = C_u \Delta_{\text{strip}} \frac{\gamma D^2}{E_u} \quad (9)$$



Kuva 27. Kaivannon muodosta riippuva korjauskerroin  $C_u$ . (a) Kerroin kaivannon keskipisteen; (b) kerroin kaivannon pidemmän sivun keskipisteen kohoamisen laskemiseen /18/.

**Esimerkki 4.** Verrataan eri laskukaavoilla saatavia kaivannon pohjan kohoamisen arvoja keskenään. Kohde on Heikintien alikulkukäytävä, kaivannon leveys  $B=12$  m, pituus  $L=24$  m, syvyys  $D=4$  m, mitaksi kaivannon pohjasta kovaan pohjaan valitaan laskujen helpottamiseksi  $H=12$  m, poistettavan maamassan tilavuuspainona käytetään  $\gamma=16$  kN/m<sup>3</sup>. Vertailu tehdään seuraavilla kaavoilla:

- kaava (4): kuormituksena käytetään kaivannosta poistettavaa maamassaa  
 kaava (5): kuormitus kuten edellä, laskentapiste kaivannon keskellä  
 kaava (9): kaivussyvyys  $D=4,0$  m, laskentapiste kaivannon keskellä.

Kaavoissa nimittäjänä oleva muodonmuutosmoduuli on sama, joten jätetään se tarkastelussa pois. Kaavoissa tarvittavat kertoimet saadaan suhteilla  $L/B = 24/12 = 2$ ,  $H/B = 12/12 = 1$ ,  $D/B = 4/12 = 0,33$ ,  $B/D = 12/4 = 3$ .

$$\text{kaava (4): } S_u/E_{um} = \mu_0\mu_1pB = 0,94 \cdot 0,50 \cdot (4 \cdot 16) \cdot 12 = 361$$

$$\text{kaava (5): } S_u/E_u = C_d p B (1 - \nu^2) = 0,83 \cdot (4 \cdot 16) \cdot 12 \cdot (1 - 0,5^2) = 478$$

$$\text{kaava (9): } R_u/E_u = C_u \Delta_{\text{strip}} \gamma D^2 = 1,35 \cdot 1,1 \cdot 16 \cdot 4^2 = 380$$

Kaavoilla (5) ja (9) saadut arvo ovat molemmat kaivannon keskipisteen kohoamista kuvaavia lukuarvoja. Kaavalla (5) saatu arvo on noin neljänneksen kaavalla (9) saatua suurempi. Ero johtuu siitä, että kaavalla (9) laskettaessa otetaan huomioon kaivannon sivuilla oleva maamassa ja tämän massan vaikutus jännitysjakautumaan sekä kaivannon sivulla ja alla, kaavassa (5) oletetaan, että kuorma vaikuttaa maan pinnalla /18/.

Kaavalla (4) määritetty kaivannon keskimääräistä pohjan kohoamista kuvaava lukuarvo on hieman pienempi kuin kaavalla (9) saatu keskipisteen arvo. Suuruusluokaltaan alkupainuman kaavalla (4), joka ottaa huomioon perustamissyvyyden, ja kaivannon pohjan kohoamisen laskemiseen kehitetyllä kaavalla (9) saadaan kuitenkin varsin samansuuruiset arvot. Eniten poikkeaa kaavalla (5) saatu lukuarvo.

Vertailulaskelma osoittaa, että eri kaavoilla saadaan hiukan erilaisia kaivannon pohjan kohoamisen ja sitä kautta alkupainuman arvoja. Jos suljetun tilan muodonmuutosmoduuli arvioidaan siipikairalujuuden perusteella kaavalla (7), on alkupainuman arvio hyvin karkea. Kaavan valinnalla ei ole tällöin merkitystä arvion tarkkuuteen.

#### 4.3.2.3 Primaarisen konsolidaatiopainuman laskeminen

Koheesiomaiden primaarinen konsolidaatiopainuma lasketaan pysyviksi arvioitujen kuormien aiheuttaman nettopohjapaineen perusteella. Laskelmissa otetaan tällöin huomioon rakenteen oma paino (pysyvä kuorma) ja osa muuttuvista pitkäaikaisista kuormista. Viemäröinnin ja kuivatuksen aiheuttama pohjaveden aleneminen on muistettava myös ottaa huomioon /14/.

Kun veden kyllästämän homogeenisen ja ohuen maakerroksen otaksutaan painuvan yksisuuntaisessa muodonmuutostilassa, voidaan sen primaarinen konsolidaatiopainuma laskea kaavalla (10) /14/.

$$S_p = \int_0^H \epsilon_z dz = \int_0^H \frac{\Delta \sigma_z}{M_p} dz \quad (10)$$

missä

$S_p$	on	primaarinen konsolidaatiopainuma
$\epsilon_z = \epsilon_p$		suhteellinen primaarinen muodonmuutos pystysuunnassa
$\Delta \sigma_z$		rakenteen kuorman aiheuttama jännityksen lisäys syvyydellä z
$M_p$		Primaarinen kokoonpuristuvuusmoduuli (sekanttmoduuli)
H		painuvan kerroksen paksuus

Rakennuspohja jaetaan painuman laskentaa varten geoteknillisiin kerroksiin, joissa muodonmuutosparametrit M tai m ja  $\beta$  sekä  $c_v$  voidaan tulkita vakioiksi. Em. parametrit määritetään ödometrillä. Kerroksellisen maapohjan primaaristen konsolidaatiopainumien laskemiseen voidaan käyttää yhtälöitä (11), joita kutsutaan muodonmuutosyhtälöiksi /14/.

Normaalisti konsolidoituneet kerrokset,  $\sigma'_{v0} = \sigma_c$

$$\epsilon_p = \frac{1}{m\beta} \left[ \left( \frac{\sigma'_{v0} + \sigma_z}{\sigma_v} \right)^\beta - \left( \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma_v} \right)^\beta \right] \quad (\beta \neq 0) \quad (11a)$$

$$\epsilon_p = \frac{1}{m} \ln \left( \frac{\sigma'_{v0} + \sigma_z}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (\beta = 0) \quad (11b)$$

Voimakkaasti ylikonsolidoituneet kerrokset,  $\sigma_c \gg (\sigma'_{v0} + \sigma_z)$

$$\epsilon_p = \frac{1}{m_2\beta_2} \left[ \left( \frac{\sigma'_{v0} + \sigma_z}{\sigma_v} \right)^{\beta_2} - \left( \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma_v} \right)^{\beta_2} \right] \quad (11c)$$

missä

$\epsilon_p$	on	primaarinen muodonmuutos (puristuma) suunnassa z
$\sigma_z$		rakenteen aiheuttama lisäjännitys syvyydellä z
$\sigma'_{v0}$		tehokas vallitseva jännitys (=geostaattinen jännitys)
$\sigma_c$		konsolidaatiojännitys
$\sigma_v$		vertailujännitys (100 kPa)
m		normaalisti konsolidoituneen kerroksen moduuliluku
$\beta$		normaalisti konsolidoituneen kerroksen jännityseksponentti
$m_2$		ylikonsolidoituneen kerroksen moduuliluku
$\beta_2$		ylikonsolidoituneen kerroksen jännityseksponentti

### Primaarisen konsolidaatiopainuman nopeus

Hienorakeisten maakerrosten primaarisen konsolidaatiopainuman suuruuden lisäksi on tiedettävä myös painuman nopeus. Täysin veden kyllästämän koheesiomaakerroksen konsolidaatiopainuman nopeus voidaan yksisuuntaisessa suoto- ja muodonmuutostilassa laskea Terzaghin tai Janbun konsolidaatioteorioilla. Teorioiden osittain erilaisista lähtöolettamuksista johtuen ei niillä päädytä kaikissa tapauksissa samaan tulokseen.

Tavallisesti konsolidaation ajallinen kehitys esitetään aikakertoimen  $T_v$  ja konsolidaatioasteen  $U$  vuorosuhteena /14/.

$$U_p = \frac{S(t)}{S_p} \quad (12a)$$

$$T_v = \frac{c_v t}{h^2} \quad (12b)$$

missä

$U_p$  on primaarisen painuman konsolidaatioaste hetkellä  $t$

$S(t)$  rakenteen primaaripainuma hetkellä  $t$

$S_p$  rakenteen lopullinen primaaripainuma, kun  $t \rightarrow \infty$

$T_v$  primaaripainuman aikakerroin

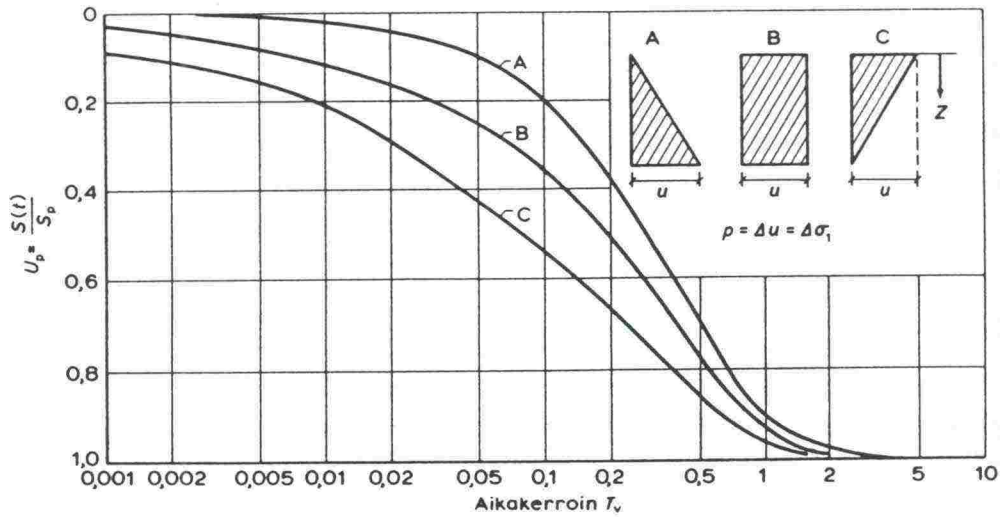
$c_v$  yksisuuntaisen suoto- ja muodonmuutostilan konsolidaatiokerroin pystysuunnassa

$h$  suotomatka

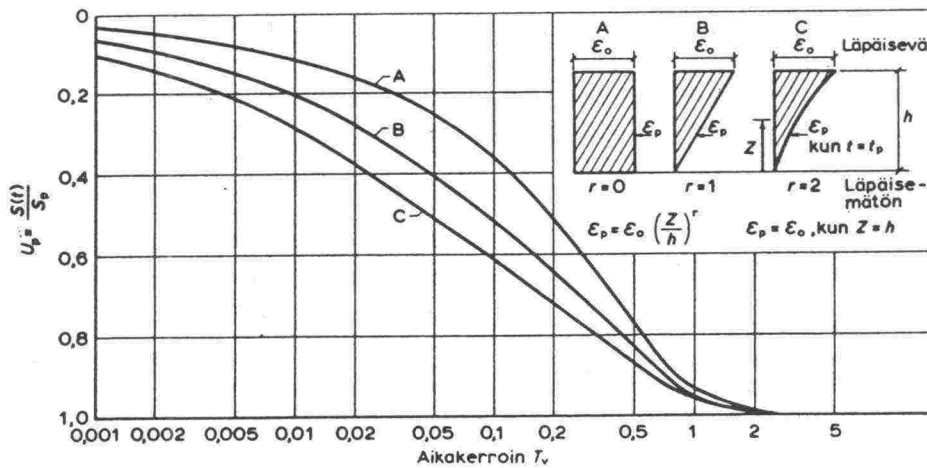
Kuvassa 28 on esitetty Terzaghin teorian mukaan määritetty aikakertoimen ja konsolidaatiokertoimen välinen vuorosuhde erilaisille huokosvedenpaineen jakautumakuvioille. Kuviot tarkoittavat kuorman lisäyksen aiheuttaman huokosveden ylipaineen jakautumaa hetkellä  $t=0$ . Kuvassa 29 on vastaava vuorosuhde Janbun teorian mukaan, huokosveden ylipaineen jakaumakuvioiden sijasta käytetään primaarisen muodonmuutoksen jakaumakuvioita.

Tielaitoksella on mikrotietokoneohjelma, jolla painuma-aika voidaan laskea keskimääräisen konsolidaatiokertoimen avulla. Keskimääräisen konsolidaatiokertoimen määrittämisessä voidaan käyttää kahdeksaa maakerrosta ja keskiarvo voidaan laskea joko kerrosten painumien tai kerrosten paksuuksien suhteessa. Jäännöspuristuman jakautuma voidaan olettaa suoraksi, kolmioksi tai parabeliksi Janbun teorian mukaan /27/.

Tapauksissa, joissa muodonmuutoskuvaajaa ei voida kuvata yhdellä Janbun muodonmuutoskuviolla, joudutaan laskenta tekemään useassa osassa. Keskimääräisen konsolidaatiokertoimen määrittämisessä on painotustavasta johtuen osattava valita laskennan kannalta tärkeimmät kerrokset.



Kuva 28. Terzaghin konsolidaatioteoria. Aikakerroimen ja konsolidaatioasteen välinen vuorosuhde /14/.



Kuva 29. Janbun konsolidaatioteoria. Aikakerroimen ja konsolidaatioasteen välinen vuorosuhde /14/.

## **Primaarisen konsolidaatiopainuman laskennassa käytetyn mikrotietokoneohjelman kuvaus**

Someron saven varaan perustettujen alikulkukäytävien painumia laskettiin suunnittelun yhteydessä syksyllä 1986 mikrotietokoneelle tehdyllä BASIC-ohjelmalla. Ohjelma on muutamia korjauksia lukuunottamatta ja mm. grafiikkatulostuksella täydennettynä lähes alkuperäisenä edelleen käytössä /27/.

Ohjelmalla voidaan laskea kerroksellisen maaperän primaarinen kokonaispainuma tangenttimoduuli-, kokoonpuristuvuusindeksi- tai vesipitoisuusmenetelmällä. Kuormituksen aiheuttama lisäjännitys lasketaan Boussinesqin teorialla.

Kuormat ovat suorakaiteen muotoisia pystysuoraan tasaisesti kuormitettuja taipuisia laattoja. Ne voivat olla vinossa toisiinsa nähden ja ne voivat vaikuttaa toisiinsa nähden eri korkeustasoilla. Kuormitusten lukumäärää ei ole rajoitettu. Ohjelmassa on mahdollisuus määrätä laskentapiste ns. merkitseväksi pisteeksi (ohjelman printteritulosteessa on käytetty vastin piste -nimitystä), jossa taipuisan ja jäykän laatan painuma on yhtä suuri.

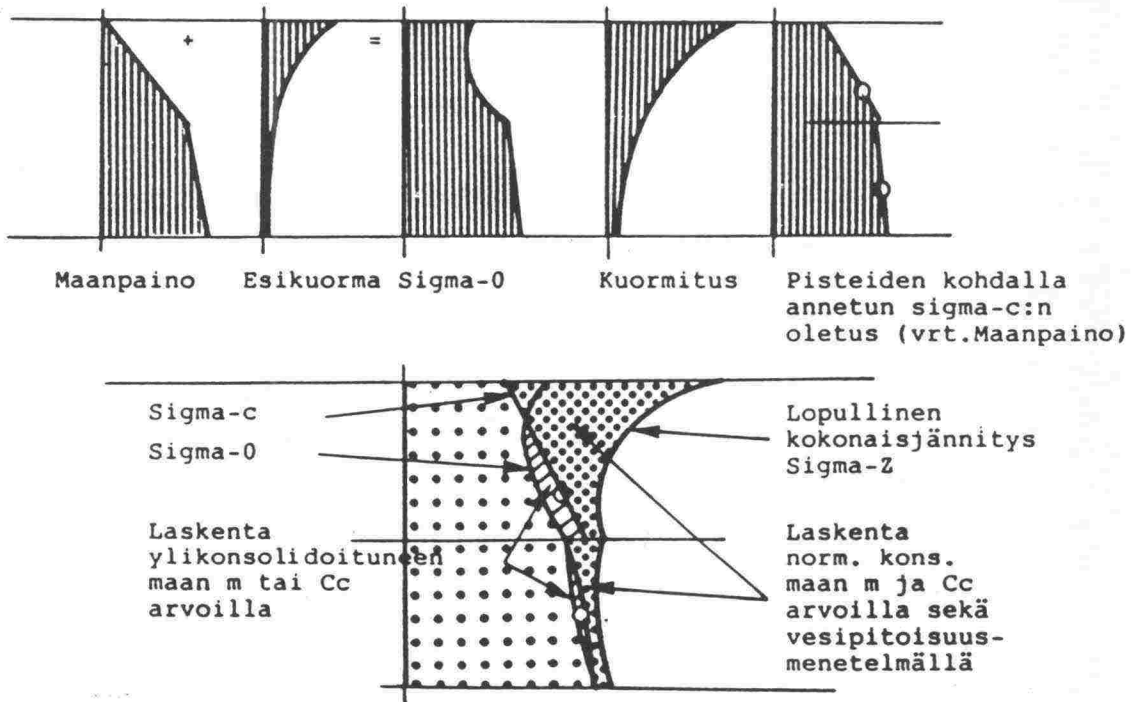
Painumat lasketaan laskentapisteittäin. Laskentapisteessä voi olla 1–8 kerrosta, kullekin kerrokselle voi antaa erikseen normaali- ja ylikonsolidoituneen alueen parametrit. Ohjelma jakaa kerrokset vaakasuoriin 0,3–0,7 metrin paksuisiin lamelleihin, joten ohjelman käyttäjä antaa vain todelliset kerrokset.

Ohjelma laskee vallitsevan jännityksen maakerrostiedoissa annettujen tehokkaiden tilavuuspainojen ja korkeustasojen perusteella. Lisäksi vallitsevaan jännitykseen lasketaan esikuormitukseksi annettu kuormitusyhdistelmä, esimerkiksi vanha tiepenger, kuva 30. Esikuormitus jaetaan maaperään Boussinesqin menetelmällä kuten varsinaiset painumaa aiheuttavat kuormat. Jos maakerrostiedoissa annettu konsolidaatiojännitys on vallitsevaa jännitystä pienempi, käytetään vallitsevana jännityksenä konsolidaatiojännitystä.

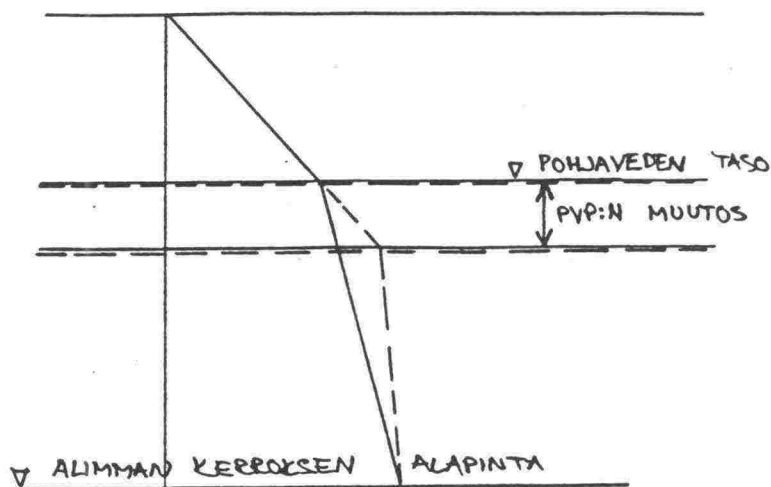
Lopullinen kokonaisjännitys, jonka mukaan painuma lasketaan, saadaan lisäämällä vallitsevaan pystyjännitykseen Boussinesqin teorian mukaan laskettu kuormituksista tuleva lisäjännitys. Ohjelmaselosteessa ja tulosteissa on kuormituksen jälkeisestä kokonaisjännityksestä syvyydellä  $z$  käytetty merkintää  $\sigma_z$ , aiemmin jännityksiä käsitellessä tämän tekstin kohdassa on  $\sigma_z$  :lla tarkoitettu kuormituksen maaperään aiheuttamaa lisäjännitystä. Pohjaveden tason muutos huomioidaan kolmiomaisena kuvan 31 mukaan vastaten tapausta, jossa huonosti vettä läpäisevien kerrosten alapuolisen akviferin painetaso ei muutu. Tasaisesti kaikkiin maakerrokseen vaikuttava pohjavedenpinnan muutos voidaan antaa kuormana.



Laskentakerrokselle annetun konsolidaatiojännityksen olettaa ohjelma muuttuvan yhdensuuntaisesti maanpainosta lasketun vallitsevan jännityksen kanssa, kuva 30. Annettua  $\sigma_c$ -arvoa käytetään vain siinä kerroksessa, johon se on annettu /27/.



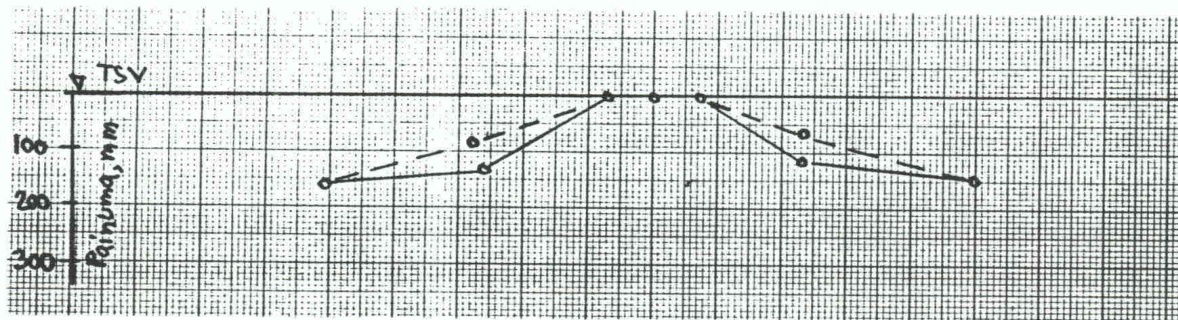
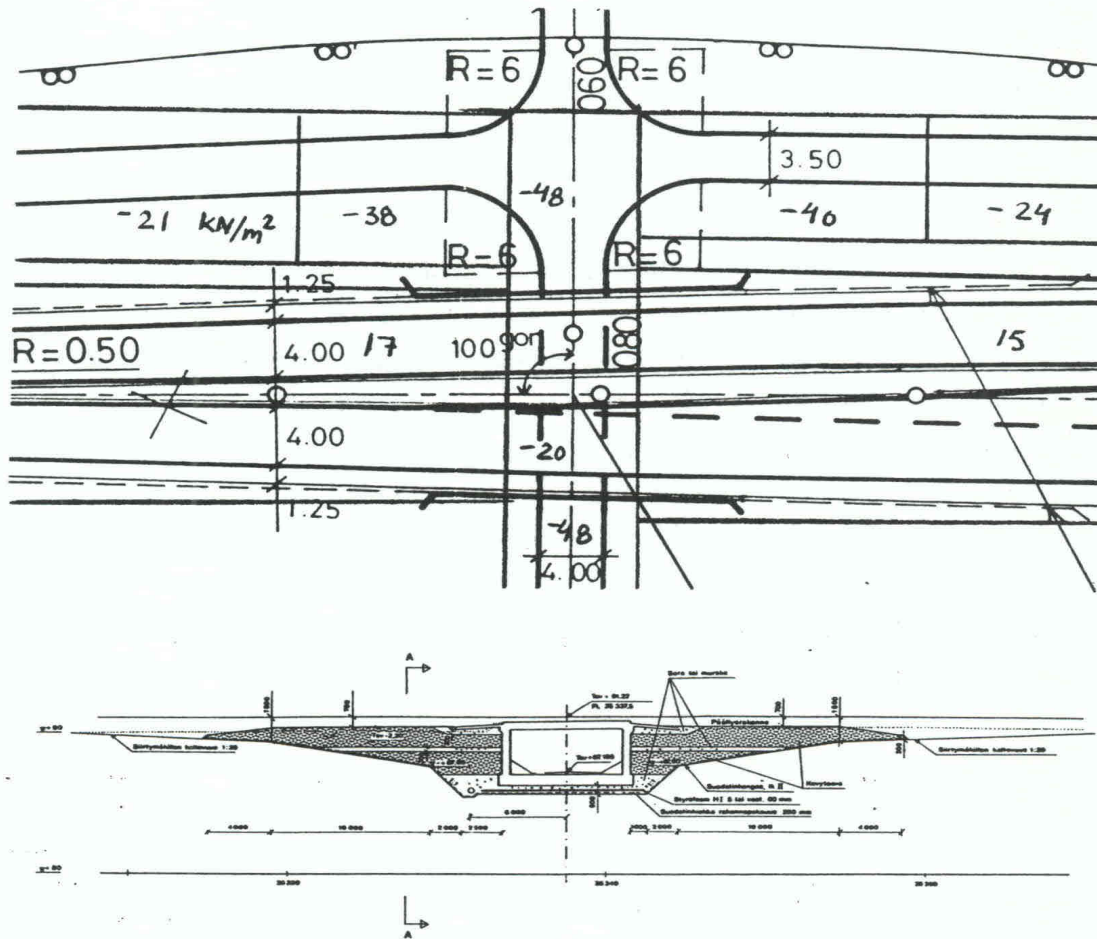
Kuva 30. Pystyjännitysten laskenta painumalaskentaohjelmassa. Esikuorma ja kuormitus jaetaan maaperään Boussinesqin menetelmällä /27/.



Kuva 31. Pohjaveden tason muuttumisen huomioiminen. Tasaisesti kaikkiin maakerroksiin vaikuttava pohjavedenpinnan muutos voidaan antaa kuormana /27/.

### **Someron saven varaan perustettujen alikulkukäytävien primaarisen konsolidaatio-painuman laskenta**

Tulopenkereiden ja alikulkukäytävän painumalaskentaa varten tehtiin kultakin siltapaikalta koko siltapaikan käsittävät kuormitustiedostot ja laskentapisteitä sijoitettiin kuormiin nähden sopiville kohdille riittävän tiheästi, ks. kuva 32. Näin saatiin jatkuva painumaprofiili, jossa painumaerot mm. tulopenkereiden erilaisilla kevennyksillä oli helppo havainnollistaa. Alustavissa laskelmissa, joissa pyrittiin selvittämään mm. konsolidaatiojännitysten, painumaparametrien sekä pohjaveden korkeuden vaikutusta painumiin, tehtiin yksinkertaisempia kuormitustiedostoja. Laskenta-aika muodostui monimutkaisilla kuormitustiedostoilla yhtäkin pistettä laskettaessa lähes puoleksi tunniksi, koska ohjelma oli lähdekielinen, aritmetiikkaprosessoria ei ollut ja koneen kelloaajuus oli vain 4 MHz. Uusimmilla käännettyillä ohjelmaversioilla ja nykyisillä koneilla ei lähtötietojen määrällä ole laskenta-aikaan juurikaan merkitystä.



Kuva 32. Periaatekuva tulopenkereiden, kevyen liikenteen väylien ja alikulkukäytävän muuttamisesta kuormiksi. Ylimpänä on siltapaikan kartta, johon on piirretty kuormitukset, esim. tulopenkereistä 17 ja 15  $\text{kN/m}^2$ , sillasta  $-20 \text{ kN/m}^2$ . Keskellä pituusleikkaus, johon on piirretty kuormitusten vaikutustasot. Alimpana on esitetty lopullisen konsolidaatiopainuman suuruus. Yhtenäinen viiva kuvaa tapausta, jossa tulopenkereitä ei ole kevennetty, kaivusta johtuva kevennys on otettu huomioon negatiivisina kuormina. Katkoviiva kuvaa tapausta, jossa tulopenkereitä on kevennetty 13 m matkalta, nettokuormitus tällä kohtaa  $0 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4.3.2.4 Sekundaaripainuman laskeminen

Sekundaaripainuman yhteydessä maakerroksen raerunko deformatuu hitaasti. Klassisessa maamekaniikassa otaksutaan, että primaarinen ja sekundaarinen konsolidoituminen tapahtuvat ajan suhteen peräkkäin. Monissa laboratorio- ja kenttähavainnoissa on voitu todeta, että sekundaaripainuman ja ajan välinen vuorosuhde on puolilogaritmiseen kuvaajaan piirrettynä suoraviivainen, kuva 33. Painuman suuruus voidaan näin laskea kaavalla (13) /18/.

