

HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUSTEKNOLOGIAN LAITOS
TUTKIMUSTIEDOTE N:o 63

HANNU HAAPALA

MENETELMÄ SALAOJAN ASENNUSTARKKUUDEN
OJITUSTYÖN AIKAISEEN KONTROLLOINTIIN

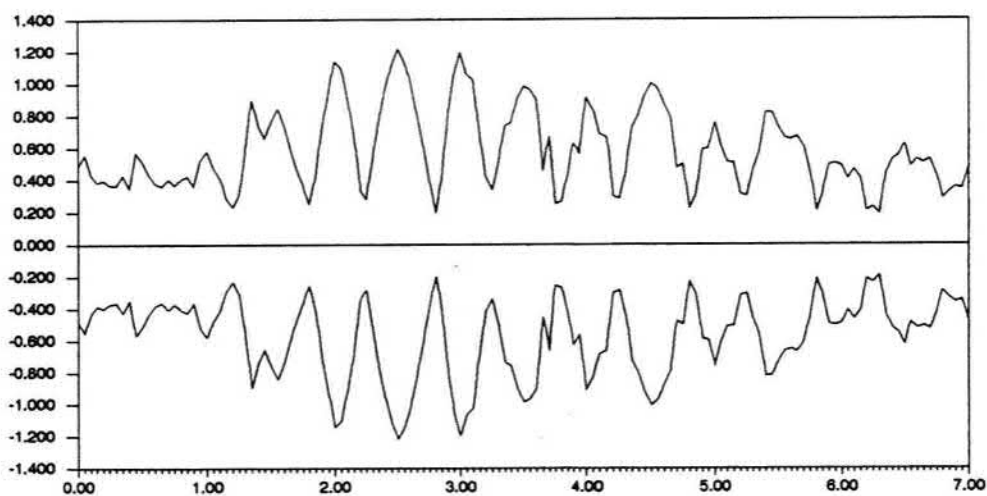
AN ON-LINE METHOD FOR CONTROLLING SUBSURFACE
DRAINAGE INSTALLATION PRECISION

Syvyys, mm

Mittaustarkkuus, 95 %n luotettavuusväli

Depth, mm

Measuring accuracy, 95 % conf.level



Malka, m

Distance, m

HELSINGIN YLIOPISTO
MAATALOUSTEKNOLOGIAN LAITOS
Tutkimustiedote n:o 63

**MENETELMÄ SALAOJAN ASENNUSTARKKUUDEN OJITUSTYÖN AI-
KAISEEN KONTROLLOINTIIN**

AN ON-LINE METHOD FOR CONTROLLING SUBSURFACE DRAINAGE
INSTALLATION PRECISION

ISBN 951-45-5453-1
ISSN 0357-5799

Haapala, Hannu
1990

Sisällysluettelo

ESISANAT

YDIN

ABSTRACT

1. Johdanto	1
2. Salaojan asennustarkkuus ja sen mittaaminen	2
2.1. Asennustarkkuuden merkitys ja siitä annetut määräykset ..	2
2.2. Asennustarkkuuden mittaaminen	3
2.2.1. Ojitusyön aikainen asennustarkkuuden mittaus ..	5
2.2.2. Ojitusyön jälkeinen asennustarkkuuden mittaus ..	9
2.3. Tutkimuksessa kehitetty menetelmä	12
3. Mittausmenetelmän kehitystyö	14
3.1. Anturit	16
3.2. Tiedonkeruulaite	19
3.2.1. Signaalien käsittely	20
3.2.2. Tiedonkeruulaitteen ohjelma	21
3.3. Järjestelmää ohjaava kannettava mikrotietokone	22
3.3.1. Mikrotietokoneen ohjelmat	22
3.4. Mittauslaitteiston käyttö	23
4. Laitteiston testaus	25
4.1. Staattinen testaus	26
4.2. Dynaaminen testaus	31
4.3. Kenttäkokeet	34
5. Tulosten tarkastelua	46
5.1. Tulosten luotettavuus	46
5.2. Tulosten vastaavuus	46
5.3. Jatkotutkimustarve	48
5.3.1. Laitteiston jatkokehitys	48
5.3.2. Kolmiulotteinen paikantamismenetelmä	50

KIRJALLISUUS

LIITTEET 1-4

ESISANAT

Salaojaputken asennustarkkuus vaikuttaa suoraan salaojien toimivuuteen. Ylöspäin suuntautuvat putken asennuksen poikkeamat voivat saada aikaan ilmataskuja ja alaspäin suuntautuvat sedimentin kerääntymistä. Nämä lisäävät veden virtausvastusta ja saattavat aiheuttaa pidemmällä aikavälillä putken tukkeutumisen.

Kaivavilla salaojakoneilla asennustarkkuuden tarkistus on yleensä tehty manuaalisesti ennen kaivannon täyttämistä. Luotettavan tarkistuksen vaikeudesta johtuen se on voitu tehdä vain pistokokeen omaisesti muutamista ojista. Aurasalaojakoneilla tehdyssä salaojituksessa manuaalinen tarkistus on vaikeampaa, koska kone ei jätä avonaista kaivantoa jälkeensä. Tämä yhdessä salaojakoneiden kasvaneen työnopeuden kanssa on lisännyt reaaliaikaisen mittauksen tarvetta. Asennustarkkuuden välitön dokumentointi helpottaa myös 80-luvun puolivälissä Suomessa käyttöön otetun salaojituksen laatutakuun tulkintaa.

Kesällä 1987 Salaojituksen tukisäätiö aloitti tutkimuksen, jossa pyrittiin kehittämään mittausten menetelmä, jolla voitaisiin määrittää salaojaputken vertikaalinen asema reaaliajassa salaojitustyön aikana. Kehitetty menetelmä perustui laserlaitteistoon, kallistus- ja asemaantureihin sekä tiedonkeruulaitteistoon. Tällä prototyyppilaitteistolla ei tehty kenttämittauksia.

Kenttäkelpoisen version kehittämiseksi tutkimusta jatkettiin Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksella Maatilatalouden kehittämisrahaston ja Salaojituksen tukisäätiön rahoituksella. Maatilatalouden kehittämisrahaston asettamassa valvojakunnassa toimivat puheenjohtajana prof. Osmo Kara ja jäseninä tj. Jussi Saavalainen, tstoins. Ilkka Rein, prof. Aarne Pehkonen ja lab.ins. Erkki Tuononen. Heille tutkimusryhmä haluaa esittää parhaimmat kiitokset tuesta ja vinkeistä tutkimuksen aikana. Tiedonkeruulaitteen uuden version rakentamisesta vastanneelle TKK:n sovelletun elektroniikan laboratorion henkilökunnalle, erityisesti lab.ins. Raimo Salmiselle sekä tekn. yo Kari Nikkaselle, kiitos joustavasta yhteistyöstä. Tuurinkoski Oy:n toim.joht. Juha Tuurinkoskelle ja ojitusryhmän johtajalle Heikki Tuurinkoskelle ja muulle henkilöstölle kiitos myönteisestä asenteesta ja siitä, että tutkimuksen kenttäkoe voitiin kiireellisestä ojitussesongista huolimatta tehdä täysipainoisesti. Lisäksi kiitos kenttätutkimustyön tekniseen toteuttamiseen saadusta tuesta ja avusta. Tutkimusapulaisina toimineille Pentti Niemelle, Teijo Pitkärannalle ja Jukka Rahkoselle kiitos ahkerasta työpanoksesta tarkistusmittauksissa.

Tutkimuksesta on jo ilmestynyt tutkimustiedote Salaojan asennustarkkuuden merkitys (Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksen tutkimustiedote n:o 60). Se on kirjallisuusselvitys asennustarkkuuden vaikutuksesta ojan toimivuuteen.

Tutkimusryhmä toivoo oheisessa raportissa esitellyn menetelmän mahdollistavan salaojien asennustarkkuuden reaaliaikaisen mittausmenetelmän yleistymisen, tietäen laitteiston vaativan vielä jatkokehittelyä tullakseen täysin käytännön vaatimustasoa vastaavaksi.

Helsingissä 18.06.1990

Tarmo Luoma
tutkimuksen johtaja

Hannu Haapala
tutkija

YDIN

Tässä Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksen tutkimuksessa kehitettiin salaojan asennustarkkuutta mittaava laite. Laitteen kehitystyön rahoittajina olivat Salaojituksen tukisäätiö ja Maatilatalouden kehittämisrahasto. Mittaus perustuu laser-teknikkaan: pellon reunalle pystytetään laserlähetin, joka muodostaa lasertason tunnetulle korkeudelle. Salaojakoneessa olevalla laitteistolla mitataan pystysuora etäisyys putken yläreunasta lasertasoon. Mittaus pystytään tekemään ojitustyön aikana.

Salaojakoneeseen kiinnitetty laitteisto koostuu laservastaanottimesta, potentiometrianturista, kahdesta kallistusanturista, matkapyörästä ja tiedonkeruulaitteesta. Laservastaanotin on kiinnitetty salaojakoneen ryömään siten, että sillä pystytään mittaamaan ryömän korkeusasema lasertasoon nähden. Potentiometri mittaa putken korkeusasemaa ryömään nähden, kallistusantureilla mitataan ryömän kallistusta, ja matkapyörällä kuljettua matkaa. Antureista saatu informaatio rekisteröidään tiedonkeruulaitteella, jota ohjaa mikrotietokone. Mittaus tehdään 50 mm:n välimatkoin.

Laitteisto testattiin laboratorio-olosuhteissa ja kenttäkokeissa. Koetulosten perusteella laitteen voidaan todeta täyttäneen asetetun ± 5 mm:n mittaustarkkuusvaatimuksen ja olevan varsin kenttäkelpoinen.

