

RATAHALLINTOKESKUS

RHK • Kunnossapitoyksikkö

Ratahallintokeskuksen
julkaisuja

A
7/2001

RAUTATEIDEN MAANVARAISET

PYLVÄSPERUSTUKSET

Koekuormitusraportti

○ **Mauri Kulman**

RAUTATEIDEN MAANVARAISET PYLVÄSPERUSTUKSET

Koekuormitusraportti

o Mauri Kulman

RHK
RATAHALLINTOKESKUS
KAIVOKATU 6, PL 185
00101 HELSINKI

PUH. (09) 5840 5111
FAX. (09) 5840 5140
SÄHKÖPOSTI: info@rhk.fi

ISBN 952-445-054-2
ISSN 1455-2604

Mauri, Kulman: Rautateiden maanvaraiset pylväsperustukset. Koekuormitusraportti. Ratahallintokeskus, Kunnossapitoyksikkö. Helsinki 2001. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 7/2001. 35 s. ja 8 liitettä. ISBN 952-445-054-2, ISSN 1455-2604.

TIIVISTELMÄ

Tämä koekuormitusraportti on osa rautateiden maanvaraisiin pylväsperustuksiin liittyvää tutkimusta, joka aloitettiin syksyllä 1999. Koko tutkimuksen tavoitteena on selvittää antura- ja pilariperustusten mitoituskäytäntö ja kuormat sekä suunnitteluun ja rakentamiseen vaikuttavat tekijät. Tutkimuksen tuloksena laaditaan suunnitteluohje, pohjarakennustyöselitys ja tekniset toimitusehdot perustusten suunnittelua ja rakentamista varten.

Tässä raportissa esitettyjen perustusten koekuormitustulosten perusteella pyritään selvittämään erityyppisten perustusten myötö- ja murtomomentin suuruus sekä niitä vastaavat kiertymät. Tulosten perusteella pyritään myös selvittämään perustuksen muodon, pohjaolosuhteiden ja luiskan kaltevuuden vaikutus perustuksen käyttäytymiseen.

Koekuormitustulosten vertaaminen teoreettisiin tuloksiin tehdään varsinaisessa tutkimusraportissa. Vertailun perusteella selvitetään eri laskentamenetelmien soveltuvuus perustusten mitoitukseen.

Tutkimuksessa koekuormitettiin uusia anturallisia elementtiperustuksia sekä vanhoja anturattomia paikalla valettuja perustuksia. Anturalliset perustukset sijaitsivat rataosuudella Tuomioja–Raahe vanhassa ratapenkereessä. Rataosuuden Sääksjärvi–Perkkiö kolme anturallista perustusta sijaitsi vanhassa ja kolme uudessa ratapenkereessä. Pohjatutkimusten perusteella perustusten ympärillä olevan täytön tiiviys vaihteli merkittävästi. Rataosuudella Tuomioja–Raahe olevat anturalliset perustukset oli asennettu tiiviin luonnonmaan varaan. Perustamistason yläpuolinen täyttö oli keskitiivistä hiekkaa tai soraa. Rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö olevat perustukset oli asennettu luonnonmaan, rakennetun penkereen tai massanvaihdon varaan. Rakennettu pengeri ja perustamistason yläpuolinen täyttö olivat erittäin löyhää soraa tai hiekkaa.

Anturallisten perustusten murto- ja myötömomentin suhde kuormituksen vaikuttaessa luiskaan tai penkereeseen päin on noin 2,0. Anturattomilla perustuksilla vastaava suhde kuormituksen vaikuttaessa luiskaan päin on 1,8 ja kuormituksen vaikuttaessa rataan päin 2,0. Anturattomien perustusten murtomomenttia penkereeseen päin ei kaikkien perustusten osalta voitu selvittää, koska pylvään ja perustuksen välinen liitos aiheutti rajoituksia käytettävän kuorman suuruudelle.

Anturallisten perustusten myötömomenttia vastaava kiertymä on noin 1 ‰ ja murto-momenttia vastaava kiertymä on noin 5 ‰. Myötö- ja murtomomentin välinen suhde on likimain sama kaikissa ensimmäisen koekuormitus suunnan kuormituksissa kuormitus-suunnan ollessa rataan päin sekä perustusten 181/30B, 181/32B ja 181/34 radan suuntaisissa koekuormituksissa. Anturattomien perustusten myötömomenttia vastaava kiertymä on < 1 ‰ ja murtokiertymä 2–5 ‰. Anturattomien perustusten myötö- ja murtorajat eivät olleet yhtä selviä kuin anturallisten perustusten.

Kiertokeskiön sijainti vaihtelee kuormituksen alkuvaiheessa. Tämä voi johtua maan epähomogeenisuudesta tai pienillä siirtymillä tapahtuvista mitta- ja pyöristysvirheistä. Kiertokeskiön sijainnin muutokset pienenevät yleensä kuorman lähestyessä murto-kuormaa. Anturallisen perustuksen kiertokeskiö sijaitsee keskimäärin 0,7 D:n etäisyydellä maan pinnasta, missä D on perustussyvyys. Anturattomien perustusten kierto-keskiö sijaitsee keskimäärin 0,8 D:n etäisyydellä maan pinnasta.

Tiiviuden vaikutus voidaan havaita koekuormitustuloksista. Rataosuuden Tuomioja–Raahe anturallisten perustusten murtomomentti on samaa suuruusluokkaa kuin rata-osuuden Sääksjärvi–Perkkiö suurempien anturallisten perustusten murtomomentti. Perustusten ympärystäyttö on soraa tai hiekkaa, joten tulokset ovat pääpiirteittäin vertailukelpoisia keskenään. Täten voidaan todeta, että perustuksen ala- ja yläpuolisen täytön ollessa tiivis sen murtomomentti voi olla monikertainen verrattuna perustukseen, jonka alus- ja ympärystäyttö on löyhä.

Koekuormitettujen perustusten edessä oleva pengertuiska pienentää anturallisten perustusten myötö- ja murtomomenttia. Perustukset on koekuormitettu penkereeseen päin ja luiskaan päin. Penkereeseen päin tehdystä koekuormituksesta aiheutuneet pysyvät muodonmuutokset vaikeuttivat luiskaan päin tehtyjen koekuormitusten tulosten tulkintaa. Penkereen korkeus ja luiskan sijainti perustukseen nähden vaihtelee eri perustusten kesken.

Luiskaan päin kuormitetun anturattoman perustuksen murto- ja myötömomentit ovat noin 1/3 penkereeseen päin kuormitetun perustuksen vastaavista arvoista. Maan pinnan kaltevuus ja perustuksen sijoitus luiskaan nähden vaihteli eri perustuksilla. Tulosten voidaan kuitenkin olettaa edustavan keskimääräisesti luiskakaltevuuden 1:1,5 vaikutusta perustuksen toimintaan.

Mauri, Kulman: Shallow pier foundations of railway electricity piers, test load report.

Finnish Rail Administration, Maintenance Department. Helsinki 2001. Publications of Finnish Rail Administration A 7/2001. 35 pages and 8 enclosures. ISBN 952-445-054-2, ISSN 1455-2604.

SUMMARY

This test load report is part of a study dealing with shallow pier foundations of railway electricity piers, started in the autumn of 1999. The overall goal of the study is to establish the dimensioning practices and loads of footing and pier foundations and the factors affecting design and construction. The results of the study will consist of a design instruction, a foundation engineering work specification and technical conditions of delivery for the design and construction of foundations.

The test load results of foundations presented in this report are used to establish the yield moment and ultimate moment of various types of foundations and the corresponding rotations. The results are also used to establish the effects of the foundation shape, ground conditions and slope inclination on the behaviour of the foundation.

The main report on the study will contain the comparison of the test load results with theoretical results. The comparison will be used to establish the suitability of various calculation methods to the dimensioning of shallow foundations.

During the study, test loads were applied to new prefabricated foundations with footing and old foundations without footing cast on site. The foundations with footing were located in an old railway embankment on the Tuomioja–Raahe railway section. Three of the foundations with footing located in the Sääksjärvi–Perkkiö railway section were built in an old embankment, three in a new embankment. On the basis of site exploration, the density of the filling surrounding the foundations varied significantly. The foundations with footing the Tuomioja–Raahe section were built on dense natural soil. The filling above the foundation level consisted of sand or gravel of medium density. The foundations in the Sääksjärvi–Perkkiö section were built on natural ground or constructed embankments. The constructed embankment and the filling above the foundation level consisted of very loose gravel or sand.

When the load direction is towards the slope or the embankment, the ratio between the ultimate and yield moments of the foundations with footing is approximately 2,0. For the foundations without footing, the corresponding ratio with the load direction towards the slope is 1,8 and with the load direction towards the track, 2,0. The ultimate moment of foundations without footing towards the embankment could not be established for all

foundations, since the joint between the pier and the foundation posed limitations to the load to be applied.

For foundations with footing, the rotation corresponding to the yield moment is approximately 1 ‰, and the rotation corresponding to the ultimate moment approximately 5 ‰. The ratio between the yield and ultimate moments is approximately the same for all loads of the first test load direction while the load direction was towards the track, and for foundations 181/30B, 181/32B and 181/34, while the load direction was along the track. For foundations without footing, the rotation corresponding to the yield moment is $<1 \text{ ‰}$, and the ultimate rotation 2–5 ‰. For foundations without footing, the yield and ultimate limits were not as clear as for foundations with footing.

The location of the fulcrum varies during the initial stages of the loading. This may be due to soil heterogeneity or to the measuring and rounding-off errors which occur with small displacements. The variations in the location of the fulcrum as a function of the load generally decrease when the load approaches the ultimate value. The fulcrum of a foundation with footing is located at an average height of $0,7D$ from the ground level, where D represents foundation depth. The fulcrum of foundations without footing is located at an average height of $0,8D$ from the ground level.

The effect of soil density can be observed in the test load results. On the Tuomioja–Raahe section the ultimate moment of the foundations with footing falls within the same order of magnitude as the ultimate moment of the foundations with larger footing on the Sääksjärvi–Perkkiö section.

The fill slope in the front of the tested foundations decreases the yield and the ultimate moments of foundations with footing. The foundations were tested with load directions towards both the embankment and the slope. The permanent deformations resulting from the test load towards the embankment caused difficulties in the interpretation of the test results of a load direction towards the slope. The height of the embankment and the location of the slope in relation to the foundation vary between foundations.

The ultimate and yield moments of a foundation without footing when the load direction is towards the slope are about $1/3$ of the corresponding values for load directions towards the embankment. The surface inclination and the location of the foundation in relation to the slope varied between the foundations. However, the results may be taken to represent, on an average, the effect of slope inclination of 1:1,5 on the performance of the foundation.

ESIPUHE

Tämä koekuormitusraportti on osa rautateiden maanvaraisiin pylväsperustuksiin liittyvää tutkimusta, joka aloitettiin syksyllä 1999. Koko tutkimuksen tavoitteena on selvittää käyttökelpoinen maanvaraisten antura- ja pilariperustusten mitoituskäytäntö sekä suunnitteluun ja rakentamiseen vaikuttavat tekijät. Koekuormitukset on tehty rataosuudella Tuomioja–Raahe sekä rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö. Koekuormitukset on tehty yhteistyössä rataosuudella toimivien rakennus- ja sähköistysurakoitsijoiden kuten Oy VR-Rata Ab:n ja Sähköradat Oy:n kanssa.

Tutkimus on tehty Tampereen teknillisen korkeakoulun (TTKK) Geotekniikan laboratoriossa. Tutkijana on ollut Mauri Kulman. Pohjatutkimus- ja mittauspalvelu Oy on tehnyt painokairaukset rataosuudella Tuomioja–Raahe. Geotesti Oy on tehnyt rataosuuden Sääksjärvi–Perkkiö painokairaukset anturattomien perustusten kohdalta. Geotekniikan laboratorio on tehnyt painokairaukset anturallisten perustusten kohdilta sekä rakeisuusmääritykset.

Työtä on ohjannut varsinaisen tutkimuksen johtoryhmä, jonka jäseninä ovat olleet Pasi Leimi ja Juha Sjöblom Ratahallintokeskuksesta (RHK), Seppo Jaatinen ja Harri Holmberg Oy VR-Rata Ab:stä, Mikko Törmä Sähköradat Oy:stä sekä Jorma Hartikainen TTKK:sta.

Helsingissä, elokuussa 2001

Ratahallintokeskus
Kunnossapitoyksikkö

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
SISÄLLYSLUETTELO	8
1. KOE KUORMITUSOHJELMA.....	9
1.1 Tavoite	9
1.2 Pohjasuhteet.....	10
1.3 Koekuormitukset	10
2. TOTEUTUNEET KOE KUORMITUKSET	12
2.1 Koekuormitetut perustukset ja kuormituksen sijainti	12
2.2 Mittalaitteisto.....	16
2.3 Koekuormitus	18
2.3 Havainnot	20
2.4 Pohjatutkimukset	23
3. KOE KUORMITUSTULOKSET	25
3.1 Rataosuudella Tuomioja–Raahe koekuormitetut anturalliset perustukset	26
3.2 Rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö koekuormitetut anturalliset	28
perustukset.....	28
3.3 Rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö koekuormitetut anturattomat	31
perustukset.....	31
4. YHTEENVETO.....	33

LIITTEET

- Liite 1 Portaalilaskentaohjelman RPPM tulostusesimerkki
- Liite 2 Koekuormitettujen perustusten tyyppiirustukset
- Liite 3 Anturallisten perustusten sijoitus ratapenkereeseen, painokairaustulokset sekä rakeisuusmääritykset rataosuudella Tuomioja–Raahe
- Liite 4 Anturallisten perustusten sijoitus ratapenkereeseen, painokairaustulokset sekä rakeisuusmääritykset rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö
- Liite 5 Anturattomien perustusten sijoitus ratapenkereeseen, painokairaustulokset sekä rakeisuusmääritykset rataosuudella Tuomioja–Raahe
- Liite 6 Anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja–Raahe
- Liite 7 Anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö
- Liite 8 Anturattomien perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö

1. KOEKUORMITUSOHJELMA

1.1 Tavoite

Koekuormitusten avulla selvitetään, miten perustuksen muoto, pohjaolosuhteet ja pengerluiska vaikuttavat perustuksen toimintaan. Koekuormitettavien perustusten tyypit ovat anturallinen paikalla valettu perustus tai elementtiperustus, anturaton paikalla valettu perustus sekä anturaton perustuselementti. Jokaista perustustyyppiä ja pohjaolosuhdetta kohden suunniteltiin tehtäväksi kolme koekuormitusta. Koekuormitussuuntia oli kolme: kohtisuoraan rataan päin, kohtisuoraan radasta pois päin ja radan suuntaisesti. Koekuormitettavia perustuksia oli 27 kpl ja kuormitussuuntia 3 kpl perustusta kohden, joten koekuormituksia oli yhteensä 81 kpl.

Noin 2/3 koekuormituksista tehtiin rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö, jossa radan perusparannustyöt olivat käynnissä. Loput 1/3 koekuormituksista tehtiin rataosuudella Tuomioja-Raahe, jossa tehtiin olemassa olevan radan sähköistystöitä.

Koekuormitettavat perustukset valittiin siten, että ne sijaitsivat erilaisissa pohjaolosuhteissa. Täten koekuormitusten avulla voitiin selvittää pohjaolosuhteiden vaikutus perustuksen myötö- ja murtomomenttiin sekä momenteja vastaaviin kiertymiin.

Kaikki silmämääräisesti tehtävät havainnot kirjattiin koekuormituksen aikana. Tällaisia ovat mm. maan pinnan halkeilu tai siinä tapahtuvat muodonmuutokset. Havaintojen avulla pyrittiin selvittämään perustuksen ja maan yhteistoimintaan vaikuttavat tekijät sekä maan murtomekanismi.

Perustukset koekuormitetaan penkereeseen ja luiskaan päin. Luiskaan päin koekuormitettujen perustusten myötö- ja murtomomentteja sekä niitä vastaavia kiertymiä verrataan tasaisella maalla olevien perustusten vastaaviin suureisiin. Vertailutulosten perusteella saadaan selville luiskan vaikutus perustuksen toimintaan.

Kuormituksen ja siirtymien perusteella voidaan piirtää perustuksen momentti-kiertymä-kuvaaja, jolta määritetään taitepisteet. Kuvaajan ensimmäisen taitepisteen kohdalla on myötömomentti sekä sitä vastaava kiertymä ja toisen taitepisteen kohdalla on murtomomentti sekä sitä vastaava kiertymä.

1.2 Pohjasuhteet

Pohjaolosuhteet selvitettiin ennen koekuormitusta olemassa olevien pohjatutkimusten perusteella. Pohjatutkimuksia ei yleensä ole tehty jokaisen pylväsperustuksen kohdalta. Näin ollen osa pohjaolosuhteista jouduttiin arvioimaan viereisten pylväiden kohdalta tehtyjen pohjatutkimusten perusteella. Pohjatutkimusten perusteella ei saada selville perustusten rakentamisen yhteydessä mahdollisesti tehdyn massanvaihdon laajuutta tai perustamistason ala- tai yläpuolisen täytön tiiveyttä tai maan laatua.

Perustusten kohdalla olevan maan laatu ja lujuusparametrit selvitettiin koekuormitusten jälkeen tehtävien pohjatutkimusten avulla. Tutkija tilasi pohjatutkimukset tilaajan hyväksymältä konsulttitoimistolta. Jokaisen perustuksen kohdalta tehtiin paino- tai heijarikairaus ja otettiin riittävä määrä maanäytteitä. Hienorakeisista maalajeista otettiin häiriintymättömät ja karkearakeisista maalajeista häiriintyneet maanäytteet. Maalajien ominaisuuksia arvioitiin kairausvastusten perusteella. Maakerrosten mitoituseräparametrit selvitettiin geotekniikan laboratoriossa tehtävien laboratoriokokeiden avulla.

1.3 Koekuormitukset

Koekuormitukset tehtiin kuormittamalla ratajohtopylväitä ajolangan kohdalta vaakasuuntaisella voimalla. Tällöin vaakakuorman ja momentin suhde vastaa todellista tilannetta. Pystykuorma aiheutuu todellisessa tilanteessa pylvään ja siihen kiinnittyvien varusteiden ja laitteiden painosta. Koekuormitustilanteissa pylväisiin ei ole kiinnitetty kaikkia varusteita ja laitteita, joten koekuormitustilanteet poikkeavat tältä osin todellisesta tilanteesta. Varusteiden ja laitteiden paino on kuitenkin pieni verrattuna perustuksen ja sen päällä olevan maan painoon. Täten voidaan olettaa, että varusteiden ja laitteiden painon vaikutus perustuksen momenttikapasiteettiin on vähäinen.

Koekuormituksissa käytettävät vaakakuormat valittiin siten, että ne eivät aiheuta pylväisiin pysyviä muodonmuutoksia. Perustusten suunnittelukuormat saatiin tarvittaessa selville sähkösuunnittelijan tekemistä laskelmista (liite 1). Koekuormituksissa voimaa lisättiin portaittain. Yhden portaan suuruus on noin 1/8–1/10 maksimivoimasta. Voiman lisäys tehdään, kun perustuksen yläreunan siirtymänopeus on pienempi kuin 0,004 mm/min. Viimeisen kuormitusportaon jälkeen voima poistetaan kolmessa portaassa, jotta myös perustuksen palautuminen alkuperäiseen sijaintiinsa sekä mahdolliset pysyvät muodonmuutokset voidaan havaita.

Kaivinkoneen kauhaan kiinnitettiin kaksitoiminen hydraulisyylinteri, jonka hydraulipainetta säädettiin jatkuvasti erillisen säädinyksikön avulla. Käytettävä paine määritettiin pylvääseen kohdistuvan voiman perusteella. Voima havainnoidaan 100 kN voima-anturilla, joka asennetaan hydraulisyylinterin ja pylvään väliin. Kaivinkoneen kauhan siirtymä alkuperäisestä sijainnistaan ei vaikuta voiman suuruuteen, koska varsinainen kuormitus tehdään kaivinkoneen hydraulijärjestelmästä riippumattomalla hydraulisyylinterillä. Kauhan siirryttyä voima-anturi havaitsee voiman pienenemisen. Tietokone rekisteröi voiman pienenemisen ja lisää automaattisesti erillisen hydraulisyylinterin painetta. Paineen havainnointi ja korjaus kestää kokonaisuudessaan vain muutamia sekunteja, joten kuormittava voima saadaan riittävän tasaiseksi.

Perustuksen liikettä seurataan neljän mitta-anturin avulla. Vaakaliike ja vaakakiertymä havaitaan perustuksen sivuun ja pystyliike perustuksen päälle kiinnittyvien antureiden avulla. Havaittujen siirtymien perusteella voidaan määrittää perustuksen kokonais-siirtymä sekä perustuksen kiertymä pysty akselin ja vaaka-akselin ympäri. Perustukseen kiinnitetty pylväs taipuu koekuormitustilanteessa. Pylvään taipumaa ei mitata erikseen. Taipuma voidaan tarvittaessa määrittää laskennallisesti pylvään poikkileikkauksen ja teräksen materiaalivakioiden perusteella.

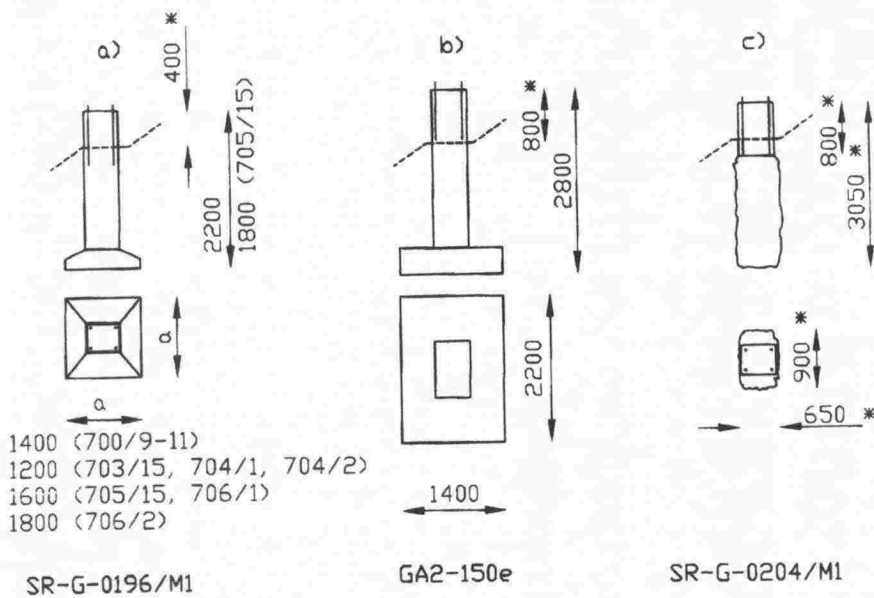
Koekuormituksen aikana P-pylvään portaaliorsi ei saa olla kiinnitettynä pylväisiin, ettei kuormituksen vaakavoima välittyisi orren kautta myös toiselle pylväälle. Portaalit rakennetaan vaiheittain. Ensiksi asennetaan pylväät, jonka jälkeen kiinnitetään orsi ja sen laitteet. Koekuormitus tehdään ennen orren asentamista heti jalkojen asentamisen jälkeen.

2. TOTEUTUNEET KOEKUORMITUKSET

2.1 Koekuormitetut perustukset ja kuormituksen sijainti

Tutkimuksessa koekuormitettiin anturallisia ja anturattomia perustuksia. Rataosuudella Tuomioja–Raahe koekuormitettiin I-pylvään 9 anturallista elementtiperustusta kahteen suuntaan (kuva 2.1a). I-pylvään perustuksia ei voitu koekuormittaa radan suunnassa, koska pylvään taivutusmomenttikestävyys kyseisessä suunnassa oli kuormituksessa vaadittua momenttia oleellisesti pienempi. Perustusten anturaosa oli neliön muotoinen, joten radan suuntaisen koekuormituksen tulokset olisivat todennäköisesti olleet vastaavia kuin kohtisuoraan rataa päin tehtyjen koekuormitusten tulokset. Rataosuuden kaikki perustukset olivat anturallisia elementtiperustuksia. Näin ollen muun tyyppisten perustusten koekuormittaminen kyseisellä rataosuudella ei ollut mahdollista.

Rataosuudella Säöksjärvi–Perkkiö koekuormitettiin P-pylvään 3 anturallista perustusta kahteen suuntaan, P-pylvään 3 anturallista perustusta kolmeen suuntaan (kuva 2.1b), I-pylvään 9 anturattonta perustusta yhteen suuntaan ja I-pylvään 2 anturattonta perustusta kahteen suuntaan (kuva 2.1c). Kaikkia P-pylvään anturallisia perustuksia ei voitu kuormittaa radan suuntaisesti, koska perustukset sijaitsivat ratapenkereellä siten, että koekuormitus kaivinkoneen avulla ei ollut mahdollista ilman erityisjärjestelyjä. Anturattomat perustukset kuormitettiin yleensä vain yhteen suuntaan, koska ensimmäinen koekuormitus löyhdytti perustuksen ympärillä olevan maan. Täten toisen kuormitussuunnan tuloksiin sisältyi myös ensimmäisen kuormitussuunnan palautumista, jolloin tulokset olivat vaikeasti tulkittavissa.

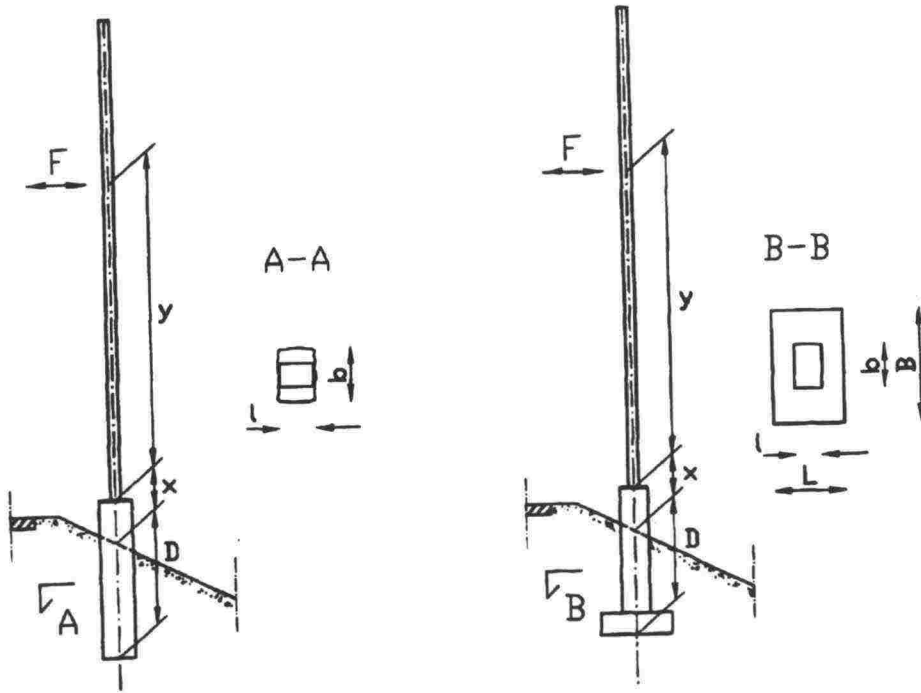


Kuva 2.1. *Koekuormitetut perustukset (* keskimääräinen tulos):*
 a) I-pylvään anturallinen elementti rataosuudella Tuomioja-Raahe
 b) P-pylvään anturallinen perustus rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö
 c) I-pylvään anturaton perustus rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

Liitteessä 3 on esitetty anturallisten perustusten sijoitus ratapenkereeseen rataosuudella Tuomioja-Raahe, liitteessä 4 on anturallisten perustusten sijoitus ratapenkereeseen rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö ja liitteessä 5 anturattomien perustusten sijoitus ratapenkereeseen rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

Anturallisten perustusten ensimmäinen koekuormitus tehtiin kohtisuoraan radalle päin ja toinen radalta pois päin. Kolmas kuormitus P-pylvään anturallisille perustuksilla tehtiin radan suuntaisesti. Koekuormitus tehtiin kuormittamalla perustuksiin kiinnitettyä pylvästä vaakavoimalla. Kuormituspisteen piti sijaita ajolankojen tasolla eli noin 6,1 m Kv:sta. Kuormituspiste sijaitsi Sääksjärvi-Perkkiö-radalla noin 5,95 m korkeudessa. Tuomioja-Raahe-radalla kuormituspistettä jouduttiin laskemaan suunnitellusta, koska koekuormituksessa käytetty kaivinkone ei pysynyt muuten paikoillaan. Lopullinen kuormituspiste sijaitsi noin 4,35 m korkeudessa. Koekuormitettujen perustusten tyyppi ja kuormituspisteen sijainti perustukseen nähden on esitetty taulukossa 2.1. Taulukossa käytetty termistö on esitetty kuvassa 2.2. Koekuormitettujen perustusten rakenne tyyppin mukaan on esitetty liitteessä 2.

Koekuormitettuja perustuksia oli suunnitelmista poiketen yhteensä 26 kpl ja koekuormituksia 43 kpl. Koekuormitettuja perustustyyppejä olivat anturallinen paikalla valettu perustus, anturallinen elementtiperustus sekä paikalla valettu anturaton perustus.



Kuva 2.2. Taulukon 2.1 termistö.

Taulukko 2.1a. Anturallisten perustusten tyyppi ja mittatiedot sekä kuormituspuheen sijainti rataosuudella Tuomioja-Raahe.

Perustus	Tyyppi	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
		B	L	b	h	D	x	y	D+x+y
700/9rp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,80	7,00
700/9lp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
700/10rp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
700/10lp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
700/11rp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
700/11lp	E2.2/1.4	1,4	1,4	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
703/15rp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
703/15lp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
704/1rp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
704/1lp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
704/2rp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
704/2lp	E2.2/1.2	1,2	1,2	0,45	2,20	1,80	0,40	4,35	6,55
705/15rp	E1.8/1.6	1,6	1,6	0,45	1,80	1,43	0,37	4,35	6,15
705/15lp	E1.8/1.6	1,6	1,6	0,45	1,80	1,43	0,37	4,35	6,15
706/1rp	E2.2/1.6	1,6	1,6	0,45	2,20	1,90	0,30	4,35	6,55
706/1lp	E2.2/1.6	1,6	1,6	0,45	2,20	1,90	0,30	4,35	6,55
706/2rp	E2.2/1.8	1,8	1,8	0,45	2,20	1,75	0,45	4,35	6,55
706/2lp	E2.2/1.8	1,8	1,8	0,45	2,20	1,75	0,45	4,35	6,55

Taulukko 2.1b. Anturallisten perustusten tyyppi ja mittatiedot sekä kuormituspisteen sijainti rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Perustus	Tyyppi	B	L	b	h	D	x	y	D+x+y
179/7Brp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,10	0,70	5,95	8,75
179/7Blp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,10	0,70	5,95	8,75
179/9Brp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,95	0,85	5,95	8,75
179/9Blp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,95	0,85	5,95	8,75
179/11Brp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,94	0,86	5,95	8,75
179/11Blp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,94	0,86	5,95	8,75
181/30Brp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,87	0,93	5,95	8,75
181/30Blp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	1,87	0,93	5,95	8,75
181/30Brs	Kc	2,2	1,4	0,55	2,80	1,87	0,93	5,95	8,75
181/32Brp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,01	0,80	5,95	8,75
181/32Blp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,01	0,80	5,95	8,75
181/32Brs	Kc	2,2	1,4	0,55	2,80	2,01	0,80	5,95	8,75
181/34rp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,12	0,68	5,95	8,75
181/34lp	Kc	2,2	1,4	0,85	2,80	2,12	0,68	5,95	8,75
181/34rs	Kc	2,2	1,4	0,55	2,80	2,12	0,68	5,95	8,75

Taulukko 2.1c. Anturattomien perustusten tyyppi ja mittatiedot sekä kuormituspisteen sijainti rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

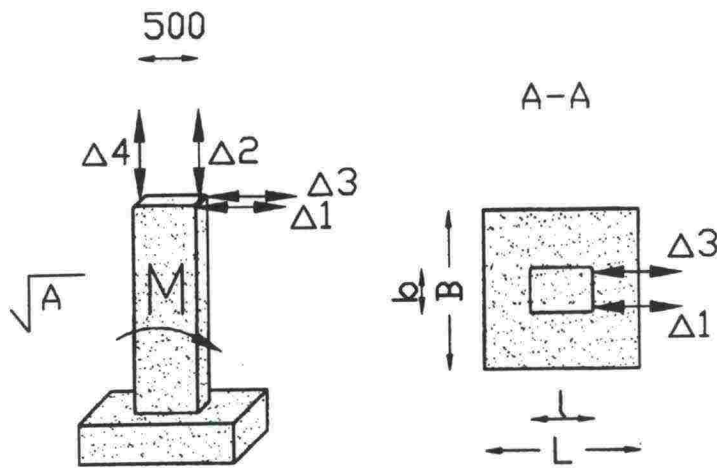
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Perustus	Tyyppi	b	l	h	D	x	y	D+x+y
181/16lp	N	0,95	0,55	2,95	2,70	0,25	5,50	8,45
181/18lp	N	1,05	0,55	3,15	2,95	0,20	5,50	8,65
18120lp	N	0,95	0,55	3,00	2,76	0,24	5,50	8,50
181/27lp	N	0,95	0,55	3,00	2,65	0,35	5,50	8,50
181/29lp	N	0,95	0,55	2,95	2,62	0,33	5,50	8,45
181/31lp	N	0,95	0,55	3,10	2,77	0,33	5,50	8,60
181/32lp	N	0,95	0,55	3,00	2,65	0,35	5,50	8,50
182/1lp	N	0,95	0,55	3,20	2,40	0,80	5,50	8,70
181/15rp	N	0,95	0,55	3,10	2,80	0,30	5,50	8,60
181/28rp	N	0,95	0,55	2,80	2,45	0,35	5,50	8,30
181/30rp	N	0,95	0,55	2,95	2,55	0,40	5,50	8,45
181/31rp	N	0,95	0,55	3,10	2,77	0,33	5,50	8,60
182/1rp	N	0,95	0,55	3,20	2,40	0,80	5,50	8,70

Taulukon termien selitykset:

- rp rataa päin
- lp luiskaa päin
- B perustuksen leveys (sivumitta radan suunnassa)
- b pilariosan leveys (sivumitta radan suunnassa)
- L perustuksen pituus (sivumitta kohtisuoraan rataa vasten)
- l pilariosan pituus (sivumitta kohtisuoraan rataa vasten)
- h perustuksen korkeus
- D perustamissyvyys
- x x-mitta eli perustuksen yläpinnan etäisyys maanpinnasta
- y kuormituspisteen etäisyys perustuksen yläpinnasta

2.2 Mittalaitteisto

Perustuksen vaaka- ja pystysiirtymät mitattiin neljällä mitta-anturilla. Perustuksen yläreunan vaakasiirtymää mitattiin kahdella mitta-anturilla ja perustuksen yläreunan pystysiirtymää havainnoitiin kahdella anturilla (kuva 2.3). Mitta-anturit kiinnitettiin teräsprofileihin erillisten magneettijalkojen avulla (kuva 2.4). Teräsprofiilit kiinnitettiin puristimien avulla taittotikkaisiin, jotka sijaitsivat yli 2 m etäisyydellä perustuksen reunasta (kuva 2.5).



Kuva 2.3. Mitta-antureiden sijainti.



Kuva 2.4. Mitta-anturien kiinnitys.



Kuva 2.5. Mittalaitteiden tukelineet.

Kaivinkoneen puomin ja pylvään välinen vaakavoima mitattiin sylinterin ja pylvään väliin kiinnitettyllä voima-anturilla. Pystysuuntaista voimaa ei mitattu erikseen. Kuormitussylinteriä ei kiinnitetty pylvääseen. Pystykuorma syntyi kuormitussylinterin ja pylvään välissä olevasta kitkasta, kun kaivinkoneen puomi pyrki siirtymään alaspäin. Mahdollisen kitkavoiman vaikutusta ei ole määritetty erikseen. Kitkavoiman oletetaan olevan tulosten kannalta merkityksettömän pieni.

2.3 Koekuormitus

Kuormitus tehtiin erillisellä hydraulisynterillä, joka kiinnitettiin vastapainona toimivan kaivinkoneen puomiin. Sylinteri nostettiin oikeaan asemaansa, jonka jälkeen koekuormitus aloitettiin (kuvat 2.6–2.7). Kaivinkoneen kauhaa ei voitu lukita paikoilleen. Se pysyi paikoillaan kaivinkoneen omien hydraulisynterien avulla. Kaivinkoneen hydraulipaineita säätevien venttiilien välitys mahdollisti kaivinkoneen hydraulisynterien "ryömimisen" alkuperäisestä sijainnistaan. Koekuormituksessa käytetty kuormitus-sylinteri oli kaksitoiminen, joten voiman suuruus pysyi melko vakiona "ryömimisestä" huolimatta.



Kuva 2.6. I-pylvään perustuksen koekuormitus kohtisuoraan rataa päin rataosuudella Tuomioja–Raahe.

Hydraulipainetta säädettiin käsi käyttöisellä säätimellä. Painetta piti säätää sähköisesti erillisen säätimen avulla. Koekuormituksessa kuitenkin todettiin, että hydraulipaineen kasvattaminen ei lisännyt kuormitusvoimaa välittömästi vaan noin minuutin kuluttua paineen lisäyksestä. Sähköisen säätimen käyttö ei ollut tarkoituksenmukaista, koska säätimen aiheuttaman voiman lisäystä ei tiedetty säätöä tehtäessä. Kuormitussylinterin hydraulipaineet sekä vaakavoima kasvoivat vähitellen koko kuormituksen ajan. Tämä paineiden lisääntyminen saattoi johtua hydraulioiljyjen lämpenemisen aiheuttamasta hydraulipaineiden kasvusta tai vastapainon "ryömimisnopeuden" hidastumisesta.



Kuva 2.7. P-pylvään perustuksen koekuormitus kohtisuoraan rataan päin rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

Koekuormitukset pyrittiin tekemään kahdeksassa kuormitusportaassa. Jokaisen portaan suuruus oli 1/8 arvioidusta murtokuormasta. Koekuormituksissa käytettävän hydraulisylinterin iskun pituus oli 1,0 m. Koekuormitus pyrittiin tekemään yhtäjaksoisesti ilman keskeytyksiä. Koekuormitetut perustukset oli perustettu karkearakeisen maan varaan. Täten perustusten siirtymänopeus väheni melko pian kuormituksen lisäyksen jälkeen ja kuormitusajat olivat kohtuullisia. Kuorman lisääntyminen koko kuormitusportaan ajan aiheutti perustusten jatkuvan siirtymisen. Tämä vaikeutti todellisen siirtymänopeuden havainnointia. Kuormitusta lisättiin, kun siirtymänopeuden voitiin todeta olevan pienempi kuin 0,004 mm/min.

2.3 Havainnot

Perustuksen yläreunan murtuminen

Ratajohtopylväät on kiinnitetty perustukseen kiinteällä kiinnityksellä (kuva 2.8), jossa pylvään alareunaan kiinnitetty pohjalevy tukeutuu suoraan perustuksen yläpintaan. Betonipinnan epätasaisuudet ja perustuksen sijaintipoikkeamat korjataan eri paksuisilla taseuslevyillä, jotka asennetaan pohjalevyn ja perustuksen väliin. Osa koekuormitetuista perustuksista vaurioitui näkyvästi koekuormituksen aikana. Perustuksen kuormitetun reunan keskeltä tai reunasta lohkesi halkaisijaltaan noin 100 mm suuruinen pala (kuva 2.8). Joidenkin perustusten kuormitettuun reunaan syntyi halkeamia, mutta varsinaista reunan lohkeamista ei tapahtunut. Tällaisten perustusten pilariosan etureunan lohkeaminen on todennäköistä viimeistään halkeamassa jäätyvän veden tai sen kohdalla sijaitsevien betoniterästen korroosion vaikutuksesta.

Perustuksen yläpinta voi olla epätasainen tai se voi asennusteknisistä syistä olla eri suuntainen kuin pylvään pohjalevy. Tämä aiheuttaa pylvään pohjalevyltä välittyvän puristusvoiman epätasaisen jakautumisen. Mikäli puristusvoima kohdistuu pistemäisenä perustuksen pilariosan reunaan, siihen todennäköisesti syntyy halkeama tai reuna lohkeaa (kuva 2.8). Teoriassa lohkeamista ei tapahdu, koska pylvään pohjalevyn oletetaan olevan yhdensuuntainen perustuksen yläpinnan kanssa. Tällöin puristusvoiman oletetaan jakautuvan tasaisesti koko pohjalevyn alalle.



Kuva 2.8. Perustuksen yläosan murtuminen koekuormituksen aikana.

Maanpinnan halkeilu ja muodonmuutokset

Koekuormitusohjelman mukaan koekuormituksen aikana tehtiin havaintoja maan pinnassa tapahtuvista ilmiöistä kuten maan halkeilusta tai muodonmuutoksista. Havaintojen perusteella arvioitiin perustuksen ympärillä olevan maan käyttäytymistä kuormituksen aikana. Maan pinnan pystysuuntaiset muodonmuutokset olivat niin vähäisiä, että muodonmuutosten havaitseminen kenttäolosuhteissa ei ollut mahdollista. Koekuormitusten aikana voitiin havaita maan halkeaminen perustuksen edessä poikkisuuntaan kuormitukseen nähden. Maan halkeaminen ei ollut äkillinen vaan halkeama suureni perustuksen kiertymien kanssa samassa suhteessa.

Maan pinnalta ei voitu tehdä havaintoja, joiden mukaan voitaisiin päätellä perustuksen anturan tai pilariosan murtomekanismia. Pohjatutkimusten perusteella perustamistason yläpuolinen täyttö on ollut löyhää soraa tai moreenia. Koekuormituksessa perustamis-

tason yläpuolinen täyttö tiivistyi kuormituksen vaikutuksesta. Muodonmuutokset olivat niin pieniä, että maanpinnalta havaittavaa murtumista koekuormituksen aikana ei tapahtunut.

Maan murtuminen tapahtuu aikaisintaan sen jälkeen, kun perustuksen ympärillä oleva maa ei enää tiivisty kuormitusta lisättäessä. Anturallisten perustusten koekuormitus jouduttiin lopettamaan ennen perustamistason yläpuolisen täytön murtumista, koska anturalliset perustukset otettiin käyttöön koekuormituksen jälkeen ja täten perustukset eivät saaneet siirtyä oleellisesti paikoiltaan. Anturattomien perustusten murto luiskaan päin havaittiin kuormitus-siirtymä -kuvaajalta kuormituksen aikana. Tällöin maan pinnalla ei ollut havaittavissa erityisiä muodonmuutoksia. Anturattomien perustusten koekuormituksessa perustuksen ja pylvään välisen liitoksen vedetyt pultit alkoivat myötää ennen maan murtumista.

