



SAVIEN STABILOINTI ERI SIDEAINEILLA, KENTTÄKOEIDEN TULOKSET

Ilkka Vähäaho



**HELSINGIN KAUPUNKI
KIINTEISTÖVIRASTO
GEOTEKNINEN OSASTO**

SAVIEN STABILOINTI ERI SIDEAINEILLA, KENTTÄKOKEIDEN TULOKSET

Ilkka Vähäaho

Vähäaho I. (1996). Savien stabilointi eri sideaineilla - Kenttäkokeiden tulokset Vuosaaren Porslahdentien koestabilointialueelta. [Stabilization of clays with various binders - The results of the Porslahdentie test area in the district of Vuosaari]. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, GEO 4826 / Tiedote 73 / 1.10.1996. 22 s. + liitt. 18 s. + 4 piirustusta

Avainsanat CPT-kairaus, in-situ, kalkki, masuunikuona, savi, sementti, sideaine, syvästabilointi

TIIVISTELMÄ

Tämä työ on osa laajempaa projektia, jossa tavoitteena oli löytää uusia stabilointireseptejä. Helsingin Vuosaarella sijaitseva Porslahdentien koealue valittiin kenttäkokeiden suorituspaikaksi. Laboratoriotulosten mukaan tällä savikolla oletettiin saatavan korkeita lujuuksia useilla eri stabilointiaineilla.

Tässä työssä on testattu neljää eri sideainevaihtoehtoa ja kahta eri annostusta. Sideaineina on käytetty sementin ja kalkkisementtiseoksen lisäksi kahta uudempaa seosta, joista toinen on masuunikuonan ja sementin seos ja toinen tuotenimellä Lohja 5 oleva seos.

Koealue on lähes tasasivuinen kolmio, jonka sivumitta on noin 70 m. Pintakerroksena on noin 0,5 m vahvuudelta humusta ja kuivakuorisavea tai kitkamaatäytettä. Pintakerroksen alla on 4 ... 6 metriä savea, jonka leikkauslujuus vaihtelee välillä 4 - 39 kPa.

Stabiloiduista pilareista mitattiin leikkauslujuus- ja puristuslujuusarvoja lujittumisajankohtina 30 ja 90 vuorokautta. Leikkauslujuuden määrittäminen perustuu pilareihin tehtyihin CPT-kairauksiin. Puristuslujuuden määrittäminen pilareista otettiin näytteet, jotka puristettiin yksiakselisesti laboratoriossa.

Pilarointityön seurauksena huokosvedenpaine nousi savikerroksessa korkeintaan noin 1 metrin. Ylipaineen purkautuminen tapahtui noin kuukauden kuluessa pilarointityön alkamisesta.

Selvästi eniten lämpöä kehittyi kalkkisementtipilareissa. Myös jäähtyminen kesti pisimpään kalkkisementtipilareissa. Seuraavaksi eniten lämpöä kehittyi sementtipilareissa, sitten lohjapilareissa ja vähiten masuunikuonapilareissa.

CPT-kairauksilla saatiin selvästi pienempiä lujuusarvoja kuin laboratoriossa tehdyillä kokeilla. CPT-kairausten tulokset kuvaavat pilareiden kokonaislujuuksia, koska pilareiden epähomogeenisuus ja rakoilu tulee tässä testausmenetelmässä parhaiten esille. Laboratoriokokeiden tulokset kuvaavat pilarin parhaiden osien lujuuksia. CPT-kairauksilla mitatuissa lujuusarvoissa oli myöskin pienempi hajonta kuin pilareista otetuissa ja laboratoriossa mitatuissa lujuuksissa.

Sementillä päästiin noin 0,3 ... 0,6 MPa ja masuunikuonalla jopa 0,5 ... 1,5 MPa pilarikohtaisiin puristuslujuuksiin kun sideainetta käytettiin 111 ... 183 kg/m³.

Tämän tutkimuksen aineisto perustuu yhdellä koealueella tehtyihin kokeisiin. Vastaavia tutkimuksia tulisi tehdä lisää erilaisissa pohjaolosuhteissa.

Vähäaho I. (1996). Savien stabilointi eri sideaineilla - Kenttäkokeiden tulokset Vuosaaren Porslahdentien koestabilointialueelta. [Stabilization of clays with various binders - The results of the Porslahdentie test area in the district of Vuosaari]. Helsinki City Real Estate Department, Geotechnical Division, GEO 4826 / Research Note 73 / 1.10.1996. 22 p. + app. 18 p. + 4 drawings

Keywords binder, blast-furnace slag, cement, clay, CPT , deep stabilization, in-situ, lime

ABSTRACT

This work is part of a larger project which aimed at finding new stabilization formulae. The Porslahdentie field test area is located in Helsinki in the district of Vuosaari. On the basis of laboratory tests it was expected that high strengths could be achieved with various binders in this clay area.

Four binder alternatives and two different dosages have been tested in this work. In addition to cement and lime-cement, two newer mixtures have been used as binders. The other is a mix of blast-furnace slag and cement and the other is called Lohja 5.

The test area is close to a triangle each side being about 70 metres. As a surface layer there is ca 0,5 metres of organic material and dry crust or fill of non-cohesive soil. Below the surface layer lies 4 to 6 metres of clay the shear strength ranging between 4 and 39 kPa.

The shear strength and the compression strength of the stabilized columns were measured after 30 and 90 days. The shear strength was measured by cone penetration tests (CPT). To determine the compression strength, samples were taken from the columns and compressed uniaxially in laboratory.

Because of mixing the columns, the porewater pressure rose by not more than 1 metre in the clay layer. The overpressure lowered in about one month from the beginning of the stabilization.

The clearly highest temperatures were measured in the lime-cement columns. The lowering of temperature was the slowest in them as well. The next highest temperatures were in cement columns, then in lohja columns and the lowest in blast-furnace slag columns.

It was obvious that the strength values from CPT were smaller than those from laboratory tests. The results of CPT represent the total strength of the columns because their non-homogeneity and cracking appears best in this method. The results of the laboratory tests describe the strength of the best column parts. The deviation of the strength values measured by CPT were also smaller than that of strengths in the laboratory tests.

By using 111 to 183 kg/m³ of binder material the compression strengths were about 0.3 to 0.6 MPa in cement columns and as much as 0.5 to 1.5 MPa in blast-furnace slag columns.

The material of this work is based on one test area. Various sites should be examined similarly.

ALKUSANAT

Tämä tutkimus liittyy laajempaan stabilointiprojektiin, jossa tavoitteena oli löytää uusia stabilointireseptejä (VTT Rakennustekniikka / Tiedote 1682). Stabilointiprojektissa valittiin Vuosaassa sijaitseva Porslahdentien koealue kenttäkokeiden suorituspaikaksi. Laboratoriotulosten mukaan tällä savikolla oletettiin saatavan korkeita lujuuksia useilla eri stabilointiaineilla.

HKR/Katuosasto tilasi Kv/Geotekniseltä osastolta Porslahdentien koestabilointityön pohjatutkimukset, laadunvalvontatutkimukset, aineiston analysoinnin ja raportoinnin 1.8.1994. Lisäksi tähän työhön ovat työpanoksellaan osallistuneet YIT-Yhtymä (pilarointityö), Oy Lohja Ab (sideainetoimitukset), SKJ Yhtiöt (sideainetoimitukset) ja HKR/Katuosasto (työmaatyöt).

Tutkimuksen projektipäällikkönä on toiminut apulaisosastopäällikkö Ilkka Vähäaho. CPT-kairausten tulkinnan on suorittanut toimistopäällikkö Hannu Halkola. Käsikirjoitukseen antoivat arvokkaita kommentteja myös Usko Anttikoski, Osmo Korhonen ja Jouko Lehtonen.

Parhaimmat kiitokset kaikille projektiin osallistuneille.

Helsingissä lokakuun 1. päivänä 1996



Ilkka Vähäaho
apulaisosastopäällikkö

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	6
2 KOEJÄRJESTELYT	7
2.1 Pohjasuhteet	7
2.2 Instrumentointi	7
2.3 Pilareiden teko	7
2.4 Koestusmenetelmät	8
3 TULOKSET	11
3.1 Huokosvesi	11
3.2 Lämpötila	11
3.3 Leikkauslujuus	12
3.3.1 Sideaineannostus 111 kg/m ³	12
3.3.2 Sideaineannostus 183 kg/m ³	13
3.4 Puristuslujuus	14
3.5 Tulosten vertailu	15
4 YHTEENVETO	18
5 JATKOTUTKIMUSTARPEET	20
KIRJALLISUUSVIITTEET	21

LIITTEET

Pilaripöytäkirjat	1
Huokospainemittaukset	2
Lämpötilamittaukset	3
Leikkauslujuudet	4
Puristuslujuudet	5
Lujuustulosten hajonta	6

PIIRUSTUKSET

Leikkauspiirustukset	GEO 4826.101 ... 4826.103
Karttapiirustus	GEO 4286.104

1 JOHDANTO

Helsingin kaupungin maapinta-alasta on noin 35 % savialuetta. Viime vuosina ja vuosikymmeninä on rakentamisen painopiste ollut heikosti kantavilla savialueilla. Poikkeuksena tästä on lähinnä Vuosaaren alue, josta löytyy myös laajoja kitkamaa-alueita. Kitkamaa-alueilla tavallisin perustamistapa niin rakennusten kuin kunnallistekniikankin osalta on maanvarainen perustus.

Heikosti kantavilla alueilla rakennukset perustetaan nykyään lähes poikkeuksetta kovaan pohjaan tukeutuvilla paaluilla. Kunnallistekniikan perustamismenetelmissä sen sijaan löytyy runsaasti vaihtoehtoja. 70-luvun lopulta lähtien on Helsingissä käytetty savialueilla kovaan pohjaan perustamisen ja maanvaraisen perustamisen lisäksi myös em. menetelmien sekamuotoa, ns. syvästabilointimenetelmää. Syvästabiloinnissa heikosti kantavaa savikerrosta lujitetaan ja samalla osa kuormista siirretään syvemmällä maaperässä oleviin paremmin kantaviin kerroksiin. Stabiloinnin käyttökohteita ovat olleet etenkin kunnallistekniikkaan liittyvät kohteet ja siirtymärakenteet painumattomien ja painuvien perustusten välillä.

Pitkälle 80-lukua käytännössä ainoana syvästabiloinnin sideaineena käytettiin sammuttamatonta kalkkia, josta valmistettiin halkaisijaltaan Ø 500 mm pilareita. Myös käytetyt sideaineannostukset olivat nykyisiin verrattuina pieniä. Tämän seurauksena pilareiden puristuslujuudet jäivät varsin vaatimattomiksi, yleensä alle 200 kPa.

90-luvulla on alettu etsiä myös ns. korkealujuuspilareita (puristuslujuus >600 kPa), ja niitä varten uusia sideaineresptejä, aluksi lähinnä kalkkisementtiseosta tai pelkkää sementtiä. Samalla on lisätty käytettyjä sideainemääriä. Pilarikoko vaihtelee nykyään välillä Ø 500...800 mm ja koemielessä on tehty jopa Ø 1000 mm pilareita.

Tässä työssä on testattu Vuosaaren Porslahdentien koealueella neljää eri sideainevaihtoehtoa ja kahta eri annostusta. Sideaineina on käytetty sementin ja kalkkisementtiseoksen lisäksi kahta uudempaa seosta, joista toinen on masuunikuonan ja sementin seos ja toinen tuotenimellä Lohja 5 oleva seos. Tyypillistä viimeksi mainituille seoksille on, että niillä saatetaan päästä maabetonin lujuuksiin.

2 KOEJÄRJESTELYT

2.1 Pohjasuhteet

Alueella on aikaisemmin vuosina 1978 ja 1992 tehty pohjatutkimuksia projektien nro:t 2003 ja 4560 yhteydessä. Elokuussa 1994 tehtiin ennen pilarointityötä kunkin neljän pilarikentän kohdalta puristin-heijarikairaukset, siipikairaukset sekä otettiin häiriintymättömät näytteet laboratoriokokeita varten. Masuunikuonapilareiden ja lohjapilareiden läheisyyteen asennettiin lisäksi pohjavesiputket.

Koealue on puistokäyttöön kaavoitettu alue Porslahdentie 10 kohdalla (karttapiirustus GEO 4826.104). Koealue on lähes tasasivuinen kolmio, jonka sivumitta on noin 70 m. Alueen maanpinta vaihtelee tasojen +1,1 ja +1,8 välillä. Pintakerroksena on noin 0,5 m vahvuudelta humusta ja kuivakuorisavea tai kitka-maatäytettä. Pintakerroksen alla on savea, jonka siipikairalla mitattu leikkauslujuus vaihtelee välillä 4 - 39 kPa. Savikerroksen alapinta vaihtelee tasojen -3 ja -5,5 välillä. Savikerros jakaantuu kolmeen osaan, joista ylimpänä on noin metrin vahvuinen osa, jonka leikkauslujuus on yli 20 kPa. Savikerroksen keskiosan leikkauslujuus on selvästi alle 10 kPa. Tässä kerroksessa on myös 1 ... 4 % humusta. Savikerroksen alimman 0,5 m osalta löytyy jälleen yli 20 kPa leikkauslujuuksia. Pehmeän, leikkauslujuudeltaan 4-9 kPa, savikerroksen paksuus vaihtelee kolmesta viiteen metriin. Saven alla on silttiä ja hiekkaa. Savikerroksen alapuolella olevista kärjistä mitattu pohjavedenpinta on 11.8.1994 - 6.4.1995 välisenä aikana vaihdellut tasovälillä +1,50 ... >+2,42. Pohjavedenpinnan painetaso on toisinsanoen ajoittain jopa yli 70 cm maanpinnan yläpuolella. Maakerrokset näkyvät leikkauspiirustuksissa GEO 4826.101 ... 4826.103.

2.2 Instrumentointi

Masuunikuonapilareiden ja lohjapilareiden muodostamien lieriöiden keskelle asennettiin huokosveden-paineen seurantaan varten huokoskärjet 2.9.1994 kolmelle tasolle (karttapiirustus GEO 4826.104).

Kunkin neljän pilaroidun lieriön ulkokehälle asennettiin lämpötila-anturit (5.-6.9.1994) kahteen pilariin. Mittaussyvyyydet olivat 1,0 ... 5,0 m maanpinnasta, 0,5 m välein. Mittauksilla seurattiin lämpötilakehitystä eri sideainetyypeillä ja eri sideainemäärillä (karttapiirustus GEO 4826.104). Lisäksi mitattiin maalämpöä yhdestä vertailupisteestä.

2.3 Pilareiden teko

Koepilarit tehtiin 5.-6.9.1994 ja pilarikokona käytettiin Ø 800 mm pilareita. Pilareita on kaikkiaan 96 kappaletta, 24 kutakin neljää sideainetyyppiä. Sideaineina käytettiin seuraavia seoksia (suluissa on lyhenne, jota tekstissä myöhemmin käytetään):

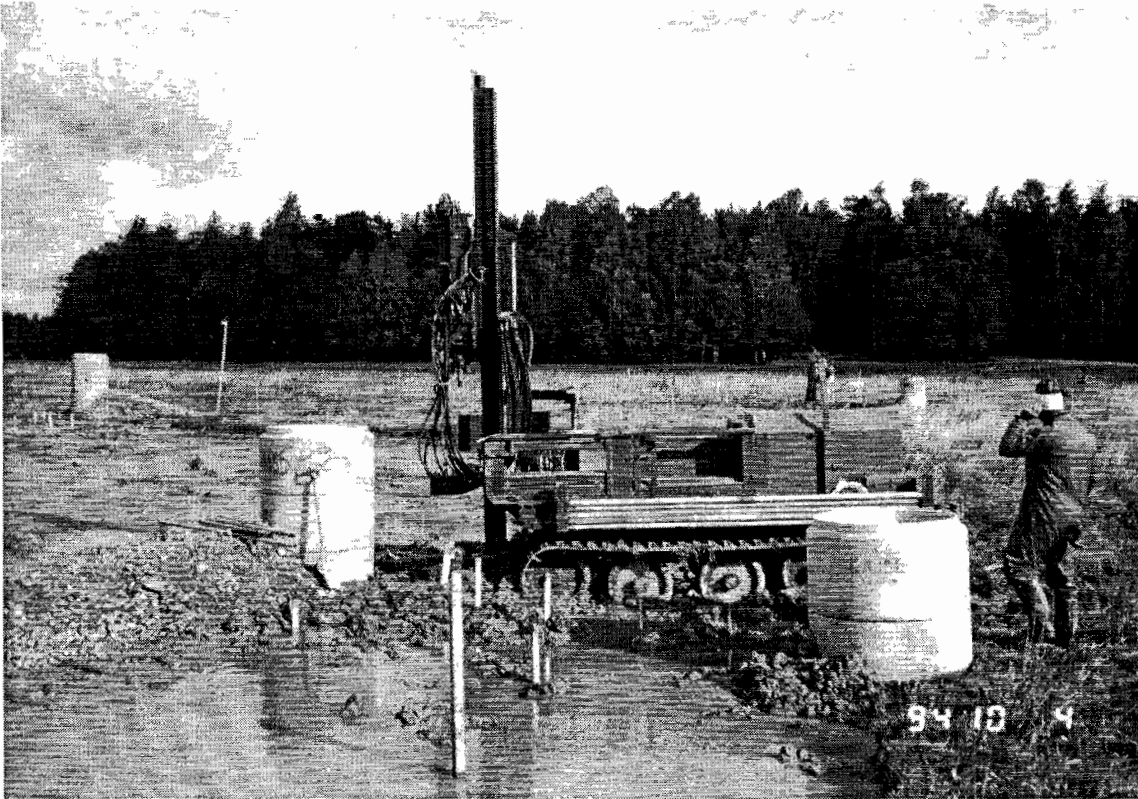
-	Lohja 5	(L5)
-	Masuunikuona 70% + Sementti (Rapid) 30%	(MK)
-	Kalkki 50% + Sementti (Yleissementti) 50%	(KS)
-	Sementti (Rapid)	(S)

Käytetyt sideainemäärät olivat 56 kg/m (111 kg/m³) ja 92 kg/m (183 kg/m³). Lisäksi pilarointikoneessa käytettiin sekä tavallista kärkeä (terä 1), että spiraalikärkeä (terä 2).

Yksityiskohtaiset tiedot pilareiden valmistuksesta on pilaripöytäkirjoissa (LIITE 1).

2.4 Koestusmenetelmät

Pilareista mitattiin leikkauslujuus- ja puristuslujuusarvoja lujittumisajankohtina 30 ja 90 vuorokautta.



Kuva 1. Leikkauslujuuden määrittämisessä käytettiin CPT-kairausta.

Leikkauslujuuden määrittäminen perustuu pilareihin tehtyihin CPT-kairauksiin (kuva 1). Lujuusarvot laskettiin yleensä neljän saman pilarityyppiä ja sekoitussuhdetta edustavan pilarin kairautuloksista, jotta yksittäiset poikkeamat saatiin eliminoiduiksi (kuva 2).



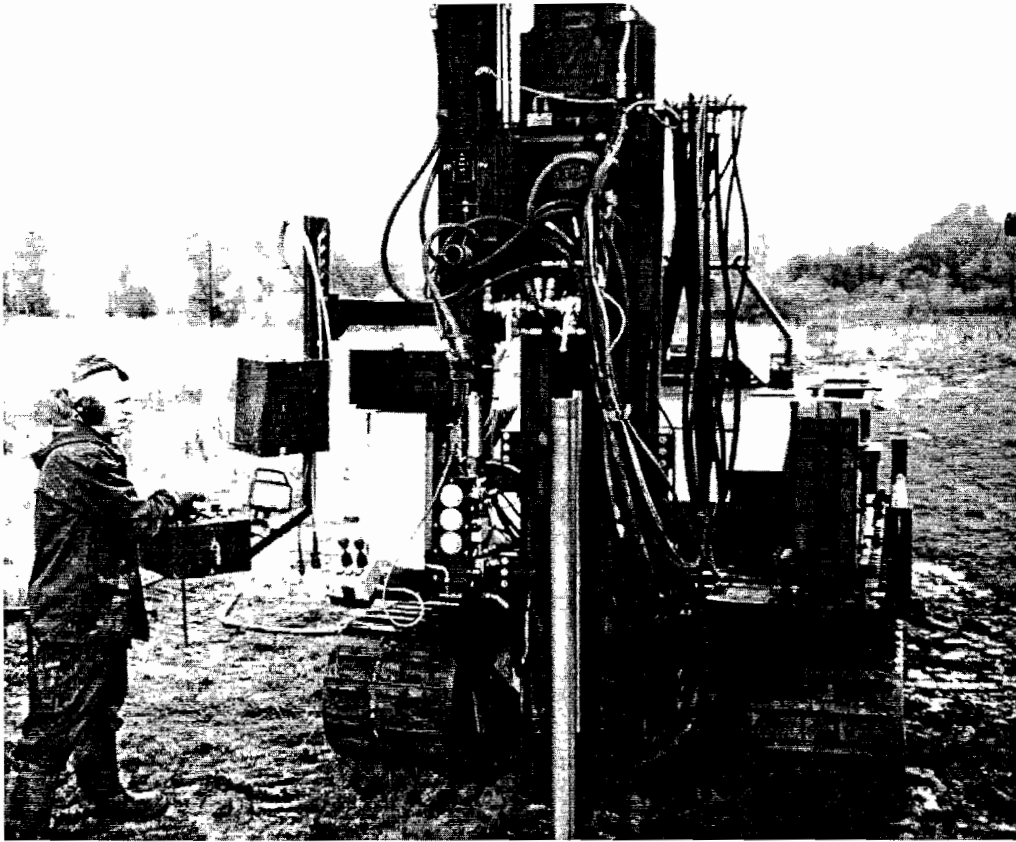
Tulkinta perustuu kaavaan

$$\tau = (q_{cpt} - \sigma_o) / N_c \quad (1)$$

missä	τ	on	leikkauslujuus
	q_{cpt}		kärkivastus
	N_c		kantavuuskerroin,
			jolle käytettiin arvoa 13.