ABSTRACT

This study involves development of an automatic subsurface drainage installation precision measurement system in Finland, at University of Helsinki, Department of Agricultural Engineering, in 1987-1990. The measurement system is based on laser technology: a laser transmitter, which generates a laserplane to known height, is placed at the edge of a field. Devices installed to the inspected drainage machine measure the vertical displacement of drain pipe from the laser level. Measurement is designed to take place during installation work.

The measurement system comprises laser receiver, potentiometer, two tilt sensors, distance wheel, data acquisition unit and portable microcomputer. The receiver is attached to drainage machine, on the body of digging head or plow, in such a manner that evenness of trench can be measured. The potentiometer measures pipe displacement from digging head or plow. The tilt sensors determine inclination of receiver mast, and the distance wheel controls the whole measurement system. The data acquisition unit, which is controlled by the microcomputer, collects sensor outputs at 50 mm intervals. Data are stored to diskettes and later processed in PC.

The measurement system was tested in laboratory and in field conditions. According to test results, the system completes the required precision of ± 5 mm and it is suitable for field use.

1. Johdanto

Suomessa salaojan asennustarkkuutta on perinteisesti mitattu ojitustyön aikana urakoitsijan tarkistaessa työjälkeään. Ojitustyömaiden tarkistusten yhteydessä salaojateknikko mittaa muutamia satunnaisesti valittuja ojia. Tarkistuksia ei ole tehty myöhemmin kuin poikkeustapauksissa (KESO 1951, 166, SAAVALAINEN 1981, 26-27, 1-2, PEHKONEN 1986). Valtion lainaa tai avustusta saaneessa salaojitushankkeessa valvojana toimii Maatila-asetuksen mukaan Salaojakeskus tai vesitoimisto. Tällaisen hankkeen työn aikainen laadun tarkistus sisältää materiaalien, työn toteutuksen ja työn tuloksen arvioinnin. (SAAVALAINEN 1981, 27-29) Näistä kuuluu tämän tutkimuksen piiriin asennustyön tuloksen arviointi.

Käsisasennuksen ollessa yleistä tarkistus tehtiin ennen putken laskua. Tällöin oli mahdollista helposti tutkia kaivannon pohjan tasaisuutta. Kaivannon pohjan tarkistuksessa käytettiin ojaan kaadettua vettä, jonka pinnan leveyden vaihtelusta veden asetuttua ojan pohjalle on mahdollista päätellä, miten tasainen ojan pohja on. Työn aikana ojan kaltevuutta ja kaltevuuden tasaisuutta on näihin päiviin asti mitattu ajokepin ja tähtäyssihtien avulla. Työn laadun jälkitarkistuksessa on käytetty lattaa ja vaakituskonetta. (KESO 1951, 166-167, SAAVALAINEN 1981) Koneellisen salaojituksen yleistyessä ja salaojitusmäärien kasvaessa on tarkistustyön vaatima työmäärä kasvanut merkittävästi. Samalla ojituksen laadun seuranta on tullut entistä tärkeämmäksi, koska on voitu todistaa epätarkan asennuksen aiheuttavan ojaston toimintahäiriöitä.

Tutkimukset ovat osoittaneet, että sekä käsisäätöisiä että automaattisia työsyvyyden säätöjärjestelmiä voidaan käyttää väärin. Toisaalta eri kaivumenetelmillä saadaan oikein käytettynä määräykset täyttäviä ojia. (VOSS ja ZIMMERMANN 1972,

LHOTZKY ja COLLINS 1975, OLKINUORA ja ESALA 1982, VAKKILAINEN ja SUORTTI-SUOMINEN 1982) Tarkistustyön tehostamiseksi on eri maissa kehitetty vaihtelevia automaattiseen tiedonkeruuseen perustuvia asennustarkkuuden rekisteröintimenetelmiä. Koska käsiasennusta ei enää tehdä merkittävästi, niin seuraavassa käsitellään ainoastaan koneelliseen salaojitukseen soveltuvia mittaamenetelmiä.

2. Salaojan asennustarkkuus ja sen mittaaminen

Seuraavassa esitellään asennustarkkuuden mittauksen teoriataustaa, asennustarkkuudelle asetettavia vaatimuksia ja mittaukseen käytettyjä menetelmiä. Kappaleen yhteenvedossa (2.3.) verrataan tutkimuksessa valittua menetelmää muihin menetelmiin. Käsitelyn tarkoituksena on osoittaa, mihin valittua menetelmää voidaan käyttää ja mitkä ovat sen edut ja haitat muihin mahdollisiin mittaamenetelmiin nähden. Kehitetyn menetelmän tekniset yksityiskohdat käsitellään kappaleessa 3.

2.1. Asennustarkkuuden merkitys ja siitä annetut määräykset

Asennustarkkuuden merkitystä ojan toiminnalle on käsitelty aikaisemmin erillisessä kirjallisuustutkimuksessa (HAAPALA ja LUOMA 1989). Sen mukaan epätarkasta asennuksesta seuraa, että ojituksen kuivatusvaikutus jää puutteelliseksi ja pohjaveden pinta nousee mitoitusta korkeammalle. Kuivatusvaikutus heikkenee, koska suuret poikkeamat aiheuttavat virtausvastusta kohottavien vesi- ja ilmataskujen syntymistä putkilinjaan. (mm. BELLIN 1979, de BOER 1987, 3-6) Jos ojan kallistus on liian pieni, niin ojassa ei ole tarpeeksi suurta painetta, jotta vesi virtaisi suunnitellulla nopeudella. Tällä on merkitystä sekä ojan vedenkuljetusteholle että veden sisältämän sedimentin kuljetukselle. Jos virtausnopeus on sedimentoituvaa ainesta sisältävällä

vedellä kriittistä arvoa pienempi, niin putken pohjalle kertyy sedimenttiä. (mm. KELLETT ja ASMSTRONG 1980, 7, JAMES ja KING 1984, 1758) Suomessa käytetään Keson 1920-luvulla laatimia periaatteita, joiden lähtökohtana on, että ojat ovat itsepuhdistuvia ts. niissä on riittävä vähimmäispudotus ja veden nopeus kasvaa ojas-
tossa alaspäin mentäessä. Mitoituksessa käytetään ns. varmuuskerrointa, joka sallii
pienet toleranssit suunnitellusta asennussyvyydestä ja kallistuksesta. (SAAVALAI-
NEN 1981, 10, 92-99, ANON. 1987))

<i>Tavallisesti</i>	<i>Erikoistapaus</i> ⁽¹⁾
$< \pm 2 \text{ cm}$	$< \pm 1 \text{ cm}$

- 1) *Jos kaltevuus < 0.9 %. Raskaslietteisillä maalajeilla (hieta, hiesu), kun kaltevuus < 1.2 %.
Erimerkkiset sallitut maksimipoikkeamat eivät saa esiintyä alle 10 metrin matkalla (= vesitaskuja
ei saa esiintyä).*

2.2. Asennustarkkuuden mittaaminen

Salaojan asennustarkkuus voidaan käsittää joko kolmiulotteisesti tai ainoastaan sy-
vyysuunnassa. Ojan asentamisen tarkkuuteen liittyy kiistatta suunnitelman toteutta-
minen myös karttatasossa, mutta se ei kuulu tämän tutkimuksen aiheeseen, joten sitä
ei tässä käsitellä enempää. Asennustarkkuutta käsitellään seuraavassa ainoastaan ver-
tikaalitasossa.

Koneellisessa salaojituksessa putki lasketaan ojaan välittömästi, eikä kaivannon poh-
jan tasaisuutta voida tämän jälkeen mitata häiritsemättä putkea. Aurasalaojakone li-
säksi sulkee kaivannon työn yhteydessä, jonka vuoksi kaivannon pohjan laatua ei
voida arvioida visuaalisesti. (OLKINUORA ja ESALA 1982, VAKKILAINEN ja
SUORTTI-SUOMINEN 1982)

Kaivannon pohjan tasaisuus on ollut erittäin tärkeää tiiliputkia käytettäessä, koska ojan pohjan epätasaisuus saa aikaan virtausvastusta kohottavia pykälää liitoskohtien kohdalle. Muoviputkiojituksessa ojan pohjan vähäiset epätasaisuudet eivät ratkaise ojalinjan virtausvastusta siinä määrin kuin tiiliputkella. Muoviputken alle voi toisaalta asennuksen yhteydessä kulkeutua helpommin maa-ainesta tai ympärysainetta kuin tiiliputken alle, koska muoviputki on kevyt. Tästä syystä kaivannossa oleva vesi voi nostaa peittämätöntä muoviputkea ylöspäin, jolloin maata pääsee putken alle kaivannon täytön aikana. Kerällä ollut muoviputki voi pyrkiä ojassa takaisin muotoonsa ja aaltoilemaan, mikäli sitä ei sopivasti jännitetä asennuksen yhteydessä. (KESO 1951, SAAVALAINEN 1981, ASAE 1987) Tiiliputken käyttö on vähenemässä, joten jatkossa asennustarkkuutta käsitellään muoviputken asettamista vaatimuksista lähtien.

Kaksiulotteisessa vertikaalisessa lähestymistavassa on asennustarkkuus mahdollista jakaa *kaivannon kaivutarkkuuteen ja putken asetustarkkuuteen*. Näissä voidaan vielä erottaa *ajan funktiona tapahtuvat muutokset* kaivannon stabiloituessa. Tästä syystä asennustarkkuutta pitää arvioida sekä työn aikana että sen jälkeen. Asennustarkkuutta voidaan tiedon käyttötarkoituksen perusteella mitata joko kaivannon pohjasta, putken päältä tai sisältä tai jostakin salaojakoneen osasta (kuvio 1).



