Tielaitos

Tien pohja- ja päällysrakenteiden tutkimusohjelma (TPPT)

Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka

Tielaitoksen selvityksiä
39/1996

Helsinki 1996

Geokeskus

Tielaitoksen selvityksiä
39/1996

Tien pohja- ja päällysrakenteiden tutkimusohjelma (TPPT)

Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka

Tielaitos
Geokeskus

Helsinki 1996

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-241-8
TIEL 3200407
Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax 0204 44 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

ALKUSANAT

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää uutta parempaa tuotantotekniikkaa tai parantaa nykyistä tuotanto- ja konetekniikkaa siten, että pilari- ja massastabiloinnin homogeenisuus paranee. Pilari- ja massastabiloinnissa tavoitteena on nykyistä paremman sekoitustuloksen aikaansaaminen pulverimaisilla sideaineilla sekä joustavamman ja tarkemmat sideaineen annostuksen aikaansaaminen.

Tutkimus on perustunut pääosin urakoitsijoiden ja konevalmistajien haastatteluihin sekä selvityksiin sovellettavissa olevista perustekniikoista, joita käytetään jauhe- ja raemaisten aineiden siirrossa ja käsittelyssä.

Tutkimuksessa on esitetty vaatimuksia ja reunaehtoja tuotantoteknologian kehittämiselle. Varsinainen työkoneiden kehittämisvastuu kuuluu urakoitsijoille ja konevalmistajille TPPT-ohjelman mukaisesti. Tutkimuksen tuloksista on välitetty tietoa urakoitsijoille ja konevalmistajille tutkimuksen kestäessä. Lisäksi on oltu yhteydessä myös ulkomaisiin konevalmistajiin.

Tutkimusprojektin läpiviemiseen ja raportin laatimiseen ovat osallistuneet DI Markku Tuhola OL-Consulting Oy, DI Pentti Lahtinen Viatek-Yhtiöt/SGT ja DI Hans Rathmayer VTT/YKI.

Tielaitos
Geokeskus

SISÄLTÖ

1 PILARI- JA MASSASTABILOINNIN NYKYTILA JA ONGELMAT 5

1.1 Yleistä 5

1.2 Nykyisen stabilointitekniikan ongelmat 5

1.2.1 Sideaineen syöttö 5

1.2.2 Sideaineen sekoitus 6

1.2.3 Sekoituskärjen kierrosnousun suuruus 6

1.3 Sideaineen soveltuvuus paineilmasyöttöön 6

1.4 Työsuoritukseen välittömästi liittyvän laadunvalvonnan puute 7

2 TUOTANTOTEKNISET MAHDOLLISUUDET 7

2.1 Pilaristabilointi 7

2.1.1 Sideaineen syöttö 7

2.1.2 Sideaineen sekoitus 11

2.2 Massastabilointi 12

2.2.1 Sideaineen sekoitus 12

2.2.2 Sama peruskone pilari- ja massastabiloinnissa 12

3 SIDEAINEEN VAATIMUKSET TUOTANTOTEKNIIKALLE 13

3.1 Rakeisuudet, erottuminen ja kokkaroituminen 13

3.2 Nestemäiset sideaineet 14

4 TUOTANTOTAPAHTUMAAN LIITTYVÄ LAADUNVALVONTA 14

4.1 Tuotantokoneille asetettavat vaatimukset tuotantoparametrien rekisteröimiseksi 14

4.2 Paikantamisjärjestelmän kytkeminen sekoitustyökalun liikkeisiin 15

4.3 Laaduntarkastustoimenpiteet 15

5 TUOTANTOTEKNOLOGIAN KEHITTÄMISELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET JA REUNAEHDOT 16

5.1 Ensimmäisen vaiheen vaatimukset 17

5.2 Toisen vaiheen vaatimukset 18

6 JOHTOPÄÄTÖKSET 19

7 VIITTELUETTELO 19

8 LIITTEET 20

1 PILARI- JA MASSASTABILOINNIN NYKYTILA JA ONGELMAT

1.1 Yleistä

Nykyisessä stabilointitekniikassa suurin epävarmuus ja ongelmat liittyvät pilarin ja stabiloidun massan epähomogeenisuuteen sekä kokoonpuristuvuuden ennalta arvaamattomaan vaihteluun.

Stabiloidun tuotteen epähomogeenisuutta aiheuttavat:

- maan kerroksellisuus ja vesipitoisuuden vaihtelut
- nykyinen stabilointitekniikka
- sideaineen soveltuvuus paineilmasyöttöön
- työn toteutukseen liittyvän laadunvalvonnan puute

Stabiloidun tuotteen epähomogeenisuudesta johtuu, että käytetyt sideainemäärät ovat turhan suuria.

1.2 Nykyisen stabilointitekniikan ongelmat

1.2.1 Sideaineen syöttö

Sideaine syötetään maahan paineilman avulla puhaltamalla. Sideaineen syötön yhteydessä käytettävä **ilmamäärä** on liian suuri. Varsinkin vietäessä sekoituskärkeä alas joudutaan usein kärjen syöttöaukon tukkeutumisen estämiseksi maahan puhaltamaan ilmaa. Mitä enemmän sideaineen syötön yhteydessä joudutaan maahan ilmaa puhaltamaan sitä heikommaksi stabiloitavan tuotteen lujuus tulee todennäköisesti jäämään. Stabiloidusta tuotteesta tulee liian "kuohkea".

Syöttöpainetta ei pystytä säätämään riittävästi maassa vallitsevan vastapaineen mukaisesti. Väärän syöttöpaineen käytöstä voi olla seurauksena sideaineen kasautuminen pilarin keskelle tai reunoille tai sideaine paiskautuu suurimmaksi osaksi pilarin ulkopuolelle. Käytetään mieluummin tasaista ja ajoittain tarpeettoman suurta syöttäpainetta.

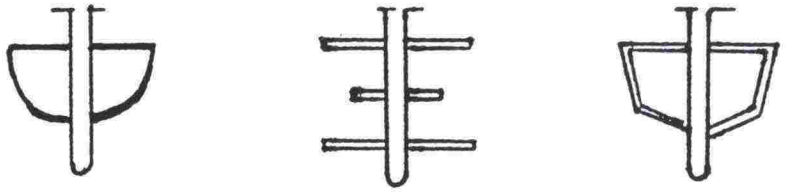
Syötetyn **sideainemäärän mittaaminen** (punnitseminen) tapahtuu koneen sideainesäiliön päässä, ei syöttöpäässä. Näin ei voida olla varmoja siitä, että punnittu sideainemäärä jatkuvasti ja tasaisesti puhaltuu sekoituskärjen syöttöaukosta stabiloitavalle vyöhykkeelle.

1.2.2 Sideaineen sekoitus

Monessa kohteessa ja monella eri laadunvalvontatavalla on todettu, että sekoitustulos stabiloitavalla vyöhykkeellä ei ole riittävän homogeeninen.

Käytössä olevien sekoituskärkien muoto on sellainen, että sideaine ei sekoitu tasaisesti stabiloitavaan maahan ja kärjellä ei ole varsinkaan pilaristabiloinnissa riittävää pilaria tiivistävää vaikutusta (kuva 1).

a) "Kulho" b) "Käpy" c) "Kattila"



Kuva 1: Pilaristabiloinnissa käytettyjä sekoituskärkimalleja

Massastabiloinnissa nykytekniikalla tehty sekoitustyö on liian epämääräistä. Tasaisella sideaineen syötöllä massayksikköön sekoittuvan sideaineen määrä riippuu suoraan siitä viipymästä, minkä sekoituslaite viipyy kussakin kohdassa. Pystysuuntaisista sekoitusliikeradoista johtuen sekoituslaitteen viipymä stabiloitavan kerroksen pinnassa on suurin ja niinpä on havaittu, että sideaineen määrä pintaosassa on huomattavasti suurempi kuin kerroksen keskiosissa.

1.2.3 Sekokoituskärjen kierrosnousun suuruus

Pitämällä kierrosnousu pienenä ($\leq$ 25 mm/kierros) saadaan aikaan tasalaatuisempi sekoitus ja sekoituskärjen tiivistävä vaikutus on myös tehokkaampi. Liian suuri nousu saa pilaririssa aikaan kerroksellisuutta.

1.3 Sideaineen soveltuvuus paineilmasyöttöön

Pilari- ja massastabiloinnissa käytetään tällä hetkellä yksinomaan jauhemaisia sideaineita tai sideaineseoksia. Sideaineseoksen ainesosat voidaan sekoittaa valmiiksi "asemalla" jo ennen työkoneen sideainesäiliöön toimittamista tai sideaineseoksen ainesosat voidaan toimittaa erikseen työkoneen kahteen säiliöön jolloin sideaineseos muodostuu vasta maahan puhallettuna.

Jauhemainen sideaine ei läpäise nykytekniikan mukaisia syöttölaitteita tarpeeksi tasaisena virtauksena. Sideaine saattaa hetkittäin holvaantua paineen vaikutuksen alaisena työkoneen säiliöön. Liian kosteuden vaikutuksesta useimmat sideaineet ja sideaineseokset kokkaroituvat, jolloin syöttöputkistoihin syntyy helposti tilapäisiä tai pysyviä tukoksia.

1.4 Työsuoritukseen välittömästi liittyvän laadunvalvonnan puute

Tällä hetkellä työsuoritukseen välittömästi liittyvä laadunvalvontatoimenpide on syötettävän sideainemäärän mittaaminen punnitsemalla työkoneen säiliön kevenemistä. Edellä on jo esitetty syitä, joiden johdosta tämä laadunvalvontamenetelmä on epäluotettava.

Pilarikairaukset tehdään vasta pilarien lujittumisen edettyä jo liian pitkälle. Kairauksia ei saada ulotettua koko pilarin pituudelle, vaan kairaukset tulevat ulos pilarista ennen alapään saavuttamista.

Pilarien näyteporauksista ja kokopilarinäytteenotosta saadaan tulokset usein itse tuotantotapahtumaan nähden liin myöhään ja siten tulosten edellyttämien mahdollisten lisäpilarien tekeminen on hankalaa, kun urakoitsija on jo ehtinyt poistua työmaalta.