Kuva 2. Tiedot kairauksista rekisteröitiin 2 cm välein.

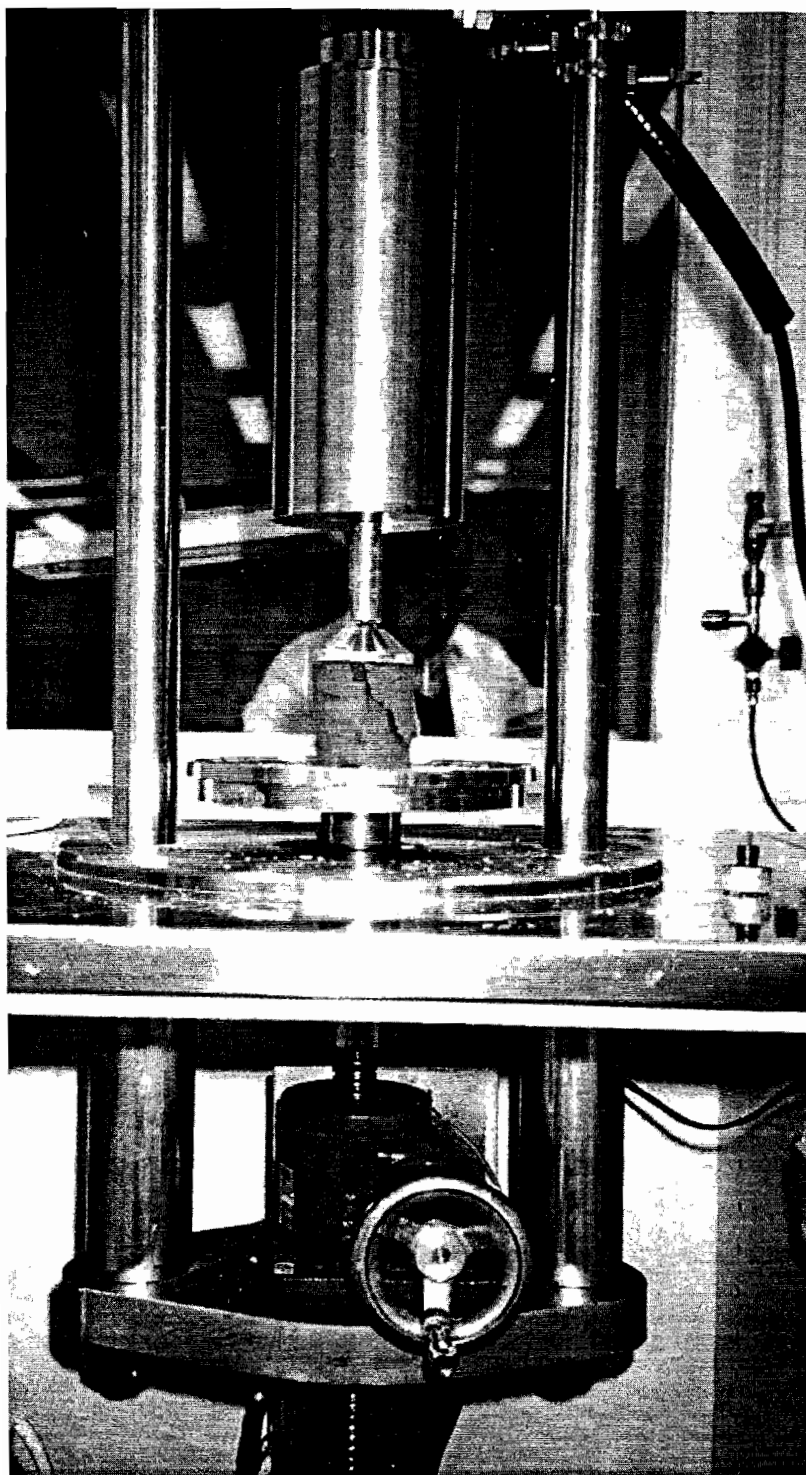
Puristuslujuuden määrittystä varten pilareista otettiin näytteet ns. kaksoisteräputkitimanttinäytteenottimella (kuvat 3 ja 4), jotka puristettiin aksiaalisesti laboratorioissa (kuva 5). Näytteiden halkaisija oli Ø 56 mm ja korkeus vaihteli välillä 56...110 mm.



Kuva 3. Pilareista otettiin näytteet puristuslujuuden määrittystä varten.



Kuva 4. Ehjien näytteiden saaminen pilareista oli vaikeaa.



Kuva 5. Pilareista otetut näytteet puristettiin yksiakselisesti laboratorioissa.

3 TULOKSET

3.1 Huokosvesi

Saven huokosveden painetaso oli ennen pilarointityön alkua jotakuinkin sama kuin pohjavedenpinnan painetaso, toisin sanoen savikerros oli normaalikonsolidoituneessa tilassa. Pilarointityön seurauksena huokosvedenpaine nousi korkeintaan noin 1 metrin. Nousua havaittiin sekä Lohjan sideaineella, että masuunikuonalla tehdyissä kentissä savikerroksen yläosassa ja lisäksi masuunikuonakentässä savikerroksen keski- ja alaosassa.

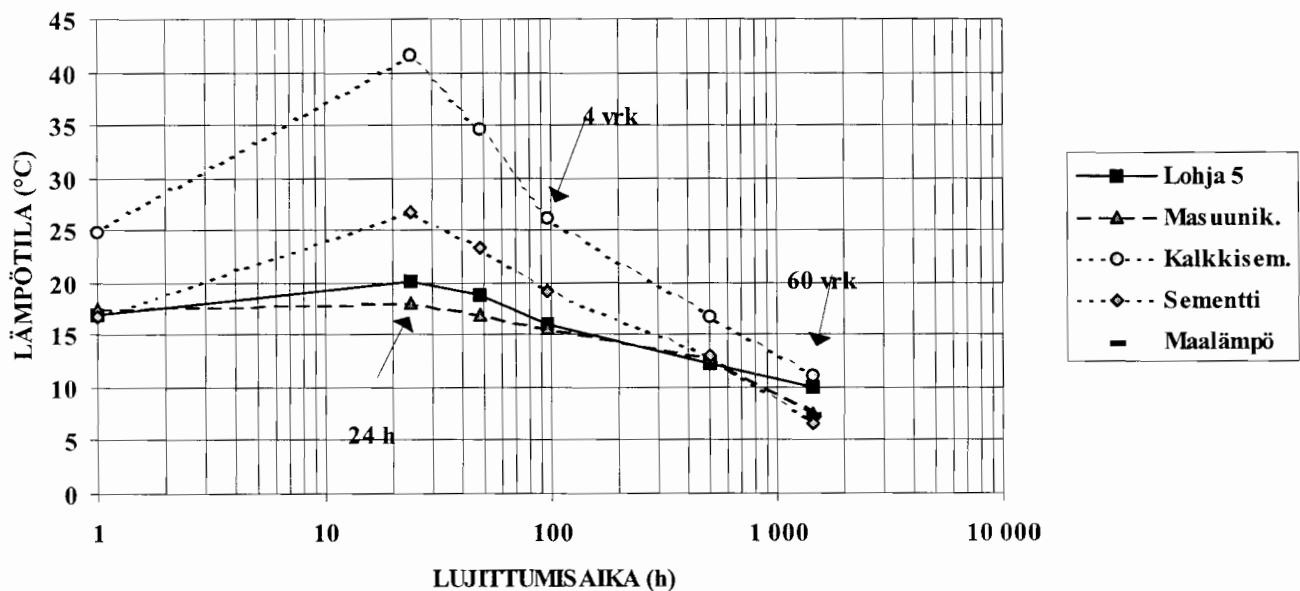
Ylipaineen purkautuminen tapahtui hyvin nopeasti, noin kuukauden kuluessa pilarointityön alkamisesta.

Yksityiskohtaiset mittaustulokset ovat huokosvesimittausten graafisissa tulosteissa (LIITE 2).

3.2 Lämpötila

Lämpötilamittauksia tehtiin 5.9.-29.11.1994 välisenä aikana. Mittauspisteitä oli kaikkiaan 9 ja antureita 77. Kuvassa 6 on 92 kg/m (183 kg/m³) sideaineannostuksella tehtyjen pilareiden lämmönkehitysvertailu 2 metrin syvyydessä olevista antureista.

STABILOINTI 183 kg/m³ / Pilari Ø800 mm / Syvyys 2 m



Kuva 6. Vertailu eri sideaineiden lämmönkehityksestä.

Selvästi eniten lämpöä kehittyi kalkkisementtipilareissa. Suurin mitattu arvo oli + 47,1 °C. Myös jäähtyminen kesti pisimpään kalkkisementtipilareissa, lähelle maalämpöä päästiin noin 2 kuukauden kuluttua pilaroinnista. Seuraavaksi eniten lämpöä kehittyi sementtipilareissa (+27,7 °C), sitten lohjapilareissa (+23,6 °C) ja vähiten masuunikuonapilareissa (+19,8 °C). Maan lämpötila yli 2 metrin syvyydessä on noin +7 °C. Muilla kuin kalkkisementtipilareilla jäähtymiseen kului aikaa noin 3 viikkoa.

Yksityiskohtaiset tiedot lämpötiloista ovat mittauspöytäkirjoissa (LIITE 3).

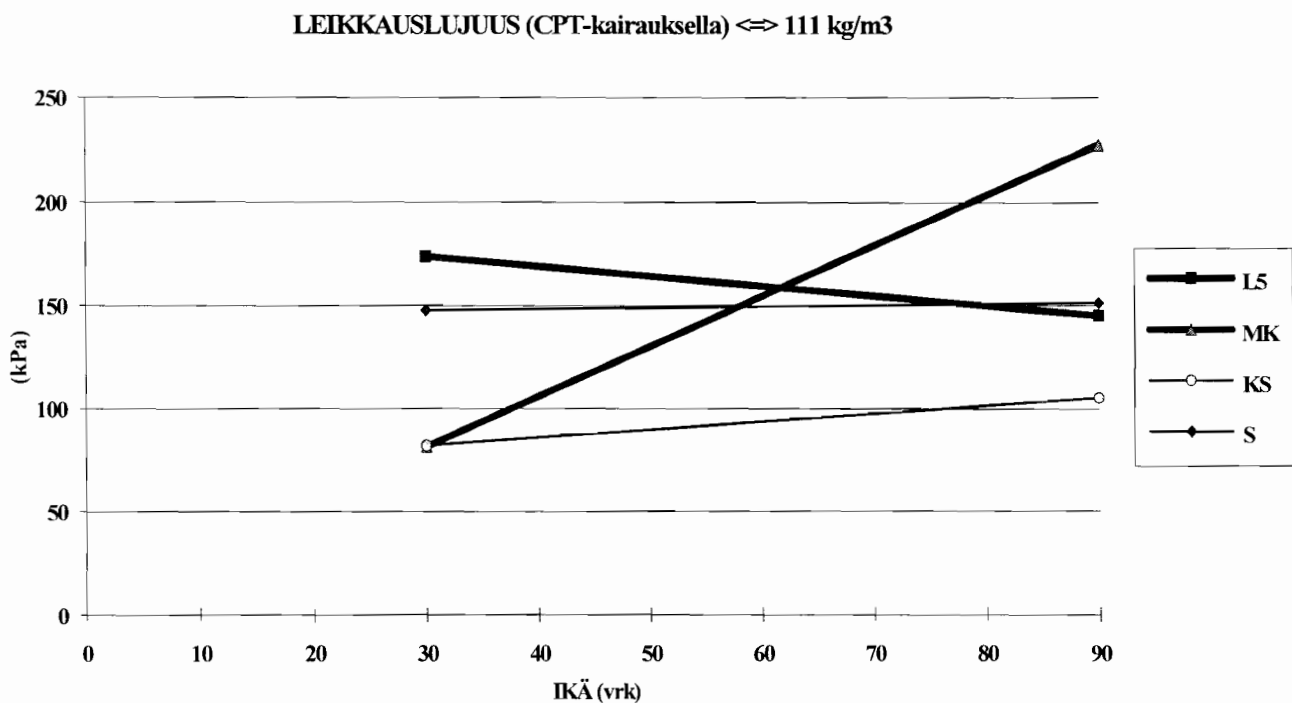
3.3 Leikkauslujuus

3.3.1 Sideaineannostus 111 kg/m^3 ($\varnothing 800 \text{ mm} \Rightarrow 56 \text{ kg/m} \Rightarrow 7 \% \Rightarrow 14 \% \text{ kuiva-aineesta}$)

Lohjapilareilla ja sementtipilareilla lujuuskehitys saavutti huippuarvon jo 30 vuorokaudessa. Kalkkisementtipilareissa tapahtui lujuuden kasvua vielä 30 vrk:n jälkeen. Masuunikuonapilareissa sen sijaan lujuuskehitys tapahtui pääosin 30 vuorokauden jälkeen. Kuvassa 7 on yhteenveto eri sideaineilla saavutetuista pilarikohtaisista leikkauslujuuksista. Stabiloitujen savikerrosten leikkauslujuusarvot on määritetty graafisesti usean samaa pilarityyppiä edustavan pilarin keskiarvokäyrästä. Stabiloidun savikerroksen leikkauslujuus on määritetty siten, että 90 % mittaustuloksista ylittää leikkauslujuusarvon. CPT-kairauksen 2 cm välein tekemistä havainnoista saa siten lujuusarvot olla ainoastaan 10 %. (LIITE 4). Pilarikohtainen leikkauslujuuden arvo on laskettu kaavalla

$$\tau = x - \frac{1}{2} * S \quad (2)$$

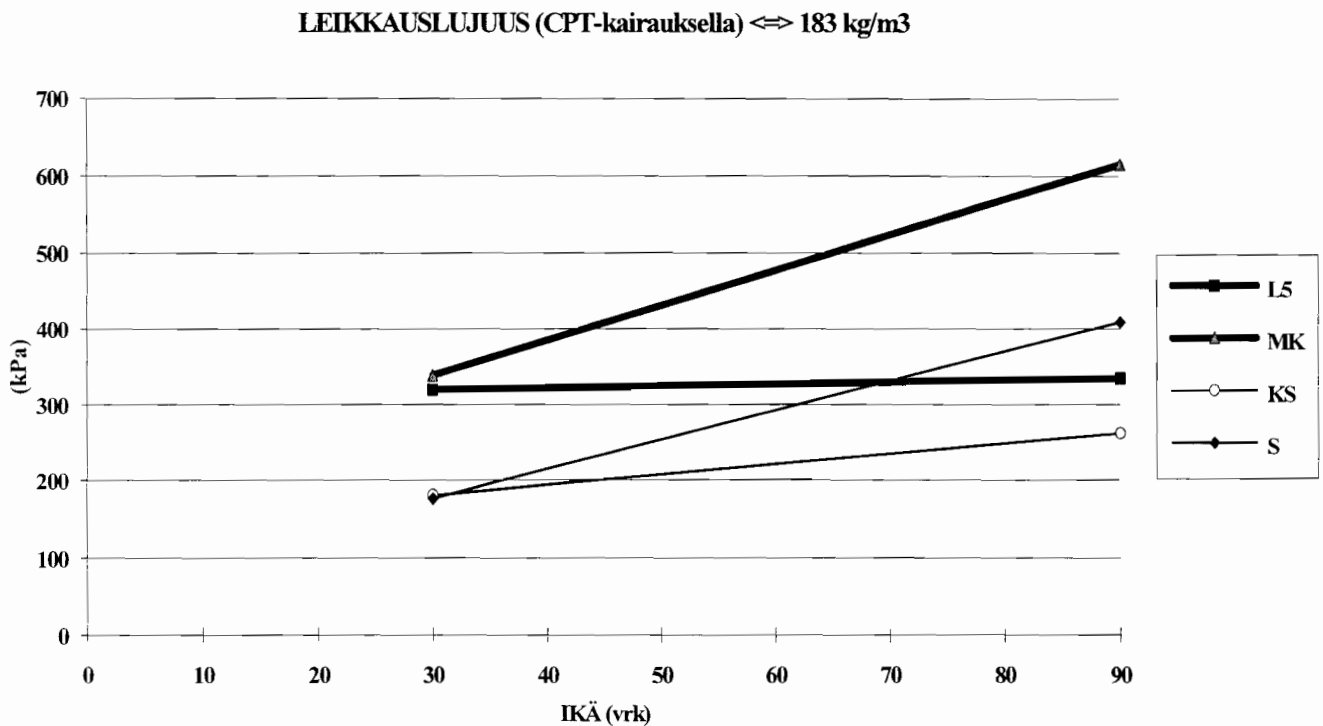
missä τ on pilarikohtainen leikkauslujuus
 x keskiarvo eri savikerrosten leikkauslujuusarvoista
 S savikerrosten leikkauslujuusarvojen hajonta.



Kuva 7. Leikkauslujuudet sideaineannostuksella 111 kg/m^3 ($\varnothing 800 \text{ mm} \Rightarrow 56 \text{ kg/m} \Rightarrow 7 \% \Rightarrow 14 \% \text{ kuiva-aineesta}$).

3.3.2 Sideaineannostus 183 kg/m^3 ($\varnothing 800 \text{ mm} \Rightarrow 92 \text{ kg/m} \Rightarrow 12 \% \Rightarrow 23 \% \text{ kuiva-aineesta}$)

Lohjapilareiden lujuus saavutti huippuarvonsa myös suuremmalla annostuksella jo 30 vuorokaudessa. Masuunikuona- ja sementtipilareissa sen sijaan lujuuskehityksestä noin puolet tapahtui 30 vuorokauden jälkeen. Kalkkisementtipilareissa tapahtui myös lujuuden kasvua 30 vuorokauden jälkeen. Kuvassa 8 on yhteenveto eri sideaineilla saavutetuista pilarikohtaisista leikkauslujuuksista.