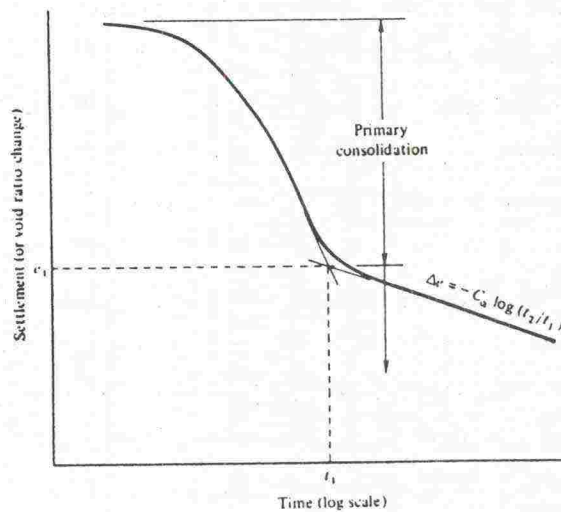
$$S_s = HC_\alpha \log \frac{t_2}{t_p} \quad (13)$$

missä

$S_s$  on sekundaaripainuma hetkellä  $t_2 \geq t_p$ ,  $t_p$  on primaaripainumaan kuluva aika ( $S_s=0$ , kun  $t_2=t_p$ )

$H$  painuvan kerroksen paksuus

$C_\alpha$  sekundaaripainuman kerroin



Kuva 33. Tyypillinen (ödometrikokeen) aika-painumakäyrä koheesiomaalle /18/.

Arvioitaessa sekundaaripainuman suuruutta kaavalla (13) tulee ödometrikoe tehdä portaittaisena, lisäksi portaan keston tulee olla maalajista riippuen riittävän pitkä. Esimerkiksi Someron saven varaan perustettujen alikulkukäytävien painumalaskentaa varten tehdyissä ödometrikokeissa on kunkin kuormitusportaan kesto ollut 1 vuorokausi. Kertoimen  $C_\alpha$  suuruutta ei voida liian lyhyen konsolidaatioajan takia aikapainumakuvaajasta arvioida.

#### 4.4 Vakavuustarkastelu

Vakavuuslaskenta tehdään joko lyhytaikaiseen tai pitkäaikaiseen mitoitustilanteeseen riippuen siitä, onko kyseessä rakentamisen aikaisen vai rakenteen käytön aikaisen tilanteen tarkastelu.

Lyhytaikaisessa tilanteessa otaksutaan, että maakerroksissa ei ehdi tapahtua huokosveden virtausta tai huokosvedenpaineen muutoksia ennen rakentamistoimenpiteitä vallinneeseen tilanteeseen verrattuna. Leikkauslujuutena käytetään kokonaislujuutta eli koheesiomailla esimerkiksi siipikairalla määritettyä suljettua leikkauslujuutta, jota tulee redusoida esimerkiksi plastisuusluvun mukaan, kuva 15.

Pitkäaikaisen tilanteen tarkastelussa käytetään tehokkaita jännityksiä ja niitä vastaavia maaperän tehokkaita koheesion ja kitkakulman arvoja sekä huokosvedenpaineen arvoja. Luotettavimmin tehokkaat lujuusparametrit voidaan määrittää laboratoriossa kolmiakselikokeilla. Vaikeuden muodostaa huokosvedenpaineen arviointi. Kitkamaakerrosten kitkakulmalle ja kimmomoduulille on olemassa kairausvastukseen perustuvia kokemusperäisiä taulukoita /26/.

Vakavuuslaskennan helpottamiseksi on yksinkertaisia tapauksia varten kehitetty erilaisia kantavuuskaavoja ja nomogrammeja. Nykyään käytetään laskennassa yleensä tietokoneita, joilla vaarallisimman liukupinnan etsiminen monimutkaisistakin maastomalleista on helppoa. Muodonmuutoksien ja huokosvedenpaineen selvittäminen onnistuu kuitenkin ainoastaan numeerisiin menetelmiin perustuvilla laskentaohjelmilla.

Vakavuuslaskennassa käytettäville varmuusluvuille on esitetty Pohjarakennusohjeissa 1988 /22/ arvoja erilaisille tapauksille. Vakavuuslaskelmissa käytetään yleisimmin kokonaisvarmuuskerrointa eli laskelmissa tarkastellaan liukupinnan leikkauslujuuden suhdetta kuormituksesta aiheutuvaan leikkausjännitykseen. Kokonaisvarmuuden minimiarvoiksi on Pohjarakennusohjeissa 1988 esitetty rakennusaikaisen kaivannon liukusortumalle ja pohjannousulle sekä tukirakenteen sortumalle 1,5. Jos mahdollisen sortuman vaikutusalueella on muita kuin työnaikaisia rakenteita, on varmuuskerroin vastaavissa tapauksissa 1,8. Rakennuspohjan alueellisen sortuman varmuuskertoimen minimiarvoksi on annettu 1,8.

Ohjeen Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa /26/ mukaan voidaan lyhytaikaisen kokonaisvarmuuden arvona käyttää 1,5, jos mahdollisen liukupinnan sisälle ei jää paaluja tai mahdollinen sortuma ei vaurioita siltarakenteita. Pitkän ajan varmuus suositellaan määritettävän osavarmuuskerroinmenetelmällä. Tapauksessa, jossa mahdollisen

liukupinnan sisäpuolelle jää paaluja tai mahdollinen sortuma voi vaurioittaa siltarakenteita, käytetään koheesiolle osavarmuuskertoimen arvoa 1,8 ja kitkakulman tangentille arvoa 1,25. Muissa tapauksissa riittää osavarmuuskertoimiksi koheesiolle 1,5 ja kitkakulman tangentille 1,2.

Saven varaan perustettujen alikulkukäytävien tapauksissa ei kaivantojen eikä penkereiden vakavuus muodostu yleensä ongelmaksi. Jos silta voidaan perustaa vahvistamattomalle savelle, on perustamistapa vakavuus huomioon ottaen sopiva myös penkereille. Mahdollisten haitallisten painumien takia voidaan siltojen tulopenkereisiin joutua suunnittelemaan kevennys- tai vahvistusrakenteita. Rakentamisen aikaisten kaivantojen vakavuudella on merkitystä esimerkiksi kaivannon pohjan kohoamiseen. Jos vakavuus on huono, voi kaivantoa ympäröivä maa-aines plastisoitua ja siirtyä kohti kaivantoa.

#### 4.5 Routasuojusrakenteet

Saven varaan perustettavat alikulkukäytävät on routasuojattava. Routasuojaus voidaan toteuttaa joko viemällä perustukset roudattomaan syvyyteen, vaihtamalla routivat maamassat routimattomaan perustuksen alla tai käyttämällä routaeristettyä rakennetta /34/.

Siltojen routasuojauksista mitoitettaessa oletetaan sillat ns. kylmiksi rakenteiksi. Routasuojauksen suunnittelussa käytetään mitoittavana pakkasmääränä kerran 50 vuodessa toistuvaa pakkasmäärää. Silloissa, joiden aukkomitta on 6,0 m tai pienempi, voidaan mitoittavaa pakkasmäärää redusoida /26, 34/.

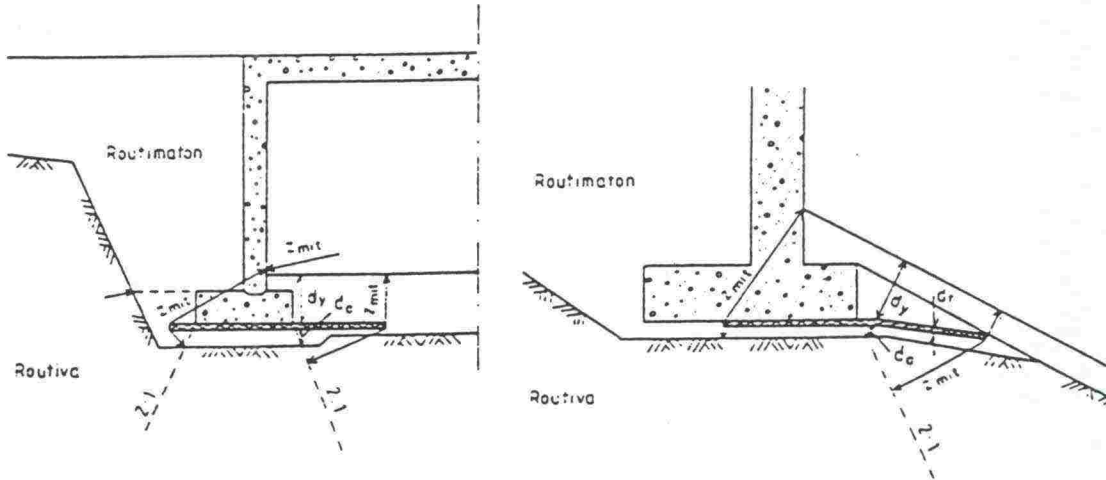
Siltojen perustusten routasuojauksen suunnittelusta on ohjeessa Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa /26/ yksityiskohtaiset mitoitusohjeet, jotka perustuvat ohjetta varten tehtyyn tutkimukseen /34/.

#### **Esimerkki 4.** Orasmaan alikulkukäytävän peruslaatan routamitoitus.

Perusmaa on savea, siltarakenne ei ole herkkä routaliikkeille. Aukkomitta on 7,0 m, joten roudattomana perustamissyvyytenä voidaan käyttää kylmien rakenteiden perustamissyvyyttä. Ohjeesta Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa /26/ saadaan mitoittavaksi pakkasmääräksi noin 38000 Kh ja perustamissyvyydeksi 1,9 m.

Jos routasuojaus toteutetaan routaeristettyä rakennetta käyttäen, voidaan rakenne valita em. ohjeesta esitetystä taulukosta 6. Yläpuoliseen täytön paksuuteen lasketaan myös

peruslaatan paksuus, joten pakkasmäärällä 40000 Kh, yläpuolisen täytön paksuudella 0,8 m ja eristeen alapuolisen täytön paksuudella 0,4 m saadaan suulakepuristetun polystyreenin paksuudeksi 50 mm. Eristeen tulee ulottua leveyssuunnassa niin kauas perustuksen ulkopuolelle, että lyhin mitta perustuksen alle on pienempi kuin roudaton syvyys, tässä tapauksessa 1,9 m, ks. kuva 34.

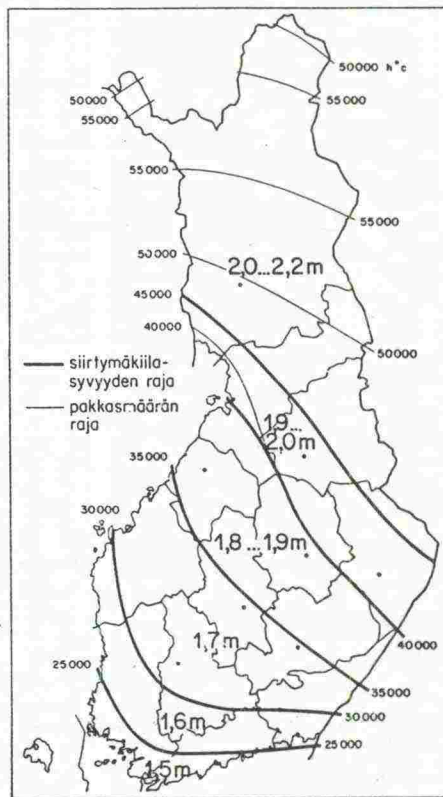


Kuva 34. Routimiselta suojattavan alueen rajaus ja routasuojauksen mitoitusperiaate /34/.

#### 4.6 Kuivatusrakenteet

Alikulkukäytävissä on sadevesikaivoin varustettu viemäröinti vähemmän liettyvänä ja käytössä siistimpänä suositeltavampi ratkaisu kuin rumpu. Viemäröinti liittyy lähinnä pintakuivatukseen, mutta se korvaa myös salaojitusta vettä läpäisevän täyttömateriaalin ansiosta /2/. Siltapaikoilla, joilla on pumppaamo, ei täyttömateriaalissa oleva vesi pääse purkautumaan siltapaikan ulkopuolelle. Syväkuivatus tulee järjestää tällöin salaojituksella.

Sadevesijohdon asennussyvyys valitaan pääsääntöisesti siten, että viemäri ei jäädy. Tällöin on johdon pienin asennussyvyys eli etäisyys maanpinnasta putken pohjaan lumesta vapaana pidettävillä alueilla sama kuin siirtymäkiilasyvyys, kuva 35.

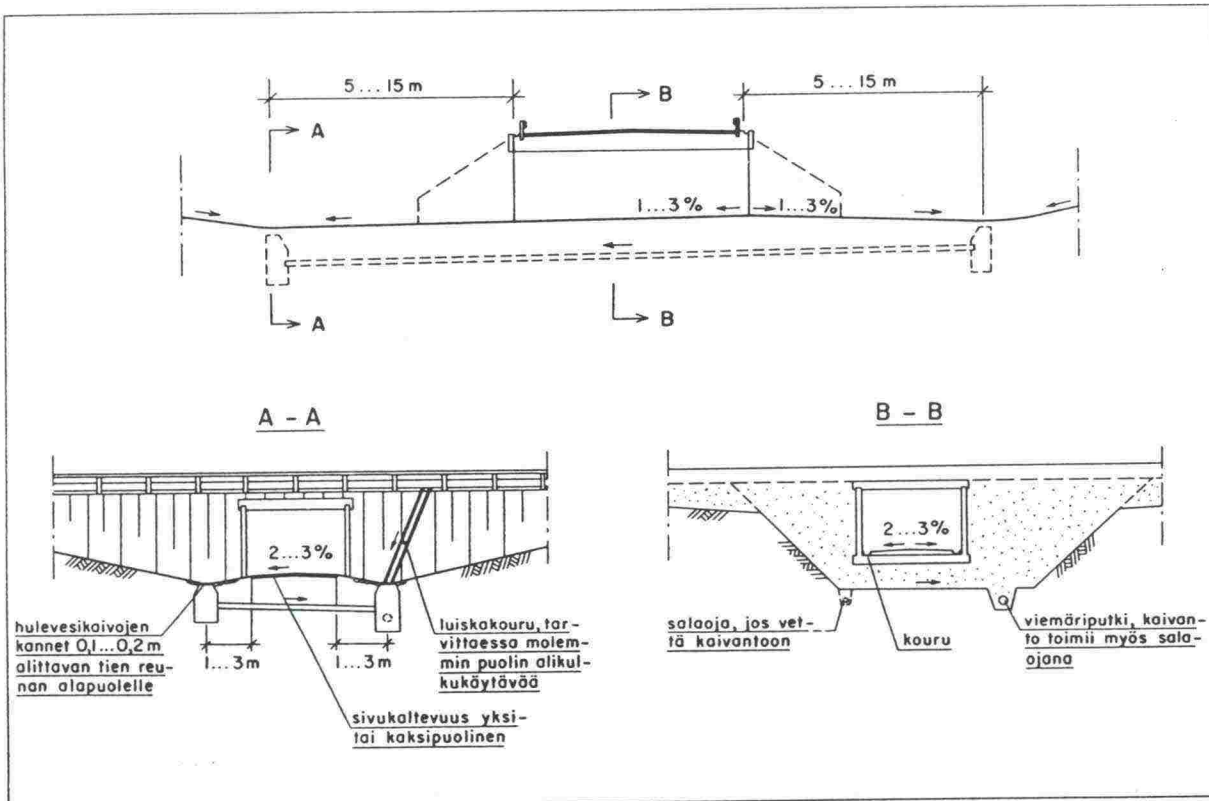


Kuva 35. Siirtymäkiilasyvyys ja kerran 10 vuodessa toistuva pakkasmäärä, kiila on tehty vettä pidättävästä hiekasta. Sorasta tai murskeesta tehdyn kiilan syvyys on 0,2 m suurempi, luoheesta tehdyn 0,5 m suurempi /2/.

Routarajan yläpuolella jäätyminen estetään lämpöeristein. Vaakasuoran eristeen leveyden on oltava tällöin  $\geq 2,0$  m ja sen yläpinta sijoitetaan liikennöitävillä alueilla  $\geq 0,5$  m syvyyteen tien pinnasta. Mahdollinen epätasainen routiminen estetään ohentamalla eriste kiilamaisesti päistään tai rakentamalla siirtymäkiila. Alittavan tien yleisjärjestelyssä pyritään mm. niskaojilla siihen, että ulkopuolelta ei kerry vettä alikulkukäytävään. Tämän lisäksi alittavan tien tasausviiva tehdään kahteen suuntaan kaltevaksi, jolloin tien matalimmat kohdat sijaitsevat varsinaisen alitusosuuden ulkopuolella, n. 5–15 m etäisyydellä, kuva 36. Tämän lisäksi sijoitetaan viemärikaivot 1–3 m alikulkevan käytävän reunasta ulospäin, jolloin tilapäisestä tukkeutumisesta tai jäätymisestä aiheutuva lätköityminen ei heti haittaa liikennettä /2/.

Tasaisessa maastossa on pumppaamo usein välttämätön. Pumppaamo sijoitetaan yleensä alimman viemärikaivon lähistölle siten, että yläpuolinen laskuojaan johtava viettoviemäri tai poistoputki muodostuu suhteellisen lyhyeksi. Pumppaamoon pääsyn täytyy huoltoa varten olla helppoa eikä rakenteet saa muodostaa näkemäestettä. Pumppaamon perustustyöt on syytä suunnitella itse sillan perustusten yhteydessä /2/.





Kuva 36. Esimerkki alikulkukäytävän kuivatusjärjestelyistä /2/.

#### 4.7 Alikulkukäytävien rakenneratkaisut ja painumatulokset

Alikulkukäytäviksi valittiin mitoiltaan 7,0 m x 3,1 m olevat rengaskehät, ks. liite 1. Kuivatusrakenteet suunniteltiin mahdollisimman ylös, jolloin mahdollinen pohjaveden aleneminen jäisi pieneksi. Painumalaskentojen perusteella määritettiin silloille riittävän pitkät kevennykset.

Kennykset suunniteltiin niin pitkiksi, että 10 vuodessa ei pituuskaltevuuden muutos ylitä 10 %. Periaatteessa ei alikulkukäytävistä itsestään tullut pohjamaalle lisäjännitystä, joten ainoaksi konsolidaatiopainumia aiheuttavaksi kuormaksi jäi tulopenkereet. Kaikissa alikulkukäytävissä muodostuivat tulopenkereet noin 1–1,2 metrin korkuisiksi, joten kuormaa niistä tuli noin 20–25 kN/m<sup>2</sup>. Tien poikkileikkaukseksi oli vahvistettu II-9/7/Kp, mutta kaikki sillat sijaitsivat niin lähellä kanavoituja liittymiä, että tulopenkereiden leveyksiksi tuli 13–19 m.

Laskelmien perusteella laadittiin kevennyksistä erilliset piirustukset. Piirustuksia varten määritettäviä kevennyksen mittoja suunniteltaessa käytettiin kaikissa alikulkukäytävissä mm. seuraavia periaatteita:

- Päällysrakenteen paksuutena käytetään kevennyksen kohdalla 0,7 m. Kevennysmateriaalina käytetty kevytsora toimii myös lämmöneristeenä, jolloin liian ohuella päällysrakenteella saattaa esiintyä liukkaita.
- Kevytsoran alapinta sijoitetaan kaikissa alikulkukäytävissä peruslaatan yläpinnan tasoon. Kevytsoran tiivistämisen helpottamiseksi rakennetaan kevytsorakerroksen keskelle 0,3 m paksu kitkamaakerros, myös siirtymälaatan alle rakennetaan vähintään 0,3 m paksuinen sora- tai murskekerros.
- Kevytsoraa ei kiilata ohuemmasta päästään 0,3 metriä ohuemmaksi. Siirtymäkiilasyvyydeltä alkaen viedään kevytsora pitkin pohjamaata, jolloin päällysrakenteen kiilamaisesti paksune.
- Luiskissa rakennetaan kitkamaasta tukikerros, peittosyvyytenä luiskissa käytetään 0,6 m.

Kevennys suunniteltiin siltakaivannon mittoja noudattavaksi, joten routasuojaus- ja kuivatusrakenteet määräisivät kevennyksen laajuuden. Lyhimmät kevytsorakiilat suunniteltiin Heikintien alikulkukäytävään, jossa savi oli selvästi ylikonsolidoitunutta. Kiilojen pituudet ovat 17,0 m (460 m<sup>3</sup>) ja 18,5 m (550 m<sup>3</sup>). Ruunalan alikulkukäytävä sijaitsee aivan liittymän läheisyydessä, kiilaa ei ulotettu risteysalueelle. Kevennyksen pituudeksi tuli 20,0 m (700 m<sup>3</sup>) ja 21,5 m (800 m<sup>3</sup>). Pisimmät kevennykset suunniteltiin Orasmaan alikulkukäytävään, jossa pohjasuhteet olivat painumien kannalta huonoimmat. Kiilojen pituudet ovat 26,5 m (620 m<sup>3</sup>) ja 28,0 m (700 m<sup>3</sup>). Yhteensä kolmen alikulkukäytävän tulopenkereiden kevennykseen laskettiin kevytsoraa menevän noin 3800 m<sup>3</sup>. Osaltaan määrää lisäksi tulopenkereiden leveys.

Siltapaikkojen syväkuivatus järjestettiin viemäröinnillä. Periaatteiltaan kuivatusrakenteet ovat samanlaisia kuin tämän työn aineiston muissakin alikulkukäytävissä. Kaivoina käytettiin betonirengaskaivoja, viemäriputket olivat muovia. Kaikkien kolmen saven varaan perustettujen siltapaikkojen kuivatusvedet johdetaan Someron viemäriverkkoon pumppaamoilla.

Alikulkukäytävien routasuojaus toteutettiin routaeristysrakenteella. Routaeristeenä käytettiin 60 mm paksua suulakepuristettua polystyreeniä, routaeriste kiilattiin alittavan väylän suunnassa 5 metrin matkalla. Laatan alapuolisen rakenteen paksuudeksi tuli 0,6 m.

Varsinaisten siltapiirustusten ja kevennyspiirustusten lisäksi laadittiin sillanrakentamiseen liittyvistä maarakennustoista yksityiskohtaiset työkohtaiset työselitykset. Niissä määrättiin mm. kaivutöiden työjärjestys ja kaivutasot.

Työselityksessä määrättiin myös siltojen tarkkailuvaaituksista. Vaaituspisteitä määrättiin perustettavaksi 6 kappaletta kuhunkin peruslaattaan. Kehien valmistuttua tuli pisteet siirtää alikulkukäytävän sisäseiniin täyttöjen yläpuolelle. Laattojen rakentamisen aikaisten vaaituspisteiden sijoituksesta ei ole tietoa. Lopullisessa rakenteessa vaaituspisteet sijoitettiin reunapalkkien yläpintoihin, pisteitä on jokaisessa sillassa 10 kappaletta. Pisteitä on siipimuurien päissä ja silta-aukkojen reunoilla kussakin yhdet sekä yhdet aukkojen keskellä. Vaaitukset teki rakentamisen aikana rakentaja ja siltojen valmistumisen jälkeen kunnossapitäjä. Rakentajan tekemiä mittaustuloksia ei kuitenkaan löytynyt enää mistään.

Alikulkukäytävien rakentamisen aikataulu on esitetty seuraavassa jaotelmassa.

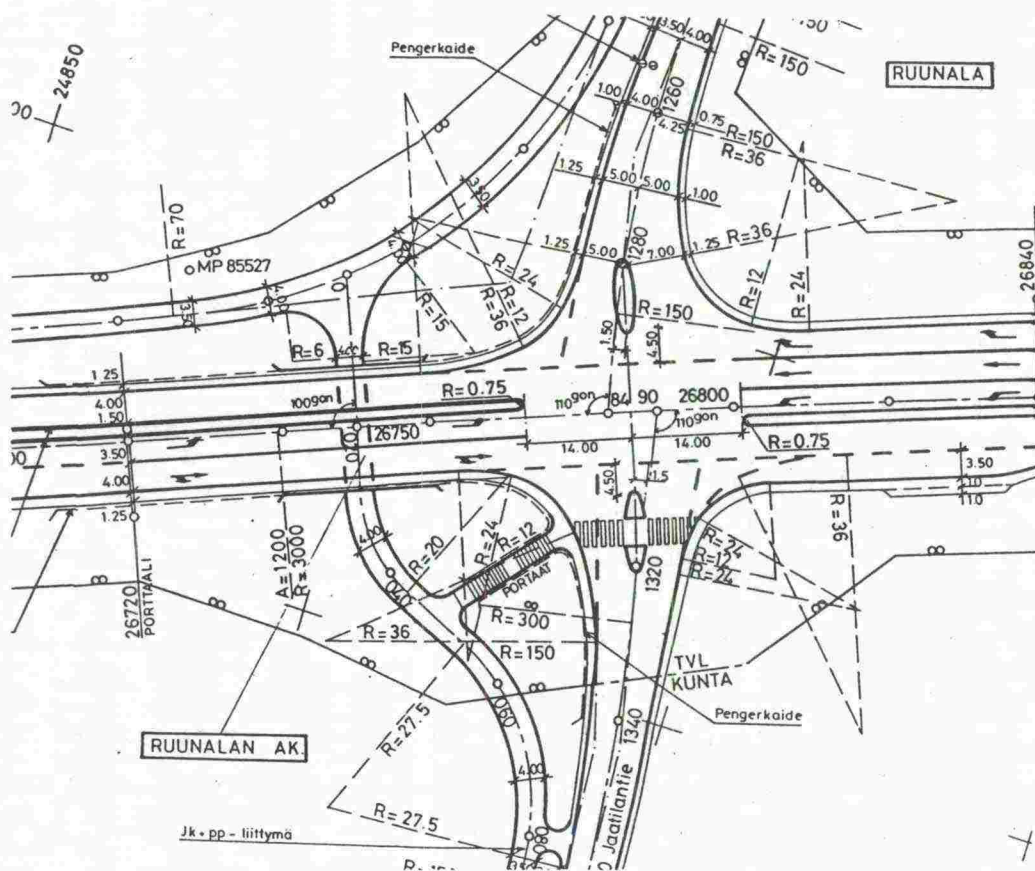
Alikulkukäytävä	Toimenpide	Aika
Heikintien akk	laatan valu	12.5.1987
	kehän ja siipien valu	17.6.1987
	kevytsoratäyttö tulopenkereille	heinäkuu 1987
Ruunalan akk	laatan valu	11.3.1987
	kehän ja siipien valu	28.4.1987
	kevytsoratäyttö tulopenkereille	heinäkuu 1987
Orasmaan akk	laatan valu	8.4.1987
	kehän ja siipien valu	7.7.1987
	kevytsoratäyttö tulopenkereille	heinäkuu 1987

Siltojen painumat on esitetty liitteessä 1. Painumakuviissa ei ole siipimuurien päissä olevien havaintopisteiden mittaustuloksia. Ensimmäiset painumahavainnot on tehty 13.8.1987 eli koko siltarakenne tulopenkereineen on ollut tuolloin jo valmis. Rakentamisen aikaisesta painumasta ei ole tietoa, joten periaatteessa esimerkiksi pohjan kohoamisesta aiheutuva painuma on jäänyt havaitsematta. Suunnitteluvaiheessa on alkupainuman suuruudeksi arvioitu Heikintien akk:lle 30 mm, Ruunalan akk:lle 40 mm ja Orasmaan akk:lle 60 mm.