2 TUOTANTOTEKNISET MAHDOLLISUUDET

2.1 Pilaristabilointi

2.1.1 Sideaineen syöttö

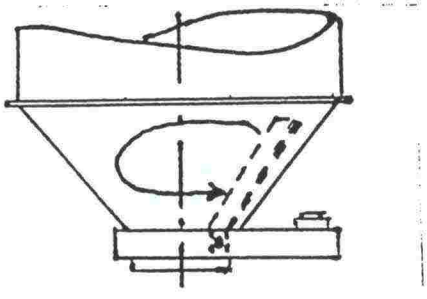
On mitä todennäköisintä, että jatkossakin käytetään stabiloinnissa jauhemaisia sideaineita. Nestemäisten sideaineiden käyttö edellyttäisi lisätutkimuksia, joilla selvitettäisiin sideaineen vaikutusta lähinnä vakavuuteen Suomen jo muutenkin vesipitoisessa maaperässä.

Jauhemaisen sideaineen syötön tulisi tapahtua mahdollisimman pienen ilmamäärän avulla. Sideaineen syötössä tarvittavan ilmamäärän pienuuteen voidaan vaikuttaa seuraavilla toimenpiteillä:

- varustamalla sekoituskärjen syöttöaukko sulkijamekanismilla niin, että painettaessa sekoituskärkeä maahan syöttöaukon tukkeutumista ei tarvitse estää ilmaa maahan puhaltamalla.

Syötössä tarvittavaa ilmamäärää voidaan pienentää käsittelemällä itse sideainetta niin, että sen syöttäminen paineilmalla helpottuu. Toimenpiteinä tulevat kysymykseen:

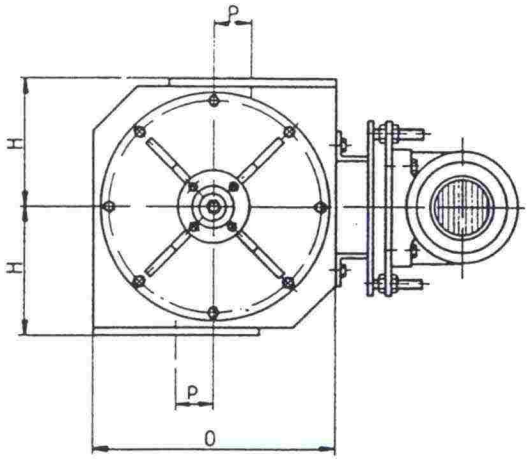
- Työkoneen sideainesäiliön pohjalle asennetaan veitsipurkain (kuva 2). Siilokartion pintaa myötäilevä pyörivä veitsiosa purkaa tehokkaasti jauhemaisia materiaaleja.



Kuva 2: Veitsipurkaimen toimintaperiaate

Säiliössä olevan sideaineen partikkelien välistä poistuu ilmaa, jolloin sideaine tiivistyy. Tiivistyessään sideaine saattaa myös holvaantua siilokartion seinämiä vasten, jolloin itse syöttötapahtumaan syntyy häiriöitä. Veitsipurkaimen käytöllä saadaan sideaine säiliössä ilmastetuksi, jolloin se purkautuu säiliöstä tasaisemmin.

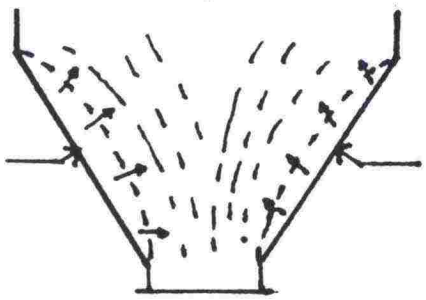
- Vaihdetaan nykyiset lokerosyöttimet sulkusyöttimiksi (kuva 3) tai ruuviannostelijoiksi. Syötön tasaisuutta voidaan parantaa kasvattamalla sulkusyöttimen roottorin (pyörivä keskiakseli) halkaisijaa ja lisäämällä syöttimen siipien lukumäärää. Tällöin "lokerokupin" koko pienenee, mutta samalla syöttö tulee tasaisemmaksi. Vanhassa lokerosyöttimessä lokeroiden tyhjentymisen välille syntyy lyhyitä "katkoksia", jolloin sideaineen syöttö tapahtuu sykäyksittäin. Sulkusyötin parantaa myös syöttölaitteiston tiiviyttä.



Kuva 3: Sulkusyötin

- Asennetaan työkoneen sideainesäiliöön **fluidisaatiopohja** (kuva 4). Pohja täryttää ja fluidisoi purettavan sideaineen tehokkaasti niin, että se virtaa tasaisesti säiliöstä ulos. Pulsaattorin läpi puhalletaan paineilmaa 400-700 kPa:n paineella. Pulsaattorin sisällä oleva teräskalvo alkaa värähdellä ja päästää paineilman "pulsseina" eteenpäin. Paineilmapulssit johdetaan ilmaa läpäisevän, hyvin kulutusta kestävän fluidisointikankaan lävitse sideaineen joukkoon.

  Ajastinyksikön avulla ilmaa johdetaan fluidisaatiopohjan eri sektoreihin vuorotellen, jolloin fluidisointi on erittäin tehokasta ja paineilman kulutus on mahdollisimman pieni, 5-10 l/s.



Kuva 4: Fluidisaatiopohjan toimintaperiaate

Kokonaan uudenlaista sideaineen syöttötekniikkaa edustaisi **joustavasuppiloisen syöttölaitteen ja syötettävän sideaineen määrää (tilavuus) mittaavan lisäsyöttösäiliön** rakentaminen koneen liikkuvan kelly-tangon päähän. Syöttölaitteesta tuleva sideaine joko putoaisi kelly-tankoa pitkin

tai siirrettäisiin sekoitustyökaluun spiraalikuljettimen avulla ja sekoituskärjessä sideaine levitettäisiin pilarin alueelle ruuvikuljettimien avulla (liite 1).

Ko.sideaineen siirrossa olisi se etu, että maahan ei tarvitsi puhaltaa lainkaan ilmaa, vaan ilma korjattaisiin aina talteen. Lisäksi sideaineen levitys pilarin alueelle tapahtuisi varmemmin ja tasaisemmin ruuvikuljettimilla.

Sideaineen syöttämisessä tarvittavaa ilmamäärää voidaan pienentää **esisekoituksella** ja ohjaamalla sideaineen leviämistä pilarin alueelle **sopivin sekoitustyökalun lisämuotoiluin** ja **-laittein** (vrt.liite 2). Esisekoituksella voidaan helpottaa sideaineen leviämistä pilarin alueelle. Sekoitustyökalun maahanpainamisen yhteydessä tapahtuvan runsaan esisekoittamisen seurauksena maa menettää alkuperäistä lujuuttaan niin, että myöhemmin sideaineen vaikutuksesta tapahtuva lujuuden kasvu ei lisää kovin paljon maan alkuperäistä lujuutta. Sekoitustyökalun lisämuotoiluin ja -laittein aikaansaadusta sideaineen leviämisen helpottumisesta voi olla seurauksena se, että suurin osa sideaineesta leviää pilarin reunoille.

Mikäli edelleen sideaineen syötössä joudutaan käyttämään suuria ilmamääriä, tulisi sekoitustyökaluun ja sitä ohjaavaan tangostoon rakentaa "liikailmaa" poisohjaavia rakenteita sekä kerätä poistuva ilma ja sen mukana tuleva sideainepöly talteen (liite 2).

Paitsi ilmamäärä vaikuttaa sideaineen leviämisen tasaisuuteen eri syvyyksissä syötössä käytettävä **ilmanpaine** (syöttöpaine). Tuotantotekniikan kehittymisen kannalta olisi suotavaa, että työkone voisi tunnistaa ja rekisteröidä eri syvyyksissä vaikuttavan vastapaineen ja säädellä vastapaineen mukaan automaattisesti tarvittavaa syöttöpainetta. Tiedossa ei ole vielä sellaista tekniikkaa, millä maassa vallitseva vastapaineen suuruus tuotantotapahtumassa voitaisiin määrittää.

Syötetyn **sideainemäärän mittaus** tulisi siirtää työkoneen sideainesäiliön päästä mahdollisimman lähelle sekoitustyökalua. Tähän tarkoitukseen voisi käyttää kehitettyjä kiintoainevirtausmittareita, esim. **törmäysvaakoja** ja **turbiinipyörän vastuksen mittaukseen** perustuvaa laitetta. Tosin näiden vaakojen tarkkuus kärsii jonkin verran tärinästä ja värähtelystä. Silti noin kahden prosenttiyksikön tarkkuus on mahdollinen.

Törmäysvaakojen toiminta perustuu siihen, että jauhepartikkelit törmäävät vaakaläppään, joka mittaa virtauvoiman suuruutta. Pienimmän putkimaisen törmäysvaa'an kapasiteetti on 1-14 tn/h ja tarkkuus ± 1,0 % (liite 3).

Turbiinipyörän vastuksen mittaamiseen perustuvan mittauslaitteen (multicord-laite) mittauskapasiteetti on min. 0,5 tn/h ja tarkkuus ± 0,5 % .

Akustisilla antureilla ja sähköisten varausten mittauksilla voidaan mitata putkessa tapahtuvan sideainevirtauksen voimakkuutta.

Akustisen anturin toiminta perustuu metalliputken seinämän värähdysten mittaukseen. Laite asennetaan syöttöputken ulkopuolelle. Laitteella ei saada varsinaisesti mitatuksi syöttömääriä, vaan se mittaa virtauksen voimakkuutta ja toimii näin mm. tukosvahtina (liite 3).

VTT:n suorittamassa sideainetutkimuksessa on todettu, että vesi-sideainesuhde on tärkein lopputuotteen lujuuteen vaikuttava tekijä. Tasalaatuisen stabiloidun pilarin aikaansaamiseksi tulee sideaineen syöttömääriä voida muuttaa savikerroksen vesipitoisuuden mukaan. Eri vesipitoisuuden omaavien savikerrosten määrittäminen ja paikantaminen tulee tapahtua pohjatutkimusten yhteydessä. Vesipitoisuuden ja stabiloitavuuskokeiden perusteella määritetään ennakkoon kussakin kerroksessa tarvittava sideainemäärä. Eri vesipitoisuuden omaavien kerrosten tunnistamiseksi tulisi voida mitata sekoitustyökalun vääntömomentti työkalua maahan kierrettäessä. Vääntömomentin vaihtelun perusteella määritetyt ja paikannetut kerrosrajat tallennetaan työkoneen muistiin ja kerrosrajojen mukaan työkone säätelisi sideaineen syötön.