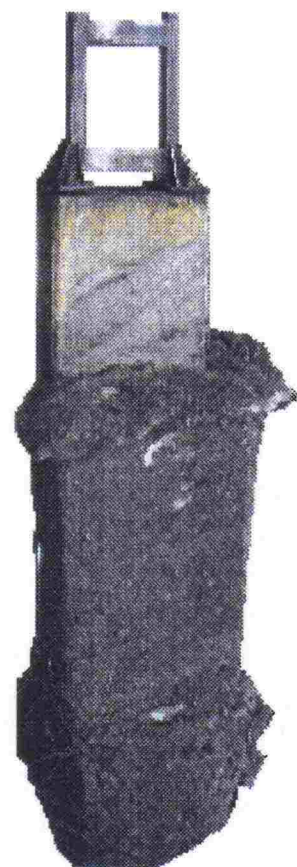
Pulttien koko ja teräslaatu on muuttunut useita kertoja perustusten rakennusajankohdan jälkeen. Muutoksia on tehty myös koekuormitettujen perustusten rakentamisvuonna. Piirustuksiin tehdyt revisiomerkinnot ovat puutteelliset, joten niiden mukaan ei voida varmuudella todeta koekuormitettujen perustusten pulttityyppejä. Todennäköistä kuitenkin on, että koekuormitettujen perustusten ankkuripultit olivat 20 mm pyöröteräs-tankoa. Pulttien teräslaatu oli todennäköisesti Fe 37 tai vastaava.

Anturattomien perustusten dimensioiden tarkistus

Rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö koekuormitettiin käytöstä poistettujen anturattomien I-pylväiden perustuksia, jotka on tehty paikalla valuna. Betoni oli valettu kaivantoon, jonka yläreuna oli tuettu kaivulevyillä noin 1 m korkeudelta. Kaivannon alaosa ei ole erikseen tuettu. Perustusten mitat oli määritetty piirustuksen "I-pylvään anturaton perustus" mukaan (liite 2). Mitat oli tarkistettu ja merkitty perustuskorttiin ennen valua.

Koekuormitettujen perustusten mittatietojen paikkansapitävyys tarkistettiin kaivamalla osa koekuormitetuista perustuksista esiin koekuormituksen jälkeen (kuva 2.9). Perustuksen korkeudet poikkesivat enintään ± 50 mm perustusraporttikortin tiedoista. Poikkeamat saattoivat aiheutua perustuksen pohjan epätasaisuudesta, joka vaikeutti mittatulosten tulkintaa. Perustuksen pohjan muoto oli kaivutekniikasta johtuen kupera, joten perustuksen korkeus oli vaikea määrittää yksiselitteisesti. Kaivulevyjen sisään valetun osan korkeus oli noin 1 m ja leveys 950 mm 10 mm tarkkuudella. Maata vasten valetun osan leveys oli 950 mm 30 mm tarkkuudella lukuun ottamatta perustusta 181/18, jonka maanvaraana valetun osan leveys oli muista poiketen 1050 mm.

Esiin kaivettuja perustuksia oli yhteensä seitsemän, joista yksi poikkesi suunnitelmista. Kaikkia perustuksia ei kyetty kaivamaan esiin, koska perustusten molemmiin puolin oli toimivia kaapeleita. Kaivamisen yhteydessä kaivannon reuna sortui vähitellen. Kaapeleiden päällä oleva maa kuormitti niitä siten, että kaivamista ei voitu jatkaa ilman erityisjärjestelyjä. Tehtyjen tarkistusmittausten perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että koekuormitettujen perustusten muoto ja korkeus ovat suunnitelmien ja perustuskortin mukaiset.



Kuva 2.9. Rataosuudella Säöksjärvi–Perkkiö esiin kaivettu anturaton perustus.

2.4 Pohjatutkimukset

Anturalliset perustukset rataosuudella Tuomioja–Raahe (liite 3)

Ratapenkereen korkeus koekuormitettavien perustusten kohdalla on noin 1,5 m. Perustusten suunniteltu perustamissyvyys on 1,8 m, joten perustusten pohja tukeutui suoraan perusmaahan. Kaivanto on tehty siten, että se ulottuu mahdollisimman tarkasti perustamissyvyyteen, jolloin perustamistason alapuolinen täyttö on mahdollisimman pieni (yleensä alle 100 mm). Suurempaa ylikaivua on tehty vain massanvaihdon tai ylimääräisten esteiden poiston yhteydessä.

Perustamistason alapuolinen ja yläpuolinen täyttö on tiivistetty painelemalla sitä kaivinkoneen kauhalla. Lopuksi rakennettu täyttö on tiivistetty pinnalta kaivinkoneen puomiin kiinnitettävällä tiivistyslevyllä. Tällöin, kaivinkoneen kuljettajan kuvauksen perusteella, rakennettu täyttö on painunut yli 100 mm. Paikalla tehtyjen silmämääräisten havaintojen perusteella täytön pinnan tiivistys on onnistunut hyvin. Jokaisen perustuksen kohdalta on tehty painokairaus. Tulokset on esitetty liitteessä 3.

Tulosten perusteella voidaan todeta täytön tiiviys. Täyttösoran tiiviys muuttuu syvemmälle mentäessä tiiviistä keskitiiviiksi tai löyhäksi. Maan tiivistyvyyteen on voinut vaikuttaa myös paikalle tuodun täyttösoran hyvä tiivistyvyys verrattuna paikalta kaivetun hiekan tiivistyvyyteen. Täyttösora ulottuu noin 500 mm syvyyteen maan pinnalta, jonka jälkeen täyttö muuttuu lajittuneeksi hiekaksi.

Anturalliset perustukset rataosuudella Säöksjärvi–Perkkiö (liite 4)

Perustusten suunniteltu perustamissyvyys on 2,0 m. Ratapenkereen korkeus perustuksilla 179/7B, 179/9B, 179/11B oli 1,8–0,8 m, joten perustukset eivät olleet suoranaisesti pengerluiskassa. Perustusten pohja tukeutui perusmaahan tai paikalla tehdyn massanvaihdon varaan. Ratapenkereen korkeus perustuksilla 181/30B, 181/32B, 1818/34 oli 4,2–7,0 m, joten perustukset olivat pengerluiskassa. Perustusten pohja tukeutui rakennetun penkereen varaan.

Oy VR-Rata Ab:n valvojan mukaan perustamistason alapuolinen ja yläpuolinen täyttö on tiivistetty tärylevyllä. Luiskia ei ole tiivistetty erikseen. Penger on tiivistetty rakennusaikana noin 500 mm kerroksina päältä ajettavalla valssijyrällä. Paikalla tehtyjen silmämääräisten havaintojen perusteella perustamistason yläpuolinen täyttö luiskissa on kuitenkin löyhää.

Jokaisen perustuksen kohdalla on tehty painokairaus. Maanäytteitä on otettu tarvittava määrä. Painokairaustulokset sekä maanäytteiden rakeisuudet on esitetty liitteessä 4. Painokairaustulosten perusteella voidaan todeta, että koekuormitettujen perustusten yläpuolinen täyttö sekä perustusten 181/30B, 181/32B ja 181/34 alapuolinen täyttö on löyhää soraa. Täten täytön tiivistys on epäonnistunut tai sitä ei ole tehty ollenkaan.

Anturattomat perustukset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö (liite 5)

Koekuormitetut perustukset ovat vanhoja käytöstä poistettuja, paikalla valettuja I-pylvään perustuksia. Perustusten perustamissyvyys oli 2,5–3,0 m. Ratapenkereen korkeus perustuksilla 181/27, 181/29, 181/31, 182/1 oli suurempi kuin perustamissyvyys. Muiden perustusten kohdalla ratapenkereen korkeus oli yleensä <2,0 m.

Perustukset on tehty valamalla betoni ratapenkereeseen kaivettuun pystysuuntaiseen kuoppaan. Erillistä perustuskaivantoa tai sen täyttöä ei ole tehty, joten perustuksen ympärillä oleva maa ja sen tiiviys on sama kuin sitä ympäröivässä ratapenkereessä. Paikalla tehtyjen silmämääräisten havaintojen perusteella ratapenger ja erityisesti pengertuiska olivat löyhää soraa.

Koekuormitettujen perustusten kohdalla on tehty painokairaus ja otettu riittävä määrä maanäytteitä. Pohjatutkimustulokset on esitetty liitteessä 5. Tulosten perusteella voidaan todeta, että koekuormitettujen perustusten kohdalla oleva täyttö on löyhää soraa tai moreenia. Ratapenkereen reuna-alueita ei ole tiivistetty tai ne eivät ole tiivistyneet rakennusaikana. Myöskään pitkäaikaisella junakuormalla ei ole ratapenkereen reuna-alueita tiivistävää vaikutusta.

3. KOEKUORMITUSTULOKSET

Koekuormitusten mittaustulokset talletettiin numeerisessa muodossa tietokoneen kova-levylle sekä disketille. Niiden perusteella piirrettiin perustuksen käyttäytymistä mahdollisimman hyvin kuvaavat diagrammit, jotka on esitetty perustuskohtaisesti liitteissä 6–8. Yhtä koekuormitusta kohden on kaksi diagrammia: kiertymä-momentti ja aika-momentti -kuvaaja. Momentin yksikkö on [kNm], kiertymän yksikkö on [‰], ajan yksikkö on [s]. Yksiköt on esitetty myös diagrammeissa.

Kiertymä-momentti -kuvaajassa on esitetty perustamistasossa eli anturan alareunassa vaikuttava momentti sekä siitä aiheutuva perustuksen kiertymä. Momentti on laskettu kertomalla kuormituksessa käytetty vaakavoima sen etäisyydellä perustamistasosta. Kiertymät on laskettu pystysiirtymien (katkoviiva) tai vaakasiirtymien (ehjä viiva) perusteella. Koekuormituksessa rekisteröitiin perustuksen yläpinnan siirtymät perustuksen molemmalta reunoilta. Mitta-antureiden väli oli 500 mm. Perustuksen kiertymä laskettiin pystysiirtymien perusteella jakamalla pystysiirtymien ero niiden keskinäisellä etäisyydellä. Vaakasiirtymät rekisteröitiin perustuksen yläreunasta. Perustuksen kiertymä laskettiin jakamalla keskimääräinen vaakasiirtymä sen etäisyydellä kiertokeskiöstä. Mittaustulosten luotettavuutta voidaan arvioida eri menetelmillä piirretyistä kuvaajista.

Aika-momentti -kuvaajassa on esitetty perustamistasossa vaikuttava momentti koekuormituksessa käytetyn ajan funktiona. Kuvaajasta voidaan havaita koekuormitusportaiden määrä, voiman suuruus sekä kuormitusportaan kesto. Kuvaajasta voidaan havaita myös koekuormituksessa tapahtuneet katkot tai kuormituksen palautukset.

Momentti-kiertokeskiö -kuvaajasta voidaan havaita kiertokeskiön laskennallinen etäisyys perustuksen yläpinnasta. Kiertokeskiön sijainti on laskettu jakamalla perustuksen yläreunan vaakasiirtymä pystysiirtymien perusteella lasketulla kiertymällä.

Koekuormitustulosten perusteella on määritetty perustuksen myötö- ja murtomomentti sekä niitä vastaavat kiertymät. Kiertymä-momentti -kuvaajalta määritetään kaksi taitepistettä. Ensimmäinen taitepiste on piste, jossa plastisoitumisen katsotaan alkavan. Ensimmäisen taitepisteen kohdalla oleva momentti on myötömomentti. Toisen taitepisteen kohdan jälkeen maa ei kykene vastaanottamaan siihen kohdistuvaa kuormitusta. Tällöin perustuksen kiertymät kasvavat nopeasti jo pienillä kuormituksen lisäyksillä. Toisen taitepisteen kohdalla oleva momentti on perustuksen murtomomentti.

Taulukoissa 3.1–3.7 on esitetty koekuormitusten perusteella määritetyt perustuksen murto- ja myötömomentti, momenttien suhde, kiertokeskiön sijainnin ja perustamisyyvyyden suhde sekä myötö- ja murtomomenttia vastaavat kiertymät. Kuvissa ja taulukoissa käytetyt merkinnät ovat seuraavat:

M_y	myötömomentti
M_u	murtomomentti
z_r	kiertokeskiön etäisyys maan pinnalta

β_y	myötömomenttia vastaava kiertymä
β_u	murtomomenttia vastaava kiertymä

3.1 Rataosuudella Tuomioja–Raahe koekuormitetut anturalliset perustukset

Kuormitus kohtisuoraan radalle päin

Tarkasteltavia perustuksia ei ole koekuormitettu aiemmin. Liitteen 6 kiertymämomentti -kuvaajilta on havaittavissa selvä myötö- ja murtomomentti sekä niitä vastaava kiertymä. Liitteen 6 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymät sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.1. Koekuormitukset on tehty kolmen perustuksen sarjoina. Kahden ensimmäisen sarjan perustusten keskinäiset momentit ovat samaa suuruusluokkaa. Kolmannen sarjan perustusten keskinäiset momentit poikkeavat toisistaan. Tämä johtuu perustusten kokoeroista. Perustyyppinä on rakennusaikana muutettu siten, että alkuperäisten suunnitelmien mukaan samankokoisiksi perustuksiksi määrätty perustukset 705/15, 706/1, 706/2 ovat eri kokoisia. Täten viimeisen sarjan perustusten momentit eivät ole keskenään vertailukelpoisia.

Taulukko 3.1. Kohtisuoraan radalle päin kuormitettujen anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja–Raahe.

	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	B	L	b	D	z_r	z_r/D	M_y	M_u	M_u/M_y	β_y	β_u
700/9rp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,2	0,67	65	125	1,9	1	5
700/10rp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,1	0,61	60	120	2,0	1	6
700/11rp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,2	0,67	55	120	2,2	1	7
703/15rp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,3	0,72	40	80	2,0	1	5
704/1rp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,2	0,67	45	90	2,0	1	5
704/2rp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,2	0,67	45	100	2,2	1	5
705/15rp	1,6	1,6	0,45	1,43	1,1	0,77	50	100	2,0	1	5
706/1rp	1,6	1,6	0,45	1,90	1,2	0,63	75	150	2,0	1	6
706/2rp	1,8	1,8	0,45	1,75	0,9	0,51	75	130	1,7	2	6
Keskiarvo						0,66			2,01	1,11	5,56
Keskihajonta						0,07			0,14	0,33	0,73

Kuormitus kohtisuoraan radalta pois päin

Tarkasteltavat perustukset on koekuormitettu aiemmin kohtisuoraan radalle päin. Perustusten myötömomenttia ei ole kyetty määrittämään liitteen 6 kiertymämomentti -kuvaajilta vaan se on laskettu murtomomentin perusteella. Liitteen 6 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymä sekä kiertoakeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.2. Murtomomentteja vastaavien kiertymien hajonta on suuri. Tähän on syynä ensimmäisen koekuormituskerran aiheuttama pysyvä kiertymä, josta osa palautuu toisen koekuormituksen alussa. Koekuormitukset on tehty kolmen perustuksen sarjoina. Taulukon 3.2 perusteella voidaan todeta, että kahden ensimmäisen sarjan perustusten keskinäiset momentit ovat samaa suuruusluokkaa. Kolmannen sarjan perustusten keskinäiset momentit poikkeavat toisistaan. Tämä johtuu perustusten kokoeroista. Perustyyppinä on rakennusaikana muutettu siten, että alkuperäisten suunnitelmien mukaan samankokoisiksi perustuksiksi määrätty perustukset 705/15, 706/1, 706/2 ovat eri kokoa. Täten viimeisen sarjan tulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia.

Taulukko 3.2. Kohtisuoraan luiskaan päin kuormitettujen anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raaha.

	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	B	L	b	D	z_r	z_r/D	M_y	M_u	M_u/M_y	β_y	β_u
700/9lp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,3	0,72	40*	80	2,0*	6*	11
700/10lp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,2	0,67	33*	65	2,0*	5*	10
700/11lp	1,4	1,4	0,45	1,80	1,2	0,67	38*	75	2,0*	4*	8
703/15lp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,5	0,83	28*	55	2,0*	4*	8
704/1lp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,3	0,72	33*	65	2,0*	7*	14
704/2lp	1,2	1,2	0,45	1,80	1,2	0,67	30*	60	2,0*	7*	13
705/15lp	1,6	1,6	0,45	1,43	0,9	0,63	28*	55	2,0*	3*	6
706/1lp	1,6	1,6	0,45	1,90	1,5	0,79	53*	105	2,0*	3*	6
706/2lp	1,8	1,8	0,45	1,75	1,1	0,63	50*	100	2,0*	5*	9
Keskiarvo						0,70			2,00*	4,89*	9,44
Keskihajonta						0,07			0*	1,54*	2,83

- * Kuvaajalta ei voida havaita selvää myötörajaa, koska ensimmäisen kuormituskerran aiheuttamien pysyvien siirtymien palautuminen muuttaa todellisen kiertymämomentti -kuvaajan muotoa. Myötömomentti on laskettu havaitun murtomomentin perusteella seuraavasti $M_y = \frac{1}{2} \cdot M_u$. β_y on laskettua myötömomenttia vastaava kiertymä.

3.2 Rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö koekuormitetut anturalliset perustukset

Kuormitus kohtisuoraan radalle päin

Tarkasteltavia perustuksia ei ole aiemmin koekuormitettu. Liitteen 7 kiertymämomentti -kuvaajilta on havaittavissa selvä myötö- ja murtomomentti sekä niitä vastaava kiertymä. Liitteen 7 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymät sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.3. Perustuksen 179/7B murtomomenttia ei ole havaittu, koska koekuormitus on lopetettu murtokuormaa pienemmillä kuormilla. Koekuormitus lopetettiin perustuksen ja pulttiliitoksen momenttikapasiteetin perusteella ennen murtomomentin saavuttamista. Koekuormitukset on tehty kolmen perustuksen sarjoina. Kaikki perustukset ovat saman kokoisia. Eri perustusten pohjaolosuhteet vaihtelevat, joten kaikki tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Perustuksen 179/7B suuri murtomomentti muihin perustuksiin verrattuna aiheutunee perustuksen alla olevasta tiiviistä silttikerroksesta. Perustuksen 181/30B pieni momenttikapasiteetti muihin verrattuna aiheutunee perustuksen ympärillä ja alla olevan maan löyhyydestä.

Taulukko 3.3. Kohtisuoraan radalle päin kuormitettujen anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[°/oo]	[°/oo]
Perustus	B	L	b	D	z_r	z_r/D	M_y	M_u	M_u/M_y	β_y	β_u
179/7Brp	2,2	1,4	0,85	2,10	1,2	0,57	90	170*	1,9*	1	5*
179/9Brp	2,2	1,4	0,85	1,95	1,6	0,82	55	105	1,9	1	4
179/11Brp	2,2	1,4	0,85	1,94	1,1	0,57	65	130	2,0	1	4
181/30Brp	2,2	1,4	0,85	1,87	1,4	0,75	30	60	2,0	~0	1
181/32Brp	2,2	1,4	0,85	2,01	**	**	60	130	2,2	1	5
181/34rp	2,2	1,4	0,85	2,12	1,5	0,71	60	120	2,0	1	5
Keskiarvo						0,68			2,00	0,83	4,00
Keskihajonta						0,11			0,11	0,41	1,55

* Koekuormitus on lopetettu ennen kuin perustuksen ympärillä oleva maa on murtunut. M_u ja β_u on arvioitu kiertymä-momentti-kuvaajan muodon ja myötömomentin perusteella.

** Kiertokeskiön sijaintia ei ole voitu määrittää, koska perustuksen pystysuuntaisten siirtymien mittaus on epäonnistunut.

Kuormitus kohtisuoraan radalta pois päin

Tarkasteltavat perustukset on koekuormitettu aiemmin kohtisuoraan radalle päin. Perustusten myötömomenttia ei ole kyetty määrittämään liitteen 7 kiertymä-momentti -kuvaajilta vaan se on laskettu murtomomentin perusteella. Liitteen 7 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymät sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.4. Murtomomenttia vastaava kiertymä on perustusta 179/9B lukuun ottamatta noin 5 ‰. Täten ensimmäisen koekuormituksen aiheuttaman pysyvän kiertymän vaikutus toisen koekuormituksen tuloksiin on vähäinen.

Taulukko 3.4. Kohtisuoraan luiskaan päin kuormitettujen anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	B	L	b	D	z_r	z_r/D	M_y	M_u	M_u/M_y	β_y	β_u
179/7Blp	2,2	1,4	0,85	2,10	1,6	0,76	60	120**	2,0**	1	5**
179/9Blp	2,2	1,4	0,85	1,95	1,1	0,56	48*	95	2,0*	6*	12
179/11Blp	2,2	1,4	0,85	1,94	1,6	0,82	60*	120	2,0*	3*	6
181/30Blp	2,2	1,4	0,85	1,87	1,2	0,64	30*	60	2,0*	3*	5
181/32Blp	2,2	1,4	0,85	2,01	1,5	0,75	45*	90	2,0*	3*	5
181/34lp	2,2	1,4	0,85	2,12	1,3	0,61	45*	90	2,0*	3*	5
Keskiarvo						0,69			2,00*	3,17	6,33
Keskihajonta						0,10			0*	1,60	2,80

* Kuvaajalta ei voida havaita selvää myötörajaa, koska ensimmäisen kuormitus-kerran aiheuttamien pysyvien siirtymien palautuminen muuttaa todellisen kiertymä-momentti -kuvaajan muotoa. Myötömomentti on laskettu havaitun murtomomentin perusteella seuraavasti $M_y = \frac{1}{2} \cdot M_u$. β_y on laskettua myötömomenttia vastaava kiertymä.

** Koekuormitus on lopetettu ennen kuin perustuksen ympärillä oleva maa on murtunut. M_u ja β_u on arvioitu kiertymä-momentti -kuvaajan muodon ja myötömomentin perusteella.

Perustuksen 179/7B murtomomenttia ei ole havaittu, koska koekuormitus on lopetettu murtokuormaa pienemmillä kuormilla. Koekuormitus lopetettiin perustuksen ja pulttiliitoksen momenttikapasiteetin perusteella ennen murtomomentin saavuttamista. Koekuormitukset on tehty kolmen perustuksen sarjoina. Kaikki perustukset ovat saman kokoisia. Eri perustusten pohjaolosuhteet vaihtelevat, joten kaikki tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Perustuksen 179/7B suuri murtomomentti muihin verrattuna aiheutuu perustuksen alla olevasta tiiviistä silttikerroksesta. Perustuksen 181/30B pieni momenttikapasiteetti muihin verrattuna aiheutuu perustuksen ympärillä ja alla olevan maan löyhyydestä.

Kuormitus radan suuntaisesti

Tarkasteltavat perustukset on aiemmin koekuormitettu kohtisuoraan radalle päin ja kohtisuoraan radalta pois päin. Liitteen 7 kiertymä-momentti -kuvaajilta on havaittavissa selvät myötö- ja murtomomentit sekä niitä vastaavat kiertymät. Aiempi koekuormitus ei täten vaikuta oleellisesti kiertymä-momentti -kuvaajan muotoon tai momentteja vastaavaan kiertymään. Liitteen 7 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymät sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.5.

Taulukko 3.5. Radan suuntaisesti kuormitettujen anturallisten perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Säaksjärvi-Perkkiö.

	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	B*	L*	b*	D	z _r	z _r /D	M _y	M _u	M _u /M _y	β _y	β _u
181/30Brs	2,2	1,4	0,55	1,87	1,1	0,59	75	130	1,7	1	4
181/32Brs	2,2	1,4	0,55	2,01	1,2	0,60	80	170	2,1	1	5
181/34rs	2,2	1,4	0,55	2,12	1,6	0,75	75	145	1,9	1	5
Keskiarvo						0,65			1,93	1,00	4,67
Keskihajonta						0,09			0,20	0,00	0,58

** Mitat ovat samat kuin kohtisuoraan rataan tai luiskaan päin kuormitetuilla perustuksilla.

3.3 Rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö koekuormitetut anturattomat perustukset

Kuormitus kohtisuoraan radalta pois päin

Tarkasteltavia perustuksia ei ole koekuormitettu aiemmin. Liitteen 8 kiertymämomentti -kuvaajilta on havaittavissa selvät myötö- ja murtomomentti sekä niitä vastaava kiertymä. Liitteen 8 kuvaajien perusteella määritetyt momentit ja kiertymät sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.6.

Kaivinkoneen kauha tönäisi perustuksen 182/1 pylvästä ennen ensimmäistä koekuormitusta. Tönäisyn vaikutuksen voi havaita perustuksen kiertymämomentti -kuvaajalta. Kuvaajan muoto ennen murtomomenttia on lähes lineaarinen eikä parabolinen kuten ensimmäisten koekuormituskertojen perusteilla. Murtomomentin jälkeen perustuksen kiertymä kasvaa merkittävästi jo pienellä kuorman lisäyksellä. Havaittu murtomomentti lienee lähellä momenttia, jolla perustus menettää stabiiliisuutensa.

Luiskakaltevuudet ja penkereen korkeudet vaihtelevat eri perustusten kesken. Perustusten 181/27, 181/29 ja 181/31 sijainti luiskaan nähden, luiskan kaltevuus, perustusten koko sekä pohjaolosuhteet vastaavat toisiaan. Taulukon 3.6 perusteella voidaan todeta, että kyseisten perustusten myötö- ja murtomomentit vastaavat hyvin toisiaan.

Taulukko 3.6. Kohtisuoraan luiskaan päin kuormitettujen anturattomien perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	b	l	D	z _r	z _r /D	M _y	M _u	M _u /M _y	β _y	β _u
181/16lp	0,95	0,55	2,70	2,2	0,81	50	90	1,8	1	2
181/18lp	1,05	0,55	2,95	2,4	0,81	60	110	1,8	1	2
181/20lp	0,95	0,55	2,76	2,4	0,87	40	60	1,5	~0	1
181/27lp	0,95	0,55	2,65	2,2	0,83	20	35	1,8	~0	2
181/29lp	0,95	0,55	2,62	2,3	0,88	22	35	1,6	~0	2
181/31lp	0,95	0,55	2,77	2,0	0,72	22	35	1,6	~0	3
181/32lp	0,95	0,55	2,65	2,0	0,75	35	50	1,4	~0	2
182/1lp	0,95	0,55	2,40	1,1	0,46	30*	60	2,0*	~0	5
Keskiarvo					0,77			1,64	0,25	2,38
Keskihajonta					0,14			0,16	0,46	1,19

* Kuvaajalta ei voida havaita selvää myötörajaa, koska ensimmäisen kuormituskerran aiheuttamien pysyvien siirtymien palautuminen muuttaa todellisen kiertymämomentti -kuvaajan muotoa. Myötömomentti on laskettu havaitun murtomomentin perusteella seuraavasti $M_y = \frac{1}{2} \cdot M_u$.

Kuormitus kohtisuoraan rataan päin

Perustuksia 181/15, 181/28 ja 181/30 ei ole koekuormitettu aiemmin. Perustukset 181/31, 182/1 on koekuormitettu aiemmin kohtisuoraan radalta pois päin. Ensimmäisen koekuormituksen vaikutuksen voi havaita liitteen 8 kiertymä-momentti -kuvaajilta. Kuvaajien muoto ennen murtomomenttia on lähes lineaarinen eikä parabolinen kuten perustuksilla, joilla on kyseessä ensimmäinen koekuormitus. Perustusten kiertymä murtomomenttia suuremmalla momentilla kasvaa merkittävästi jo pienillä kuorman lisäyksillä. Havaittu murtomomentti lienee lähellä momenttia, jolla perustus menettää stabiilisuutensa. Liitteen 8 kuvaajien perusteella määritetyt myötö- ja murtomomentit, momenttia vastaava kiertymä sekä kiertokeskiön sijainti on esitetty taulukossa 3.7. Aiemmin kuormitetun perustuksen murtomomentti on noin kaksinkertainen kuormittamattoman perustuksen murtomomenttiin verrattuna. Mikäli oletetaan, että eri perustusten koekuormitustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, murtomomentti ensimmäisellä koekuormituskerralla on noin 1/2 momentista, jolla perustus menettää stabiilisuutensa.

Taulukko 3.7. Kohtisuoraan radalle päin kuormitettujen anturattomien perustusten koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö.

	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	b	l	D	z _r	z _r /D	M _y	M _u	M _u /M _y	β _y	β _u
181/15rp	0,95	0,55	2,80	2,7	0,96	100	200**	2,0**	1	**
181/28rp	0,95	0,55	2,45	2,8	1,14	40	80	2,0	~0	2
181/30rp	0,95	0,55	2,55	2,3	0,90	30	60	2,0	~0	2
181/31rp	0,95	0,55	2,77	1,4	0,51	60*	120	2,0*	10**	20**
182/1rp	0,95	0,55	2,40	1,5	0,63	60*	>120	2,0*	15**	30**
Keskiarvo					0,83			2,00*	5,20	13,50
Keskihajonta					0,26			0*	6,91	13,89

* Kuvaajalta ei voida havaita selvää myötörajaa, koska ensimmäisen kuormituskerran aiheuttamien pysyvien siirtymien palautuminen muuttaa todellisen kiertymä-momentti -kuvaajan muotoa. Myötömomentti on laskettu havaitun murtomomentin perusteella seuraavasti $M_y = \frac{1}{2} \cdot M_u$. β_y on laskettua myötömomenttia vastaava kiertymä.

** Koekuormitus on lopetettu ennen kuin perustuksen ympärillä oleva maa on murtunut. M_u ja β_u on arvioitu kiertymä-momentti -kuvaajan muodon ja myötömomentin perusteella.

4. YHTEENVETO

Tutkimuksessa koekuormitettiin uusia anturallisia elementtiperustuksia sekä vanhoja anturattomia paikalla valettuja perustuksia. Anturalliset perustukset sijaitsivat rataosuudella Tuomioja–Raahe vanhassa ratapenkereessä. Kolme rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö olevista anturallisista perustuksista sijaitsi vanhassa ja kolme uudessa ratapenkereessä. Pohjatutkimusten perusteella perustusten ympärillä olevan täytön tiiviys vaihteli merkittävästi. Rataosuudella Tuomioja–Raahe olevat anturalliset perustukset oli asennettu tiiviin luonnonmaan varaan. Perustamistason yläpuolinen täyttö oli keskitiivistä hiekkaa tai soraa. Rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö olevat anturattomat perustukset oli asennettu luonnonmaan, rakennetun penkereen tai massanvaihdon varaan. Rakennettu penger ja perustamistason yläpuolinen täyttö olivat löyhää soraa tai hiekkaa.

Anturalliset perustukset koekuormitettiin rataa päin ja penkereeseen päin. Kolme perustusta rataosuudella Sääksjärvi–Perkkiö koekuormitettiin lisäksi radan suuntaisesti. Osa anturattomista perustuksista koekuormitettiin radalta pois päin ja radalle päin ja osa vain radalle päin. Koekuormitusten mittaustulokset talletettiin numeerisessa muodossa tietokoneen kovalevylle sekä disketille. Tulosten perusteella piirrettiin perustuksen käyttäytymistä mahdollisimman hyvin ilmentävät kuvaajat, jotka on perustuskohtaisesti esitetty liitteissä 6–8. Kuvaajia on yhteensä kaksi kappaletta: kiertymä-momentti ja aika-momentti -kuvaaja. Kuvaajien perusteella määritetyt murto- ja myötömomentti, momenteja vastaavat kiertymät sekä painopisteen sijainti on esitetty taulukoissa 3.1–3.7.

Ensimmäisen kuormituskerran kiertymä-momentti -kuvaajalta voidaan havaita selvä myötö- ja murtoraja. Toisen kuormituskerran kiertymä-momentti -kuvaajan muoto poikkeaa ensimmäisen kuormituskerran kuvaajasta oleellisesti. Toisen kuormituskerran kuvaajalta ei voida selvästi havaita myötö- ja murtorajaa, koska kuvaajassa ei ole selviä taitepisteitä. Kuvaajan muotoon vaikuttaa ensimmäisestä kuormituskerrasta aiheutunut perustuksen pysyvä kiertymä. Toisesta kuormituskerrasta aiheutuvassa kiertymässä on osa ensimmäisen kuormituskerran aiheuttaman pysyvän kiertymän palautumista.

Anturallisten perustusten kiertymänopeus kasvoi oleellisesti murtokuormaa suuremmalla kuormalla. Ne eivät kykene vastaanottamaan merkittävästi murtokuormaa suurempia kuormia. Anturattomien perustusten kiertymänopeus ei muuttunut oleellisesti murtokuormaa suuremmilla kuormilla, joten niiden voidaan olettaa kykenevän vastaanottamaan murtokuormia suurempia kuormia.

Anturallisten perustusten murto- ja myötömomentin suhde kuormituksen vaikuttaessa luiskaan tai penkereeseen päin on noin 2,0. Anturattomilla perustuksilla vastaava suhde kuormituksen vaikuttaessa luiskaan päin on 1,8 ja kuormituksen vaikuttaessa rataan päin 2,0. Anturattomien perustusten murtomomenttia penkereeseen päin ei kaikkien perustusten osalta kyetty selvittämään, koska pylvään ja perustuksen välinen liitos aiheutti rajoituksia käytettävän kuorman suuruudelle. Myötömomenttia vastaava kiertymä on noin 1 ‰ ja murtomomenttia vastaava kiertymä on noin 5 ‰. Myötö- ja murtomomentin välinen suhde on likimain sama kaikissa ensimmäisissä rataan päin tehdyissä koekuormituksissa sekä perustusten 181/30B, 181/32B ja 181/34 radan suuntaisissa koekuormituksissa. Anturattomien perustusten myötömomenttia vastaava kiertymä on < 1 ‰ ja murtokiertymä 2–5 ‰. Anturattomien perustusten myötö- ja murtorajat eivät olleet yhtä selviä kuin anturallisten perustusten.

Kiertokeskiön sijainti vaihtelee kuormituksen alkuvaiheessa. Tämä voi johtua maan epähomogeenisuudesta tai pienillä siirtymillä tapahtuvista mitta- ja pyörästysvirheistä. Kiertokeskiön sijainnin muutokset kuorman funktiona pienenevät yleensä kuorman ollessa lähellä murtokuormaa. Anturallisen perustuksen kiertokeskiö sijaitsee keskimäärin 0,7 D:n etäisyydellä maan pinnasta, missä D on perustamissyvyys. Anturattomien perustusten kiertokeskiö sijaitsee keskimäärin 0,8 D:n etäisyydellä maan pinnasta. Kiertokeskiön sijaintia penkereeseen päin kuormitettaessa oli epämääräinen, koska perustuksen kuormitus jouduttiin lopettamaan perustuksen ja pulttiliitoksen momenttikapasiteetin perusteella ennen maan murtumista. Osa anturattomista perustuksista oli kuormitettu jo aiemmin luiskaan päin. Myös tämä vaikeutti todellisen kiertokeskiön sijainnin määrittämistä.

Tiiveyden vaikutus voidaan havaita koekuormitustuloksista. Rataosuudella Tuomioja-Raaha olevien anturallisten perustusten murtomomentti on samaa suuruusluokkaa kuin rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö olevien yli 1,5-kertaa suurempien anturallisten perustusten murtomomentti. Perustusten ympärystäyttö on soraa tai hiekkaa, joten tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Täten voidaan todeta, että perustuksen ala- ja yläpuolisen täytön ollessa tiivis sen murtomomentti voi olla moninkertainen verrattuna perustukseen, jonka ympärystäyttö on löyhä.

Luiskan vaikutusta anturattoman perustuksen myötö- ja murtomomenttiin voidaan arvioida luiskaan ja penkereeseen päin tehtyjen koekuormitusten perusteella. Taulukossa 4.1 on esitetty 1:1,5 luiskassa sijaitsevien luiskaan päin kuormitettujen perustusten koekuormitustulokset. Taulukossa 4.2 on esitetty tasamaalla tai luiskassa sijaitsevien radalle päin kuormitettujen perustusten koekuormitustulokset. Taulukossa 4.3 on radalle päin ja luiskaan päin kuormitettujen anturattomien perustusten koekuormitustulosten keskiarvot.

Taulukko 4.1. Anturattomien perustusten myötö- ja murtomomenttien keskiarvot kuormitussuunnittain sekä niiden suhde.

	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	b	l	D	z _r	z _r /D	M _y	M _u	M _u /M _y	β _y	β _u
181/27p	0,95	0,55	2,65	2,2	0,83	20	35	1,8	~0	2
181/29p	0,95	0,55	2,62	2,3	0,88	22	35	1,6	~0	2
181/31p	0,95	0,55	2,77	2,0	0,72	22	35	1,6	~0	3
Keskiarvo					0,81	21,33	35,00	1,64	0,00	2,33
Keskihajonta					0,08	1,15	0,00	0,09	0,00	0,58

Taulukko 4.2. Anturattomien perustusten myötö- ja murtomomenttien keskiarvot kuormitussuunnittain sekä niiden suhde.

	[m]	[m]	[m]	[m]		[kNm]	[kNm]		[‰]	[‰]
Perustus	b	l	D	z _r	z _r /D	M _y	M _u	M _u /M _y	β _y	β _u
181/15rp	0,95	0,55	2,80	2,7	0,96	100	200**	2,0**	1	**
181/28rp	0,95	0,55	2,45	2,8	1,14	40	80	2,0	~0	2
181/30rp	0,95	0,55	2,55	2,3	0,90	30	60	2,0	~0	2
181/31rp	0,95	0,55	2,77	1,4	0,51	60*	120	2,0*	10**	20**
182/1rp	0,95	0,55	2,40	1,5	0,63	60*	>120	2,0*	15**	30**
Keskiarvo					0,83	58,00	116,0	2,00*	5,20	13,50
Keskihajonta					0,26	26,83	53,67	0*	6,91	13,89

Taulukko 4.3. Anturattomien perustusten myötö- ja murtomomenttien keskiarvot kuormitussuunnittain sekä niiden suhde.

Kuormitus	Kuormitus radalle		Kuormitus luiskaan		Momenttien suhde	
	M _y	M _u	M _y	M _u	M _y ^{luiska} / M _y ^{rata}	M _u ^{luiska} / M _u ^{rata}
Sääksjärvi-Perkkiö	58	116	21	35	0,36	0,30

Taulukon 4.3 perusteella voidaan todeta, että luiskaan päin kuormitetun anturattoman perustuksen murto- ja myötömomentit ovat noin 1/3 penkereeseen päin kuormitetun perustuksen vastaavista arvoista. Maan pinnan muoto ja perustuksen sijoitus luiskaan nähden vaihteli eri perustuksilla. Tulosten voidaan kuitenkin olettaa edustavan keskimääräisesti luiskakaltevuuden 1:1,5 vaikutusta perustuksen toimintaan.