*Kuvio 1.
Salaojan asennustarkkuuden mittaukseen käytettyjä menetelmiä mittauksen tekoajan ja mittauskohteen mukaan jaoteltuna.*

2.2.1. Ojityön aikainen asennustarkkuuden mittaus

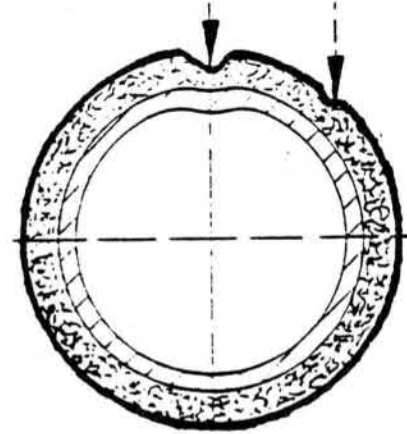
Työn aikaiseksi mittaukseksi rajataan tässä mittaus, joka tapahtuu työsuorituksen yhteydessä tai välittömästi sen jälkeen. Tästä johtuu, että tässä osassa käsitellään myös lattamenetelmää vaikka siinä mittaus tehdään putken laskun jälkeen. Työn aikaisen mittauksen kriteerinä on se, miten mittauksella saadaan selville salaojakoneen välittömästi aiheuttama kaivannon tasaisuus ja putken asetustarkkuus kaivannon pohjalle.

Työn aikainen mittaus antaa urakoitsijalle mahdollisuuden seurata salaojakoneen toimintaa. Säättöjen muutokset ja häiriötilanteet ovat helpompia käsitellä, kun työn tuloksesta on eksaktia tietoa. Viljelijälle työn aikainen laadun kontrollointi on myös tärkeää, koska työn aikana tehdyistä tarkistuksista hän saa nopean palautteen, ja täten työjälkeä voidaan vielä parantaa ennen lohkolta poistumista. Työmaalla tehdyt korjaukset ovat taloudellisesti mielekkäämpiä ja helpompia tehdä kuin ojan toimintahäiriöstä havaittujen virheiden korjaukset. (PUUSTINEN ja PEHKONEN 1986, PUUSTINEN, VARIS ja LUOMA 1987) Kun asennustarkkuus mitataan ojitusketkellä, saadaan toimintahäiriötapauksessa selvemmin erotettua asennustyön osuus viljelyn ja suunnittelun vaikutuksesta.

Asennusta tarkistaessaan salaojateknikko määrittää asennustarkkuuden manuaalisesti putken päälle asetettua lattaa tai prismaa käyttäen. Latta luetaan vaakituskoneella ja prisma takymetrillä. Lukematarkkuutena käytetään ± 5 millimetriä. Mitattavat ojat valitaan mielivaltaisesti, ja otostiheyttä lisätään mikäli havaitaan virheitä. Tarkistuksen perusteella tehdään raportti, joka liitetään ojitusasiakirjoihin. (SAAVALAINEN (1981, 29))

Teleskooppiseen lattaan voidaan kiinnittää laserilmaisim, jolloin mittaus tehdään tasolaserin muodostamaan tunnettuun referenssitasoon nähden. Tämä ns. laserlatta-menetelmä on rationaalinen, koska se on tarpeeksi tarkka ja tarvitsee vain yhden työntekijän. (ks. kuva 3 s. 37)

Latta tulee asettaa pystysuoraan ja putken keskikohdalle. Jotta mittaus onnistuisi, on putki paljastettava tai putken on muulla menetelmällä löydyttävä luotettavasti. Lattan käytöllä on haittana se, että latta voi siirtää putkea, painaa putkea alaspäin tai tunkeutua ympärysaineeseen. Nämä tekijät aiheuttavat epävarmuutta mittaustulokseen. (LHOTZKY ja COLLINS 1975, kuvio 2)



Kuvio 2.

Lattan asettaminen putken päälle voi siirtää tai painaa putkea. Latta voi osua putken keskikohdan sivuun, ja lattan pää voi tunkeutua ympärysaineeseen eri syvyyksille. (LHOTZKY JA COLLINS 1975)

Ojitustyön aikaiseen tai välittömästi sitä seuraavaan asennustarkkuuden mittaukseen on tutkimustarkoituksessa käytetty pääasiasa vaakitusta. Suomessa OLKINUORA ja ESALA (1982) mittasivat aurasalaojakoneen työjälkeä kahdeksalla eri menetelmällä. Näistä kuusi oli erilaisia asennuksen jälkeen putken päältä mittaavan lattamenetelmän versioita. Putken paljastaminen ja lattan asettaminen putken päälle toteutettiin eri versioissa eri tavoin. Kahdessa menetelmässä asennustarkkuus pyrittiin mittaamaan lattan avulla *liikkuvasta* salaojakoneesta. Toisessa latta oli kiinnitetty sorasuppiloon ja toisessa putken päällä olevaan painorullaan kiinnitettyyn tankoon. Lukemat luettiin 2..7 m:n välein vaakituskoneella. VAKKILAISEN ja SUORTTI-SUOMISEN (1982) samaa aihetta koskevassa tutkimuksessa latta asetettiin putken päälle sorasuppilon kautta ennen sorastusta tai sorasuppilon jälkeen soran läpi. Tutkimuksessa kehitettiin myös putken aseman epäsuoraa määrittämistä vaaitsemalla auran

korkeusasema. Menetelmät edellyttivät salaojakoneen pysäyttämistä mittauksen ajaksi. Mittaukset tehtiin 2..4 m:n välein.

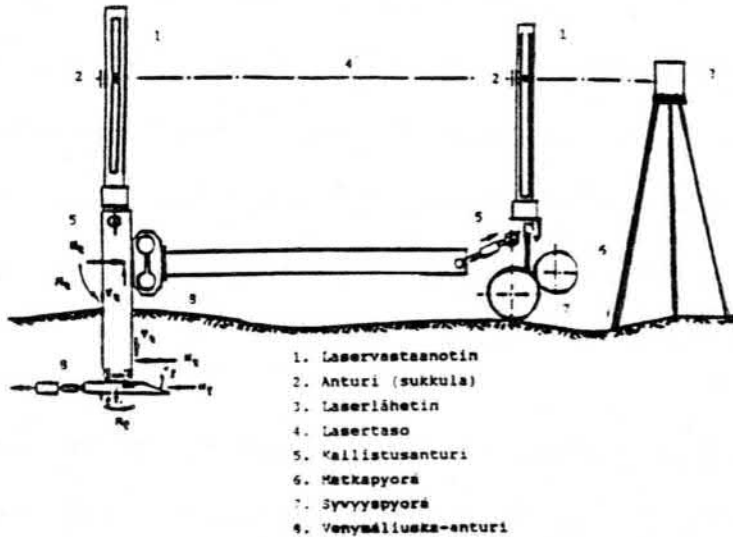
Suomalaisissa tutkimuksissa käytetyt menetelmä ovat olleet manuaalisia, ts. tiedonkeruu on tehty käsin. Mittaukset on tehty varsin harvalla välillä, joten asennustarkkuudesta ei ole voitu saada luotettavaa kuvaa (ks. 2.2.2., de BOER 1987). Asennuksen aikana tehdyt mittaukset ovat ilmeisesti haitanneet työsuoritusta melkoisesti, ja pysähdykset ovat aiheuttaneet mittausvirhettä. Mittaukset ovat olleet varsin työläitä ja siten kalliita käytäntöön sovellettaviksi.

Asennustarkkuuden selvittäminen edellyttää huomattavasti tiheämpää mittausta kuin mihin manuaalisilla menetelmillä on päästy. Reaaliaikainen mittaus ei ole ollut käytännössä mahdollista, joten urakoitsija ei ole saanut tarvitsemaansa välitöntä palautetta työn laadusta. Yleisenä pyrkimyksenä on näistä syistä maailmanlaajuisestikin ollut kehittää automaattisia reaaliaikaisia mittausmenetelmiä.

Automaattista salaojakoneen asennustarkkuuden ojitustyön aikaista mittausta ei ollut tämän tutkimuksen aloitushetkellä toteutettu, joten suuri osa tutkimuspanoksesta käytettiin laitteen kehittelyyn. Reaaliaikainen mittaus edellyttää mittauslaitteiston kiinnittämistä salaojakoneeseen, joten tutkimuksen alussa laitteiston ytimeksi valittiin ojitussyvyyden säätöön käytetty laserjärjestelmä, jota tiedettiin käytetyn U.S.A.:ssa myös pellon pinnanmuotojen kartoitukseen.

Kun ensimmäinen prototyyppi (ks. kpl 3) valmistui, kirjallisuudesta löydettiin tutkimus, jossa samaista laserlaitteistoa oli sovellettu. Englannissa (Silsoe College, Institute of Technology, Bedford) GODWIN et. al. (1987) ovat rakentaneet mittauslaitteiston, jolla tutkitaan maahan tunkeutuvien työkoneiden, mm. salaojakoneiden, dynamiikkaa laboratorio- ja kenttäolosuhteissa. Laitteistoon kuuluvat maahan tunkeutuvaan kappaleeseen

vaikuttavia voimia ja työsyvyyttä mittaavat osat. Käsillä olevaa tutkimusta kiinnostava osa on jälkimmäinen, jossa käytetään tasolasertekniikkaa. Kenttäolosuhteisiin tehty myyräsalaojakoneeseen kiinnitetty työsyvyyttä mittaava laitteisto sisältää samanlaiset laseranturit kuin tässä tutkimuksessa käytettiin. (kuvio 3).