2.1.2 Sideaineen sekoitus

Sekoitustyökalun muodon tulee olla sellainen, että se takaa mahdollisimman tehokkaan ja tasaisen sideaineen sekoittumisen. Sekoitustyökalussa on useita sekoitussiipiä. Sekoitettaessa on saatava aikaan myös pilaria tiivistitävä vaikutus. Sekoitussiivet eivät saa olla liian lähellä toisiaan niin, että maa ei pääse purkautumaan siipien välistä (kuva 5). Pystysuuntaisen sekoituksen parantamiseksi tulee harkita lisäsiipien asentamista sekoitustyökaluun.

Kuva 5: Sekoitustyökalu

Sekoitustyökalun kierrosnopeuden ja kierrosnousun suuruus ei saa olla liian suuri, jolloin pilarista tulee epähomogeeninen ja tiivistävä vaikutus jää vähäiseksi. Kun on saatu sideaineen syöttö tasaiseksi, voidaan vesipitoisuudeltaan erilaisiin savikerrostumiin tulevaa sideainemäärää muuttaa kierrosnopeutta ja kierrosnousua säätelemällä.

Samaan lopputulokseen päästään pitämällä sekoitustyökalun kierrosnopeus ja -nousu vakiona ja säätelemällä sideaineen syöttöä. Tämä on teknisesti vaikeampaa kuin vakiosyöttö ja työkalun nousunopeuden säätely.

2.2 Massastabilointi

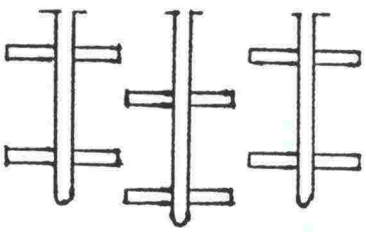
2.2.1 Sideaineen sekoitus

Pilaristabiloinnin yhteydessä mainitut seikat soveltuvat pääosin myös massastabilointiin.

Sekoitustyö on saatava hallitummaksi varsinkin vaakasuunnassa. Nykytekniikan mukaiseen työkoneeseen tulisi asentaa sekoitustyökalun paikannustekniikkaa, jolloin kuljettaja olisi joka hetki tietoinen työkalun sijainnista.

2.2.2 Sama peruskone pilari- ja massastabiloinnissa

Stabiloitu massa voitaisiin aikaansaada koneella, jossa on useita (4-6) samanaikaisesti toimivia sekoitustyökaluja, jolloin toinen toistensa lomassa olevat siivet sekoittavat massan tehokkaasti myös vaakasuunnassa (kuva 6).



Kuva 6: Sekoitustyökaluryhmä

Tämän tyyppisellä koneella voitaisiin samanaikaisesti tehdä sekä massastabilointia että pilaristabilointia. Massastabiloinnissa koko sekoitustyökaluryhmä pyörisi samassa tasossa. Pilaristabiloinnissa ajettaisiin 1-2 ryhmän sekoitustyökaluista haluttuun syvyyteen pilarin (pilarien) tekemiseksi ja sen (niiden) tullessa ylös massastabilointivyöhykkeen alapintaan koko työkaluryhmä jatkaisi massastabiloinnin tekemistä (liite 4).

3 SIDEAINEEN VAATIMUKSET TUOTANTOTEKNIIKALLE

3.1 Rakeisuudet, erottuminen ja kokkaroituminen

Rakeisuus
Nykyisin yleisimmin käytettävien sideaineiden rakeisuuskäyrät on esitetty liitteillä 5. Lohjan sideaineiden osalta rakeisuuden määritystapa, pelkkä kuivaseulonta, kuitenkin poikkeaa muista ja saattaa tämän kaltaisilla materiaaleilla antaa hieman väärän raekokojakautuman.

Erottuminen
Seosten seossuhteessa ei kenttäolosuhteissakaan ole todettu eroja 2-säiliö tai 1-säiliö tekniikkojen välillä. Seossuhde on pysynyt molemmissa tapauksissa hyvin pienessä toleranssissa ja esim. Viatekin tekemässä tutkimuksessa, jossa vertailtiin eri laitteistoja ja tekniikoita todettiin sideainesuhteessa esiintyvien erojen olevan muutaman prosentin luokkaa.

Nykyisillä sideaineilla ei ole tiettävästi esiintynyt erottumisongelmia (sementit,kalkit,Finnstabi). Sen sijaan joidenkin sideaineiden sekoittumisessa keskenään on esiintynyt ongelmia - niistä on kuitenkin selvitty tekemällä sekoitus jo ennen maahan syöttöä (esim.puhaltamalla sideaineseosta muutaman kerran säiliöstä toiseen). Mikäli rakeisuuden ja tilavuuspainon osalta hyvin erilaisia seosaineita yhdistetään voi erottumisen vaara olla olemassa.

Kokkaroituminen
Pulverimaiset sideaineet ovat kuivia eikä niihin saa käsittelyvaiheessa päästää kosteutta. Veden pääsy sideainesäiliöön johtaa kaikilla sideaineilla kokkaroitumiseen ja poltettua kalkkia sisältäviä seoksia käytettäessä myös säiliön kuumenemiseen. Sideaineet on säilytettävä työmaalla umpisäiliössä - muuten sideaine saa ilmasta kosteutta, mikä puolestaan aiheuttaa kokkaroitumista. Eri sideaineiden agressiivisuus ottaa ilmasta vettä vaihtelee.

3.2 Nestemäiset sideaineet

Ongelmatiikka Suomessa:

- jäätyminen
- ennestään vesipitoiset savet
- soveltuu vain sementti-sideaineille, ei esim. CaO-seoksille
- vertailevia laboratoriotutkimuksia ei ole tehty; hyödyt pitäisi tutkia

Reseptit

Japanissa käytetään erityyppisiä nesteytettyjä sementti-seoksia. Käytössä ei ole kuitenkaan ihmeresseptejä.

USA:ssa on käytössä ainakin yksi nestemäinen sideainevaihtoehto (ei sementtipohjainen), jonka käyttö perustuu väkevän varastoliuoksen laimentamiseen vedellä jopa suhteessa 1:250 ennen käyttöä. Sideaineen toimivuudesta Suomen olosuhteissa ei kuitenkaan ole vielä tietoa.

Tilanne Suomessa

Jonkun tulisi olla kiinnostunut rahoittamaan nestemäisten sideaineiden käyttöä käsittelevä tutkimus, missä niiden käytön mielekkyys, Suomen olosuhteissa, selvitettäisiin.

Slurry-pumput

Nesteytys tehdään työmaalla. Vesi ja sementti on helppo sekoittaa esim.annoksittain. Pumput ovat injektointipumppujen tapaisia. Pumpuille ei ole erityisvaatimuksia.

4 TUOTANTOTAPAHTUMAAN LIITTYVÄ LAADUNVALVONTA

4.1 Tuotantokoneille asetettavat vaatimukset tuotantoparametrien rekisteröimiseksi

- sideaineen virtaaman rekisteröinti mahdollisimman lähellä sekoitustyökalua
- momentin mittaus sekoittimen akselissa
- sekoitustyökalun kierrosnopeuden rekisteröinti
- sideainepuhalluksessa käytetyn ilmanpaineen rekisteröinti

- sideaineen syöttömäärän ja sekoitustyökalun nousunopeuden rekisteröinti

4.2 Paikantamisjärjestelmän kytkeminen sekoitustyökalun liikkeisiin

VTT:n suorittama sideainetutkimus osoitti vesi-sideainesuhteen olevan tärkein lopputuotteen laatuun (lujuuteen) vaikuttava tekijä.

Tasalaatuisen stabiloinnin aikaansaamiseksi sekoitustyökalua ja -konetta on voitava ohjata siten, että savikerrostuman luonnollisen vesipitoisuuden vaihteluihin reagoidaan sideainemäärää muuttamalla ennakkoon määritettävän kaavion mukaan. Parhaan stabilointituloksen varmistamiseksi on pohjatutkimuksin määriteltävä vahvistettavan maapohjan vesipitoisuusvaihtelut x,y ja z-koordinaatteihin sidottuna. Tuotantokoneen liikkeitä on vastaavasti ohjattava sopivan paikantamismenetelmän avulla. Kussakin pisteessä tarvittava sideainemäärä sidotaan sekoitustyökalun syvyyteen, jolloin syvyystaso toimii samalla syöttöä ohjaavana suureena.

4.3 Laaduntarkastustoimenpiteet

Stabiloidun tuotteen laadun toteaminen välittömästi teon yhteydessä tai sen jälkeen ei onnistu nykyään käytössä tai tiedossa olevilla menetelmillä. Kohdassa 4.1 mainittuja tuotantoparametrejä rekisteröimällä on mahdollista saada joitakin laatua kuvaavia, välillisiä tietoja välittömästi stabilointityön yhteydessä. Tuotantoparametrien ja lujuuskehityksen korrelaatioita sen sijaan ei ole käytettävissä. Toistaiseksi rekisteröidään ainoastaan sideaineen kulutusta työsäiliötä punnitsemalla.

Laaduntarkastuksessa voitaisiin hyväksyä testausmenetelmiä, joilla saadaan jatkotyön ohjaamiseksi kelpaavia tuloksia esim. 24 tunnin kuluessa stabiloinnin teosta. Tähän tarkoitukseen vaadittaisiin stabilointikalustolta valmiutta asentaa seismistä anturia, kairan kärkikappaletta ja vetovaijeria tai halkaisijaltaan 40-50 mm mittaista mittaus- tai näytteenottoputkea tuoreen, juuri valmistuneen stabiloidun tuotteen sisään. Myös kimmoisten ominaisuuksien rekisteröinti esim. LOADMAN-tyyppisellä laitteistolla voisi tulla kysymykseen.