Portaalilaskentaohjelman RPPM tulostusesimerkki

1 s,,hk" radat PORTAALI 178/33B - 178/34B 3.2.99 HV

178/33B 33 88 160550 311 l,,ht" tiedot
 321 87-100
 84+ 30
 V 111 70+ 15
 V 111 70+ 45
 O 116 100- 40
 O 116 100+ 40
 325 150+ 10
 178/34B 33 88 O 111 70+125
 O 111 70+ 40
 321 84+ 70

99

1 s,,hk" radat PORTAALI 178/33B - 178/34B 3.2.99 HV

Ratapihaporttaalin lujuuslaskelmat

jalat 178/33B - 178/34B

178/33B	178/34B
1	2
8.8	8.8
U24	U24
4	4

paarre

.745 2 +X	.744 2 +X
-.688 2 +X	-.691 2 +X

diagonaali

.000 0	.000 0
.095 2 -Z	.102 2 -Z

jalan yl,,p,,,,n sivuttaissiirtym,,t (mm)

43/ 131 -38	43/ 131 -38
-------------	-------------

Porttaalin orret

L40
32 39 32

Orren suhteelliset maksimij,,nnitykset

Siirtym,,t

aukko 1 orren pituus 16.0 m

Paarre

Maksimi

keskusta	vas p,,,, oikea nurkka	keskusta	oikea p,,,,	vas nurkka
Puristus	.154 1 -X	.774 20 -Z	.388 32 +X	dx 183 1 +X
183 31 +X	183 32 +X			Dy 0 1 -A
Veto	-.108 1 -X	-.555 20 -Z	-.270 32 +X	
-1 2 -A	-1 32 -A			

Diagonaali

minimi

Sivutaso	.267 1 -Z	.277 31 -Z	.281 32 -Z	Dx -53 1 -X
-53 2 -X	-53 32 -X			
Vaakataso	.281 1 -Z	.383 31 -Z	.391 32 -Z	Dy 0 1 J
-53 18 J	-6 32 J			

Portaalilaskentaohjelman RPPM tulostusesimerkki

1 s,,hk" radat

PORTAALI 178/33B - 178/34B

3.2.99 HV

Ratapihaportaalin lujuuslaskelmat

Pylv,,ut 178/33B - 178/34B

Jalan tyvikuormat eri kuormitustapauksissa

NR	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1 178/33B	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
j,,,,kuorm	23.9	3.8	.0	.0	.0	-34.9
+X-tuuli	20.0	11.0	.0	.0	.0	-100.5
-X-tuuli	17.8	-3.2	.0	.0	.0	29.5
+Z-tuuli	18.9	3.9	-5.9	.0	-50.2	-35.2
-Z-tuuli	18.9	3.9	5.9	.0	50.2	-35.2
pakkanen	18.9	4.0	.0	.0	.0	-36.8
asennus	16.5	5.1	.0	.0	.0	-46.8
asennus	11.4	-1.1	.0	.0	.0	10.0
NR	F1	F2	F3	M1	M2	M3
2 178/34B	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
j,,,,kuorm	22.0	3.8	.0	.0	.0	-34.9
+X-tuuli	16.1	11.1	.0	.0	.0	-100.6
-X-tuuli	18.2	-3.2	.0	.0	.0	29.4
+Z-tuuli	17.2	3.9	-6.3	.0	-53.4	-35.3
-Z-tuuli	17.2	3.9	6.3	.0	53.4	-35.3
pakkanen	17.2	4.0	.0	.0	.0	-36.8
asennus	14.2	5.1	.0	.0	.0	-46.9
asennus	11.6	-1.1	.0	.0	.0	10.0

1 jalan kuormien symboleista

voimien suunnat

- f1 pystyvoima + alasp,,in
 f2 rataavastaan kohtisuora voima + Helsingist,, katsoen oikealla
 f3 radan suuntainen voima + Helsinkiin p,,in

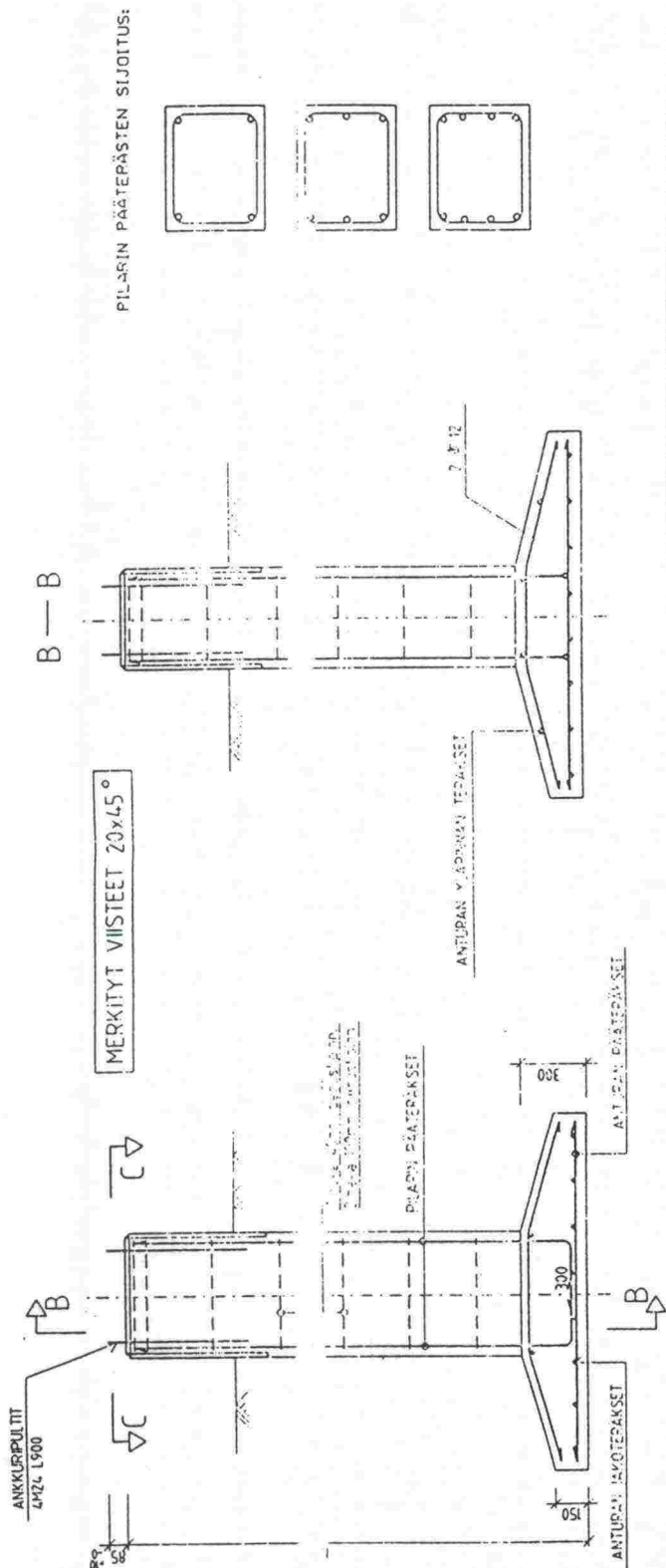
momentit annetaan vastaavien akselien suhteen

- m1 v,,,,ntomomentti
 m2 radan suuntainen momentti
 m3 rataa vastaan kohtisuora momentti

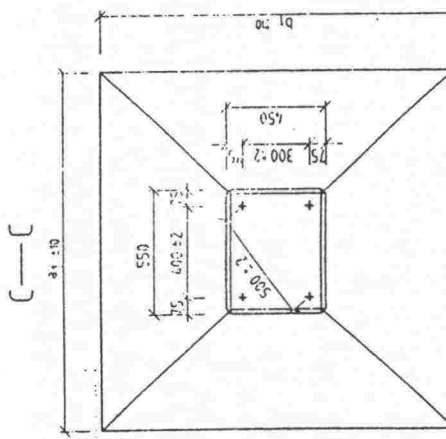
kuormatilojen lyhenteet

- S 0-s,,,,
 +X +X-tuuli
 J j,,,,kuorma
 +X +X-tuuli

I-pylvään elementtiperustus rataosuudelta Tuomioja-Raaha



Tunnus	d ₁	b ₁	h	V (m ³)	G (tm)	Anturan pöytäteräksiset pöytäteräksiset	Anturan pöytäteräksiset pöytäteräksiset	Pilsin pöytäteräksiset pöytäteräksiset
E 1.5/1.2	1200	1500	1500	0,54	1,50	8 Ø 8	5 Ø 8	2 Ø 12
E 1.5/1.6	1600	1500	1500	0,69	2,23	10 Ø 8	6 Ø 8	4 Ø 12
E 1.5/2.0	2000	1500	1500	1,22	3,04	8 Ø 12	10 Ø 8	6 Ø 12
E 1.5/1.2	1200	1500	1300	0,72	1,79	8 Ø 8	6 Ø 8	2 Ø 12
E 1.5/1.6	1600	1500	1300	0,97	2,42	12 Ø 8	6 Ø 8	4 Ø 12
E 1.5/2.0	2000	1500	1300	1,50	3,23	10 Ø 12	12 Ø 8	6 Ø 12
E 2.0/1.2	1200	2000	2000	0,77	1,91	6 Ø 8	5 Ø 8	2 Ø 12
E 2.0/1.6	1600	2000	2000	1,02	2,54	13 Ø 8	8 Ø 8	4 Ø 12
E 2.0/2.0	2000	2000	2000	1,34	3,35	12 Ø 12	10 Ø 8	8 Ø 12
E 2.4/1.2	1200	2400	2400	0,87	2,16	8 Ø 8	6 Ø 8	2 Ø 12
E 2.4/1.6	1600	2400	2400	1,12	2,79	16 Ø 8	10 Ø 8	4 Ø 12
E 2.4/2.0	2000	2400	2400	1,44	3,60	14 Ø 12	12 Ø 8	8 Ø 12



SAHKOBRÄDAR OY

Perustussuunnitelma
SAH 1312.90

Perustustyypin
KVAL
MJK

PERUSTUSPIIRUSTUS
I - PYLVAÄN ANTURALLINEN ELEMENTTI

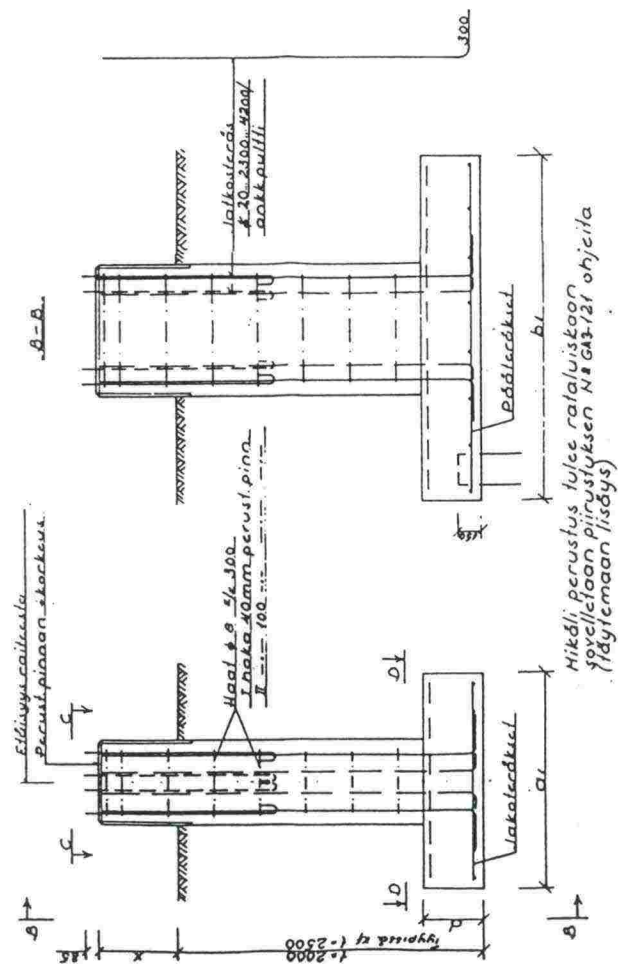
Originaali
NSR- 1:20

Formaalin
SR - G - 0196

Maastokuvan
M 1

13.12.90

P-pylvään anturallinen perustus rataosuudelta Säöksjärvi-Perkkiö



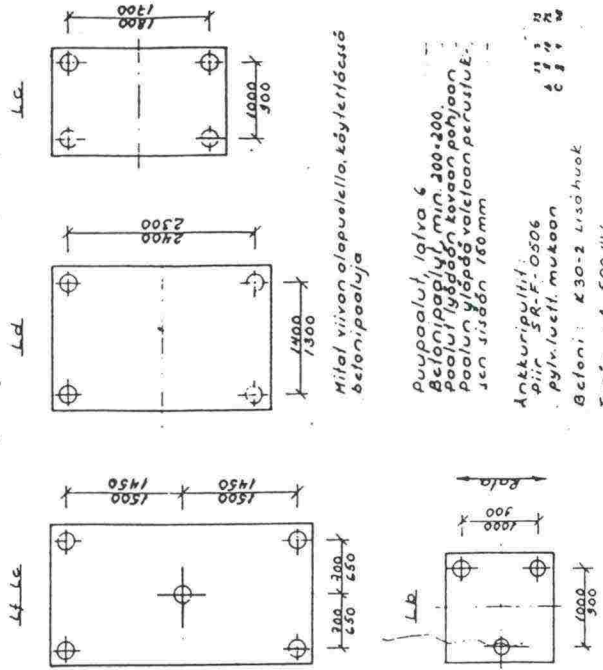
Tun.	Alus	Al	bl	d	V (m³)
Kb	1400	1400	400	400	1,36
Kc	1400	2200	400	2,21	
Kd	1800	2800	400	3,00	
Ke	1800	3400	500	4,00	
Kf	1800	3400	500	4,23	

Tilavuus (V) on laskettu, kun x=500

Tun.	Alus	Al	bl	d	V (m³)
Kb	1400	1400	400	400	1,36
Kc	1400	2200	400	2,21	
Kd	1800	2800	400	3,00	
Ke	1800	3400	500	4,00	
Kf	1800	3400	500	4,23	

Tilavuus (V) on laskettu, kun x=500

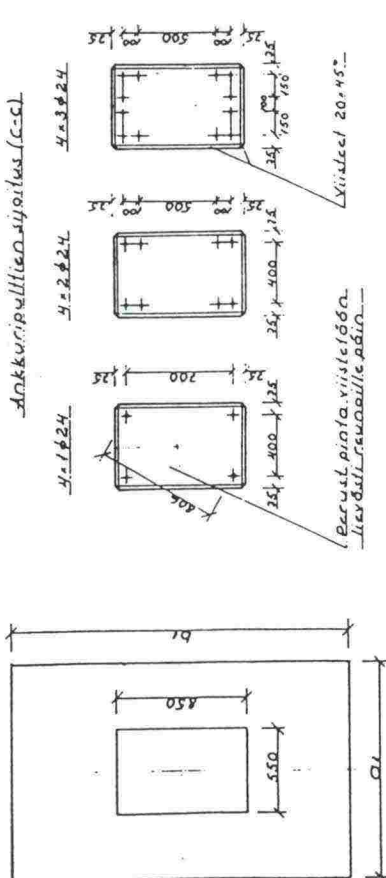
Paalujen sijaintus 1:40 (Tyyppi L)



Mitat viivan alapuolella, käytettävissä betonipaaluja

Puupaalut, laiva 6
 Betonipaaluja, min. 200-200
 paaluja sijaitsevat perustuksen
 paaluun sisällä vastaleen perustuksen
 sisällä 160mm

Ankkuripultit:
 piiri SR.F. 0506
 pylväselä. mukaan
 Betoni: K30-2 lisähuok
 Teräs: A 500 HW



Ankkuripulttien sijaintus (c=c)

Xivästel 20x45

VALTIONRAUTATIED		SAHKORADAT	
57		1-20 (1-40)	
P-pylvään anturallinen perustus (K1)		642-150c	
paaluille (L)			

g: 18.5.89 jop
 d: 18.7.89 jop/ty
 c: 20.11.89 MH
 b: 4.9.93 ay
 a: 15.12.92 V

I-pylvään anturaton perustus rataosuudelta Säöksjärvi-Perkkiö

Betoni: K-30-2, lisähuok
Teräs: A 500HW

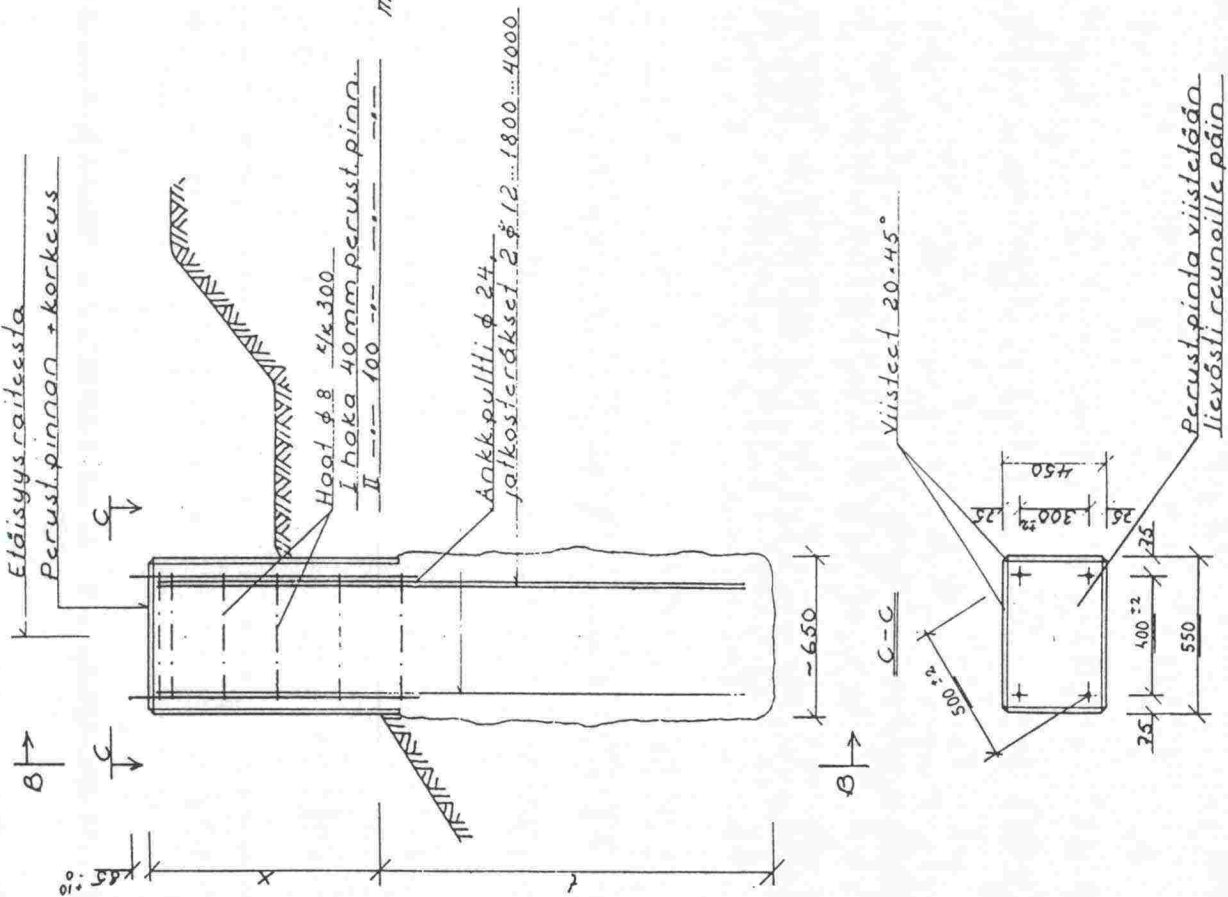
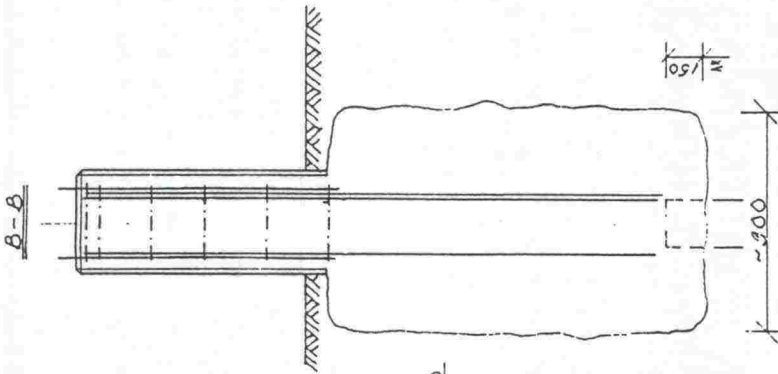
Tunus	t	V (m³)
NI	1650	1,34
NI	1950	1,54
NI	2200	1,71
NI	2550	1,94
NI	3000	2,24
NI	3450	2,55
NI	4000	2,92

Tilavuus (V) on laskettu,
 $f_{cor} + 15\%$, $x = 800$

Perustustyypit: N+paalu

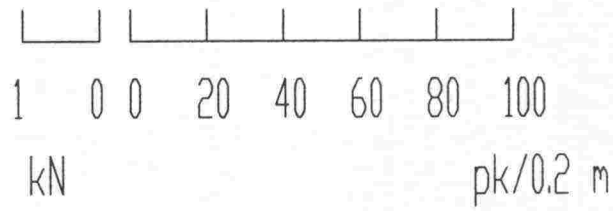
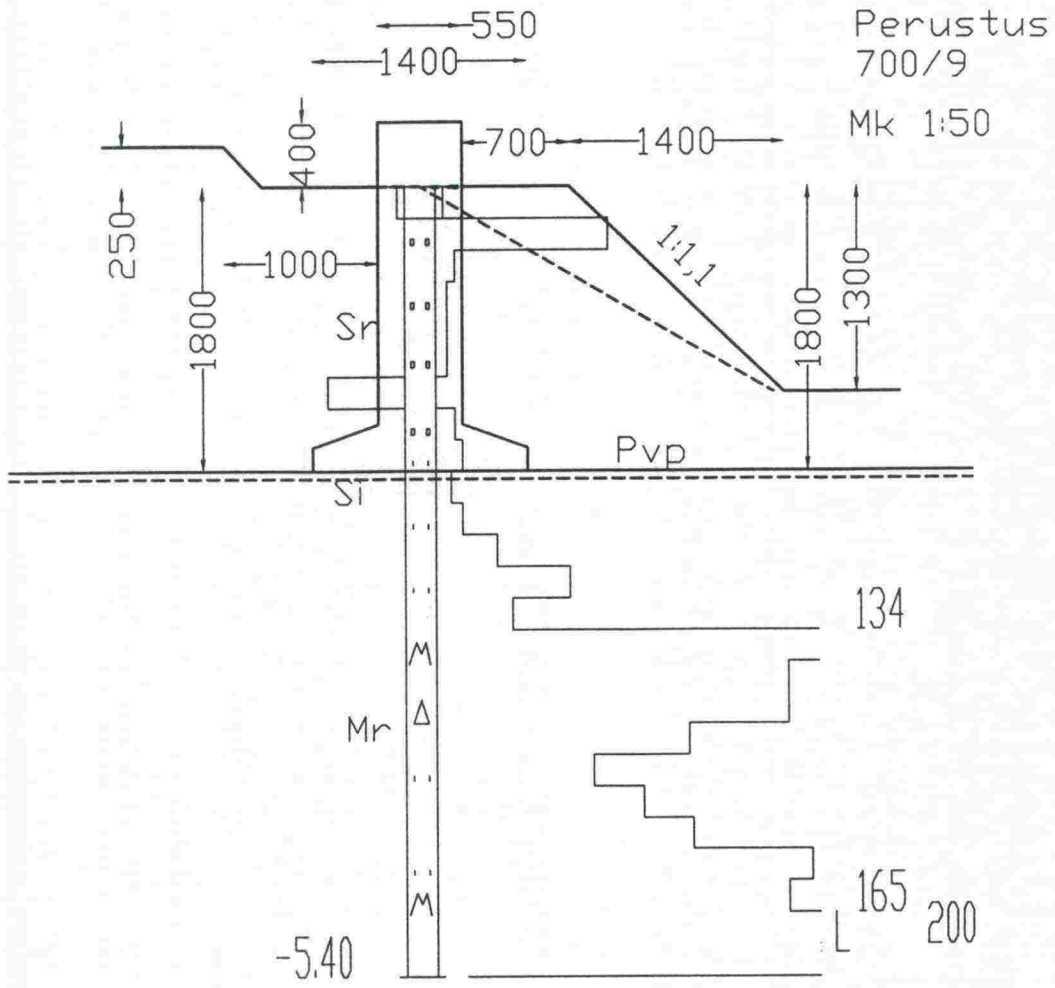
Betonipaalu min. 200x200
paalu lyödään kovaan
pohjaan
paalun yläpää vaietaan
perust. sisään väh. 150mm

Ankkuripultit:
piir. SR-F - 0506
pylv. lueff. mukaan

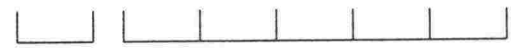
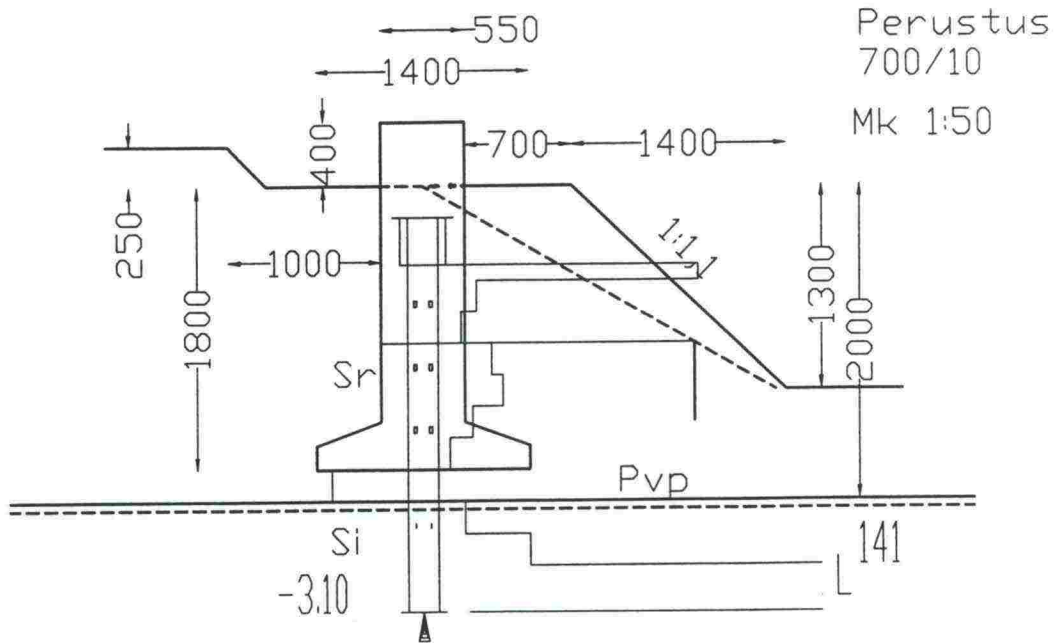


SÄHKÖRADAT OY		Sähkösuunnitelman Tark. / laus.	
I - Pylvään Anturaton Perustus (N) Paalutettuna (N+Paalu)		SAHL 08.04.91	
Ohje		Kuusi	
Opas		K/L	
1:20		MINN	
3			
SR			
-			
G			
-			
0204			
M1			
GA3 - 141			

Anturallisen perustuksen 700/9 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



Anturallisen perustuksen 700/10 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe

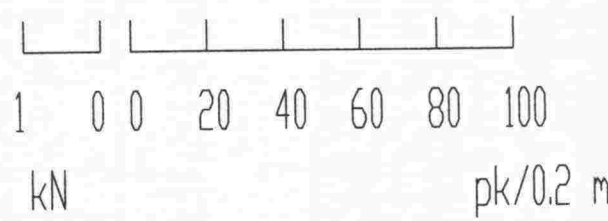
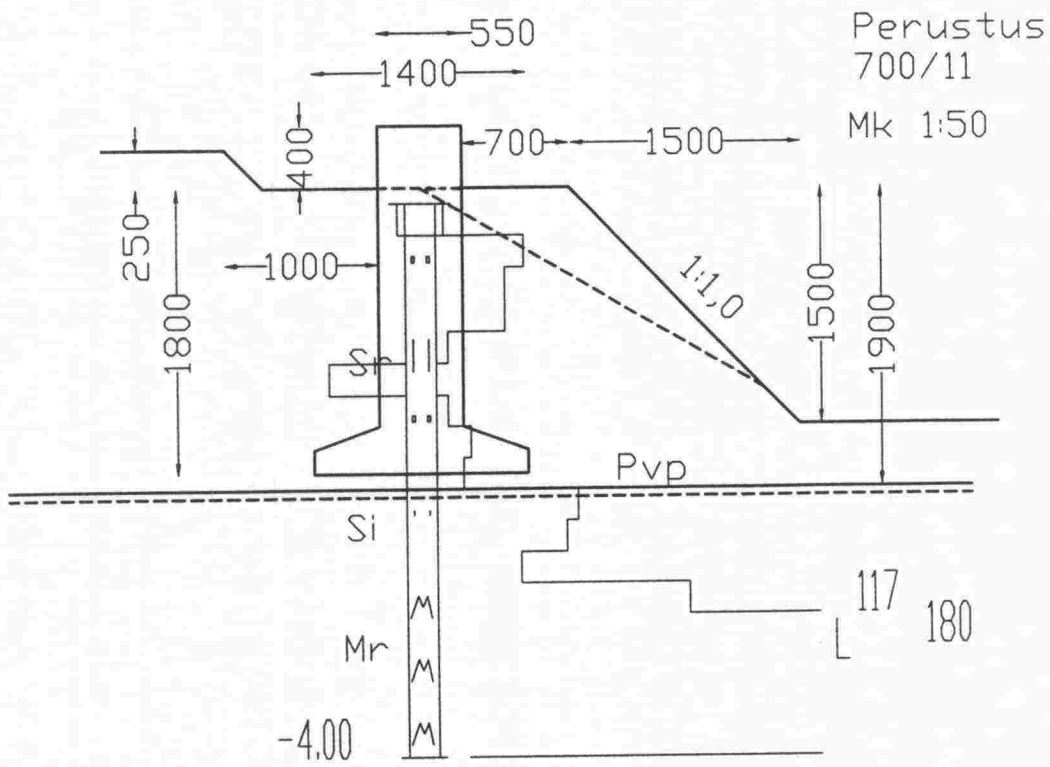


1 0 0 20 40 60 80 100

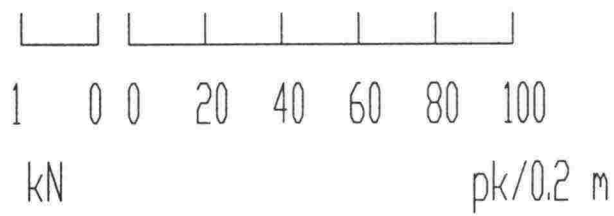
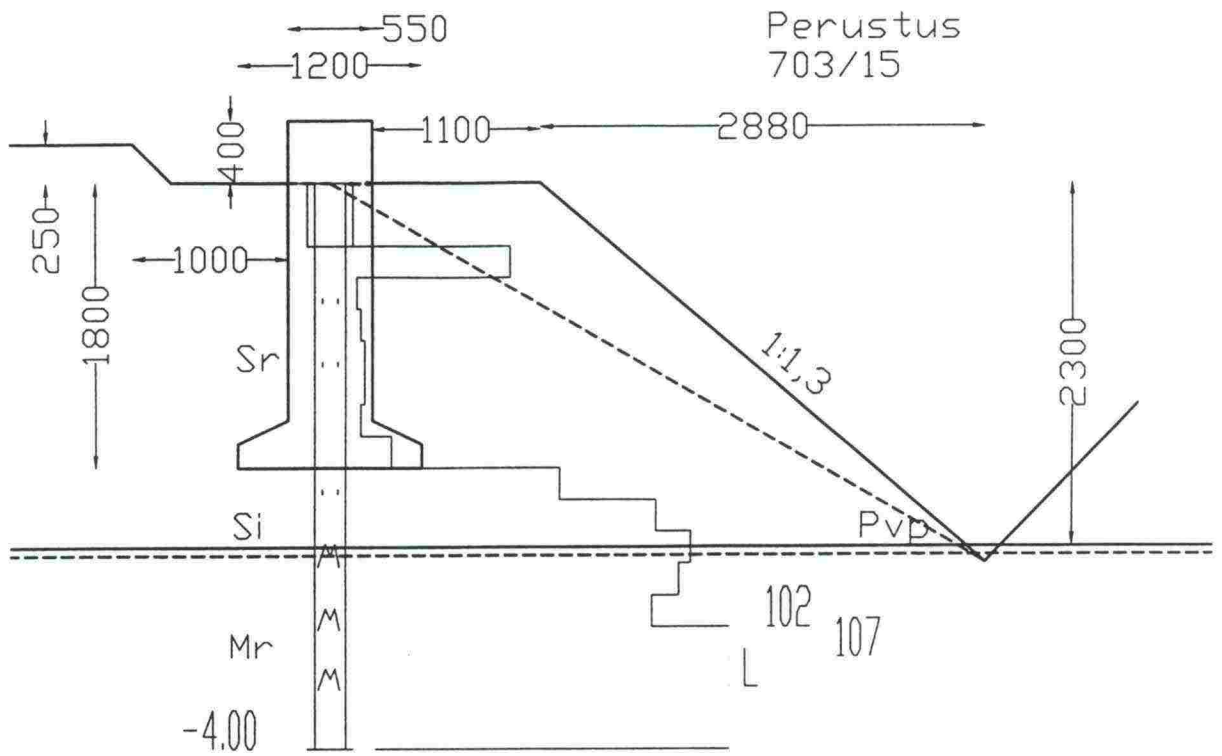
kN

pk/0.2 m

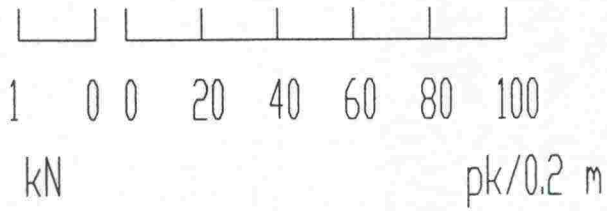
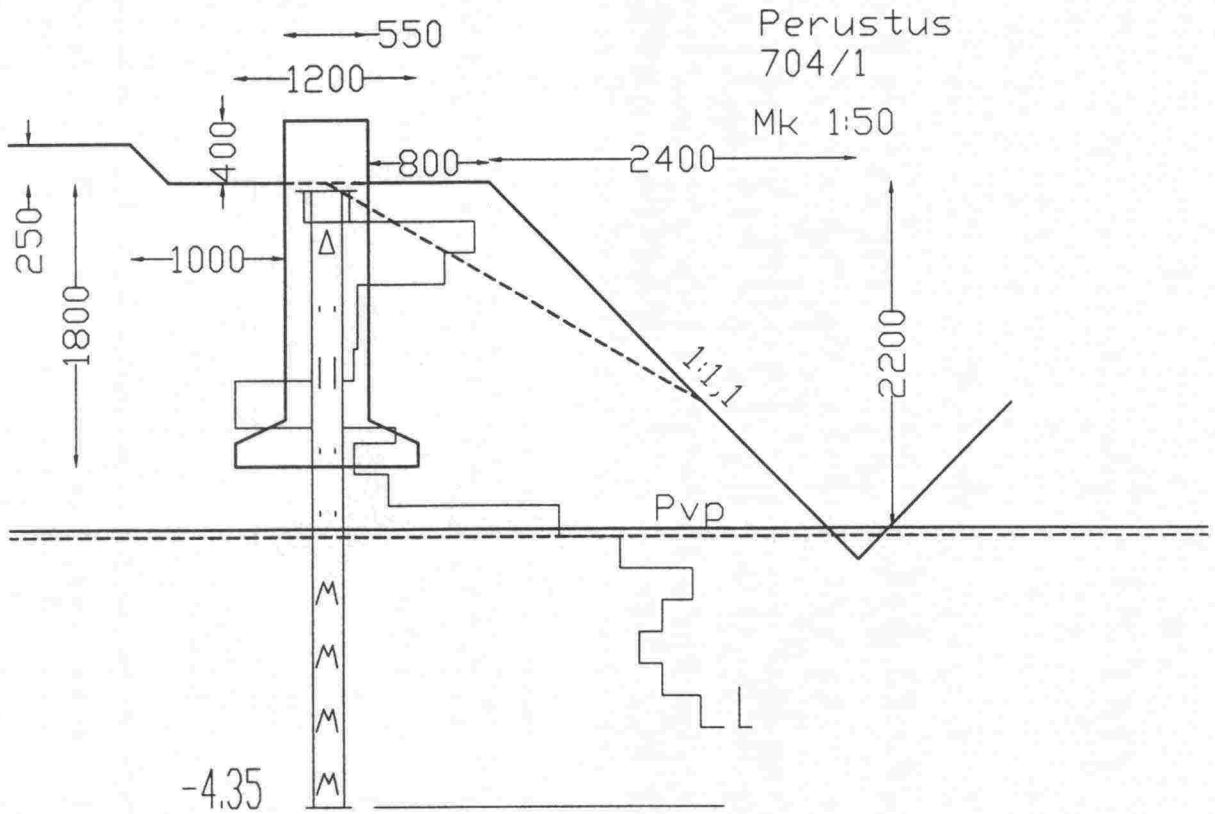
Anturallisen perustuksen 700/11 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



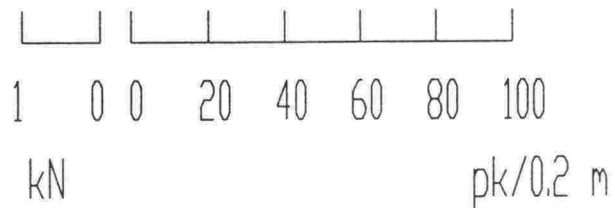
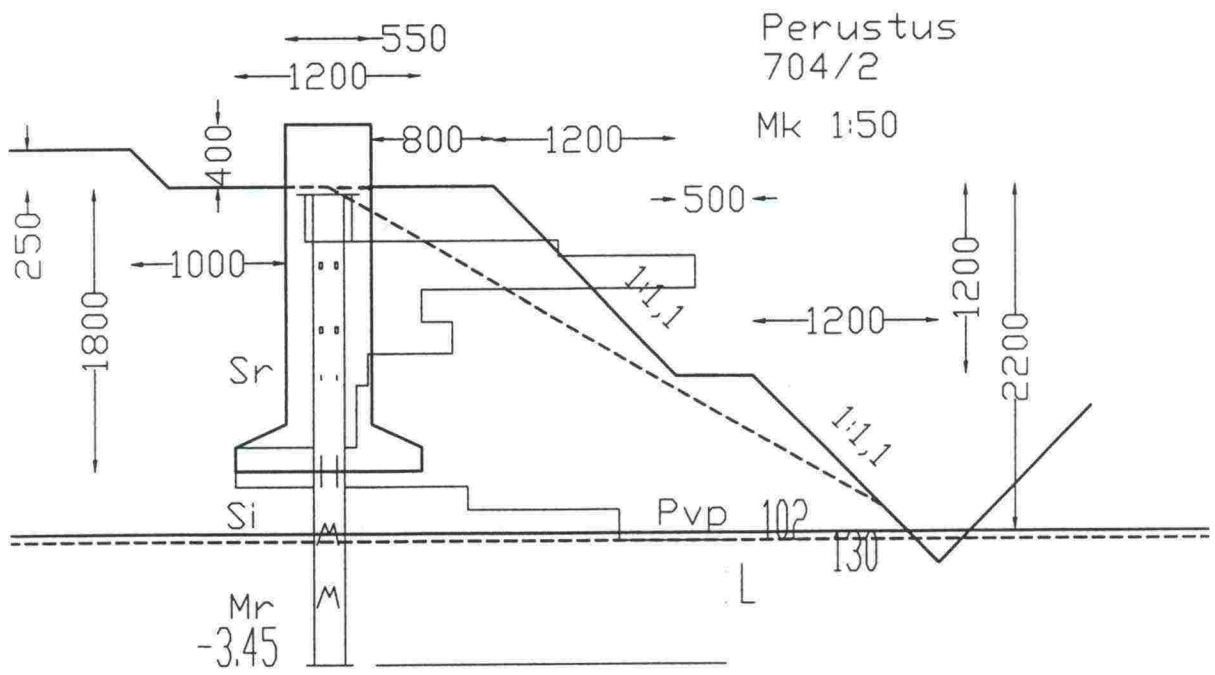
Anturallisen perustuksen 703/15 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе



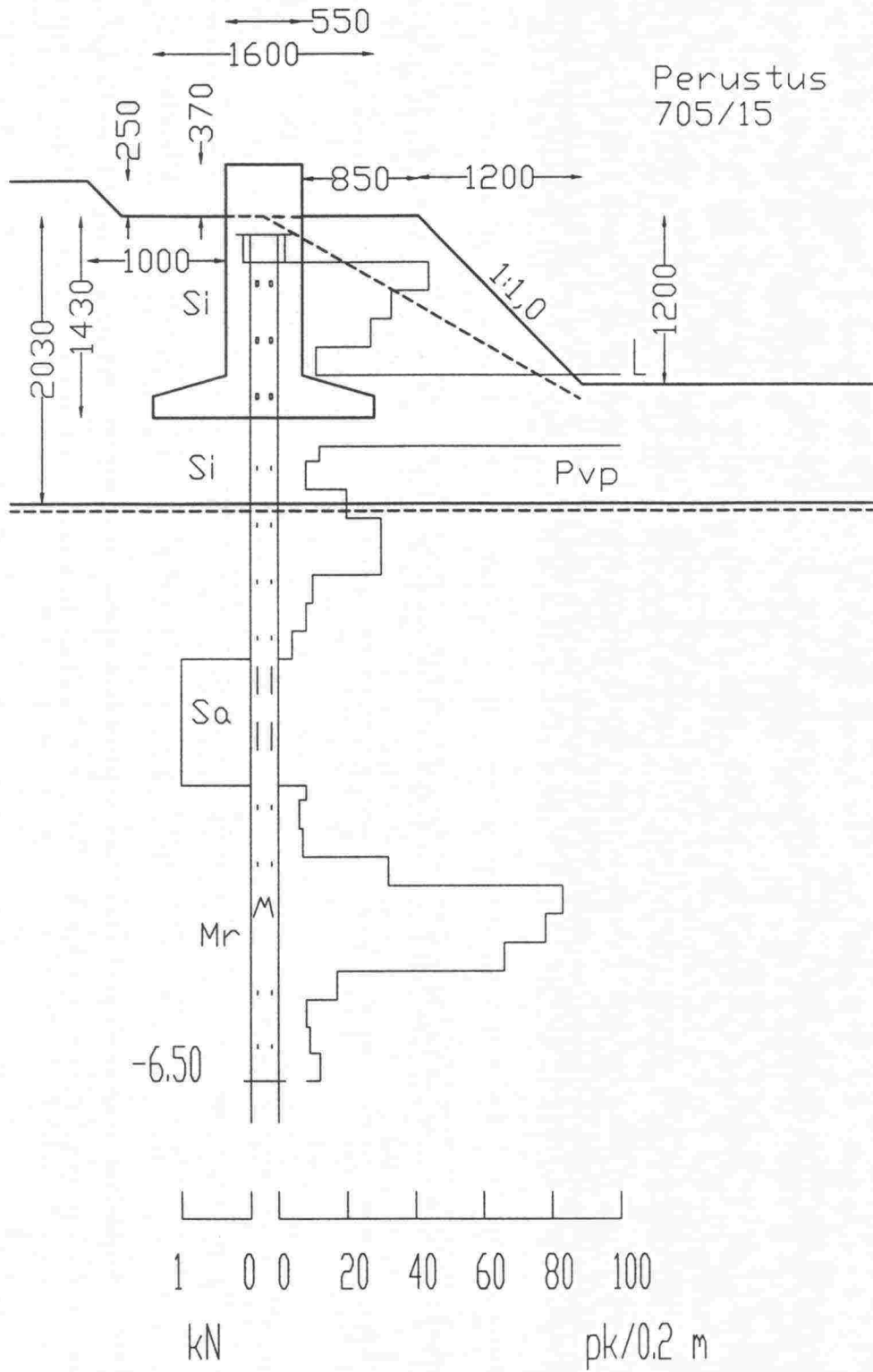
Anturallisen perustuksen 704/1 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



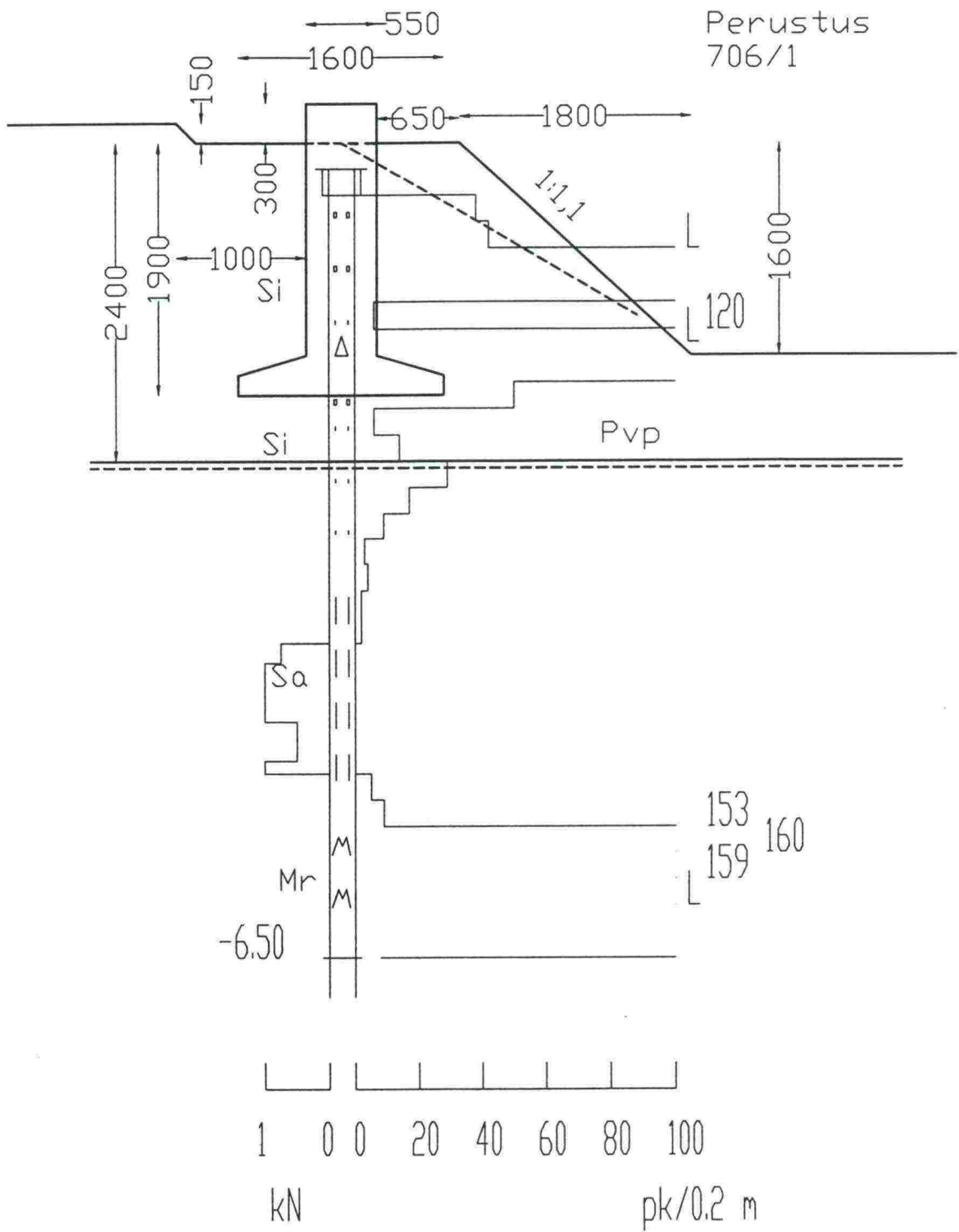
Anturallisen perustuksen 704/2 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