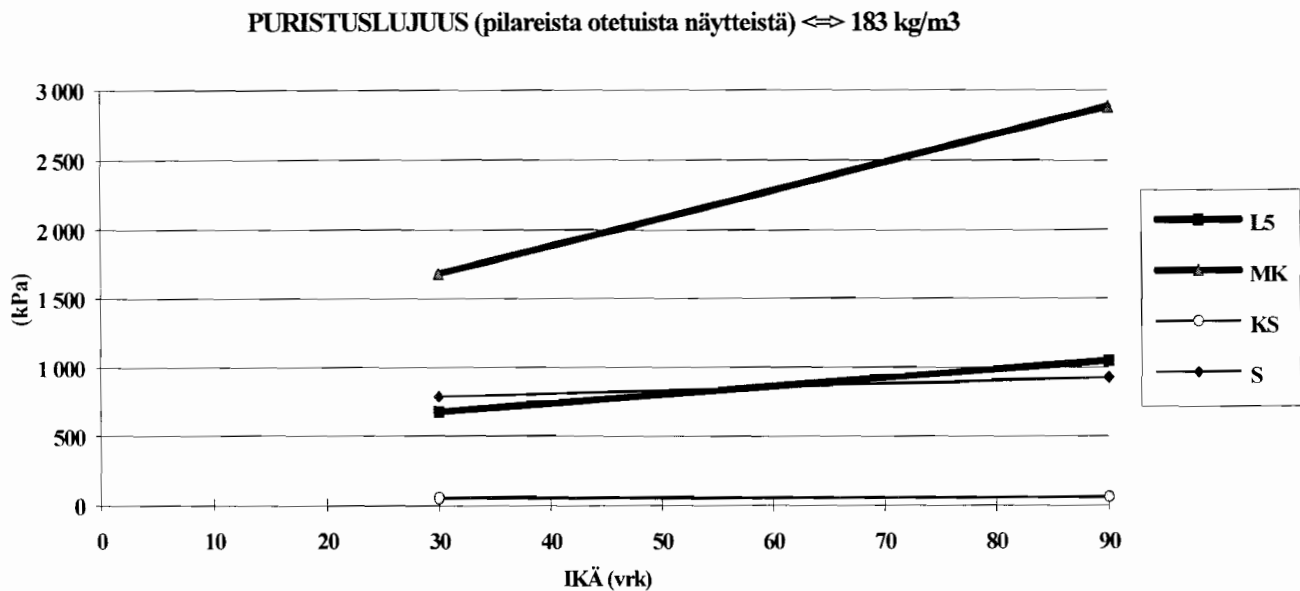


Kuva 8. Leikkauslujuudet sideaineannostuksella 183 kg/m^3 ($\varnothing 800 \text{ mm} \Rightarrow 92 \text{ kg/m} \Rightarrow 12 \% \Rightarrow 23 \% \text{ kuiva-aineesta}$).

Yksityiskohtaiset tiedot leikkauslujuuksista ovat liitteenä (LIITE 4).

3.4 Puristuslujuus

Ehjien näytteiden saaminen pilareista oli hankalaa (kuva 4). Tämän vuoksi luovuttiin 90 vrk:n kohdalla 56 kg/m (111 kg/m³) pilareiden testaamisesta kokonaan. Kuvassa 9 on yhteenveto mitatuista puristusjännityksistä. Tässäkin tapauksessa masuunikuonan lujuuskehitys jatkui 30 vrk:n jälkeen voimakkaana. Lohja- ja sementtipilareissakin näytti olevan lievää puristuslujuuden kasvua 30 vrk:n jälkeen. Sen sijaan kalkkiseментtipilareiden heikot puristuslujuustulokset johtunevat pääosin näytteiden rikkoutumisesta näytteenoton yhteydessä. Kuvassa 9 on yhteenveto eri sideaineilla saavutetuista pilarikohtaisista puristuslujuuksista.



Kuva 9. Puristuslujuus pilareista otetuista näytteistä sideaineannostuksella 183 kg/m³ (Ø 800 mm => 92 kg/m => 12 % => 23 % kuiva-aineesta).

Yksityiskohtaiset tiedot puristuslujuuksista ovat liitteenä (LIITE 5).

3.5 Tulosten vertailu

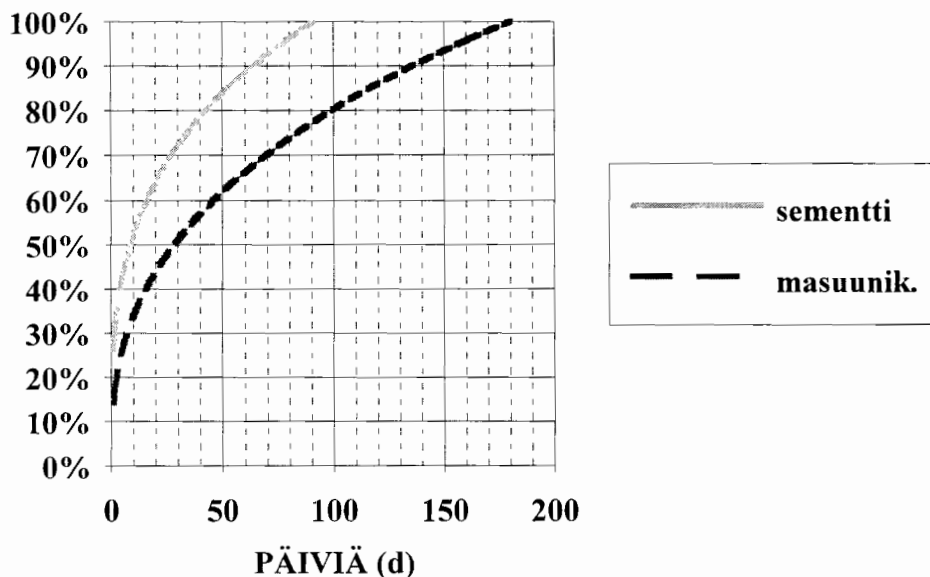
Seuraavassa on verrattu CPT-kairausten, pilareista otettujen näytteiden ja laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden tuloksia toisiinsa. Laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden puristuslujuustulokset on saatu Kukon ja Ruohomäen (1995) tutkimuksesta. Lujuuden kehittymisen ajan funktiona on oletettu tapahtuvan kaavan (3) mukaan masuunikuonalle ja kaavan (4) mukaan sementille (kuva 10)

$$\text{Prosenttia loppulujuudesta (masuunikuona)} = (d/180)^{0,375} \quad (3)$$

$$\text{Prosenttia loppulujuudesta (sementti)} = (d/91)^{0,295} \quad (4)$$

joissa d on pilarin ikä vuorokausissa.

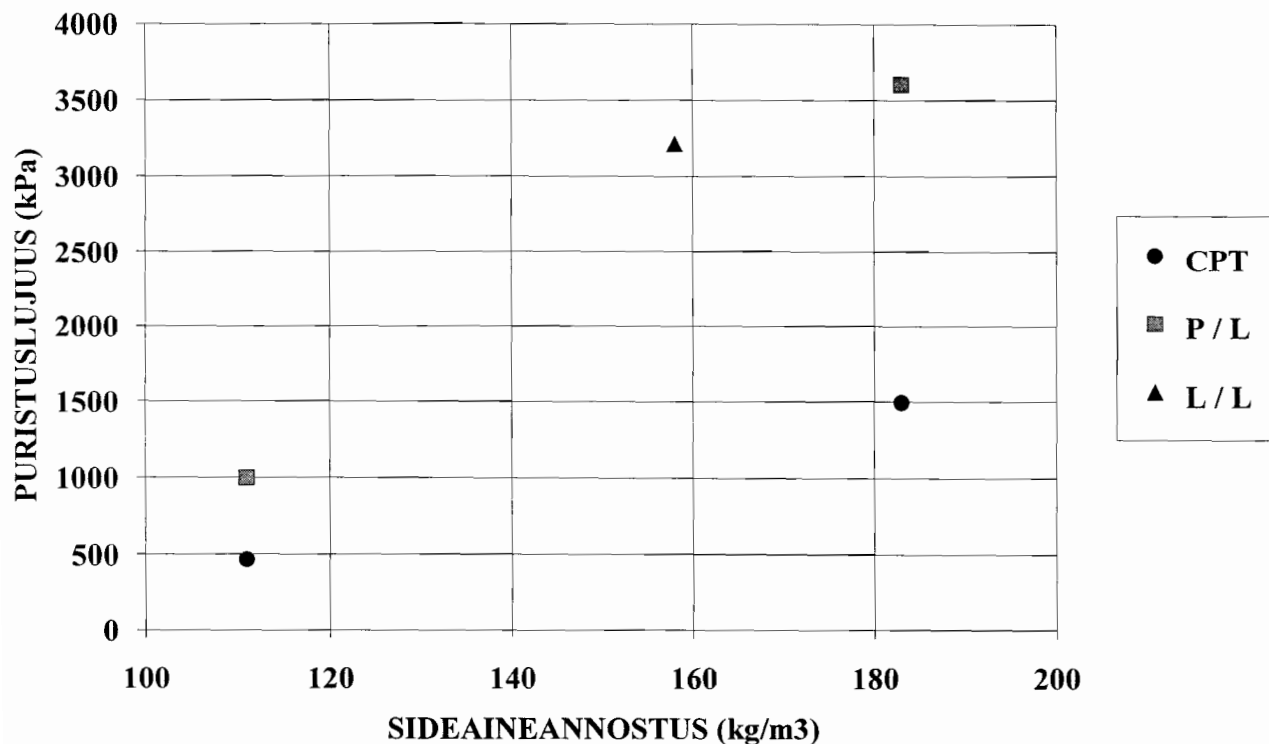
LUJUUDEN KEHITTYMINEN



Kuva 10. Masuunikuona- ja sementtipilareiden oletetut lujittumisfunktiot.

Sekä masuunikuonalla, että sementillä stabiloiduissa savissa saatiin CPT-kairauksilla selvästi pienempiä puristuslujuuden arvoja kuin laboratoriossa puristetuilla näytteillä, olivatpa näytteet sitten valmiista pilareista otettuja tai laboratoriossa valmistettuja (kuvat 11 ja 12). CPT-kairauksella määritetyksi puristuslujuudeksi on oletettu leikkauslujuus kerrottuna kahdella.

MASUUNIKUONAPILAREIDEN PURISTUSLUJUUDET (180 d) ERI MENETELMILLÄ



Kuva 11. Masuunikuonalla stabiloidun saven puristuslujuustulosten vertailu eri testausmenetelmillä

CPT = kairaus

P / L = valmiista pilarista otettu näyte on puristettu laboratoriossa

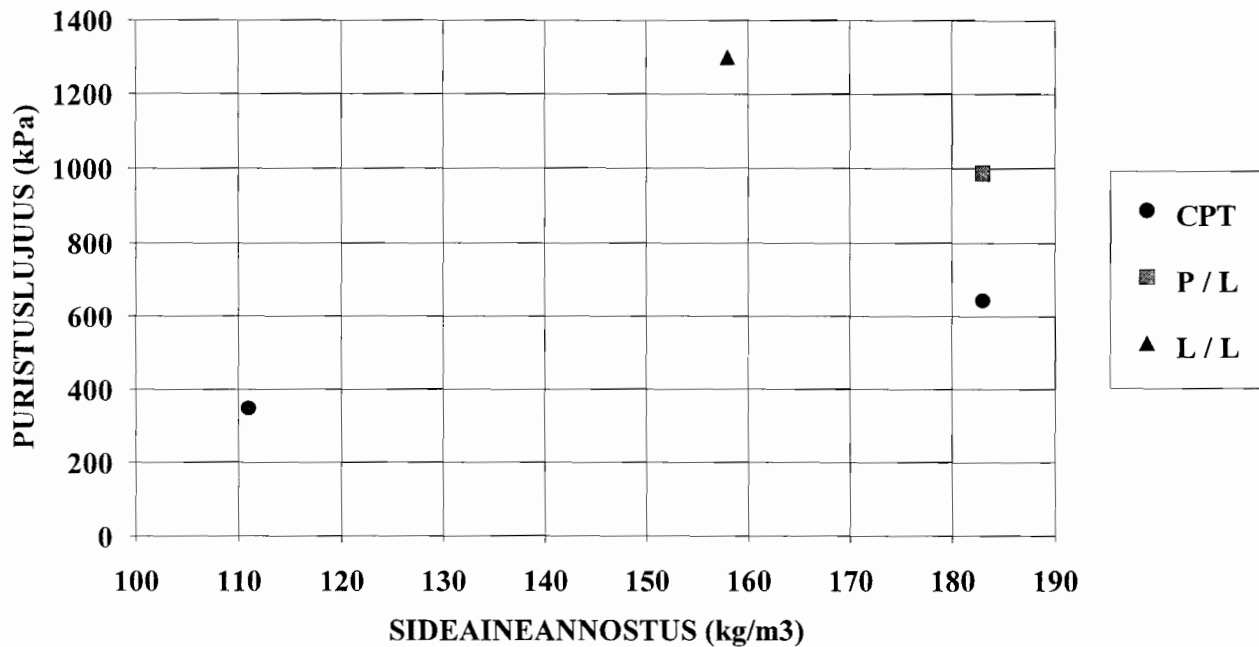
L / L = koekappale on valmistettu ja puristettu laboratoriossa

CPT-kairauksen tulokset kuvaavat pilareiden kokonaislujuuksia, koska pilareiden epähomogeenisuus ja rakoilu tulee tässä testausmenetelmässä parhaiten esille. Ehjiä näytteitä saatiin vain lujimmista osista pilareita, jolloin laboratoriokokeiden tulokset kuvaavat pilareiden parhaiden osien lujuuksia.

CPT-kairauksilla mitatuissa lujuusarvoissa oli myöskin pienempi hajonta kuin pilareista otetuissa ja laboratoriossa mitatuissa lujuuksissa. Tulosten hajonta pieneni CPT-kairauksissa edelleen pilareiden iän kasvaessa. 90 vuorokauden iässä tehtyjen CPT-kairauksen lujuusarvojen hajonta oli jotakuinkin sama kuin saven alkuperäisen lujuuden vaihtelu ($\pm 22\%$). Yksityiskohtaiset tiedot lujuusarvojen vaihteluista ovat liitteenä (LIITE 6).

Sementillä päästiin noin 0,3 ... 0,6 MPa ja masuunikuonalla jopa 0,5 ... 1,5 MPa pilarikohtaisiin puristuslujuuksiin kun sideainetta käytettiin 111 ... 183 kg/m³. Pilarin osien puristuslujuudet olivat sementtipilareissa jopa 1 MPa ja masuunikuonapilareissa peräti 3 MPa.

SEMENTTIPILAREIDEN PURISTUSLUJUUDET (91 d) ERI MENETELMILLÄ



Kuva 12. Sementillä stabiloidun saven puristuslujuustulosten vertailu eri testausmenetelmillä

CPT = kairaus

P / L = valmiista pilarista otettu näyte on puristettu laboratoriossa

L / L = koekappale on valmistettu ja puristettu laboratoriossa

Pilarointikoneessa käytettiin sekä normaalikärkeä (= TERÄ 1 / LIITE 1) että ns. spiraalikärkeä (= TERÄ 2 / LIITE 1). Tämän aineiston pohjalta ei voida luotettavasti todeta kärkien paremmuutta, mutta näyttäisi kuitenkin olevan viitteitä siitä, että spiraalikärjellä saadaan hieman suurempia lujuuksia, erityisesti syvemmällä olevissa kerroksissa.

4 YHTEENVETO

Tässä työssä on testattu Vuosaaren Porslahdentien koealueella neljää eri sideainevaihtoehtoa ja kahta eri annostusta. Sideaineina on käytetty sementin ja kalkkisementtiseoksen lisäksi kahta uudempaa seosta, joista toinen on masuunikuonan ja sementin seos ja toinen tuotenimellä Lohja 5 oleva seos. Tyypillistä viimeksi mainituille seoksille on, että niillä saatetaan päästä maabetonin lujuuksiin. Koepilarit tehtiin 5.-6.9.1994 ja pilarikokona käytettiin Ø 800 mm pilareita. Pilareita on kaikkiaan 96 kappaletta, 24 kutakin neljää sideainetyyppiä. Käytetyt sideainemäärät olivat 56 kg/m (111 kg/m^3) ja 92 kg/m (183 kg/m^3).

Koealue on lähes tasasivuinen kolmio, jonka sivumitta on noin 70 m. Alueen maanpinta vaihtelee tasojen +1,1 ja +1,8 välillä. Pintakerroksena on noin 0,5 m vahvuudelta humusta ja kuivakuorisavea tai kitka-maatäytettä. Pintakerroksen alla on savea, jonka siipikairalla mitattu leikkauslujuus vaihtelee välillä 4 - 39 kPa. Savikerroksen alapinta vaihtelee tasojen -3 ja -5,5 välillä. Savikerros jakaantuu kolmeen osaan, joista ylimpänä on noin metrin vahvuinen osa, jonka leikkauslujuus on yli 20 kPa. Savikerroksen keskiosan leikkauslujuus on selvästi alle 10 kPa. Savikerroksen alimman 0,5 m osalta löytyy jälleen yli 20 kPa leikkauslujuuksia. Pehmeän, leikkauslujuudeltaan 4-9 kPa, savikerroksen paksuus vaihtelee kolmesta viiteen metriin. Saven alla on silttiä ja hiekkaa. Savikerroksen alapuolella olevista kärjistä mitattu pohjavedenpinnan painetaso on ajoittain jopa yli 70 cm maanpinnan yläpuolella.

Pilareista mitattiin leikkauslujuus- ja puristuslujuusarvoja lujittumisajankohtina 30 ja 90 vuorokautta. Leikkauslujuuden määrittäminen perustuu pilareihin tehtyihin CPT-kairauksiin. Lujuusarvot laskettiin yleensä neljän samaa pilarityyppiä ja sekoitussuhdetta edustavan pilarin kairauksista, jotta yksittäiset poikkeamat saatiin eliminoiduiksi. Puristuslujuuden määrittämistä varten pilareista otettiin näytteet, jotka puristettiin aksiaalisesti laboratoriossa. Näytteiden halkaisija oli Ø 56 mm ja korkeus vaihteli välillä 56...110 mm.

Huokosvedenpaine savessa oli ennen pilarointityön alkua jotakuinkin sama kuin pohjavedenpinnan painetaso, toisin sanoen savikerros oli normaalikonsolidoituneessa tilassa. Pilarointityön seurauksena huokosvedenpaine nousi korkeintaan noin 1 metrin. Nousua havaittiin sekä Lohjan sideaineella, että masuunikuonalla tehdyissä kentissä savikerroksen yläosassa ja lisäksi masuunikuonakentässä savikerroksen keski- ja alaosassa. Ylipaineen purkautuminen tapahtui hyvin nopeasti, noin kuukauden kuluessa pilarointityön alkamisesta.

Selvästi eniten lämpöä kehittyi kalkkisementtipilareissa. Suurin mitattu arvo oli + 47,1 °C. Myös jäähtyminen kesti pisimpään kalkkisementtipilareissa, lähelle maalämpöä päästiin noin 2 kuukauden kuluttua pilaroinnista. Seuraavaksi eniten lämpöä kehittyi sementtipilareissa (+27,7 °C), sitten lohjapilareissa (+23,6 °C) ja vähiten masuunikuonapilareissa (+19,8 °C). Maan lämpötila yli 2 metrin syvyydessä on noin +7 °C. Muilla kuin kalkkisementtipilareilla jäähtymiseen kului aikaa noin 3 viikkoa.

Pienemmällä annostuksella (111 kg/m^3) lohja- ja sementtipilareiden leikkauslujuus saavutti huippuarvon jo 30 vuorokaudessa. Kalkkisementtipilareissa tapahtui lujouden kasvua vielä 30 vrk:n jälkeen. Masuunikuonapilareissa sen sijaan lujuskehitys tapahtui pääosin 30 vuorokauden jälkeen.

Lohjapilareiden leikkauslujuus saavutti huippuarvonsa myös suuremmalla annostuksella (183 kg/m^3) jo 30 vuorokaudessa. Masuunikuona- ja sementtipilareissa sen sijaan lujuskehityksestä noin puolet tapahtui 30 vuorokauden jälkeen. Kalkkisementtipilareissa tapahtui myös lujouden kasvua 30 vuorokauden jälkeen.

Ehjien näytteiden saaminen pilareista, laboratoriossa tehtäviä puristuskokeita varten, oli hankalaa. Tämän vuoksi luovuttiin 90 vrk:n kohdalla pienemmällä annostuksella (111 kg/m^3) tehtyjen pilareiden testaamisesta kokonaan. Tässäkin tapauksessa masuunikuonan lujuuskehitys jatkui 30 vrk:n jälkeen voimakkaana. Lohja- ja sementtipilareissakin näytti olevan lievää puristuslujuuden kasvua 30 vrk:n jälkeen. Sen sijaan kalkkisementtipilareiden heikot puristuslujuustulokset johtunevat pääosin näytteiden rikkoutumisesta näytteenoton yhteydessä. Tämän tutkimuksen perusteella timanttinäytteenotin soveltuu ainoastaan huomattavan lujien pilareiden näytteenottoon.

CPT-kairauksilla saatiin selvästi pienempiä puristuslujuuden arvoja kuin laboratoriossa tehdyillä kokeilla, olivatpa näytteet sitten valmiista pilareista otettuja tai laboratoriossa valmistettuja. CPT-kairauksella määritetyksi puristuslujuudeksi on oletettu leikkauslujuus kerrottuna kahdella. CPT-kairausten tulokset kuvaavat pilareiden kokonaislujuuksia, koska pilareiden epähomogeenisuus ja rakoilu tulee tässä testausmenetelmässä parhaiten esille. Laboratoriokokeiden tulokset kuvaavat pilarin parhaiten osien lujuuksia. CPT-kairauksilla mitatuissa lujuusarvoissa oli myöskin pienempi hajonta kuin pilareista otetuissa ja laboratoriossa mitatuissa lujuuksissa. Tulosten hajonta pieneni CPT-kairauksissa edelleen pilareiden iän kasvaessa. 90 vuorokauden iässä tehtyjen CPT-kairausten lujuusarvojen hajonta oli jotakuinkin sama kuin saven alkuperäisen lujuuden vaihtelu ($\pm 22\%$).