Kaikille kolmelle sillalle on suunnittelija laskenut pysyvistä kuormista aiheutuvan tasaisen pohjapaineen arvoksi  $55 \text{ kN/m}^2$  ja suurimmaksi tasan jakautuneeksi pohjapaineeksi  $70\text{--}74 \text{ kN/m}^2$ . Syvimmälle on perustettu Heikintien alikulkukäytävä, jossa peruslaatan alapinta on noin 4,5 m syvyydessä alkuperäisestä maanpinnasta mitattuna. Vastaava mitta on Ruunalan akk:ssa noin 3,9 m ja Orasmaan akk:ssa noin 3,8 m.

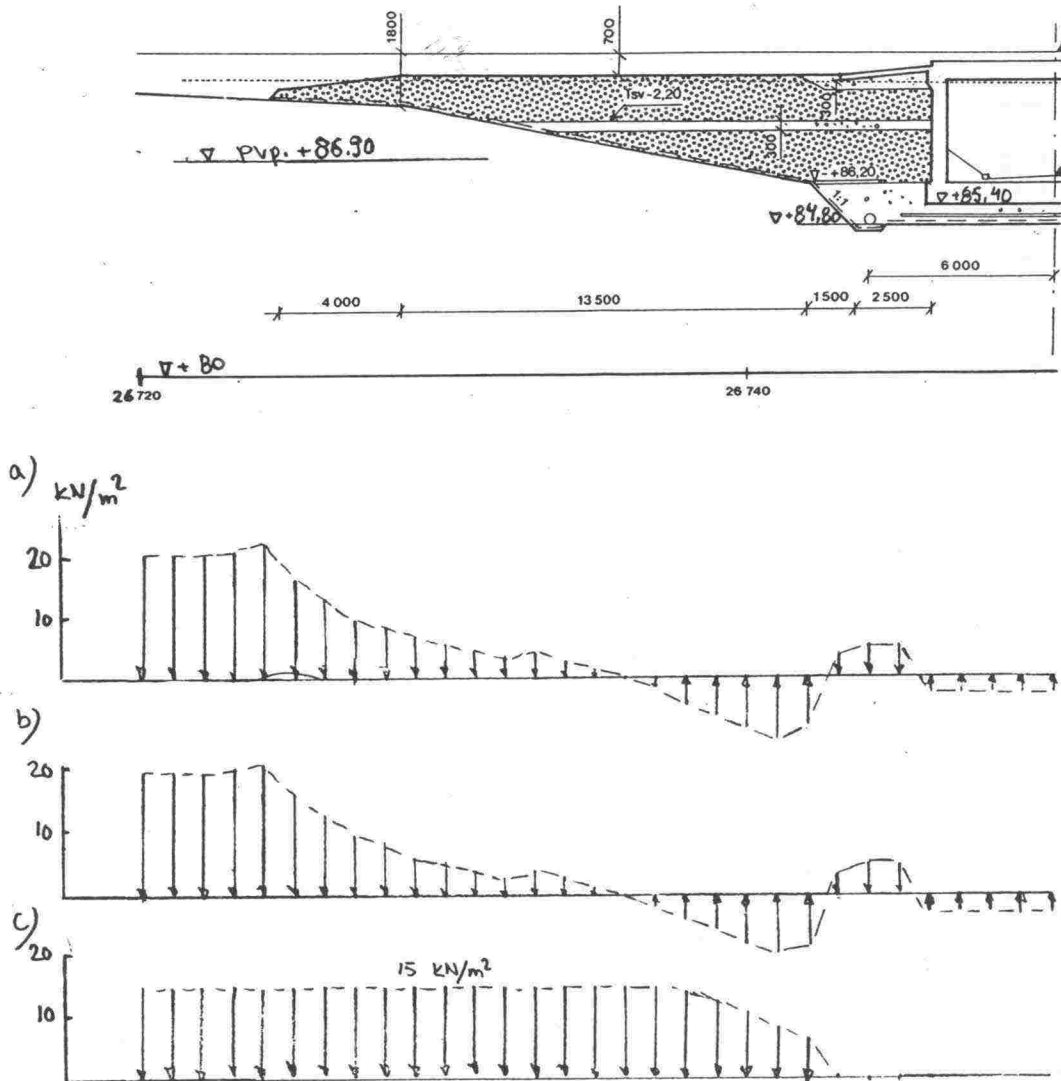
Olettamalla pohjavesipinta perustamistasoon tai sen alapuolelle saadaan poistettavien maakerrosten aiheuttamaksi kuormitukseksi  $60,8-72 \text{ kN/m}^2$ , kun saven tilavuuspaino- na käytetään  $16 \text{ kN/m}^3$ . Pysyvistä kuormista ei näinollen tule lisäkuormaa pohjamaal- le, tulopenkereiden kevytsorakevennyksen johdosta eivät tulopenkereetkään kuormita alikulkukäytävien alaisia maakerroksia. Pohjaveden alenemisen aiheuttamia painumia arvioitiin, mutta pohjavesihavaintojen perusteella tultiin siihen lopputulokseen, että pohjavesi on perustamistasojen alapuolella eikä pohjaveden alenemista tule tapahtumaan. Suunnitteluvaiheessa tehtyjen laskelmien perusteella päädyttiin, että konsolidaa- tiopainumaa ei tule millään siltapaikalla tapahtumaan, alkupainuma tapahtuu jo rakentamisen aikana.

**Esimerkki 5.** Arvioidaan Ruunalan alikulkukäytävän primaarisen konsolidaatiopainuman suuruus, kun pohjaveden pinta on ennen rakentamista liitteen 1 mukaisesti 2,4 metrin syvyydellä maanpinnasta. Oletetaan, että pohjavesi alenee laatan alapinnan tasolle. Siltapaikalle ei ole suunniteltu salaojitusta. Tilavuuspainoina voidaan käyttää seuraavia arvoja: kuivakuorisavi  $16 \text{ kN/m}^3$ , kuivakuoren alapuolinen savi  $15 \text{ kN/m}^3$ , pohjaveden- pinnan alapuolinen savi  $5 \text{ kN/m}^3$ , sora ja murske pohjavedenpinnan yläpuolella  $21 \text{ kN/m}^3$  ja alapuolella  $11 \text{ kN/m}^3$ , kevytsora pohjaveden pinnan yläpuolella  $6 \text{ kN/m}^3$ . Siltapaikan kartta on kuvassa 37.



Kuva 37. Ruunalan alikulkukäytävä, siltapaikan kartta 1:1000.

Pohjaveden pinta on Ruunalan siltapaikalla arvioitu pohjavesiputken ja kairaustulosten perusteella. Kaivannon pohjan tasolla eli 4,5 m syvyydellä maanpinnasta on pois kaivettavien maakerrosten aiheuttama pystysuora kuormitus  $63,9 \text{ kN/m}^2$ . Sillasta aiheutuva pysyvä kuorma on  $55 \text{ kN/m}^2$ , lisäksi tulee perustuksen alla olevan  $0,6 \text{ m}$  paksun rakenteen aiheuttama kuormitus. Sillan kohdalla vaikuttavaksi painumaa aiheuttavaksi kuormitukseksi saadaan  $55 + 6,6 - 63,9 \text{ kN/m}^2 = -2,3 \text{ kN/m}^2$ , kuormitus vaikuttaa kaivannon pohjan tasolla, ks. kuvan 38 tapaus a).



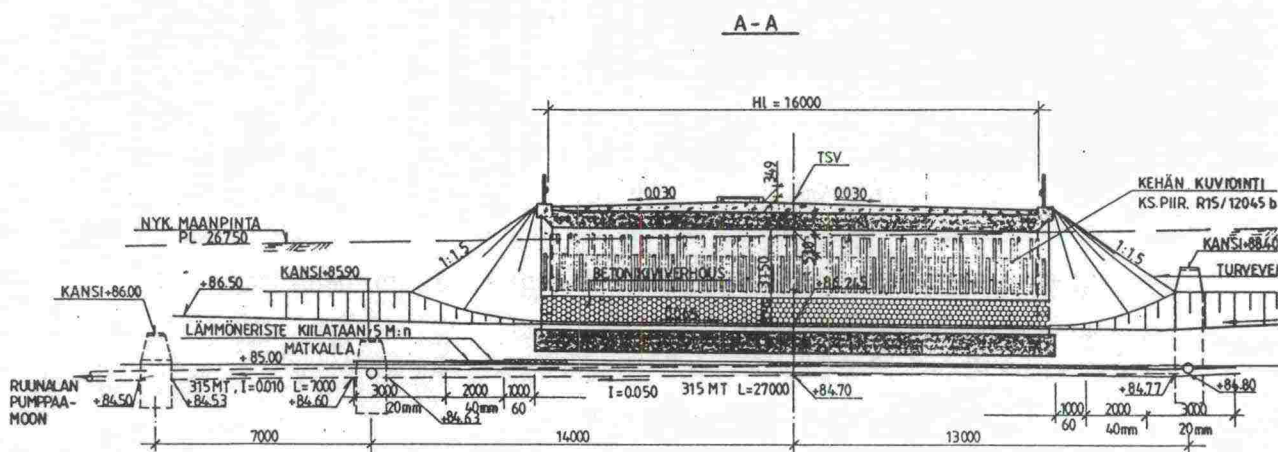
Kuva 38. Konsolidaatiopainumaa aiheuttava nettokuormitus eri pohjavedenpinnan korkeusoletuksilla. a): Tapauksessa a) noudattaa uusi pohjaveden pinta kaivannon pohjan muotoa, alimmillaan pohjavesi alenee peruslaatan alapinnan tasolle. b): Tapauksessa b) on pohjavesi perustamistasossa tai syvemmällä. c): Jos pohjavesi alenee tapauksessa a) esitettyä laajemmalla alueella, tulee tapauksen a) kuormitusten lisäksi painumatarkastelussa ottaa huomioon myös kohdan c) kuormitus. Mittakaava on noin 1:250.

Kuvan 38 a) -kohdassa on esitetty kaivannon pohjan tasossa vaikuttavan konsolidaatiopainumaa aiheuttavan kuormituksen suuruus, kun pohjavesi laskee syvimmillään peruslaatan alapinnan tasoon. Kevytsorakiilan osalla, joka menee alkuperäisen pohjavedenpinnan korkeuden +86,9 alapuolelle, on oletettu pohjaveden pinnan laskevan vain kaivannon pohjan tasolle. Vertailun vuoksi on esitetty kuormitus myös siinä tapauksessa, että pohjaveden pinta olisi tason +86,9 sijasta perustamistasossa tai sen alapuolella, ks. kuvan 38 tapaus b). Kuvien 38 kohtien a) ja b) nettokuormitukset ovat aivan samat.

Kuvan 38 a) -kohdasta voidaan todeta, että kuormitus on suurin eli noin  $5 \text{ kN/m}^2$  siirtymäläatan alapuolella, sen molemmilla puolilla on nettokuormitus jopa negatiivinen. Koska kuormitus on pieni sekä kuormitusaltaan että suuruudeltaan, on kuormituksen aiheuttamat lisäjännitykset peruslaatan alapuolella merkityksettömän pienet ja näin myös peruslaatan painuma pieni.

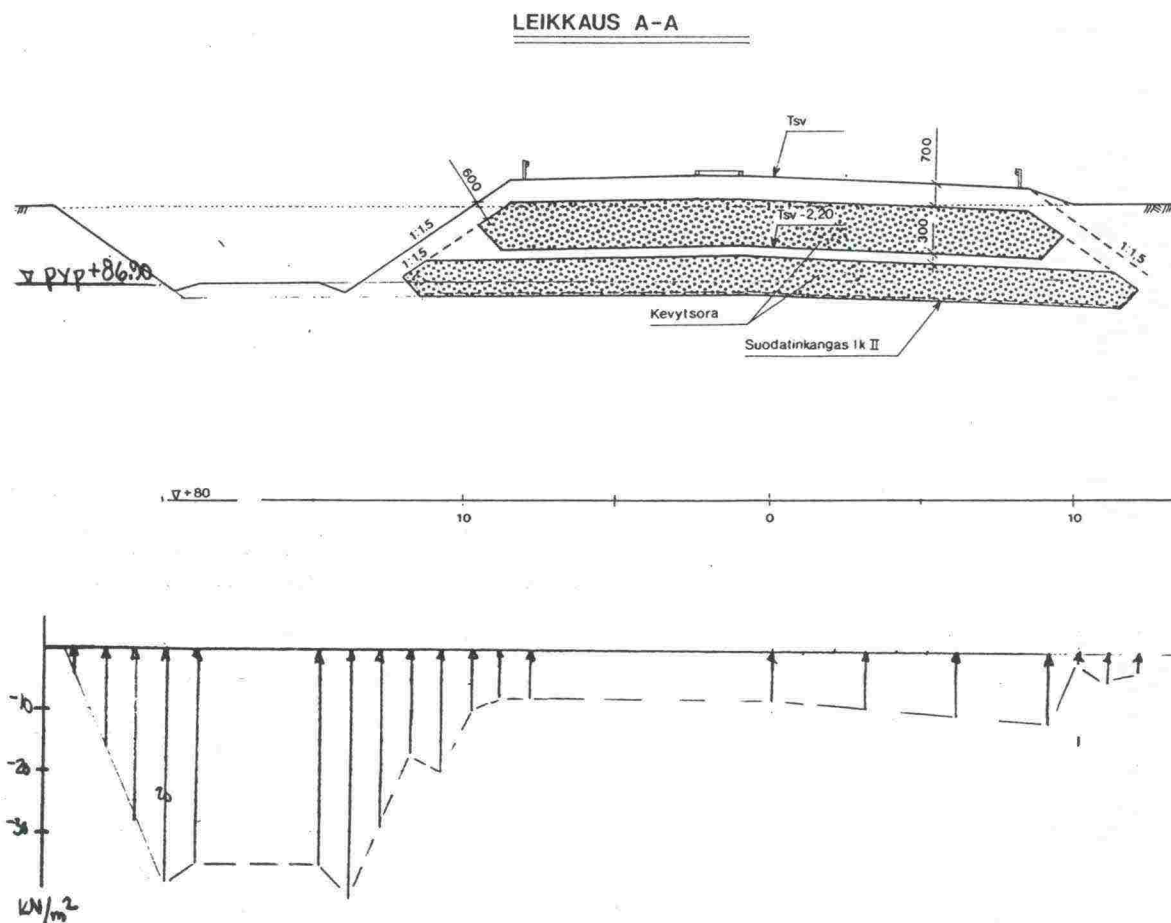
Jos pohjavesi alenisi kuvan 38 a) -kohdan oletuksen sijasta laajalla alueella peruslaatan alapinnan tasolle, tulisi tästä painumaa aiheuttavaa lisäkuormitusta enimmillään  $15 \text{ kN/m}^2$ , ks. kuvan 38 kohta c). Koska tässä esimerkissä arvioidaan vain alikulkukäytävän peruslaatan alapuolisia pystysuoria lisäjännityksiä ja niistä aiheutuvia painumia, ja kuormitus c) vaikuttaa peruslaatan sivulla, voidaan kuormitus c) panna vaikuttamaan uudelle pohjaveden pinnan tasolle. Jos haluttaisiin arvioida myös sen kerroksen painumia, jossa alenema tapahtuu, tulisi lisäkuormitus jakaa useammalle tasolle.

Kuvassa 39 on esitetty alittavan väylän suuntainen leikkaus sillasta ja kuvassa 40 leikkaus tulopenkereestä kevytsorakiilan kohdalta paalulta 26740, ks. myös kuva 37 tai liite 1.



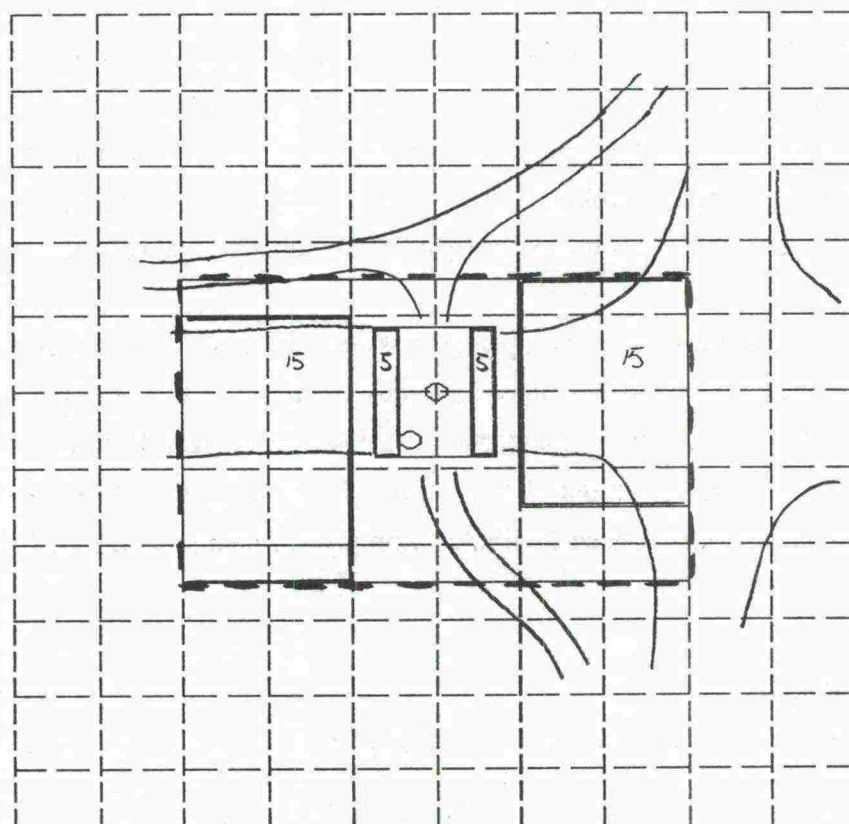
Kuva 39. Poikkileikkaus paalulta 26750 Ruunalan alikulkukäytävän kohdalta, 1:250.

Ruunalan alikulkukäytävän kohdalla on ajoradan toisella puolella ajoradan suuntainen kevyen liikenteen väylä, ks. kuvat 37 ja 40. Syvimmillään on kevyen liikenteen väylän tasausviiva alkuperäiseen maanpinnan tasoon verrattuna heti alikulkukäytävän ulkopuolella. Konsolidaatiopainumaa aiheuttava nettokuormitus on tällä kohdalla pienin.



Kuva 40. Ruunalan alikulkukäytävän tulopenkereen poikkileikkaus paalulta 26740 ja konsolidaatiopainumaa aiheuttava nettokuormitus, ks. myös kuva 37 ja liite 1. Kuormituksia arvioitaessa on oletettu pohjaveden olevan ennen rakentamista korkeustasolla +86,9 eli 2,4 m maanpinnan alapuolella, pohjaveden on oletettu laskevan kaivannon alapinnan tasoon. Kuormitusoletukset ovat siis samat kuin kuvan 38 kohdassa a).

Tarkastellaan tilannetta, jossa pohjaveden pinta alenee peruslaatan alapinnan tasolle eli noin tasolle +85,4 muuallakin kuin siltakaivannon kohdalla. Kuormitukset on esitetty kuvassa 41 yhtenäisellä viivalla.



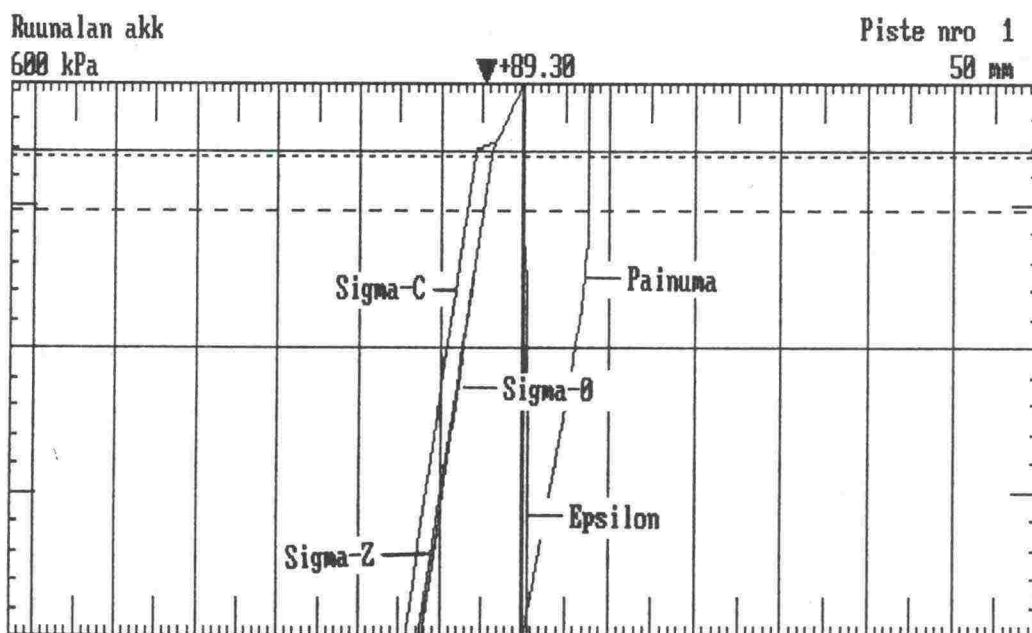
Kuva 41. Painuman laskennassa käytetyt kuormitukset on merkitty kuvaan yhtenäisellä viivalla. Paksulla katkoviivalla merkitty kuorma liittyy jäljempänä laskettuun tapaukseen, jossa pohjavesi alenee kuvan 38 c) -tapausta 0,6 m alemmaksi eli peruslaatan alapuolisen kaivannon pohjan tasolle. Kuvaan on lisätty siltapaikan kartasta kevyen liikenteen väylien ja ajoratojen ääri viivat, ks. kuva 37. Edustavan pisteen painuma on esitetty kuvassa 42. Katkoviivalla merkittyjen ruutujen sivumitta on 10 m, eli mittakaava on noin 1:1000.

Painumaa aiheuttaviksi kuormituksiksi on annettu kuvan 38 a) -kohdan mukaisesti siirtymäläattojen kohdalta tulopenkereistä aiheutuvat mitoiltaan  $3,0 * 17,0 \text{ m}^2$  ja suuruudeltaan  $5 \text{ kN/m}^2$  olevat nettokuormitukset. Pohjaveden alenemista kuvaaviksi kuormituksiksi on annettu kaksi suuruudeltaan  $15 \text{ kN/m}^2$  olevaa kuormitusta, jotka ovat kooltaan  $20 * 30 \text{ m}^2$ . Molemmat kuormitukset on sijoitettu etureunastaan 10 metrin päähän peruslaatan keskilinjasta, vrt. kuvan 38 c) -tapaus. Kuormitusten vaikutustaso on uusi pohjaveden taso eli +85,4.



Kevyen liikenteen väylien kohdilla vaikuttavat negatiiviset nettokuormitukset on jätetty pois. Myös penkereistä aiheutuvat kuormitukset on jätetty pois. Kuvan 38 kohdan a) mukaan aiheutuu kevennetystä penkereestä noin 15 m etäisyydeltä sillan keskilinjasta lähtien nettokuormitusta pohjamaahan. Kuormitus on  $5 \text{ kN/m}^2$  noin 20 metrin ja  $10 \text{ kN/m}^2$  noin 24 metrin päässä sillan keskilinjasta. Penkereistä tulevat kuormitukset vaikuttavat näin ollen varsin kaukana peruslaatasta. Toisaalta tässä laskennassa ei ole otettu aivan peruslaatan vieressä vaikuttavia negatiivisiakaan nettokuormia huomioon. Lisäksi kuormitusta aiheuttavien penkereiden alla on paksu kuivakuorikerros. Jännitykset keskittyvät tähän pintakerrokseen ja penkereistä aiheutuvien lisäjännitysten voidaan olettaa jäävän merkityksettömiksi peruslaatan alapuolisissa maakerroksissa.

Painumat on laskettu Fulgeo Oy:n painumalaskentaohjelmalla, jonka laskentaperiaatteet ovat samat kuin lähteen /27/ painumalaskentaohjelmassa. Laskentapiste 1 on sijoitettu laatan edustavaan pisteeseen eli pisteeseen, jossa sekä jäykän että taipuisan laatan painumat ovat saman suuruiset. Laskentapiste 2 on sijoitettu kooltaan  $8,4 * 17,0 \text{ m}^2$  olevan laatan keskelle. Piste 1 eli edustavan pisteen painuma on esitetty kuvassa 42.



Kuva 42. Laskentapisteen 1 konsolidaatiopainuma. Laskentapiste 1 sijaitsee laatan edustavassa pisteessä. Kuormituksina ovat vaikuttaneet siirtymälaattojen kohdalla tulopenkereistä aiheutuvat kuormitukset ja 1,5 m aleneva pohjavesi, ks. kuvan 38 tapaukset a) ja c).

Ruunalan akk:n siltapaikka on ennen rakentamistoimenpiteitä ollut tasaista peltoaluetta. Siltapaikalta on otettu häiriintymätön näytesarja aivan sillan peruslaatan keskipisteen alapuolelta, ks. liite 1. Ödometrikokeiden perusteella voidaan saven olettaa olevan lievästi ylikonsolidoitunutta. Konsolidaatiojännitys on selvimmän määritettävissä syvyyksiltä 6,0 ja 12,0 m otetuista näytteistä. Ylikonsolidaatio on em. syvyyksillä noin  $20 \text{ kN/m}^2$ .

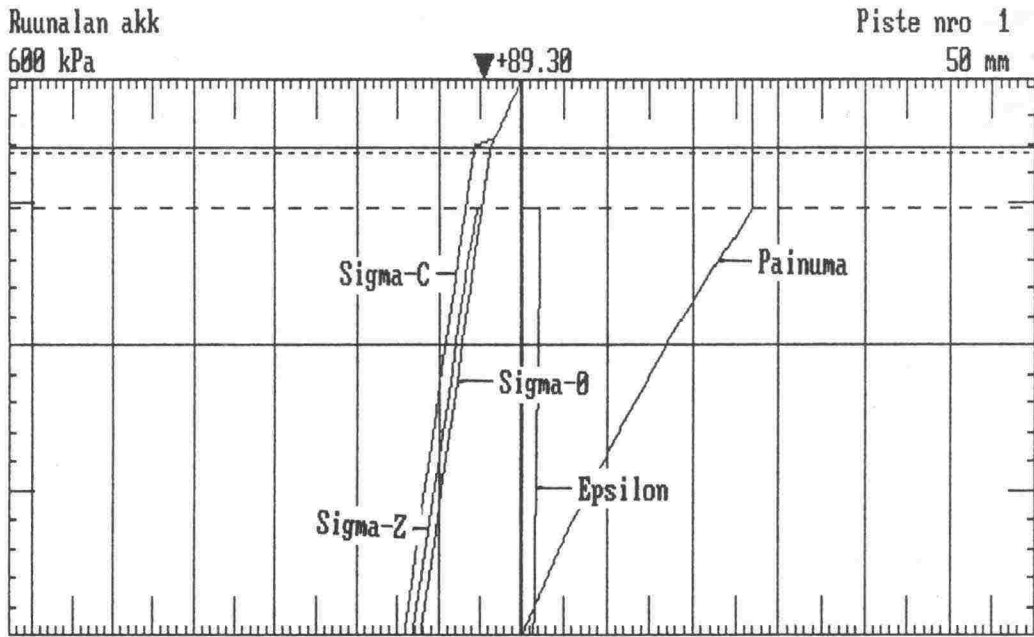
Normaalikonsolidoituneen alueen parametreiksi on saatu syvyyksiltä 6,0 ja 12,0 m  $m \approx 3,0$  ja  $\beta \approx -1,0$ . Palautusvaiheen moduuliluvuksi on saatu kuormitusväliltä 360 – 17 kPa  $m_{\text{palaut.}} \approx 75$ , toistokuormituksen perusteella on moduuliluvuksi saatu  $m_{\text{toisto}} \approx 52$ . Konsolidaatiokertoimeksi on samoilta syvyyksiltä saatu konsolidaatiojännityksen ylittävillä kuormitusportailta  $c_v = 0,1 - 0,25 \text{ m}^2/\text{a}$  ja konsolidaatiojännitystä pienemmillä kuormitusportailta  $c_v = 2,5 - 3,0 \text{ m}^2/\text{a}$ .