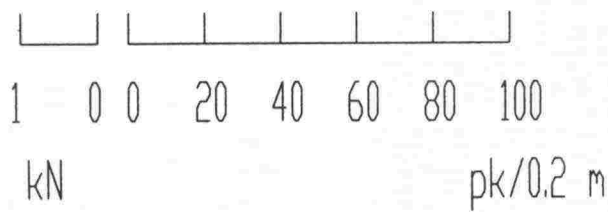
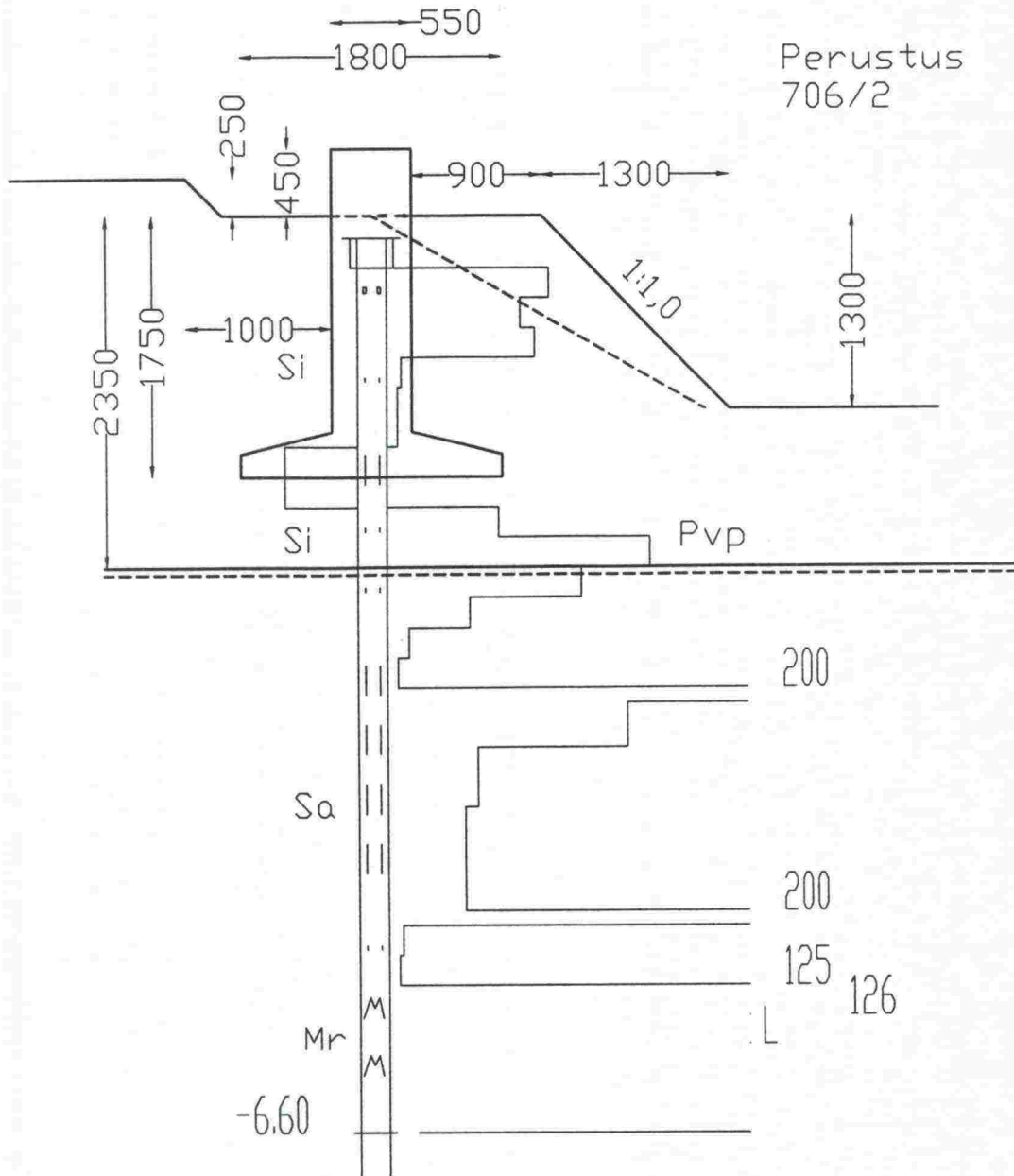
Anturallisen perustuksen 705/15 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



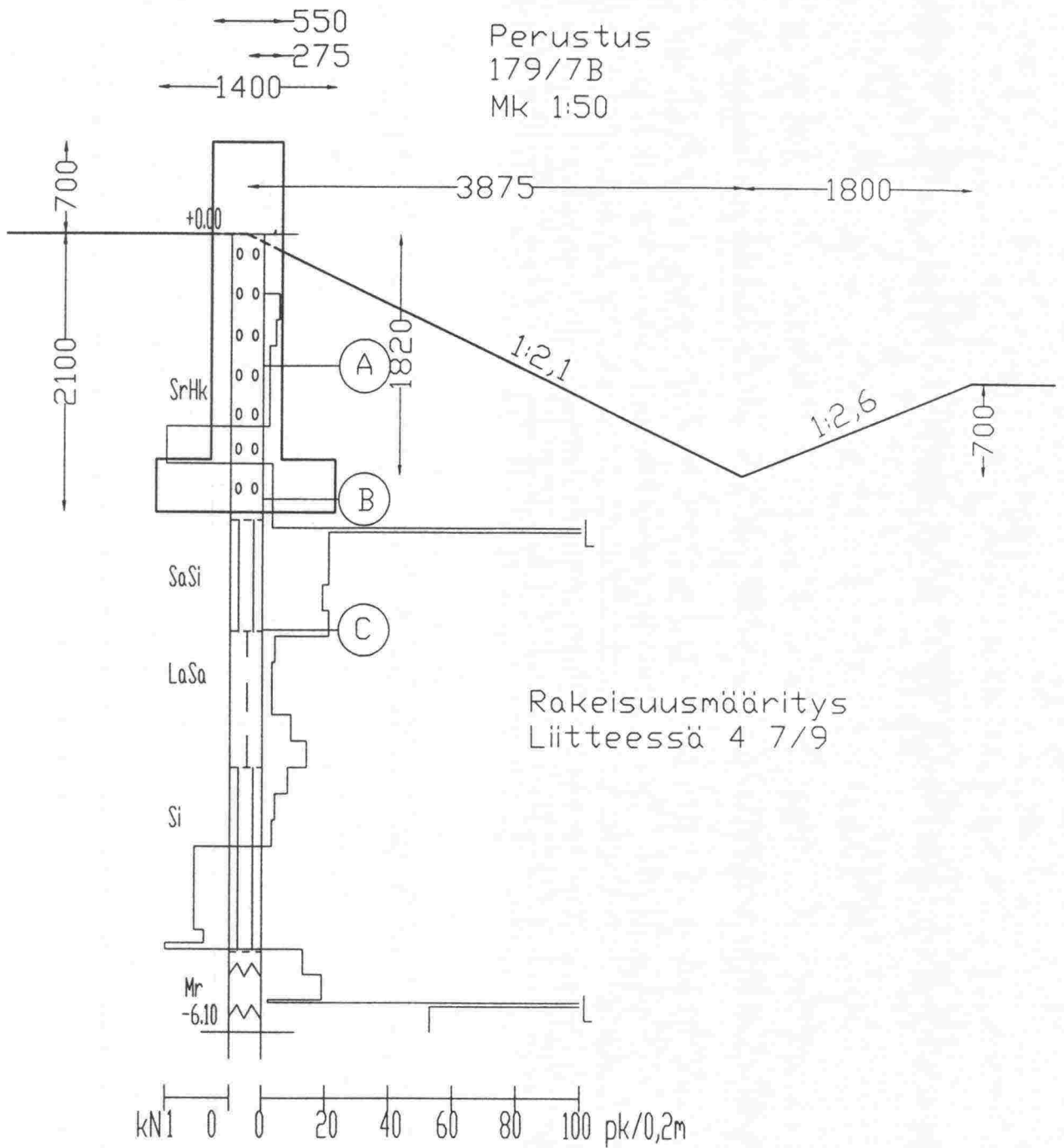
Anturallisen perustuksen 706/1 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe



Anturallisen perustuksen 706/2 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе

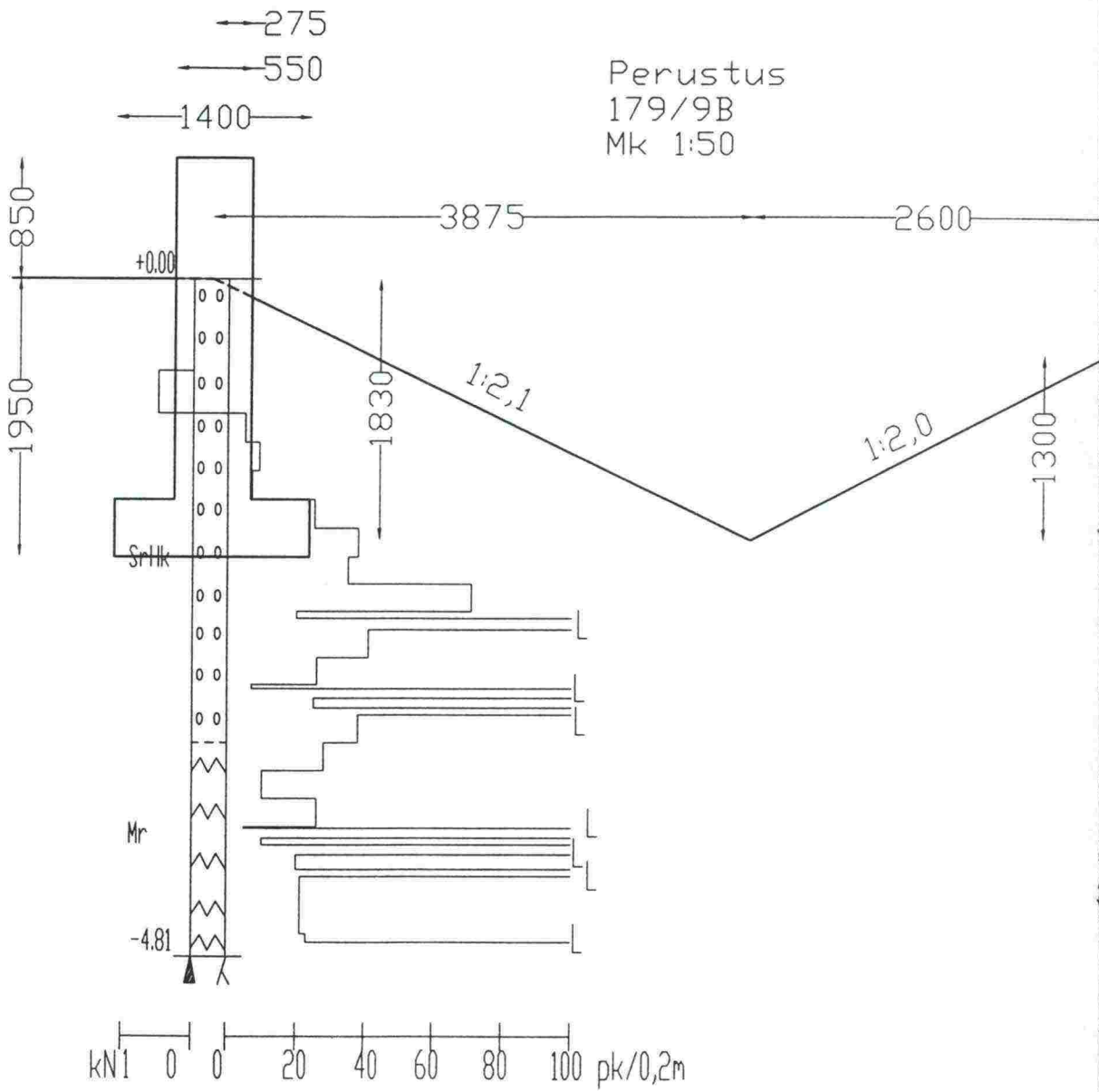


Anturallisen perustuksen 179/7B sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokiraustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



1 kN = 10mm => puolikierrosta/0,2m
10mm = 20 pk/0,2m

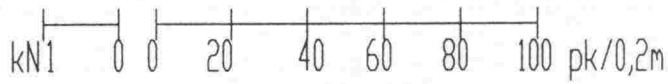
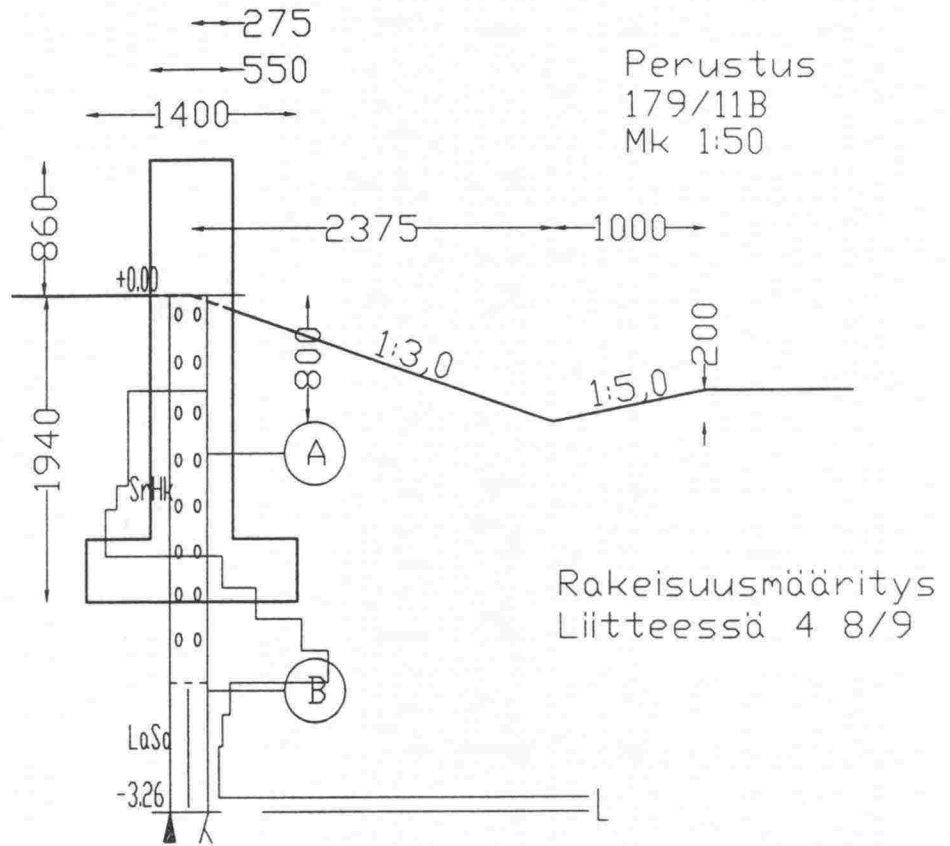
Anturallisen perustuksen 179/9B sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



1 kN = 10mm => puolikierrosta/0,2m

10mm = 20 pk/0,2m

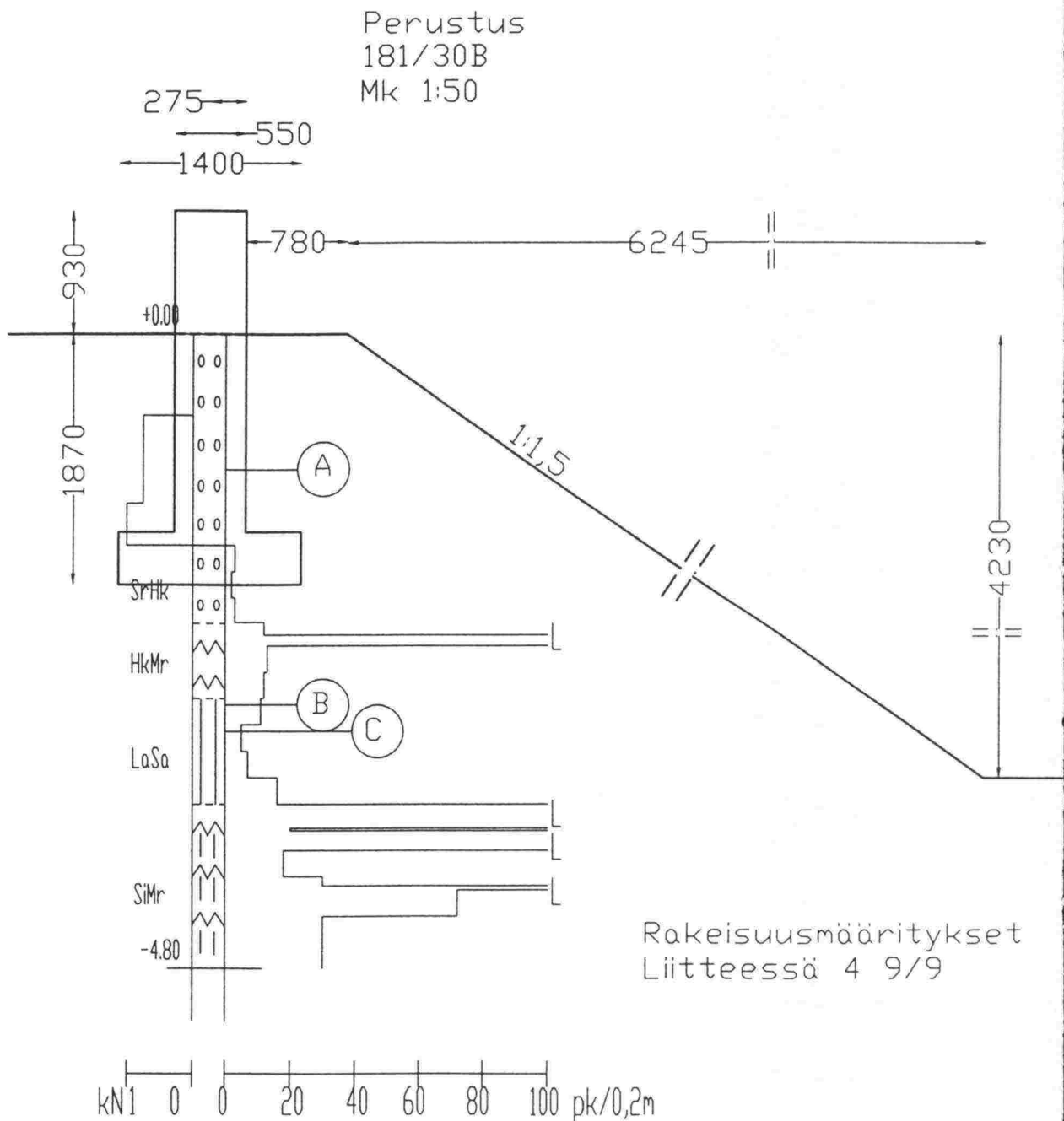
Anturallisen perustuksen 179/11B sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



1 kn = 10mm => puolikierrosta/0,2m

10mm = 20 pk/0,2m

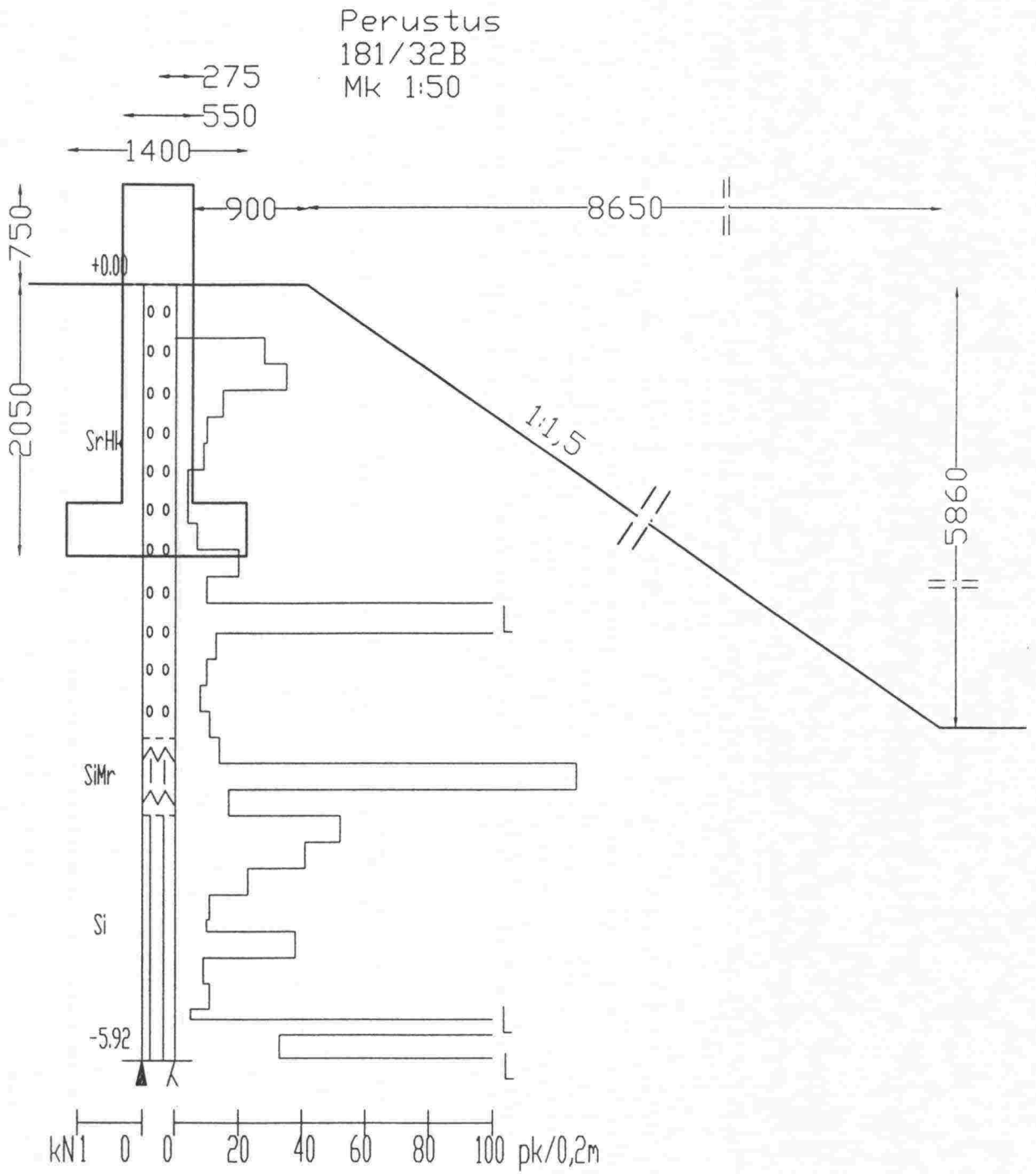
Anturallisen perustuksen 181/30B sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



1 kN = 10mm => puolikierrosta/0,2m

10mm = 20 pk/0,2m

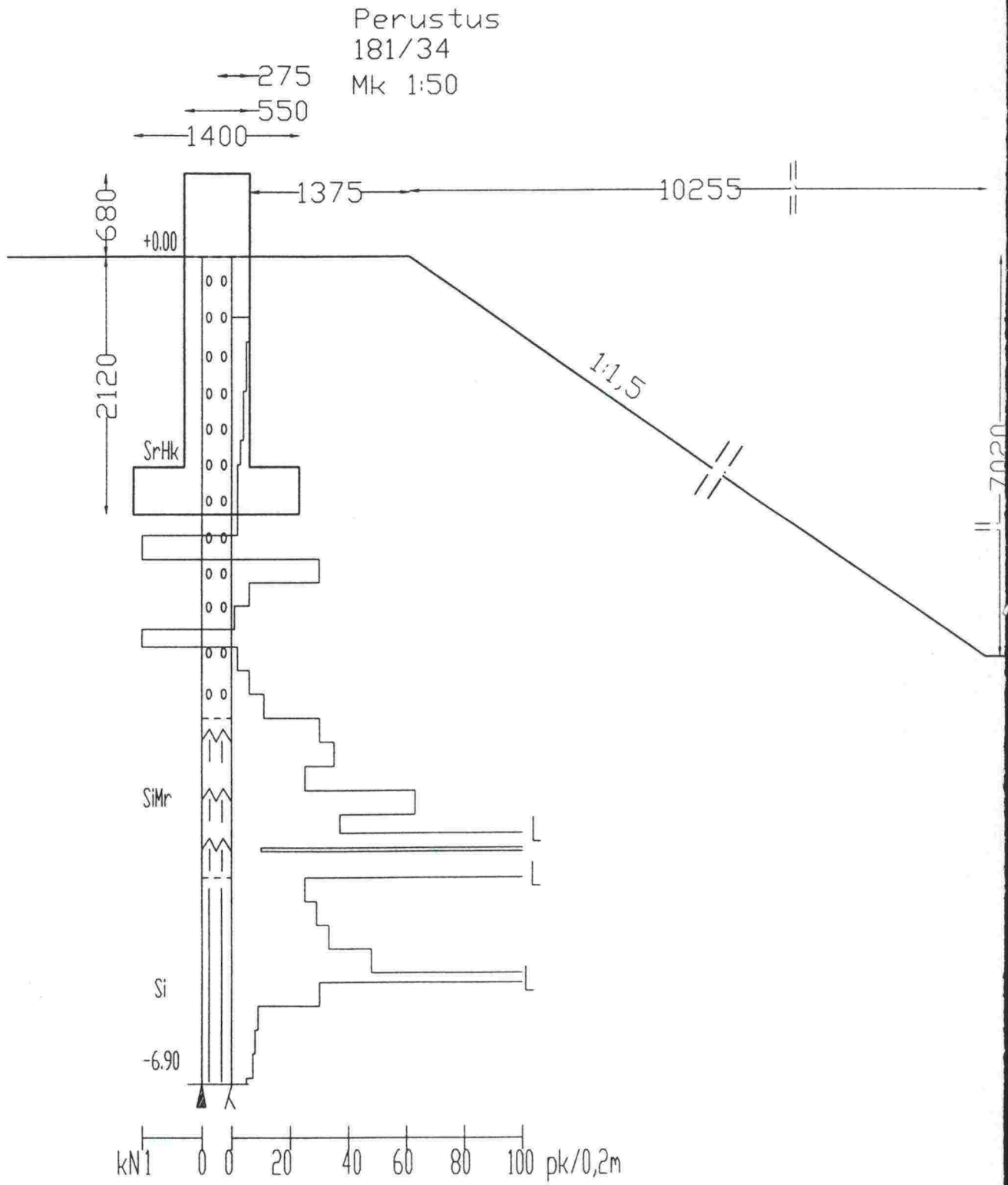
Anturallisen perustuksen 181/32B sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



1 kN = 10mm => puolikierrasta/0,2m

10mm = 20 pk/0,2m

Anturallisen perustuksen 181/34 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säätäjärvi-Perkkiö

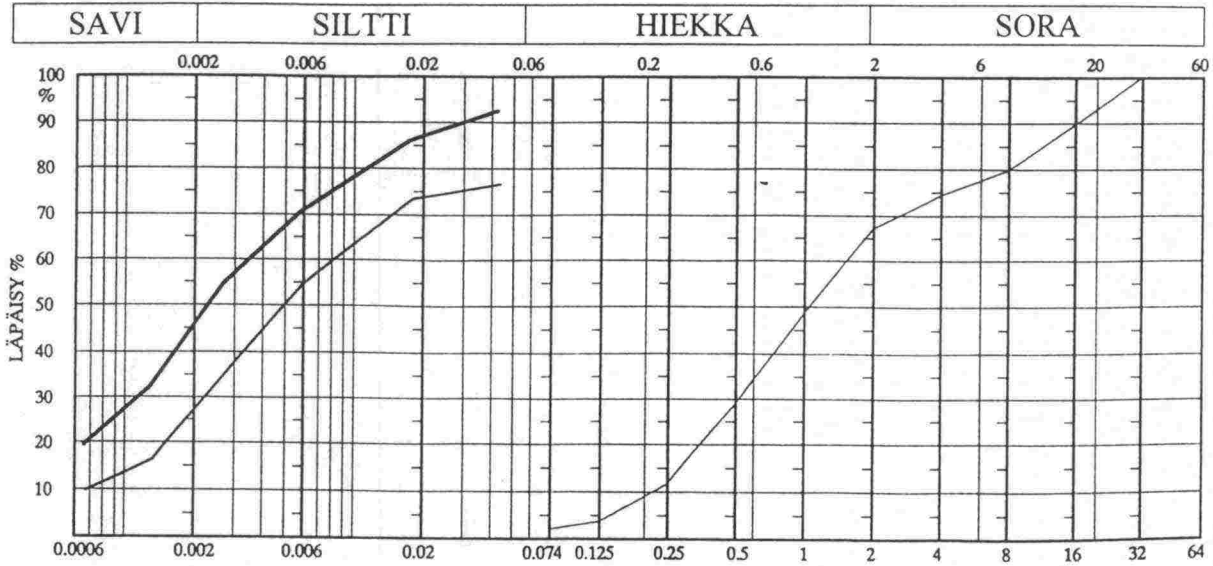


1 kN = 10mm => puolikierrosta/0,2m

10mm = 20 pk/0,2m

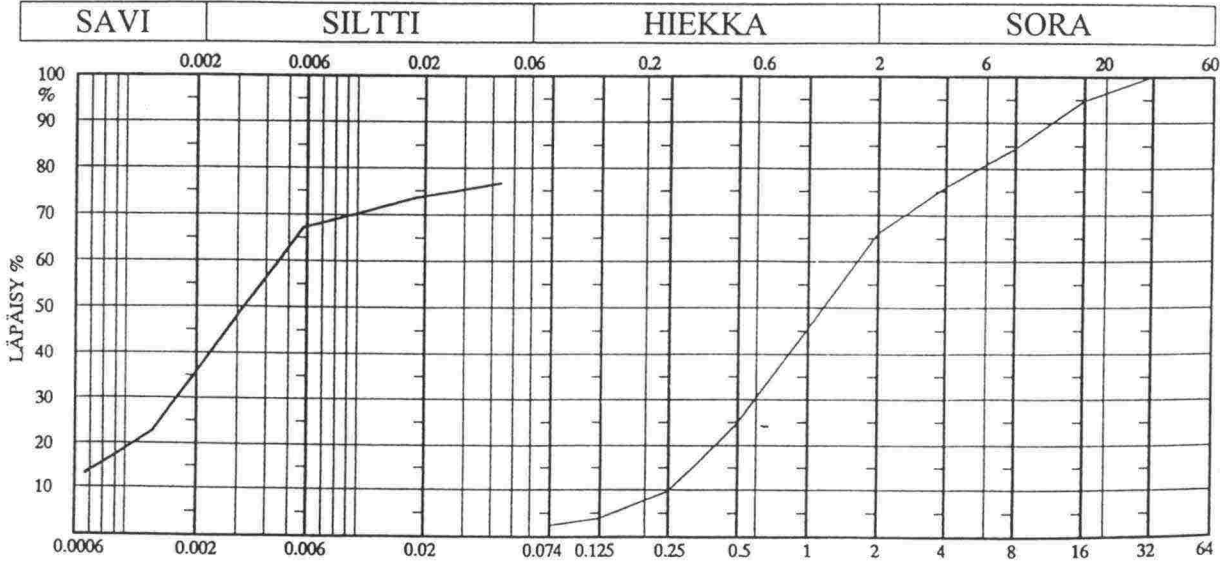
Anturallisen perustuksen 179/7B rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	179/7B	179/7B	179/7B
- syvyys	1,0 m	2,0 m	3,0 m
Maalaji	SrHk	SaSi	LaSa
Vesipitoisuus	4,3	29,1	34,4



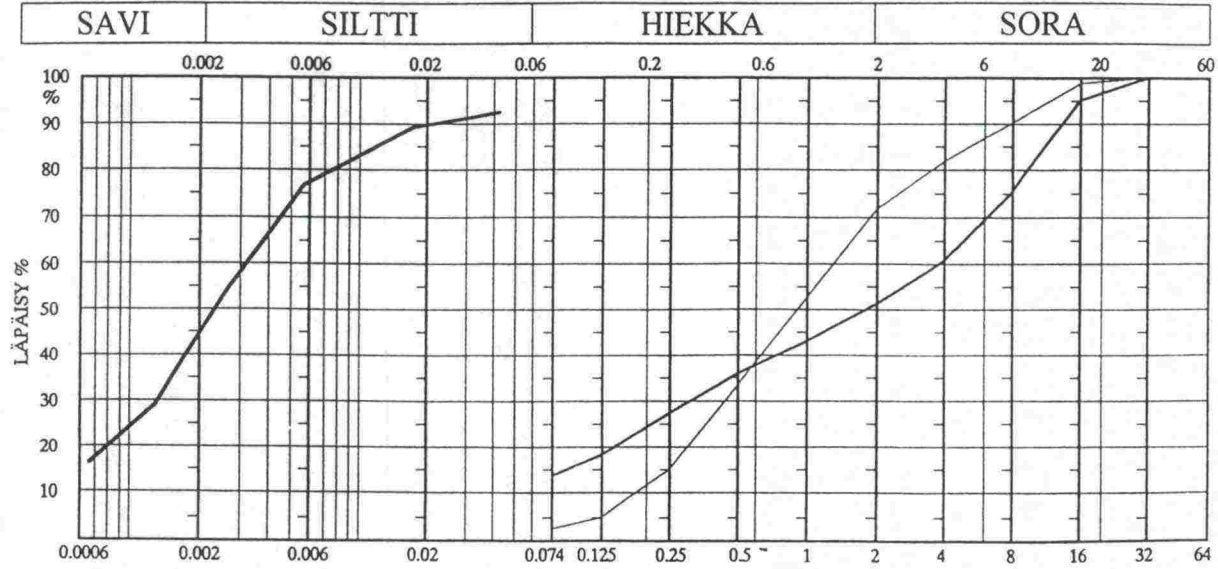
Anturallisen perustuksen 179/11B rakeisuusmääritys
rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	179/11B	179/11B	
- syvyys	1,0 m	2,5 m	
Maalaji	SrHk	LaSa	
Vesipitoisuus	5,0	19,8	

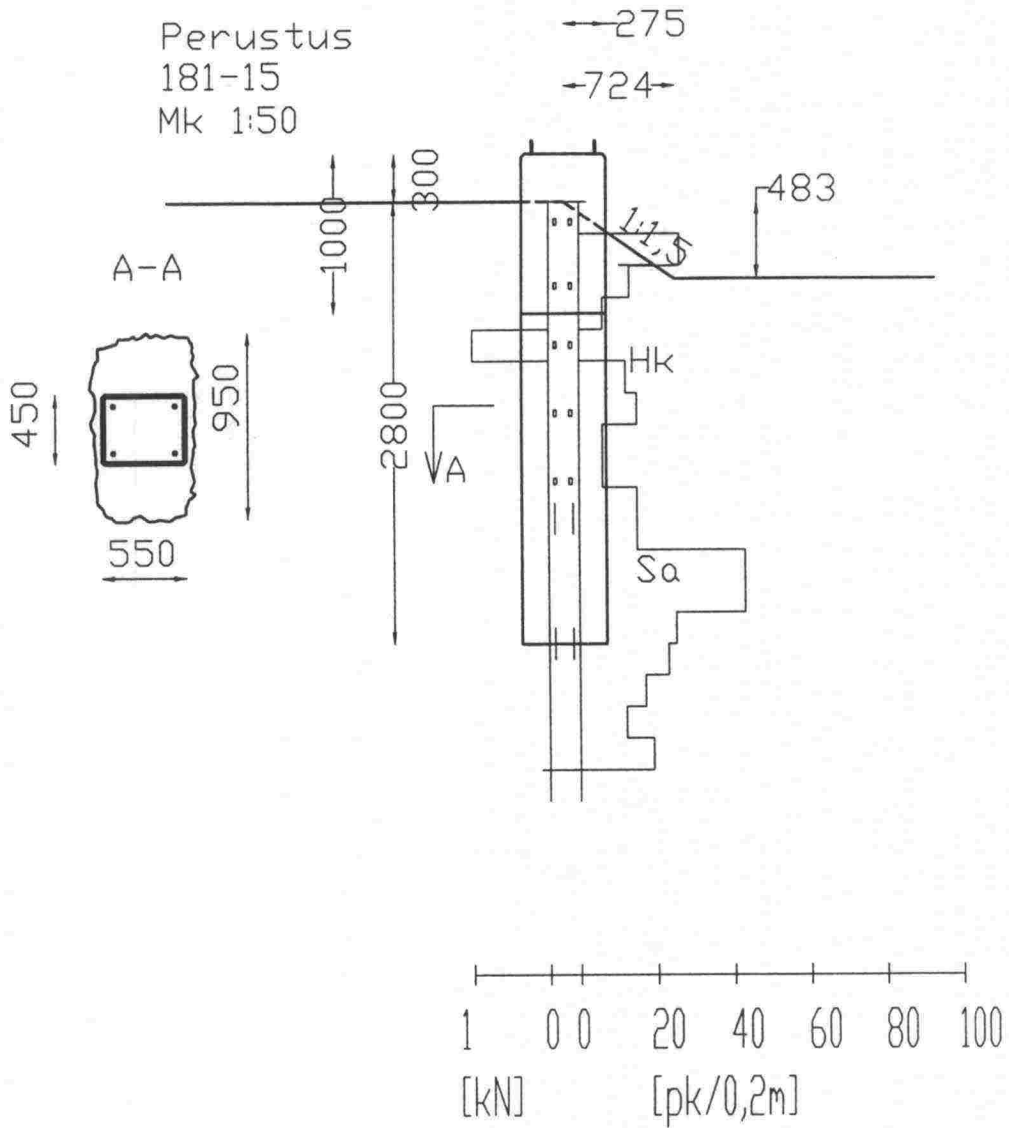


Anturallisen perustuksen 181/30B rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

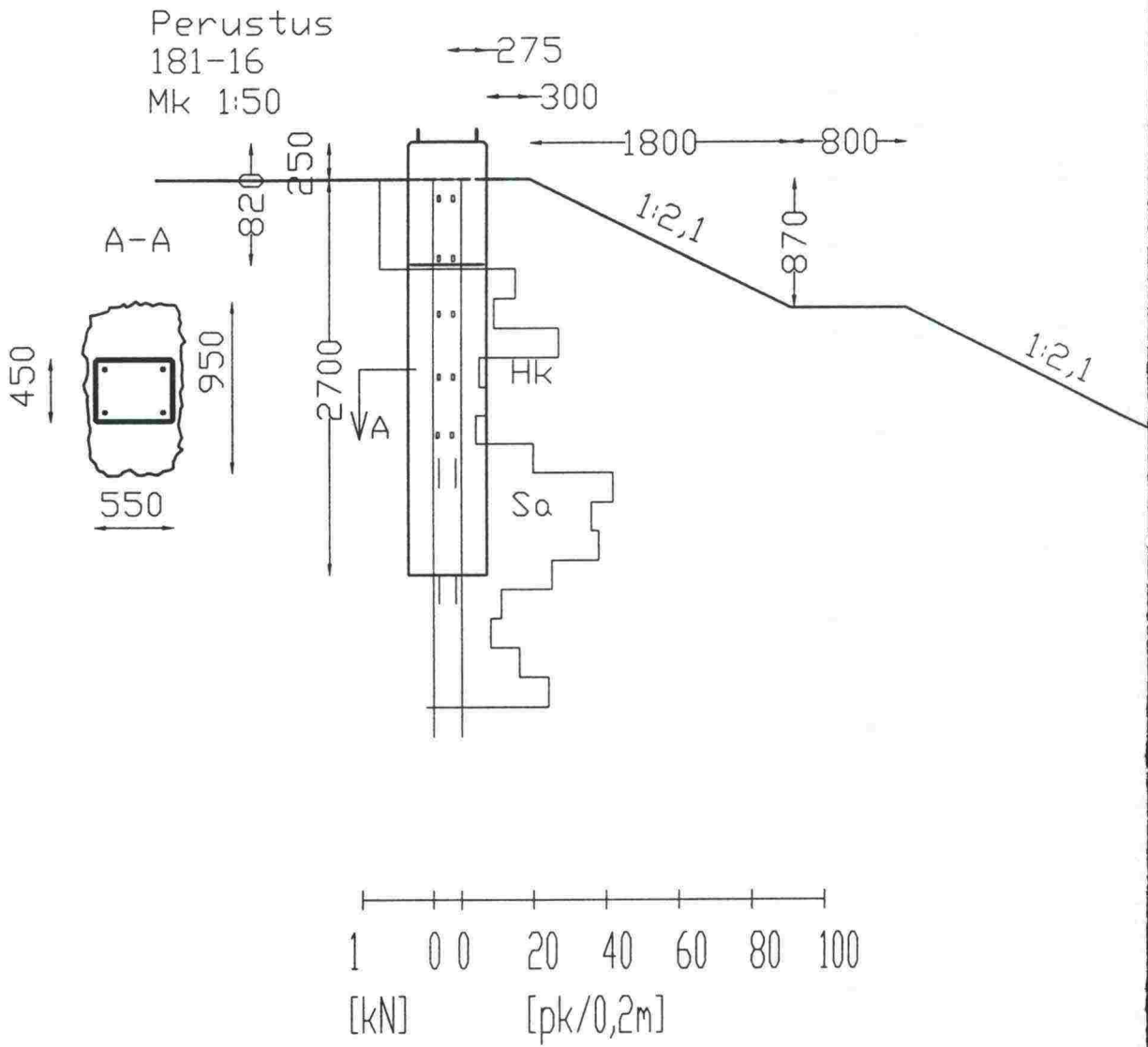
Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	181/30B	181/30B	181/30B
- syvyys	1,0 m	2,8 m	3,0 m
Maalaji	SrHk	HkMr	LaSa
Vesipitoisuus	5,6	6,9	31,6