Voidaan pitää varsin rohkaisevana sitä, että sementillä päästiin noin $0,3 \dots 0,6 \text{ MPa}$ ja masuunikuonalla jopa $0,5 \dots 1,5 \text{ MPa}$ pilarikohtaisiin puristuslujuuksiin kun sideainetta käytettiin $111 \dots 183 \text{ kg/m}^3$. Pilarin osien puristuslujuudet olivat sementtipilareissa jopa 1 MPa ja masuunikuonapilareissa peräti 3 MPa .

Pilarointikoneessa käytettiin sekä normaalikärkeä että ns. spiraalikärkeä. Tämän aineiston pohjalta ei voida luotettavasti todeta kärkien paremmuutta, mutta näyttäisi kuitenkin olevan viitteitä siitä, että spiraalikärjellä saadaan hieman suurempia lujuuksia, erityisesti syvemmällä olevissa kerroksissa.

5 JATKOTUTKIMUSTARPEET

Tämän tutkimuksen aineisto perustuu yhdellä koealueella (Vuosaari / Porslahdentie) tehtyihin kokeisiin. Vastaavia tutkimuksia tulisi tehdä lisää erilaisissa pohjaolosuhteissa. Tähän tutkimukseen valitut neljä sideainevaihtoehtoa ja kaksi annostusta perustuivat samalta alueelta aikaisemmin tehtyihin laboratoriokokeisiin. Toisenlaisille savikoille löytyy todennäköisesti muita reseptejä ja annostuksia, joilla niissä päästään optimaaliseen lujuuteen.

Koepilareita tehtiin yhteensä 96 kpl, jota voidaan yleisesti ottaen pitää melko suurena määränä. Kun otetaan kuitenkin huomioon, että sideainetyyppejä oli neljä, annostuksia kaksi ja tutkittuja lujittumisajan kohtia kaksi, jää kutakin tutkittavaa ominaisuutta varten kuusi pilaria. Tilastollisen luotettavuuden varmistamiseksi olisi määrää vielä lisättävä. Tästä johtuen jäi kahden vertailtavan sekoituskärjen vaikutusten selvittäminen tällä kertaa puutteelliseksi.

Lujuuden kehittymisen seuranta stabiloiduissa pilareissa ajan funktiona perustuu tässä työssä kahtena ajankohtana tehtyihin kokeisiin. Lujuuden ja ajan välistä riippuvuutta tulisi selvittää lisää. Koska koealueelle tehdyistä pilareista joitakin jäi testaamatta, voitaisiin niidenkin avulla varmistaa pitkän ajan loppulujuutta tässä kohteessa.

Näytteiden ottamisen vaikeus valmiista pilareista johtui osittain käytetystä näytteenottotekniikasta, ja siihen on jo tehtykin parannuksia tämän työn jälkeen. Mahdollisimman jatkuvien ja edustavien näytteiden saamiseksi näytteenottotekniikkaa tulisi kuitenkin edelleen kehittää.

Lujuuden määrittämisessä käytettiin kolmea erityyppistä menetelmää (laboratoriossa valmistettu ja testattu näyte, valmiista pilarista otettu ja laboratoriossa testattu näyte sekä valmiin pilarin kairaaminen). Eri menetelmien kehittämiseen ja tulosten keskinäiseen vertailuun on syytä panostaa lisää.

Tähän työhön valittu koealue on kaavoitettu puistokäyttöön. Mikäli uusia ideoita tämän tyyppisille alueelle soveltuvista paremmista stabilointiresepteistä löytyy, olisi niitä mahdollista testata tällä samalla alueella.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- Karlstedt P., Halkola H. (1993). Ylijäämäsavien massastabilointi. [Bulk stabilization of surplus clays]. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, Tiedote 61. 70 s. + liitt. 2 s.
- Kukko H., Ruohomäki J. (1995). Savien stabilointi eri sideaineilla. [Stabilization of clays with various binders]. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1682. 39 s. + liitt.. 70 s.
- Rekonen R., Halkola H., (1994). Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla. [Improving of properties of clays with bulk stabilization]. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto, geotekninen osasto, Tiedote 64. 69 s. + liitt. 2s.

TIEDOSTO

w:\ilkkka\word\4826_610.doc

TULOSTUSPÄIVÄMÄÄRÄ

24.10.96

VTT, PORSLAHDENTIE

Päivämäärä	Kello	Alue	Pilari n:o	Syvyys m	Pituus m	Kalkki kg/m	Kalkki kg	Vaaka kg	Kulj.
TERÄ1									
1994-09-05	07:50	L	1	6.59	5.88	92.38	543	6280	OH
1994-09-05	07:58	L	2	6.50	5.92	91.32	541	5729	OH
1994-09-05	08:03	L	3	6.54	5.90	90.85	536	5180	OH
1994-09-05	08:09	L	4	6.51	5.75	92.03	529	4637	OH
1994-09-05	08:15	L	5	6.52	5.90	91.40	539	4100	OH
1994-09-05	08:20	L	6	6.51	5.87	92.04	540	3552	OH
TERÄ 1									
1994-09-05	08:30	L	7	6.46	5.80	55.99	325	3005	OH
1994-09-05	08:35	L	8	6.45	5.77	56.31	325	2670	OH
1994-09-05	08:38	L	9	6.28	5.73	55.64	319	2336	OH
1994-09-05	08:42	L	10	6.06	5.37	55.52	298	2007	OH
1994-09-05	08:48	L	11	6.05	5.46	55.29	302	1702	OH
1994-09-05	08:51	L	12	6.10	5.46	55.12	301	1395	OH
TERÄ 2									
1994-09-05	09:44	L	13	6.06	5.38	55.63	299	5154	OH
1994-09-05	09:48	L	14	6.07	5.51	55.59	306	4850	OH
1994-09-05	09:52	L	15	6.00	5.35	54.98	294	4540	OH
1994-09-05	09:56	L	16	6.13	5.45	54.31	296	4242	OH
1994-09-05	10:00	L	17	6.02	5.44	54.63	297	3941	OH
1994-09-05	10:10	L	18	6.09	5.59	55.13	308	3643	OH
TERÄ 2									
1994-09-05	10:18	L	19	6.15	5.53	89.97	498	3331	OH
1994-09-05	10:24	L	20	6.16	5.52	90.35	499	2829	OH
1994-09-05	10:28	L	21	6.31	5.59	91.41	511	2328	OH
1994-09-05	10:34	L	22	6.22	5.61	89.71	503	1810	OH
1994-09-05	10:39	L	23	6.17	5.51	90.84	501	1303	OH
1994-09-05	10:44	L	24	6.27	5.89	90.54	533	796	OH
TERÄ 2									
1994-09-05	12:13	MK	16	6.57	5.59	56.35	315	6165	OH
1994-09-05	12:28	MK	15	6.32	5.99	55.28	331	5847	OH
1994-09-05	12:33	MK	14	6.68	6.25	55.17	345	5513	OH
1994-09-05	12:38	MK	13	6.82	6.30	54.72	345	5163	OH
1994-09-05	12:44	MK	17	6.87	6.35	55.77	354	4814	OH
1994-09-05	12:49	MK	18	6.84	6.33	54.83	347	4455	OH
TERÄ 2									
1994-09-05	13:01	MK	19	6.82	6.18	90.54	560	4107	OH
1994-09-05	13:07	MK	20	6.73	6.03	91.12	549	3542	OH
1994-09-05	13:13	MK	21	6.66	6.05	91.39	553	2989	OH
1994-09-05	13:18	MK	22	6.91	6.19	90.28	559	2431	OH
1994-09-05	13:24	MK	23	6.70	6.06	91.21	553	1866	OH
1994-09-05	13:30	MK	24	6.85	6.27	91.36	573	1306	OH
TERÄ 1									
1994-09-05	14:14	MK	1	6.61	6.08	91.39	556	6395	OH
1994-09-05	14:22	MK	2	6.72	6.29	91.10	573	5832	OH
1994-09-05	14:27	MK	3	6.78	6.12	91.61	561	5253	OH
1994-09-05	14:33	MK	4	6.74	6.18	90.95	562	4687	OH
1994-09-05	14:39	MK	5	6.68	6.19	91.32	565	4118	OH
1994-09-05	14:46	MK	6	6.74	6.19	91.39	566	3545	OH
TERÄ 1									
1994-09-05	14:57	MK	7	6.78	6.30	55.72	351	2970	OH
1994-09-05	15:01	MK	8	6.84	6.43	55.18	355	2611	OH
1994-09-05	15:05	MK	9	6.84	6.44	55.43	357	2249	OH
1994-09-05	15:10	MK	10	6.82	6.30	55.70	351	1885	OH
1994-09-05	15:14	MK	11	6.71	6.16	55.68	343	1527	OH
1994-09-05	15:18	MK	12	7.01	6.55	55.75	365	1175	OH

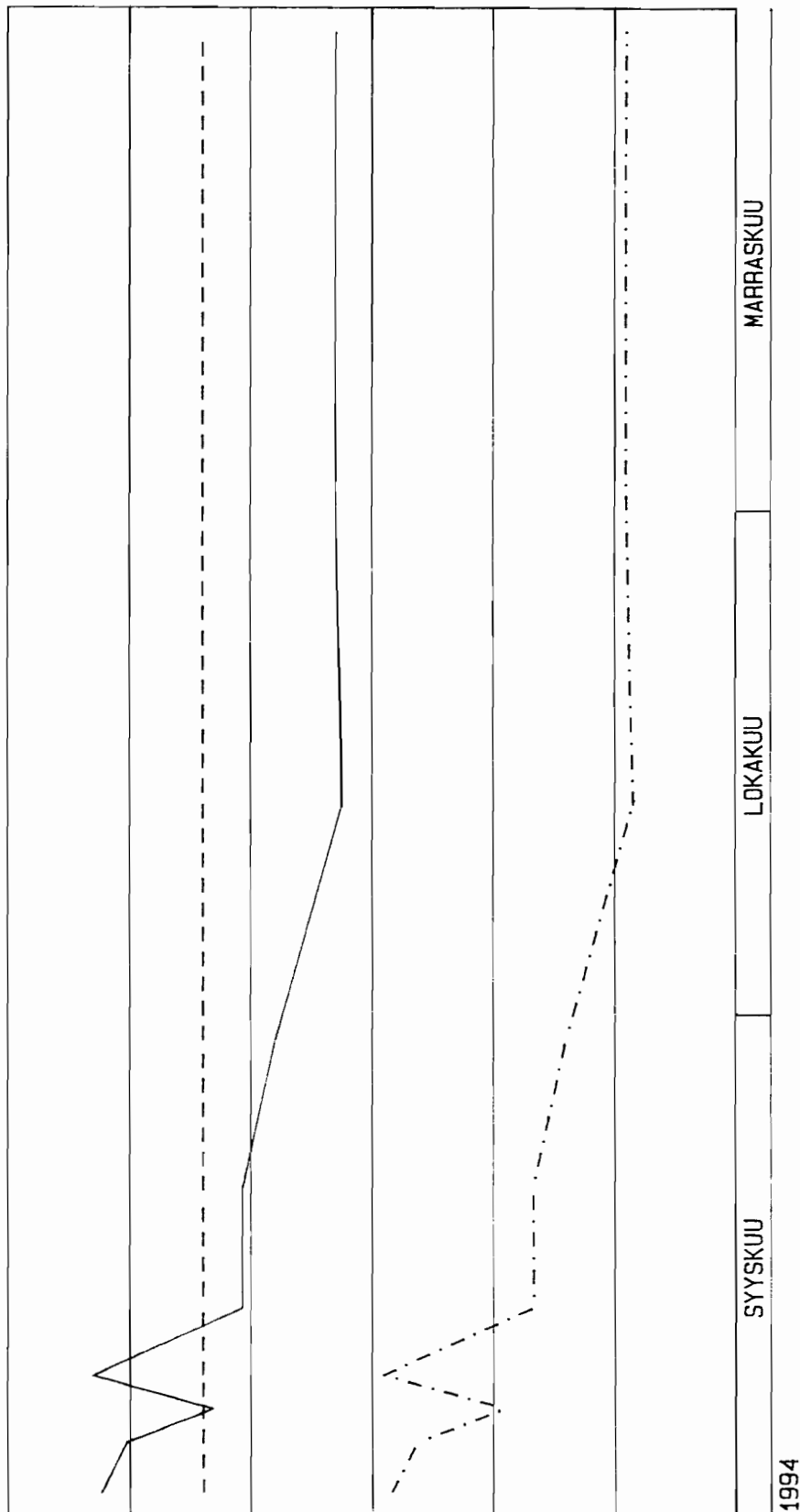
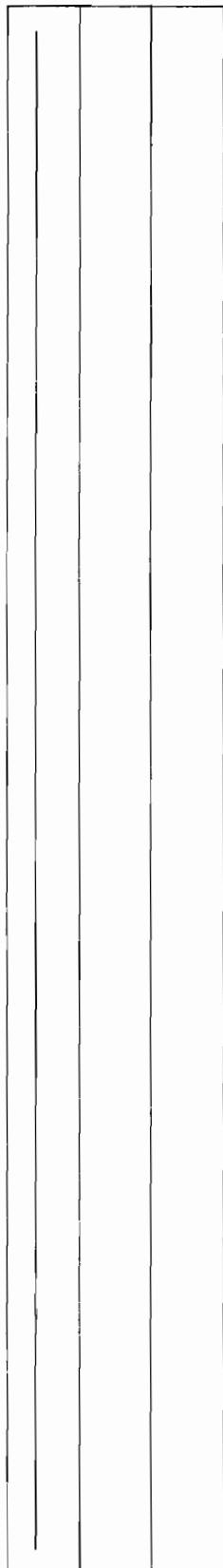
VTT, PORSLAHDENTIE

Päivämäärä	Kello	Alue	Pilari n:o	Syvyys m	Pituus m	Kalkki kg/m	Kalkki kg	Vaaka kg	Kulj.
TERÄ 1									
1994-09-06	06:46	KS	1	6.87	6.42	90.99	584	6551	OH
1994-09-06	06:52	KS	2	6.71	6.29	91.00	572	5959	OH
1994-09-06	06:59	KS	3	6.64	6.18	91.59	566	5382	OH
1994-09-06	07:04	KS	4	6.76	6.25	91.88	574	4808	OH
1994-09-06	07:11	KS	5	6.74	6.28	91.04	572	4227	OH
1994-09-06	07:17	KS	6	6.76	6.31	91.30	576	3650	OH
TERÄ 1									
1994-09-06	07:25	KS	7	6.87	6.53	55.58	363	3066	OH
1994-09-06	07:30	KS	8	7.08	6.69	55.59	372	2700	OH
1994-09-06	07:34	KS	9	6.90	6.43	55.63	358	2324	OH
1994-09-06	07:39	KS	10	7.15	6.63	55.96	371	1962	OH
1994-09-06	07:43	KS	11	6.80	6.43	55.51	357	1590	OH
1994-09-06	07:48	KS	12	6.77	6.38	55.51	354	1227	OH
TERÄ 2									
1994-09-06	08:20	KS	13	6.87	6.40	55.96	358	6245	OH
1994-09-06	08:24	KS	14	6.83	6.34	55.22	350	5881	OH
1994-09-06	08:29	KS	15	6.74	6.29	55.51	349	5529	OH
1994-09-06	08:33	KS	16	6.66	6.25	55.82	349	5172	OH
1994-09-06	08:37	KS	17	6.79	6.38	55.16	352	4801	OH
1994-09-06	08:42	KS	18	6.56	6.14	56.03	344	4451	OH
TERÄ 2									
1994-09-06	09:12	KS	19	6.85	6.30	92.09	580	4117	OH
1994-09-06	09:18	KS	20	6.83	6.29	91.79	577	3533	OH
1994-09-06	09:23	KS	21	6.74	6.30	91.00	573	2951	OH
1994-09-06	09:29	KS	22	6.70	6.21	90.70	563	2373	OH
1994-09-06	09:35	KS	23	6.80	6.16	91.93	566	1804	OH
1994-09-06	09:40	KS	24	6.84	6.26	91.18	571	1233	OH
TERÄ 2									
1994-09-06	10:16	S	13	4.91	4.45	55.51	247	6158	OH
1994-09-06	10:19	S	14	5.05	4.64	54.35	252	5905	OH
1994-09-06	10:23	S	15	4.98	4.63	54.43	252	5650	OH
1994-09-06	10:26	S	16	5.10	4.66	54.90	256	5392	OH
1994-09-06	10:29	S	17	5.05	4.62	56.71	262	5129	OH
1994-09-06	10:33	S	18	5.06	4.62	56.10	259	4864	OH
TERÄ 2									
1994-09-06	10:39	S	19	5.14	4.70	90.14	424	4601	OH
1994-09-06	10:44	S	20	4.18	3.79	91.72	348	4173	OH
1994-09-06	10:48	S	21	4.13	3.78	90.74	343	3818	OH
1994-09-06	10:52	S	22	4.26	3.88	91.75	356	3473	OH
1994-09-06	10:57	S	23	4.36	4.00	91.50	366	3114	OH
1994-09-06	11:01	S	24	4.19	3.77	91.97	347	2739	OH
TERÄ 1									
1994-09-06	11:50	S	1	4.48	4.11	91.53	376	5246	OH
1994-09-06	11:55	S	2	4.56	4.19	91.50	383	4864	OH
1994-09-06	11:59	S	3	4.60	4.14	91.59	379	4473	OH
1994-09-06	12:04	S	4	4.78	4.38	90.64	397	4088	OH
1994-09-06	12:08	S	5	4.52	4.17	91.37	381	3686	OH
1994-09-06	12:13	S	6	4.76	4.30	91.46	393	3297	OH
TERÄ 1									
1994-09-06	12:19	S	7	4.86	4.46	55.80	249	2904	OH
1994-09-06	12:23	S	8	4.82	4.45	55.98	249	2651	OH
1994-09-06	12:26	S	9	4.80	4.40	55.42	244	2397	OH
1994-09-06	12:29	S	10	4.72	4.38	55.91	245	2147	OH
1994-09-06	12:33	S	11	4.84	4.55	54.91	250	1896	OH
1994-09-06	12:36	S	12	5.06	4.64	55.60	258	1641	OH