Peruslaatan alapuolisen kerroksen painuma on laskettu käyttäen koko kokoonpuristuvale kerrokselle seuraavia parametrin arvoja:  $m = 3,0$ ,  $\beta = -1,0$  ja  $m_2 = 52$ ,  $\beta_2 = 0$ .

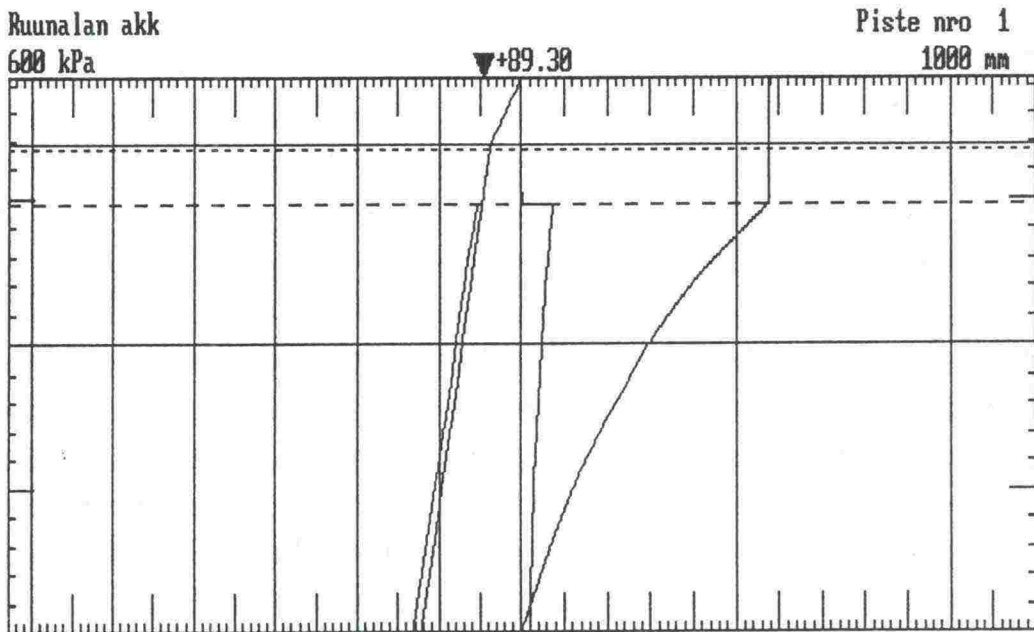
Koska peruslaatan kohdalla ei vaikuta konsolidaatiopainumaa aiheuttavia kuormituksia ja laatan ulkopuolella vaikuttavat kuormitukset ovat suuruudeltaan pieniä, jäävät laatan edustavan pisteen alapuolisiin kerroksiin aiheutuvat lisäjännitykset ja painumat pieniksi. Painuma on laatan edustavassa pisteessä 8 mm ja keskipisteessä 6 mm. Keskipisteen lisäjännitykset ja painumat jäävät edustavan pisteen jännityksiä ja painumia pienemmiksi tässä tapauksessa, koska kuormitukset vaikuttavat peruslaatan ulkopuolella. Suurimmillan on suhteellinen kokoonpuristuma noin 0,05 %.

Painuma on laskettu tässä laskennassa vain syvyystasolle +70,0. Jos maanpinnan korkeuden ja kovan pohjan välinen mitta menee yli 20 metriksi, skaalaa laskentaohjelma tulosteen jännitysakselin 900 kPa:iin ja kuvien mittakaava menee näin vieläkin epäselvemmäksi, vrt. kuva 42. Kova pohja on liitteen 1 mukaisesti noin tasolla +66. Kun laskentasyvyyttä lisättiin 4 metrillä saatiin painumaksi molemmissa pisteissä vajaa 1 mm suurempi lukema.

Kuvassa 43 on esitetty edustavan pisteen painuma tapauksessa, jossa pohjaveden on oletettu alenevan kaivannon pohjan tasolle eli noin tasolle +84,8. Edellä viimeksi esitetyssä laskennassa käytettyjen kuormitusten lisäksi on siltapaikalle sijoitettu kooltaan  $60 * 40 \text{ m}^2$  ja suuruudeltaan  $6 \text{ kN/m}^2$  oleva kuormitus vaikuttamaan tasolle +84,8, ks. kuva 41. Kuvasta 43 voidaan havaita, että konsolidaatiojännitys ei ylitä tässäkään kuormitustapauksessa. Painuman suuruudeksi on saatu 27 mm.



Kuva 43. Edustavan pisteen konsolidaatiopainuma, kun painumaa aiheuttavia kuormituk-  
sia tulee siirtymäläattojen kohdalta tulopenkereistä ja 2,1 m alenevasta  
pohjavedestä.



Kuva 44. Edustavan pisteen konsolidaatiopainuma, kun painumaa aiheuttavia kuormituk-  
sia tulee siirtymäläattojen kohdalta tulopenkereistä ja 2,1 m alenevasta poh-  
javedestä. Painuvat maakerrokset on oletettu normaalisti konsolidoituneiksi.

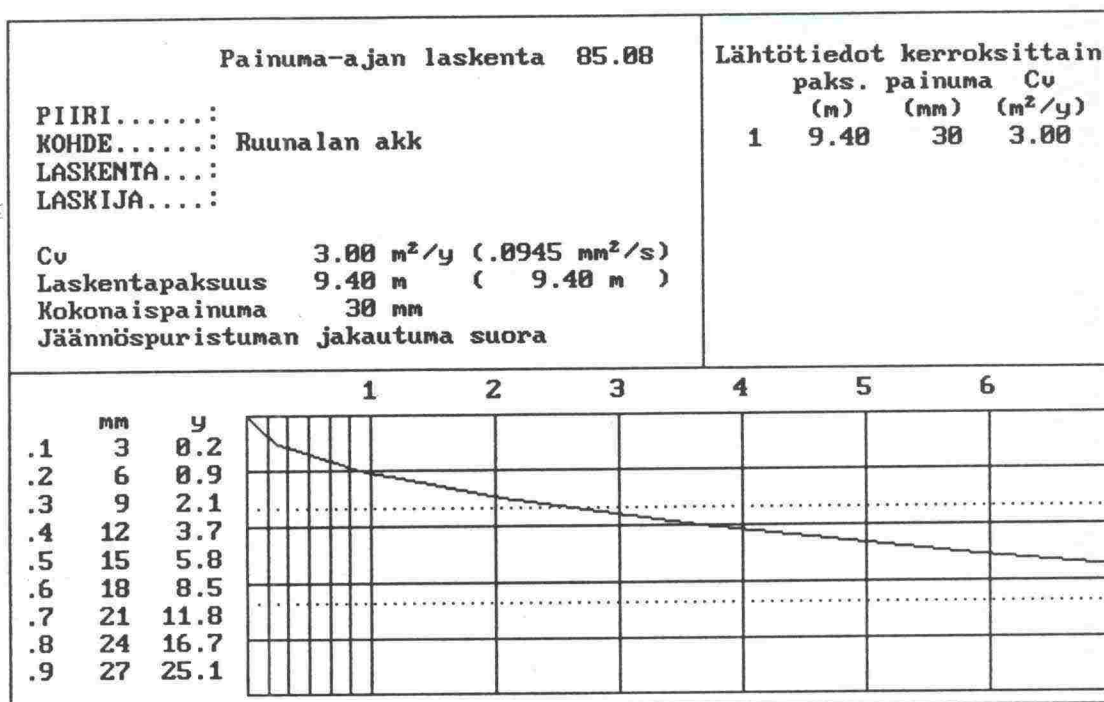
Kuvassa 44 on esitetty painuma siinä tapauksessa, että kokoonpuristuvat kerrokset  
oletetaan normaalisti konsolidoituneiksi. Kuormitukset ovat laskennassa samat kuin  
kuvan 43 laskennassa. Painumaksi on saatu noin 540 mm.

Edellä esitetyissä laskennoissa on pohjaveden alenemista kuvaavat kuormitukset annettu vain muutamalla suorakaiteen muotoisella kuormituksella. Kuormitukset olisi annettava sekä laajuudeltaan, vaikutustasoltaan että suuruudeltaan paljon tarkemmin eli useampana kuormituksena, jos jännityslisäyksiä ja painumia tarkasteltaisiin ko. kuormitusten alapuolisissa kerroksissa. Tässä on kuitenkin arvioitu pelkästään peruslaatan alapuolisten kerrosten pystysuoria lisäjännityksiä ja niiden aiheuttamia painumia, jolloin kuormituksia muuttamalla on ollut helppo todeta niiden vaikutus lisäjännityksiin ja tätä kautta painumiin.

Pohjaveden pinnan korkeutta ja ennen rakentamista vallinneita huokosvedenpaineita ei Someron siltapaikoilla ole pystytty varmuudella määrittämään. Esimerkiksi pohjavesiputkien kärkikappaleet ovat savessa, eikä saven alapuolisessa vettäjohtavassa kerroksessa vallitsevasta pohjavesipinnan tasosta ole yhtään havaintoa. Orasmaan siltapaikalle asennetuista kolmesta huokosvedenpaineen mittauskärjestä ehdittiin tekemään vain kaksi havaintoa ennen mittausputkien rikkoutumista.

Esimerkin erilaisilla pohjavedenpinnan oletuksilla on pyritty arvioimaan mahdollisen konsolidaatiopainumaa aiheuttavien lisäjännitysten ääriarvoja peruslaatan alapuolisissa maakerroksissa. Painumatarkastelu on tehty pitämällä kokoonpuristuvan pohjamaan painumaominaisuudet viimeistä laskentaa lukuunottamatta samoina. Kaikissa edellä lasketuissa tapauksissa ovat lisäjännitykset peruslaatan alapuolisissa kerroksissa jääneet niin pieniksi, että konsolidaatiojännitys ei ole ylittynyt ja mahdolliset konsolidaatiopainumat jääneet pieniksi. Jos pohjaveden pinta olisi perustamistasossa suunnitteluvaiheessa tehdyn oletuksen mukaisesti, ei konsolidaatiopainumaa tulisi ollenkaan alikulkukäytävän osalle.

Painuman ajallista kehitystä on arvioitu laskemalla aika-painumariippuvuus tielaitoksen mikrotietokoneohjelmalla /27/. Kuvassa 45 on esimerkki ohjelman tulosteesta. Laskennassa on käytetty koko painuvalle kerrokselle konsolidaatiokertoimen arvona  $c_v = 3 \text{ m}^2/\text{a}$ . Primaarisen muodonmuutoksen jakautumakuviona on käytetty suorakaidetta, suotomatkana  $(84,8 - 66,0)/2 = 9,4 \text{ m}$  ja painuman arvona 30 mm.



Kuva 45. Primaarisen konsolidaatiopainuman ajallinen kehitys.

Painumahavaintoja on Ruunalan alikulkukäytävästä vain kahden vuoden ajalta rakentamisen jälkeen. Koska rakentamisesta johtuvat lisäjännitykset ja niistä laskelmilla saadut painumat ovat pieniä, on lasketun konsolidaatiopainuman ja mahdollisen tapahtuneen konsolidaatiopainuman vertailu näin lyhyen havaintojakson perusteella mahdotonta.

Someron siltapaikoille oli suunniteltu perustettavaksi kaksi uutta huokosvedenpaineen mittaussasemaa rakentamisen alkuvaiheessa tuhoutuneen tilalle. Asennustyötä ei ehditty tehdä rakentamisaikana, eikä asiaa pidetty kohteen valmistumisen jälkeen enää tarpeellisena. Pitkäaikaisten huokosvedenpaineen mittaustietojen perusteella olisi jälkepäin ollut mahdollisuus suunnitteluvaihetta tarkemmin määrittää mm. maaperässä vallitseva huokosvedenpaine ja mahdollinen pohjaveden aleneminen siltapaikoilla. Tällöin myös laskettujen ja havaittujen painumien vertailu olisi helpompaa.

Someron alikulkukäytävien siltapaikkojen pohjasuhteet poikkeavat toisistaan mm. konsolidaatiotilan osalta. Suurimmat konsolidaatiojännityksen arvot on Heikintien siltapaikalla, jossa 9,0 m syvyydeltä tehtyä ödometrikoetta lukuunottamatta kaikissa muissa kuormitus-kokoonpuristuma -kuvaajissa on konsolidaatiojännitys selvästi havaittavissa. Näytteet on otettu noin 8 m päästä arviolta 9 m leveän ja noin 0,7 m korkean tiepenkereen keskilinjasta.

Kaikki kolme siltaa ovat kuitenkin painuneet aivan saman verran, ja havaittu painuma on kaikilla ollut noin 40 mm, ks. liite 1. Tämä painuma on tullut ilmeisesti osin liikennekuorman aiheuttamasta alkupainumasta ja osin laatan alapuolisten rakennekerrosten tiivistymisestä ja mahdollisesta konsolidoitumisesta. Ruunalan ja Heikintien alikulkukäytävien siltapaikoilla on maaperä ödometrikokeiden perusteella ylikonsolidoitunutta. Näiden siltojen painumahavainnot ovat ajallisesti kehittyneet myös aivan samalla tavalla. Orasmaan akk:n siltapaikalla on konsolidaatiojännitykset ödometrikokeiden perusteella yksiselitteisesti määritettävissä, liitteen 1 mukaisella pohjavedenpinnan oletuksella voidaan maaperää pitää normaalisti konsolidoituneena. Orasmaan akk on havaintojakson alussa painunut hitaammin kuin Heikintien ja Ruunalan alikulkukäytävät, mutta noin vuoden kuluttua ensimmäisestä havainnosta on kaikkien alikulkukäytävien painuma kuitenkin ollut saman verran. Tällöin on siltojen painuminen pysähtynyt kokonaan. Alikulkukäytävien ja tulopenkereiden välille ei ole muodostunut minkäänlaisia epätasaisia painumia.

Ennen Someron alikulkukäytävien geoteknisen suunnittelun aloittamista oli saven varaan perustettujen alikulkukäytävien käyttäytymisestä tietoa Turun piirissä sijaitsevista Joensuun ja Rantatien alikulkukäytävistä. Parhaimman kuvan painumien kehittymisestä sai Joensuun akk:n painumahavainnoista, jotka oli aloitettu ennen sillan liikenteelle avaamista. Ensimmäinen painumahavainto on tehty heti elementtien asennuksen jälkeen. Ennen seuraavaa havaintoa on silta otettu ajoneuvoliikenteen käyttöön, tätä ennen on luonnollisesti rakennettu myös tulopenkereet. Silta on painunut tämän 7 viikon aikana noin 16–20 mm. Tämän jälkeen painuminen on hidastunut, ja ensimmäisen vuoden aikana sillan painuma on ollut noin 35 mm. Kolmen vuoden kuluttua rakentamisesta sillan painuminen on lähes pysähtynyt ja kokonaispainuma on ollut noin 40 mm.

Someron alikulkukäytävät ovat painuneet lähes samalla tavalla ja saman verran kuin Joensuun alikulkukäytävä. Alussa painuminen on ollut nopeaa, noin 90 % havaintojakson painumasta on tapahtunut puolessa vuodessa. Someron alikulkukäytävien jälkeen valmistunut Kylkkälän alikulkukäytävä on painunut havaintojen perusteella aivan samalla tavalla ja saman verran kuin Joensuun ja Someron alikulkukäytävät. Havaintoja on tehty kuitenkin vain senttimetrin tarkkuudella ja viimeinen havainto on tehty noin vuoden kuluttua rakentamisesta, joten tarkempi vertailu on vaikeaa.

Joensuun, Rantatien, Vöyrin ja Hulmin alikulkukäytävien painumia on havaittu yli kolmen vuoden ajan. Kaikkien alikulkukäytävien painuminen jatkuu havaintojen perusteella. Rantatien, Vöyrin ja Hulmin alikulkukäytävien painumamittaustulokset ovat hyvin hajanaisia. Hulmin akk:n vaaitusmittauksissa käytetty korkeuskiintopiste routii, muiden siltojen vaaitustulosten hajanaisuuteen ei ole saatu selitystä.

Laatan ja sen alapuolisten kerrosten sekä kuivatusrakenteiden rakentamisen aiheuttamat alkupainumat ovat tapahtuneet jo ennen kehärakenteen ja siipimuurien valua, jos painumien oletetaan tapahtuvan sitä mukaa, kun kuormitus kasvaa. Jos kehärakenteen muotit on rakennettu suunniteltuun korkoonsa, on lopullinen rakenne jäänyt alkupainuman osalta suunnitellun korkeuden alapuolelle vain kehärakenteen ja tulopenkereiden aiheuttaman alkupainuman verran.

Jos pohjalaatan aiheuttama alkupainuma olisi mitattu, olisi painuman perusteella saatu kokoonpuristuvalla kerroksella keskimääräinen suljetun tilan muodonmuutosmoduuli. Tämän perusteella olisi ollut mahdollista arvioida hyvinkin tarkasti lopullisen rakenteen alkupainuma. Someron alikulkukäytävien tapauksessa olisi ensimmäisen pohjalaatan painumahavaintojen perusteella pystytty suunnitelmia mahdollisesti tarkistamaan, koska alikulkukäytävät sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan ja pohjasuhteet ovat samanlaiset.

Usein alikulkukäytävien perustamistaso on useitakin metrejä luonnollisen maanpinnan alapuolella, joten kaivannon pohja kohoaa. Jos pohjan kohoamisen suuruus mitattaisiin, saataisiin erittäin hyvä alkupainuman arvio jo ennen pohjalaatan valua, ja pohjalaatta sekä kuivatusrakenteet olisi mahdollista rakentaa painumia ennakoimalla suunniteltua korkeutta ylemmäksi. Pumppaamalla varustetuilla siltapaikoilla ei kuivatusvesien poisjohtaminen siltapaikalta vaikeudu, vaikka kuivatustaso painumien takia jäisikin alemmalle tasolle. Suuret painumat ja kulmanmuutokset putkistossa voivat kuitenkin rikkoa kuivatusrakenteita.

## 5 MUUT SAVEN VARAAN PERUSTETUT ALIKULKUKÄYTÄVÄT

Selvitystyön yhteydessä kyseltiin kokemuksia saven varaan perustetuista alikulkukäytävistä myös Helsingin, Espoon, Vantaan ja Turun kaupungeilta.

Espoon kaupunki ei ole rakentanut yhtään teräsbetonista alikulkukäytävää saven varaan. Helsingin kaupungilta on vertailuun saatu kaksi alikulkusiltaa, jotka on perustettu metroradan alle kalkkipilaristabiloidulle savelle, ja Vantaan kaupungilta yksi alikulkukäytävä, joka on perustettu vanhan tiepenkereen alle. Turun kaupungille on teräsbetonisten alikulkukäytävien saven varainen perustaminen tavallista. Helsingin, Vantaan ja Turun kohteissa ei ole tehty painumahavaintoja.

## Helsingin kaupungin kohteet

Metroradan alle kalkkipilaristabiloidulle savelle perustetut Mustapuron ja Alakiven alikulkusillat sijaitsevat Itäkeskuksen ja Myllypuron välillä Kehä I:n vierellä. Stabiloitua savea on peruslaattojen alle jäänyt 2–3 metriä, pilarit  $\varnothing$  500 mm on sijoitettu Mustapuron alikulkusillan alla k/k 850 mm:n välein ja Alakiven siltapaikalla k/k 600 välein, ks. kuvat 46 ja 47. Stabiloidut alueet on esikuormitettu ratapenkereillä ennen siltojen rakentamista.

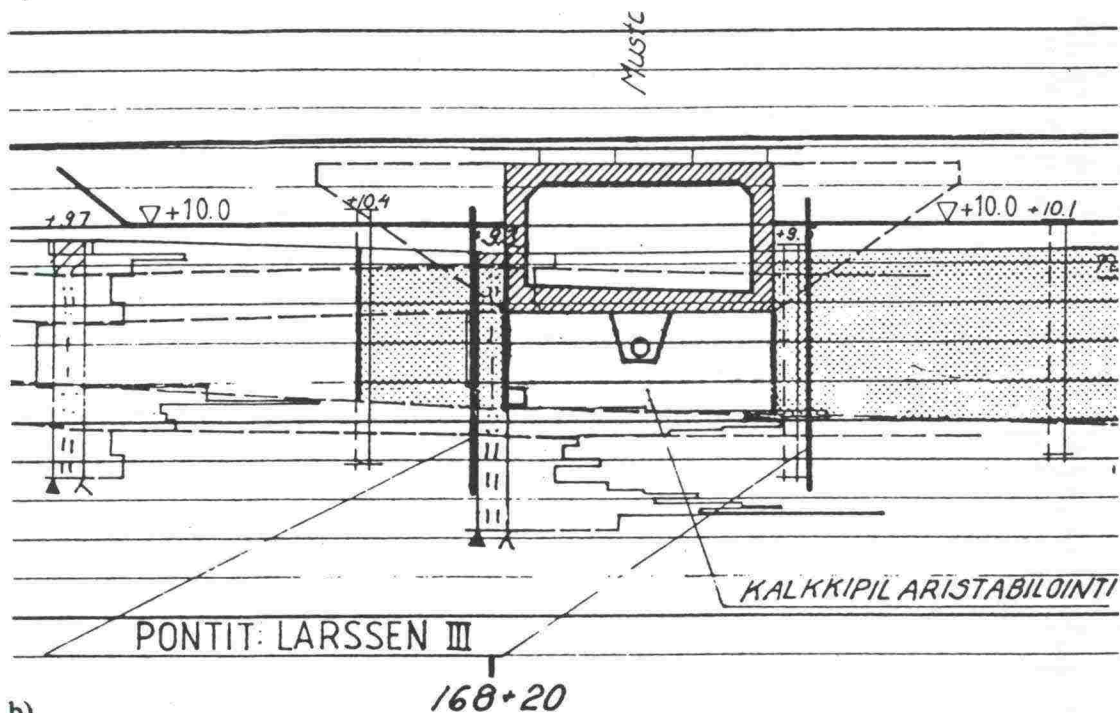
Itäkeskuksen ja Myllypuron välisellä noin 550 m pitkällä pehmeiköllä on noin 1,0–7,5 m paksu savikerros, jonka siipikairalla mitattu leikkauslujuus on vaihdellut 6–10 kN/m<sup>2</sup> välillä. Savikerroksen päällä on ohut humuskerros ja joissain paikoin ohut kitkamaakerros. Saven vesipitoisuus on vaihdellut 50–100 % välillä. Saven alla ovat siltti-, hiekka- ja moreenikerrokset. Pohjaveden pinta on alueella vaihdellut keskimäärin 0,5–1,0 m syvyydessä maanpinnasta. Aivan pehmeikön pohjoispäässä sijaitsevalla Alakiven alikulkusillan siltapaikalla on pohjaveden pinta ollut 0,5–1,5 m maanpinnan yläpuolella.

Pehmeikköä on vahvistettu liuskapystyjojilla ja ylipenkereillä, pelkillä ylipenkereillä sekä kalkkipilareilla. Ratapenkereen korkeus luonnollisesta maanpinnasta mitattuna on ollut noin 1,0–3,0 m, ylipenkereiden korkeus on ollut 1,5 m. Vahvistettujen alueiden esirakentamisen aikaisia painumia on mitattu 10 painumalevystä ja 4 painumaletkusta.

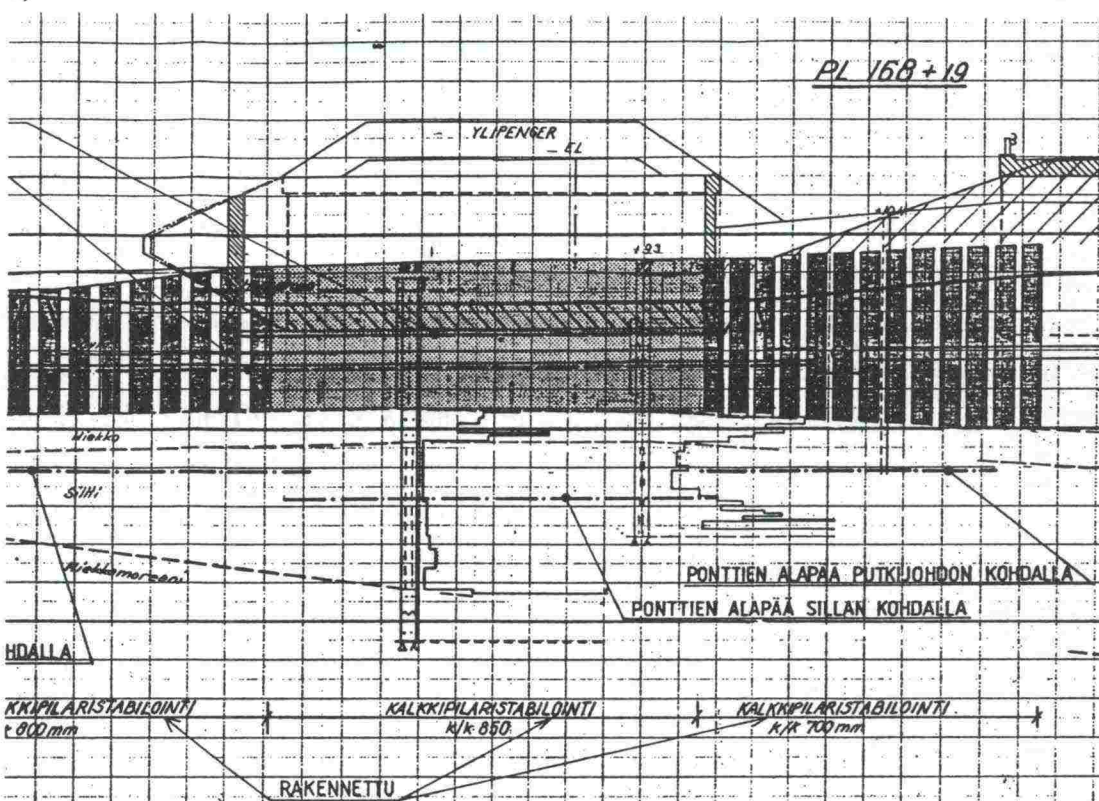
Painumahavaintojen ja laskelmien perusteella on arvioitu, että noin 1 v 8 kk kuormitusajan jälkeen on liuskapystyjoituksella ja ylipenkereillä saavutettu noin 80–95 % konsolidaatioaste. Suurimmillaan on mitattu painuma ollut 470 mm, laskelmien perusteella on suurimmaksi konsolidaatiopainumaksi vastaavassa ajassa arvioitu 433 mm. Sekundaaripainuman maksimi arvoksi on 10 vuodessa arvioitu 60 mm. Kalkkipilaristabiloidun alueen painumaksi on ratapenkereen kohdalla mitattu 33 mm. Siltojen kohdilla ei painumahavaintoja ole tehty esikuormitusvaiheessa eikä sen jälkeen.



a)