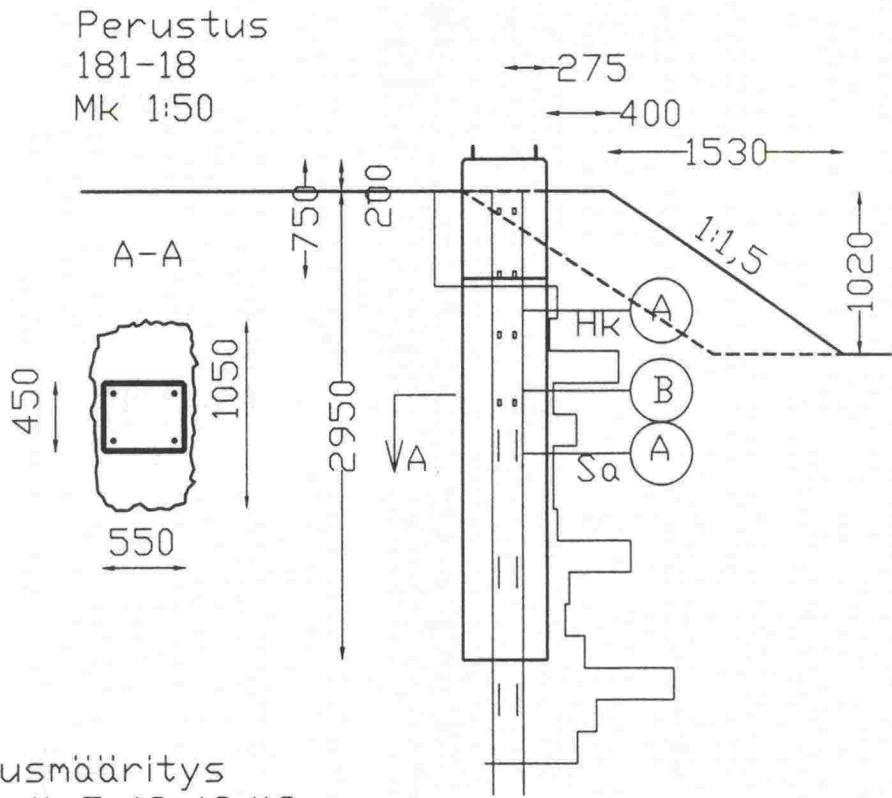
Anturattoman perustuksen 181/15 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



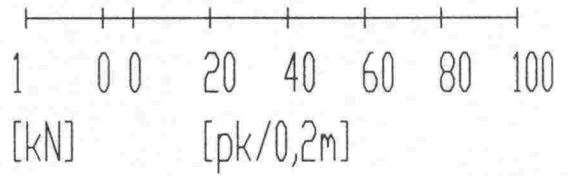
Anturattoman perustuksen 181/16 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



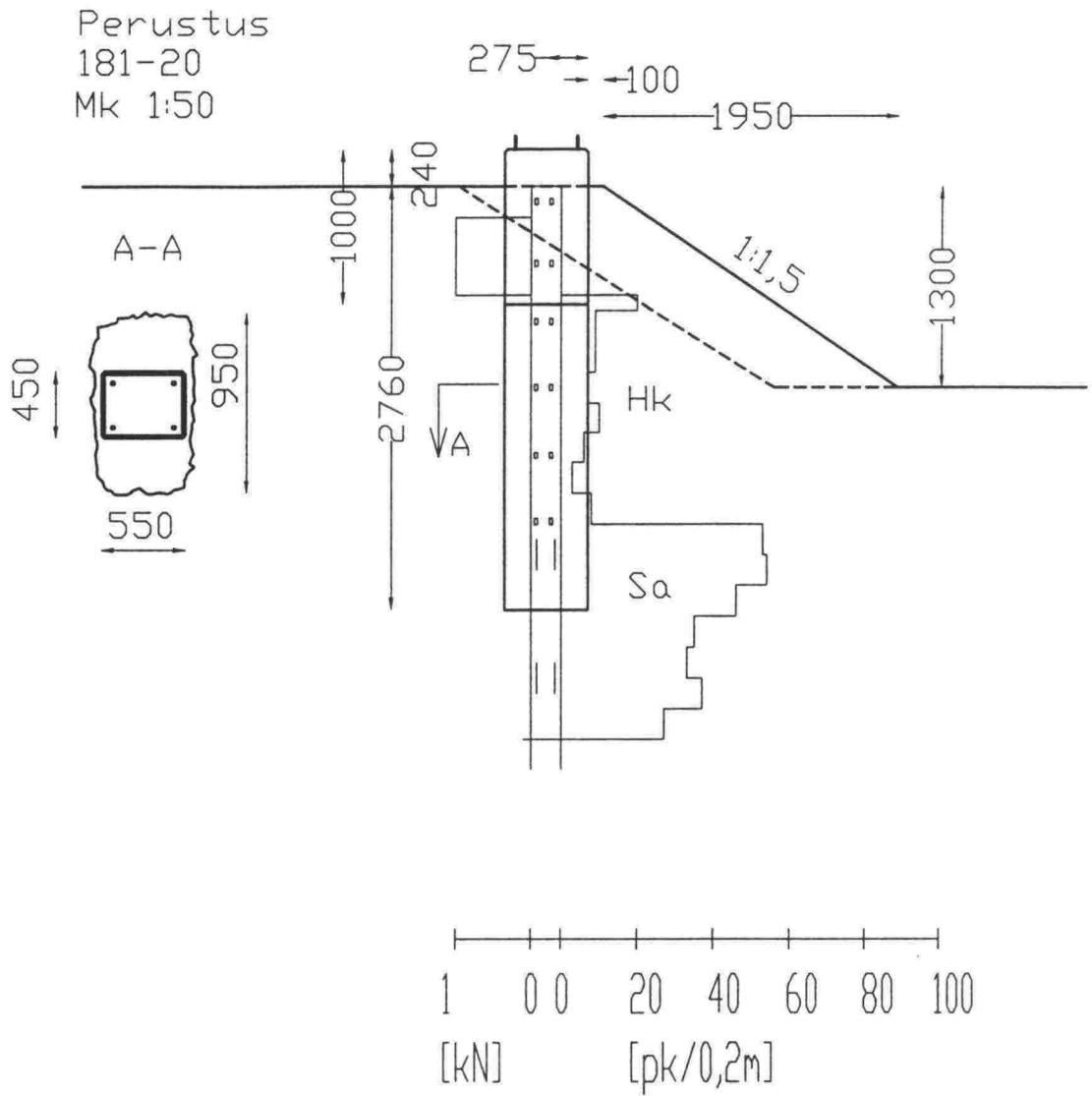
Anturattoman perustuksen 181/18 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



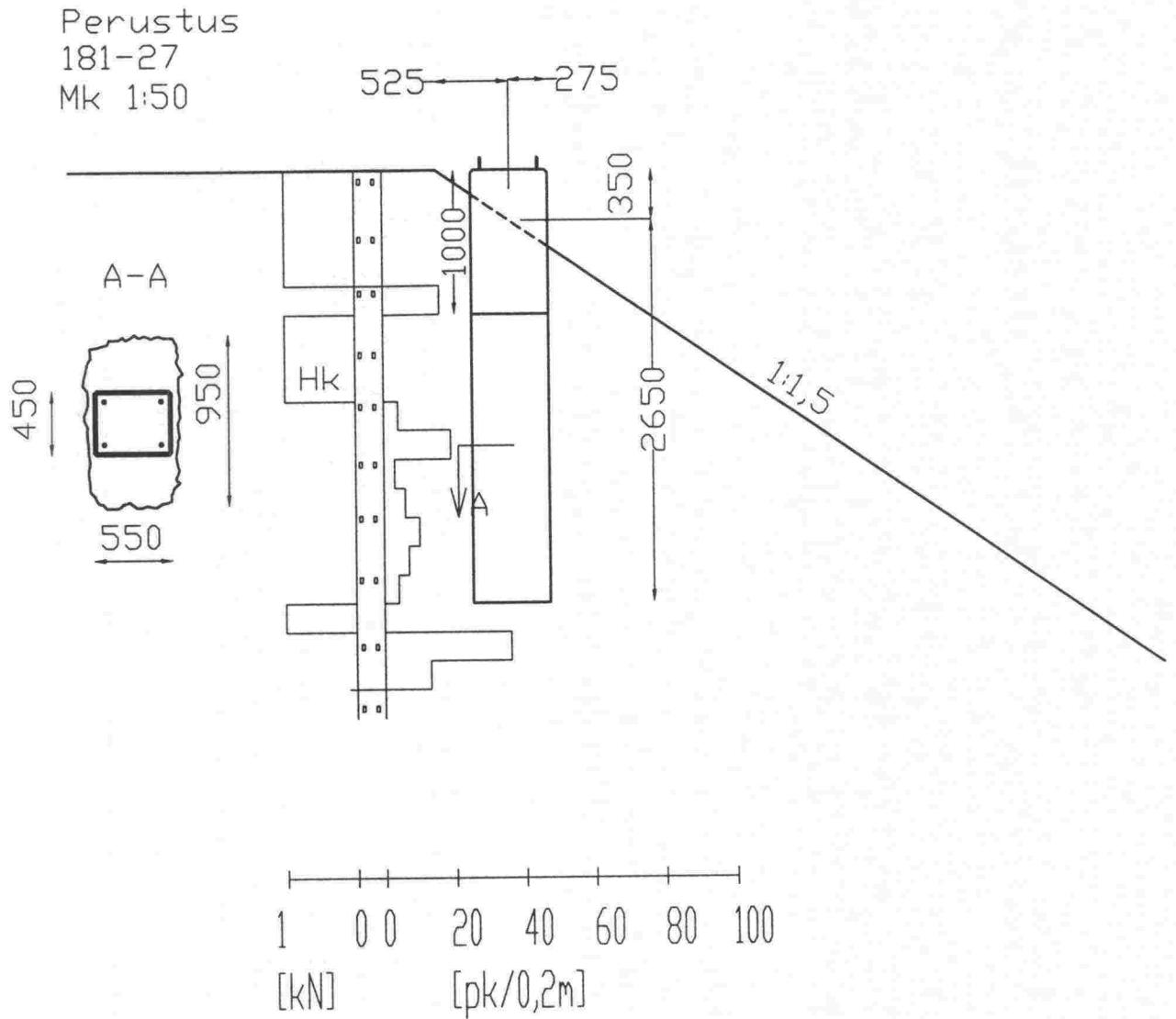
Rakeisuusmääritys
Liitteessä 5 12-13/18



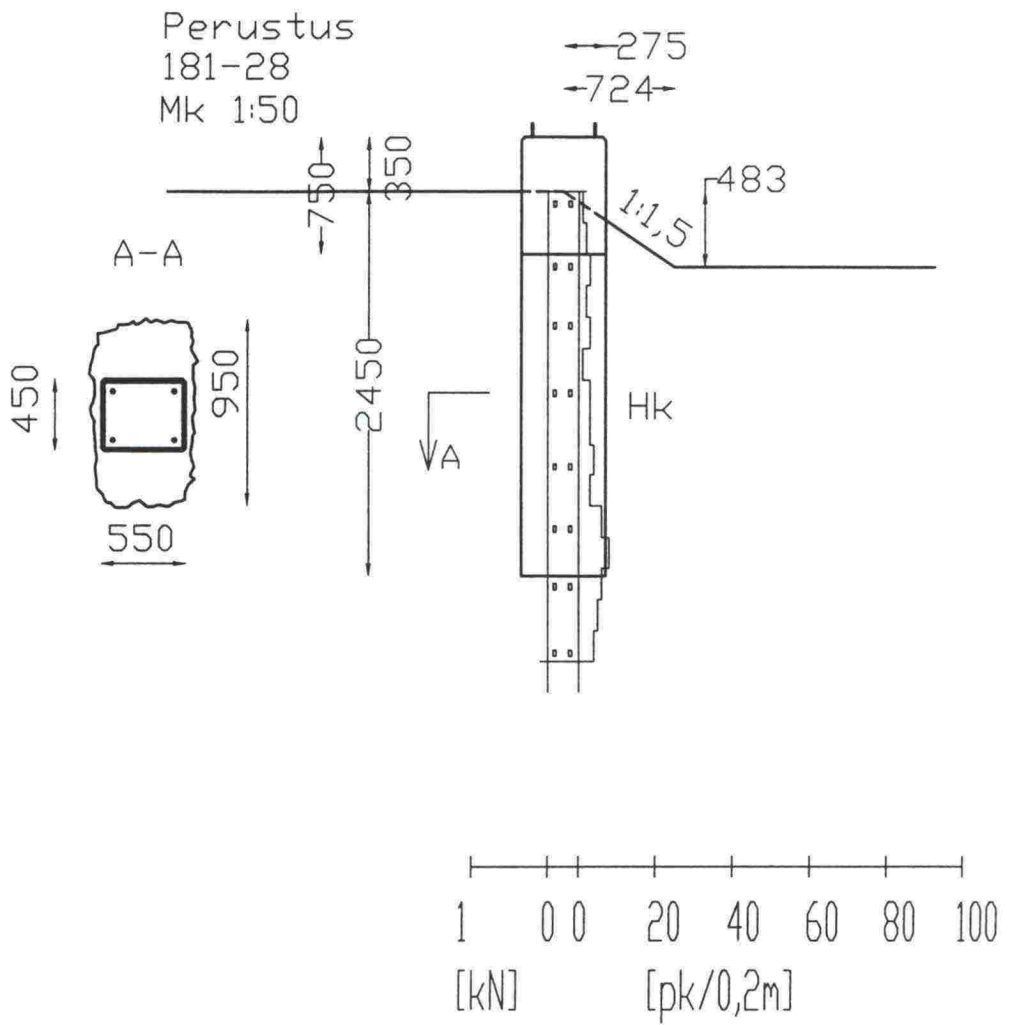
Anturattoman perustuksen 181/20 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



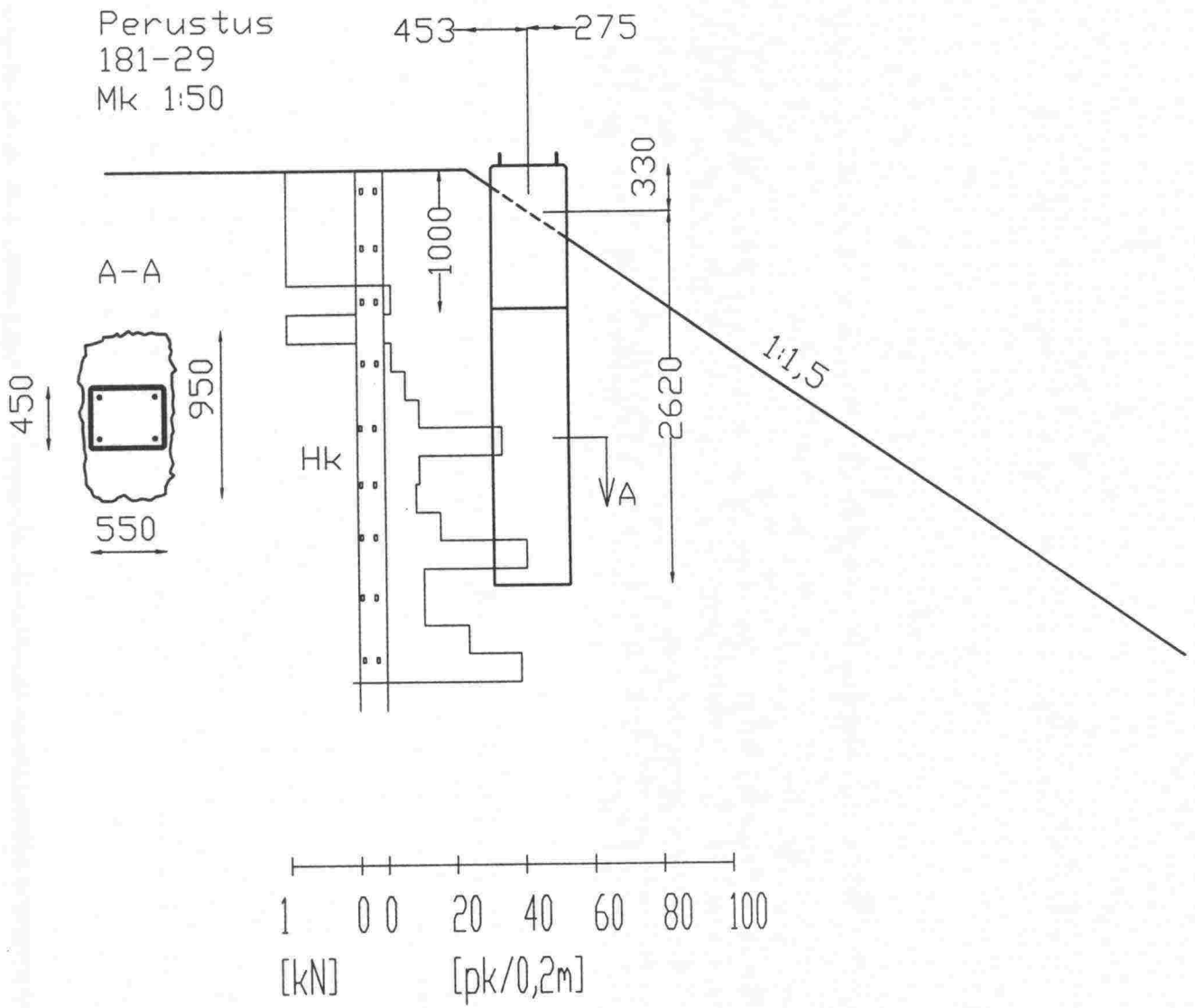
Anturattoman perustuksen 181/27 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säaksjärvi-Perkkiö



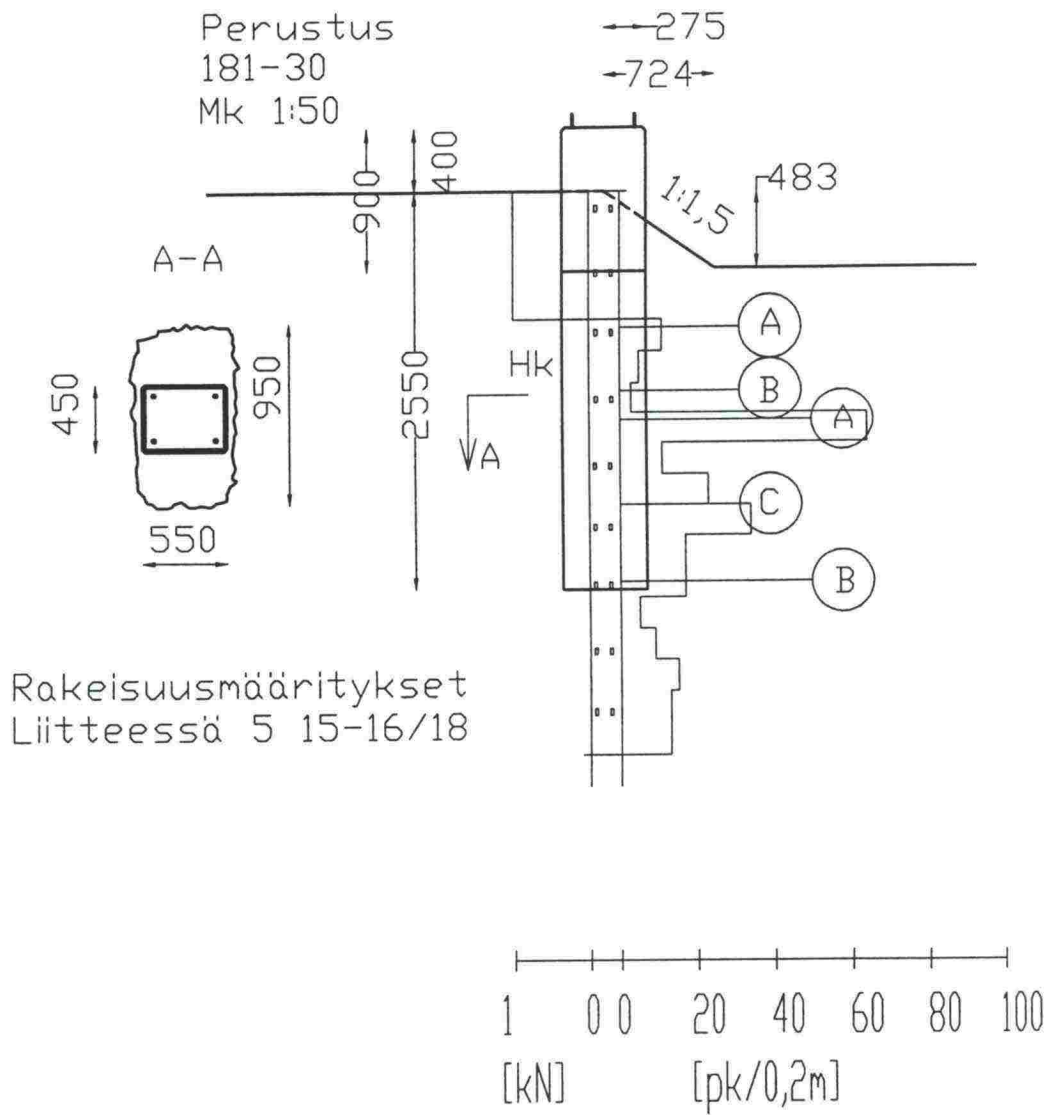
Anturattoman perustuksen 181/28 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



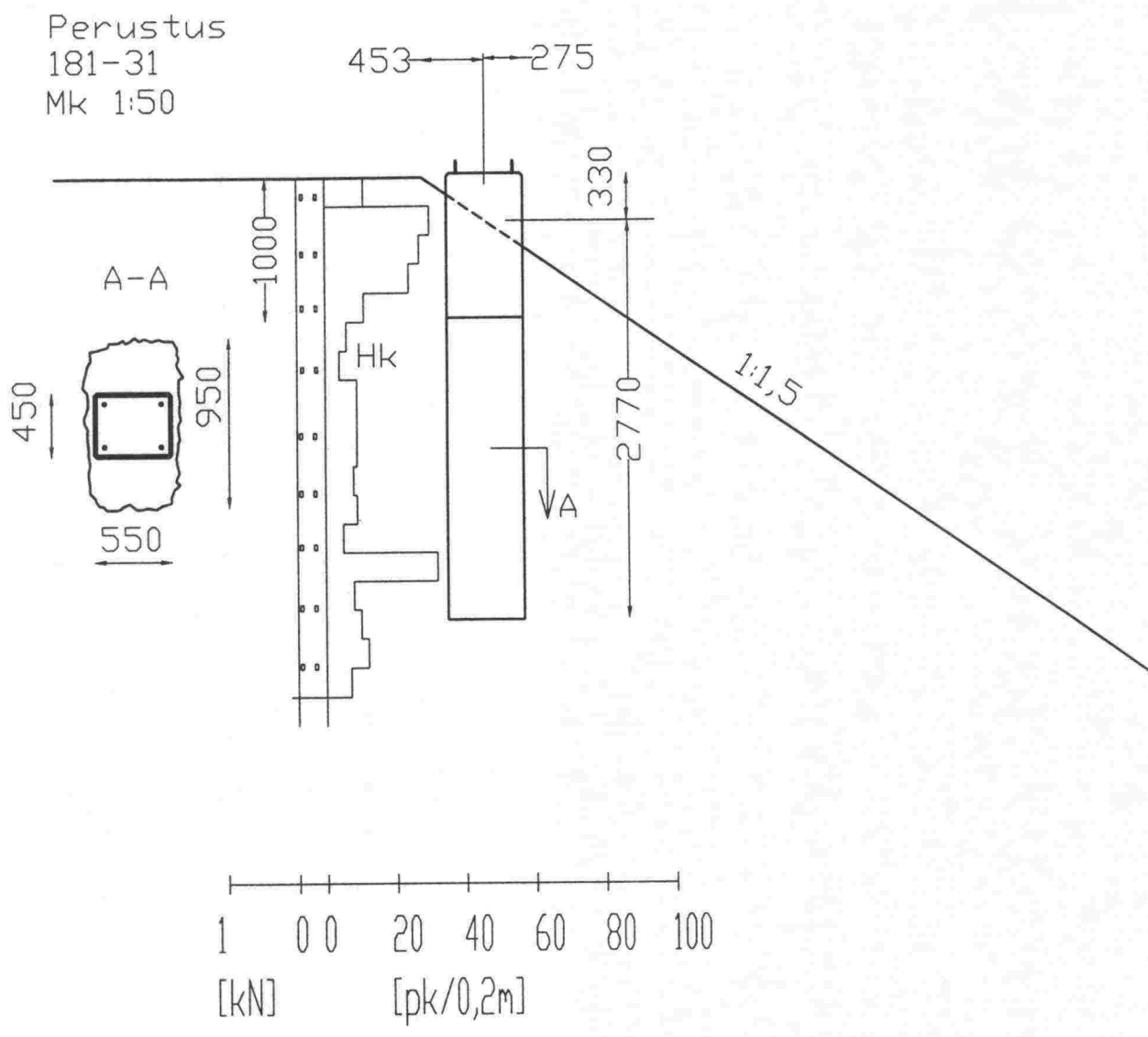
Anturattoman perustuksen 181/29 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



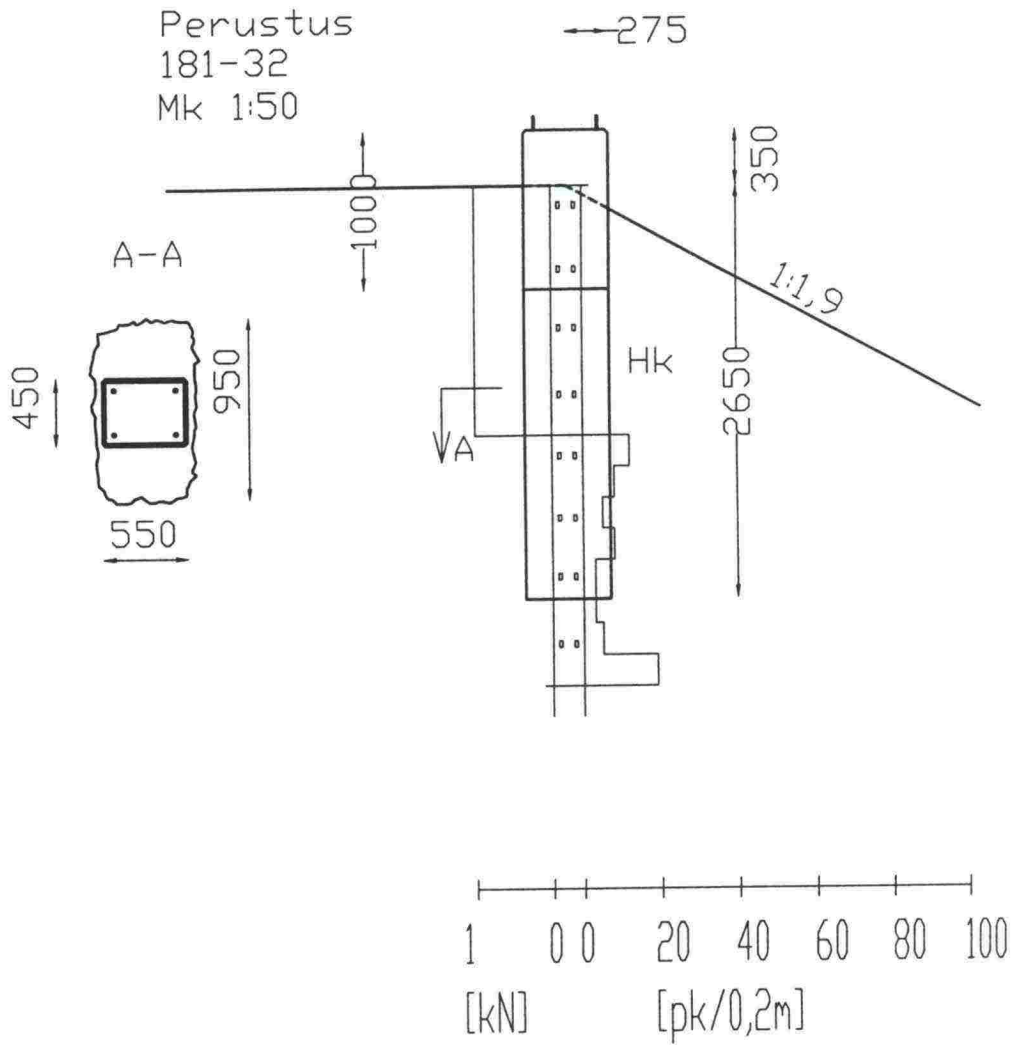
Anturattoman perustuksen 181/30 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



Anturattoman perustuksen 181/31 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



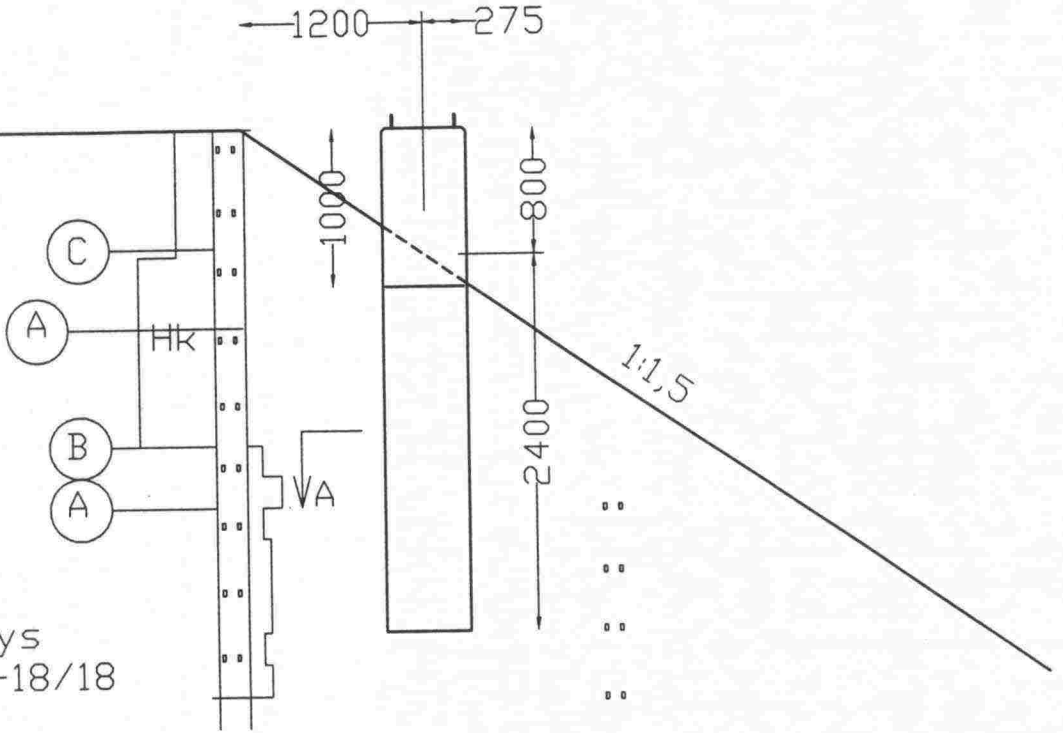
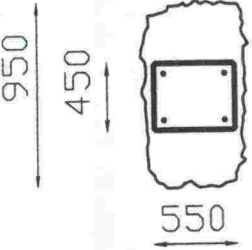
Anturattoman perustuksen 181/32 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö



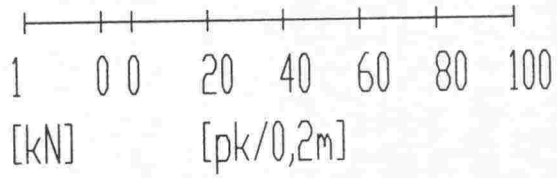
Anturattoman perustuksen 182/1 sijoitus ratapenkereeseen
sekä painokairaustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö

Perustus
182-1
Mk 1:50

A-A

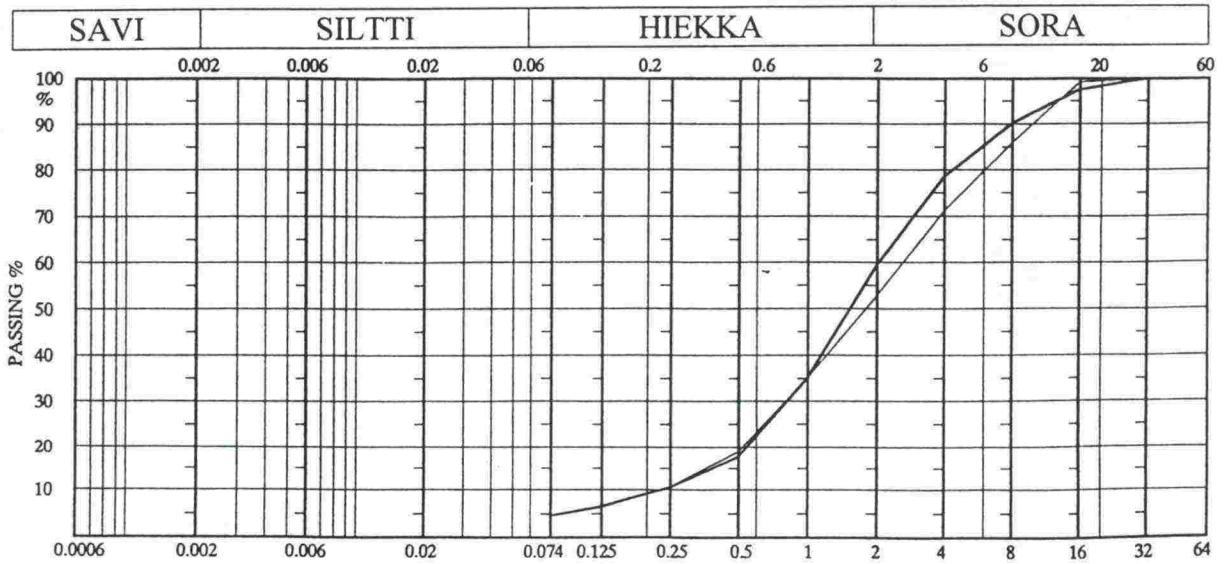


Rakeisuusmääritys
Liitteessä 5 17-18/18



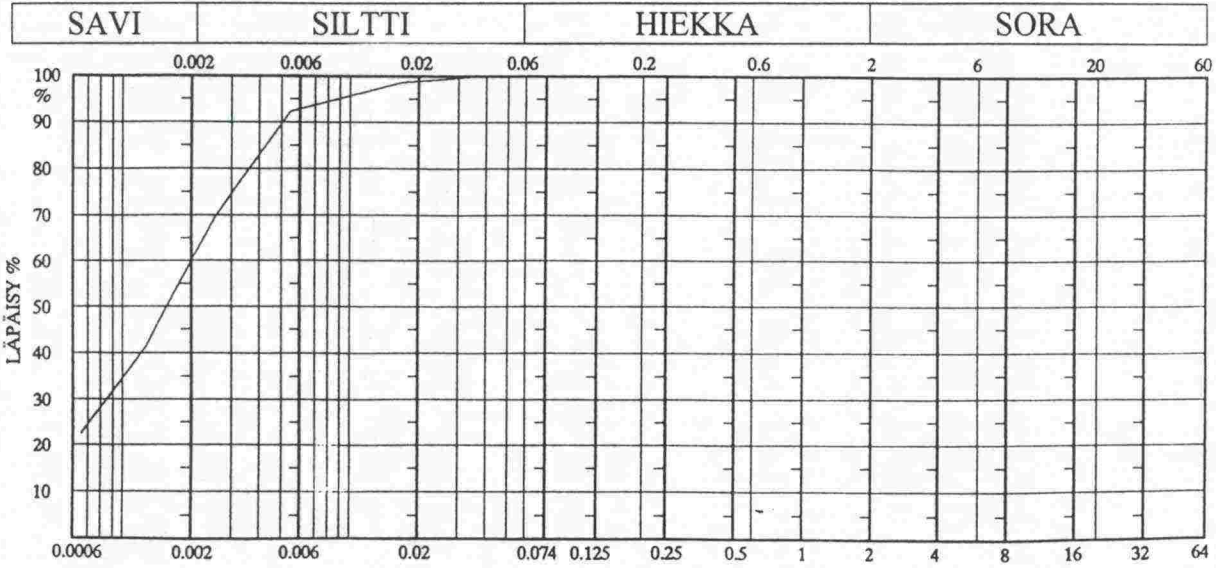
Anturattoman perustuksen 181/18 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A ———	B ———	C ———
- perustus	181/18	181/18	
- syvyys	0,5-1,0 m	1,0-1,5 m	
Maalaji	Hk	Hk	
Vesipitoisuus			



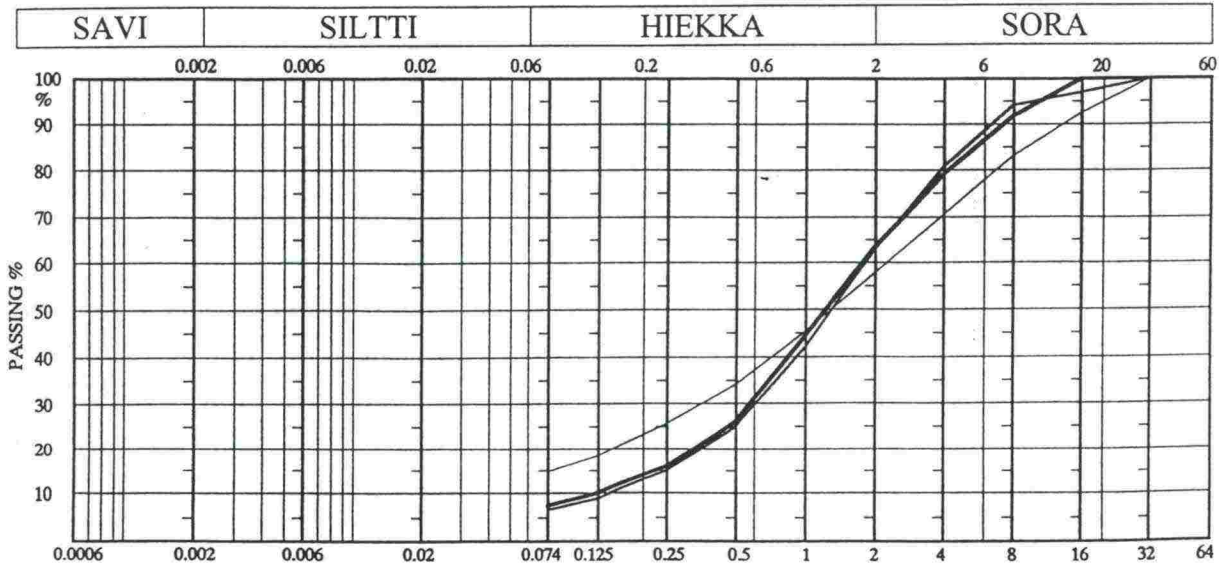
Anturattoman perustuksen 181/18 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	181/18		
- syvyys	1,5-1,8 m		
Maalaji	Sa		
Vesipitoisuus			



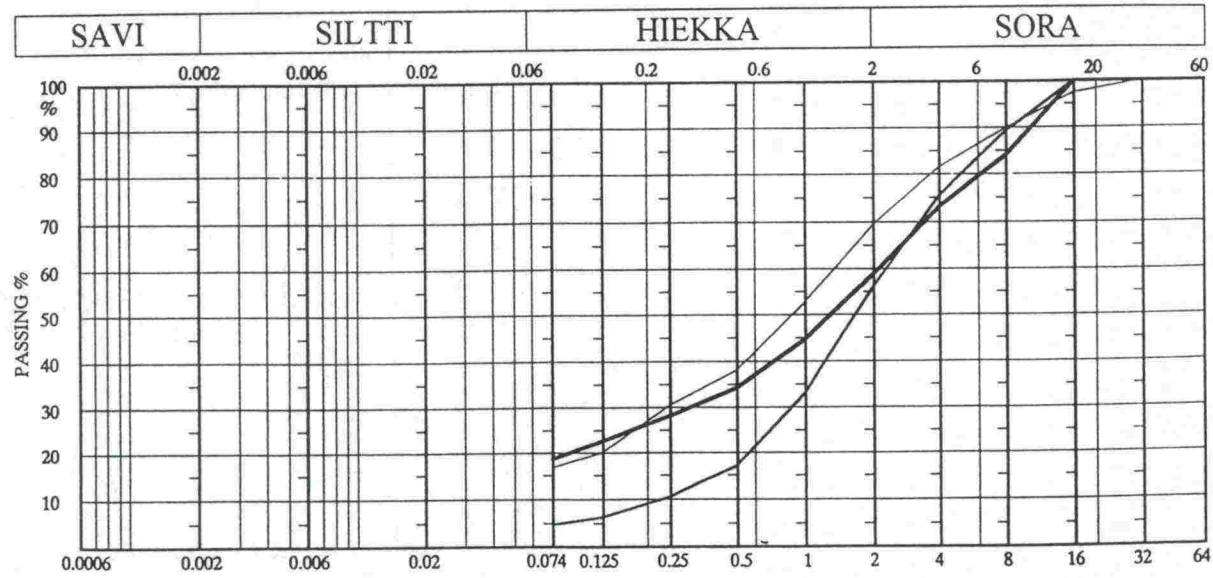
Anturattoman perustuksen 181/26 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A ———	B ———	C ———
- perustus	181/26	181/26	181/26
- syvyys	1,5-2,0 m	1,0-1,5 m	1,0 m
Maalaji	Hk	Hk	Hk
Vesipitoisuus			



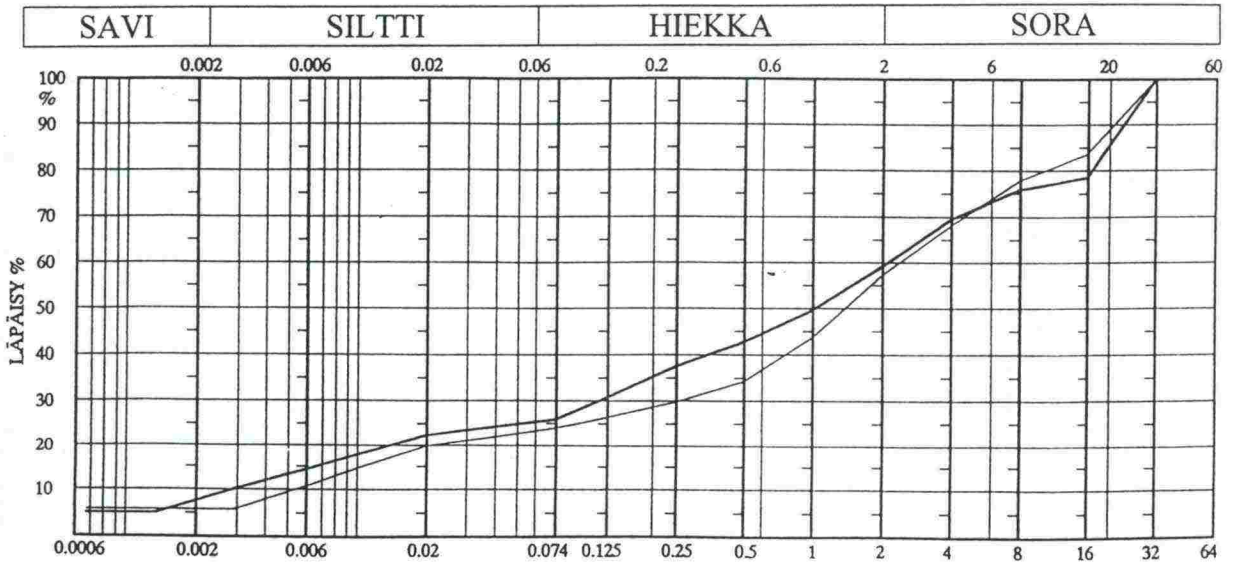
Anturattoman perustuksen 181/30 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	181/30	181/30	181/30
- syvyys	0,7-1,0 m	1,2-1,0 m	2,0 m
Maalaji	Hk	Hk	Hk
Vesipitoisuus			