Laaduntarkastus tukeutuu toistaiseksi CPT-kairauksiin sekä näytteenottoon ja laboratoriossa suoritettaviin lujuuskokeisiin. CPT-kairausta tullaan todennäköisesti vielä pitkään käyttämään laadunvarmistusmenetelmänä erityisesti runsaasti sementtiä sisältävien tuotteiden kohdalla. Pilarimaiseen tuotteeseen jätetty mittausputki mahdollistaa tiheyden, sideainemäärän ja vesipitoisuuden tarkistamista radiometrisin menetelmin. Mittaustekniikka vaatii toistaiseksi vielä tutkimuspanosta sopivan indikaattoriaineen kehittämiseksi. Jatkotutkimukset keskittyvät tältä osin maasälvän käyttömahdollisuuksiin eräänä merkkiaineena.

Laitekehitystyötä palvelevat pilarien laatututkimukset ovat kehitystyön kannalta hyvin oleellisia. Pilarikairaukset eivät anna riittävää tietoa pilarin homogeenisuudesta. Toistaiseksi homogeenisuus voidaan tutkia vain pilarista otetuista näytteistä. Näytteen tulisi olla mahdollisimman suurikokoinen, mitä parhaimmillaan edustaa kokopilarinäytteen ottaminen. Sama menettelytapa sopii myös massastabiloinnin laadun tutkimukseen.

Kokopilarinäytteenoton yhteydessä pilari halkaistaan ja valokuvataan heti noston jälkeen. Sideaineen sekoittumisen tasalaatuisuus kartoitetaan halkaistusta pilarista tiheän pH-' ja penetrometrimittauspisteverkon avulla (liite 6). Tämän pohjalta tehdään kuvaus pilarin rakenteesta ja määritellään laboratorionäytteiden paikat. Laboratorionäytteet leikataan palanäytteinä. Palanäytteistä valmistetaan pysty/vaakanäytteet puristuskokeeseen sekä otetaan näytteet kokonaissideainemääritystä ja laboratoriossa suoritettavaa , tarkempaa, pH-määritystä varten.

Näiden tutkimusten perusteella saadaan todellinen tieto pilarin laadusta ja laatuvaihteluista sekä voidaan tehdä johtopäätöksiä mahdollisesti esiintyvien laadunheikennysten syistä. Stabiloinnin laatututkimuksia käsitellään laajemmin julkaisussa; Tielaitoksen selvityksiä 46/1992, Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje.

5. TUOTANTOTEKNOLOGIAN KEHITTÄMISELLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET JA REUNAEHDOT

Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikan kehitystyön päätavoite on saada ennakkokokein määritetty määrä sideainetta syötetyksi ja sekoitetuksi eri kosteuspitoisuuden omaaviin maakerroksiin.

Tähän päästään:

A. Pitämällä sideaineen syöttö vakiona ja muuttamalla sekoitustyökalun kierrosnopeutta ja -nousua (ensimmäisen vaiheen vaatimukset,kohta 5.1).

B. Pitämällä sekoitustyökalun kierrosnopeus ja -nousu vakiona ja muuttamalla sideaineen syöttöä (toisen vaiheen vaatimukset,kohta 5.2).

5.1 Ensimmäisen vaiheen vaatimukset

Ensimmäisen vaiheen vaatimukset ovat vaatimuksia, joiden mukaiset toimenpiteet tuotantoteknologian kehittämisessä tulisi suorittaa noin seuraavan puolen vuoden aikana ennen koerakennuskohteissa suoritettavia testejä 1996.

Näitä vaatimuksia ovat:

- sekoitustyökalun syöttöaukon tukkeutuminen on estettevä muulla tavoin (esim.sulkijamekanismilla) kuin puhaltamalla ilmaa työkalua maahan kierrettäessä.

- sideaineen syöttö ja siirto työsäiliöstä sekoitustyökaluun on saatava mahdollisimman häiriöttömäksi ja pienellä ilmamäärällä (puhallus) tapahtuvaksi.Tähän voidaan vaikuttaa:
  - asentamalla koneen työsäiliöön veitsipurkain tai fluidisaatiopohja (ilmastus)
  - helpottamalla sideaineen leviämistä sekoitustyökalun alueella työkalun muotoilulla

- sideaineen virtaaman rekisteröinti mahdollisimman lähellä sekoitustyökalua on saatava aikaan (akustisilla antureilla tai sähköisten varausten mittaamisella).

- sekoitustyökalun siipeä (siipiä) on kallistettava niin, että saadaan aikaan tiivistävä vaikutus.

- sekoitustyökalun kierrosnopeutta ja -nousua on voitava säädellä niin, että stabiloitavaan massaan saadaan vakiosyötöllä haluttu sideainemäärä.

- työnaikaisena laadunvalvontatoimenpiteenä on voitava rekisteröidä seuraavat tuotantoparametrit:
  - sekoitustyökalun kierrosnopeuden rekisteröinti
  - sekoitustyökalun nousunopeuden rekisteröinti
  - sideainepuhalluksessa käytetyn ilmanpaineen rekisteröinti

- massastabiloinnissa sekoitustyö on saatava hallitummaksi asentamalla työkoneeseen sekoitustyökalun paikannustekniikkaa.

5.2 Toisen vaiheen vaatimukset

Toisen vaiheen vaatimuksia ovat:

- jos sideaineen syöttämisessä on pakko edelleen käyttää runsaasti ilmaa, tulee sekoitustyökaluun ja työkalun pyöritystankoon tehdä rakenteita, jotka helpottavat ilman poistumista maasta.

- syöttöpainetta on voitava säätää maassa vallitsevan vastapaineen mukaan. Vastapaineen mittaaminen saattaa olla teknisesti vaikeata.

- sideainemäärän mittauksen on tapahduttava mahdollisimman lähellä sekoitustyökalua (törmäysvaaka, turbiinipyörän vastuksen mittaus, joustavasäiliöinen syöttölaite).

- sekoitustyökalu on muotoiltava paremmin ja tehokkaammin sekoittavaksi; tiivistävää vaikutusta ei saa unohtaa.

- sekoitustyökalun vääntömomenttia on voitava mitata eri vesipitoisuuden omaavien maakerrosten tunnistamiseksi.

- sideaineen syöttö on voitava järjestää muulla tavalla kuin puhaltamalla (lisäsyöttösäiliö, syöttölaite, spiraalikuljetin ja lopuksi ruuvikuljetin, joka levittää sideaineen stabiloitavalle alueelle).

- on voitava rakentaa sama peruskone niin pilaristabilointiin kuin massastabilointiinkin.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Yksi tutkimuksen perusajatuksista saada urakoitsijat ja konevalmistajat lähtemään kone- ja laitekehitystyöhön mukaan ei ole toteutunut. Jos syitä pitäisi arvailla, niin ainakin yhtenä todennäköisimpänä syynä voi pitää tämän hetken ja lähitulevaisuuden surkeita markkinanäkymiä.

Toisaalta tutkimus osoittaa, että tuotantoteknologiaa on mahdollista parantaa myös pienemmin askelin ilman kalliita investointeja nykytekniikan pohjalta. Ehkä tuotantoteknologian kehittämisajatuksissa on yritetty haukata heti alkuun liian suurta "kakkua" tulevaisuuden markkinanäkymiin nähden.

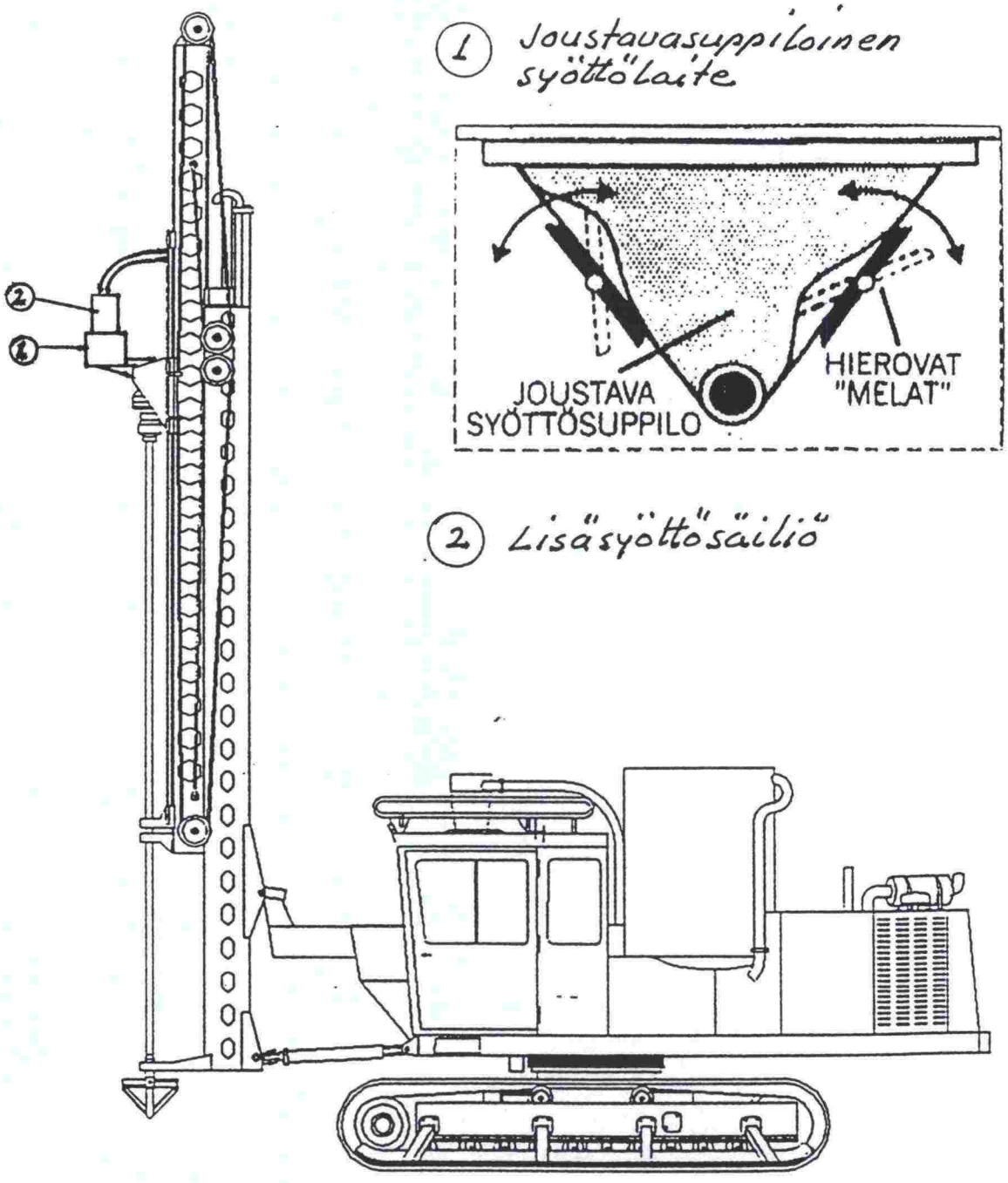
Jatkon kannalta olisi tärkeää, että TIELAITOS suurimpana rakennuttajana esittäisi urakoitsijoille ne tuotantoteknologialle asetettavat vaatimukset, joita tullaan vaatimaan koerakennuskohteita tehtäessä vuonna 1996. Tiivistettynä vaatimusten perusajatus voisi kuulua: Sideaineen syöttö on saatava mahdollisimman tasaiseksi ja sen jälkeen muuttamalla sekoitustyökalun kierrosnopeutta ja -nousua syötetään eri vesipitoisuuden omaaviin savikerroksiin ennakkokokeissa määritetty määrä sideainetta. Lisäksi sekoitustyökalua on kehitettävä paremman sekoitustuloksen aikaansaamiseksi.