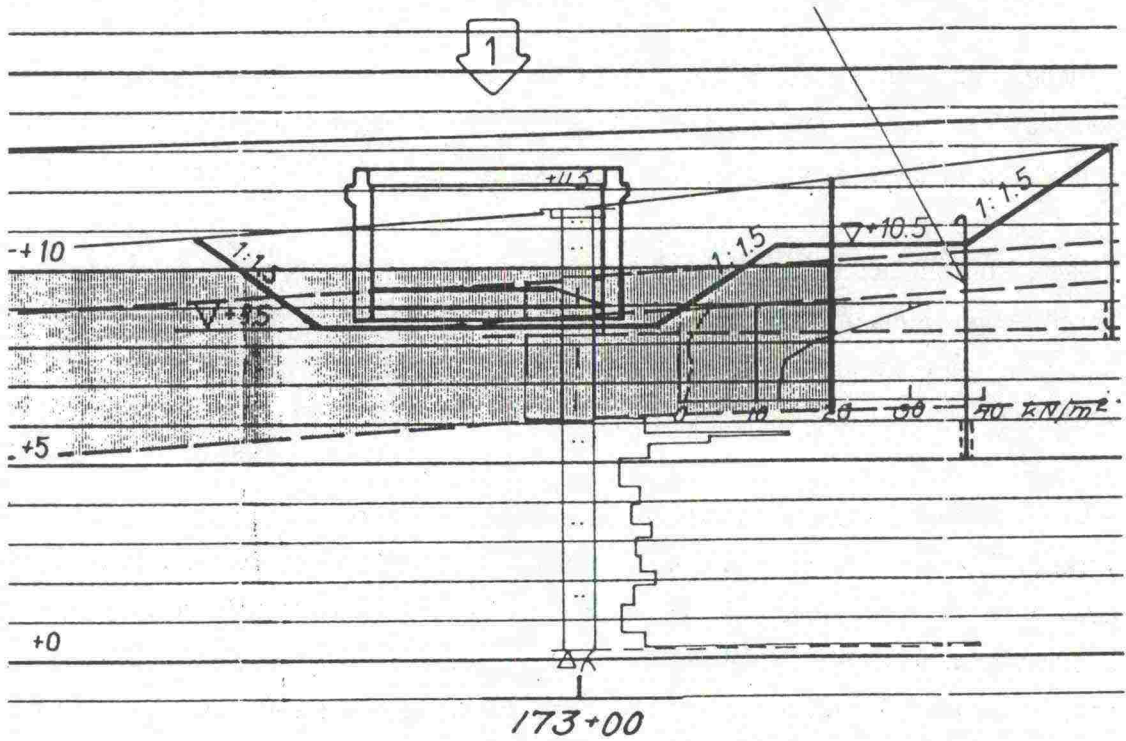


b)



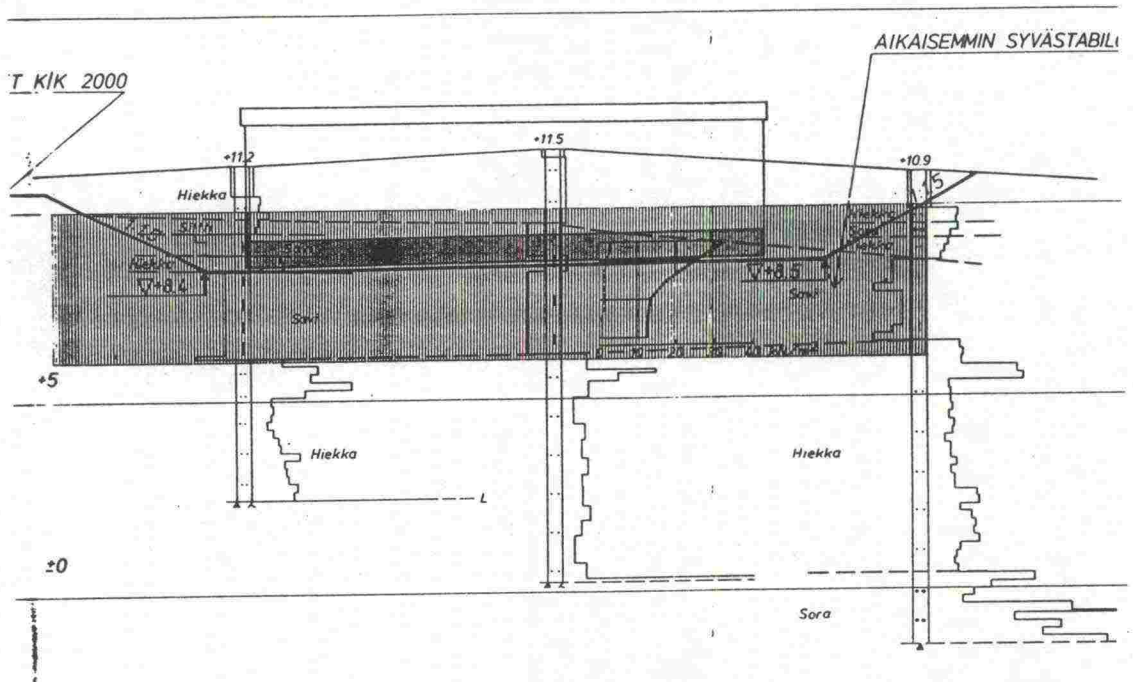
Kuva 46. Mustapuron alikulkusilta, a) pituusleikkaus 1:200, b) poikkileikkaus 1:200, piennetty 1:100-kuvasta. Silta on perustettu kalkkipilareilla k/k 850 vahvistetun saven varaan. Sillan tulopenkereiden alapuolisten maakerrosten vahvistukseen on käytetty liuskapystyjoitusta k/k 170 ja ylipengertä sekä pelkkää ylipengertä. Kehä I:n alittava puupaaluille perustettu alikulkukäytävä näkyy poikkileikkauksen oikeassa laidassa.

a)



b)

PL 172+976



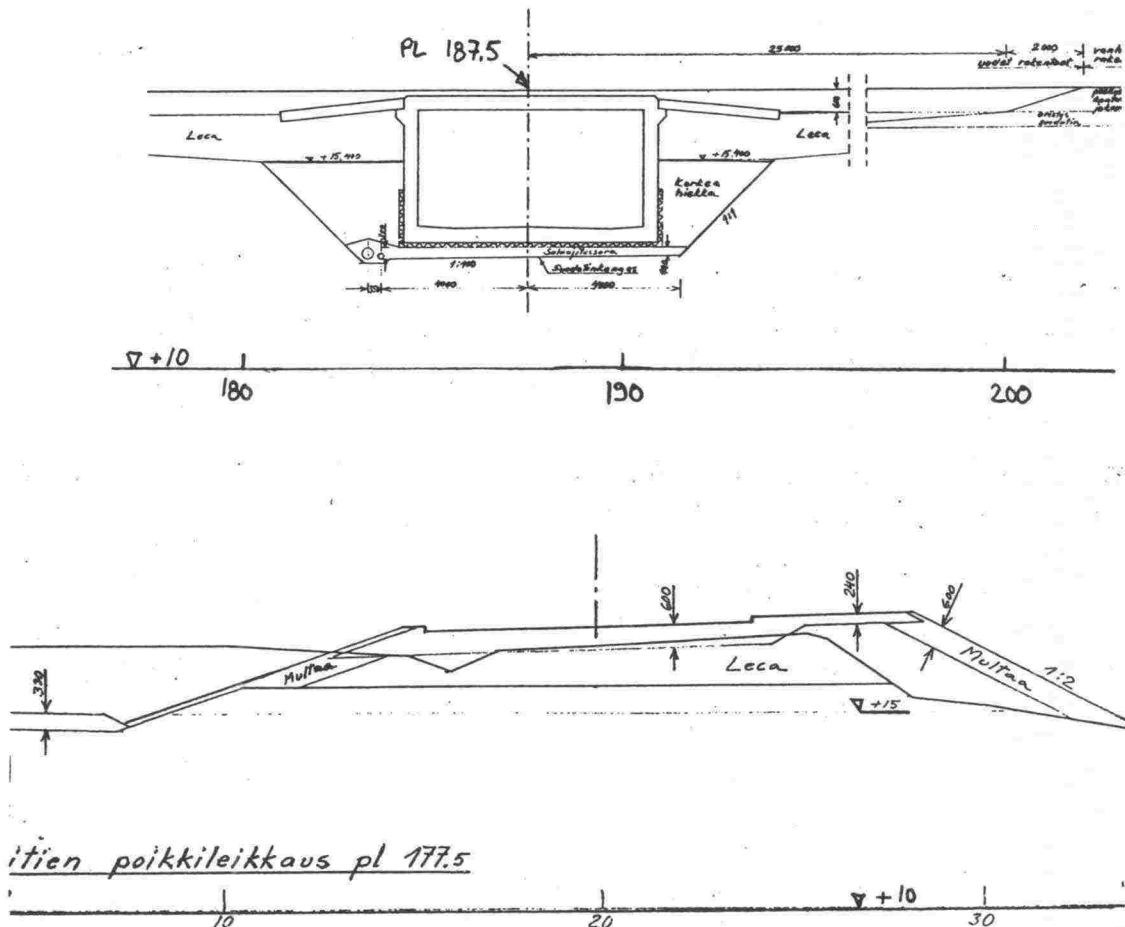
Kuva 47. Alakiventien alikulkusilta, a) pituusleikkaus 1:200, b) poikkileikkaus 1:200, pienennetty 1:100-kuvasta. Silta ja tulopenkereet on perustettu kalkkipilareilla k/k 600 vahvistetun saven varaan.

## Vantaan kaupungin kohde

Vantaan kaupungin kohde, Kuriiritien alikulkukäytävä, sijaitsee Keravanjoen pohjoispuolella Kuriiritien alittavalla kevyen liikenteen väylällä tiedekeskus Heureka kohdalla. Alikulkukäytävä on rakennettu 1980-luvun alkupuolella vanhan tiepenkereen kohdalle.

Maaperä on siltapaikalla lihavaa savea noin 11–13 m syvyyteen asti maanpinnasta. Saven vesipitoisuus on vaihdellut 50–100 % välillä, siipikairalla määritetty leikkauslujuus on ollut noin 1,0 m paksun kuivakuoren alla noin 7 m syvyyteen asti 17–27 kN/m<sup>2</sup>.

Silta on paikallarakennettu rengaskehä, jonka vapaa-aukko on 6,0 m ja pienin alikulkukorkeus 2,8 m. Ylittävän Kuriiritien tasausviiva on sillan rakentamisen yhteydessä noussut noin 0,5 m, siltaan liittyviä tulopenkereitä on kevennetty noin 20 m pituisilla ja paksuimmillaan noin 1,2 m kevytsorakiiloilla. Kadun päällysrakenteen paksuus on kevytsorakiilojen kohdalla 600 mm ja jalkakäytävän kohdalla 240 mm. Luiskissa on suunnitelman mukaan suojajenkerenä 600 mm paksu multakerros, ks. kuva 48.



Kuva 48. Kuriiritien alikulkukäytävä, pituus- ja poikkileikkaus 1:200.

Silta on routasuojattu pohjalaatan alle sijoitetulla 125 mm paksulla, tilavuuspainoltaan vähintään  $35 \text{ kg/m}^3$  Styroxilla. Eriste on ulotettu pystyseiniä ja siipimuurien takana 1500 mm:n korkeuteen laatan alapinnasta. Alittavan väylän suunnassa on eriste ulotettu 1700 mm laatan ulkopuolelle, eristettä ei ole kiilattu päistään. Pohjalaatan ja eristeen välissä on suojana käytetty öljykarkaistua kovalevyä tai vastaavaa. Routaeristeen alla on suunnitelman mukaan vähintään 200 mm paksu sorakerros ja suodatinkangas.

Kuriiritien poikki on noin 1,0 m etäisyydelle sillan peruslaatan ulkopuolelle sijoitettu putkijohto sekä salaoja kuivatusvesien poisjohtamiseksi. Pintakuivatus on järjestetty sadevesikaivoin.

Sillan ylälaatan paksuus on suunnitelman mukaan 350 mm ja laatan päällä olevien kerrosten paksuus 120 mm. Peruslaatan paksuus on vaihdellut 350–450 mm välillä. Kokonaisuutena ylittävän väylän tasausviivasta peruslaatan alle 200 mm:n syvyyteen on täten noin 4,1 m. Pysyvistä kuormista aiheutuva pohjapaine on siltasuunnitelman mukaan  $44 \text{ kN/m}^2$ .

### **Turun kaupungin kohteet**

Turun kaupungin alikulkukäytävistä on saatu aineistoon 11 saven varaan perustetun alikulkukäytävän suunnitelmätiedot, kohteisiin tehtiin tutustumiskäynti syksyllä 1990. Sillat on suunniteltu vuosina 1970–1989, silloista on TOBI-alikulkukäytäviä 10, uusien silloista on 1990 rakennettu teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta eli Ble I.

Tiedot siltapaikkojen pohjasuhteista ovat jääneet varsin suppeiksi lukuunottamatta viimeiseksi suunniteltua Ble I-alikulkukäytävää. Paino- ja siipikairaustulokset on ollut käytettävissä noin joka toiselta siltapaikalta. Joillain siltapaikoilla on tehty kallionpinnan korkeuden määrityksiä, kahdesta kohteesta on suunnitelmissa esitetty maaperänäytteiden vesipitoisuudet.

Alikulkukäytävien alle on jäänyt savea 1–20 metrin paksuudelta. Painokairausvastus on viidessä kairatussa kohteessa ollut perustamistasossa ja sen alla  $0,25$ – $0,5 \text{ kN}$ . Siipikairalla määritetty suljettu leikkauslujuus on ollut tutkituissa viidessä kohteessa perustamistasossa ja sen alapuolella noin 4 metrin syvyyteen asti  $11$ – $20 \text{ kN/m}^2$ . Vesipitoisuus on vaihdellut kahdessa näytesarjassa noin 50–90 % välillä.

Vanhimmat kuusi TOBI-alikulkukäytävää ovat pituudeltaan noin 27–39 m, vapaa-aukko kaikissa näissä on 4,0 m. Viidessä alikulkukorkeus on 2,5 m ja yhdessä 2,7 m.

Uusimmissa neljässä pituudeltaan noin 12–18 m TOBI-käytävässä on alikulkukorkeus 2,8 m, vapaa-aukko on neljässä sillassa 3,5 m ja yhdessä 3,0 m. Ble I-tyyppin alikulkukäytävä on pituudeltaan noin 15 m, vapaa-aukoltaan 5,0 m ja alikulkukorkeudeltaan 2,8 m. Kaikissa alikulkukäytävissä on alittavan väylän suuntaiset suorat siipimuurit. TOBI-alikulkukäytävissä on siltojen kaiteet sijoitettu reunapalkkiin vain vanhimmassa käytävässä. Muiden TOBI-käytävien kaiteet on sijoitettu enimmillään 1,7 m päähän reunapalkista, usean alikulkukäytävän pituus on kasvanut 1,5–2,5 m kaiteitten sijoitustavasta johtuen, ks. kuva 49.

Kaikissa TOBI-alikulkukäytävissä on käytetty yhtenäistä elementtirakenteista peruslaattaa, Ble I:ssä on paikallavalettu laatta. Laatan alle on yhteen vanhimmista kohteista suunniteltu hirsiarina, tähän kohteeseen on myös ainoana suunniteltu routasuojaus massanvaihdoilla. Kaikissa muissa silloissa on routasuojaus tehty eristettä käyttäen. Eristeenä on käytetty seitsemässä kohteessa kevytsoraa ja kolmessa kohteessa solumuovia. Kevytsorarakenteissa on yhtä lukuunottamatta ollut pohjamaan päällä 100–200 mm paksu hiekkakerros, tämän päälle on suunniteltu 200–400 mm paksuinen kevytsorakerros. Useissa kevytsorarakenteissa on kevytsora ympäröity sekä ala- että yläpuolelta suodatinkankaalla, kaikissa tapauksissa kangas on ainakin toisella puolella. Ylimpänä ennen pohjalaattaa on tiivistetty 150–400 mm paksu sorakerros. Solumuovilla eristetyissä kohteissa on kahden TOBI-alikulkukäytävän routasuojusrakenne tyyppipiirustussarjan /28/ mukainen, eriste on ollut 30 mm paksu. Ble I:ssä on eristeenä käytetty 100 mm paksua solumuovia, joka on asennettu suoraan betonirakennetta vasten laatan alle ja ulotettu pystyseinämiä takana siirtymälaattoihin asti. Solumuovin alle on suunniteltu 490 mm paksuinen sorakerros.

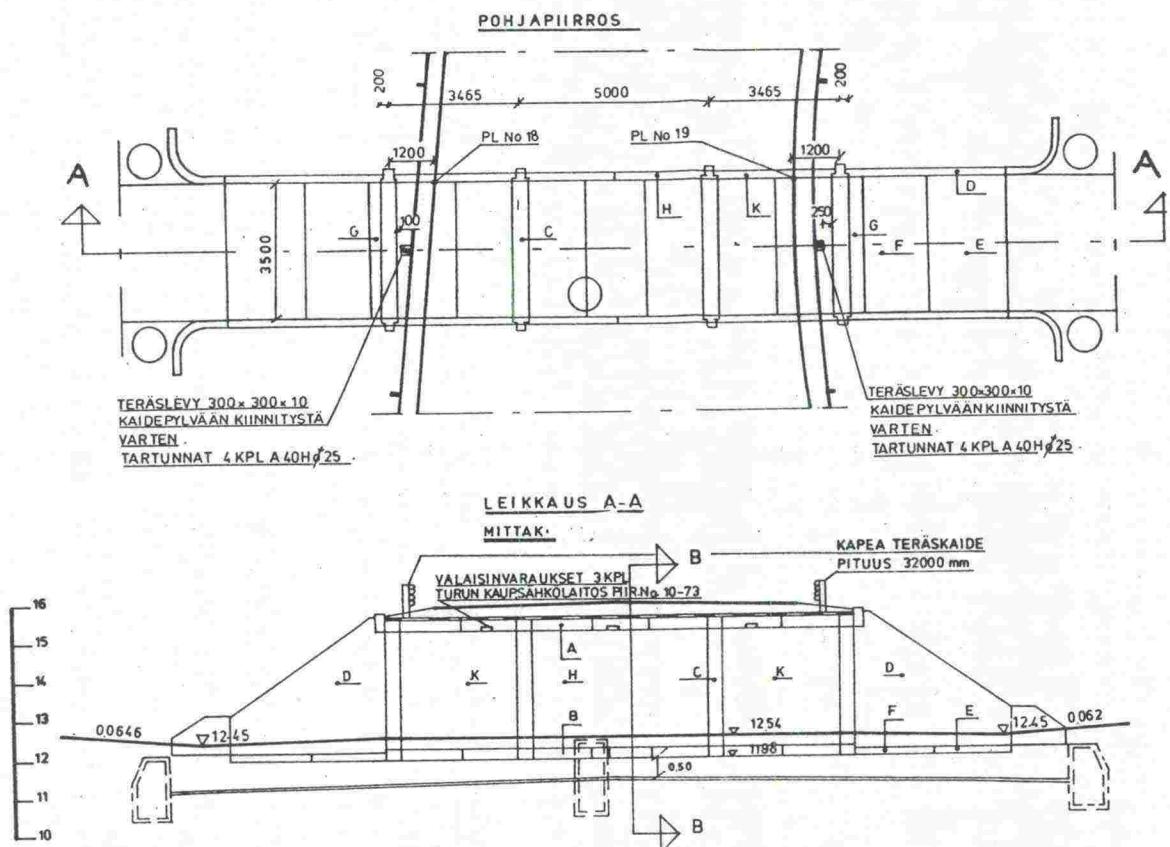
Siirtymälaatta on suunniteltu vain Ble I-tyyppin alikulkukäytävään. Tulopenkereet ovat useissa kohteissa jääneet luonnollisesta maanpinnasta mitattuna varsin mataliksi. Kevennys on suunniteltu vain kolmeen alikulkukäytävään, kevennyskiilan pituus on ollut 4–5 m pitkä ja 2,6–2,8 m paksu. Kevennetyissä kohteissa ovat penkereiden korkeudet olleet noin 2 m.

Kaikilla siltapaikoilla on syväkuivatus järjestetty kahdella joko  $\varnothing$  100 tai  $\varnothing$  150 mm salaojaputkella, jotka on sijoitettu laatan alapuolisten kerrosten alapinnan tasoon. Pintakuivatus on järjestetty kaikissa kohteissa sadevesikaivoin. Yleensä sadevesikaivoja on viisi kappaletta, jolloin yksi kaivoista on sijoitettu käytävän sisään noin puoleen väliin käytävää ja neljä käytävän päiden ulkopuolelle yksi kunkin siipimuurin kärjen välittömään läheisyyteen joko väylälle tai väylän ulkopuolelle. Monille siltapaikoille on jouduttu rakentamaan pumppaamo.

Yhtä alunperin noin 27 m pitkää TOBI-alikulkukäytävää on jatkettu 7 vuoden jälkeen rakentamisesta 5,0 m. Jatkos on onnistunut hyvin, eikä silmin havaittavaa epätasaista painumaa ollut syksyllä 1990 eli noin viiden vuoden kuluttua jatkamisesta havaittavissa. Tosin alikulkukäytävän katosta valui vettä käytävään. Vuoto ei ollut jatketulla osalla vaan suunnilleen ylittävän kadun keskikorokkeen kohdalla.

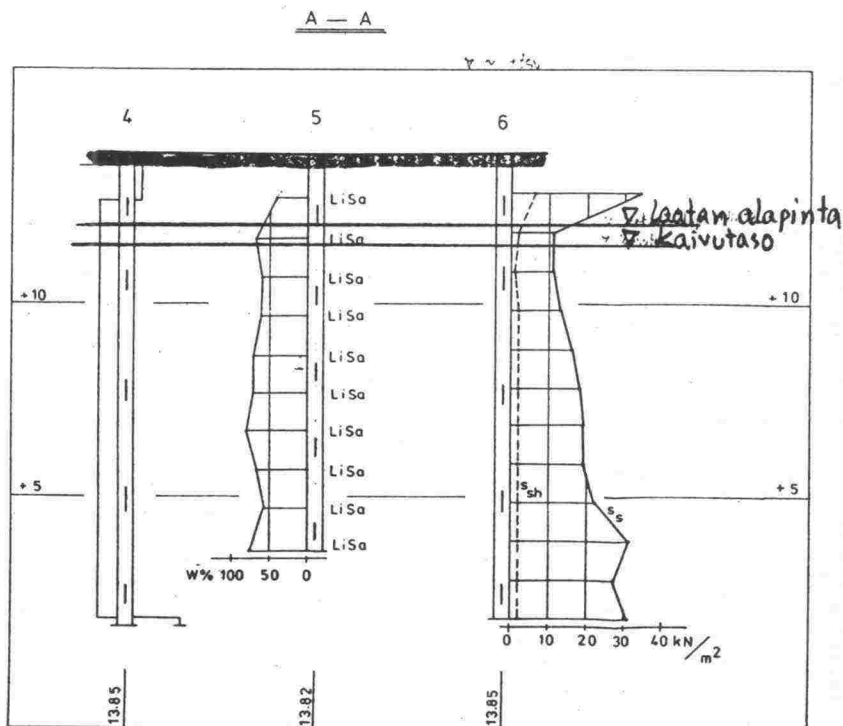
Yksi lähes 39 m pitkä TOBI-käytävä on perustettu puoliksi kallion varaan, savea on toisessa päässä noin 6 m laatan alapuolella. Käytävä on hieman painunut pehmeikön puoleisesta päästään, mutta vaurioita ei ollut havaittavissa. Erästä noin 31 m pitkstä TOBI-käytävästä oli toisen pään viimeinen katto- ja pohjalaattaelementti, seinälevy- ja kehäelementti sekä siipimuurielementit pohjalaattoineen painuneet, vesivuotoja ei ollut.

Kaksi vuonna 1981 suunniteltua poikkileikkausmitoiltaan  $B \times H = 3,5 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}$  ja hyötyleveydeltään noin 10 m ja 12 m TOBI-alikulkukäytävää on painunut. Lyhyemmän alikulkukäytävän tasopiirros ja leikkauspiirros on esitetty kuvassa 49.



Kuva 49. Vuonna 1981 suunniteltu Turun kaupungin TOBI-alikulkukäytävä, joka on painunut. Useassa Turun kaupungin kohteessa on sadevesikaivot ja sillan kaiheet sijoitettu kuten kuvassa olevassa alikulkukäytävässä. Mittakaava on 1:200.

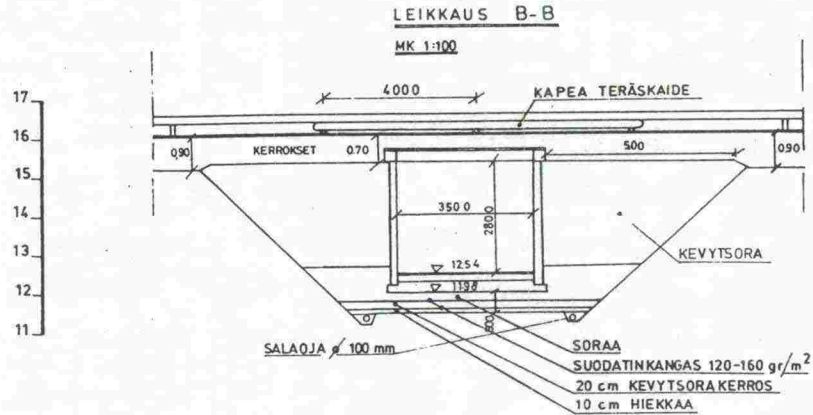
Alikulkukäytävät sijaitsevat noin 150 m päässä toisistaan ja ne on perustettu tasaiselle rakentamattomalle maapohjalle. Pohjamaa on lihavaa savea, jonka vesipitoisuus on ollut 50–80 %, ks. kuva 50. Siipikairalla määritetty suljettu leikkauslujuus on perustamistasossa ollut  $11 \text{ kN/m}^2$  kasvaen varsin suoraviivaisesti 5 metriä syvemmällä noin  $20 \text{ kN/m}^2$ . Pohjalaatan alapuolisen pehmeikön paksuus on noin 10 m, painokairavastus on kuivakuorikerrosta lukuunottamatta ollut  $0,5 \text{ kN}$ .



Kuva 50. Kuvassa 49 esitetyn TOBI-alikulkukäytävän pohjatutkimustulokset. Kuvien 49 ja 50 leikkaukset A–A ovat samalta kohtaa. Tältä siltapaikalta noin 150 m päässä olevan siltapaikan pohjasuhteet ovat samanlaiset.

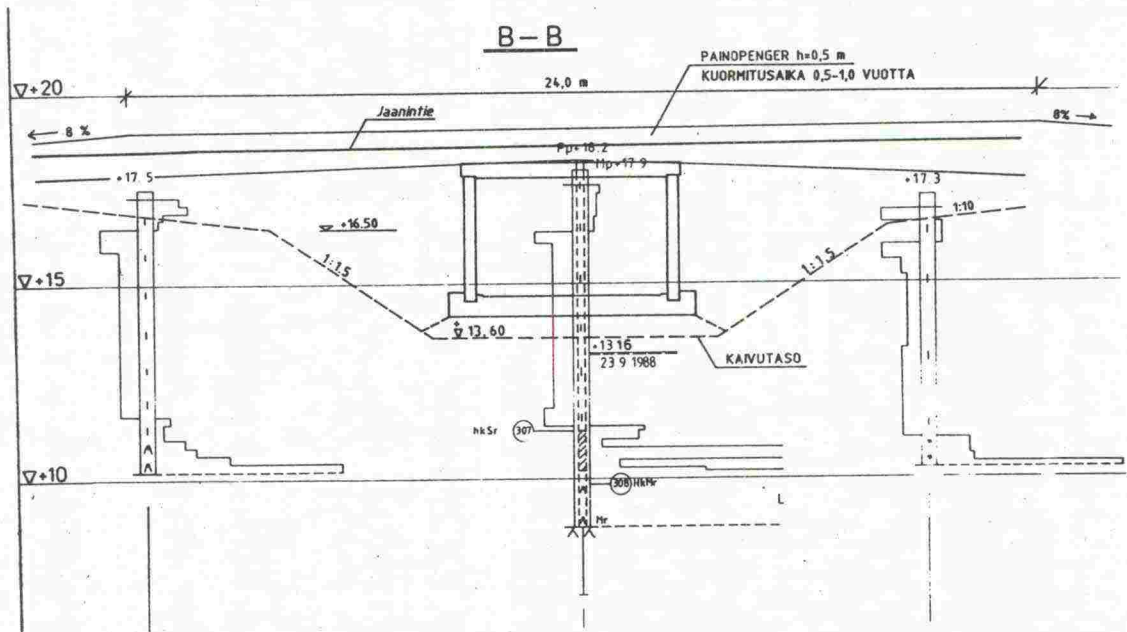
Siltojen tulopenkereiden korkeus on noin 2,0 m. Toisen alikulkukäytävän tulopenkereisiin on suunniteltu noin 5,0 m pituiset ja 2,6 m paksuiset kevytsorakevennykset, ks. kuva 51.