LOHJA 5 BAT1 1 X 23660.8 Y 61265 asennustaso -1.20

MAANPINTA

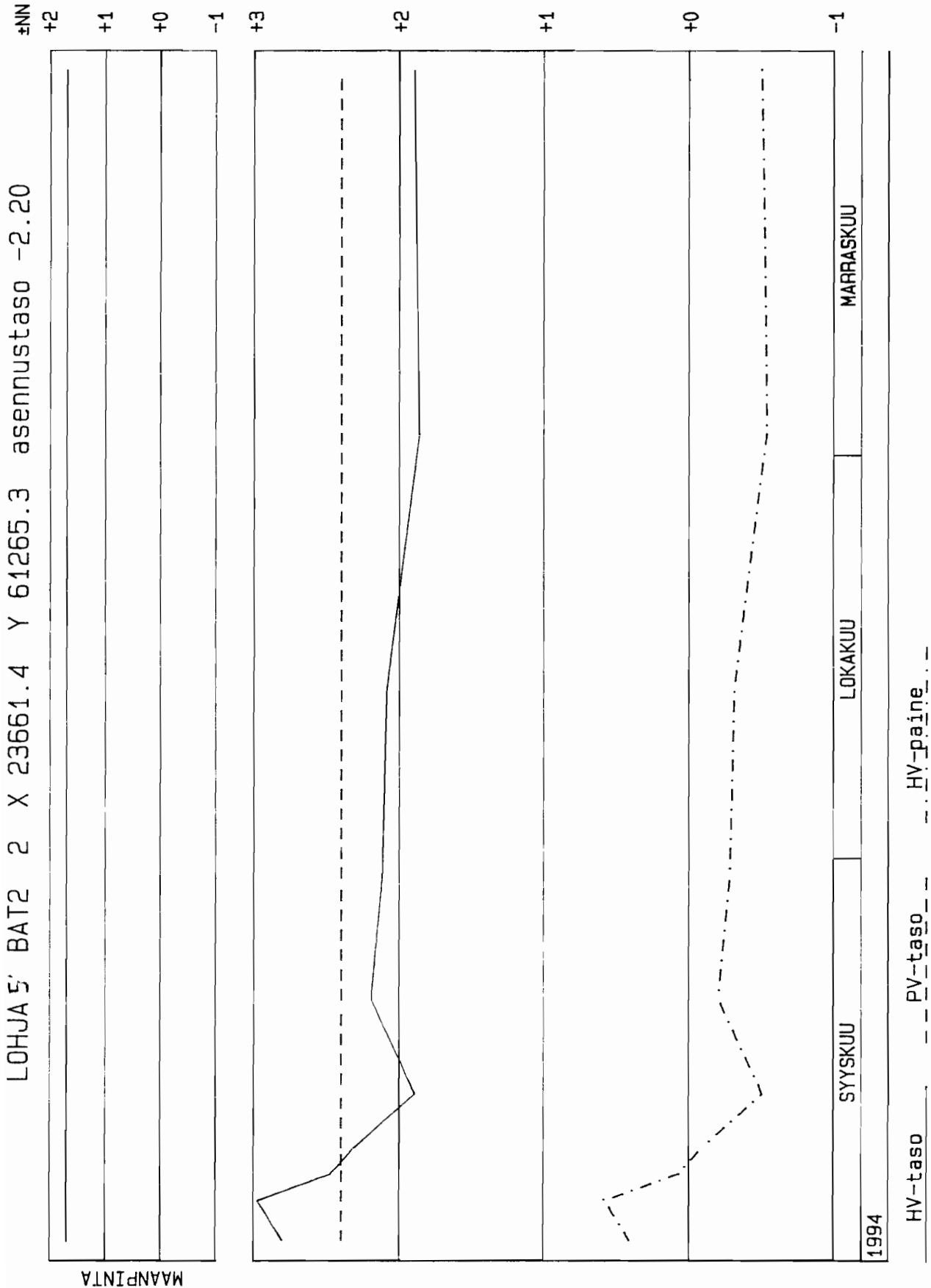
+NN
+2
+1
+0
-1
+4
+3
+2
+1
+0
-1
-2



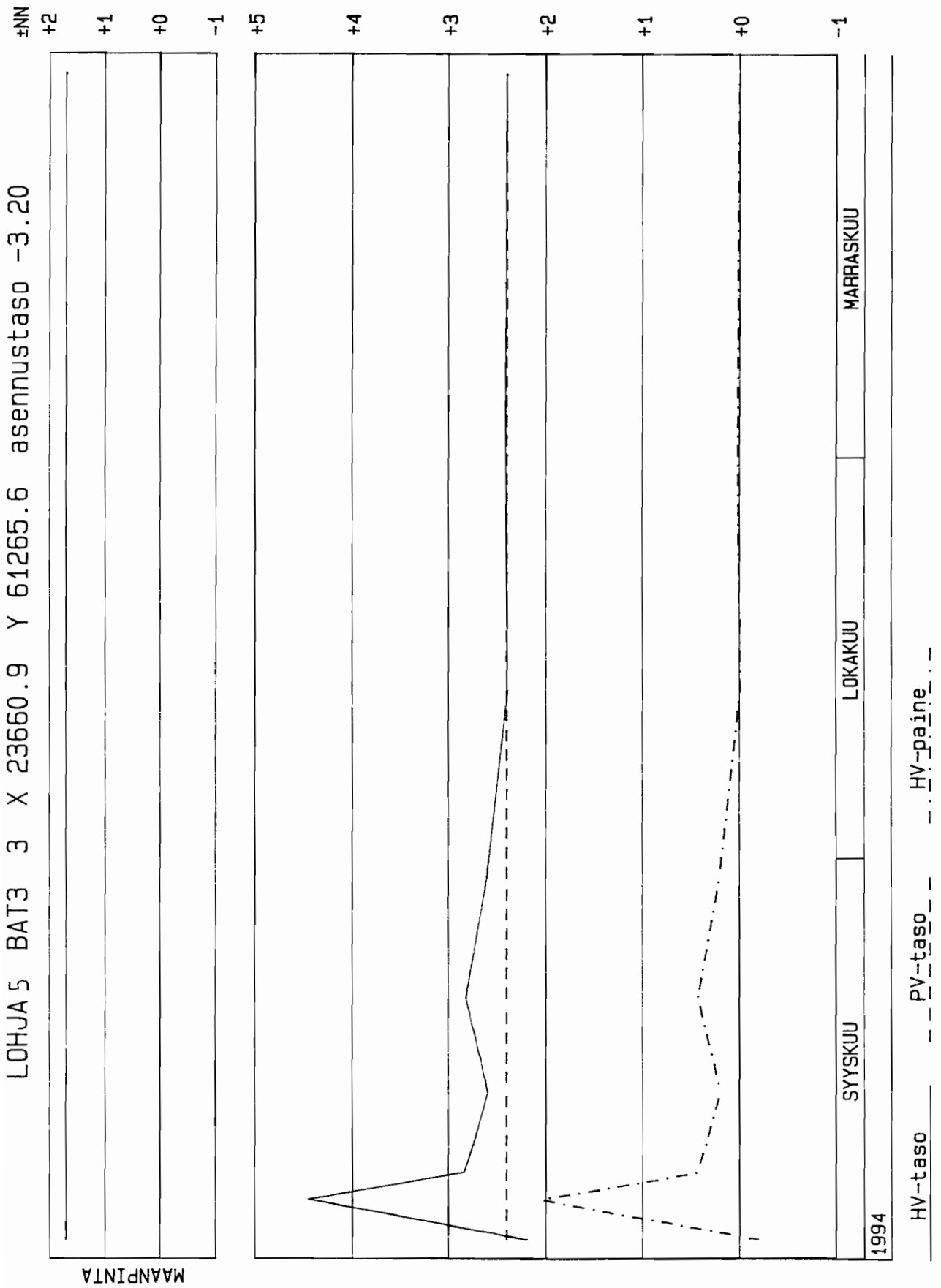
HV-taso PV-taso HV-paine

HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE	Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO	4826
	PVM.	29.11.1994		TUTK.	
	SUUNN.			TARK.	

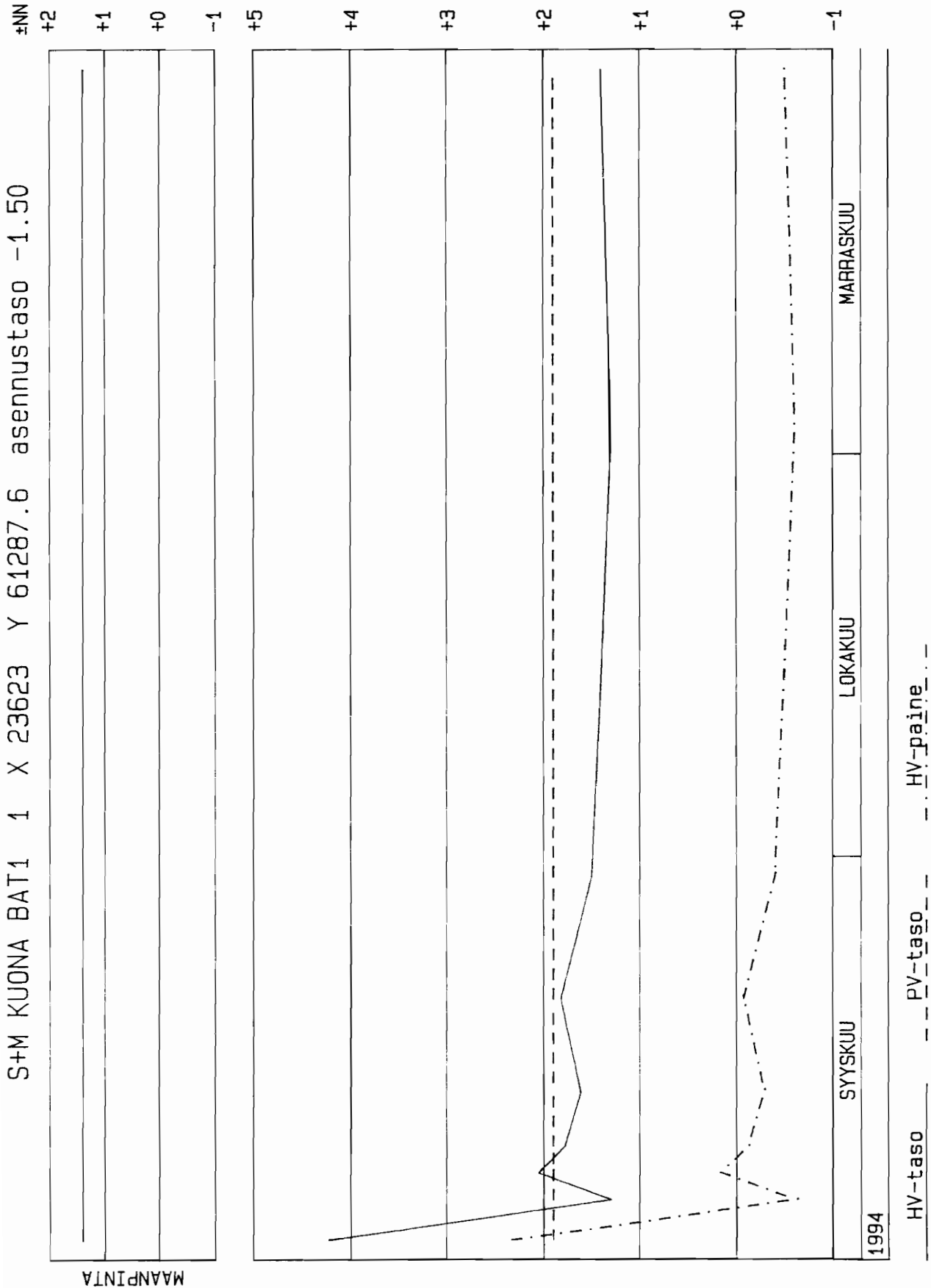
HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO 4826
	VUOSAAREN KOESTABILOINTI		
	PVM. 29.11.1994	TUTK.	
	SUUNN.	TARK.	



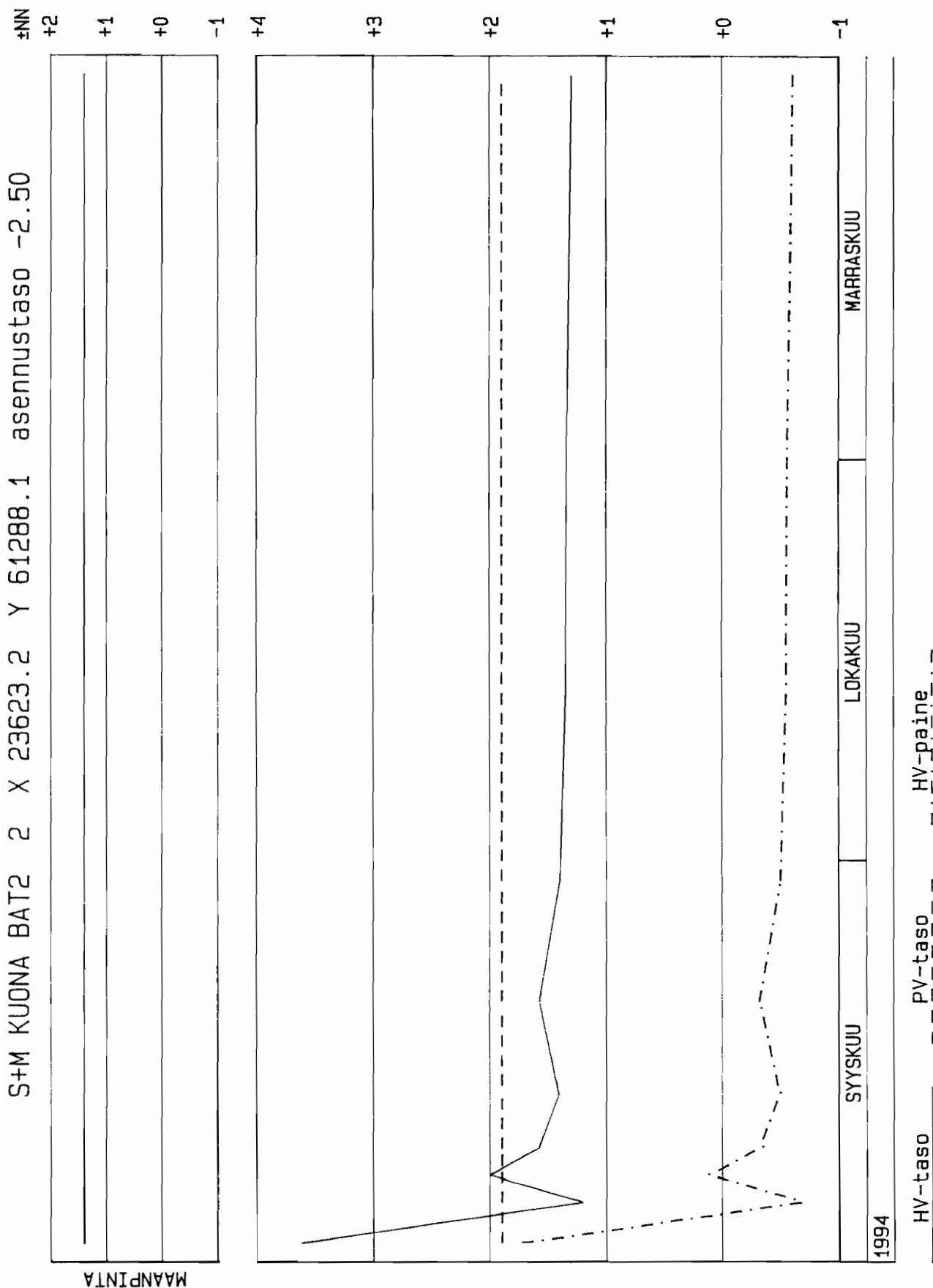
HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE	Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO	4826
	VUOSAAREN KOESTABILOINTI				
	PVM.	29.11.1994		TUTK.	
	SUUNN.			TARK.	



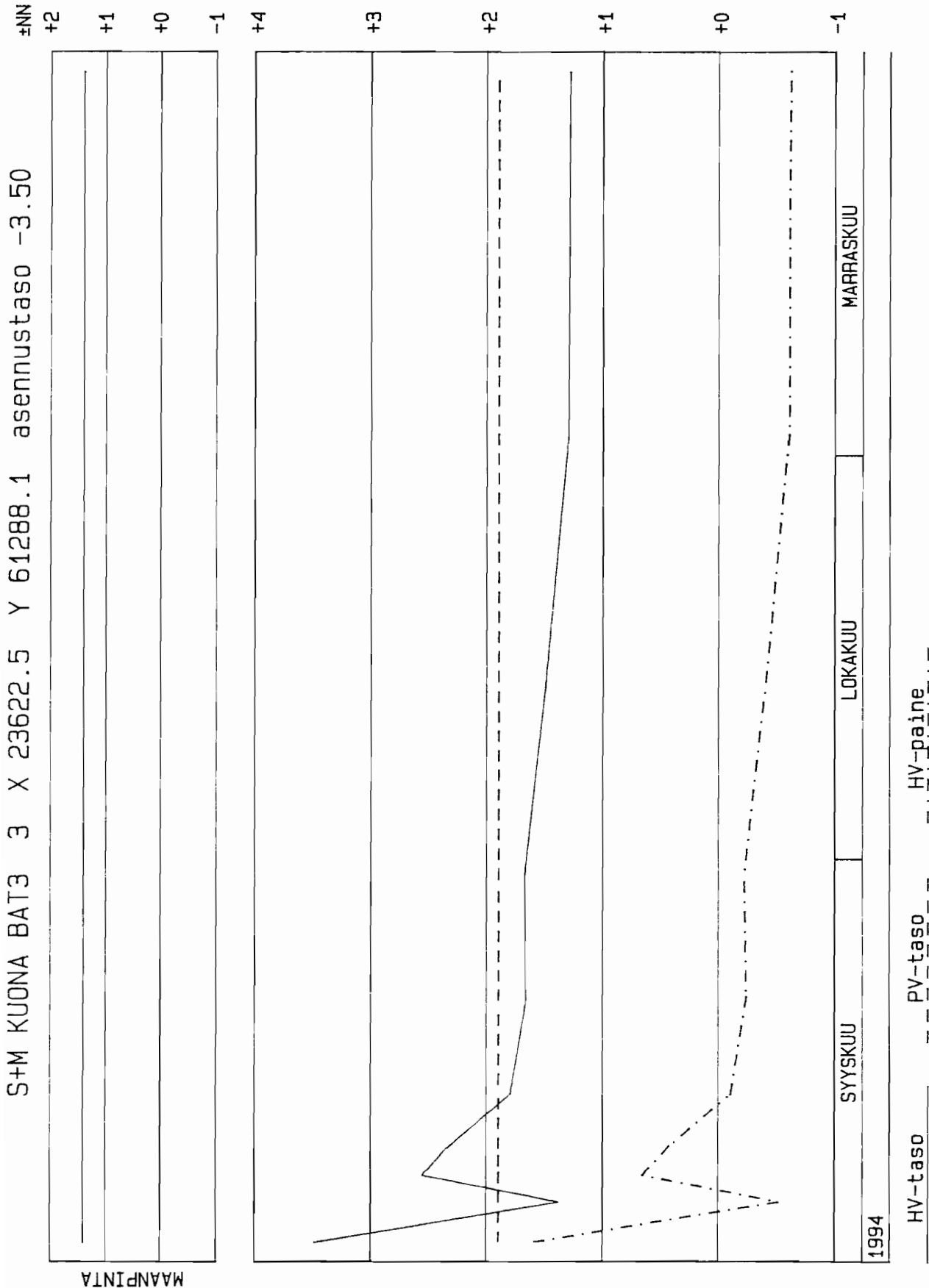
HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO 4826
	VUOSAAREN KOESTABILOINTI		
	PVM. 29.11.1994	TUTK.	
	SUUNN.	TARK.	



HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO 4826
	VUOSAAREN KOESTABILOINTI		
	PVM. 29.11.1994	TUTK.	
	SUUNN.	TARK.	



HELSINGIN KAUPUNKI GEOTEKNINEN OSASTO HUOKOSVESIMITTAUS	KOHDE Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto		TNO 4826
	VUOSAAREN KOESTABILOINTI		
	PVM. 29.11.1994	TUTK.	
	SUUNN.	TARK.	