7 VIITELUETTELO

1 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. Helsinki 1992. Tielaitoksen selvityksiä 46/1992.

2 Syvästabilointiohje STO-91, Rakennusteollisuusyhdistys - Rakennustieto Oy

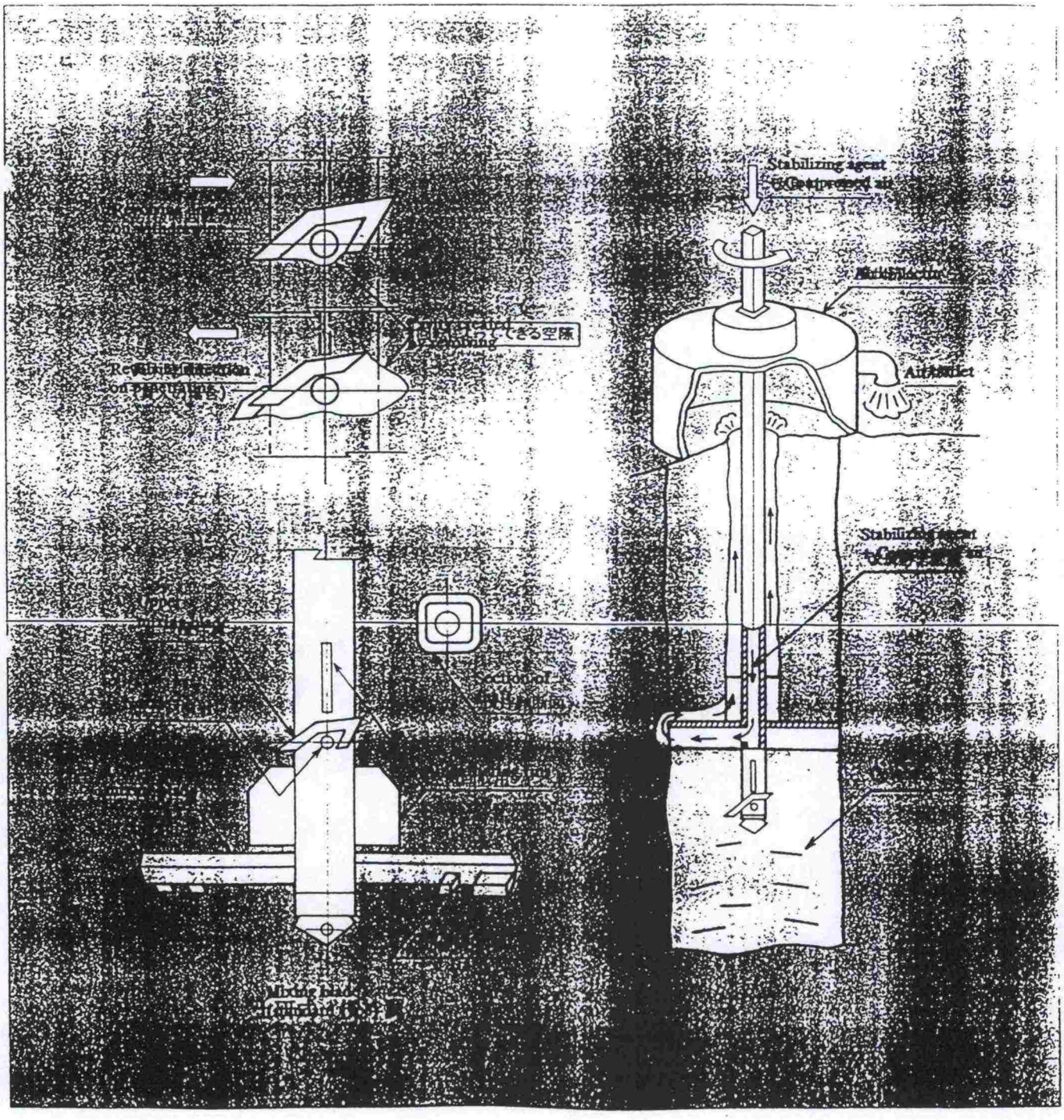
3 Kehä III - Massastabilointi koerakenteena - raportti, Tielaitos , Uudenmaan piiri . 1994.



1 Joustavasuppiloinen syöttölaite

2 Lisäsyöttösäiliö

Liite 2



Liite 3

How It Works

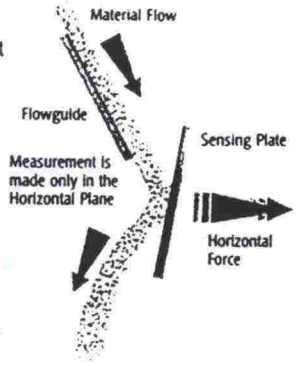
The principle of operation is simple—dry bulk materials enters the flow guide producing a mechanical deflection as it strikes the flowmeter sensing plate; it then continues on through the process unhindered, ensuring no disruption in the process or production.

The horizontal force of this deflection is converted into an electrical signal monitored and processed by the associated electronic integrator which instantaneously displays the flow rate and integrated total weight.

The accuracy of Milltronics flowmeters is based on the fact that they measure only the horizontal component of the force of material striking the sensing plate.

Four factors influence the force of impact—material velocity, angle of impact, energy absorbing characteristics, and mass of the material.

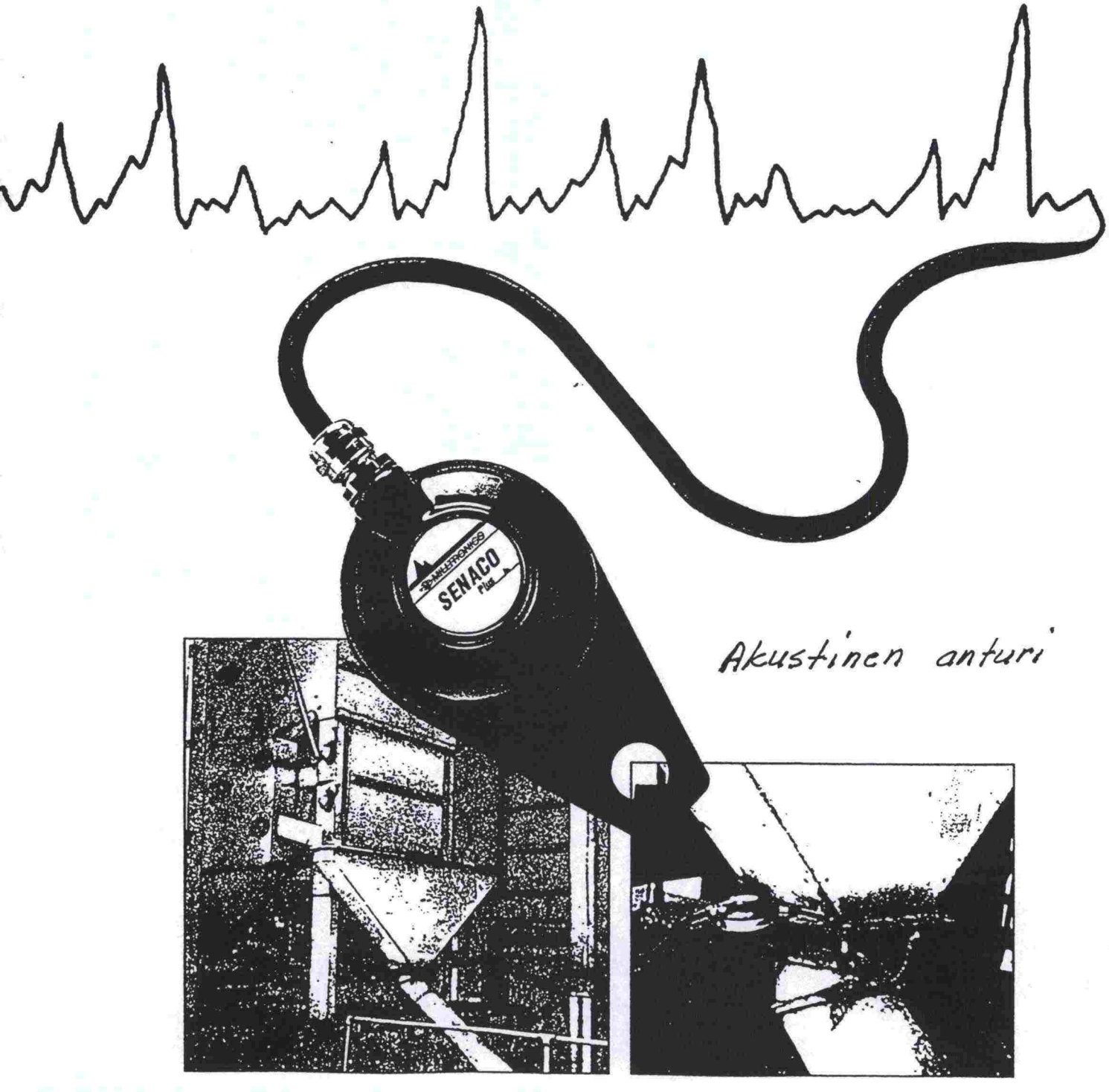
The velocity of material conveyed across the plate is constant when allowed to fall from a fixed distance, or when guided with a sloped infeed.