Siltojen elementtien saumat ovat useista kohdista auki ja elementtien saumavälit ovat erisuuruiset. Myös tulopenkereiden ja sillan yhtymäkohdassa on pieni painumaero. Syyksi epäillään rakentajan huolimattonta perustamistyötä sekä huonoa elementtien asennusta. Epätasaisia painumia tai halkeamia ei ole havaittavissa alittavan väylän päällysteessä, joten painumien on oletettu tapahtuneen ennen päällystämistä.



Kuva 51. Kuvassa 49 esitetystä alikulkukäytävästä noin 150 m päässä sijaitsevan alikulkukäytävän tulopenkereessä on käytetty kevennysmateriaalina kevytsoraa. Molemmissa painuneissa silloissa ovat peruslaatan alapuoliset rakenteet aivan samanlaiset, myös käytävän mitat ovat samat. Peruslaatan alapuolisen kerroksen kokonaispaksuus on 500 mm. Mittakaava on 1:200.

Viimeisin kohteista on Ble I-käytävä, joka syksyllä 1990 oli vielä rakenteilla. Kohteen oli konsultti suunnitellut paalutettavaksi, mutta rakennuttaja muutti perustamistavan maanvaraiseksi, ks. kuva 52. Siltapaikalla on peruslaatan alla savea 1–3 m, jonka siipikairalla määritetty suljettu leikkauslujuus on 12–17 kN/m<sup>2</sup>. Tulopenkereiden korkeus on noin 0,5–1,0 m. Siltaa ja tulopenkereitä kuormitetaan 0,5 m korkealla ylipenkereellä 0,5–1,0 vuoden ajan ennen päällystämistä.



Kuva 52. Turun kaupungin vuonna 1989 syksyllä rakenteilla olleen BLE-alikulkukäytävän poikkileikkauskuva. Alunperin paaluille perustettavaksi suunnitellun sillan perustamistapa on muutettu maanvaraiseksi. Siltaa ja tulopenkereitä kuormitetaan painopenkereellä ennen päällystämistä ja liikenteelle avaamista.



## Vertailun yhteenveto

Helsingin kaupungin kohteet ovat molemmat stabiloidulle savelle perustettuja alikulkukäytäviä, lisäksi ne ovat liikenneväylän eli metroradan osana varsin vaativia rakenteita. Rakenteiden painuminen ja liikenteelle mahdollisesti aiheutuvat häiriöt ovat raideliikenteessä vaikeammin korjattavissa kuin tieliikenteessä. Tielaitoksella ei ole vielä yhtään syvästabiloinnin varaan perustettua alikulkukäytävää, joten vertailukohtaa perustamistavasta ei ole.

Vantaan kaupungin kohde on hyvin samanlainen kuin tielaitoksen kohteet. Sillan rakenneratkaisuissa kiinnittyy huomio betonirakenteiden hoikkuuteen. Esimerkiksi pohjalaatan paksuus on tielaitoksen kohteissa usein 700 mm, Kuriiritien alikulkukäytävässä laatta on ohuimmalta kohdaltaan vain 350 mm paksu. Ilmeisesti siltarakenteiden keveys vaikuttaa myös pysyvien kuormien aiheuttamaan pohjapaineeseen, joka on noin  $10 \text{ kN/m}^2$  pienempi kuin esimerkiksi Someron saven varaan perustetuissa alikulkukäytävissä. Kevennys- ja kuivatusrakenteiden ratkaisut eivät eroa tielaitoksen vastaavista.

Turun kaupungin kohteiden maaperästä on tietoa yhtä kohdetta lukuunottamatta varsin vähän. Ilmeisesti useimmat alikulkukäytävistä on osattu suunnitella muista kohteista saatujen kokemusten perusteella, eikä paino- ja siipikairausten lisäksi ole ollut tarvetta tarkempiin pohjatutkimuksiin. Esimerkiksi häiriintymättömiä maanäytteitä ei siltasuunnitelmien pohjatutkimuskarttojen perusteella ole otettu yhdestäkään kohteesta.

Alikulkukäytävinä on aivan 1980-luvun loppupuolelle asti käytetty lähes pelkästään TOBI-alikulkukäytävää, joka on ollut helppo suunnitella tyyppipiirustusten avulla. Liikenneteknisesti ovat Turun kaupungin TOBI-alikulkukäytävät ahtaita ja pitkiä, joten tässä aineistossa mukana olleista vanhimmassa, vuonna 1970 tehdyssä, suunnitelmassa käytetty alikulkurumpu-nimitys lieneekin varsin osuva nimitys ko. käytävätyypille.

Maanvarainen perustamistapa on valittu paalutuksen sijaan varsin heikoillakin pohjamailla. Lisäksi tulopenkereiden kevennykset ovat harvinaisia ja mitoiltaan pieniä. Kaiteiden sijoitustapa on myös poikkeava verrattuna tielaitoksen kohteisiin, toisaalta TOBI-käytäviä oli tielaitoksen silloista vain kaksi ja vertailuaineistoa vähän. Käytävän sisään eivät muut tienpitäjät olleet sadevesikaivoja sijoittaneet, myöskään putkikaivantoja ei tielaitoksella ole laatan alapuolelle tehty. Routasuojauseeristeenä on kevytsoraa käytetty vain Turun kaupungin kohteissa.

## 6 YHTEENVETO

Tämän työn yhteydessä on kerätty tietoa lähinnä tielaitoksen saven varaan perustetuista teräsbetonisista alikulkukäytävistä. Tiedot on saatu 19 sillasta, joista 10 on perustettu vanhan tiepenkereen kohdalle ja 9 aiemmin rakentamattomalle maapohjalle. Vanhan tiepenkereen kohdalle perustetut alikulkukäytävät ovat kaikki TOBI- tai BLE I-elementtisiltoja ja ne ovat tiepiirien suunnittelema. Rakentamattomalle maapohjalle perustetuista silloista on kaksi laattakehärakenteisia risteyssiltoja ja loput kolme laattakehärakenteisia alikulkukäytäviä, siltasuunnitelmat ovat konsulttien tekemiä. Aineistoa on kertynyt työn kuluessa pelkästään tielaitokselta ennakolta arveltua enemmän, lisäksi vertailukohteita saatiin runsaasti Helsingin, Vantaan ja Turun kaupungeilta. Siltasuunnitelmien sekä maaperätietojen lisäksi on aineistoon saatu painumahavainnot 10 sillasta.

Useat alikulkukäytävistä on perustettu vanhan tiepenkereen kohdalle, joten siltarakenne kelluu saven varassa. Lisäkuormaa ei sillasta eikä penkereistä pohjamaahan aiheudu, joten painumatarkastelussa tärkeimmäksi jääkin alkupainuman määrittäminen. Alkupainuman arvioinnissa vaikuttaa tuloksen tarkkuuteen eniten maaperän suljetun tilan muodonmuutosmoduulin oikeansuuruinen arvio, joka saadaan tarkimmin määritettyä laboratoriossa suljetun kolmiakselikokeen perusteella. Siltapaikoilta otetuista häiriintymättömistä maanäytteistä on tehty ödometrikokeet, mutta kolmiakselikokeita ei ole tehty yhtään. Jos suljetun tilan muodonmuutosmoduuli arvioidaan siipikairalla määritetyn suljetun leikkauslujuuden perusteella, voidaan saatua alkupainuman arvoa pitää lähinnä alustavana arviona.

Alkupainuman laskennassa tarvittava suljetun tilan muodonmuutosmoduuli saadaan määritettyä myös rakenteen painumahavaintojen perusteella. Tällöin tulee tuntea alkupainumaa aiheuttavan kuormituksen suuruus ja kuormituksen ajallinen kehitys tarkasti. Yhden alikulkukäytävän painumia on mitattu jo rakentamisen aikana. Ensimmäinen havainto on tehty kuitenkin vasta peruslaatan valun jälkeisenä päivänä, joten tässäkin tapauksessa on oltu yksi päivä myöhässä. Saman alikulkukäytävän muiden painumahavaintojen yhteydessä ei ole ilmoitettu kuormitusten mahdollista muuttumista, joten jälkeenpäin tehty painumien vertailu on ollut vaikeaa. Lisäksi mittauksissa käytetty korkeuskiintopiste on mittauksen tekijöiden ilmoituksen mukaan routunut, rakentaminen on tapahtunut keväällä. Painumamittausten tarkkuuteen ja oikeaan ajoitukseen tulisikin kiinnittää enemmän huomiota, jotta kuormitus- ja painumahavaintoja pystyttäisiin jälkeenpäin tehtävissä painuma-analyyseissä käyttämään hyväksi. Ohjeita painumamittausten tekemisestä on esitetty mm. sillanrakennuksen yleisen työselityksen osassa 3000: yleisiä ohjeita. Painumatarkkailu tulisi suunnitella tapauskohtaisesti.

Koska alikulkukäytävät perustetaan varsinkin kokoonpuristuvilla pohjamailla yleensä luonnollisen maanpinnan alapuolelle, saataisiin kaivannon pohjan kohoamisen mittauksista erittäin hyvä arvio alikulkukäytävän alkupainumasta. Näitä mittauksia ei ole tehty yhdessäkään tämän työn siltakohteessa.

Vaikka alikulkukäytävästä ei useimmiten tulekaan konsolidaatiopainumaa aiheuttavaa lisäkuormaa, tulisi siltapaikalla ennen rakentamista vallitseva pohjavedenpinnan korkeus ja huokosvedenpaine kokoonpuristuvissa maakerroksissa tuntea. Pohjasuhdetietojen yhteenvetolomakkeissa liitteessä 1 on pohjavedenpinnan korkeustaso arvioitu useimmiten kairaustuloksista ja huokosvedenpaineen on oletettu vastaavan hydrostaattista pohjaveden painetta, koska siltapaikoilla tehtyjä mittaustuloksia ei ole ollut olemassa. Lähes kaikilla siltapaikoilla on perustamistaso arvioidun pohjavedenpinnan alapuolella, joten pohjavesi tulee alenemaan ainakin pieneltä alueelta.

Laskettujen ja havaittujen painumien vertailu on konsolidaatiopainumien osalta ollut mahdotonta. Rakentamista ennen vallinneesta huokosvedenpaineesta on vain arvio eikä rakentamisen jälkeen ole yhdessäkään kohteessa tehty huokosvedenpainemittauksia. Lisäksi arvioidut lisäkuormitukset ovat varsin pieniä ja niiden aiheuttamat konsolidaatiopainumat varsinkin ylikonsolidoituneissa maakerroksissa pieniä. Toisaalta normaali-konsolidoituneiden maakerrosten painumat tapahtuvat hyvin hitaasti ja painumahavaintoja on pisimpäänkin vaaitusta alikulkukäytävästä vain kolmen vuoden ajalta.

Useimpien alikulkukäytävien tulopenkereitä on kevennetty. Yhdessä kohteessa on kevennykseen käytetty paisutettua polystyreeniä eli EPS:ää, muissa on käytetty kevytsoraa. Kevennyksen määrästä ja kevytsorakiilan oikeasta pituudesta ei ole painumahavaintojen perusteella pystytty tekemään arvioita, koska penkereiden painumia ei ole mitattu. Kevennetyistä penkereistä esitetyt suunnitelmapiirustukset ovat hyvin samanlaisia. Penkereiden ja siltojen yhtymäkohtaan ei ole muodostunut painumaeroa.

Vaaituista alikulkukäytävistä on yhdeksän alikulkukäytävää painunut noin 30–40 mm, yksi ei ole painunut havaintojakson aikana ollenkaan. Vaaitukset on aloitettu vasta siinä vaiheessa, kun koko betonirakenne on ollut valmis, jolloin osa painumasta on jo ehtinyt tapahtua. Painumat ovat olleet hyvin tasaisia, eikä siltarakenteissa ole havaittu vaurioita.

Teräsbetonisen elementtirakenteisen laattasilta I:n eli BLE I:n uusimmassa eli vuonna 1989 julkaistussa tyyppipiirustussarjassa /29/ on yhtenäistä pohjalaattaa käytettäessä vaadittu pehmeikölle perustettaessa pohjamaan leikkauslujuudeksi vähintään 20 kN/m<sup>2</sup>. Sallitun kokonaispainuman arvoksi on annettu 100 mm ja sallituksi painumaeroksi tukilinjojen välillä 20 mm. Tässä työssä tutkituissa tielaitoksen siltakohteissa on kolmella

siltapaikalla ollut pohjamaan suljettu leikkauslujuus alle  $20 \text{ kN/m}^2$ , alikulkukäytävät sijaitsevat Turun tiepiirissä. Painumat ovat olleet näissäkin kohteissa tasaisia eikä mitattu painuma ole poikennut muitten lujemmalle pohjamaalle perustettujen alikulkukäytävien painumista.

Vakavuus ei saven varaan perustettujen alikulkukäytävien yhteydessä ole ongelma. Lopullisilla rakenteilla on lyhyen sekä pitkän ajan vakavuus yleensä niin hyvä, että vakavuudesta aiheutuvia liikkeitä rakenteille ei aiheudu. Kuivatusrakenteiden takia tehtävien kaivantojen sekä sillan perustuskaivannon alhainen vakavuus aiheuttaa siirtymiä vastaavasti kuin huono kantokyky. Lopullisen rakenteen kantokyky- ja vakavuustarkastelun tekemisen lisäksi tulisikin muistaa suunnitella myös rakentamisen aikaiset kaivannot ja täytöt.

Pohjaveden mahdollisen alenemisen takia tulee kuivatus- ja routasuojusrakenteiden kaivannot tehdä mahdollisimman matalina. Routasuojusrakenteena onkin käytetty eristerakennetta lähes kaikissa kohteissa, lisäksi yhdessä kohteessa on kuivatusrakenteet kaivoineen routaeristetty ja pystytty perustamaan siltakaivannon syvyyteen.

Saven varaan perustetuista alikulkukäytävistä on niitä suunnitelleet ja rakentaneet saaneet myönteisiä kokemuksia. Perustamisratkaisua on käytetty ensimmäisten kokeilujen jälkeen useasti yhä heikommilla pohjamailla ja korkealuokkaisemmilla teillä. Useampia kohteita suunnitelleilta ovat suunnitelmat kokemuksen karttuessa parantuneet ja rakenneratkaisut tulleet selkeämmiksi.

Kaikkein heikoimmalle pohjamaalle on perustettu tässä työssä tutkituista kohteista Turun kaupungin TOBI-alikulkukäytävät. Saven suljettu leikkauslujuus on heikoimmilla pohjamailla ollut vain noin  $11 \text{ kN/m}^2$ . Varmuuskerroin pohjamaan murtumista vastaan on jäänyt tällöin niin pieneksi, että pohjamaahan on muodostunut plastisoituneita vyöhykkeitä ja siitä aiheutuvia muodonmuutoksia. Muille kuin maarakenteille ei voida sallia niin pieniä varmuuksia, että plastisia muodonmuutoksia muodostuu. Alikulkukäytävissä oli havaittavissa epätasaista painumaa ja tästä aiheutuneita vaurioita.

## KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Aas, G. Kompensert fundamentering eller pelefundamentering? Kriterier for valg av fundamenteringsmåte. Fjellsprengningskonferansen, Bergmekanikk- og Geoteknikkdagen, 23.-24.11.1989, Oslo. 1989, Norsk Jord- og Fjellteknisk Forbund. S. 38.1-38.25.
2. Alusrakenne, Kuivatus. In.: Tie- ja vesirakennushallitus. Teiden suunnittelu. TVL:n ohjeet. Helsinki, 1985 ja 1979. Kansio B osa IV.
3. Bjerrum, L. Relasjon mellom målte og beregnede setninger av byggverk på leire og sand. Oslo 1964, NGF-foredraget. 92 s.
4. Bolton, M., Springman, S., Sun, H. The behaviour of bridge abutments on clay. Cambridge 1989, Cambridge University Engineering Department, CUED/D-SOILS TR231. 15 s.
5. Gardemaister, R. Hienorakeisten maalajien geologisia ja geoteknisiä tutkimustuloksia. Espoo 1973. 113 s. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 8)
6. Golder, H. Floating foundations. In: Winterkorn H., Fang H.-S. (toim.). Foundation engineering handbook. New York 1975, Van Nostrand Reinhold Company. S. 537-555.
7. Hansbo, S. Jordmekanik 1. Spänningar av yttre last, sättningar, jordtryck. Stockholm 1990, Chalmers Tekniska högskola. 175 s.
8. Hansbo, S. Grundläggning av byggnader och maskinfundament. Stockholm 1990, Chalmers Tekniska högskola. 251 s.
9. Hartikainen, J. Perustaminen maan varaan, kantokyvyn laskeminen. Julk.: INSKO. Geotekniset laskelmat 43-80. Insinööritieto Oy. 28 s.
10. Hartikainen, J. Pohjarakenteiden suunnitteluperusteet. In: Vähäaho I. (vast. toim.). RIL 166 Pohjarakenteet. Helsinki 1986, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 51-60.

11. Helenelund, K.V. Maarakennusmekaniikka 137, 4. uusittu painos. Espoo 1974, TKY/Otapaino. 278 s. ISBN 951-671-060-3.
12. Janbu, N., Bjerrum, L., Kjærnsli, B. Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgraver, 3. opplag. Oslo 1964, NGI publication nr. 16. 97 s.
13. Korhonen, K.-H. Maalajien geotekniset ominaisuudet. In: Hartikainen J. (vast. toim.). RIL 95 Pohjarakennus. Helsinki 1974, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 33-52.
14. Korhonen, K.-H. Muodonmuutosominaisuudet, Rakenteiden painuminen. In: Mäkelä H. (vast. toim.) RIL 157-I Geomekaniikka I. Helsinki 1985, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 259-309, 363-410.
15. Lahti, K. Kevyen liikenteen alikulkutunneleiden rakennevertailu. 1986, Suomen kaupunkiliitto, kunnallistekninen osasto. 25 s.
16. Lojander, M. Geostaattiset jännitykset. In: Mäkelä H. (vast. toim.) RIL 157-I Geomekaniikka I. Helsinki 1985, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 243-257.
17. Paavola, H., Loikkanen, P., Jutila, A. Sillanrakennustekniikan perusteet, 2. korjattu painos. Espoo 1984, Otakustantamo. 206 s.
18. Perloff, W. Pressure distribution and settlement. In: Winterkorn H., Fang H.-S. (toim.). Foundation engineering handbook. New York 1975, Van Nostrand Reinhold Company. S. 148-196.
19. Putaala, J. Maanvaraisten perustusten kantokyky. In: Mäkelä H. (vast. toim.). RIL 157-2 Geomekaniikka II. Helsinki 1990, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 67-85.
20. Putaala, J. ym. Anturaperustukset. In: Vähäaho I. (vast. toim.). RIL 166 Pohjarakenteet. Helsinki 1986, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S.107-131.
21. Rakenteille sallituista painumista. In: Tie- ja vesirakennushallitus. Maatutkimusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa IV. Helsinki 1972. S. 138-156.

22. RIL 121-1988 Pohjarakennusohjeet 1988. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki 1988. 92 s.
23. RIL 179 Sillat. Helsinki 1989. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 390 s. ISBN 951-758-196-3, ISSN 0356-9403
24. Statens vegvesen. Geoteknikk i vegbygging. Oslo 1990. 523 s. ISBN 82-7207-272-6
25. Tammirinne, M. Rakennusten perustaminen maanvaraan. Painuman laskeminen. Espoo 1975: 86 s. (Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 21)
26. Tiehallitus, tielaitos, sillansuunnittelu. Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa. Helsinki 1991. 69 s. ISBN 951-47-2727-4, TIEL 2172068.
27. Tie- ja vesirakennushallitus, maatutkimustoimisto. Geotekniset ohjelmat ja käsikirja. Helsinki 1988.
28. Tie- ja vesirakennushallitus, sillansuunnittelu. Teräsbetoninen elementtirakenteinen laattasilta (Ble I). Helsinki 1989. 17 + 45 s. TVH 722055.
29. Tie- ja vesirakennushallitus, sillansuunnittelutoimisto. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I),  $V_a=6$  ja 8 m. Helsinki 1988. 19 + 21 s. TVH 723445.
30. Tie- ja vesirakennushallitus, sillansuunnittelutoimisto. TOBI-alikulkukäytävä. Helsinki 1979. 10 + 31 s. TVH 722051.
31. Tie- ja vesirakennushallitus, tienrakennustoimisto. Sillanrakennustöiden yleinen työselitys, SYT 3100-3300, korjattu painos. Helsinki 1988. 55 s. TVH 732209.
32. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto, maatutkimustoimisto. Tien rakenteen parantaminen, suunnitteluohje. Helsinki 1980. TVH 722336.
33. Tie- ja vesirakennuslaitos, Oulun piiri. Kevyen liikenteen alikulkukäytävien ongelmakohdat. 1984. 15 + 9 s. (tutkimusraportti).

34. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, geotekniikan laboratorio. Tutkimus siltojen routasuojauksen mitoituksesta. Julkaisematon: 1989, tutkimusselostus n:o GEO9110. 56 + 11 s.
35. Vepsäläinen, P. Jännitysten jakautuminen rakennuspohjassa. In: Mäkelä H. (vast. toim.) RIL 157-I Geomekaniikka I. Helsinki 1985, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. S. 311-362.
36. Vägverket, Serviceavdelning Väg- och Brokonstruktion, sektionen för geoteknik. Handledning för geotekniska beräkningar. Borlänge 1986. 114 s. Publ 1986:6.

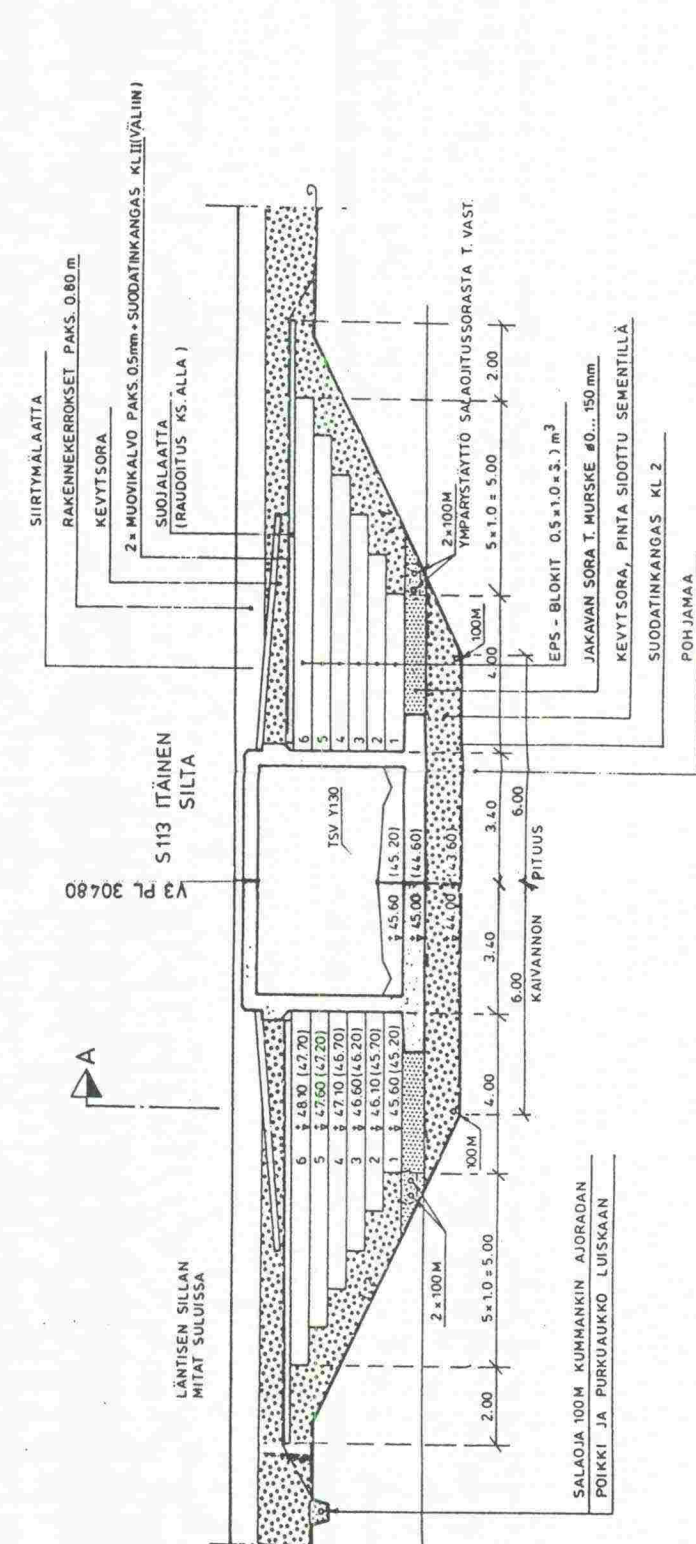


**LIITELUETTELO****LIITE 1. Yhteenvetolomakkeet**

- 1/1 Ojamäen risteyssilta, Uudenmaan tiepiiri
- 1/2 Joensuun alikulkukäytävä, Turun tiepiiri
- 1/3 Rantatien alikulkukäytävä, Turun tiepiiri
- 1/4 Vehon alikulkukäytävä, Turun tiepiiri
- 1/5 Törnintien alikulkukäytävä, Turun tiepiiri
- 1/6 Pietilän alikulkukäytävä, Turun tiepiiri
- 1/7 Lepomäen risteyssilta, Hämeen tiepiiri
- 1/8 Metsäpekkalan alikulkukäytävä, Hämeen tiepiiri
- 1/9 Kyläkunnantien alikulkukäytävä, Hämeen tiepiiri
- 1/10 Pipun alikulkukäytävä, Hämeen tiepiiri
- 1/11 Hakalan alikulkukäytävä, Hämeen tiepiiri
- 1/12 Heikintien alikulkukäytävä, Turun tiepiiri, aiemmin Hämeen tiepiiri
- 1/13 Ruunalan alikulkukäytävä, Turun tiepiiri, aiemmin Hämeen tiepiiri
- 1/14 Orasmaan alikulkukäytävä, Turun tiepiiri, aiemmin Hämeen tiepiiri
- 1/15 Ilmajoen kk:n alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri
- 1/16 Ilomäen alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri
- 1/17 Vöyrin alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri
- 1/18 Hulmin alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri
- 1/19 Kylkkälän alikulkukäytävä, Vaasan tiepiiri