LÄMPÖTILAT PILAREISSA (°C)

Lohja 5

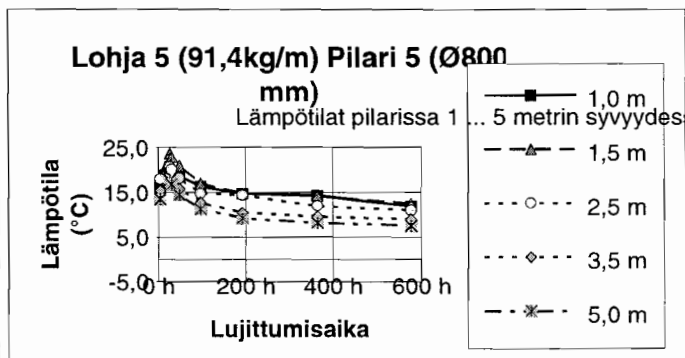
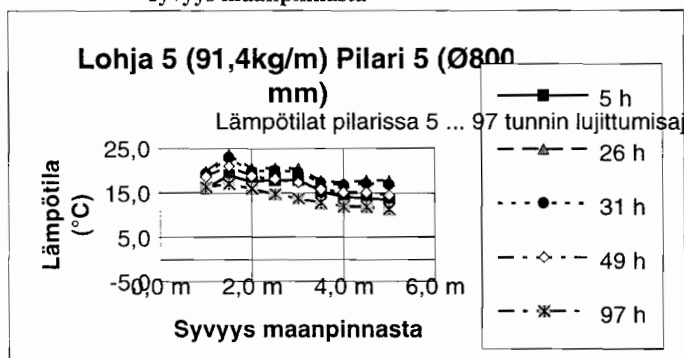
(91,4kg/m)

Pilari 5

(Ø800 mm)

	5.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
5.9.94 8:15	5 h	26 h	31 h	49 h	97 h	192 h	365 h	576 h	916 h	1396 h	2044 h	23,6
1,0 m	16,1	19,7	19,2	18,6	16,3	14,6	14,3	11,8	9,7	7,2	4,7	19,7
1,5 m	18,9	23,6	22,9	21,0	17,0	14,7	14,1	12,4	7,9	8,7	5,7	23,6
2,0 m	17,5	20,4	19,8	18,7	15,9	13,7	13,1	11,7	7,7	10,1	7,6	20,4
2,5 m	17,9	20,6	20,0	18,1	14,7	14,3	11,9	10,9	7,2	10,7	8,8	20,6
3,0 m	17,9	20,4	19,6	17,3	13,7	11,3	10,6	9,9	7,9	10,7	9,3	20,4
3,5 m	15,3	17,7	17,3	15,8	12,7	10,4	9,6	9,0	10,0	10,2	9,1	17,7
4,0 m	14,1	17,3	16,7	15,1	11,9	9,8	9,1	8,6	10,5	9,2	8,7	17,3
4,5 m	13,7	17,8	17,1	15,1	11,8	9,4	9,2	7,9	11,8	8,4	8,2	17,8
5,0 m	13,4	17,7	16,8	14,4	11,2	9,2	8,2	7,5	11,3	8,0	7,7	17,7

syvyys maanpinnasta



Lohja 5

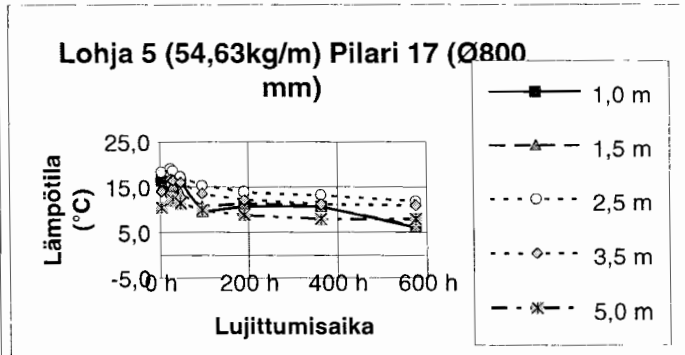
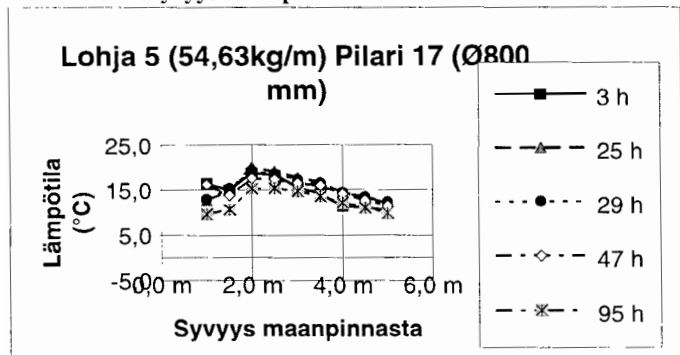
(54,63kg/m)

Pilari 17

(Ø800 mm)

	5.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
5.9.94 10:00	3 h	25 h	29 h	47 h	95 h	191 h	363 h	575 h	914 h	1394 h	2042 h	20,2
1,0 m	16,4	12,7	12,9	16,2	9,6	10,7	10,7	6,1				16,4
1,5 m	15,0	14,8	15,3	13,8	10,7	11,4	10,8	6,3				15,3
2,0 m	18,8	20,2	19,2	17,6	15,3	13,9	13,1	10,9				20,2
2,5 m	18,3	19,1	18,6	17,3	15,4	13,9	13,2	11,8				19,1
3,0 m	15,6	17,7	17,3	16,5	14,7	13,3	12,4	11,8				17,7
3,5 m	14,1	16,7	16,5	16,0	13,6	12,2	11,2	10,9				16,7
4,0 m	11,4	14,3	14,4	14,1	12,2	10,7	9,7	9,7				14,4
4,5 m	11,1	13,5	13,4	12,7	11,1	9,6	8,4	8,8				13,5
5,0 m	10,4	12,0	12,3	11,5	9,9	8,8	7,9	7,9				12,3

syvyys maanpinnasta



LÄMPÖTILAT PILAREISSA (°C)

Masuunik.

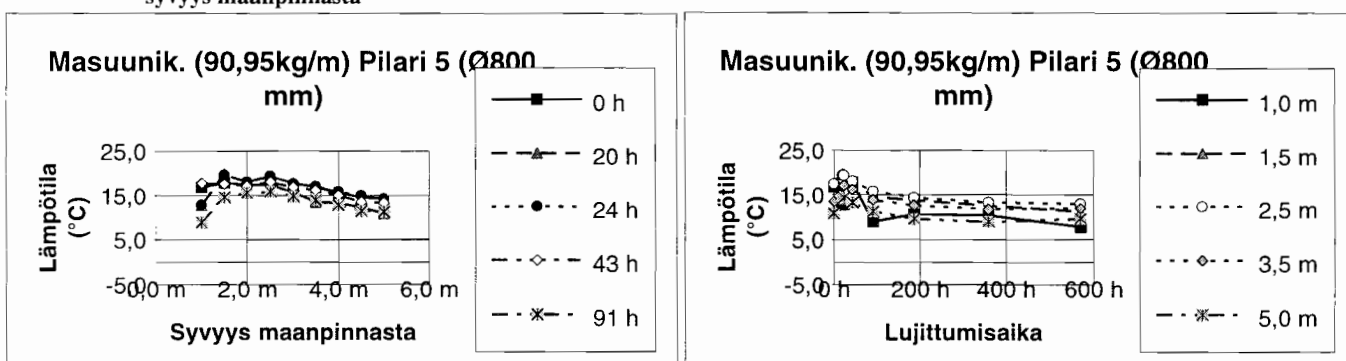
(90,95kg/m)

Pilari 5

(Ø800 mm)

	5.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
5.9.94 14:33	0 h	20 h	24 h	43 h	91 h	186 h	358 h	570 h	909 h	1389 h	2037 h	19,8
1,0 m	16,8	12,8	12,8	17,8	8,9	10,7	10,4	7,7	11,9	2,1	1,0	17,8
1,5 m	17,9	19,8	19,6	17,6	14,6	13,8	12,6	11,2	10,8	6,2	2,1	19,8
2,0 m	17,4	18,1	18,1	17,2	15,6	14,4	13,2	12,6	9,6	7,8	4,0	18,1
2,5 m	17,4	19,4	19,4	18,1	15,8	14,4	13,3	13,0	9,4	9,0	6,0	19,4
3,0 m	15,7	17,8	17,7	16,8	14,7	13,5	12,7	12,7	7,9	10,8	8,2	17,8
3,5 m	13,5	16,9	17,1	16,2	13,9	12,6	11,8	11,9	11,7	11,3	7,9	17,1
4,0 m	13,3	15,7	15,9	15,0	12,8	11,3	10,7	11,0	10,9	11,2	8,8	15,9
4,5 m	12,3	14,5	14,9	13,5	11,5	10,1	9,6	10,1	10,3	10,7	8,6	14,9
5,0 m	10,9	14,3	14,3	13,3	11,3	9,6	8,9	9,6	9,9	10,1	8,8	14,3

syvyys maanpinnasta



Masuunik.

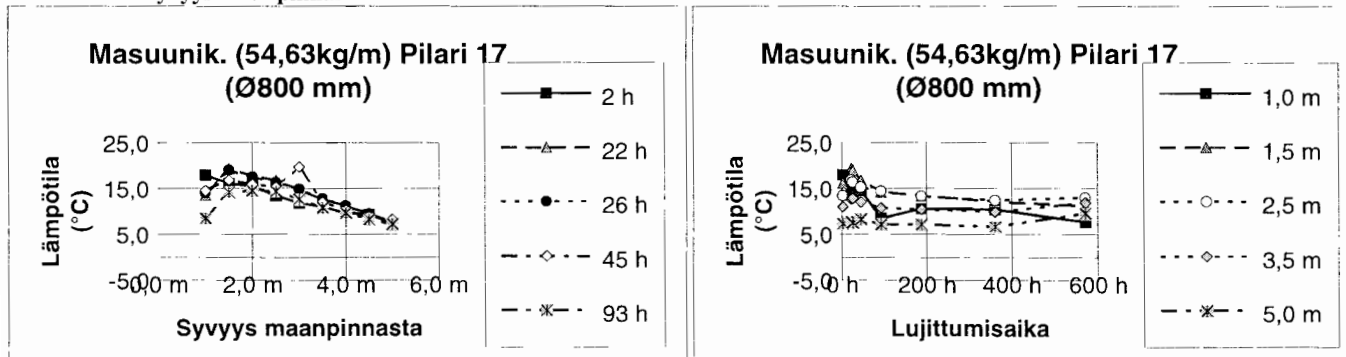
(54,63kg/m)

Pilari 17

(Ø800 mm)

	5.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
5.9.94 12:44	2 h	22 h	26 h	45 h	93 h	188 h	360 h	572 h	911 h	1391 h	2039 h	19,7
1,0 m	18,0	13,6	14,1	14,6	8,5	10,6	10,4	7,7				18,0
1,5 m	16,1	19,3	19,0	16,9	14,2	13,4	12,1	11,2				19,3
2,0 m	15,5	17,9	17,6	16,0	14,6	13,7	12,7	12,6				17,9
2,5 m	13,4	16,8	16,4	15,3	14,4	13,3	12,4	13,0				16,8
3,0 m	11,8	14,8	14,9	19,7	12,7	11,4	11,4	12,7				19,7
3,5 m	11,0	12,6	12,8	12,0	10,8	10,4	9,9	11,9				12,8
4,0 m	9,6	11,1	11,2	10,2	9,6	8,9	8,4	11,0				11,2
4,5 m	9,4	9,6	9,4	8,8	8,3	7,4	7,3	10,1				10,1
5,0 m	7,3	7,7	7,5	8,3	7,2	7,2	6,7	9,6				9,6

syvyys maanpinnasta



LÄMPÖTILAT PILAREISSA (°C)

Kalkki-sem.

(91,18kg/m)

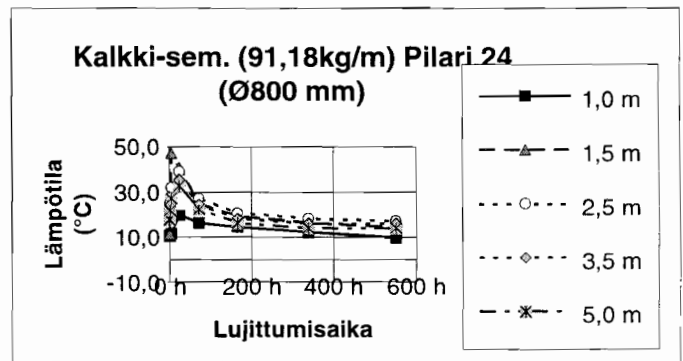
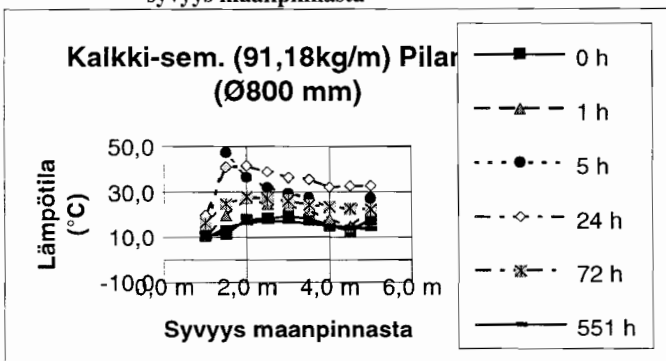
Pilari 24

(Ø800 mm)

6.9.94 9:40

	6.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
	0 h	1 h	5 h	24 h	72 h	167 h	339 h	551 h	890 h	1370 h	2018 h	47,1
1,0 m	10,8	10,3	11,6	19,7	16,3	14,4	12,1	9,7	7,9	5,7	1,4	19,7
1,5 m	11,4	19,6	47,1	41,0	24,9	19,2	16,3	14,3	11,6	8,6	3,8	47,1
2,0 m	17,8	27,3	36,6	41,5	27,8	21,2	18,0	16,3	14,6	11,2	9,9	41,5
2,5 m	18,2	24,6	31,9	38,9	27,1	20,7	18,0	17,1	15,7	12,9	9,6	38,9
3,0 m	19,5	23,8	29,4	36,4	26,1	19,8	17,3	16,8	16,3	14,2	11,0	36,4
3,5 m	18,1	21,8	27,3	35,6	24,4	18,1	16,0	15,9	15,8	14,3	11,1	35,6
4,0 m	15,2	18,1	22,8	32,1	23,4	17,1	14,8	14,8	15,3	13,9	10,7	32,1
4,5 m	12,9	14,6	22,4	32,6	22,6	16,4	14,2	14,1	14,3	13,3	10,1	32,6
5,0 m	17,7	21,8	27,1	32,8	22,3	16,3	13,9	13,8	13,8	12,7	10,0	32,8

syvyys maanpinnasta



Kalkki-sem.

(55,16kg/m)

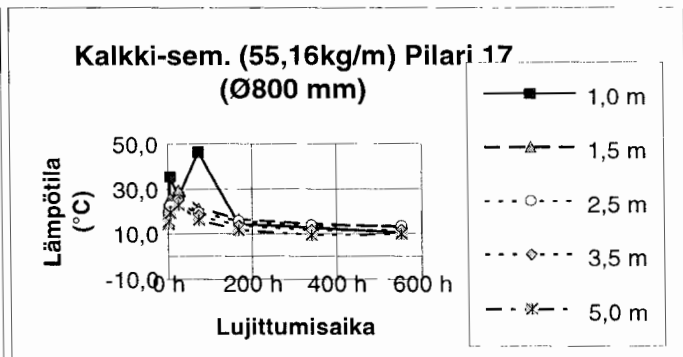
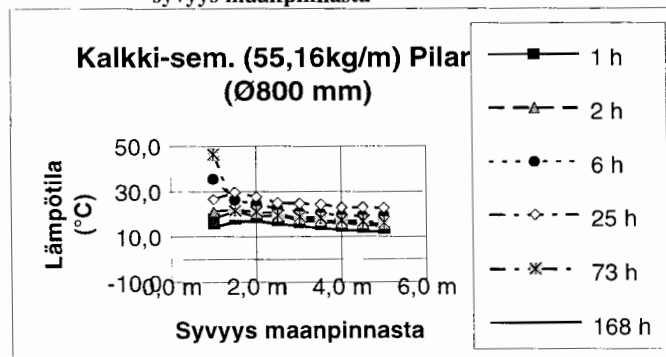
Pilari 17

(Ø800 mm)

6.9.94 8:37

	6.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
	1 h	2 h	6 h	25 h	73 h	168 h	340 h	552 h	891 h	1371 h	2019 h	46,4
1,0 m	18,0	21,2	35,6	26,6	46,4	14,3	12,7	10,7				46,4
1,5 m	21,3	22,2	26,3	29,8	21,6	16,6	14,3	13,1				29,8
2,0 m	18,9	21,0	24,4	27,7	21,2	16,9	14,6	13,9				27,7
2,5 m	19,4	20,5	22,7	24,9	19,5	15,8	13,8	13,5				24,9
3,0 m	17,1	17,6	20,9	24,8	18,8	14,7	12,8	12,7				24,8
3,5 m	16,7	17,1	20,3	24,4	18,2	13,8	11,7	11,7				24,4
4,0 m	16,0	16,3	19,3	23,0	17,1	13,0	10,8	10,9				23,0
4,5 m	15,4	15,9	19,1	23,2	16,7	12,4	10,1	10,3				23,2
5,0 m	14,6	15,6	19,4	22,8	16,2	11,9	9,5	9,8				22,8

syvyys maanpinnasta



LÄMPÖTILAT PILAREISSA (°C)

Sementti

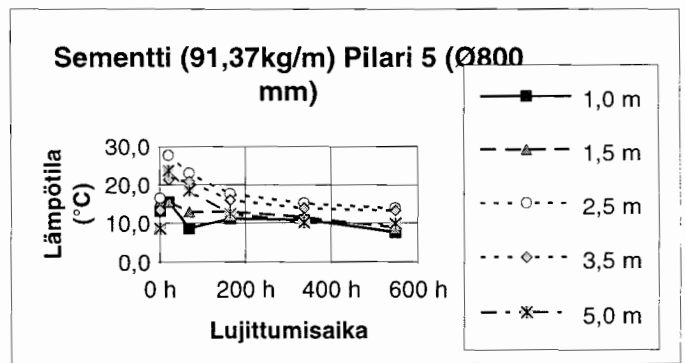
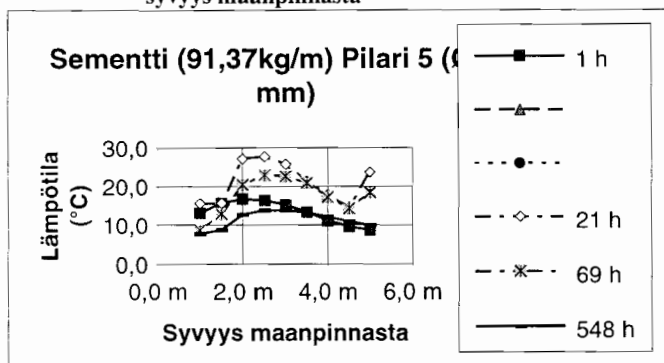
(91,37kg/m)

Pilari 5

(Ø800 mm)

	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
6.9.94 12:08	1 h	21 h	69 h	164 h	337 h	548 h	888 h	1368 h	2016 h	27,7
1,0 m	13,1	15,5	8,6	11,1	10,8	7,6	7,2	2,6	1,3	15,5
1,5 m	15,7	15,6	12,9	13,0	11,5	8,7	6,4	4,3	0,2	15,7
2,0 m	16,7	27,1	20,4	16,3	14,1	12,7	9,9	7,0	2,9	27,1
2,5 m	16,4	27,7	22,9	17,6	15,1	13,8	11,4	8,6	5,1	27,7
3,0 m	15,2	25,7	22,6	17,5	15,0	13,8	12,9	10,3	7,3	25,7
3,5 m	13,3	21,3	20,8	16,0	13,8	13,2	12,9	11,2	8,8	21,3
4,0 m	11,1	17,7	17,2	13,7	12,2	12,1	12,2	11,1	9,3	17,7
4,5 m	9,5	14,6	14,3	12,3	11,1	10,8	11,2	10,5	9,2	14,6
5,0 m	8,6	23,6	18,4	12,4	10,1	9,8	10,1	9,6	8,7	23,6

syvyys maanpinnasta



Sementti

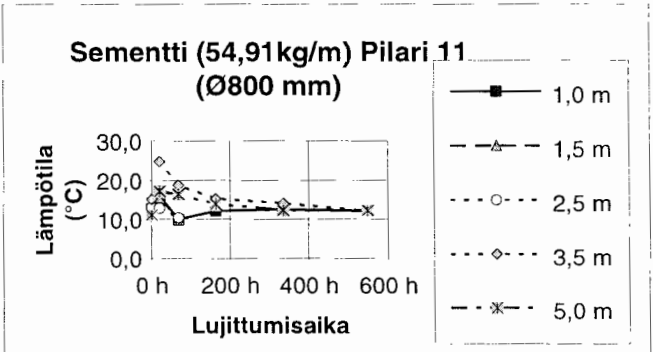
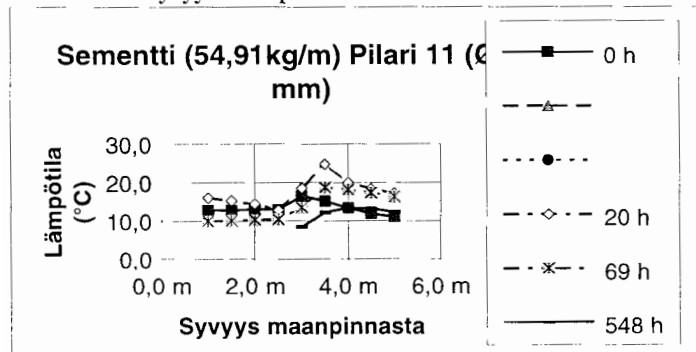
(54,91kg/m)

Pilari 11

(Ø800 mm)

	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
6.9.94 12:33	0 h	20 h	69 h	164 h	336 h	548 h	887 h	1367 h	2015 h	24,8
1,0 m	12,8	16,1	10,0	12,2	12,6	12,2				16,1
1,5 m	12,8	15,3	10,1							15,3
2,0 m	13,1	14,5	10,3							14,5
2,5 m	13,1	12,9	10,4							13,1
3,0 m	16,6	18,6	13,6	12,8	12,2	8,4				18,6
3,5 m	15,2	24,8	18,8	15,4	14,2	12,2				24,8
4,0 m	13,4	20,0	18,2	15,8	14,1	13,4				20,0
4,5 m	11,9	18,4	17,4	15,1	13,6	13,2				18,4
5,0 m	11,1	17,2	16,5	14,0	12,4	12,3				17,2

syvyys maanpinnasta



LÄMPÖTILAT MAASSA (°C)