The angle of impact against the plate is also fixed. The material characteristics are relatively constant and therefore, with these factors set, the flowmeter responds accurately to the mass of the material striking the sensing plate.

Since only the horizontal force is measured, vertical force due to material build-up in the non-impingement area has no effect. There is no zero drift and the need for frequent re-calibration is eliminated.

Törmäysvaa'an toimintaperiaate



Akustinen anturi

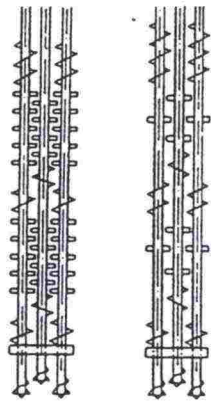
Liite 4

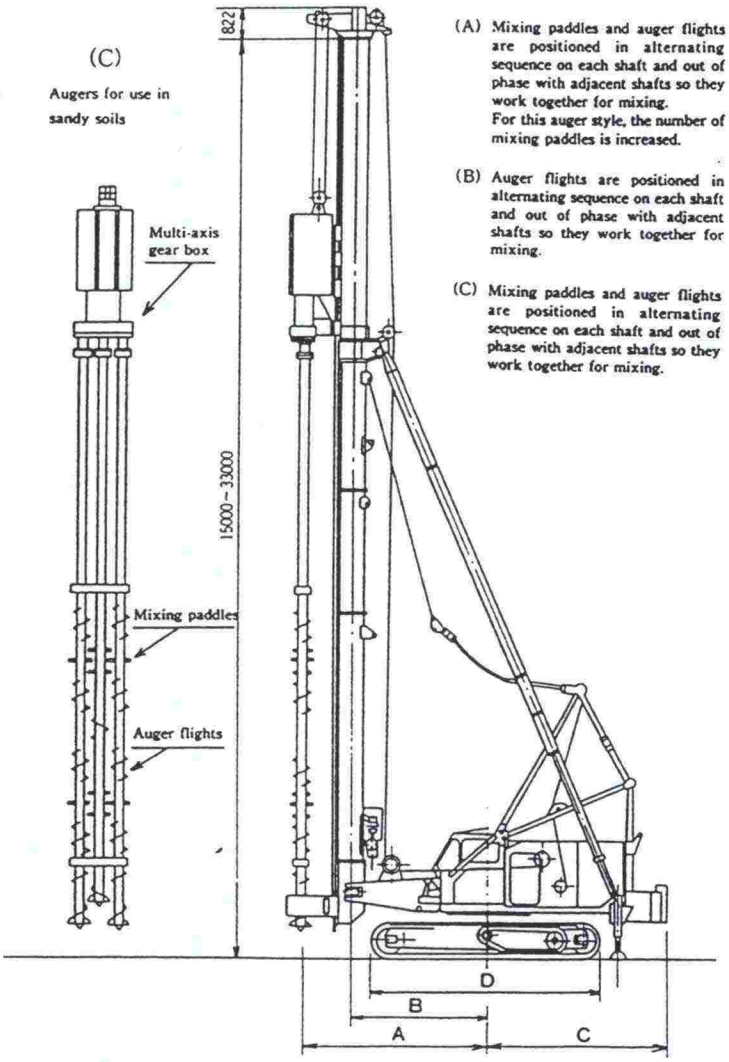
EQUIPMENT AND AUGERS FOR THE SMW METHOD

(A) Augers for use in clay soils.

(B) Augers for use in gravel soils or weathered rock.

(C) Augers for use in sandy soils

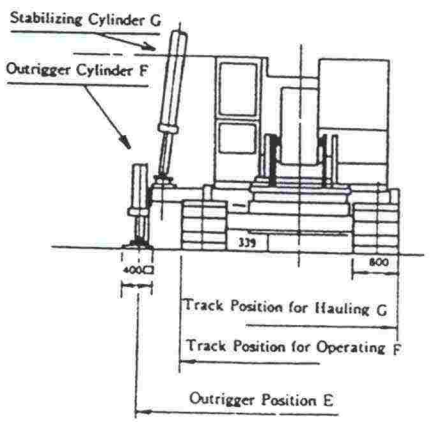




(A) Mixing paddles and auger flights are positioned in alternating sequence on each shaft and out of phase with adjacent shafts so they work together for mixing.
For this auger style, the number of mixing paddles is increased.

(B) Auger flights are positioned in alternating sequence on each shaft and out of phase with adjacent shafts so they work together for mixing.

(C) Mixing paddles and auger flights are positioned in alternating sequence on each shaft and out of phase with adjacent shafts so they work together for mixing.

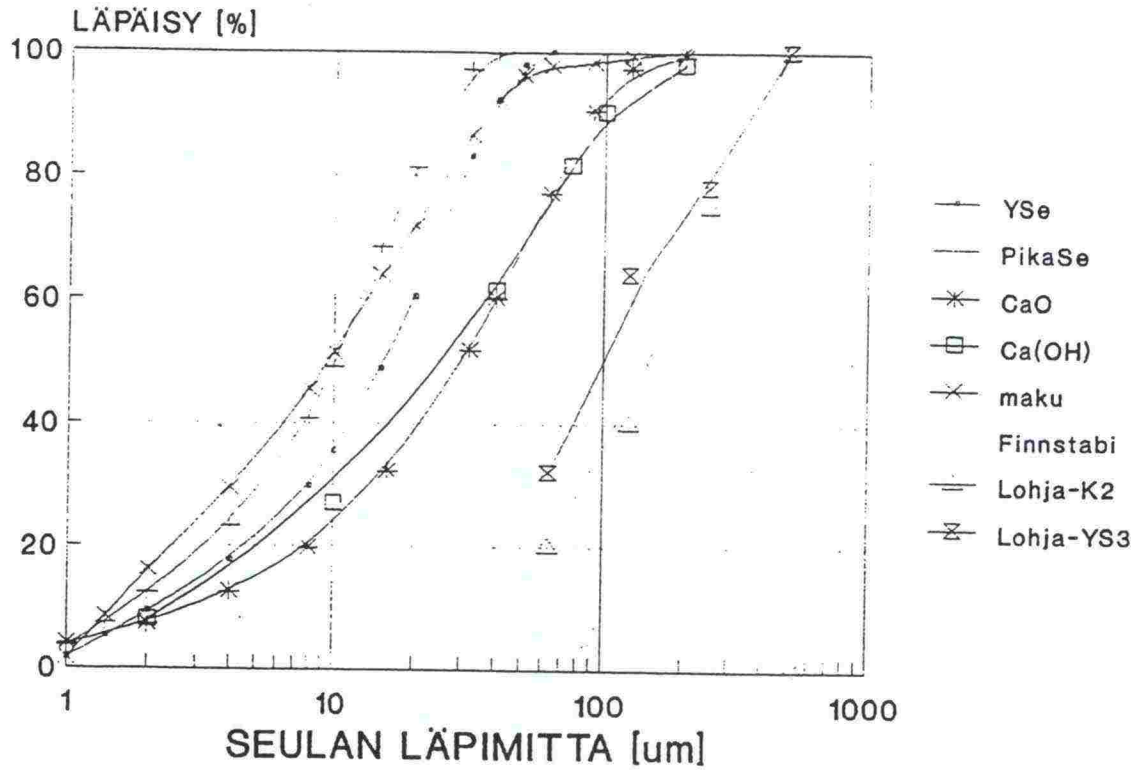


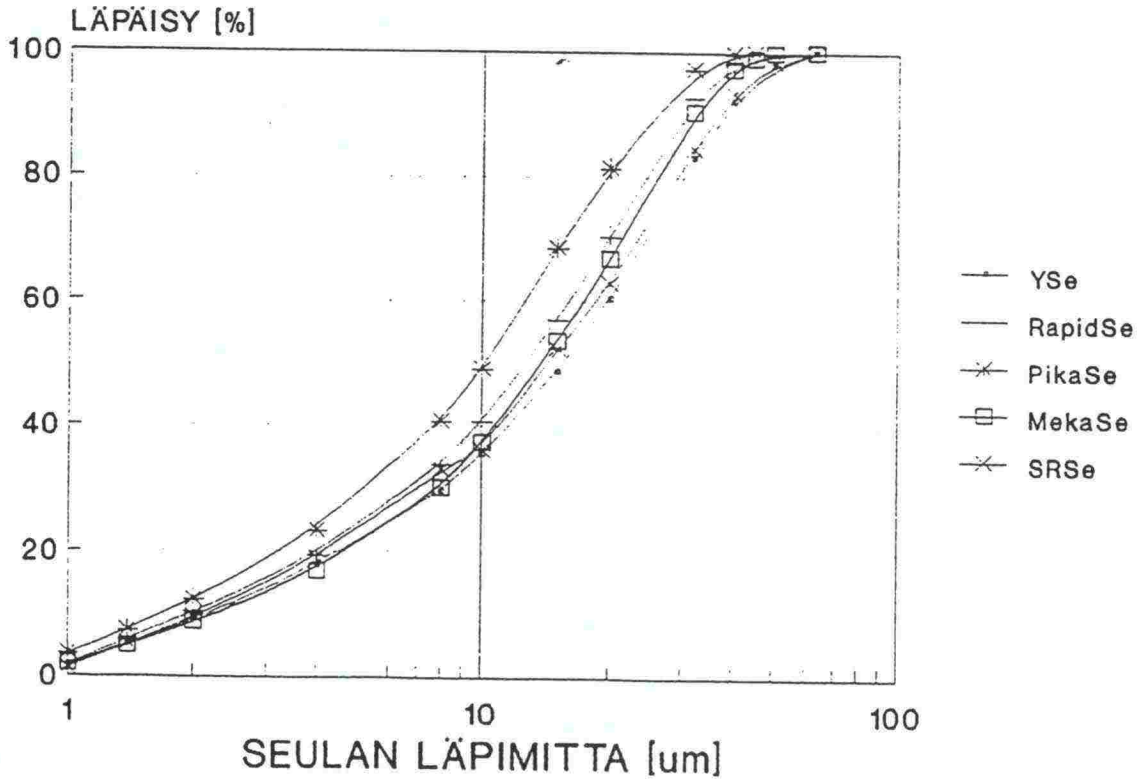
Side View Dimensions (Measured from crane center : mm)