*Kuvio 3.
 Myyräsalaojakoneen
 työsyvyyttä ja terään
 vaikuttavia voimia
 mittaava laitteisto
 (GODWIN et. al.
 1987).*

Koska GODWIN et. al. (1987) keskittyvät voimien mittaukseen työsyvyyden vaihdellessa, niin mittausanturit luetaan samanaikaisesti (voimien muutokset ovat nopeita, dominoivat taajuudet n. 10 Hz). Koska järjestelmää ohjaa tiedonkeruulaitteen kello, niin mittaustiheys riippuu ajonopeudesta. Kanavien lukutiheys on 40 Hz, joten 0,2 m/s (0,72 km/h, aurakoneen käytännön maksimijonopeus) ajonopeudella mittauspisteitä saataisiin 5 mm:n välein. Koska kanavia luetaan näin nopeasti ja muisti on rajoitettua, niin tietoa pystytään tällä järjestelmällä kokoamaan vain noin yhden minuutin ajan kerrallaan. Laite on puhtaasti tutkimustarkoituksiin rakennettu, joten luhyestä mittausjaksosta ei tässä tapauksessa ole haittaa.

Työn aikaiseen mittaukseen esittävät VAKKILAINEN ja SUORTTI-SUOMINEN (1982) salaojakoneen säätöjärjestelmän laservastaanottimen korkeusmuutosten seuraamista. Tämä mittaustapa ei kuitenkaan osoittaisi salaojan pohjan, saati sitten putken asentamisen, tasaisuutta. Laservastaanotin toimii säätöjärjestelmän matkapyörän

ohjaamana siten, että teleskooppinen laservastaanottimen kiinnitysvarsi lyhenee matkan funktiona ohjauspaneelistä asetetun kallistustavoitteen mukaisesti. Vastaanottimen aktiivinen osa pyritään pitämään lasertasossa salaojakoneen ryömän hydrauliliikalla. Vastaanottimen varsi ei siten lyhene, vaikka lasertaso ei osuisikaan vastaanottimen keskelle. Jos vastaanottimen liikettä rekisteröidään, saadaan vain selville, miten teleskooppi lyhenee, jolla tiedolla tuskin on käyttöarvoa. Paremman kuvan asennustarkkuudesta saisi, jos rekisteröitäisiin lasersäteen osumiskohta vastaanottimelle. Tällainen järjestelmä soveltuisi ainoastaan laserohjauksisiin koneisiin.

Jos halutaan kehittää menetelmä, jolla pystytään mittaamaan kaikkien salaojakonetyyppien asennustarkkuus, tulee sen olla riippumaton työsyvyyden säätöjärjestelmistä. Kontrollijärjestelmän tulee virhemahdollisuuksien minimoimiseksi toimia itsenäisesti, ilman salaojakoneen omia säätölaitteita. (Tässä tutkimuksessa kehitetty laitteisto: ks. 2.2.3. ja 3.)

2.2.2. Ojitus työn jälkeinen asennustarkkuuden mittaus

Putki voi siirtyä asennuksen jälkeen, jos kaivanto on löyhä, sen pohja on heikosti kantava, maa kuivuessaan laskeutuu tai putkeen kohdistuu jokin ulkoinen siirtävä voima. Näin käsiteltynä asennus ei ole kertaluonteinen ilmiö vaan se vaihtelee ajassa. On ilmeistä, että epätasaiselle pohjalle asennettu putki liikkuu todennäköisemmin kuin tasiselle pohjalle asennettu, koska kaivanto tiivistyy asennuksen jälkeisinä kasvukausina (mm. KOWALD ref. PUUSTINEN ja PEHKONEN 1986, BOELS 1979) ja voi siten painaa putkea tiiviimmin kaivannon pohjan mukaisesti.

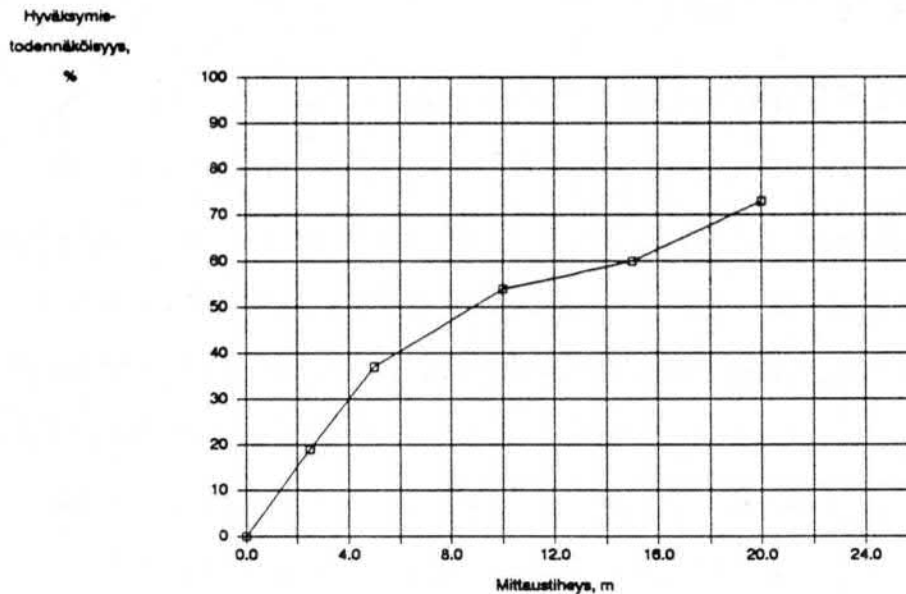
Lattamenetelmää on käytetty ojituksen jälkeiseen tarkistukseen toimintahäiriötutkimuksissa (PUUSTINEN ja PEHKONEN 1986) ja salaojitusmenetelmien vertailussa (OLKINUORA ja ESALA 1982, VAKKILAINEN ja SUORTTI-SUOMINEN

1982). Lattamenetelmän käyttö työn jälkeisessä tarkastuksessa on työlästä, koska kairaus on suljettu. Tästä syystä johtune se, että mittaustiheys on tavallisesti erittäin harva (3..25 m). Putken kallistus mitataan tavallisesti vain kahdesta pisteestä, jolloin pisteen valinta vaikuttaa mittaustulokseen. Asennuksen tasaisuutta ei harvalla mittaustiheydellä pystytä selvittämään. de BOER (1987) laskee, että jopa varsin tiheällä 2,5 m:n mittaussivellillä mahdollisuus hyväksyä virheellinen oja on 19 % (taulukko 1, kuvio 4).

Taulukko 1.

Todennäköisyys hylätä määräyksiä täyttämätön oja, kun käytetään vaatimusmenetelmää eri mittaustiheyksillä (de BOER 1987). n = 63.

Mittaustiheys m	Hylätty määrä kpl	Hylkäämistodennäköisyys verrattuna erittäin tiheään mittaukseen, %
20	17	27
15	25	40
10	29	46
5	40	63
2,5	51	81

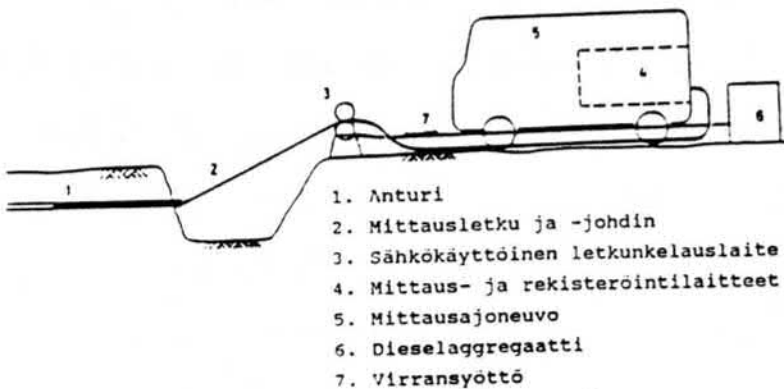


Kuvio 4.

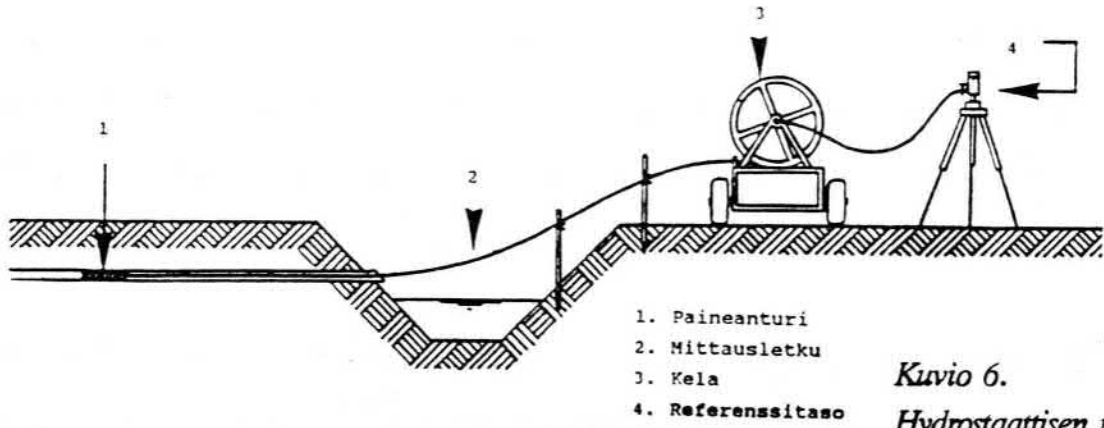
Mahdollisuus hyväksyä määräyksiä täyttämätön oja käytettäessä vaatimusmenetelmää eri mittaustiheyksillä (de BOER 1987).

de BOER (1987) päättelee, että lattamenetelmää käytettäessä tulisi mittaukset tehdä vähintään 2,5 m:n välein tai jos harvempaa mittausta käytetäänkin, niin merkittävä osa ojista tulee tarkistaa satunnaisesti *yhden metrin tiheydellä*. Kuviosta 3 päätellen tällöin hyväksytään vielä yli viiden prosentin riskitaso.