Maalämpö

	6.9.94	6.9.94	6.9.94	7.9.94	9.9.94	13.9.94	20.9.94	29.9.94	13.10.94	2.11.94	29.11.94	Max
6.9.94 9:40	0 h	1 h	5 h	24 h	72 h	167 h	339 h	551 h	890 h	1370 h	2018 h	9,4
1,0 m									7,4	5,3	0,4	7,4
1,5 m									8,7	6,3	3,1	8,7
2,0 m									9,4	7,6	4,7	9,4
2,5 m									9,3	8,3	6,2	9,3
3,0 m									8,5	8,3	7,4	8,5

CPT-KAIRAUKSELLE MÄÄRITETTY LEIKKAUSLUJUUS

Lujuusarvot alle 10% osuudella = 90% mittausuloksista ylittää mitoitusarvon

Tno 4826 PORSLAHDENTIE

30 vrk
800 mm
Ø

LOHJA 5

SEMENTTI

MASUUNIKUONA(70%)+
SEMENTTI(30%)

56 92

56 92

kg/m	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)
Syvyys (m)	L5	L5	MK	MK	KS	KS	S
0,6- 1,3	230	470	290	290	155	240	105
1,6- 2,0	275	320	125	325	80	150	220
2,0- 2,7	125	320	30	530	60	170	365
2,7- 3,4	180	340	70	630	95	250	340
3,4- 4,1	185	300	210	275	100	190	120

Keskiarvo

199

350

112

410

98

200

183

230

71

108

39

32

32%

19%

39%

47%

176

148

5

5

5

33

27

33

5

5

5

33

27

33

5

5

5

33

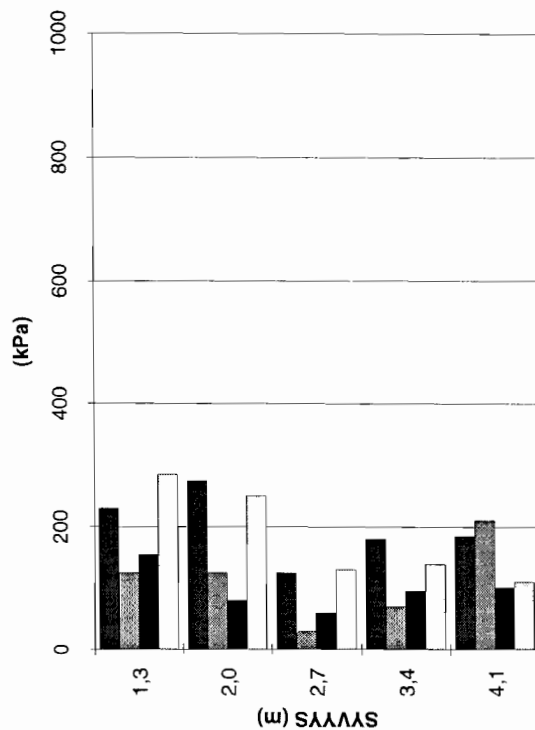
27

33

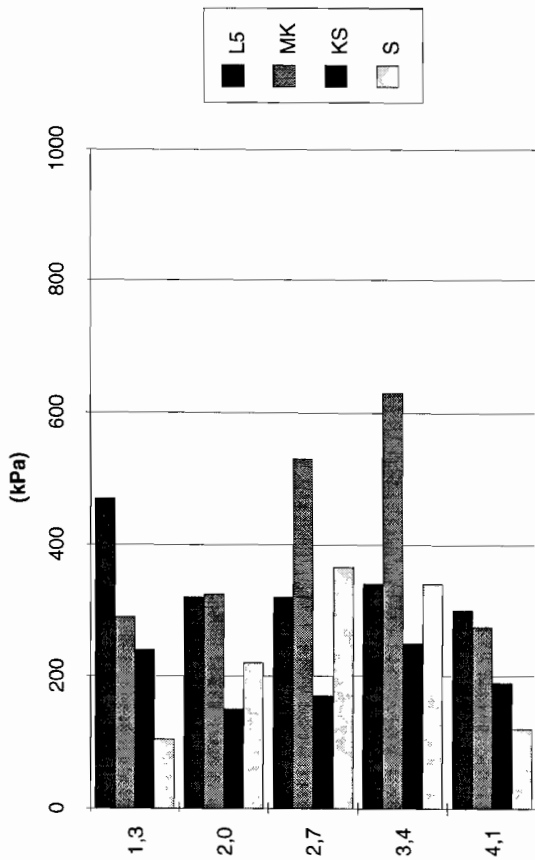
5

5

30 vrk LEIKKAUSLUJUUS <=> 56 kg/m



30 vrk LEIKKAUSLUJUUS <=> 92 kg/m



CPT-KAIRAUKSELLA MÄÄRITETTY LEIKKAUSLUJUUS

Lujuusarvot alle 10% osuudella = 90% mitaustuloksista ylittää mitoitusarvon

Tno 4826 PORSLAHDENTIE

90 vrk
800 mm
pilari

Lujittumisaika
Ø

LOHJA 5

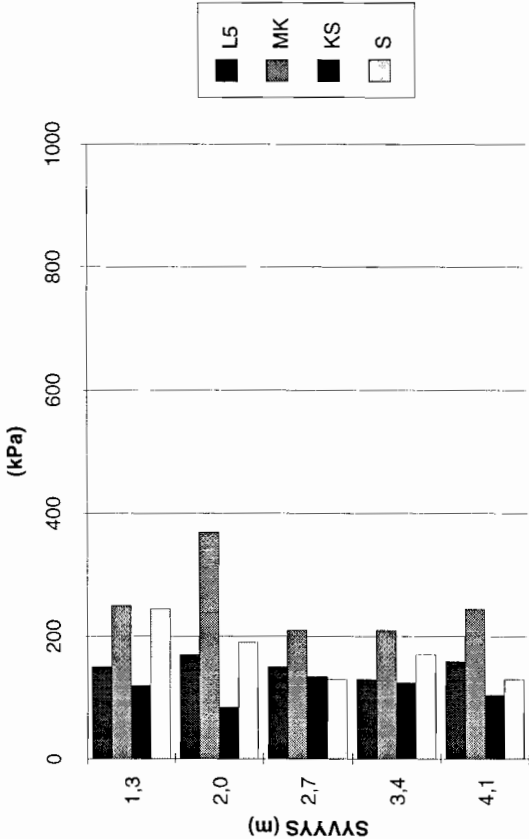
SEMENTTI

MASUUNIKUONA(70%)+
SEMENTTI(30%)

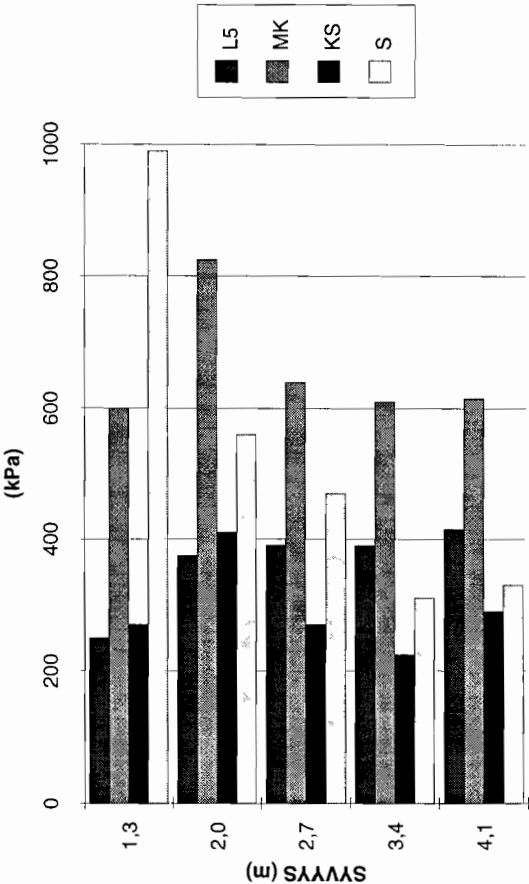
KALKKI(50%)+
SEMENTTI(50%)

kg/m	56		92		56		92	
	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)	Leikkaus- lujuus (kPa)
Syvyys (m)								
0,6- 1,3	L5	L5	MK	MK	KS	KS	S	S
1,6- 2,0	150	250	250	600	120	270	245	990
2,0- 2,7	170	375	370	825	85	410	190	560
2,7- 3,4	150	390	210	640	135	270	130	470
3,4- 4,1	130	390	210	610	125	225	170	310
	160	415	245	615	105	290	130	330
Keskiarvo	152	364	257	658	114	293	173	532
Hajontat(±)	13	58	59	85	17	62	43	247
Hajonta/Keskiarvo	9%	16%	23%	13%	15%	21%	25%	46%
Leikk.luj.(0,6-4,1)	145	335	228	616	105	262	152	409
Lukumäärä(kpl)	5	5	5	5	5	5	5	5
Lujittumiskerroin	27	62	42	114	20	49	28	76

90 vrk LEIKKAUSLUJUUS <=> 56 kg/m



90 vrk LEIKKAUSLUJUUS <=> 92 kg/m

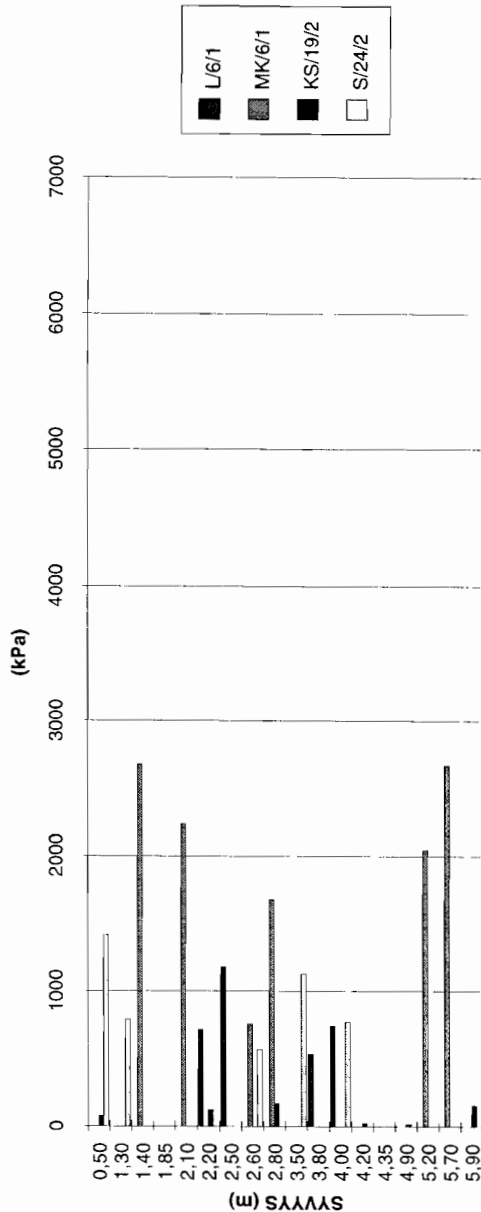


Ø 56 mm näyte
Ø 800 mm pilari

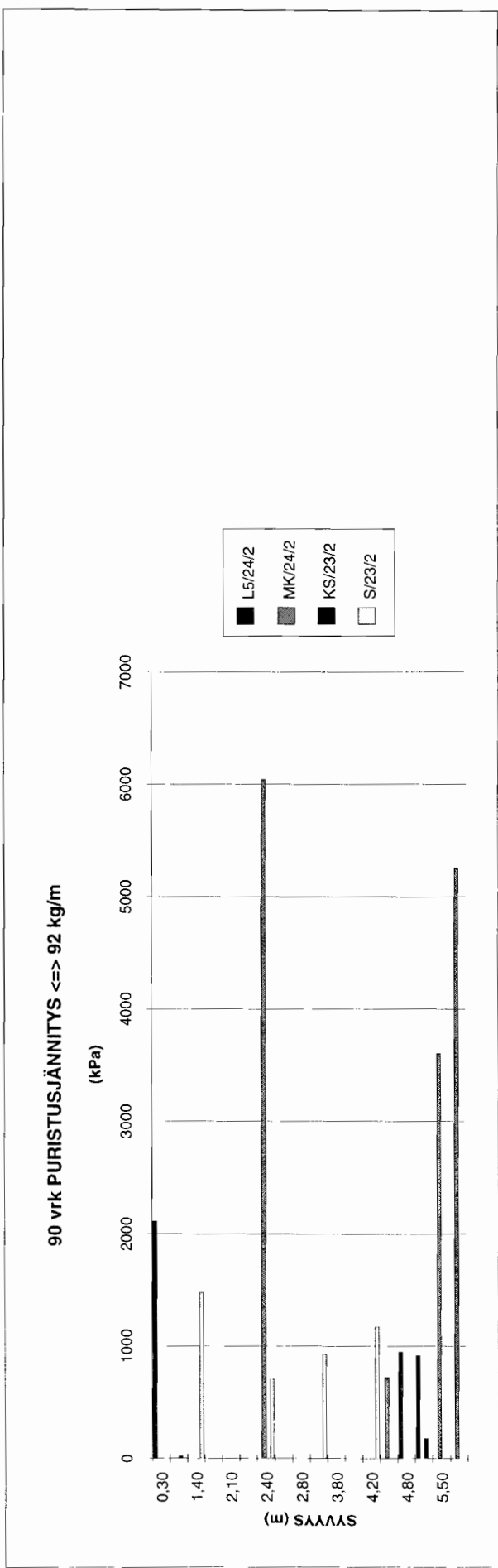
LOHJA 5

Keskiaalto / terä kg/m	MASUUNIKUONA(70%)+SEMENTTI(30%)				KALKKI(50%)+SEMENTTI(50%)				SEMENTTI								
	L/6/1 92,04 Puristusj. (kPa)	L/6/1 92,04 Sekanttimod. (MPa)	L/6/1 92,04 Alkukork. (mm)	MK/6/1 91,39 Puristusj. (kPa)	MK/6/1 91,39 Sekanttimod. (MPa)	MK/12/1 55,75 Puristusj. (kPa)	MK/12/1 55,75 Sekanttimod. (MPa)	MK/12/1 55,75 Alkukork. (mm)	KS/12/1 55,51 Puristusj. (kPa)	KS/12/1 55,51 Sekanttimod. (MPa)	KS/12/1 55,51 Alkukork. (mm)	KS/19/2 92,09 Puristusj. (kPa)	KS/19/2 92,09 Sekanttimod. (MPa)	KS/19/2 92,09 Alkukork. (mm)	S/24/2 91,97 Puristusj. (kPa)	S/24/2 91,97 Sekanttimod. (MPa)	S/24/2 91,97 Alkukork. (mm)
Syvyys (m)	0,50																
1,30																	
1,40																	
1,85																	
2,10																	
2,20																	
2,50																	
2,60																	
2,80																	
3,50																	
3,80																	
4,00																	
4,20																	
4,35																	
4,90																	
5,20																	
5,70																	
5,90																	
Keskiaalto	796			2 011		498			39			85			936		
Hajonta(±)	240			660		0			24			63			302		
Hajonta/Keskiaalto	30%			33%					61%			75%			32%		
Lujuus(0,5-5,9)	676			1 681		498			27			53			785		
Lukumäärä(kpl)	4			6		1			3			7			5		
Lujittumiskerroin	1,16			289		86			5			9			135		

30 vrk PURISTUSJÄNNITYS <=> 92 kg/m



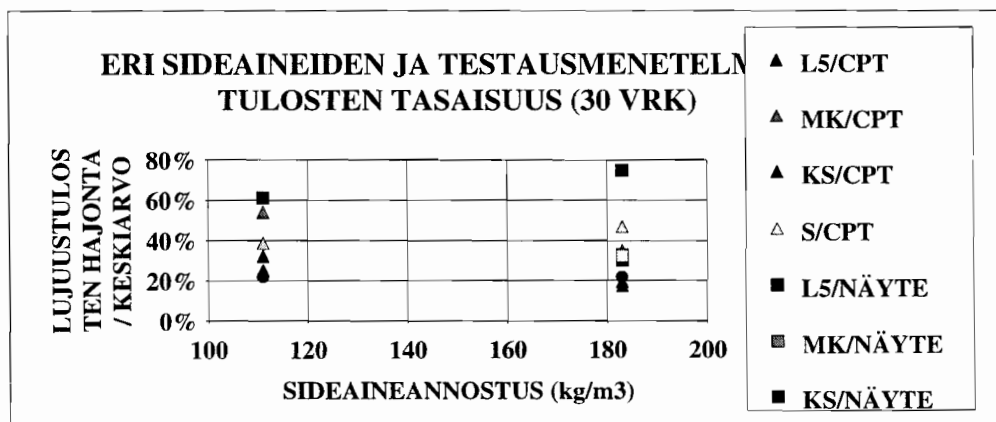
Lujittumisaika	90 vrk		Tno 4826 PORSLAHDENTIE		AKSIAALISET PURISTUSJÄNNITYKSET PILAREISTA OTETUISTA NÄYTEISTÄ		60 mm		näyte		90_NAYTE.XLS / 9,10,96+14,46 / IVa	
	Ø	Ø	56 mm	800 mm	nyäyte	pilari	Ø	Ø	0 mm	pilari		
	LOHJA 5		MASUUNIKUONA(70%)+		SEMENTTI(30%)		KALKKI(50%)+		SEMENTTI		SAVI	
	L5/24/2	L5/24/2	L5/24/2	L5/24/2	MK/24/2	MK/24/2	MK/24/2	KS/23/2	KS/23/2	KS/23/2	S/23/2	S/23/2
Kenttä/pilari/terä	90.54	90.54	90.54	90.54	91.36	91.36	91.36	91.93	91.93	91.93	91.50	91.50
kg/m	90.54	90.54	90.54	90.54	91.36	91.36	91.36	91.93	91.93	91.93	91.50	91.50
Syvyys	2117,6	143,0	67									
(m)	0,30	1,00	1,40	1,85	2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00
0,30	1,00	1,40	1,85	2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20
1,00	1,40	1,85	2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60
1,40	1,85	2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10
1,85	2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50
2,10	2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10
2,20	2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10	
2,40	2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10		
2,60	2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10			
2,80	3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10				
3,50	3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10					
3,80	4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10						
4,00	4,20	4,60	5,10	5,50	6,10							
4,20	4,60	5,10	5,50	6,10								
4,60	5,10	5,50	6,10									
5,10	5,50	6,10										
5,50	6,10											
6,10												
Keskiarvo	1 328	3 905	102	1 072	8	6	90,2%	25,0%				
Hajonta(±)	558	2 039	77	287	4	1						
Hajonta/Keskiarvo	42%	52%	76%	27%	46%	22%						
1 049	2 886	63	928	5	6	5						
3	4	2	4	4	14	10						
180	497	11	160	1	1	1						
Kujittumakerroin												



LUJUUSTULOSTEN HAJONTA KESKIARVOSTA

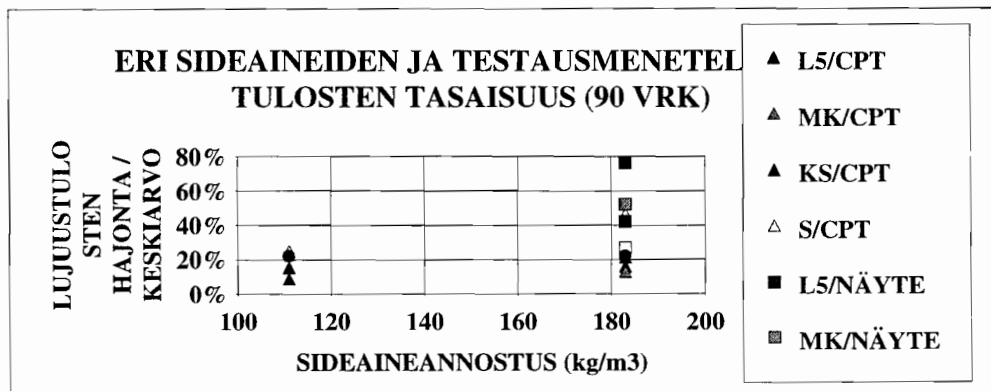
30VRK SIDEAINETTA (kg/m³)

	111	183
L5/CPT	25%	18%
MK/CPT	54%	35%
KS/CPT	32%	19%
S/CPT	39%	47%
L5/NÄYTE		30%
MK/NÄYTE		33%
KS/NÄYTE	61%	75%
S/NÄYTE		32%
SAVI/SIIPK	22%	22%