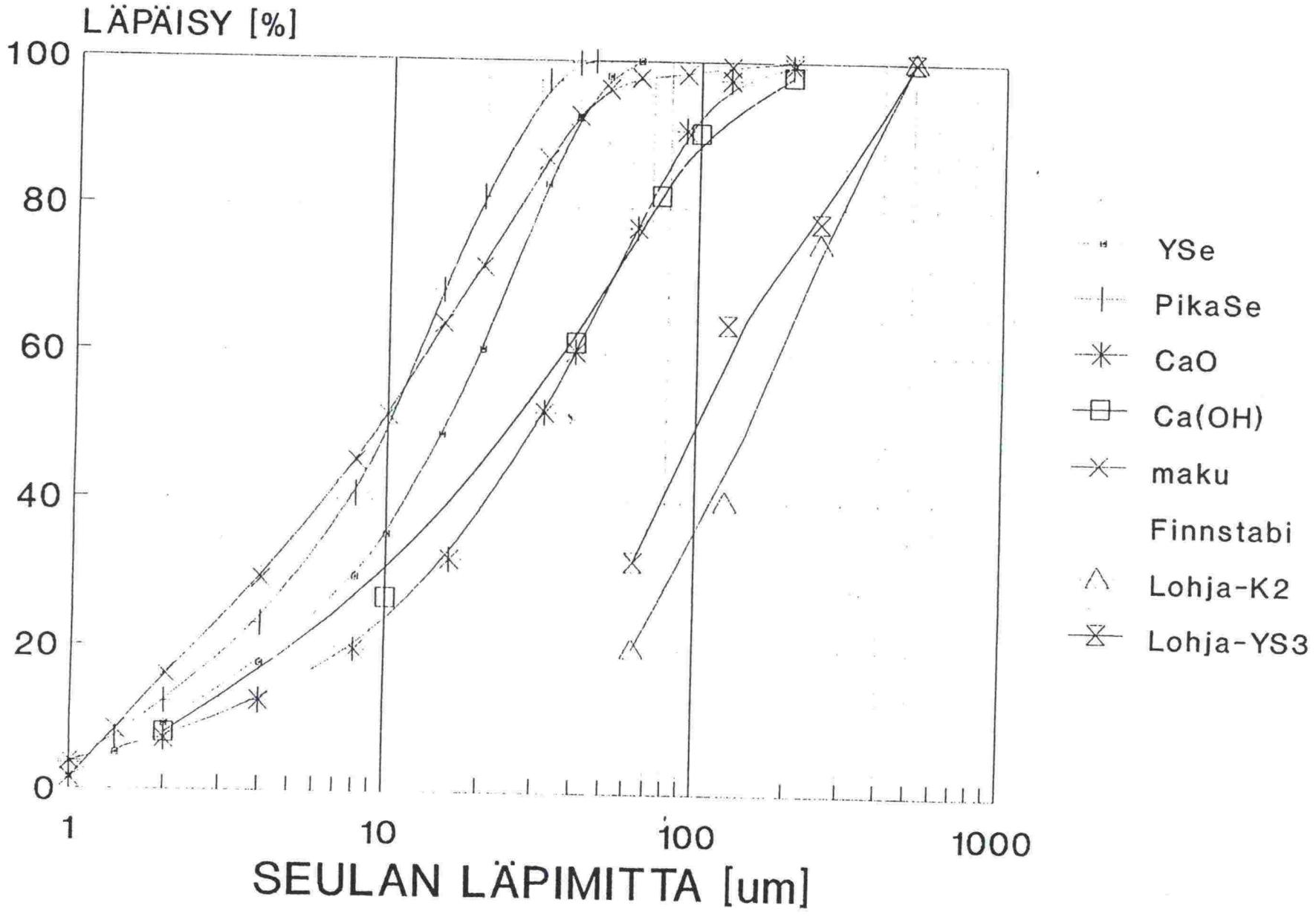
Model	A (Swing Radius)	B (To Lead)	C (Counterweight)	D (Crawler Length)
608	4,535	3,360	4,385	5,825
508	4,455	3,280	4,507	5,415
408	4,175	3,000	4,357	5,005
308	4,175	3,000	4,357	4,920

Front View Dimension (Total Width Measurements : mm)

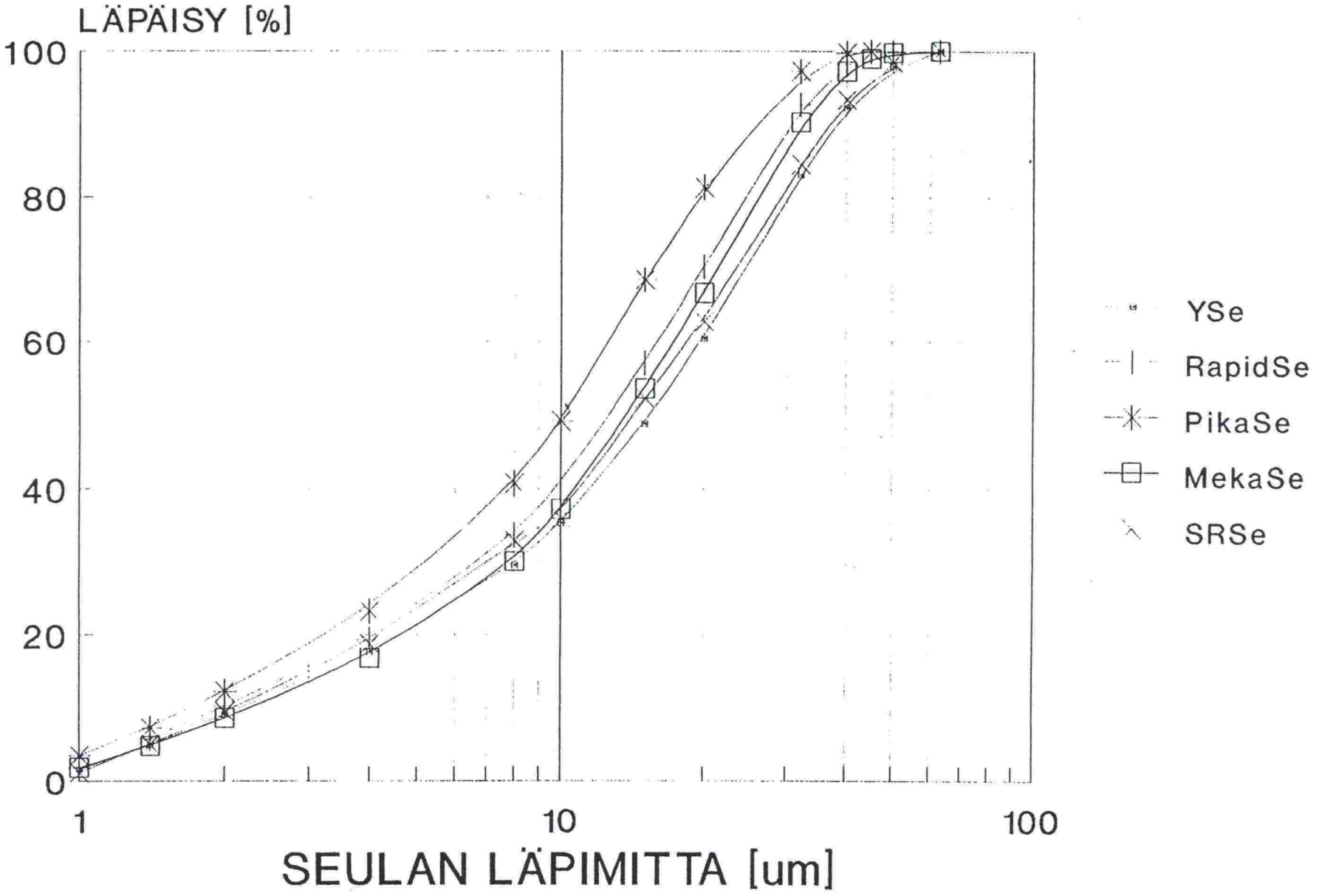
Model	E (Outrigger Extension)	F (Operating Width)	G (Hauling Width)	Crawler Ground Contact Area (㎡)
608	5,327	4,500	3,300	82,950
508	5,315	4,340	3,300	77,700
408	5,264	4,000	3,300	71,150
308	5,264	4,000	3,300	69,600


LÄPÄISY [%]
100
80
60
40
20
0
1
10
100
1000
SEULAN LÄPIMITTA [um]
YSe
PikaSe
CaO
Ca(OH)
maku
Finnstabi
Lohja-K2
Lohja-YS3


LÄPÄISY [%]
100
80
60
40
20
0
1
10
100
SEULAN LÄPIMITTA [um]
YSe
RapidSe
PikaSe
MekaSe
SRSe