Tiheää mittausta käytettäessä tarkistuksen työmäärä kasvaa dramaattisesti. Työn helpottamiseksi on Saksan Liittotasavallassa kehitetty salaojaputken sisälle työnnettäviä antureita, joiden avulla salaojia on tarkistettu jo 1970-luvun puolivälistä alkaen. Ensin kehitettiin magneettikentässä liikkuvaan heiluriin perustuva laite ja myöhemmin hydrostaattista painetta mittaava laite. Magneettikentässä liikkuvaa heiluria käytettäessä joudutaan mittaamaan erittäin tiheästi (alle 1 cm:n välein), jotta heilurin liikkeestä laskettavan ojasyvyyden integrointivirhe pysyisi kohtuullisena. Tästä seuraa, että mittausta on hidasta ja se vaatii tiedonkeruulaitteelta runsaasti muistia. (LHOTZKY ja COLLINS 1975) Hydrostaattinen menetelmä mittaa paine-eroa referenssitason nestepinnan ja putkessa olevan anturin väliltä (de BOER 1987). Menetelmän heikkoutena on hitaus (0,12 m/s) ja pakkasherkyys. Kummallakin edellä mainitulla menetelmällä voidaan mitata vain 100-200 m pitkiä ojia. (kuviot 5 ja 6)



Kuvio 5.
 Magneettikentässä liikkuvaan heiluriin perustuva anturi (LHOTZKY ja COLLINS 1975).



*Kuvio 6.
Hydrostaattisen paineenmittaukseen perustuva arituri (de BOER 1987).*

2.3. Tutkimuksessa kehitetty menetelmä

Tutkimuksen lähtökohtana oli tarve mitata asennustarkkuutta automaattisesti salaajakoneesta työn aikana. Koska aurasalajakoneet ovat yleistyneet, niin tavoitteena oli myös päästä eroon tarpeesta kaivaa putki esille tarkistusta varten. Menetelmän rekisteröivän osan tuli olla salaajakoneeseen helposti liitettävä kenttäkelpoinen tutkimuslaite, josta on helposti mahdollista tehdä koneeseen kuin koneeseen kiinnitettävä laadunvalvontalaite.

Yhteenvedona edellisestä voidaan todeta, että jos käytännössä havaittavaa asennustarkkuutta halutaan selittää eri ojitusmenetelmillä, niin asennustarkkuuden syntyä ja siinä tapahtuvia muutoksia pitää tutkia *sekä ojituksen aikana että sen jälkeen*. Ojituksen aikaiseen mittaukseen ei tähän mennessä ole ollut menetelmää, jolla asennustarkkuus olisi voitu käytännössä luotettavasti, ilman merkittävää virheriskiä, selvittää. Asennustarkkuuden mittaus tulisi tehdä tiheästi; alle yhden metrin mittaustiheys on minimivaatimus. Mikäli manuaalisilla menetelmillä pyritään tiheään mittaussväliin ja tarkkuuteen, niin ne ovat varsin työläitä ja siten kalliita toteuttaa.

Jos asennustarkkuutta mitataan ojitustyön aikana salaojakoneesta, niin se on putken mahdollisen liikkumisen vuoksi mitattava sekä ryömästä että putken päältä. Ryömän liike kuvaa varsin hyvin ojan pohjan tasaisuutta ja putken asettuminen ryömään nähdessä putken laskun välitöntä onnistumista. Jos ryömän liikkeiden ja putken asettumisen välillä on suuria vaihteluita, on todennäköistä, että putki myöhemmin liikkuu. Toisaalta putken vaihteleva asettuminen voi johtua myös siitä, että putken alle pääsee valumaan materiaalia. Tämän vuoksi putken asema tulee mitata mahdollisimman läheltä sitä kohtaa, mihin putki jää pysyvästi asennuksen jälkeen.

Tässä kehitetyllä laitteella pystytään selvittämään, miten putki asettuu maahan välittömästi ojituksen yhteydessä, ts. *salaojakoneen syvyydensäädön ja putkenlaskujärjestelmän aiheuttama osuus ojan asennustarkkuudesta saadaan selville*. Mikäli putkea ei sorasteta tai muulla tavoin painoteta ojan teon yhteydessä, kevyt putki voi siirtyä kaivannon pohjalle asettamisen jälkeen. Tätä on pidettävä virheellisenä ojitustekniikkana, joka ei johdu salaojakoneen syvyydensäätöjärjestelmästä. Asennustarkkuutta ei ole tässä tapauksessa mahdollista tutkimuksessa kehitetyllä laitteella selvittää luotettavasti. Sorastuksen seurantalaitte tulisi rakentaa erikseen.

Jos menetelmä jättää löyhän kaivannon, niin sen tiivistyessä putki voi myöhemmin liikkua. Tiivistymisen vaikutuksista tulisi kuitenkin tehdä erillisiä tutkimuksia, koska siihen vaikuttaa pellon ojituksen jälkeinen viljely (BOELS 1979, KOWALD ref. PUUSTINEN ja PEHKONEN 1986).

3. Mittausmenetelmän kehitystyö

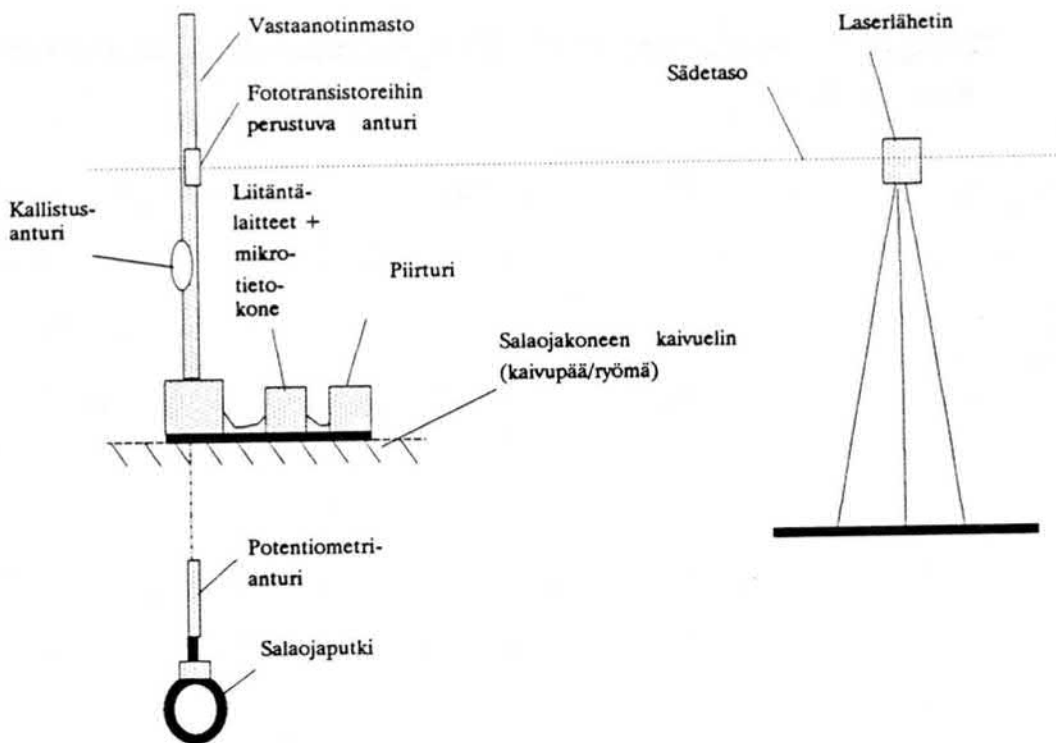
Laitteiston kehittäminen aloitettiin Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksella kesällä 1987, jolloin tutkija selvitti mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja ja rakensi laitteiston ensimmäisen prototyypin. Vuosina 1988-90 laitteistosta kehitettiin saadun lisärahoituksen avulla IBM-yhtensopivaan kannettavaan mikrotietokoneeseen liitettävä versio. Liitäntäyksikkö, johon asennettiin yhden piirin mikrotietokone, rakennettiin Otaniemessä Teknillisen korkeakoulun sovelletun elektroniikan laboratoriossa. Tämän prototyypin tutkija testasi laboratoriossa ja kesällä 1989 kenttäkokeissa. Ensimmäisessä vaiheessa yliopiston ulkopuolisena rahoittajana oli Salaojituksen tukisäätiö ja jälkimmäisessä Maatilatalouden kehittämisrahasto.

Laitteen kehittelyn alkuvaiheessa vuonna 1987 tutkija valitsi järjestelmän toimintaperiaatteen ja siihen kuuluvat komponentit ja testasi rakentamiensa prototyyppien toimintaa laboratorio-olosuhteissa. Kuten aiemmin mainittiin, tällöin ei ollut vastaavaa laitteistoa toteutettu (ks. 2.2.2). Tasolaserin käytön valinta oli luontevaa, koska siihen perustuvia kenttäkelpoisia salaojakoneen säätöjärjestelmiä oli markkinoilla. Lisäksi salaojakoneen säätöön käytettävät anturit soveltuvat varsin pitkälle sellaisenaan asennustarkkuuden mittaukseen.

Markkinoilla olleista lasersäätöjärjestelmistä valittu Spectra-Physics Laserplane Analog System oli ainoa tarpeeksi herkkä ja nopea laitteisto soveltuakseen aurasalaojakoneidenkin asennustarkkuuden mittaukseen. Koska laitteistolla pitää pystyä mittaamaan kaikkia salaojakoneita, myös sellaisia, joissa ei ole lasersäätöä, niin ostettiin myös laserlähetin. Laitteiston anturit, potentiometriä lukuunottamatta, hankittiin samalta toimittajalta.