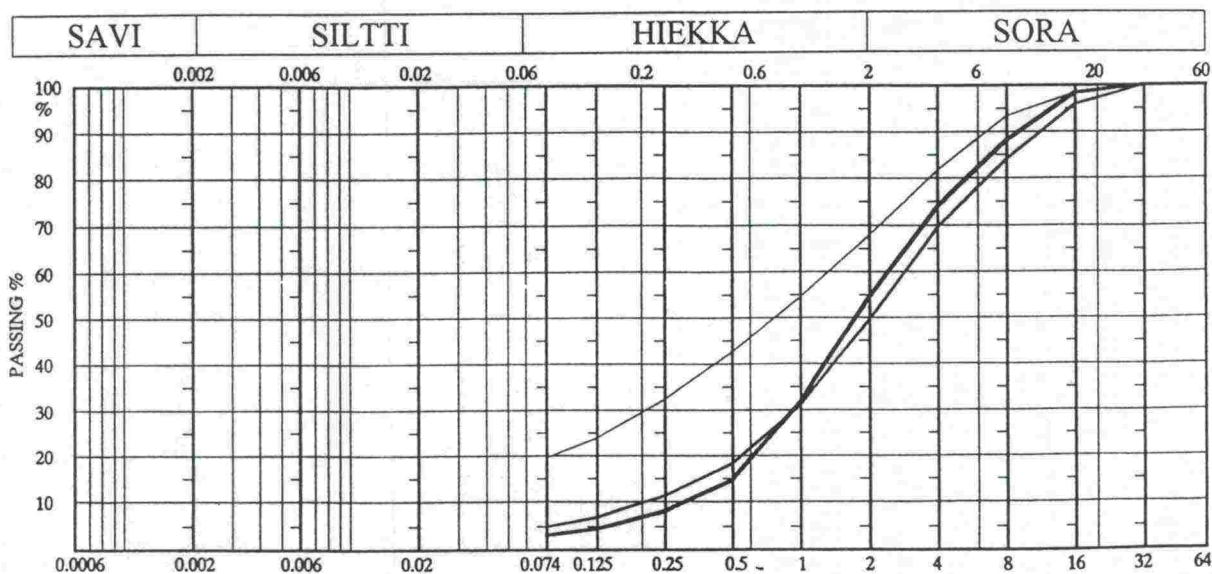
Anturattoman perustuksen 181/30 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	181/30	181/30	
- syvyys	1,3-1,5 m	2,5 m	
Maalaji	Hk	Hk	
Vesipitoisuus			



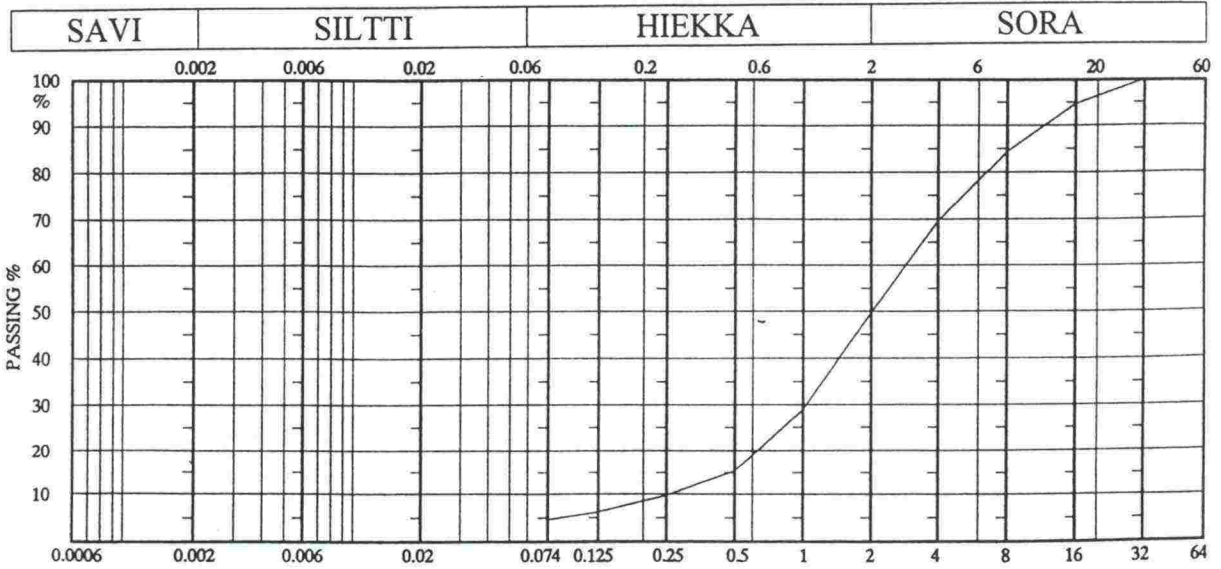
Anturattoman perustuksen 182/1 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	182/1	182/1	182/1
- syvyys	2,3-2,5 m	2,0 m	0,5-1,0 m
Maalaji	Hk	Hk	Hk
Vesipitoisuus			

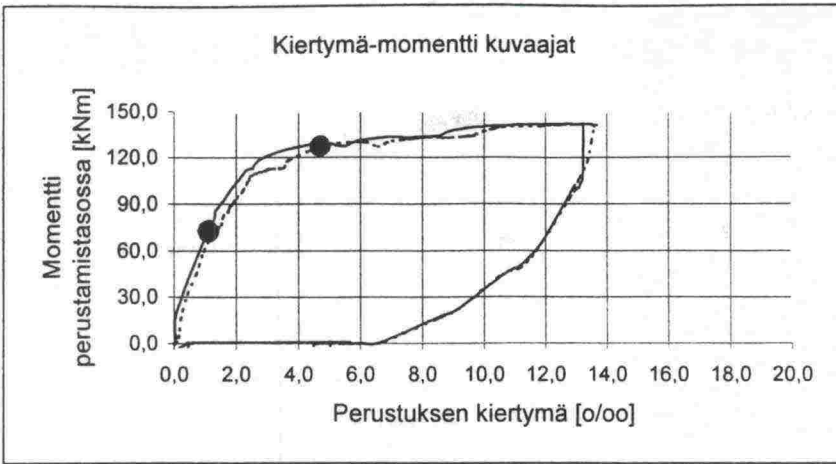


Anturattoman perustuksen 182/1 rakeisuusmääritys
rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

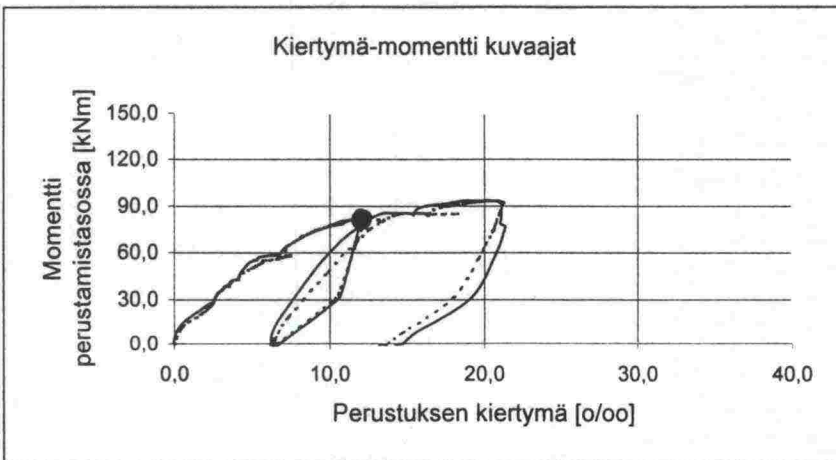
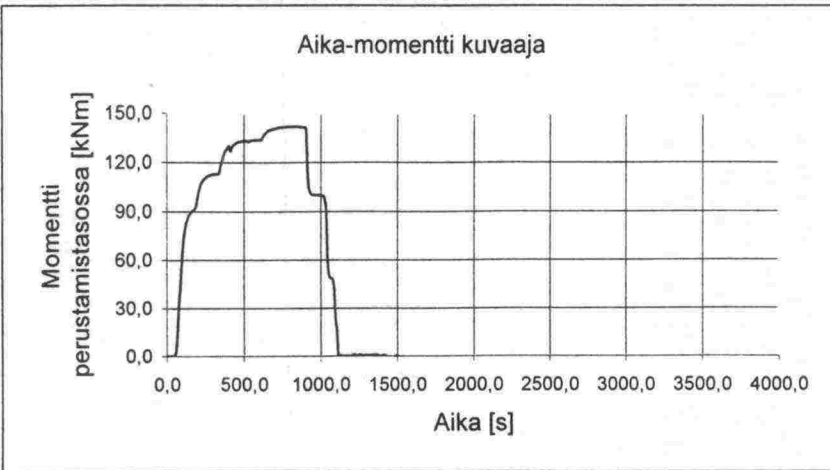
Näytteen tunnus	A	B	C
- perustus	182/1		
- syvyys	1,0-1,5 m		
Maalaji	Hk		
Vesipitoisuus			



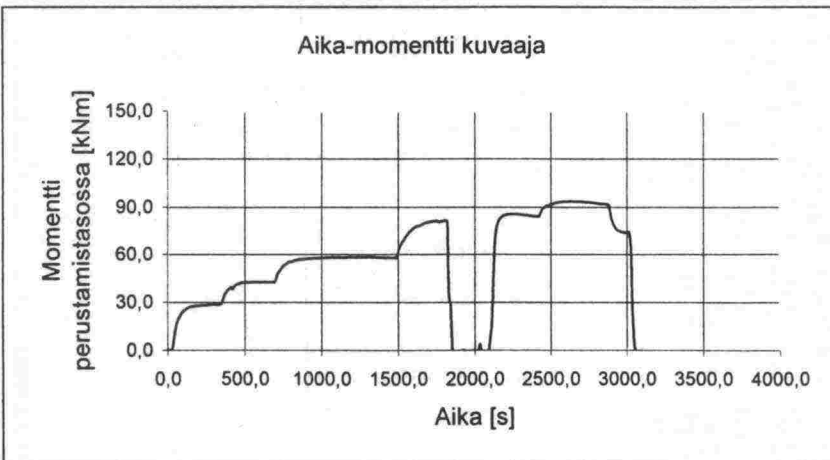
Anturallisen perustuksen 700/9 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе



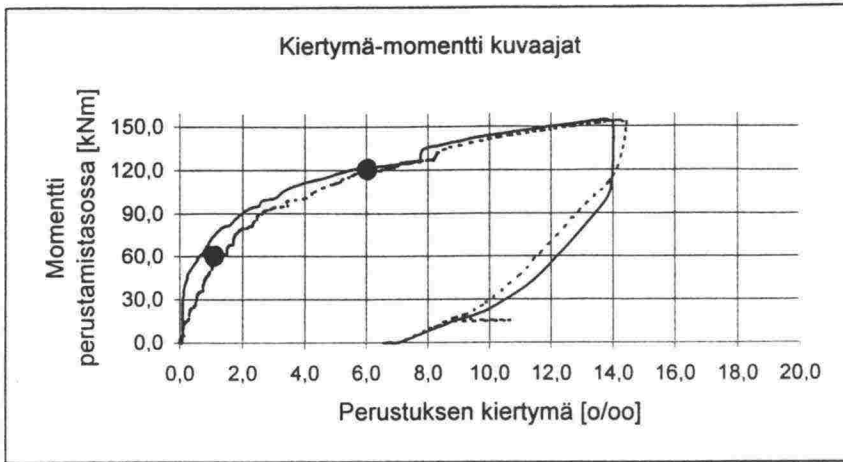
Pylväs 700/9
Kuormitus rataan
päin



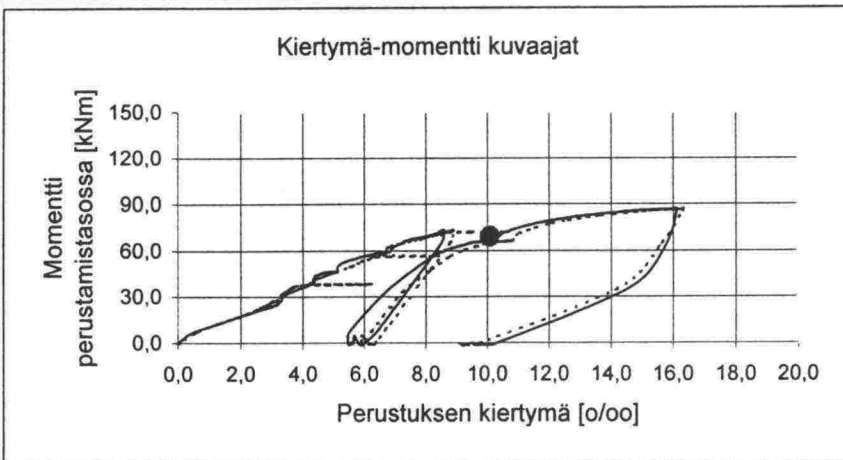
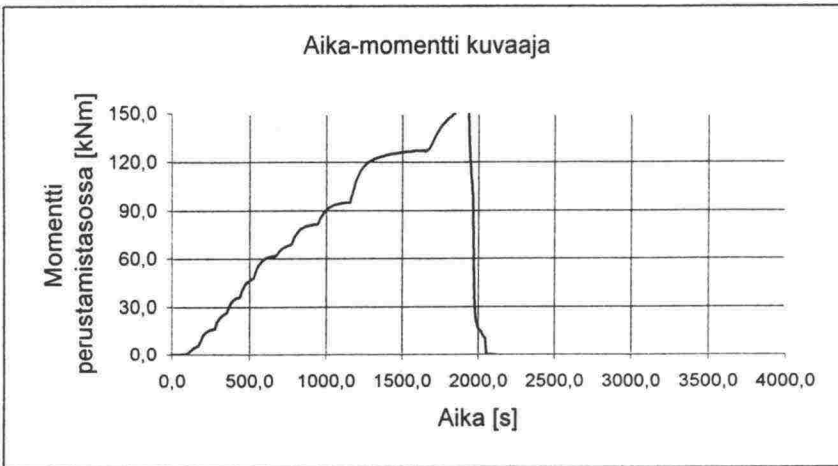
Pylväs 700/9
Kuormitus radasta
poispäin



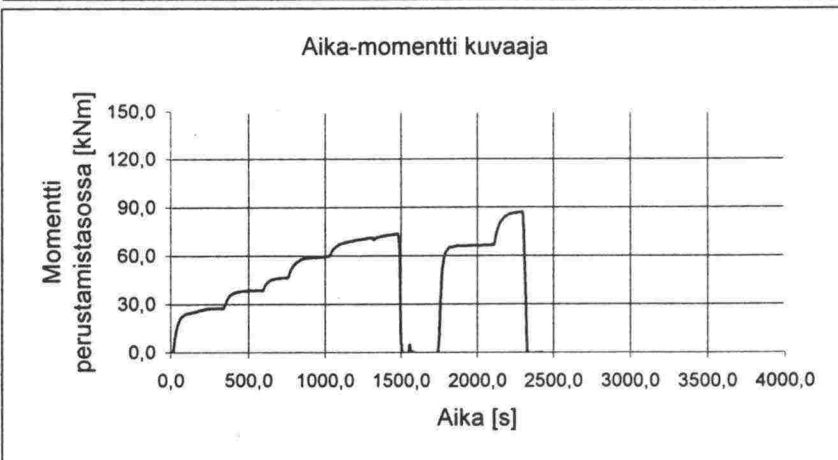
Anturallisen perustuksen 700/10 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе



Pylväs 700/10
Kuormitus rataan
päin

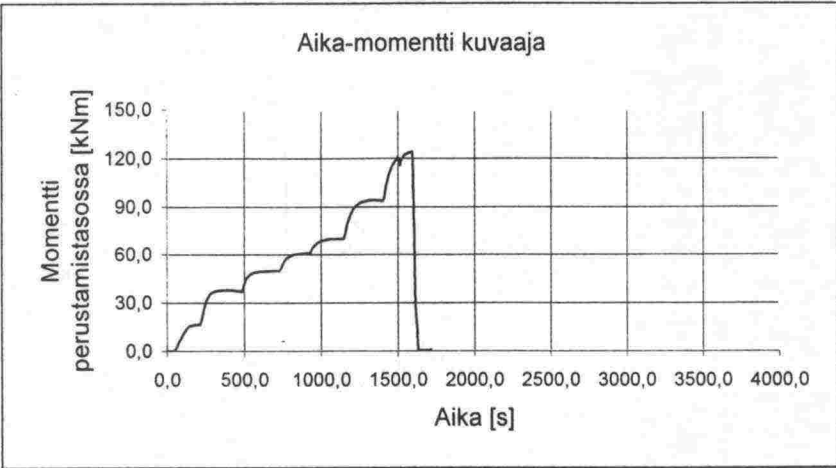
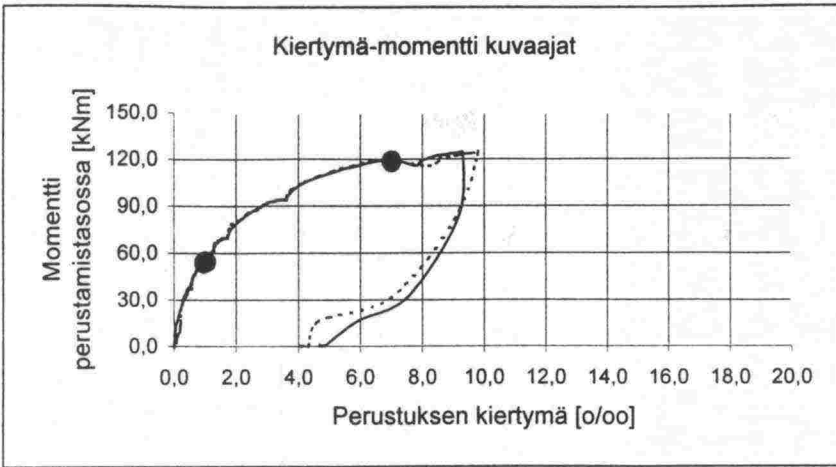


Pylväs 700/10
Kuormitus radasta
poispäin

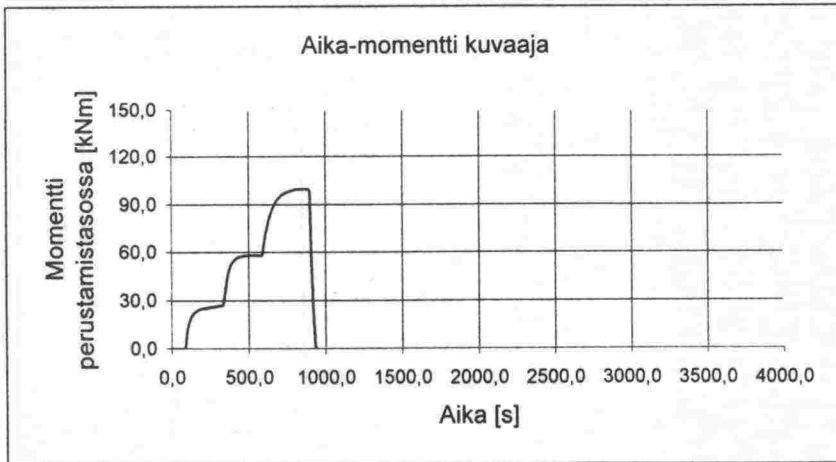
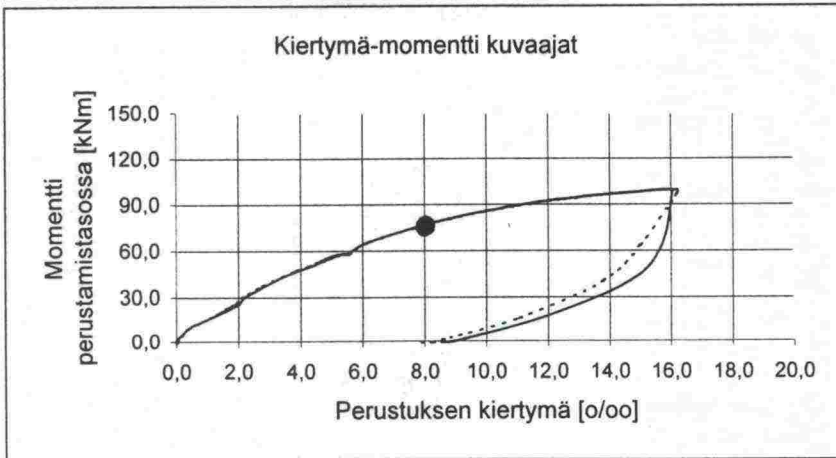


Anturallisen perustuksen 700/11 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе

Pylväs 700/11
Kuormitus rataan
päin

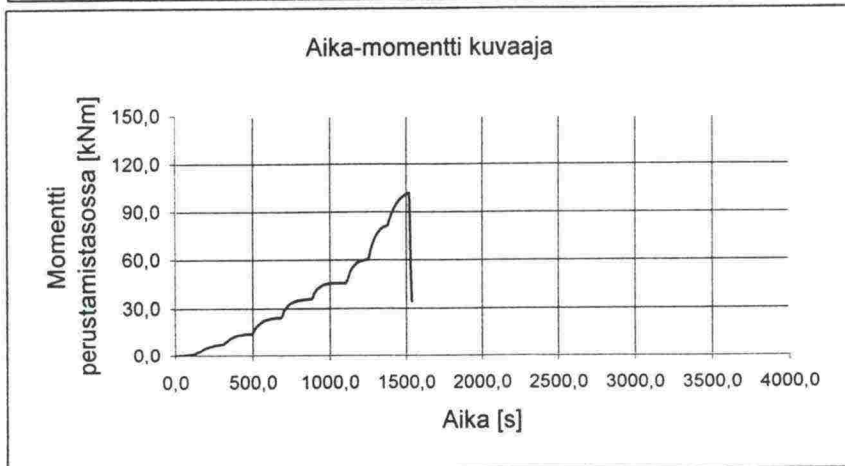
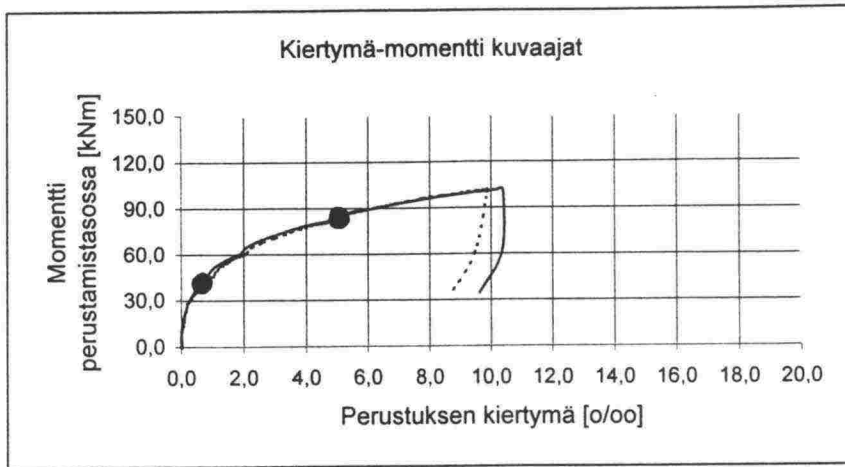


Pylväs 700/11
Kuormitus radasta
poispäin

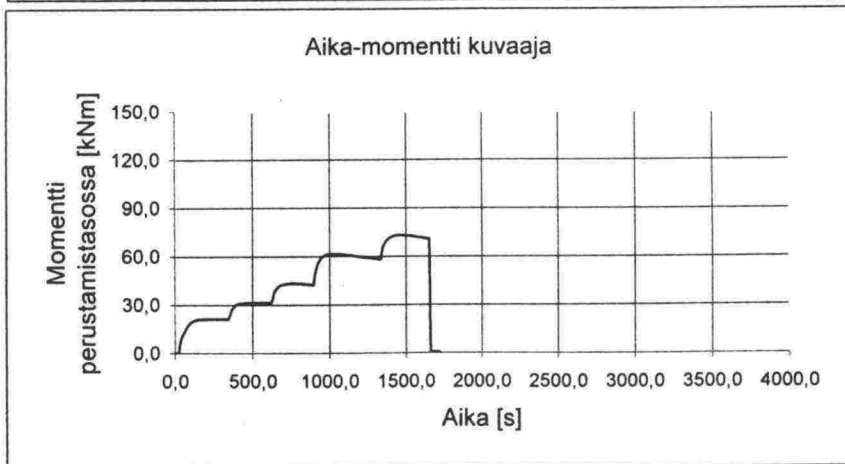
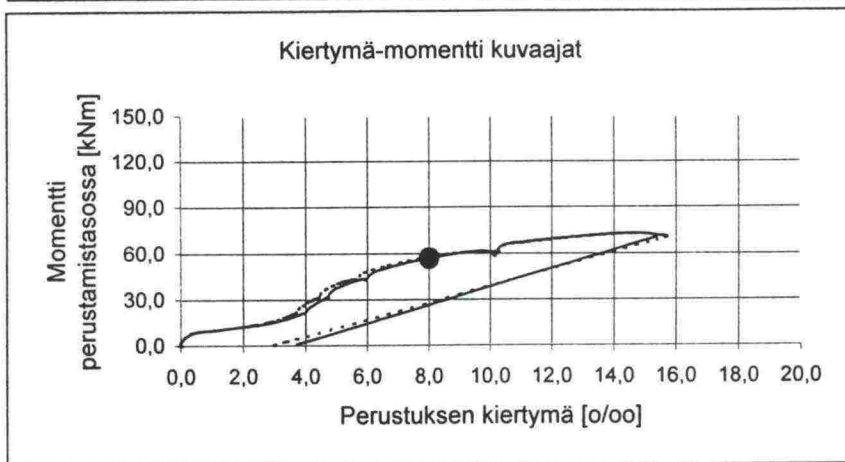


Anturallisen perustuksen 703/15 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe

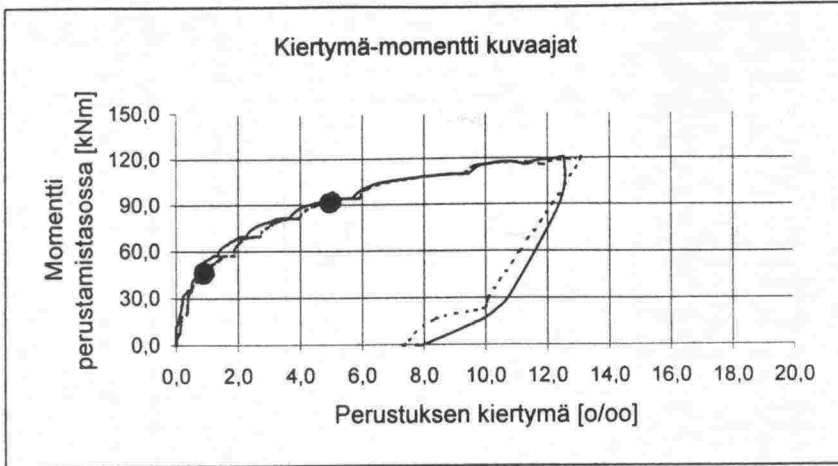
Pylväs 703/15
Kuormitus rataan
päin



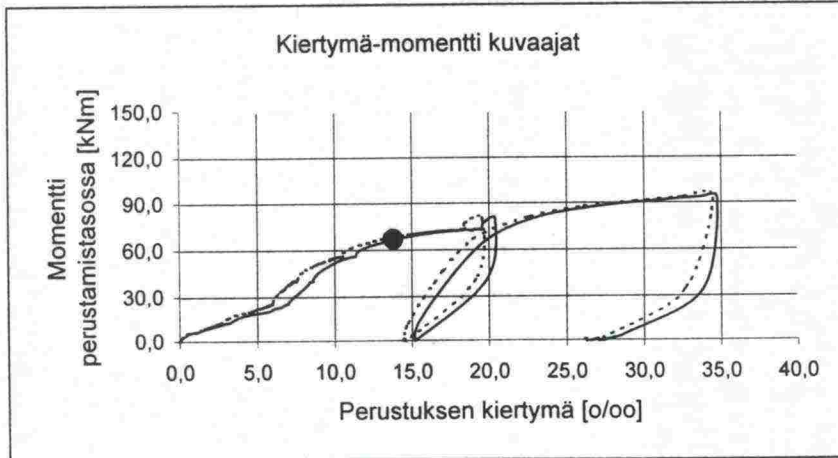
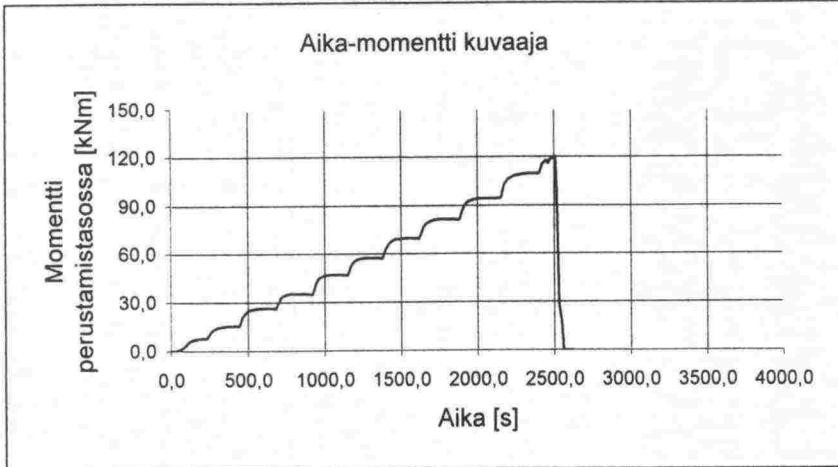
Pylväs 703/15
Kuormitus radasta
poispäin



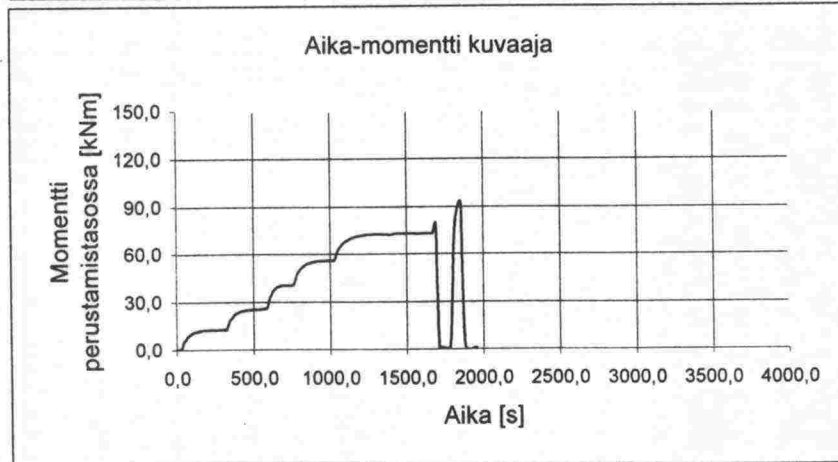
Anturallisen perustuksen 704/1 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе



Pylväs 704/1
Kuormitus rataan
päin

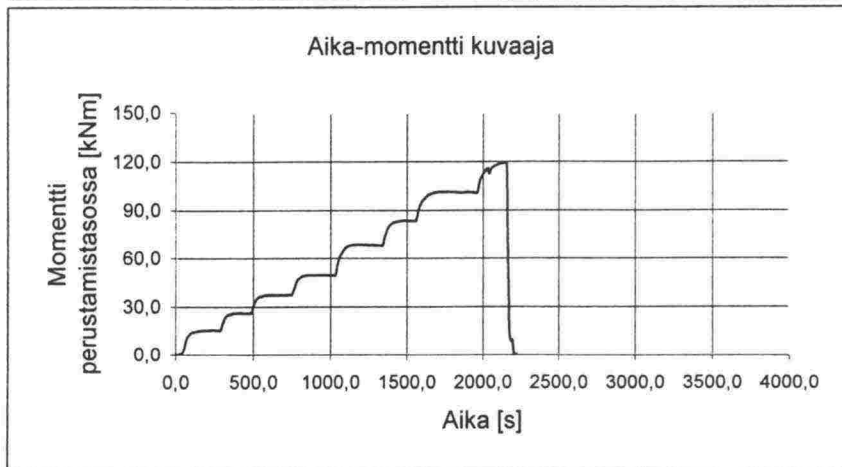
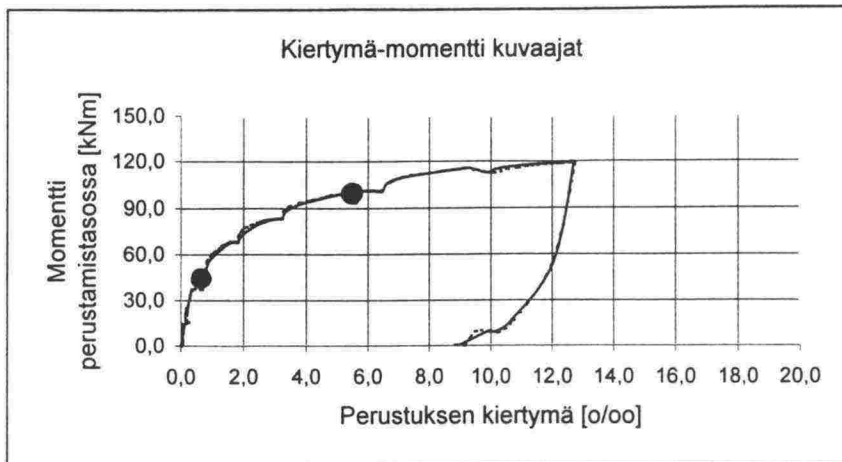


Pylväs 704/1
Kuormitus radasta
poispäin

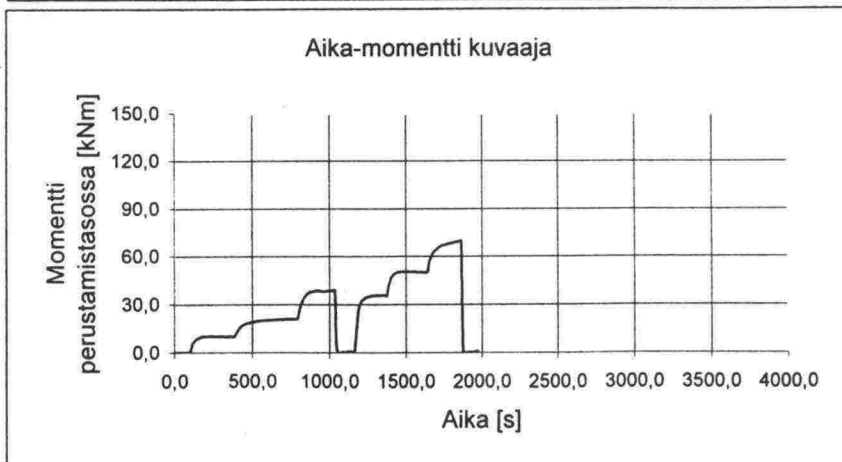
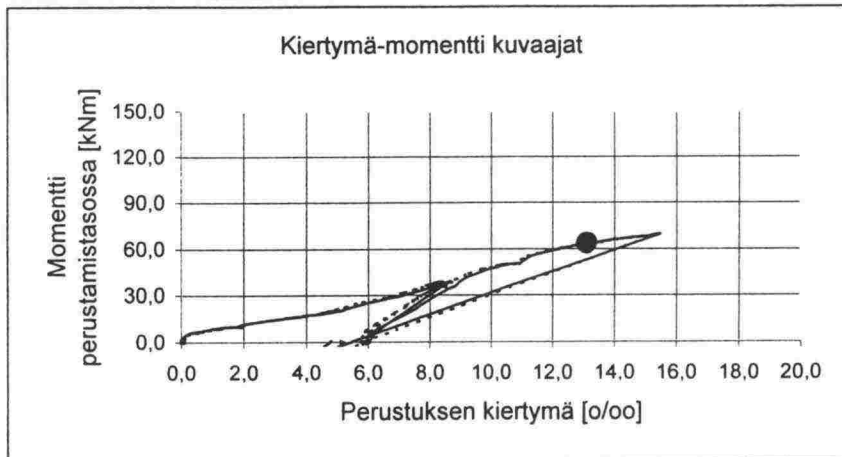


Anturallisen perustuksen 704/2 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе

Pylväs 704/2
Kuormitus rataan
päin

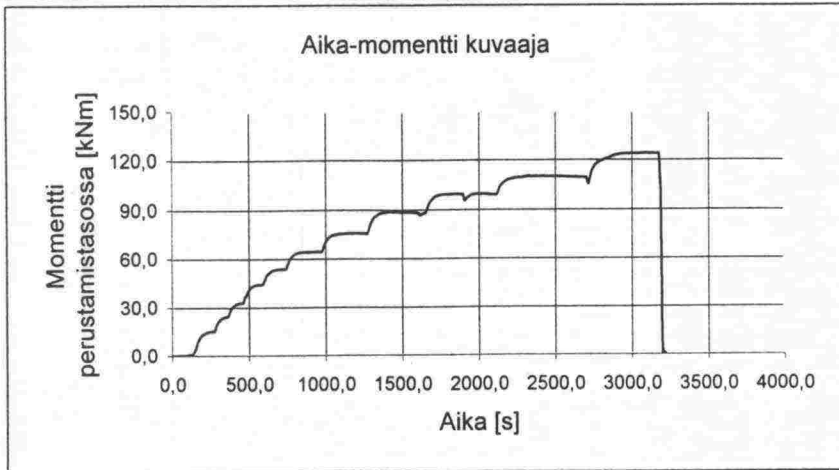
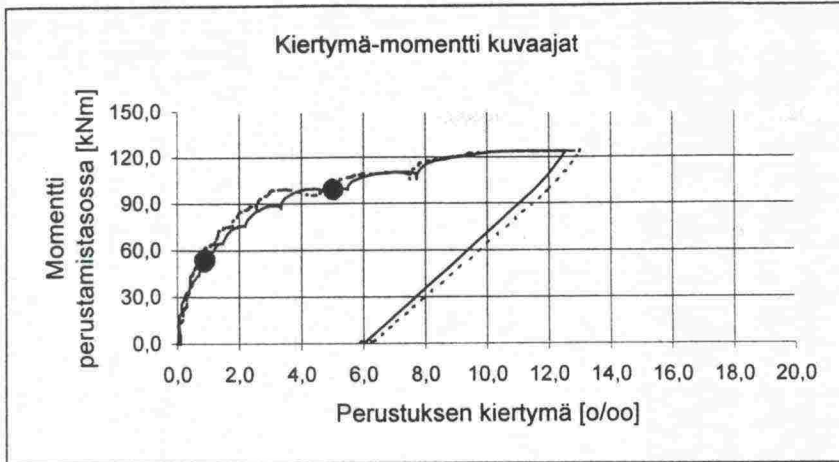


Pylväs 704/2
Kuormitus radasta
poispäin

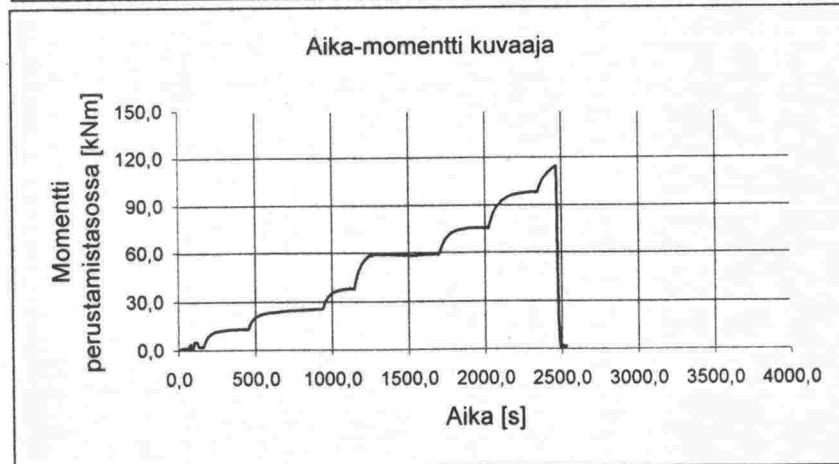
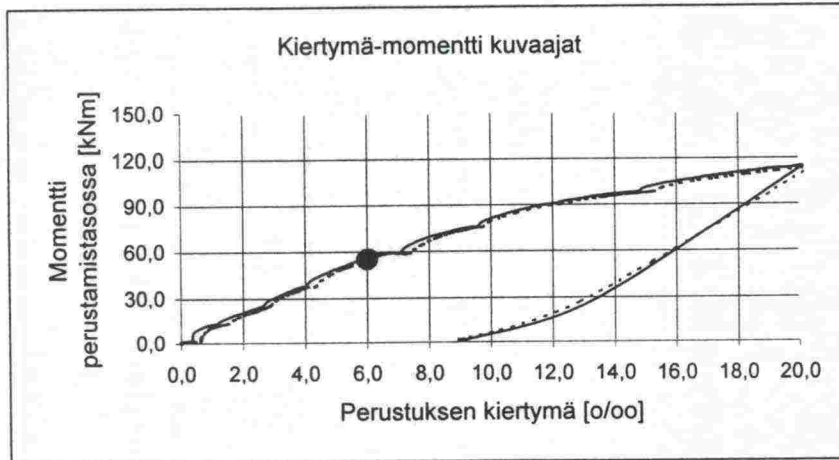


Anturallisen perustuksen 705/15 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahе

Pylväs 705/15
Kuormitus rataan
päin

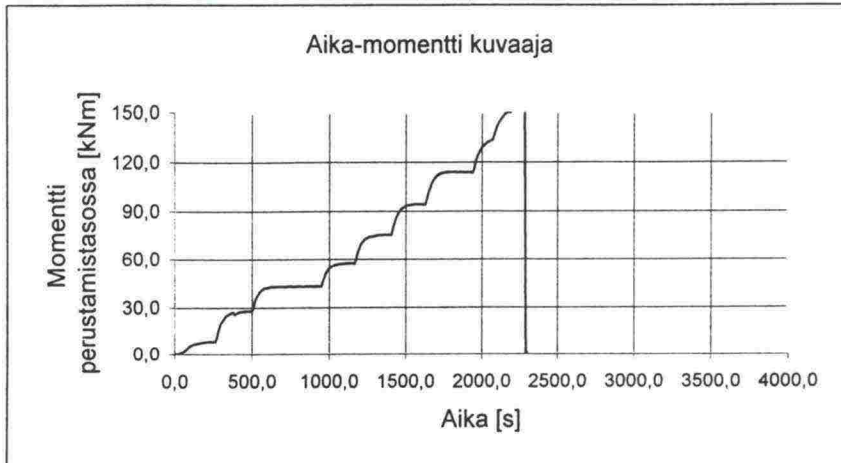
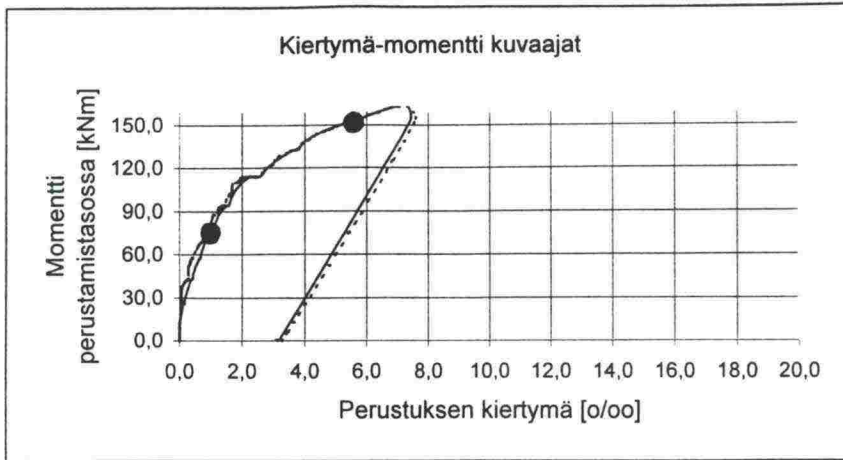


Pylväs 705/15
Kuormitus radasta
poispäin

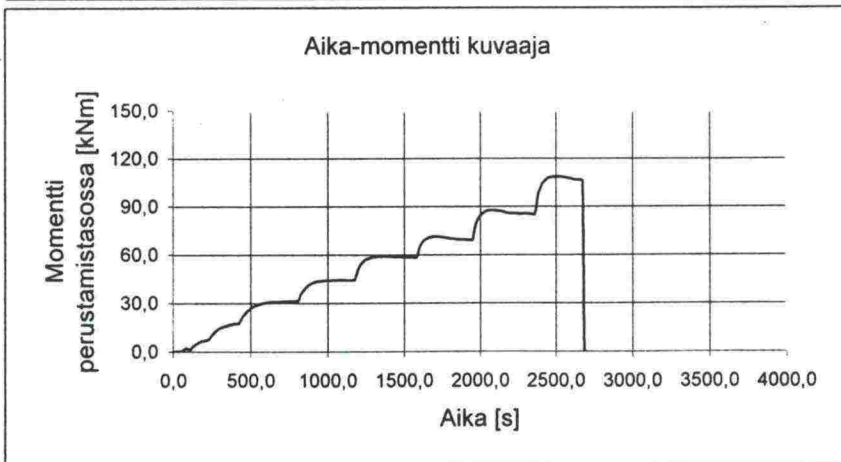
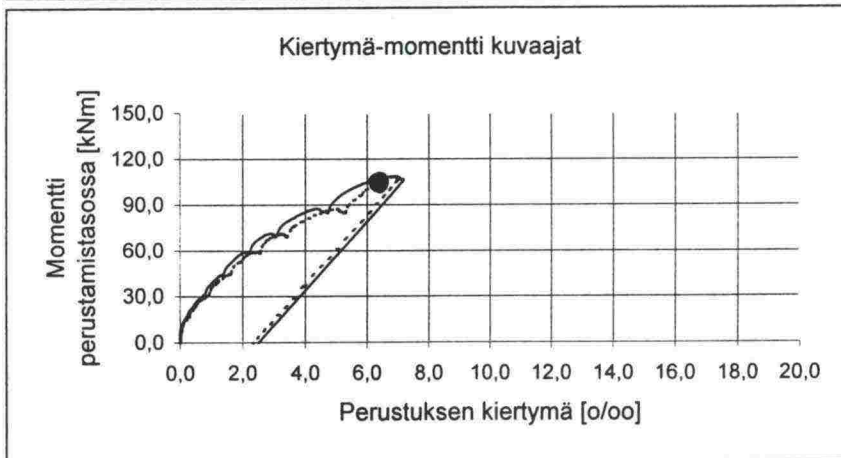


Anturallisen perustuksen 706/1 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raah

Pylväs 706/1
Kuormitus rataan
päin

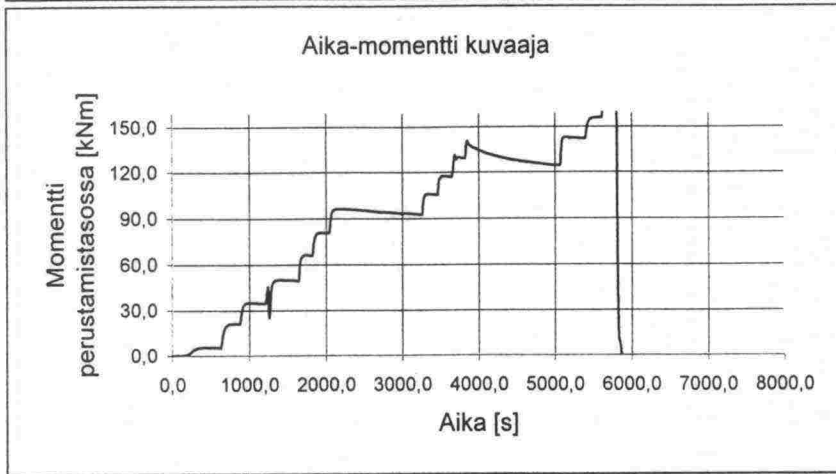
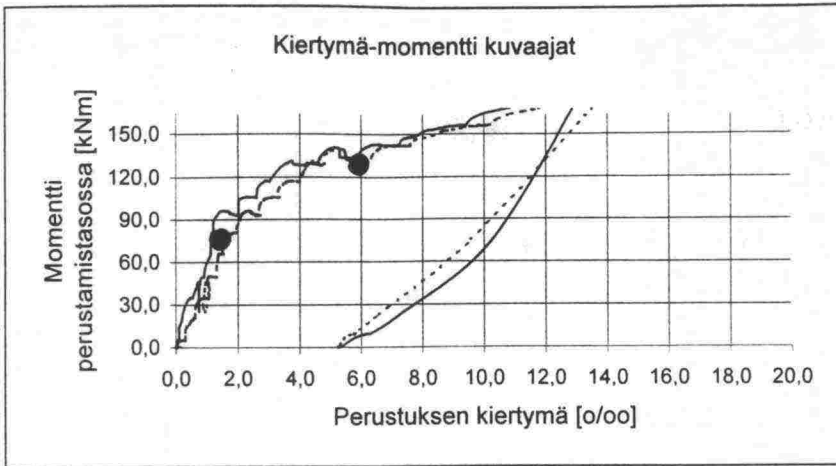


Pylväs 706/1
Kuormitus radasta
poispäin

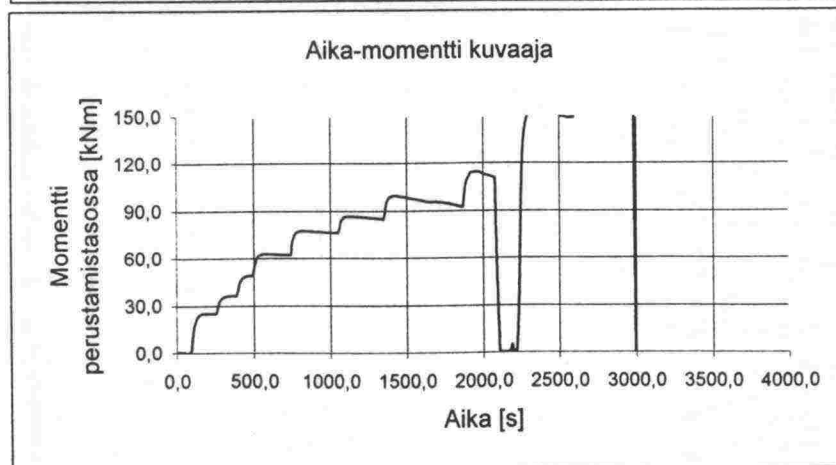
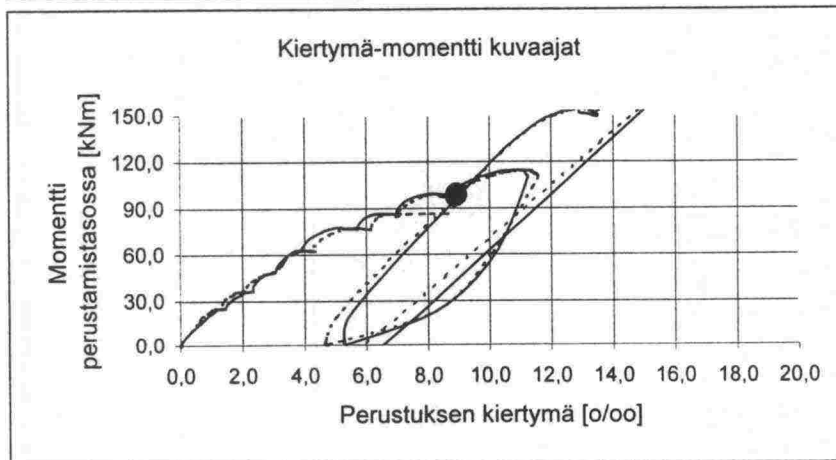


Anturallisen perustuksen 706/2 koekuormitustulokset rataosuudella Tuomioja-Raahe

Pylväs 706/2
Kuormitus rataan
päin

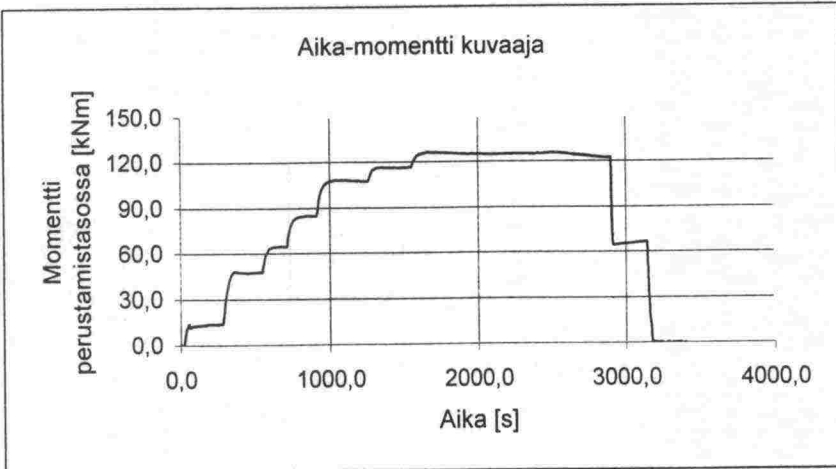
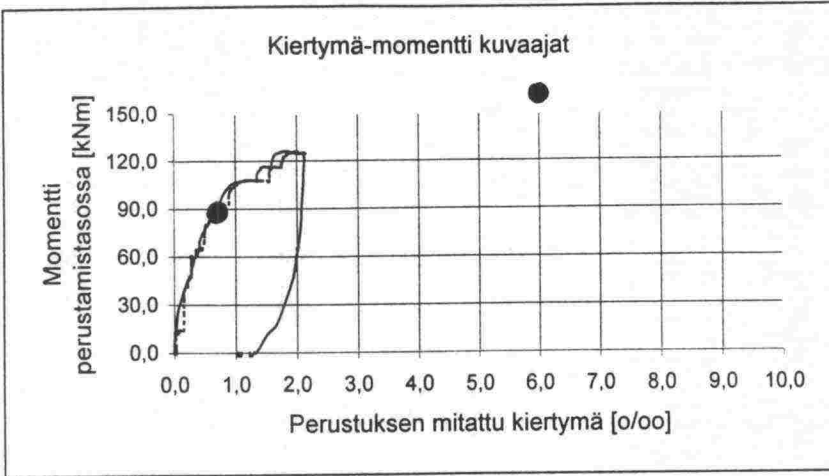


Pylväs 706/2
Kuormitus radasta
poispäin

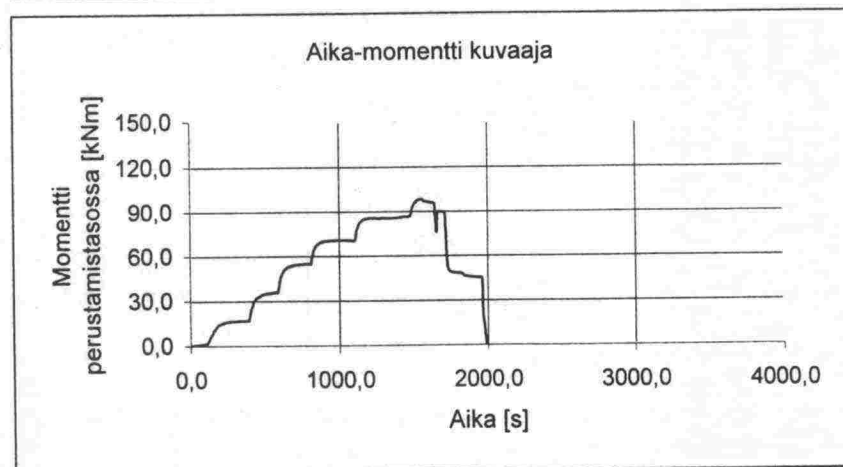
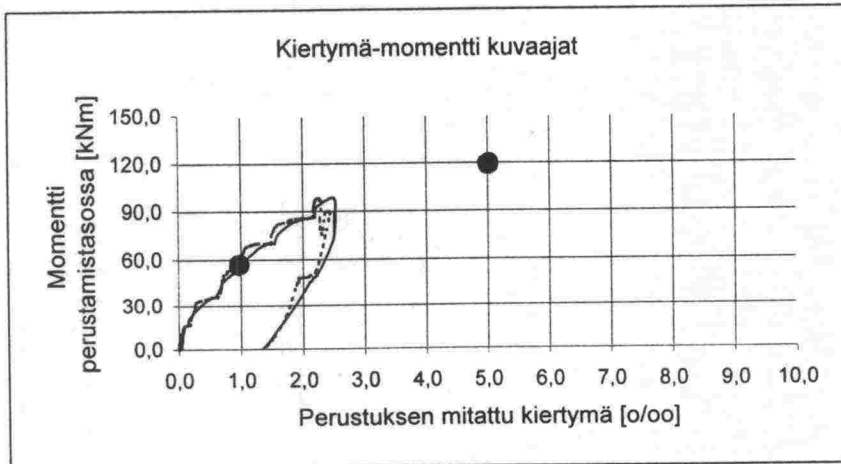


Anturallisen perustuksen 179/7B koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 179/7B
Kuormitus rataan päin

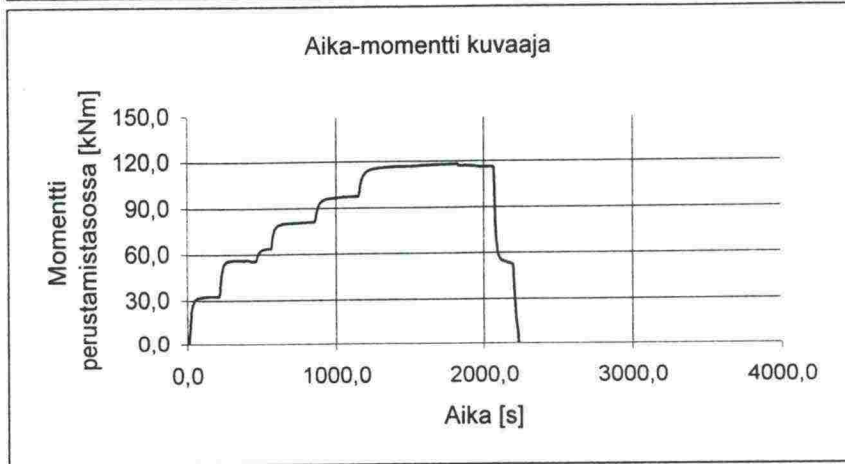
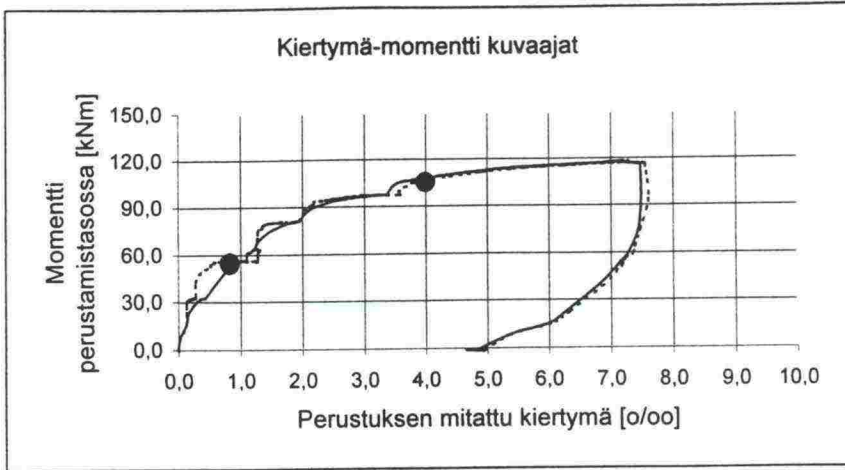


Pylväs 179/7B
Kuormitus radasta pois päin

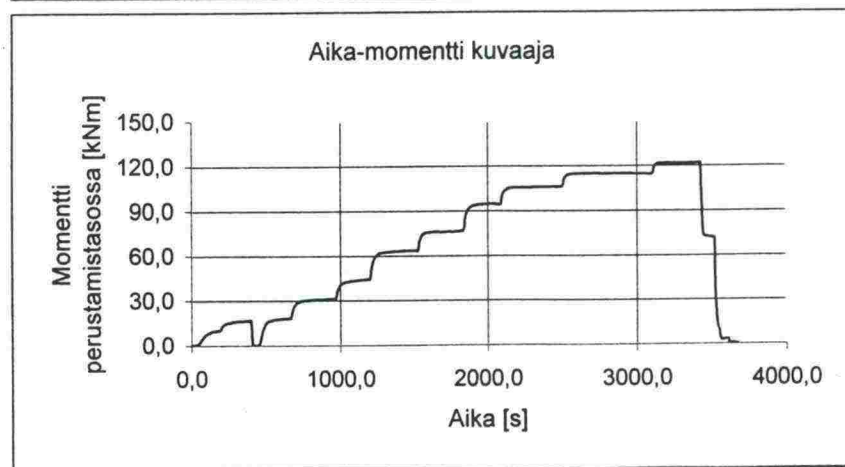
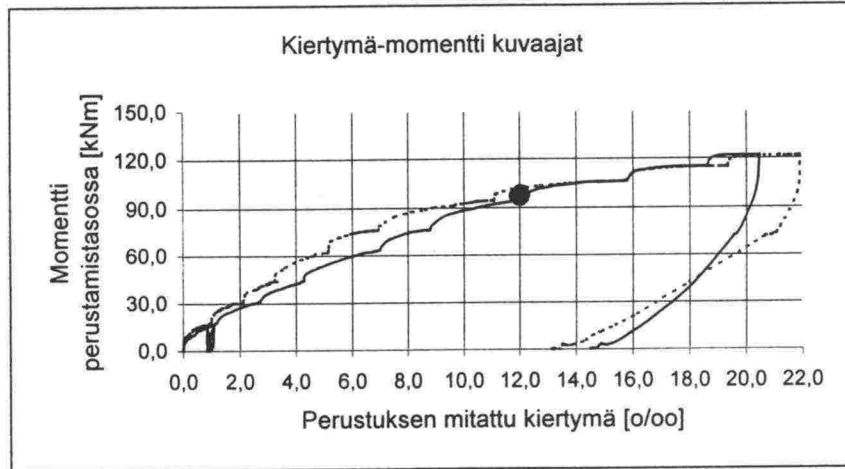


Anturallisen perustuksen 179/9B koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 179/9B
Kuormitus rataan päin

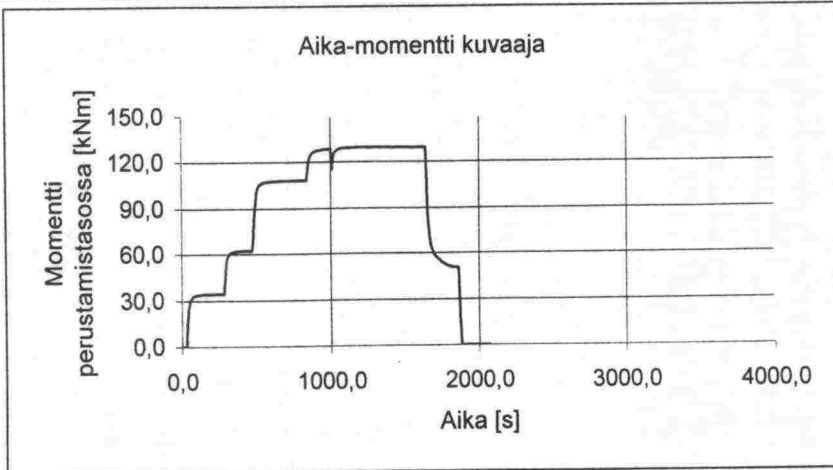
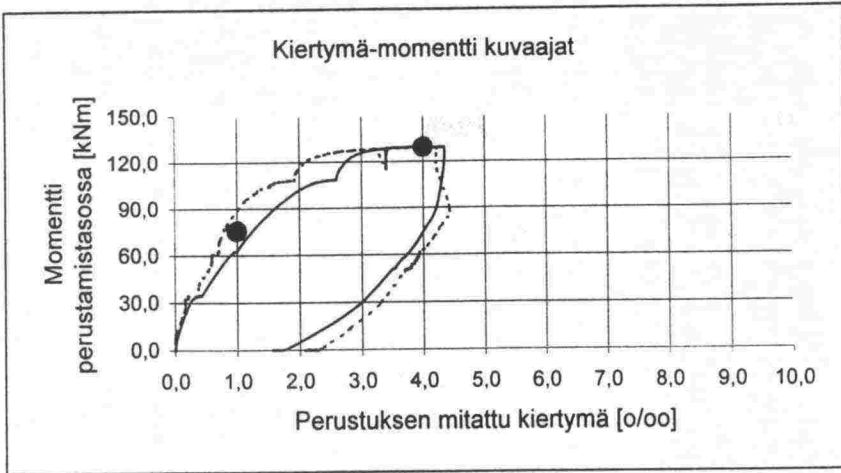


Pylväs 179/9B
Kuormitus radasta poispäin

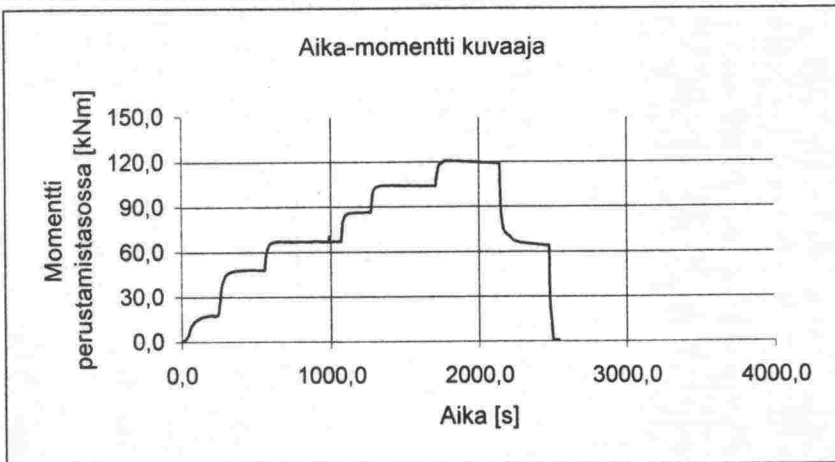
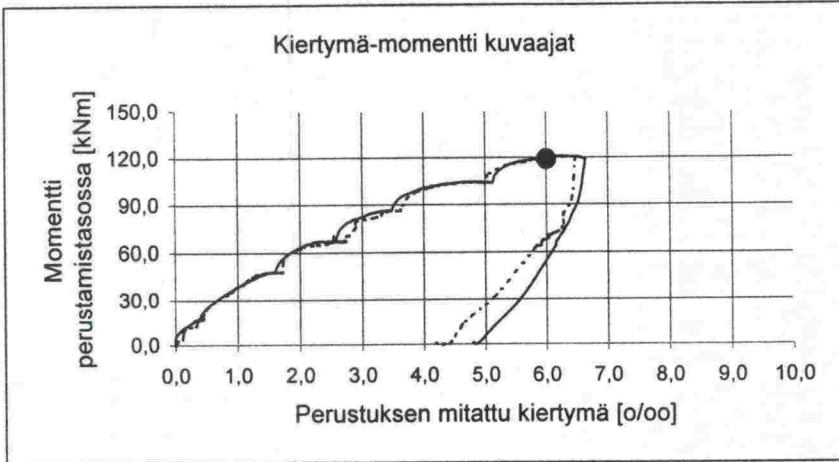


Anturallisen perustuksen 179/11B koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 179/11B
Kuormitus rataan päin

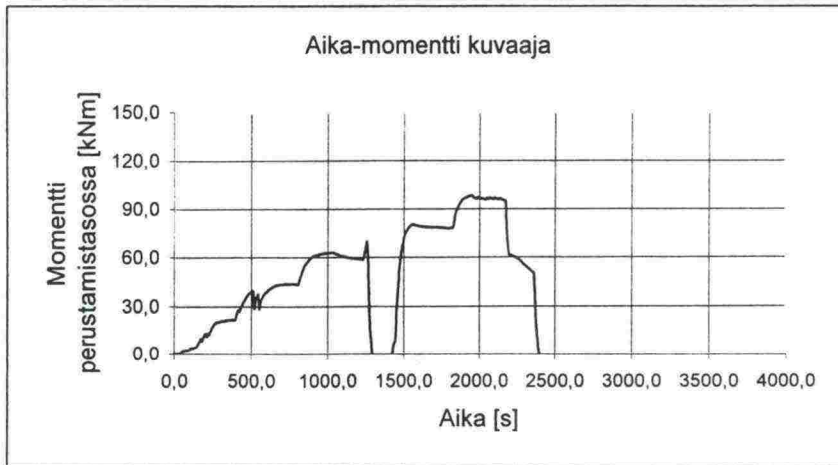
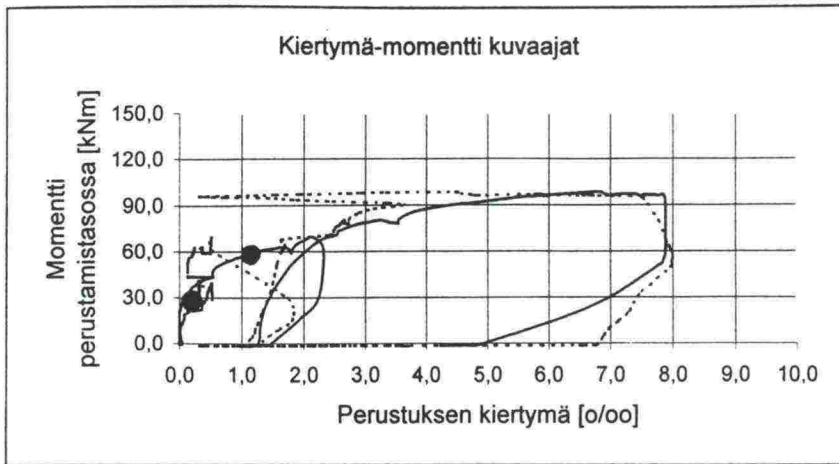


Pylväs 179/11B
Kuormitus radasta poispäin

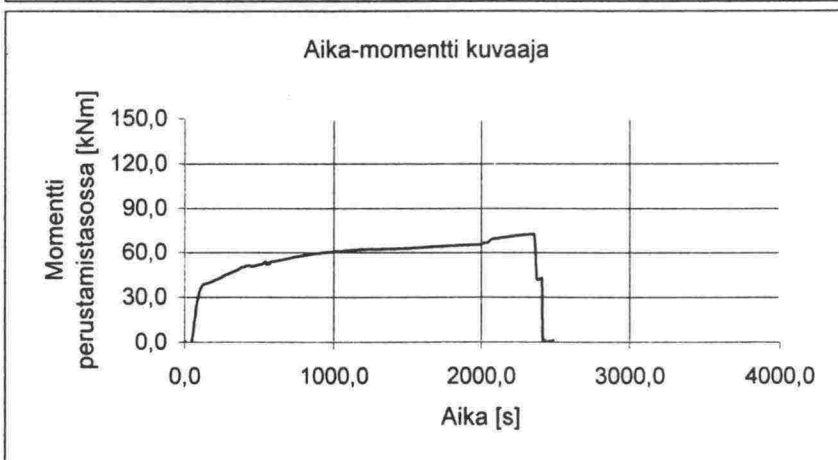
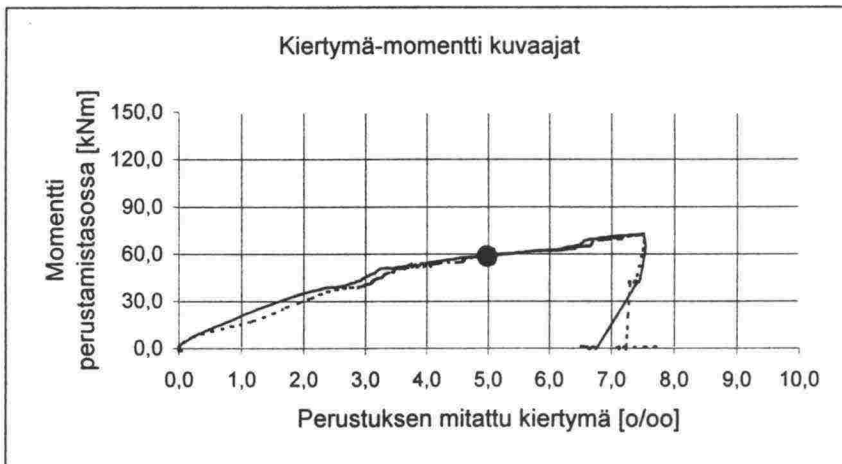


Anturallisen perustuksen 181/30B koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

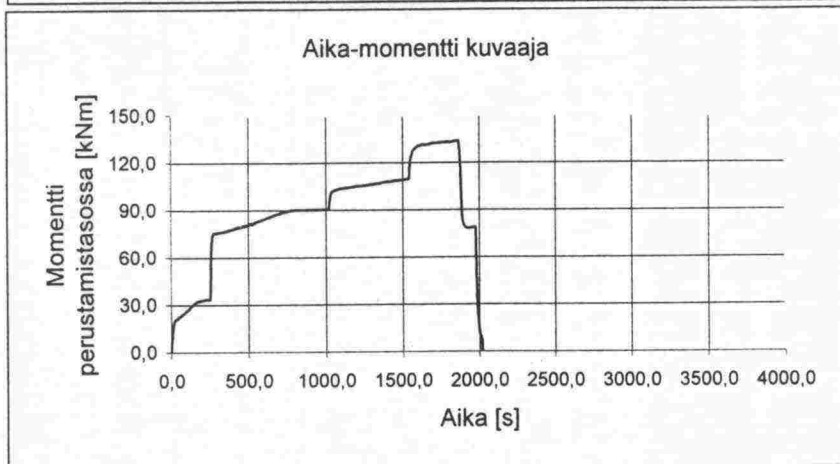
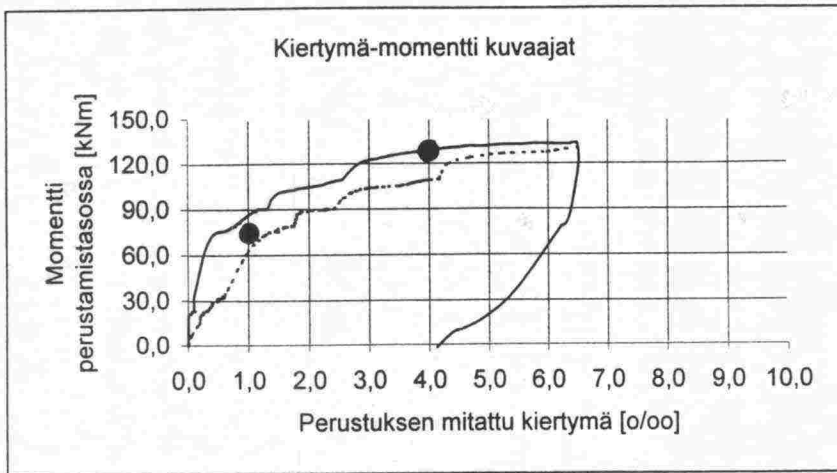
Pylväs 181/30B
Kuormitus rataan
päin



Pylväs 181/30B
Kuormitus radasta
poispäin

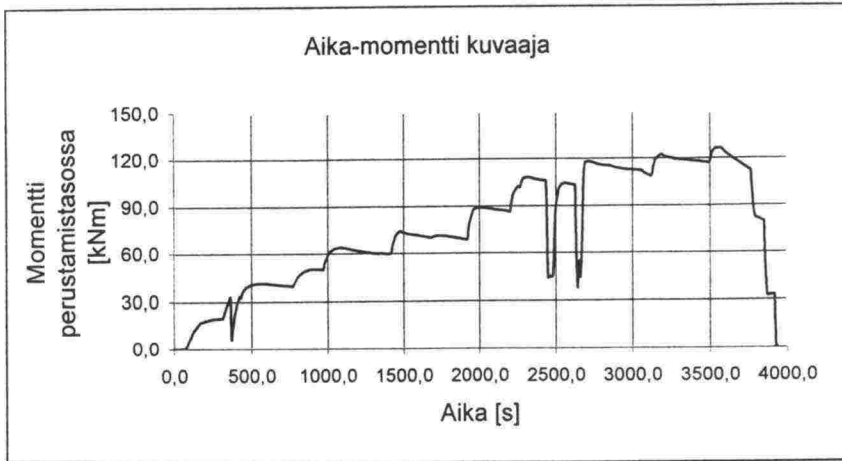
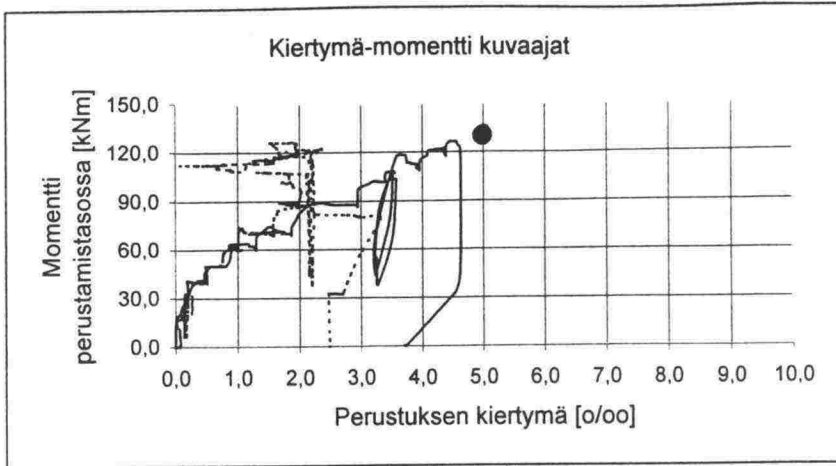


Pylväs 181/30B
Kuormitus radan
suuntaisesti

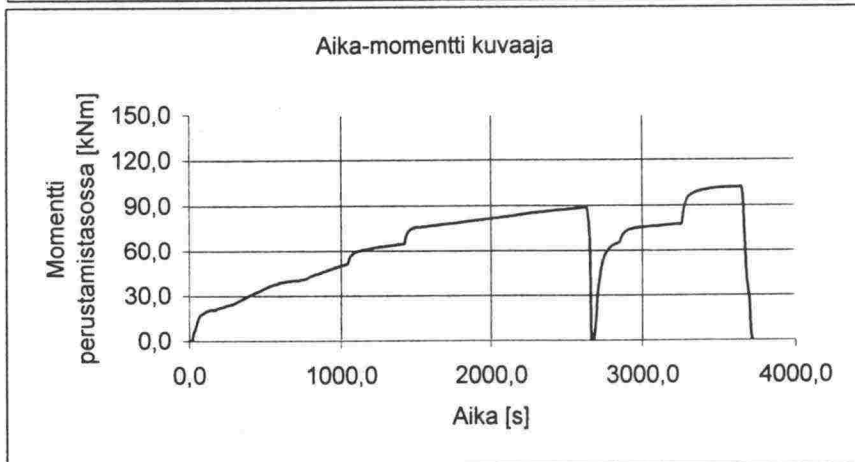
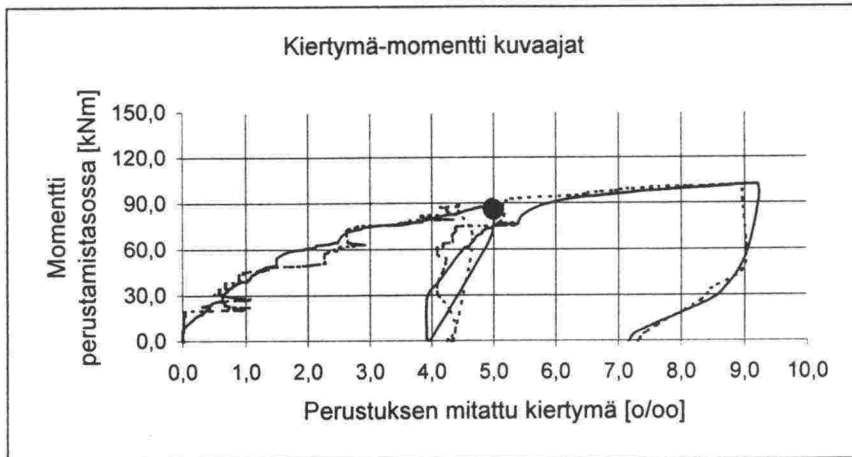


Anturallisen perustuksen 181/32B koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 181/32B
Kuormitus rataan
päin

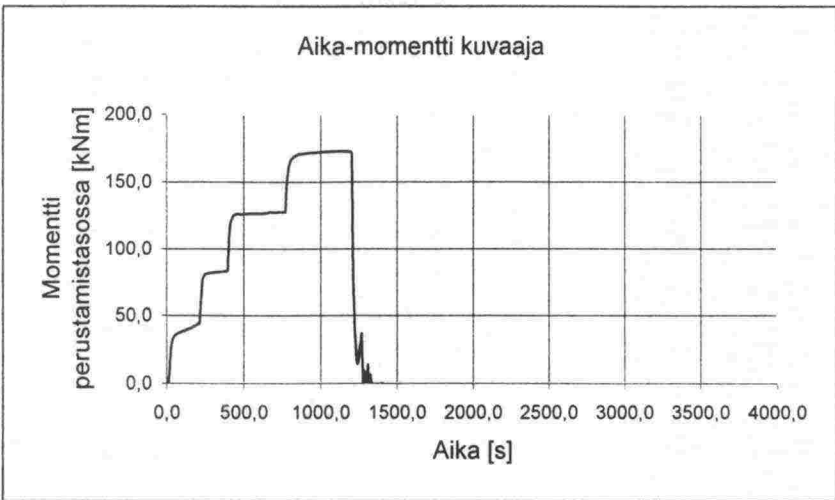
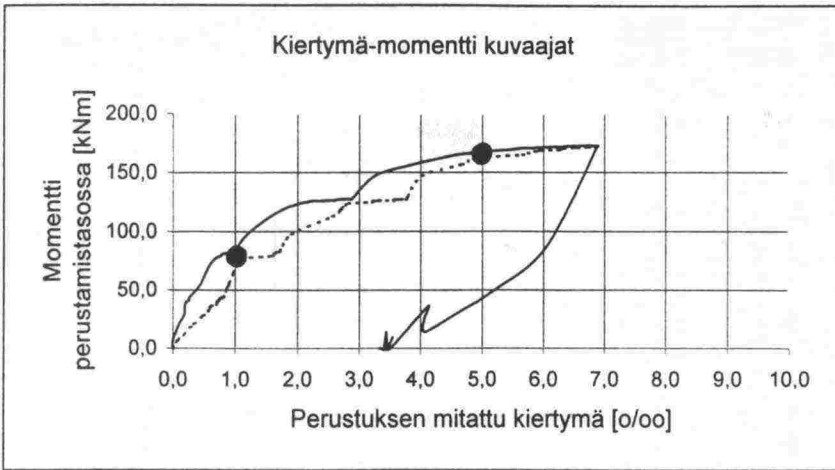


Pylväs 181/32B
Kuormitus radasta
pois päin

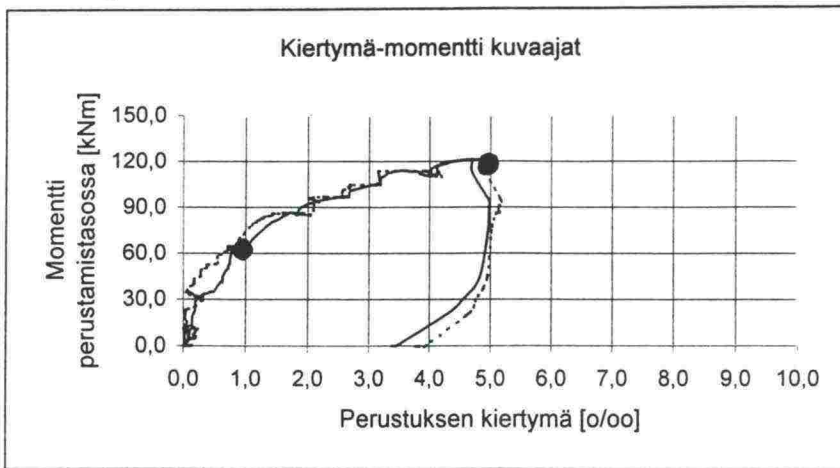


Anturallisen perustuksen 181/32B koekuormitustulokset rataosuudella Säöksjärvi-Perkkiö