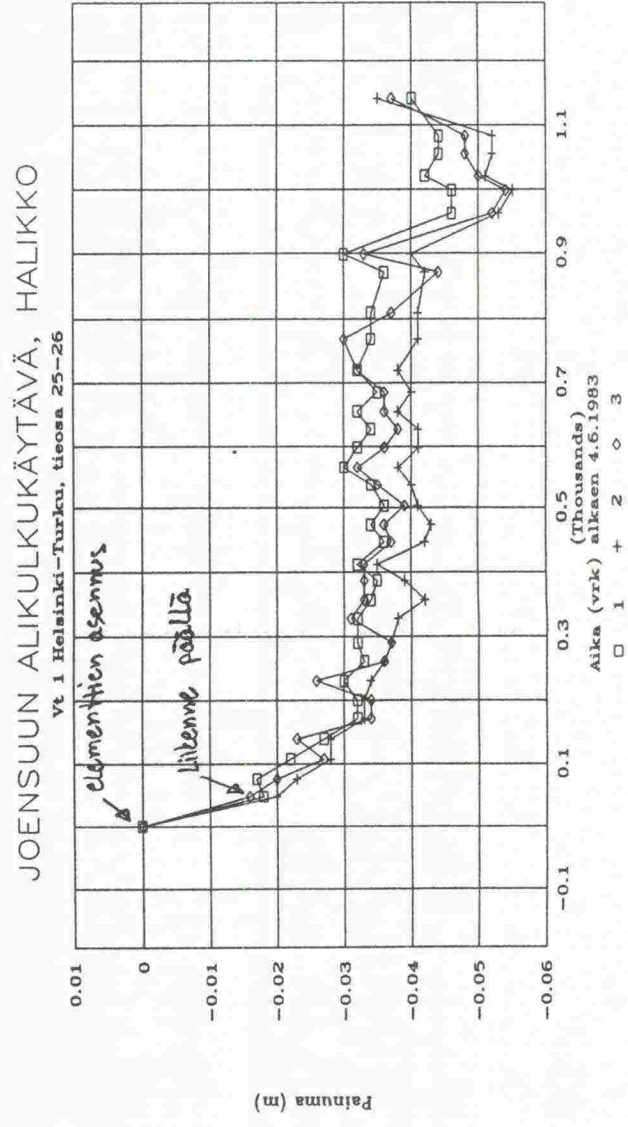
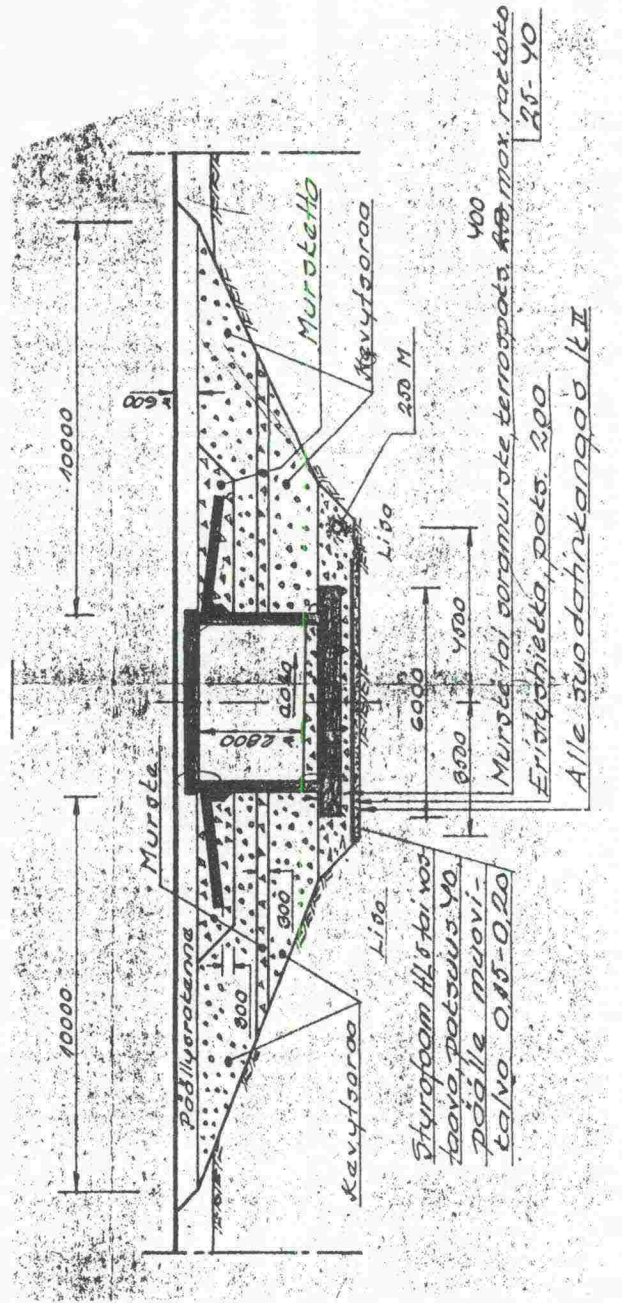
1/1 Ojamaen risteysilta,  
Uudenmaan tiepiiri

Syvyys	Painokairaus	Maa-laji	Läpäisy-% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkausjuuus	Sensitiivisyys	Pystyjännitys	Moduuliluku	Jänn.eksp.	Moduuliluku	Konsolidaatiokerroin	Lisätietoja
m	kN		%	kN/m <sup>3</sup>	%	%	s <sub>v</sub> • s <sub>vr</sub> • s <sub>k</sub> • s <sub>kr</sub> ▽	S <sub>t</sub>	σ <sub>0</sub> - σ <sub>c</sub> •	m <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	m <sub>peil.</sub> • m <sub>toist.</sub> +	C <sub>v</sub> •	
0 - 1	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
1 - 2	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
2 - 4	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
4 - 6	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
6 - 8	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
8 - 10	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
10 - 12	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
12 - 14	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
14 - 16	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
16 - 18	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
18 - 20	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
20 - 22	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
22 - 24	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
24 - 26	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
26 - 28	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
28 - 30	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
30 - 32	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
32 - 34	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
34 - 36	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
36 - 38	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
38 - 40	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
40 - 42	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
42 - 44	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
44 - 46	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
46 - 48	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
48 - 50	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
50 - 52	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
52 - 54	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
54 - 56	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
56 - 58	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
58 - 60	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
60 - 62	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
62 - 64	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
64 - 66	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
66 - 68	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
68 - 70	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
70 - 72	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
72 - 74	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
74 - 76	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
76 - 78	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
78 - 80	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
80 - 82	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
82 - 84	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
84 - 86	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
86 - 88	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
88 - 90	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
90 - 92	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
92 - 94	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
94 - 96	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
96 - 98	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	
98 - 100	0 - 44,0	II Sa II Sa II Sa II Sa	0	15	50	2	0		0	10	0	75	1	



1/2 Joensuun alikulkukäytävä,  
Turun tiepiiri

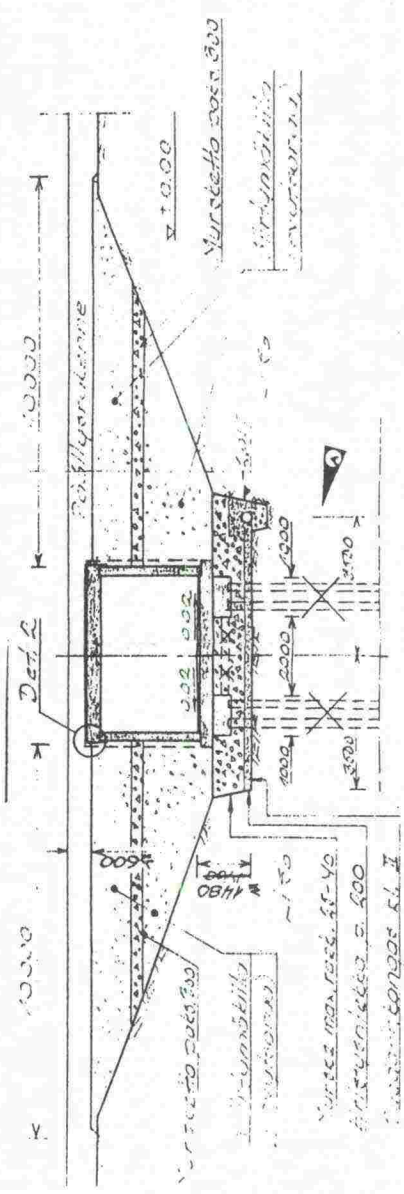
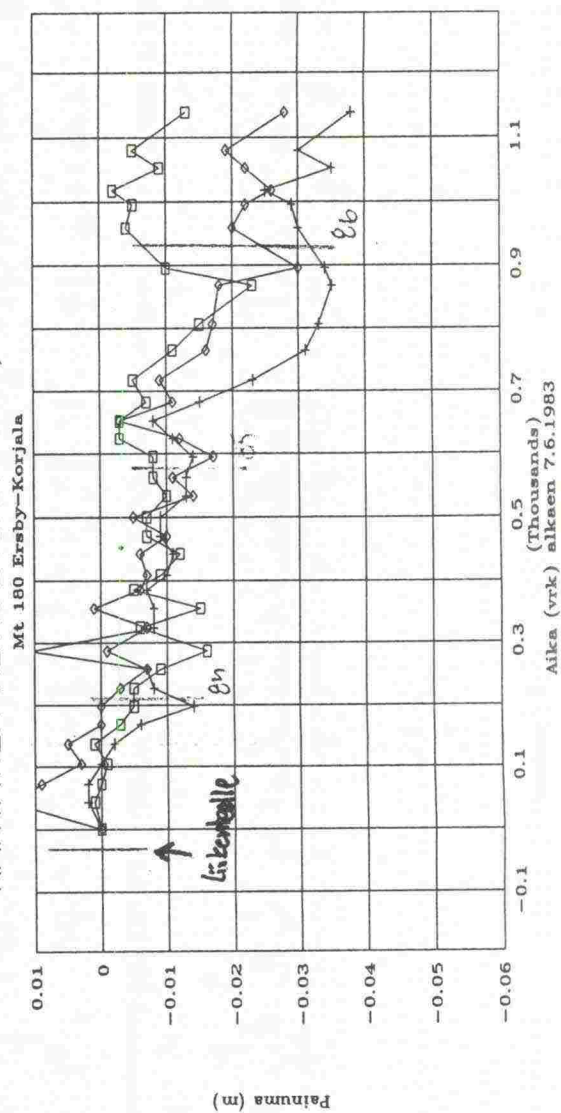
Sy- vyys	Painokairaus	Maa- leiji	Lämpöisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkausjuuus	Sensitiivisyys	Pystyjännitys	Moduuliluku	Jänn.eksp.	Moduuliluku	Konsolidaatiokerroin	Lisätietoja
m	kN	GEO	%	kN/m <sup>3</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>	S <sub>t</sub>	σ <sub>0</sub> - σ <sub>c</sub>	m	β <sub>1</sub>	m	C <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /a
1	+12,1	IaSa	~25	~15	~50	~2	~10	~10	σ <sub>0</sub> - σ <sub>c</sub>	10	0	10	~0.1	
-10	+8,70 Lastan alapinta	IjIaSa	~25	~15	~50	~2	~10	~10	W (arvioitu) konsolidaatiojännitykset epämääräisiä	10	0	10	~0.1	syv. 1,6 m kons.kerr. 25 kPa kuorm. n. 12
-20	kivi, loikkare tai kallio syvyysalalla -29,80	IjIaSa	~25	~15	~50	~2	~10	~10		10	0	10	~0.1	
		IiSa	~25	~15	~50	~2	~10	~10		10	0	10	~0.1	
			25 50 75 100	10 15 20	50 100	2 4 6	10 20 30 40	10 30	50 100	10 50 100	-1 0 1	10 20 30 40 50 75 100	1 2	1 2



### 1/3 Rantatien alikukukäytävä, Turun tiepiiri

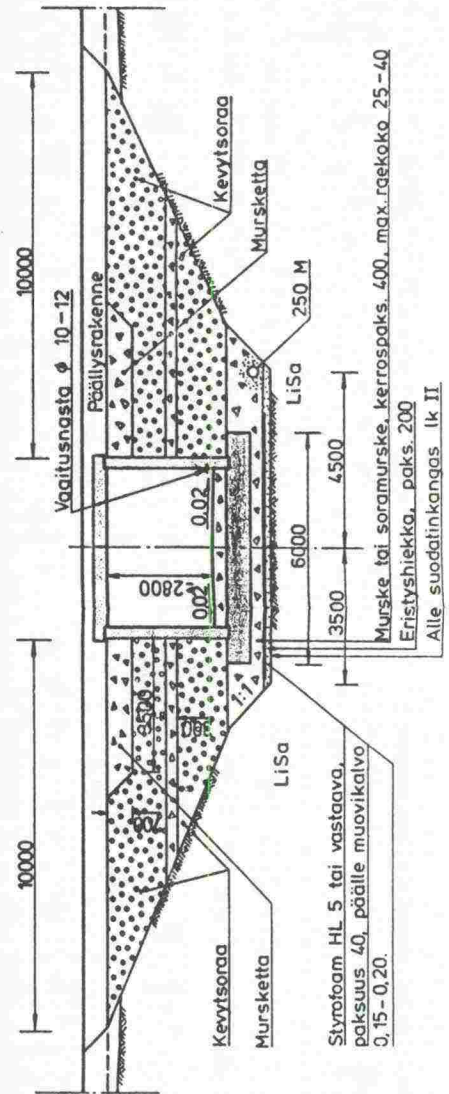
Sy- vyys	Painokatras +2.3 -0.90 Laatan alapinta	Maa- laji	Lämpöisy-% 0,002	Tiiliv.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkauslujuus S <sub>y</sub> • S <sub>vr</sub> ○ S <sub>k</sub> ▽ S <sub>kr</sub> ▾	Sensitiivisyys S <sub>t</sub>	Pystyjännitys σ <sub>0</sub> • σ <sub>c</sub> •	Moduuliluku m <sub>1</sub>	Jänn.eksp. β <sub>1</sub>	Moduuliluku m <sub>pal.</sub> • m <sub>toist.</sub> +	Konsolidaatiokerroin C <sub>v</sub> • (arvioitu vaihteluväli) —	Lisätietoja
	+2.3	II Sa					> 50		W (arvioitu)					
	-10	II Sa							konsolidaatiojännitykset epämääräisiä					
	-20	II Sa												
m	1	kN	25	10	50	2	10	30	50	10	-1	50	1	2
		kN/m <sup>3</sup>	%	kN/m <sup>2</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	m	m	m	m <sup>2</sup> /a	

#### RANTATIEN ALIKUKUKÄYTÄVÄ, PARAINEN



1/4 Vehon alikulkukäytävä,  
Turun tiepiiri

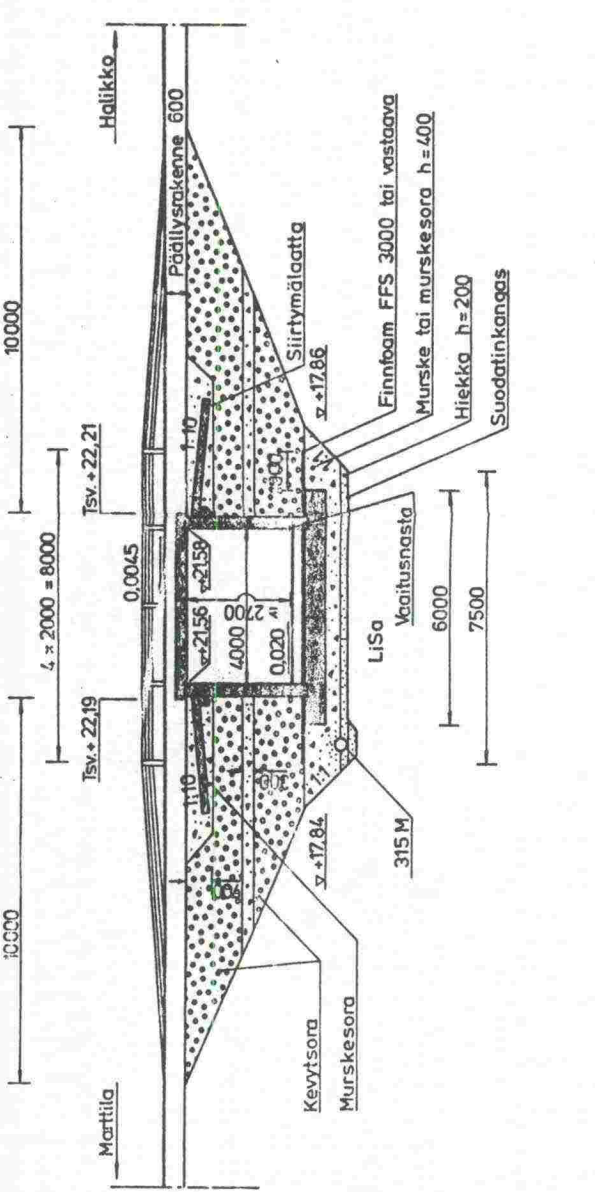
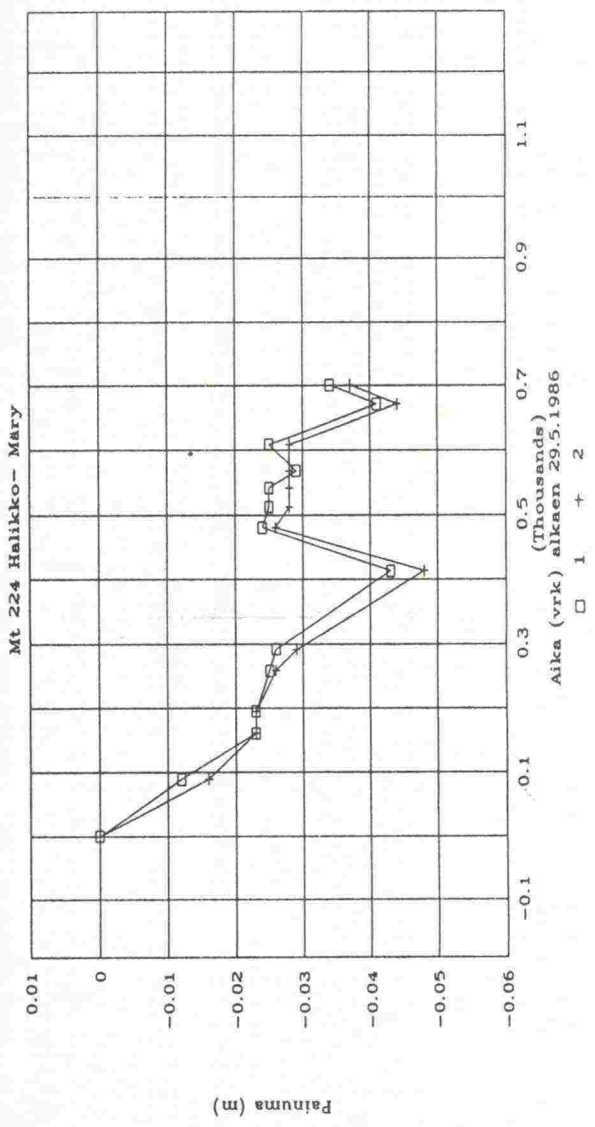
Sy- vyys	Painokairaus	Maa- laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkauslujuus $S_v \bullet S_{vr} \bullet S_k \bullet S_{kr} \bullet S_{kr} \bullet S_{kr}$	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0 - \sigma_c$	Moduuliluku $m_1$	Jänn.eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{pal} \bullet m_{loist} +$	Konsolidaatiokerroin $C_v \bullet$ (arvioitu vaihteluvälillä)	Lisätietoja
-10		IISa IISa IISa IISa IISa IISa	~80	~15	~50	~2	~25	~30	~50	~10	~0,55	~50	~1	
-20														
m		GEO	25 50 75 %	10 15 20 $kN/m^3$	50 100 %	2 4 6 %	10 20 30 40 $kN/m^2$	10 30	50 100 $kN/m^2$	10 20	0 -1	50 75 100	1 2 $m^2/a$	



1/5 Törnintien alikukikäytävä,  
Turun tiepiiri

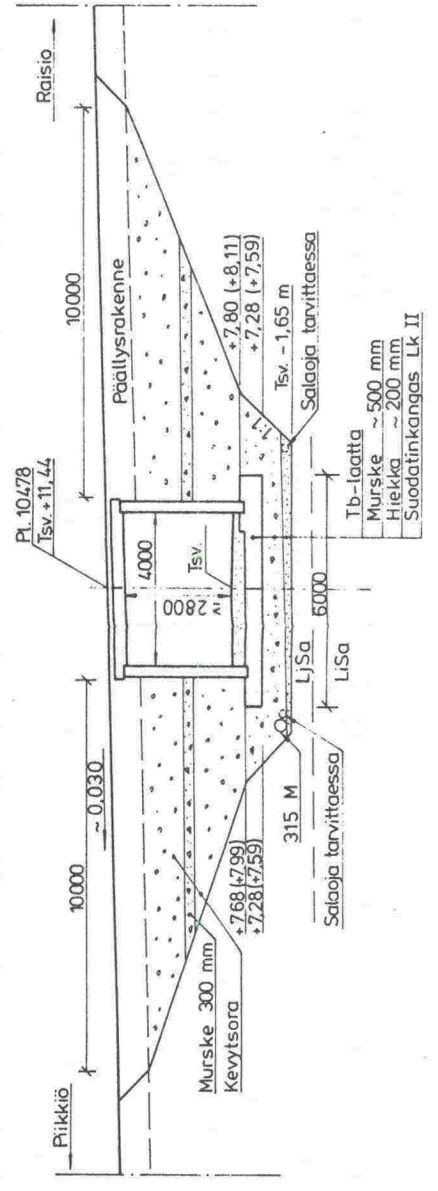
Sy- vyys	Painokairaus	Maa- laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkausjuuus	Sensitiivisyys	Pystyjännitys	Moduuliluku	Jänn.eksp.	Moduuliluku	Konsolidaatiokerroin	Lisätietoja
m	kN		%	kn/m <sup>3</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>	S <sub>t</sub>	σ <sub>0</sub> — σ <sub>c</sub>	m <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	m <sub>pal.</sub> • m <sub>toist.</sub> +	c <sub>v</sub> •	
-10		II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa II Sa												
-20		GEO												

TÖRNINTIEN ALIKUKKÄYTÄVÄ, HALIKKO



1/6 Pietilän alikulkukäytävä,  
Turun tiepiiri

Syvyys	Painokairaus	Maa-laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkausjujuus $S_v$ • $S_{vr}$ ○ $S_k$ ▽ $S_{kr}$ ▽	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0$ — $\sigma_c$ •	Moduuliluku $m_1$	Jänn.eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{\text{pal}}$ ▲ $m_{\text{toist}}$ +	Konsolidaatiokerroin $c_v$ • (arvioitu vaihteluväli) —	Lisätietoja
-10	+10,8 +7,28 Laatan alapinta	lasaLj lasaLj sajjSi lajjSa liSa liSa	○ = häiritty näytesarja	15	100	> 6-20	$S_k$ ▽ $S_{kr}$ ▽	10	$\sigma_0$ — $\sigma_c$ • W (arvioitu) $\sigma_c$ arvioitu tilavuus- painon arvolla 15	10	0	75	1	
-20				10	50			30		20	-1	50	1	
m	pk/0,2m	GEO	%	$\text{kN/m}^3$	%	%	$\text{kN/m}^2$	10	$\text{kN/m}^2$	10	0	100	1	$\text{m}^2/\text{a}$



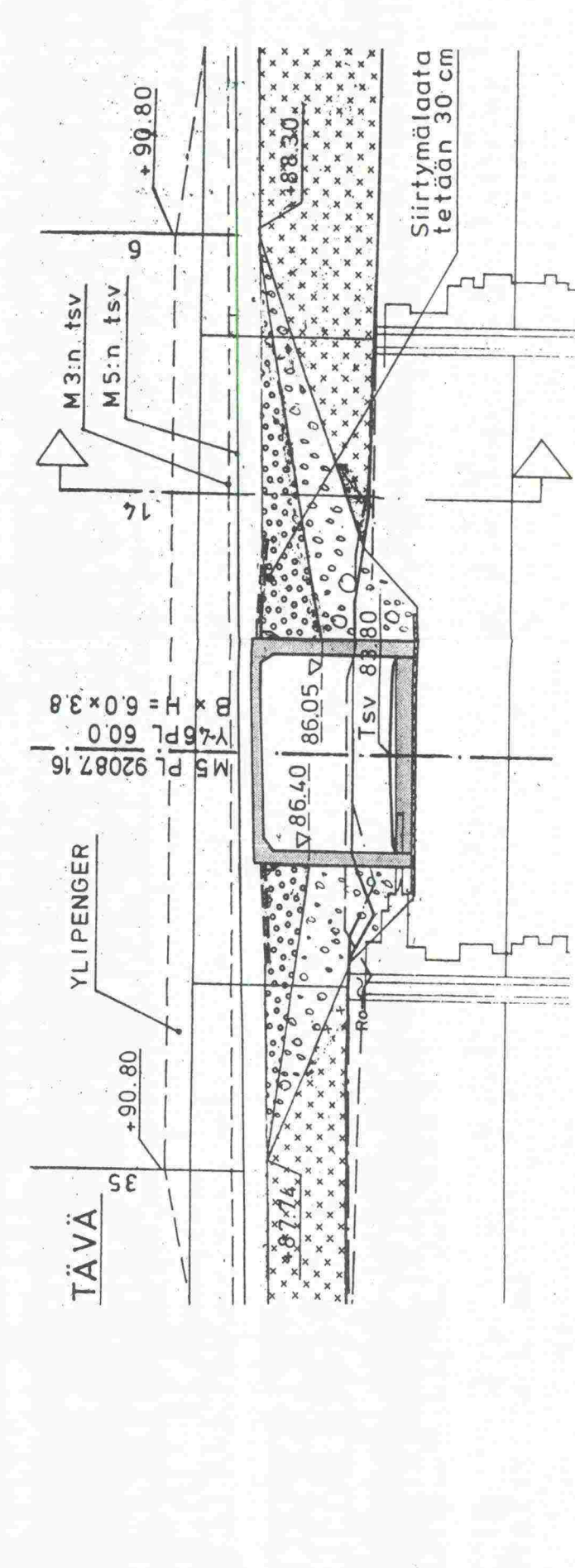
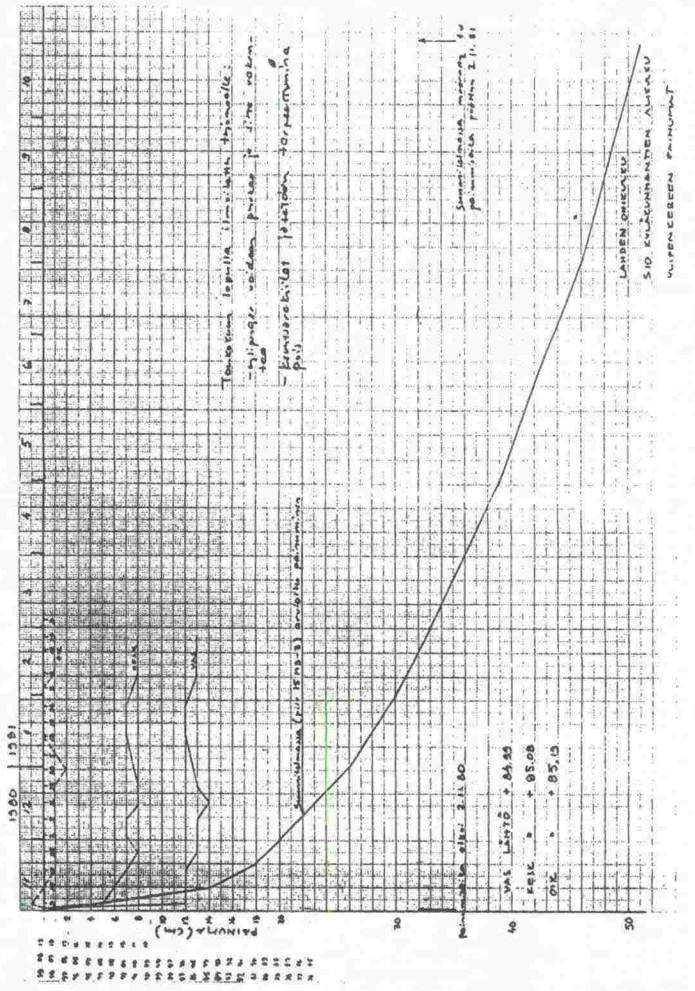