Vuonna 1987 rakennettu järjestelmä oli sovitettu CBM-laitteistoon erillisen liitäntäyksikön avulla, jota tutkija oli käyttänyt aiemmin pro gradu -työssään lämmenilma-kuivurin säädössä. Salaojaprojektia varten tutkija rakensi kallistusanturi-, masto- ja potentiometrisignaalien käsittelyyn tarvittavat lisälaitteet. Matkapyörä ohjasi piirturin pyörimisnopeutta ja anturiviesteistä laskettu jännite oli liitetty piirturin mittauskanavaan.

Kallistusanturien liitäntä oli toteutettu ikkunakomparaattoreilla ja B/I-liitäntäkortilla, jolloin erottelukyvyksi saatiin $2,5 \text{ } ^\circ \text{ } 20^\circ$ mittausalueelle. Lisäksi järjestelmässä oli diodinäyttö kallistukselle. Potentiometri oli liitetty A/D-muunninkorttiin, jolloin erottelukyvyksi saatiin n.1 mm. Mastosignaalin liittämiseksi tutkija rakensi liitäntäkortin, jolla oli kaksi ikkunakomparaattoria, schmittin triggeripiirit ja ylös-alas -laskuri, joka liitettiin mikron B/I-korttiin. (HAAPALA 1987, kuvio 7, liite 5)



Kuvio 7.

Mittauslaitteiston ensimmäinen prototyyppi (HAAPALA 1987).

Ensimmäisen prototyypin vaikeutena oli maston antaman pulssin pitkä kesto, joka aiheutti päällekkäisiä pulsseja laskurille. Tästä syystä laskurin lukema pyrki ryömimään sukulan liikuessa nopeasti. Puute korjattiin jatkorahoituksen avulla rakennetussa toisessa prototyypissä, jonka kehittelystä ja testauksesta tämä raportti pääasiassa kertoo. Toisessa prototyypissä tehtiin myös useita muita muutoksia:

Mittauslaitteiston tehtävät jaettiin uudelleen siten, että suunniteltiin erillinen tiedonkeruulaite, joka voidaan liittää mihin tahansa RS232C-liitännällä varustettuun mikeroon.

Tiedonkeruulaitteessa on oma mikroprosessori, joka huolehtii ohjelmansa avulla mittausdatan keruusta antureilta ja lähettää datan RS-liitännän kautta mikrolle.

Mikrotietokone vaihdettiin PC-yhteensopivaksi kannettavaksi koneeksi.

Koko laitteisto on akkukäyttöinen.

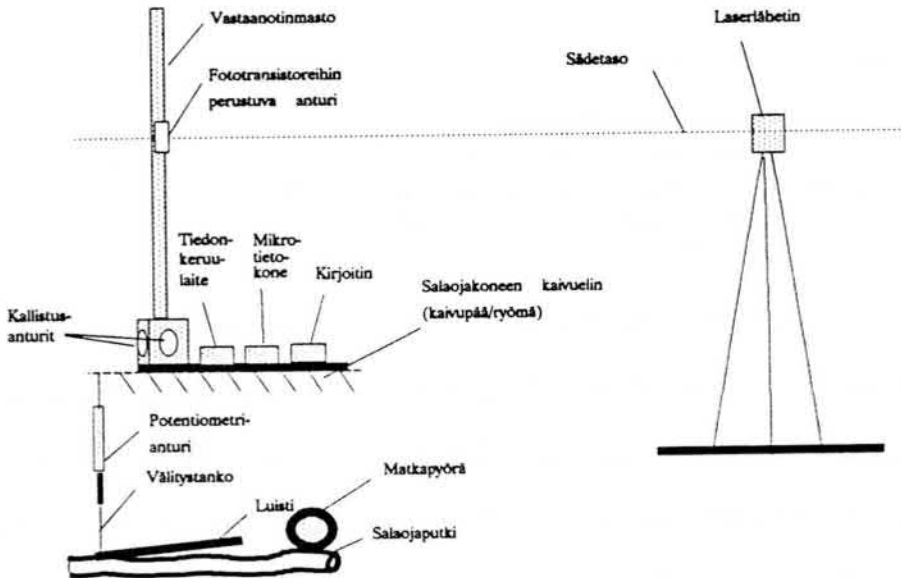
Matkapyörä ohjaa mittaustiheyttä eikä järjestelmän kello kuten aikaisemmassa versiossa.

Jatkossa käsitellään ainoastaan jälkimmäistä prototyyppiä. Laitteiston periaate on tutkijan asettama. (HAAPALA 1987) Tiedonkeruulaitteen kehitystyössä tutkija oli jatkuvasti yhteydessä suunnittelijaan. Tutkija vastasi prototyypin testauksesta, jatkokehittelystä ja siihen liittyvästä ohjelmiston teosta maatalousteknologian laitoksella.

3.1. Anturit

Menetelmä perustuu tasolaseriin, jonka ansiosta laitteiston muu osa voidaan asentaa salaojakoneeseen. Laserlähetin (Spectra-Physics EL-1) on pellon reunalla tunnetussa korkeusasemassa, johon nähden putken asema mitataan. Salaojakoneen ryömässä on kiinnitettynä laservastaanotinmasto (Spectra-Physics Receiver Mast 430000), joka mittaa lasertason korkeuden ryömään nähden. Ryömässä on kiinnitettynä poten-

tiometrianturi (Penny & Giles HLP SA 250), joka mittaa putken asettumista ryömään nähden. Ryömän kallistus mitataan kahdella anturilla (Spectra-Physics Tilt Sensor 430415). Salaojakoneen etenemä matka mitataan pulsseja antavalla matkapyörällä (Spectra-Physics GW9M Grade Breaker Wheel).(kuvio 8, liite 5)

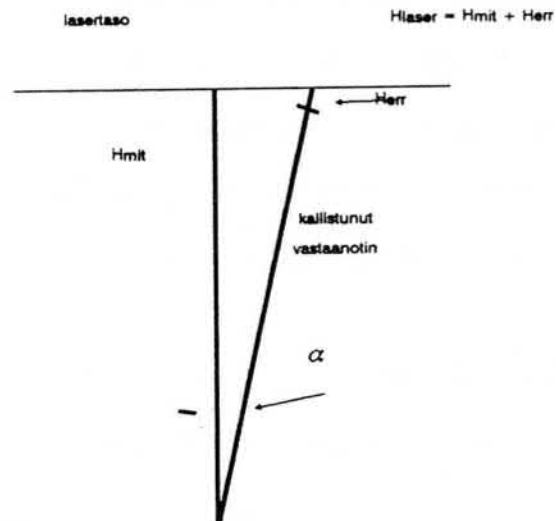


Kuvio 8.
Järjestelmän osat (periaatekuva).

Kallistus mitataan, jotta mittaustulos voidaan korjata. Korjaamaton mittaustulos olisi ryömän ollessa kallistettuna liian suuri (saataisiin liian suuria ojan syvyyksiä, kuvio 9). Kun kallistus tapahtuu yhteen suuntaan niin virhe on muotoa:

$$H_{err} = H_{laser}(1 - \cos(\alpha));$$

missä H_{err} = kallistusvirhe [m]
 H_{laser} = mitattu etäisyys lasertasoon [m]
 α = kallistuskulma [°]



Kuvio 9.
Kallistusta mittaavan vastaanottimen kallistuksen vaikutus ojan syvyyden mittaukseen.

Kuuden metrin mittaustuloksessa kymmenen asteen kallistus yhteen suuntaan merkitsee noin yhdeksän senttimetrin virhettä.

Mittausjärjestelmässä kallistusanturit on kiinnitetty toisiinsa nähden 90° kulmaan, jolloin mittaustulos korjataan kaavalla:

$$(1) \quad H_{mit} = H_{laser} / [1 + \tan^2(k_1) + \tan^2(k_2)]^{0,5};$$

missä H_{mit} = mitattu ojasyvyys
 H_{laser} = mitattu etäisyys lasertasoon
 k_1 = ensimmäisellä anturilla mitattu kallistus
 k_2 = toisella anturilla mitattu kallistus

Kuuden metrin mittaustuloksessa 10°:n kallistus kummankin anturin suuntaan merkitsee n. 18 cm:n virhettä. Vastaava virhe saataisiin n. 14°:n suuruisella yhden anturin suuntaisella kallistuksella. Jos kallistus mitattaisiin vain yhdellä anturilla, niin mittaustulokseen saattaisi tulla useiden senttimetrien virhe. Tästä syystä kallistukset on mitattava kahdella anturilla.

Vastaanotinmasto rekisteröi lasertason aseman. Sitä voidaan käyttää sekä pinnanmuotojen kartoituksessa että työkoneen säädössä. Säätöä varten mastoon olisi liitettävä erillinen elektroniikkayksikkö, joka ohjaa mastosta tulevien signaalien avulla maston toimintaa ja säädettävää työkoneita. Koska tässä sovelluksessa mastoa käytettiin ainoastaan mittaukseen, niin ei ollut tarpeellista ostaa kyseistä yksikköä vaan tarvittava liitännä rakennettiin itse.

Tutkimuksessa käytetyn maston valokennoanturi, ns. sukkula (*engl. shuttle*), pystyy mittaamaan lasertason paikan 2,39 m:n korkeusalueella. Sukkulan erottelukyky on 2,5 mm. Kun mastoa käytetään mittaustilassa (*indicate mode*) niin maston elektroniikka ohjaa sukkulaa siten, että se pysyy sädetasossa. Jos sukkula on paljon sivussa säteestä niin korjausliike on nopeampi kuin jos poikkeama on pieni. Sukkula lähettää liikkeessaan pulsseja, joiden taso vaihtelee liikesuunnan mukaan. Tutkimuksessa nä-

mä pulssit otettiin tiedonkeruulaitteen ylös-alas -laskureille. Sukkulan asema oli siten haluttaessa luettavissa laskureilta.