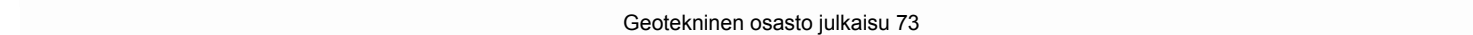


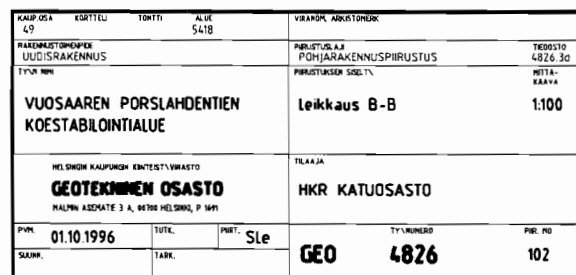
90VRK SIDEAINETTA (kg/m³)

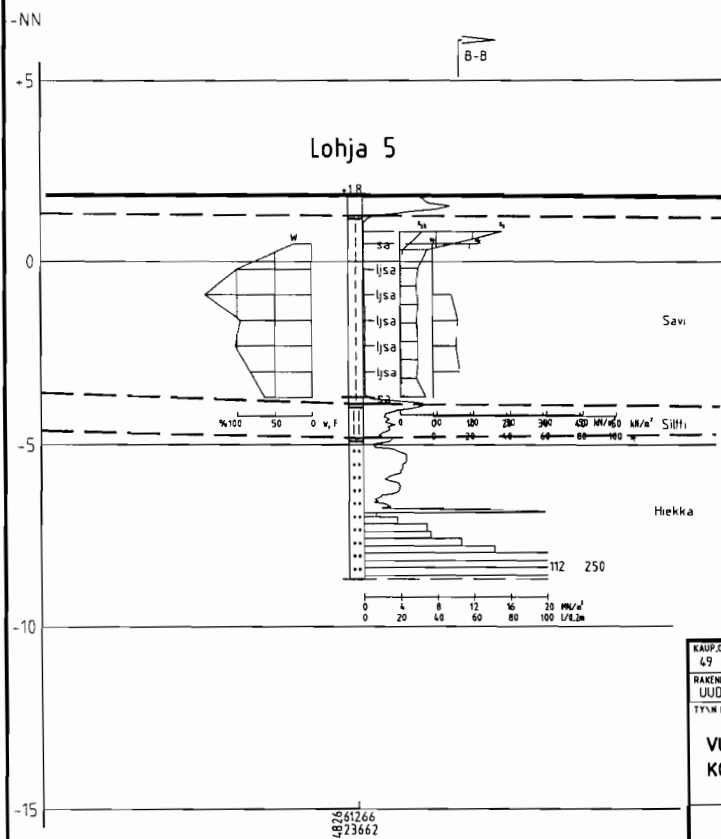
	111	183
L5/CPT	9%	16%
MK/CPT	23%	13%
KS/CPT	15%	21%
S/CPT	25%	46%
L5/NÄYTE		42%
MK/NÄYTE		52%
KS/NÄYTE		76%
S/NÄYTE		27%
SAVI/SIIPK	22%	22%



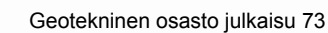
L5 = LOHJA 5
 MK = MASUUNIKUONA(70%)+SEMENTTI(30%)
 KS = KALKKI(50%)+SEMENTTI(50%)
 S = SEMENTTI
 SAVI/SIIPK = HÄIRIINTYMÄTTÖMÄN SAVEN LEIKKAUSLUJUUS







KAUP.OSA 49	KORTTELI 5418	ALUE 5418	VIRANOM. ARKISTONMERK.	
RAKENNUSTOIMENPIDE UUDISRAKENNUS	TYÖN NIMI VUOSAAREN PORSLAHDENTIEN KOESTABILOINTIALUE	PIRUSTUSLAJI POHJARAKENNUSPIIRUSTUS	PIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Leikkaus C-C	TIEDOSTO 4826.3d MITTA- KAAVA 1:100
HELSINGIN KAUPUNGIN KIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO MALMIN ASEMAKATU 3 A, 00700 HELSINKI, P. 1691			TEKIJÄ HKR KATUOSASTO	
PVM 01.10.1996	TUTK. SUUNN.	PIIRI TARK. SLe	TYÖNUMERO GEO 4826	PIIR. NO 103



Julkaisija HELSINGIN KAUPUNGIN KIIINTEISTÖVIRASTO GEOTEKNINEN OSASTO MALMIN ASEMATIE 3 A 00700 HELSINKI PUHELIN (09) 1691, FAX (09) 169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo		Julkaisusarja, numero ja julkaisu-aika Geoteknisen osaston tiedotteet 73/1996 Lokakuu 1996	
		Projektinnumero(t) 4826, 6448	
Tekijä(t) Ilkka Vähäaho		Toimeksiantaja(t) HKR/katuosasto, Lohja Rudus Oy Ab SKJ Yhtiöt, YIT-yhtymä	
Nimike Savien stabilointi eri sideaineilla, kenttäkokeiden tulokset			
Tiivistelmä Tämä työ on osa laajempaa projektia, jossa tavoitteena oli löytää uusia stabilointireseptejä. Helsingin Vuosaarella sijaitseva Porslahdentien koealue valittiin kenttäkokeiden suorituspaikaksi. Laboratoriotulosten mukaan tällä savikolla oletettiin saatavan korkeita lujuuksia useilla eri stabilointiaineilla. Tässä työssä on testattu neljää eri sideainevaihtoehtoa ja kahta eri annostusta. Sideaineina on käytetty sementin ja kalkkisementtiseoksen lisäksi kahta uudempaa seosta, joista toinen on masuunikuonan ja sementin seos ja toinen tuotenimellä Lohja 5 oleva seos. Koealue on lähes tasasivuinen kolmio, jonka sivumitta on noin 70 m. Pintakerroksena on noin 0,5 m vahvuudelta humusta ja kuivakuorisavea tai kitkamaatäytettä. Pintakerroksen alla on 4 ... 6 metriä savea, jonka leikkauslujuus vaihtelee välillä 4 - 39 kPa. Stabiloiduista pilareista mitattiin leikkauslujuus- ja puristuslujuusarvoja lujittumisajankohtina 30 ja 90 vuorokautta. Leikkauslujuuden määrittäminen perustuu pilareihin tehtyihin CPT-kairauksiin. Puristuslujuuden määrittäminen perustuu pilareista otettiin näytteet, jotka puristettiin yksiaksiaalisesti laboratoriossa. Pilarointityön seurauksena huokosvedenpaine nousi savikerroksessa korkeintaan noin 1 metrin. Ylipaineen purkautuminen tapahtui noin kuukauden kuluessa pilarointityön alkamisesta. Selvästi eniten lämpöä kehittyi kalkkisementtipilareissa. Myös jäähtyminen kesti pisimpään kalkkisementtipilareissa. Seuraavaksi eniten lämpöä kehittyi sementtipilareissa, sitten lohjapilareissa ja vähiten masuunikuonapilareissa. CPT-kairauksilla saatiin selvästi pienempiä lujuusarvoja kuin laboratoriossa tehdyillä kokeilla. CPT-kairausten tulokset kuvaavat pilareiden kokonaislujuuksia, koska pilareiden epähomogeenisuus ja rakoilu tulee tässä testausmenetelmässä parhaiten esille. Laboratoriokokeiden tulokset kuvaavat pilarin parhaiden osien lujuuksia. CPT-kairauksilla mitatuissa lujuusarvoissa oli myöskin pienempi hajonta kuin pilareista otetuissa ja laboratoriossa mitatuissa lujuuksissa. Sementillä päästiin noin 0,3 ... 0,6 MPa ja masuunikuonalla jopa 0,5 ... 1,5 MPa pilarikohtaisiin puristuslujuuksiin kun sideainetta käytettiin 111 ... 183 kg/m³. Tämän tutkimuksen aineisto perustuu yhdellä koealueella tehtyihin kokeisiin. Vastaavia tutkimuksia tulisi tehdä lisää erilaisissa pohjaolosuhteissa.			
Avainsanat CPT-kairaus, in-situ, kalkki, masuunikuona, savi, sementti, sideaine, syvästabilointi			
ISSN 0788-6209	ISBN 951-772-846-8	Luokitus (UDK) 624.13	
Kieli suomi, engl. tiivistelmä	Sivuja 22 s. + liitt. 18 s. + 4 piirustusta		

Published by HELSINKI CITY REAL ESTATE DEPARTMENT GEOTECHNICAL DIVISION MALMIN ASEMATIE 3 A FIN-00700 HELSINKI PHONE +358-9-1691, FAX +358-9-169 4555 http://www.kv.hel.fi/geo		Series title, number and date Research Notes of the Geotechnical Division 73 / 1996 October 1996
Author(s) Ilkka Vähäaho		Project number(s) 4826, 6448
Commissioned by HKR/katuosasto, Lohja Rudus Oy Ab SKJ Yhtiöt, YIT-yhtymä		
Title Stabilization of Clays with Various Binders, Field Test Results		
Abstract This work is part of a larger project which aimed at finding new stabilization formulae. The Porslahdentie field test area is located in Helsinki in the district of Vuosaari. On the basis of laboratory tests it was expected that high strengths could be achieved with various binders in this clay area. Four binder alternatives and two different dosages have been tested in this work. In addition to cement and lime-cement, two newer mixtures have been used as binders. The other is a mix of blast-furnace slag and cement and the other is called Lohja 5. The test area is close to a triangle each side being about 70 metres. As a surface layer there is ca 0,5 metres of organic material and dry crust or fill of non-cohesive soil. Below the surface layer lies 4 to 6 metres of clay the shear strength ranging between 4 and 39 kPa. The shear strength and the compression strength of the stabilized columns were measured after 30 and 90 days. The shear strength was measured by cone penetration tests (CPT). To determine the compression strength, samples were taken from the columns and compressed uniaxially in laboratory. Because of mixing the columns, the porewater pressure rose by not more than 1 metre in the clay layer. The overpressure lowered in about one month from the beginning of the stabilization. The clearly highest temperatures were measured in the lime-cement columns. The lowering of temperature was the slowest in them as well. The next highest temperatures were in cement columns, then in lohja columns and the lowest in blast-furnace slag columns. It was obvious that the strength values from CPT were smaller than those from laboratory tests. The results of CPT represent the total strength of the columns because their non-homogeneity and cracking appears best in this method. The results of the laboratory tests describe the strength of the best column parts. The deviation of the strength values measured by CPT were also smaller than that of strengths in the laboratory tests. By using 111 to 183 kg/m³ of binder material the compression strengths were about 0.3 to 0.6 MPa in cement columns and as much as 0.5 to 1.5 MPa in blast-furnace slag columns. The material of this work is based on one test area. Various sites should be examined similarly.		
Keywords binder, blast-furnace slag, cement, clay, CPT, deep stabilization, in-situ, lime		
ISSN 0788-6209	ISBN 951-772-846-8	Class (UDC) 624.13
Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 22 p. + app. 18 p. + 4 drawings	

1	Anttikoski, Usko	Geoteknilliset kartat ja niiden käyttäminen	Suomi	1973	
2	Anttikoski, Usko	Kaupunkisuunnittelun geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1973	*
3	Anttikoski, Usko	Kunnallistekniikan geoteknillinen tutkimus ja suunnittelu	Suomi	1974	*
4	Mäkinen, Reino	Täyttömäken rakentaminen kaupunkialueella	Suomi	1974	*
5	Saarelmä, Matti	Melusuojarakenteiden perustamistapaselvitys	Suomi	1974	*
6	Hartikainen, Jorma	Kitkapaalujen kantavuus	Suomi	1976	
7	Petäjä, Jouko	Putkijohtojen pohjarakenteiden mitoittaminen	Suomi	1977	
8	Raudasmaa, Pekka	Metrotunnelien injektointi	Suomi	1977	*
9	Anttikoski, Usko	Kalliotunnelien käyttö varastointiin	Suomi	1977	*
10	Tikkanen, Heikki	Rakentamisen vaikutus pohjaveteen Helsingin keskustassa	Suomi	1978	
11	Arkima, Olli	Kluuvien rujuun jäädytys	Suomi	1978	*
12	Raudasmaa, Pekka	Puiset perustusrakenteet	Suomi	1979	
13	Havukainen, Jorma	Voimalalaitostuhkan ja polttolaitoskuonan hyötykäyttö rakentamisessa	Suomi	1979	
14	Vähäaho, Ilkka	Pehmeikölle perustettavan pientalon painumien laskeminen	Suomi	1979	*
15	Raudasmaa, Pekka	Pohjavesitarkkailu -80	Suomi	1980	
16	Anttikoski, Usko	Katsaus tunnelien rakentamistekniikan nykytilaan Atlantan kansainvälisen tunnelikonferenssin kokemusten perusteella	Suomi	1979	*
17	Roinisto, Jarmo	Matkakertomus tutustumismatkalta Tukholman yhteiskäyttötunnelihin	Suomi	1981	
18	Havukainen, Jorma	Kivihiilivoimalan tuhkan käyttö maarakenteissa	Suomi	1981	*
19	Roinisto, Jarmo	Yhteiskäyttötunnelien teknis-taloudellinen selvitys	Suomi	1981	
20	Vuola, Pekka	Talonrakennuksen maarakenteet ja niiden laadunvalvonta	Suomi	1981	
21	Havukainen, Jorma & Korhonen, Osmo	Tonttialueiden maarakenteet	Suomi	1981	
22	Havukainen, Jorma	Esimerkkejä jätteiden hyötykäytöstä raaka-aineena ja energianlähteenä	Suomi	1981	
23	Havukainen, Jorma	Kivihiilivoimalan tuhkien hyötykäyttöselvitys kunnallistekniikassa	Suomi	1982	
24	Latvala, Ahti	Rakennusjätteen alustava hyötykäyttöselvitys	Suomi	1982	
25	Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Sulamäki, Antti	Alustava selvitys polttolaitoskuonan hyötykäyttömahdollisuuksista maarakentamisessa	Suomi	1982	
26	Halkola, Hannu	Kunnallistekniikan geotekniikkaan liittyvät koerakentamiskohteet Torpparinmäessä	Suomi	1982	*
27	Paavola, Pertti	Kunnallisteknisten tunnelien louhintakustannus selvitys	Suomi	1982	
28	Vähäaho, Ilkka	Maarakennusta koskeva mallityöselvitys	Suomi	1982	*
29	Gulin, Kai	Rakentamisen vaikutus pohjaveden tasoon ja rakennusten painumiin Helsingin Puistolassa	Suomi	1982	
30	Halkola, Hannu	Syvästabiloinnin laadun ja lujuuden valvontamenetelmät	Suomi	1982	
31	Havukainen, Jorma	Kivihiilituhkan käyttö maarakentamisessa, tekniset ohjeet	Suomi	1983	
32	Havukainen, Jorma	Användning av stenkolsaska vid anläggningsarbeten, tekniska anvisningar	Svenska	1983	
33	Havukainen, Jorma	The utilization of coal ash in earth works, technical guidelines	English	1983	
34	Salmelainen, Juha	Helsingin kallioperän geologiasta ja kivilajien lujuusominaisuuksista porattavuuden kannalta	Suomi	1983	
35	Havukainen, Jorma	Matkakertomus kivihiilituhkien ympäristövaikutuskonferenssista	Suomi	1983	
36	Hytti, Pekka	Esi-injektoinnin suoritus ja sen huomioiminen urakka-asiakirjoissa	Suomi	1984	
37	Leinonen, Jukka	Kalliomekaaniset mittaukset Hanasaaren syvävarastossa	Suomi	1984	
38	Pirinen, Jussi	Kelluvan rantapenkereen rakentaminen	Suomi	1984	*
39	Latvala, Ahti	Geotekninen kustannustiedosto, Geo-kuti	Suomi	1984	
40	Korpela, Jaakko & Schüller, Mikael	Jäykkien liitosjohtojen pohjarakennus selvitys (Jäli-selvitys)	Suomi	1984	
41	Lahtinen, Eeva-Riitta	Maanalaiset tilat ja yhdyskuntarakentaminen (MARASU-tutkimus, väliraportti)	Suomi	1985	
42	Korpi, Juha	In Situ-kuormituskoe painumien määrittämiseksi	Suomi	1985	
43	Havukainen, Jorma	Esirakentamisen kehittäminen	Suomi	1985	
44	Vähäaho, Ilkka	Jäädytysmenetelmän käyttö	Suomi	1987	
45	Havukainen, Jorma & Hämäläinen, Alpo & Latvala, Ahti	Kivihiilituhkien käyttökokemukset kunnallistekniikan maarakenteissa	Suomi	1987	
46	Julkunen, Arto	Geofysiikan tutkimusmenetelmät kalliorakentamisessa	Suomi	1987	
47	Hutri, Kaisa-Leena	Vuosaaren kivilajien soveltuvuus asfalttipäällysteisiin	Suomi	1988	
48	Melander, Kari	Puristin-heijarikairaus kairausmenetelmänä	Suomi	1989	
49	Leppänen, Mikko	Vahvisinkankaiden käyttö Vanhankaupunginlahden ranta-alueen rakentamisessa	Suomi	1989	
50	Vähäaho, Ilkka & Ryhänen, Hannu	Sulamiskonsolidaation vaikutukset savessa	Suomi	1989	
51	Vähäaho, Ilkka	Effects of Thaw Consolidation on Geotechnical Properties of Clay	English	1989	
52	Koskela, Pekka	Routastabiloinnin vaikutus ruoppausmassaan	Suomi	1989	
53	Saari, Mauri & Korhonen, Osmo	Paalujen dynaaminen koestus PDA-laitteistolla	Suomi	1990	
54	Saari, Mauri & Volanen, Niilo	Ruoholahden koepaalu	Suomi	1990	
55	Yrjänä, Jouni & Korhonen, Osmo	Pystyjoitus Pikkupöytälahdessa	Suomi	1991	
56	Niinimäki, Risto & Raudasmaa, Pekka	Viikinmäen keskuspuhdistamon rakennusgeologiset kalliotutkimukset	Suomi	1992	

57 Nieminen, Jarmo & Johansson, Erik & Holopainen, Pekka	Viikinmäen keskuspuhdistamon louhinnan aikainen kalliomekaaninen seuranta	Suomi	1992
58 Ahola, Jukka & Viitala, Raimo	Lujitus- ja tiivistysmäärät Helsingin pientunneleissa	Suomi	1992
59 Ravea, Timmo & Korhonen, Osmo	Helsingin tulvapadon rakentamisen edellytykset	Suomi	1992
60 Taipale, Hannu & Korhonen, Osmo	Paalutustarinan arviointi kirjallisuuden ja mittausten perusteella	Suomi	1992
61 Karlstedt, Paul & Halkola, Hannu	Ylijäämäsavien massastabilointi	Suomi	1993
62 Leiskallio, Antti & Lehtonen, Jouko	Maankäytön geotekninen suunnittelu	Suomi	1993
63 Anttikoski, Usko & Kumar, Seppo & Suarelainen, Seppo	Kalliokaivanto jätehuollossa Esiraportti	Suomi	1993
64 Rekonen, Rita & Halkola, Hannu	Saven ominaisuuksien parantaminen massastabiloinnilla	Suomi	1994
65 Ulmala, Ola & Halkola, Hannu	Puristinporakonekairaus	Suomi	1994
66 Havukainen, Jorma	Katsaus ympäristötekniikkaan kansainvälisen kongressin valossa Matkakertomus	Suomi	1995
67 Korkeakoski, Pasi & Lehtonen, Jouko	Asuinrakennusten tontti- ja pohjarakennuskustannukset	Suomi	1996
68 Puumalainen, Niina & Havukainen, Jorma	Vakuumikonsolidointikoe Helsingin Torpparinmäessä	Suomi	1996
69 Mehtälä, Jani & Korhonen, Osmo	Puotilan metroaseman pohjavesivaikutusten arviointi numeerisilla menetelmillä	Suomi	1996 **
70 Nieminen, Jarmo & Anttikoski, Usko	EU:n rahoitustuki Helsingin kaupungin tutkimustoiminnassa	Suomi	1996
71 Junnila, Antti & Lehtonen, Jouko	Geotekninen kustannustiedosto Geokuti 96	Suomi	1996
72 Wegelius, Arto & Viitala, Raimo	Kallioliuokitusmenetelmien käyttö tunnelien lujituksessa	Suomi	1996 **
73 Vähäaho, Ilkka	Savien stabilointi eri sideaineilla, kenttäkokeiden tulokset	Suomi	1996

*) painos loppuunmyyty

**) ilmestyy lähiaikoina

Hinnat
Tilauslomake

1 kpl 90 mk, 2-3 kpl 80 mk, 4-6 kpl 70 mk, 7- kpl 65 mk
<http://www.kv.hel.fi/geo/tilaus.html>