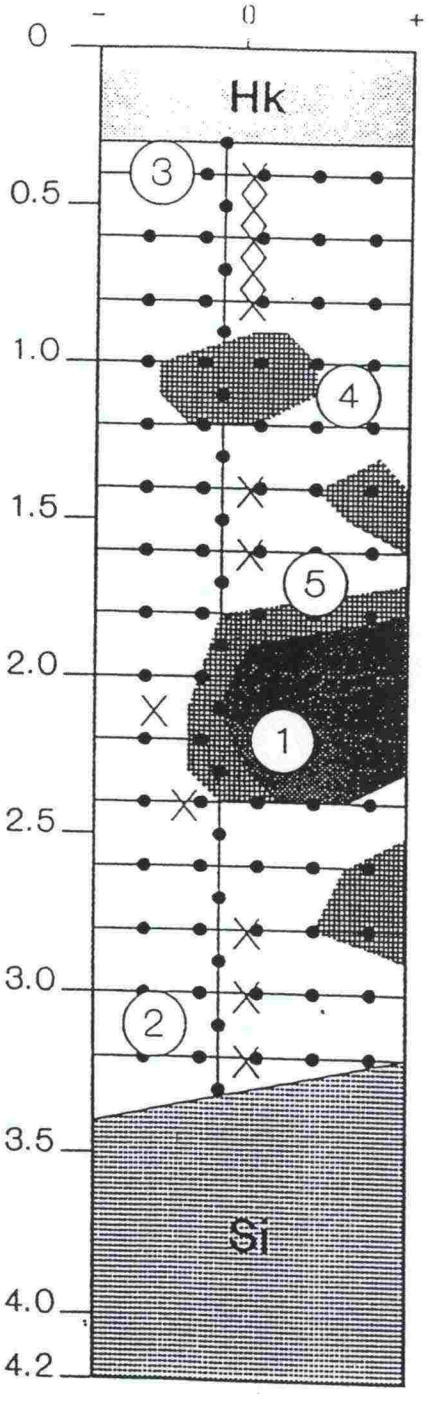

LÄPÄISY [%]
100
80
60
40
20
0
1
10
100
1000
SEULAN LÄPIMITTA [um]
YSe
PikaSe
CaO
Ca(OH)
maku
Finnstabi
Lohja-K2
Lohja-YS3

Liite 5 2(3)


LÄPÄISY [%]
100
80
60
40
20
0
1
10
100
SEULAN LÄPIMITTA [um]
YSe
RapidSe
PikaSe
MekaSe
SRSe

Liite 5 3(3)

Näyte K1



Merkkien selitykset:

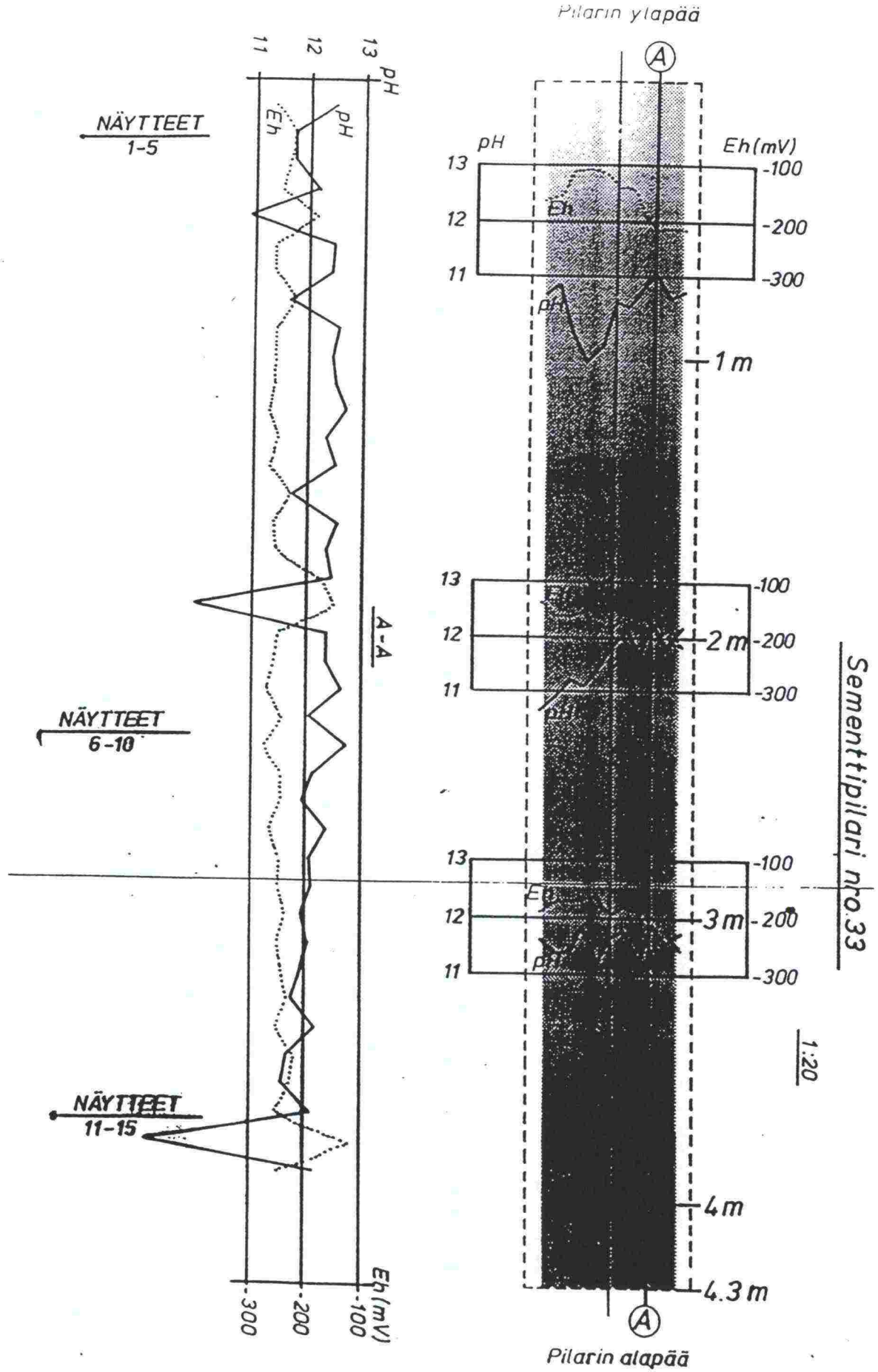
X = piennäytteiden paikat

○ = isojen näytteiden paikat

= iso pehmeä alue

= murumainen rakenne

= penetrometri-linja


Pilarin ylapää
A
pH
Eh(mV)
13
12
11
-100
-200
-300
Eh
pH
1 m
2 m
3 m
4 m
4.3 m
A
Pilarin alapää
Sementtipilari nro.33
1:20
A-A
NÄYTTEET
1-5
NÄYTTEET
6-10
NÄYTTEET
11-15
11
12
13
pH
Eh
pH
-300
-200
-100
Eh(mV)

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

5/1993 Arktinen tienrakentaminen, Kilpisjärven hankkeen yhteenveto. TIEL 3100011

2/1994 Routanousun mallintaminen, kirjallisuusselvitys. TIEL 3100013

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163

39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164

40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165

41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166

47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172

59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184

60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185

68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193

77/1993 Moreenin jalostaminen. TIEL 3200201

81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi, tutkimusraportti. TIEL 3200205

82/1993 Emulsiopäällysteiden suunnittelu ja rakentaminen. TIEL 3200206

4/1994 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Long-Term Pavement Performance (LTPP); Materiaalimodulin määritys takaisinlaskentaohjelmalla sekä tierakenteen vaurioitumisajankohdan ennustemallit. TIEL 3200213

8/1994 Roudan vaikutusten mallintaminen. TIEL 3200219

12/1994 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1992-1993. Roudan sulamisen simulointi, pohjaveden pinnan vaikutus korkeassa lämpötilassa ja päällysteen reunan vaikutus. TIEL 3200223

28/1994 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Vuoden 1993 kuormituskokeet. TIEL 3200238

30/1994 Kallioleikkaukset. TIEL 3200240

45/1994 Maan routimisen termomekaaninen malli ja sen laskelmat. TIEL 3200254

47/1994 Masuunihiekan käyttö päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200256

53/1994 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, loppuraportti. TIEL 3200262

3/1995 Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281

15/1995 Betonipäällysteen seuranta, vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 2. TIEL 3200293

20/1995 Sään ja hydrologisten tekijöiden vaikutus kevätkelirikkoon. TIEL 3200298

30/1995 TPPT:n laatusuunnitelma. TIEL 3200308

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

43/1995 Tukitelineperustusten kantokyky. TIEL 3200319

44/1995 Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn. TIEL 3200320

45/1995 Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä. TIEL 3200321

54/1995 Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi. TIEL 3200330

58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu. TIEL 3200333

94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369

6/1996 Tuotannon laatu; Kuormitus ja routakestävyysrakenteet. TIEL 3200375

13/1996 Masuunihiekkastabilointi. TIEL 3200382

16/1996 Tavoitekriteerit (TPPT). TIEL 3200385

17/1996 Moreenin hyötykäytön edistäminen murskausteknisin keinoin (TPPT). TIEL 3200386

29/1996 Tien rakennekerrosmateriaalin stabilointi masuunikuonatuotteilla. TIEL 3200397

32/1996 Häiriintymättömien maanäytteiden otto. TIEL 3200400

33/1996 Ödometrikoe. TIEL 3200401

34/1996 Sitomattomien materiaalien moduulit; Täydentävien kuormituskokeiden tulokset, osa 1. TIEL 3200402

35/1996 Havaintoteiden asfalttipäällysteiden moduulit. TIEL 3200403

36/1996 Eriste- ja kevennysmateriaalien routakestävyys; Palaturve. TIEL 3200404

37/1996 Koerakennekohteiden materiaalien routakestävyys; Pohjoiset kohteet. TIEL 3200405

38/1996 Rakenneratkaisujen alustava suunnittelu ja kehittäminen. TIEL 3200406

39/1996 Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka. TIEL 3200407

44/1996 Sitomattomien materiaalien moduulit; Muutosmoduulin arviointi korkearakeisilla kiviaineksilla, osa 2. TIEL 3200412

46/1996 LD-teräskuona tienrakennusmateriaalina. TIEL 3200414

70/1996 Kantavan kerroksen asfalttibetoni; Referenssimateriaalin ominaisuudet. TIEL 3200437

77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä; International Conference IS-Tokio '96. TIEL 3200444

(Geotekniikan informaatiojulkaisuja:)

2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127

21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147

24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet. TIEL 3200150

39/1994 Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä. TIEL 3200248

42/1994 Nauhapystyojitus. TIEL 3200251

67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje. TIEL 3200276

79/1995 Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354

79/1996 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200446

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-241-8
TIEL 3200407