Potentiometri on lineaarinen (0,1 %) hybridipotentiometri, ts. sen liukupinta on tehty johtavalla muovilla päällystetystä langasta. Potentiometrillä on tästä syystä käytännöllisesti katsoen äärettömän tarkka erottelukyky. Putken aseman mittauksen erottelukykyä rajoittavatkin vain tiedonkeruulaitteen A/D-muuntimen ominaisuudet. Potentiometriä käytetään jännitteenjakajana: sitä syötetään 12 V tasajännitteellä ja siitä saadaan ulos 0..5 V:n tasajännite, joka johdetaan A/D-muuntimelle.

Kallistusanturi on silikoniöljyllä vaimennettu heiluripotentiometri. Kallistuksen mitausalue on $-45.. +45$ °. Anturilta saadaan virtaviesti, joka muunnetaan 0..5 V:n tasajännitteeksi A/D-muuntimelle. Kallistusantureita syötetään 12 V:n tasajännitteellä.

Matkapyörässä on levydekooderi, joka generoi matkapyörän runkoon sijoitetun elektroniikan avulla 5 V:n tasajännitepulssin 25 mm:n välein. Pulssit johdetaan tiedonkeruulaitteen keskeytyslinjalle signaalinkäsittelyn (pulssin jako ja lyhennys) kautta.

3.2. Tiedonkeruulaite

Tiedonkeruulaite on rakennettu Teknillisen korkeakoulun sovelletun elektroniikan laboratoriossa tutkijan aikaisemmin rakentaman laitteen pohjalta (HAAPALA 1987, ks. ed. s. 14-15). Uusi versio rakennettiin tutkijan antamien vaatimusten mukaisesti.

Tiedonkeruulaitteen ytimenä (MCU:na) on Motorolan 8-bittinen 68HC11 mikrotietokone, jonka A/D-muuntimiin ja rinnakkaisportteihin mittaussignaalit tuodaan ja jonka sarjaliitännän (RS232C) kautta mitattu data siirretään PC:lle. Mittausdata siirtyy tiedonkeruulaitteeseen kytketylle PC:lle matkapyörän ohjaamana. Matkapyörä antaa tiedonkeruulaitteelle keskeytyksen (IRQ) 50 mm:n välein.

3.2.1. Signaalien käsittely

Mastolta saatava signaali ilmaisee sukkulan liikkuneen 2,5 mm:n askeleen ylös- tai alaspäin. Signaali on kolmitilainen 1,5 ms kestoinen pulssi. Signaali on kytketty ylösvetovastuksilla käyttöjännitteseen siten, että nollassa on 4 V, "alas"-pulssi 0 V ja "ylös"-pulssi 8 V. Häiriönpoisto tehdään alipäästösuotimella, jonka jälkeen signaali tunnustetaan joko "ylös"- tai "alas"-pulssiksi ikkunakomparaattoreilla ja sovitetaan CMOS-logiikkatasolle optoerotin-invertteri -kytkennällä. Pulssit lyhennetään mono-stabiileilla 1,5 μ s mittaisiksi, jotta laskurit pystyisivät erottamaan erilliset pulssit toisistaan (vrt. ed. s. 16). Tämän jälkeen pulssit johdetaan neljän rinnakkain kytketyn 4-bittisen laskurin ylös- tai alaslaskentalinjalle. Kun laskurit on nollassa tunnetussa sukkulan asemassa, niin laskurien annoista on prosessorin luettavissa sukkulan asemaa osoittava 12-bittinen binäärikoodi. Prosessori lähettää luvun PC:lle kahdessa osassa. Signaalien tulkinta jää PC:n tehtäväksi.

Matkapyörältä tuleva 5 V:n pulssi suodatetaan alipäästösuotimella. Jotta mittauspisteiden väliksi saataisiin haluttu 50 mm, niin 25 mm:n välein tuleva pulssi jaetaan JK-kiikuilla kahdella. Tämän jälkeen pulssi lyhennetään monostabiililla n. 1 μ s mittaiseksi ja se kytketään prosessorin keskeytyslinjaan (IRQ).

Kallistusantureilta ja potentiometriltä tulevat 0..5 V:n jännitteet on kytketty impedanssisovitusta varten yksikkövahvistuksella varustettuihin instrumentointivahvistimiin. Tämän jälkeen signaalit on kytketty suoraan MCU:n A/D-muuntimille.

Sarjaliikenneportin anto on puskuroitu AND-portilla, ja datan pääsyä sarjaliityntäpiirille voidaan kontrolloida MCU:n D-portin avulla. Sarjaliikenne on asetettu toimimaan merkin pituudella 1 startbitti, 8 databittiä ja 1 stopbitti. Lähetysnopeus on 9600 baudia. Vastaisen varalle on tiedonkeruulaitteessa mahdollista myös lukea dataa PC:n sarjali-

tännästä MCU:lle. Tätä ominaisuutta voidaan käyttää mittauksen automaattiseen käynnistykseen ja katkaisuun.

Muusta elektroniikasta mainittakoon A/D-muuntimien vertailujännitteet, jotka saadaan erillisestä jännitereferenssipiiristä, ja erillinen potentiometrin jännitelähde. Teholähde antaa elektroniikalle reguloidut +5, +12 ja -12 V:n käyttöjännitteet. Ylös-alas -pulssien tunnistuksessa käytetyt komparaattorit saavat käyttöjännitteensä suodatetusta +12 V akkujännitteestä. (Tiedonkeruulaitteen kytkentäkaavio: liite 1)

3.2.2. Tiedonkeruulaitteen ohjelma

Tiedonkeruulaitteen MCU on alustettu toimimaan mahdollisimman yksinkertaisesti. Keskeytyksistä on sallittu ainoastaan IRQ-keskeytys, joka aiheuttaa datan lähettämisen sarjaliitännän kautta PC:lle.

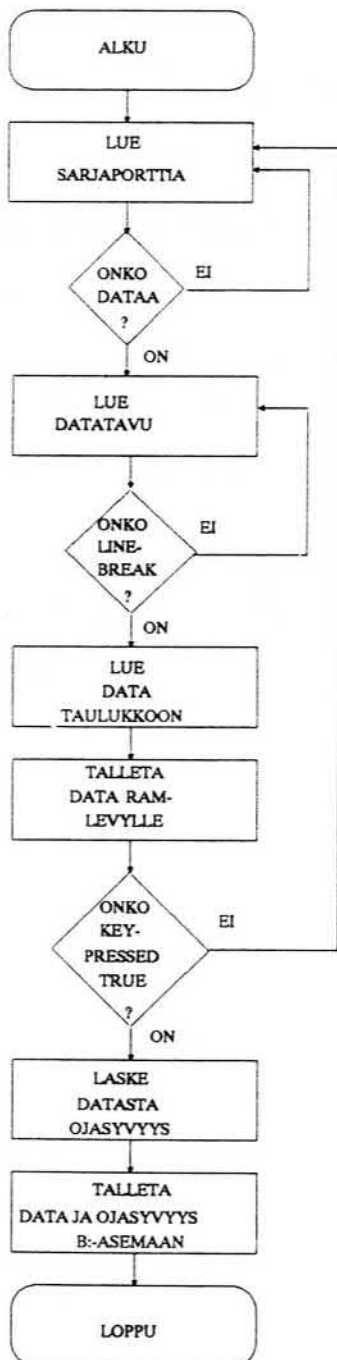
Odottaessaan keskeytystä matkapyörältä ohjelma kiertää silmukkaa. Silmukasta ohjelma voi poistua joko keskeytysaliohjelmaan tai resetoinnin (tehdään kytkemällä virta pois hetkeksi tiedonkeruulaitteesta) jälkeen alkuun. Mittauspisteiden välillä tehdään yhden A/D-muunnokset. Muunnosten jälkeen silmukka asettaa useampien muunnosten tekemisen estävän LAHET-lipun. Keskeytyksen tullessa keskeytysaliohjelma käynnistyy.

Keskeytysaliohjelmassa odotellaan ensin A/D-muunnoksen valmistumista (tarpeen mukaan) ja sitten lähetetään muunnostulokset ja laskurien datat sarjaliitännästä ulos. Kun data on lähetetty, asetetaan sarjaportti eri konfiguraatioon: 1 startbitti, 9 databit-tä ja 1 stopbitti ja lähetetään Send Break -komento, joka ilmoittaa PC:lle datan tulleen lähetetyksi. Tämän jälkeen palataan 8-bittiseen liikenteeseen ja aliohjelma nollaa LAHET-lipun, joka on merkki uuden A/D-muunnoksen tarpeesta. (MCU:n ohjelma liitteessä 2)

3.3. Järjestelmää ohjaava kannettava mikrotietokone

Tiedonkeruulaite on liitetty RS232C-sarjaliitännän avulla kannettavaan Toshiba T1100 plus -mikrotietokoneeseen. Mikrotietokone on PC-yhteensopiva, siinä on 8088-perheen prosessori, se toimii 7,16 MHz kellotaajuudella ja siinä on kaksi 3,5" 720 kB levykeasemaa.

3.3.1. Mikrotietokoneen ohjelmat



Mikrotietokoneen ohjelmat ovat pääasiassa tutkijan tekemiä. Ohjelmat on pääasiassa tehty Turbo-Pascalilla. Mittausohjelman ensimmäinen versio tehtiin TKK:lla ja jatkokehittelystä sekä muutoksista vastaa tutkija. Graafinen tulostusohjelma on kokonaisuudessaan tehty TKK:lla.