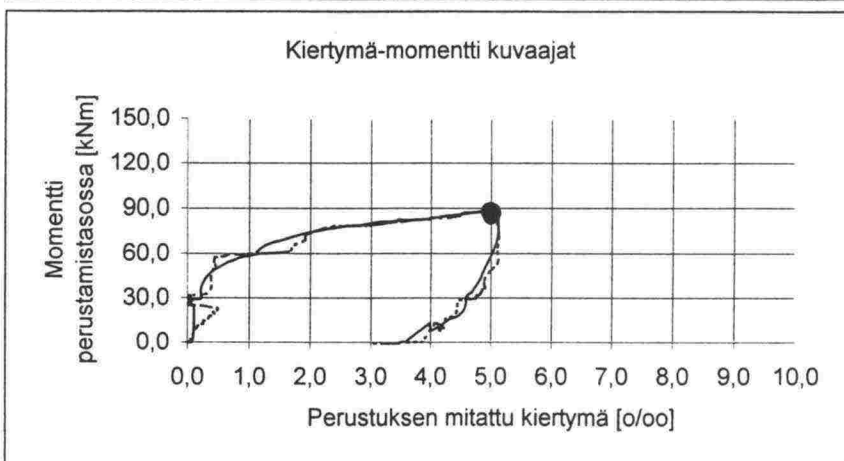
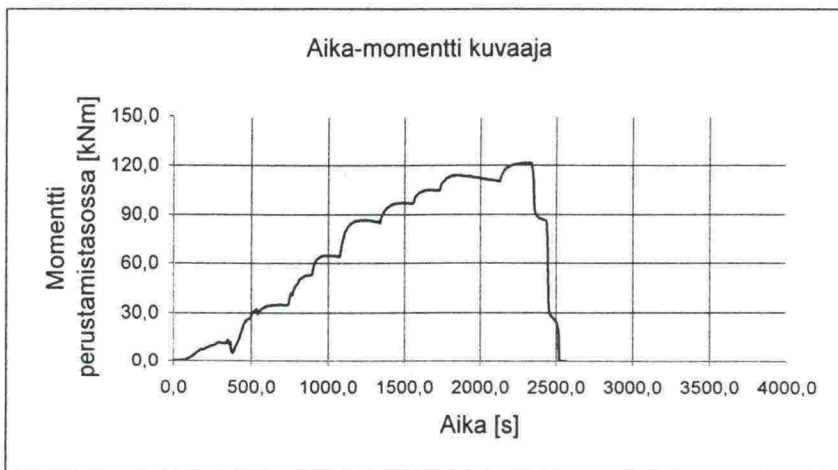
Pylväs 181/32B
 Kuormitus radan
 suuntaisesti



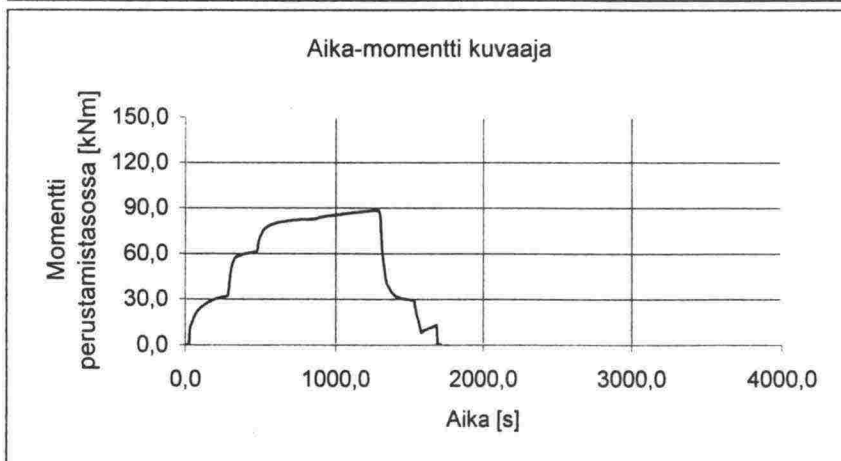
Anturallisen perustuksen 181/34 koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö



Pylväs 181/34
Kuormitus rataan
päin

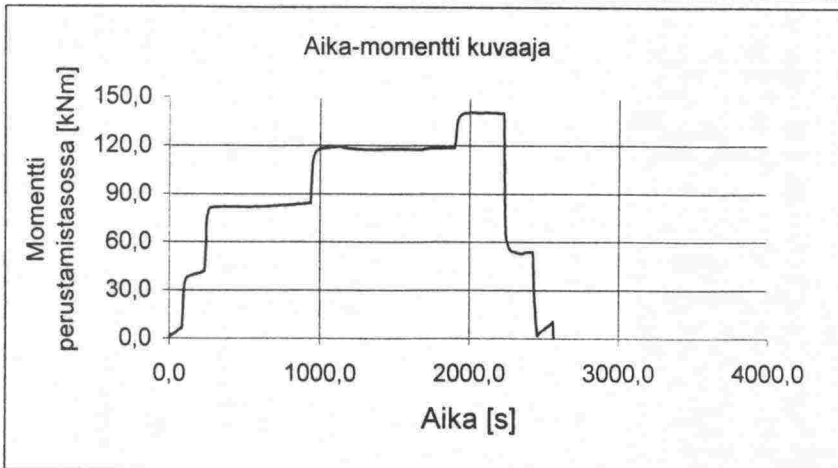
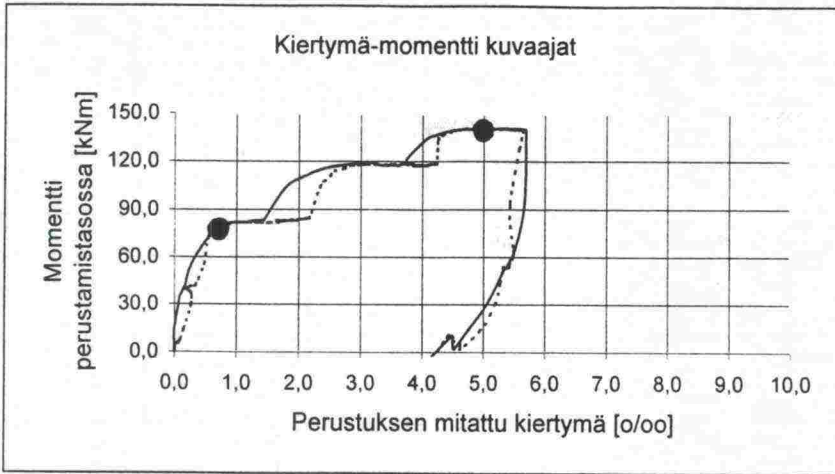


Pylväs 181/34
Kuormitus radasta
poispäin



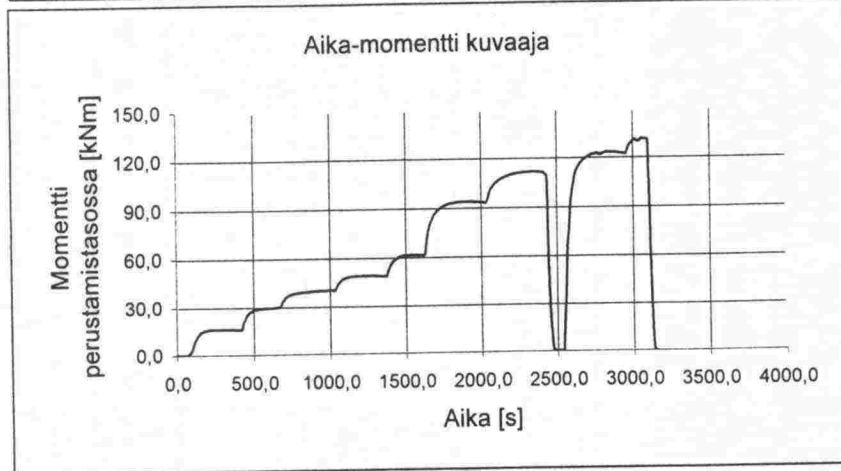
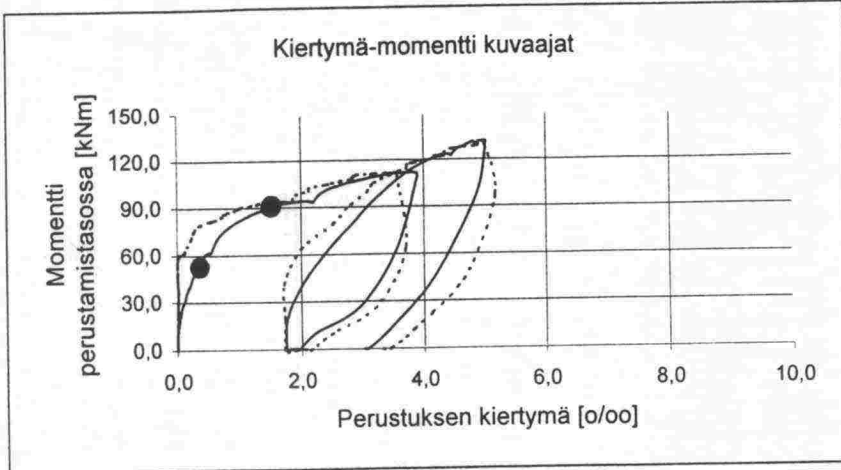
Anturallisen perustuksen 181/34 koekuormitustulokset rataosuudella Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 181/34
 Kuormitus radan
 suuntaisesti

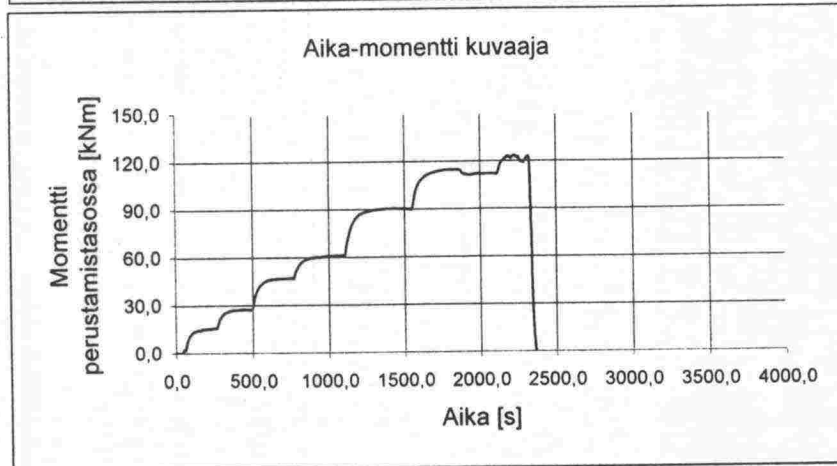
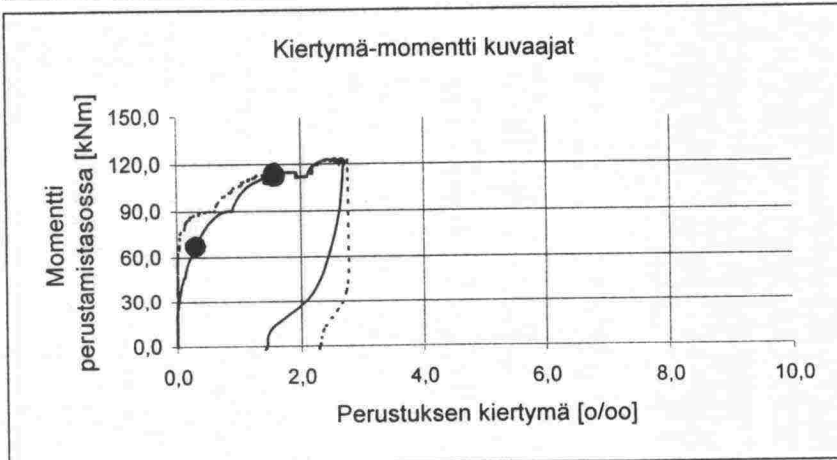


Anturattomien perustusten 181/16 ja 181/18 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö

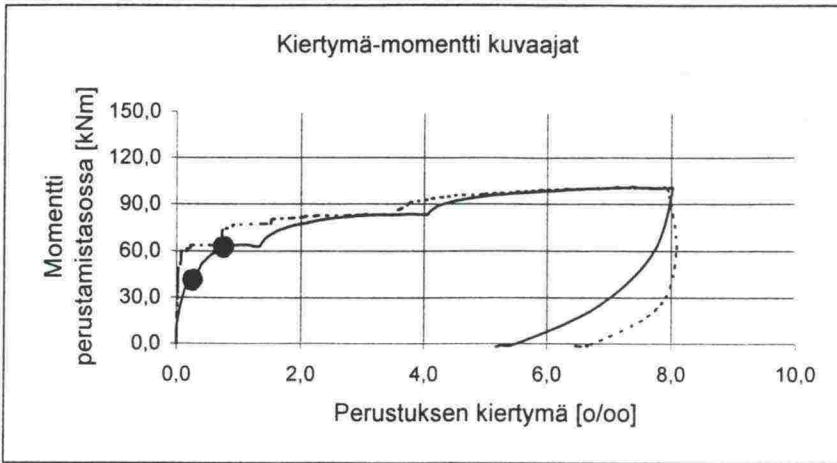
Pylväs 181/16
Kuormitus radasta
poispäin



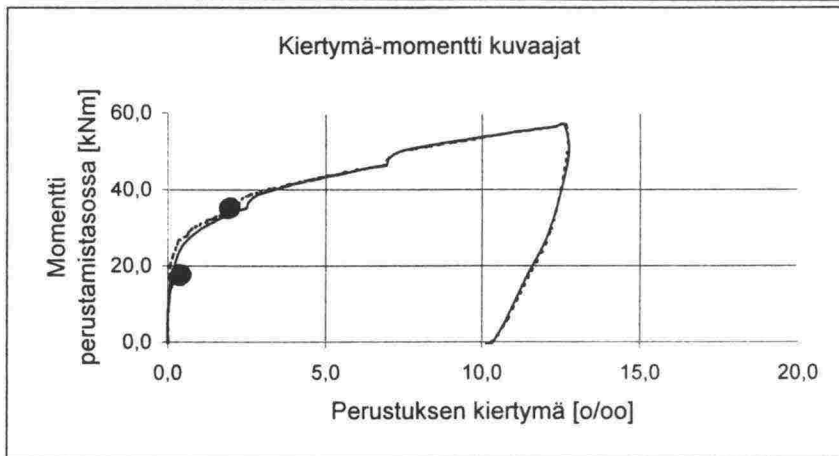
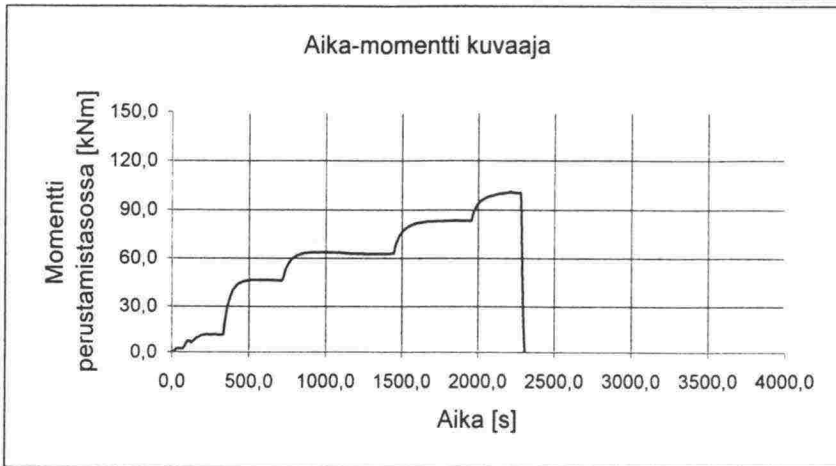
Pylväs 181/18
Kuormitus radasta
poispäin



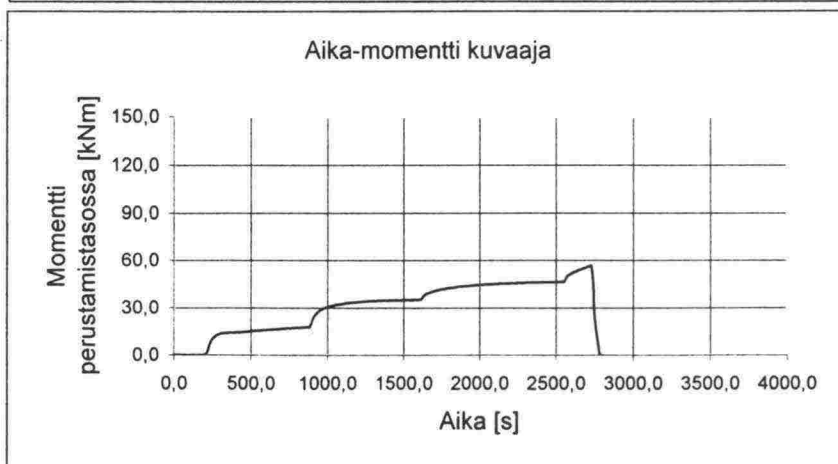
Anturattomien perustusten 181/20 ja 181/27 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö



Pylväs 181/20
Kuormitus radasta
poispäin

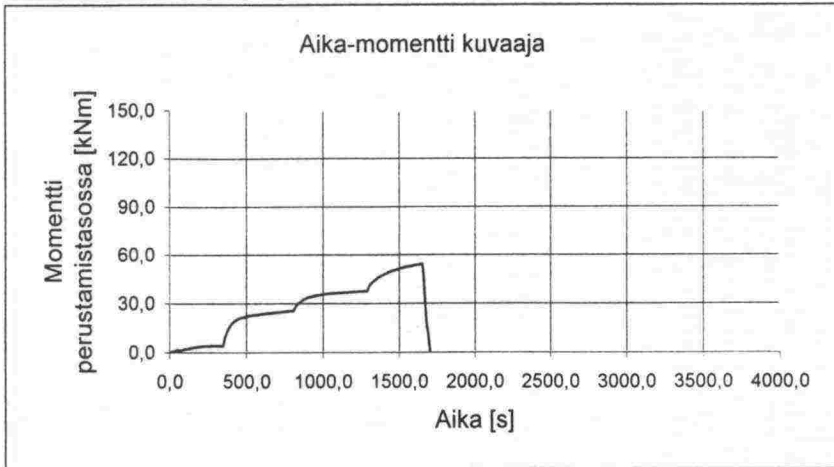
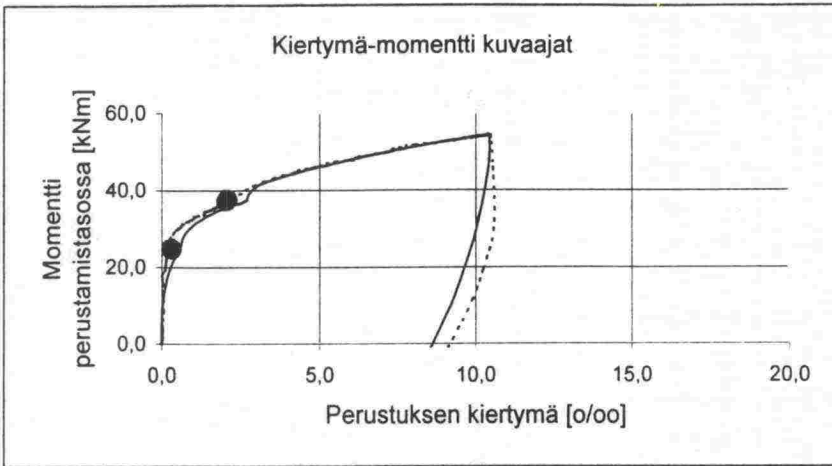


Pylväs 181/27
Kuormitus radasta
poispäin

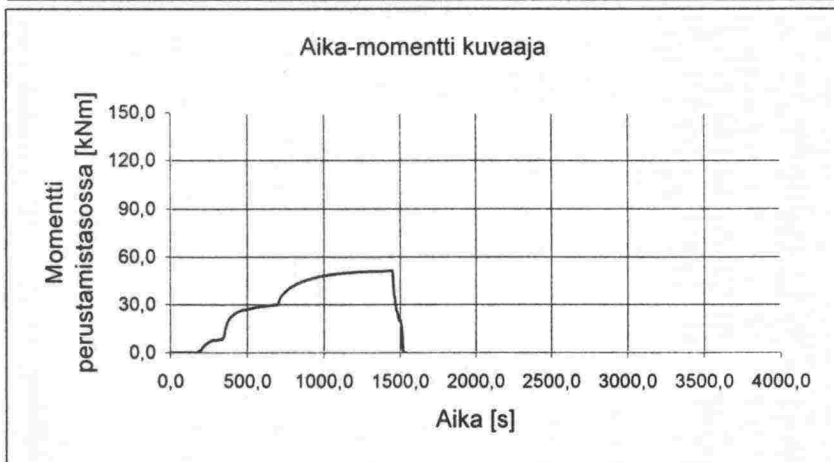
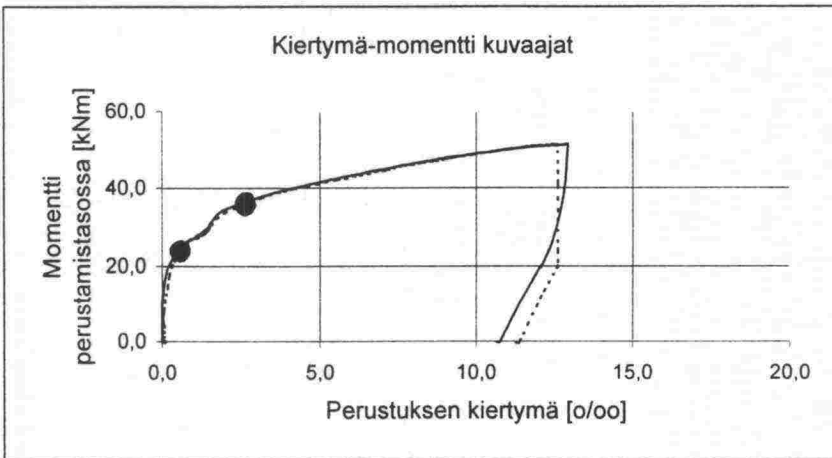


Anturattomien perustusten 181/29 ja 181/31 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 181/29
Kuormitus radasta
poispäin

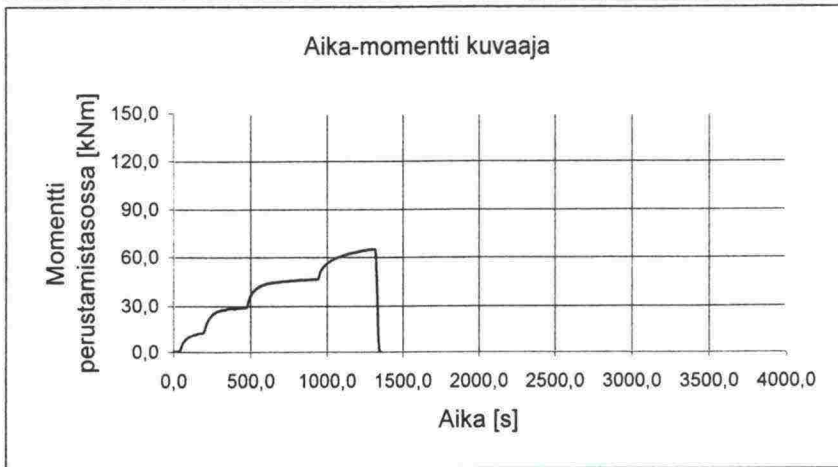
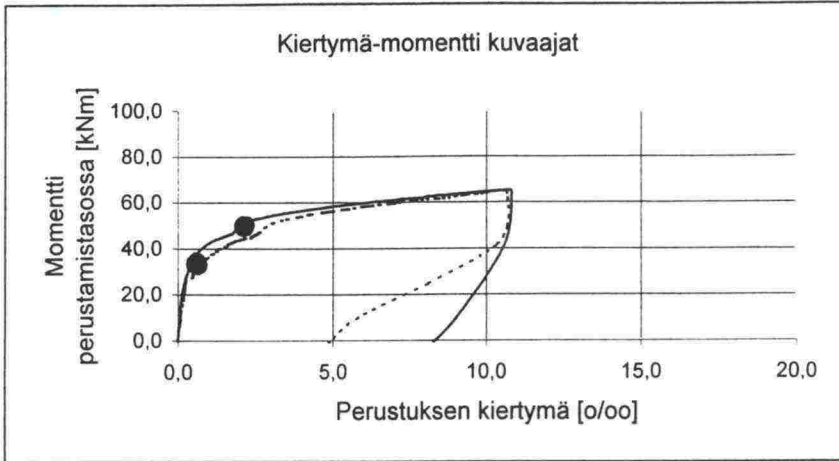


Pylväs 181/31
Kuormitus radasta
poispäin

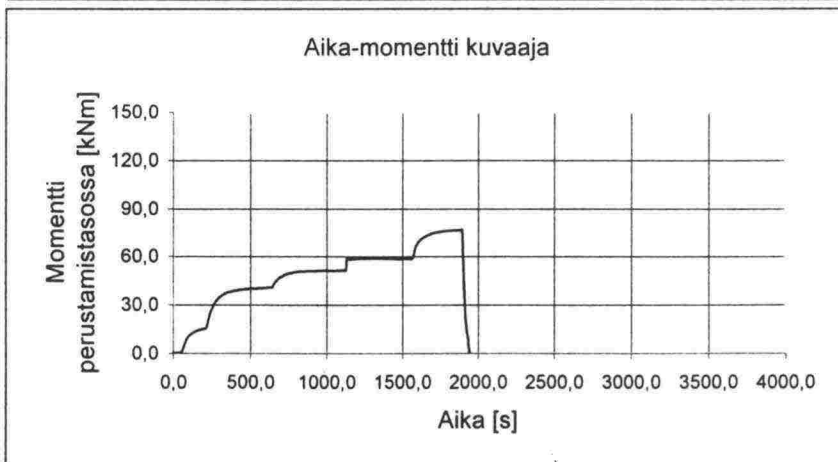
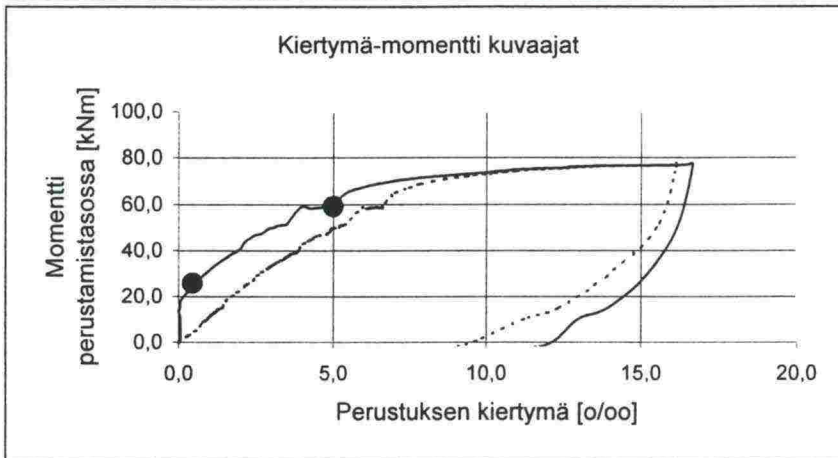


Anturattomien perustusten 181/32 ja 182/1 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 181/32
Kuormitus radasta
poispäin

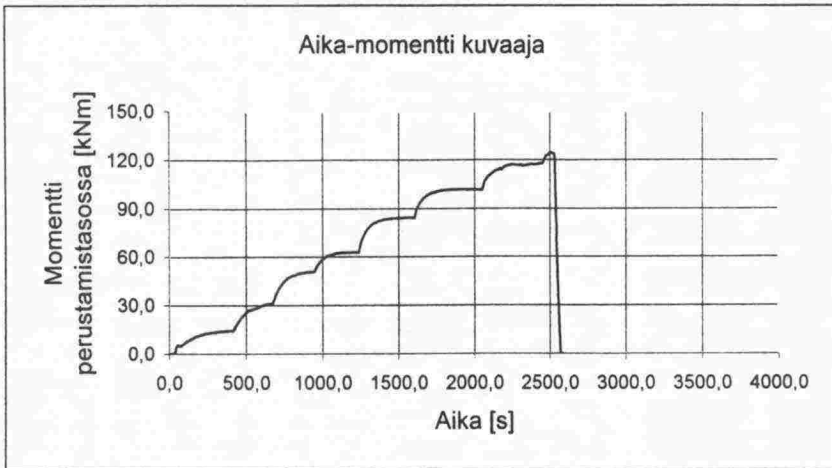
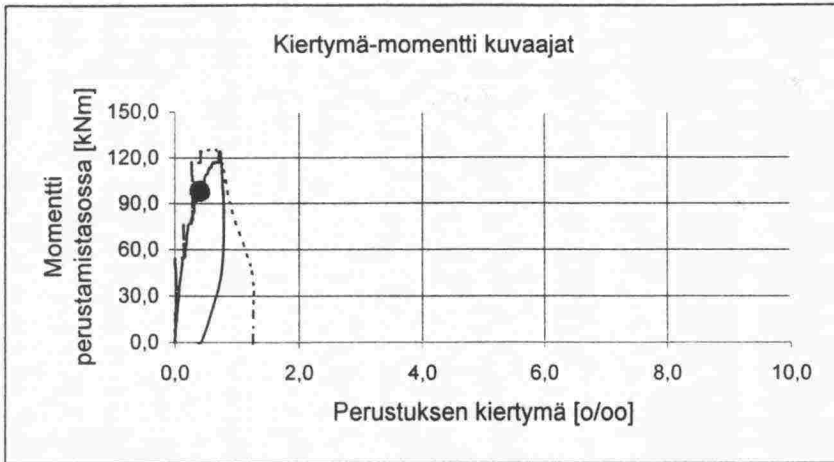


Pylväs 182/1
Kuormitus radasta
poispäin

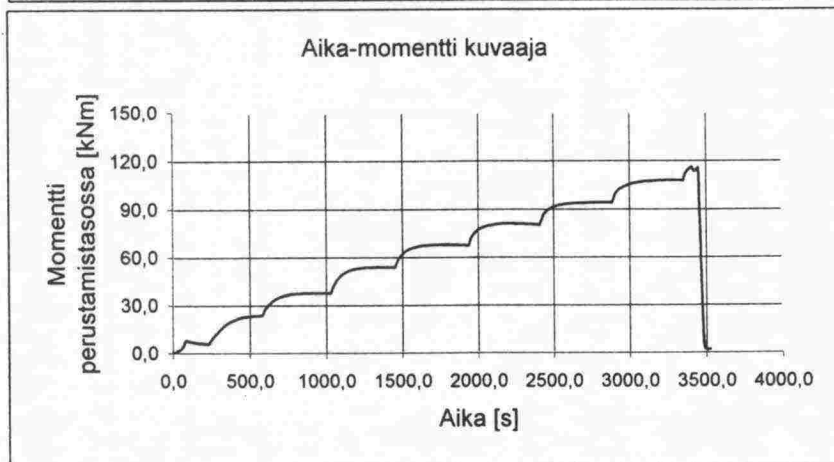
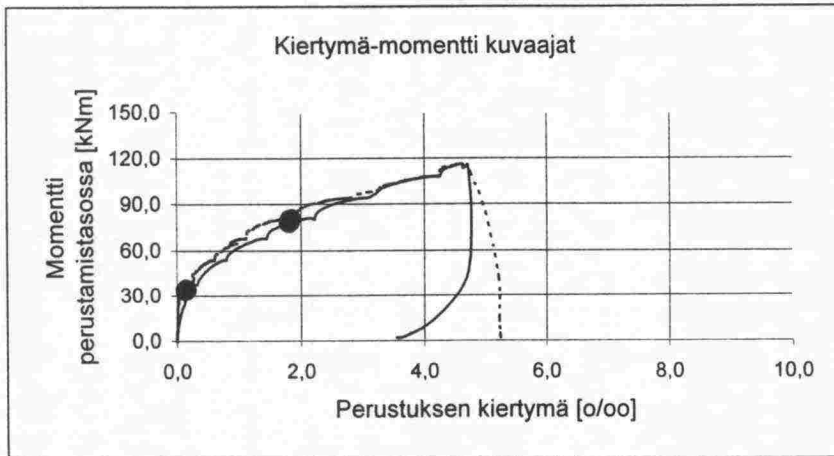


Anturattomien perustusten 181/15 ja 181/28 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö

Pylväs 181/15
Kuormitus rataan
päin

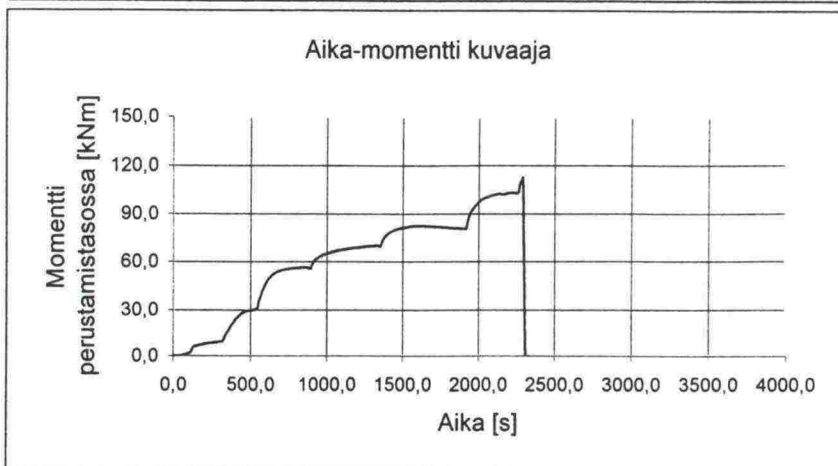
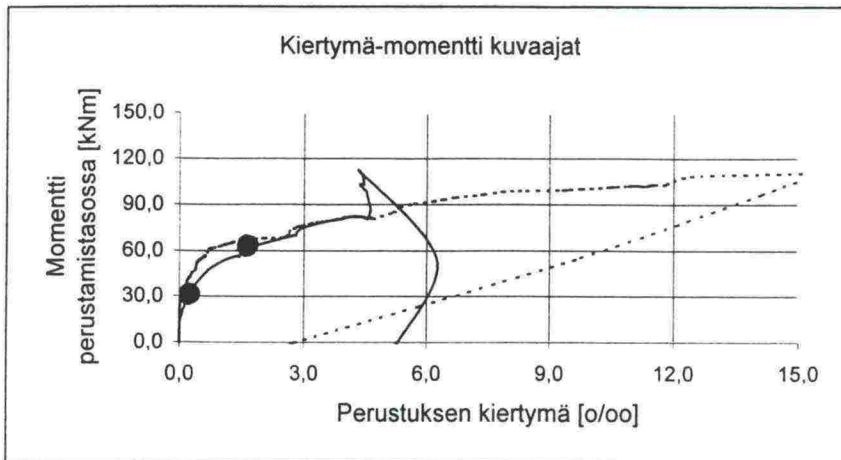


Pylväs 181/28
Kuormitus rataan
päin

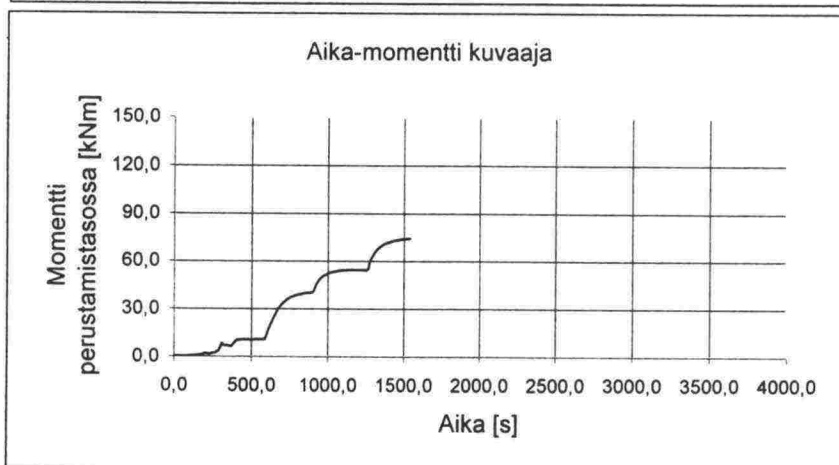
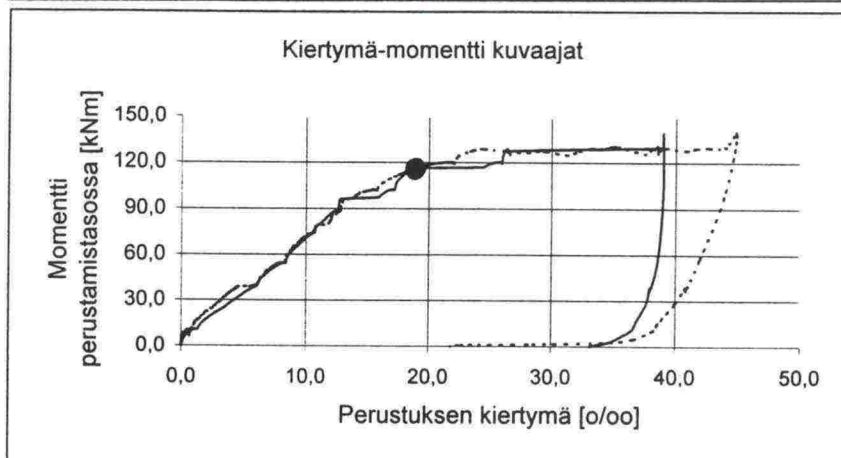


Anturattomien perustusten 181/30 ja 181/31 koekuormitustulokset rataosuudella
Sääksjärvi-Perkkiö

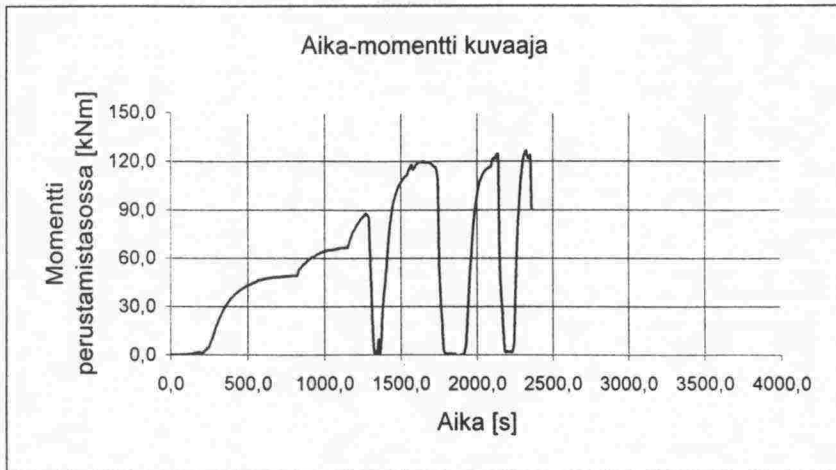
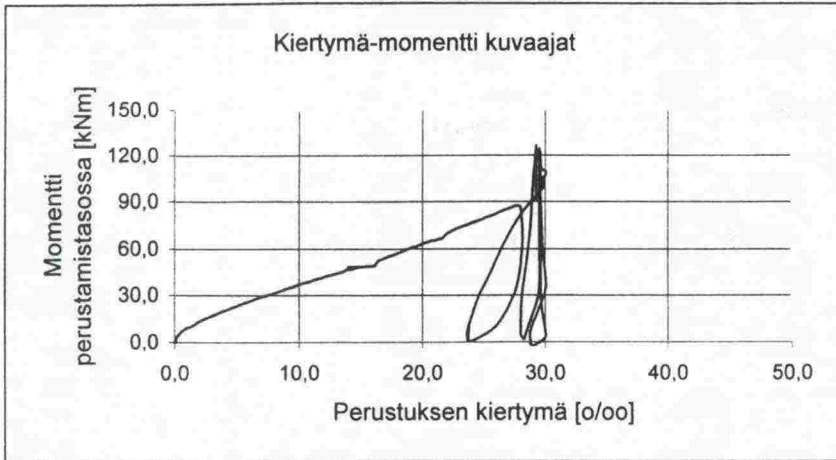
Pylväs 181/30
Kuormitus rataan
päin



Pylväs 181/31
Kuormitus rataan
päin



Anturattoman perustuksen 182/1 koekuormitustulokset rataosuudella Säaksjärvi-Perkkiö

Pylväs 182/1
Kuormitus rataan
päin

- 1/1997 Railway Industry Structures and Capital Investment Financing
 2/1997 Nopean junaliikenteen aluekehitysvaikutukset
 3/1997 Rautateiden henkilöliikenteen ennustemalli (RALVI)
 4/1997 Kilpailuedellytykset ja niiden luominen Suomen rataverkolla
 5/1997 Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2020
 1/1998 Rataverkon jatkosähköistyksen yhteiskuntataloudellinen vaikutusselvitys
 2/1998 Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä (RAILI 96)
 3/1998 Rautateiden tavarakuljetusten laatutekijät
 4/1998 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämistoiminta 1997 - 99
 5/1998 Rataverkon kehittämisen yhdyskuntarakenteellisten vaikutusten ja menetelmien arviointi
 6/1998 Yksityisrahoituksen käyttömahdollisuudet Suomen ratakkeissa
 1/1999 Ratarakenteen instrumentoinnin kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 2/1999 Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset
 3/1999 Rautatieliikenteen aiheuttama tärinä, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 4/1999 Ratarakenteen instrumentointi- ja mallinnussuunnitelma, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 5/1999 Rautatietärinän mittauskäytäntö Pohjoismaissa
 6/1999 Radan tukikerroksen ja alusrakenteen kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 7/1999 Rautatiesiltojen luokittelu ja inventointi rataosuudella Rautaruukki-Haaparanta akselipainojen korottamista varten
 8/1999 Ratarumpujen maastoselvitys, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 1/2000 Rataverkko 2020 -ohjelman väliraportti. Kehittämismallien vaikutustarkastelut
 2/2000 Bantrummor, 250 kN och 300 kN axellaster
 3/2000 Liikkuvan kaluston kirjallisuustutkimus
 4/2000 Raidesepelin lujuuden vaikutus tukikerroksen kestoikään
 5/2000 Ratarakenteen instrumentointi ja mallinnus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 6/2000 Väliraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen ratateknisistä tutkimuksista
 7/2000 Intermediate Report, 250 kN and 300 kN axle loads
 8/2000 Ratatekniset määräykset ja ohjeet -julkaisun käytettävyydestä
 9/2000 Ratakapasiteetin perusteet
 10/2000 Instrumentation and Modelling of Track Structure, 250 kN and 300 axle loads
 11/2000 Rautatieonnettomuuksien sisäiset ja ulkoiset kustannukset
 12/2000 Internal and External Costs of Railway Accidents
 1/2001 Rataverkko 2020 -suunnitelma
 2/2001 XPS-routaeristelevyt ratarakenteessa, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 3/2001 Raidetutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 4/2001 Radan kunnossapitokustannusten kirjallisuustutkimus, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot
 5/2001 Loppuraportti 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainojen teknisistä tutkimuksista
 6/2001 Final Report 250 kN and 300 kN axle loads

RATAHALLINTOKESKUS
 KAIVOKATU 6, PL 185
 00101 HELSINKI

KUNNOSSAPITOYKSIKKÖ

Lisätietoja: Pasi Leimi, puh. (09) 5840 5184, sähköposti: pasi.leimi@rhk.fi
 Jakelu: Sinikka Kiikka, puh. (09) 5840 5192, sähköposti: sinikka.kiikka@rhk.fi

ISBN 952-445-054-2
 ISSN 1455-2604