1/9 Kyläkunnantien aikukukäytävä,  
Hämeen tiepiiri

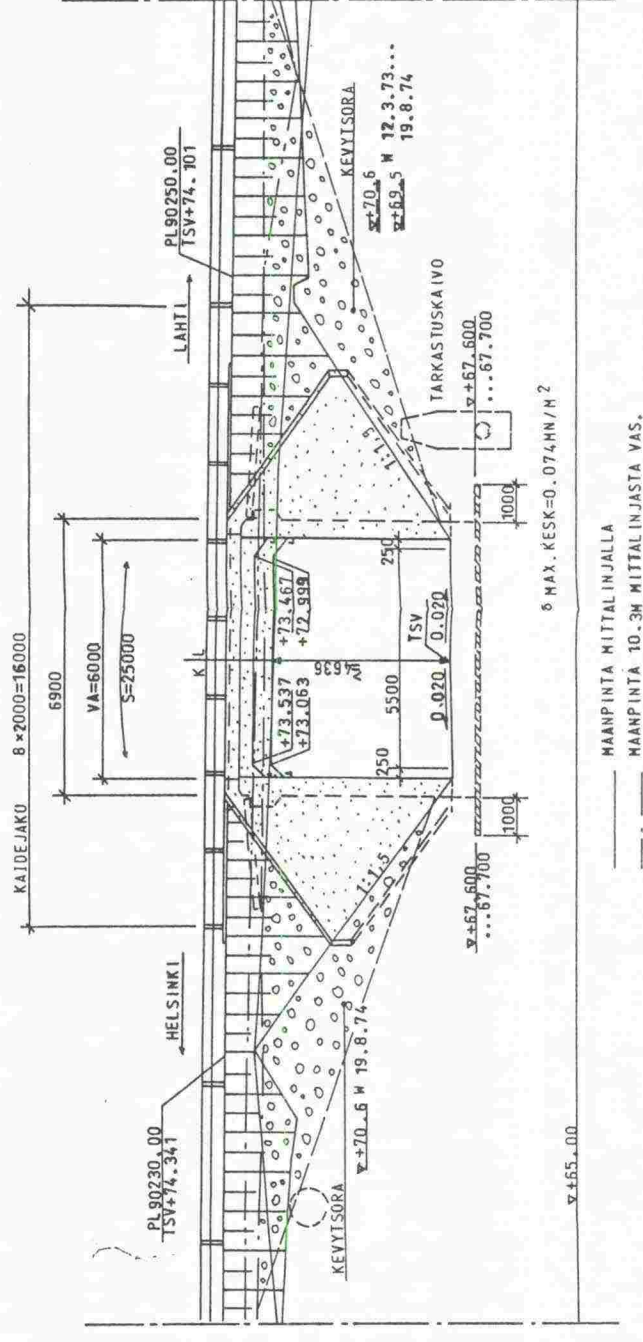
Sy- vyys	Painokairaus	Maa- laji	Lämpöisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku +	Humus	Suljettu leikkauslujuus S <sub>v</sub> • S <sub>vr</sub> o S <sub>k</sub> ▽ S <sub>kr</sub> ▽	Sensitiivisyys S <sub>t</sub>	Pystyjännitys σ <sub>0</sub> — σ <sub>c</sub> •	Moduuliluku m <sub>1</sub>	Jänn.eksp. β <sub>1</sub>	Moduuliluku m <sub>pal</sub> ▽ m <sub>tolst</sub> +	Konsolidaatiokerroin C <sub>v</sub> • (arvioitu vaihteluväli) —	Lisätietoja
-10	+84.4 183,28 Laatan alapinta	saSi saSi lajSa saSi saSi laSa laSa laSa laSa laSa lajSa laSa	o o o o o o o o o o o o o		o o o o o o o o o o o o o		o o o o o o o o o o o o o							
-20	JNE.		o = häiritty näytesarja		o o o o o o o o o o o o o		o o o o o o o o o o o o o							
m	kivi, lojokare tai kaillo syvyysellä 30,0	GEO	%	kN/m <sup>3</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>			m <sup>2</sup> /a		
1	0	0	0	0	0	2	10	50	10	20	-1	50	1	1
	20	40	75	15	50	4	20	100	20	100	0	75	100	2
	pk/0,2m			20	100	6	30		100	200		100		





1/11 Hakalan alikulkukäytävä,  
Hämeen tiepiiri

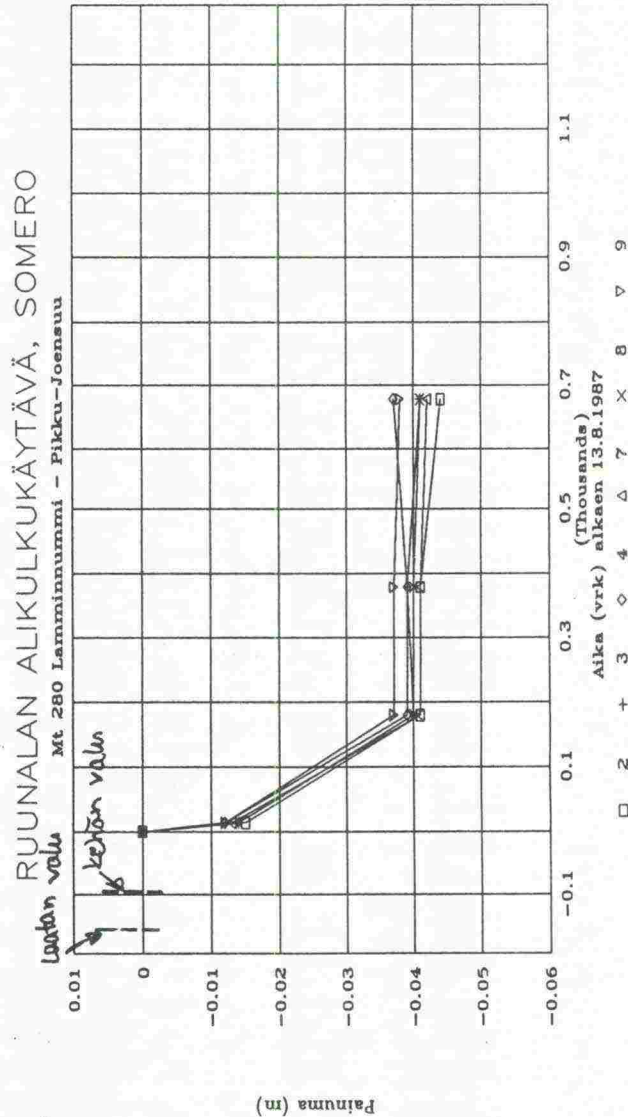
Syvyys	Painokairaus	Maa- leiji	Lämpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku +	Humus	Suljettu leikkausjujuus $S_v \bullet S_{vr} \circ S_k \nabla S_{kr} \triangleright$	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0 - \sigma_c \bullet$	Moduuliluku $m_1$	Jänn.eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{pa} \bullet m_{toist} +$	Konsolidaatiokerroin (arvioitu vaihteluväli) — $C_v \bullet$	Lisätietoja
-10		IISa IISa IIISa IaSa IaSa IaSa IaSa IaSa IaSa IaSa IaSa IaSa	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
-20		IaSa IaSa IaSa												
m		GEO	25 50 75 %	10 15 20 $kN/m^3$	50 100 %	2 4 6 %	10 20 30 40 $kN/m^2$	10 30	50 100 $kN/m^2$	10 20	-1 0	50 75 100	1 2 $m^2/a$	





1/13 Ruunalan alikulkukäytävä,  
Turun tiepiiri, aiemmin Hämeen tiepiiri

Syvyys	Painokairaus	Maa-laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkausjujuus	Sensitiivisyys	Pystyjännitys	Moduuliluku	Jänn.eksp.	Moduuliluku	Konsolidaatiokerroin	Lisätietoja
m	kN		%	kn/m <sup>3</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>	S <sub>t</sub>	$\sigma_0 - \sigma_c$	m <sub>1</sub>	$\beta_1$	m <sub>pal.</sub> • m <sub>loist.</sub> +	C <sub>v</sub> •	
1	89.3	liiSa	75	10	100	2	10	30	50	10	0	50	1	näytteet syv. 3 ja 15 ovat täysin häiriintyn. kons. kertolmen arvot norm. kons. alueelta yllikons. alueen arvot > 2 m <sup>2</sup> /a
-10		liiSa	75	10	100	2	20	30	50	20	-1	75	1	
-20		liiSa	75	10	100	2	30	30	50	20	0	100	2	
		liiSa	75	10	100	2	40	30	50	20	0	100	2	

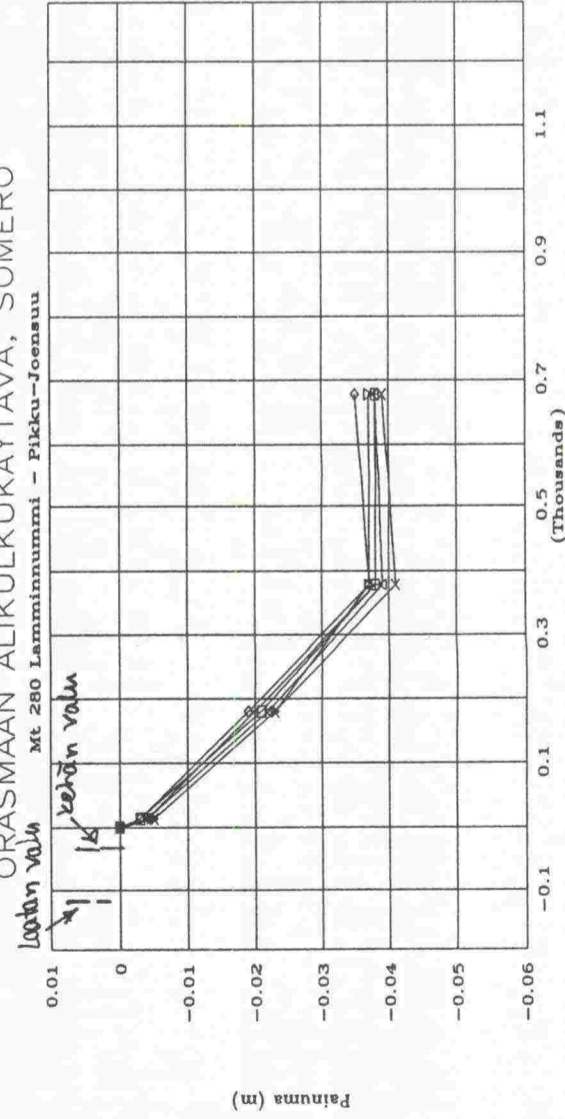


1/14 Orasmaan alikulkukäytävä,  
Turun tiepiiri, aiemmin Hämeen tiepiiri

Sy- vyys	Painokairaus	Maa- laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienosluku	Humus	Sujettu leikkauslujuus $S_v$ , $S_{vr}$ , $S_k$ , $S_{kr}$ , $S_c$ , $S_{cr}$	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0$ - $\sigma_c$	Moduuliluku $m_1$	Jänn.eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{pal}$ , $m_{toist}$	Konsolidaatiokerroin $c_v$ (arvioitu vaihteluväli)	Lisätietoja
-10	+88.9 +86,081 Laatan alapinta	lisaLj lisaLj liiSa liiSa liiSa liiSa liiSa liiSa liiSa liiSa liiSa	o	10	o	8,2	o	o	o	o	o	+	o	vain syv. 4 ja 5 tehnd. kokeista on määrätty alka-painumakuvaajat kons. kertoimen arvot norm. kons. alueelta ylikons. alueen arvot > 1 m <sup>2</sup> /a
-20	JNE kivi tai ohjare syvyysellä -28,1	liiSa liSa	o o = häiritty näytesarja	10	o	o	o	o	o	o	o	+	o	näytteet syv. 12 ja 15 häiriintyneitä
m		GEO	%	kn/m <sup>3</sup>	%	%	kn/m <sup>2</sup>	kn/m <sup>2</sup>	kn/m <sup>2</sup>			m <sup>2</sup> /a		

ORASMAAN ALIKULKUKÄYTÄVÄ, SOMERO

Mt 280 Lamminummi - Pikkujoen suu



840

25 860

25 880

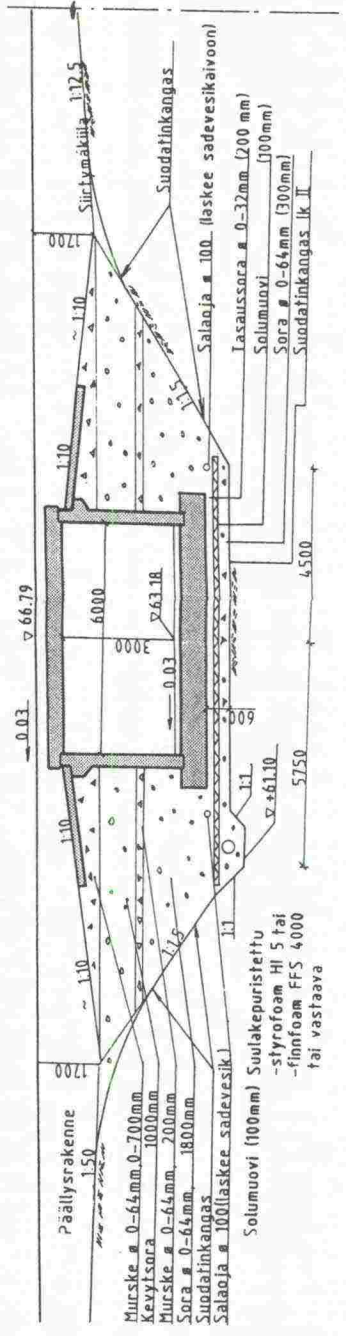
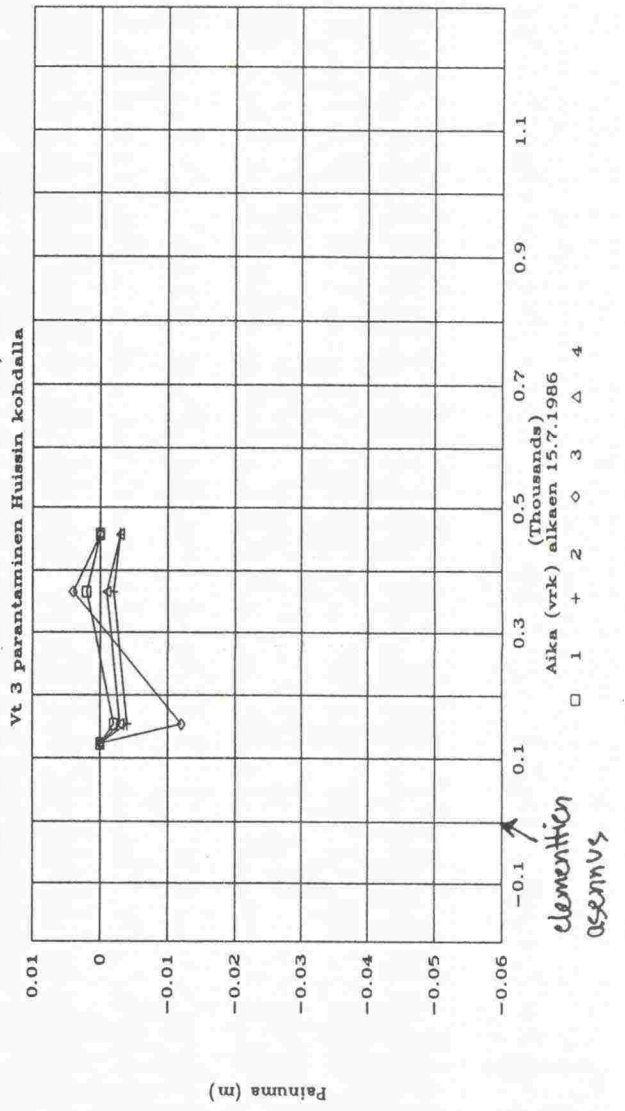




1/16 Ilomäen alikulkukäytävä,  
Vaasan tiepiiri

Sy- vyys	Painokairaus	Maa- läji	Lämpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku	Humus	Suljettu leikkauslujuus	Sensitiivisyys	Pystyjännitys	Moduuliluku	Jänn.eksp.	Moduuliluku	Konsolidaatiokerroin	Lisätietoja
	pk/0,2m	GEO	%	kn/m <sup>3</sup>	%	%	kn/m <sup>2</sup>	S <sub>t</sub>	σ <sub>0</sub> — σ <sub>c</sub>	m <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	m <sub>pal.</sub> • m <sub>toist.</sub>	C <sub>v</sub> •	
-10		sssilj silj silj silhk silhk srhkmp srhkmp	o = häiritty näytesarja	•	•	8,1 10,7 11,9	•	•	W (arvioitu)	•	•	•	•	
-20														
m	1 kn	25 50 75 10 15 20	%	kn/m <sup>3</sup>	50 100	%	10 20 30 40	10 30	50 100	10 20	-1 0	50 75 100	1 2	m <sup>2</sup> /a

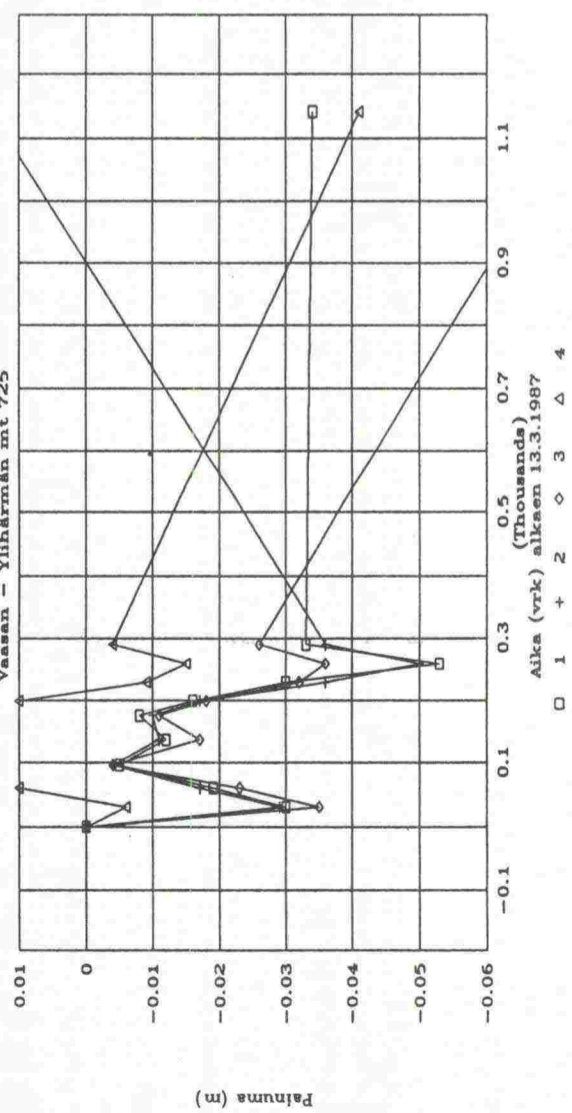
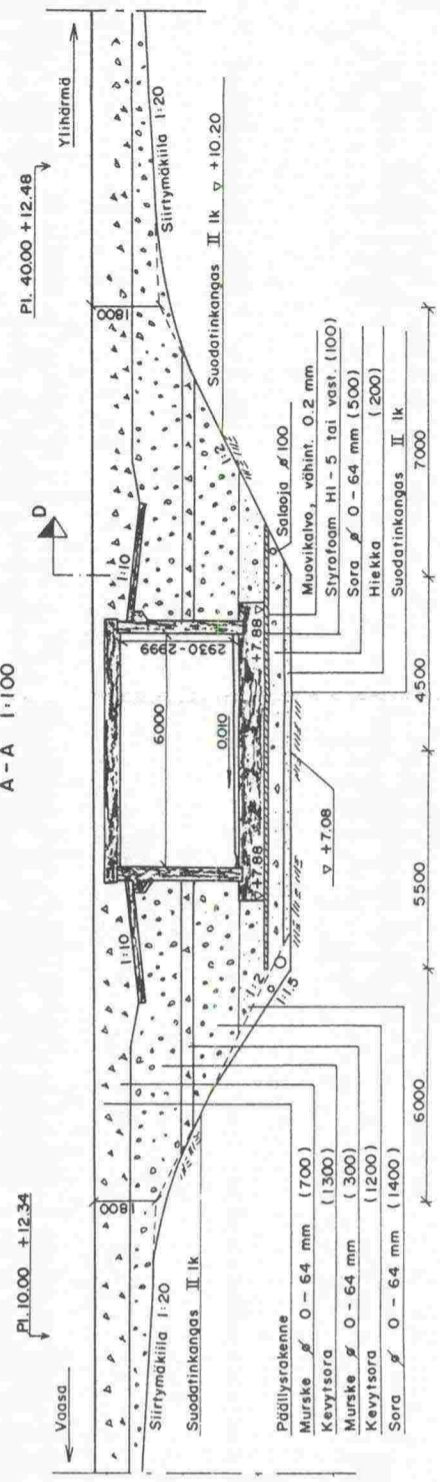
ILOMÄEN ALIKULKUKÄYTÄVÄ, ILMAJOKI



1/17 Vöyrin alikulkukäytävä,  
Vaasan tiepiiri

Sy- vyys	Painokairaus	Maa- laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku +	Humus	Suljettu leikkauslujuus $S_v \bullet S_{vr} \circ S_k \triangleright S_{kr} \triangleright$	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0 - \sigma_c \bullet$	Moduuliluku $m_1$	Jänn.eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{pa} \bullet m_{toist} +$	Konsolidaatiokerroin $C_v \bullet$ (arvioitu vaihteluväli) —	Lisätietoja
-10		sajSI sajSI laSa sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI sajSI laSa laSa hkSI												
-20	ei tietoa kaivauksen lopetusasteesta- tai tavasta													
m		GEO	%	kN/m <sup>3</sup>	%	%	kN/m <sup>2</sup>		kN/m <sup>2</sup>				m <sup>2</sup> /a	

VÖYRIN ALIKULKUKÄYTÄVÄ, VÖYRI



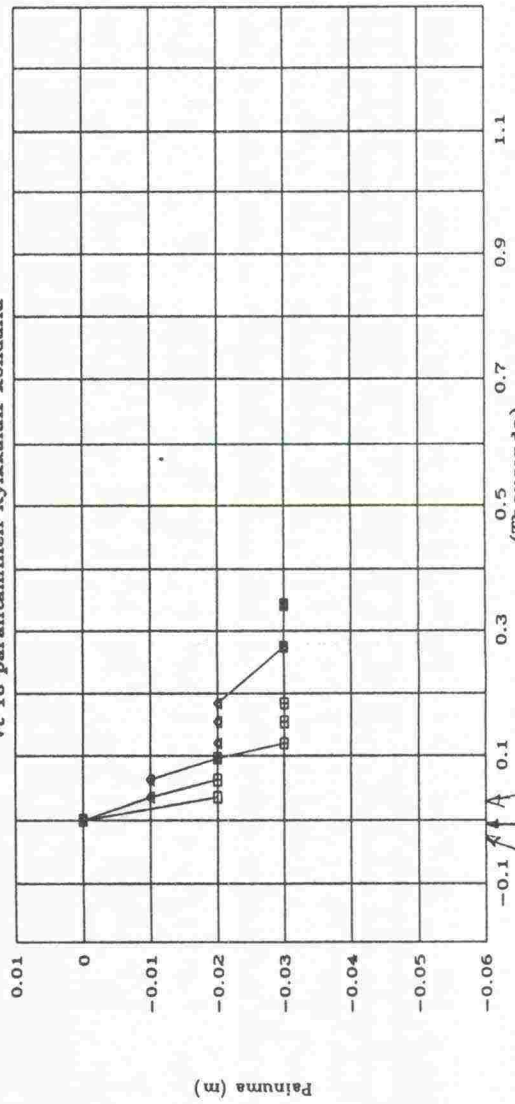


1/19 Kylkkälän alikukukäytävä,  
Vaasan tiepiiri

Syvyys	Painokairaus	Maa-laji	Läpäisy -% 0,002	Tilav.paino	Vesipitoisuus Hienousluku +	Humus	Suljettu leikkauslujuus $s_v, s_{vr}, s_k, s_{kr}$	Sensitiivisyys $S_t$	Pystyjännitys $\sigma_0 - \sigma_c$	Moduuliluku $m_1$	Jänn. eksp. $\beta_1$	Moduuliluku $m_{pal.}, m_{toist.}$	Konsolidaatiokerroin $c_v$ (arvioitu vaihteluväli)	Lisätietoja
-10		saljSi saljSi saljSi saljSi saljSi laSa lajSa laSa saSiMr siHkMi	o = häiritty näytesarja											
-20														
m														

KYLKKÄLÄN ALIKUKUKÄYTÄVÄ, ISOKYRÖ

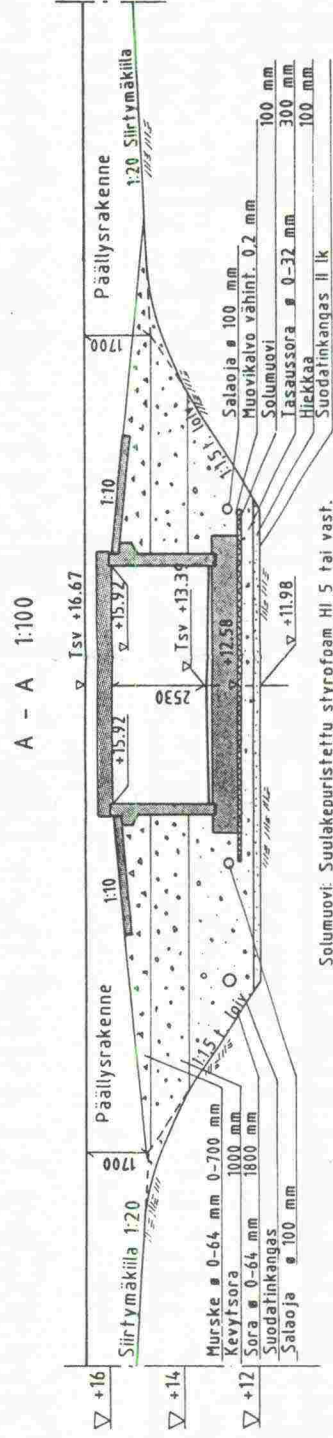
Vt 16 parentaminen Kylkkälän kohdalla



0,01  
0  
-0,01  
-0,02  
-0,03  
-0,04  
-0,05  
-0,06

0,1  
0,3  
0,5  
0,7  
0,9  
1,1

(Tilastand)  
Aika (vrk) alkaen 9.12.1987  
A + B o c Δ D  
0,08  
0,12.87



Solumuovi: Suulakepuristettu styrofoam H1 5 tai vast.

## TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 1/1991 Kerrosten laatuvirheiden esto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 15/1991 Vairioinventoinnin tulosten käsittelyohjelmistot, lomake, mittari ja siirto. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menetelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 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
- 23/1991 Betonipäällysteiden seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 25/1991 Tiivistyskurssi; Maarakenteiden tiivistäminen. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1991 Omajohtoisissa töissä käytetyn tiivistyskaluston nykytilaselvitys vuosilta 1987-90. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 27/1991 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti I. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rekonnerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1992 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II; Prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimukset. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Pituushalkeamat osa III, Elävät pituushalkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa. TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus; Kuivatustutkimus osa I sekä roudan syvyys-havainnot. TIEL 4000018
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus
- 45/1992 Tielaitoksen pudotuspainolaitteiden vertailu; Saarijärvi 8 - 9.7.1992. TIEL 4000023

## TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 10/1993 Päällistetyn tieverkon kuntomittaukset ja hallintajärjestelmät. Tuotannon palvelukeskus

## TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 3/1992 Viipurin batoliitin eri rapakivityyppien soveltuvuus tienpäällyste-  
kiviaineksi. TIEL 3100004
- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 2/1990 Liuskapystystojakenttien toiminnasta. TIEL 703344
- 3/1990 Tiepenkereen holvautuminen; teoreettinen osa. TIEL 703343
- 18/1991 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä tien luiskassa. TIEL 3200017
- 24/1991 Teiden kantavuusvaihtelut 1987-89. TIEL 3200023
- 25/1991 Tiepenkereen kantavuusvaihtelu ja laskennalliset kantavuudet.  
TIEL 3200024
- 1/1992 Pystyojanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testaus-  
menetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkas-  
kestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT),  
perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus.  
TIEL 3200119
- 1/1993 Arktinen tienrakentaminen. TIEL 3200121
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa.  
TIEL 3200142
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- Geotekniikan informaatiojulkaisuja:
- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitus perusteet. TIEL 3200150