Tiedonkeruulaite lähettää mittauspistekohtaisen datan viitenä peräkkäisenä tavuna. PC lukee nämä tavut, tallettaa ne järjestyksessä ja odottaa uutta dataa tai lopettaa lukemisen käyttäjän käskystä mittauksen loputtua. (Kuvio 10)

Aliohjelma LuePortti lukee suoraan sarjaporttia. Aliohjelma tutkii, onko portissa dataa, ja, jos on, niin lukee sen. Viiden datatavun jälkeen tiedonkeruulaite lähettää Break-merkin (= 11 peräkkäistä nollaa), joka havaitaan sarjaportin bitillä Line

*Kuvio 10.
Mikrotietokoneen mittausohjelman toiminta.*

Break. Tällöin PC poistuu sarjaportin lukusilmukasta ja lukee kunkin mittauspisteen datat viisi alkioiseen taulukkoon. Tässä vaiheessa tutkitaan, onko käyttäjä keskeyttänyt mittauksen (KeyPressed-funktio).

Aliohjelma Talleta saa parametrina LuePortti-aliohjelman tekemän taulukon. Se tallettaa taulukon alkiot PC:n RAM-muistissa sijaitsevalle virtuaalilevyasema c:lle tiedostoihin Data1, -2, -3, -4 ja -5. Nämä tiedostot ovat tiedonkeruulaitteen lähettämässä tavumuodossa, jolloin ne vievät RAM-muistia vain viisi tavua mittauspistettä kohti. Tässä kokoonpanossa mikrotietokoneeseen voidaan taltioida noin 1800 metriä talletusten välillä. Tämä merkitsee, että jatkuvasti voidaan mitata vaikka koko päivän salaojitukset keskusmuistiin ja tallettaa ne vasta päivän päätteeksi levykkeelle. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa, vaan talletus tulisi tehdä joka ojan jälkeen.

Kun käyttäjä on näppäimen painalluksella (KeyPressed = true) keskeyttänyt pääohjelman suorituksen, lasketaan putken syvyys anturidatasta ja talletetaan syntynyt Korkeus.rea -niminen tiedosto b:-levykkeelle \datat-hakemistoon käyttäjän haluamalla nimellä. (Mittausohjelma liitteessä 3)

3.4. Mittauslaitteiston käyttö

Kun laitteisto on asennettu salaojakoneeseen ja virta kytketty, PC lataa käyttöjärjestelmän ja ajaa valikkotiedoston. Valikosta voidaan valita joko mittaus-, tulostus- tai datanlukuohjelma.

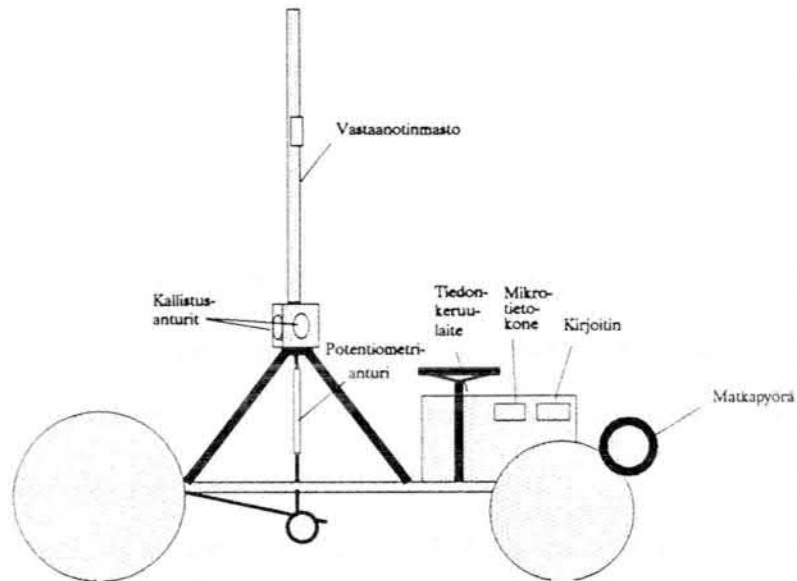
Mittausohjelman ajaminen edellyttää, että tiedonkeruulaitteen maston korkeutta mittaavat laskurit on nollattu ajamalla maston sukkula manuaaliohjauksella ala-asentoon ja kytkemällä tiedonkeruulaite päälle sukkulan ollessa alhaalla. Tällöin laskurit laskevat jatkuvasti maston korkeuden absoluuttiarvoa. Mittaus aloitetaan mittausohjelman valinnan jälkeen näytön ohjeiden mukaisesti painamalla mitä tahansa näp-

päintä. Mittaus kestää siihen asti kun toisen kerran painetaan jotakin näppäintä. Mittauksen loputtua ohjelma kysyy käyttäjältä halutun tiedostonimen, jolla mittausdata tallennetaan virtuaaliasemasta levykkeelle. Tallennuksen jälkeen ohjelma loppuu ja palataan ohjelmavalikkoon.

Tuloksia voidaan tarkastella heti mittauksen jälkeen joko numeerisesti tai graafisesti. Numeerinen tulostus näyttää jokaiseen mittauspisteeseen liittyvät anturien arvot sekä matkan, ajan ja lasketun putken syvyyden. Näytölle tulostuu kerralla kaksikymmentä mittauspistettä (= 1 m). Graafisella tulostuksella mittaustuloksia voidaan katsella halutulla skaalauksella. Tulostus on mahdollista tehdä ensin koko ojasta tai viiden, kymmenen tai kahdenkymmenen metrin pätkinä. Näistä tulostuksista voidaan haluttaessa ottaa tarkempi tulostus metri kerrallaan. Sekä numeerinen että graafinen tulostus voidaan ottaa haluttaessa kirjoittimelle. Tulostusohjelmat käsittelevät RAM:in virtuaaliasemassa (c:) olevaa mittausdataa. Valikosta käynnistettävällä apuohjelmalla voidaan levykkeellä olevista mittaustiedostoista hakea mikä tahansa mittaus virtuaaliasemaan tulostusta varten. Näin ohjelmistoa voidaan käyttää myös mittauksen jälkeen tulosten esikatseluun. (Mikrotietokoneen ohjelmat liitteessä 3)

4. Laitteiston testaus

Laitte testattiin elektroniikan osalta TKK:n sovelletun elektroniikan laboratoriossa. Ennen kenttäkokeita laitteisto koottiin ja asennettiin testausalustalle (kuvio 11, liite 5).



Kuvio 10.
Laitteiston testausalusta.

Laitteiston testaus tehtiin Viikissä kahdessa vaiheessa: staattisessa ja dynaamisessa tilassa. Staattinen testaus tehtiin testialustan ollessa paikallaan ja dynaaminen liikkeessä. Anturitestaus tehtiin käyttäen tiedonkeruulaitetta. Tämä siksi, että haluttiin saada selville laitteen toiminta kokonaisuutena. Anturit oli TKK:lla testattu erillään järjestelmästä.

Testiohjelma oli seuraavanlainen:

Staattinen tarkkuus ja toistettavuus

Anturi	Referenssit		n	Otoskoko
-vastaanotinmasto	46, 293, 1382	mm	6	20
-kallistusanturit	-10, 0, 10	°	6	20
-potentiometri	95, 145, 195	°	6	20

Dynaaminen tarkkuus ja toistettavuus

Muuttuja	Asetukset		n	Otoskoko
-ajonopeus	0,2, 1,0, 2,0	m/s	5	140

Anturit testattiin vertaamalla antureilta saatavaa mittausdataa tunnettuun arvoon. Mittauksen tarkkuus saadaan otoksen mittaustulosten keskiarvon ja referenssin erotuksena ja mittauksen toistettavuus näkyy eri otoksista lasketun luotettavuusvälin suuruudesta. Mittauksen toistettavuus laskettiin DALLYn (et.al. 1984, 529) ja MÄKISEN (1977, 54) mukaan määrittämällä mittaukselle 95 % luotettavuusväli (Studentin t-jakauma, $t(0.975, n-1)$). Mittaustulokset voidaan siis ilmoittaa muodossa: *(keskiarvo \pm 95 % luotettavuusväli).*

4.1. Staattinen testaus

Staattiset testit toteutettiin siten, että matkapyörä, joka normaalisti ohjaa mittaustiheyttä, korvattiin pulssigeneraattorilla. Pulssigeneraattori testattiin ensin oskilloskoopin avulla. Pulssigeneraattori asetettiin 100 Hz:n vakiotajuudelle ja mittausta tehtiin joka toistolla ja anturilla hieman yli 10 sekunnin ajan. Ylimääräiset arvot poistettiin taulukkolaskimessa siten, että otokseen tuli kaksikymmentä mittauskertaa. Kerranteita otettiin kullekin referenssille kuusi.

Maston tarkkuus selvitettiin asettamalla laserlähetin tunnetulle korkeudelle ja päästämällä sukkula "hakemaan" sädetasoa. Sukkula ajettiin käsiohjauksella maston alimpaan mittauspisteeseen, jossa tiedonkeruulaitteen laskuri nollattiin (= tiedonkeruulaitteeseen kytkettiin virta). Mikrotietokoneen mittausohjelma käynnistettiin ja sukkulalle annettiin säteenhakukäsky (ohjauspaneelistä asetetaan maston toimintatila hetkellisesti pois indicate-moodista ja palautetaan se siihen takaisin). Tämän jälkeen sukkula etsi referenssi-korkeudelle asetetun lasertason. Sukkulan liike rekisteröitiin järjestelmällä. Tasoa, jolle sukkula päätyi, verrattiin referenssiin. Referenssi asetettiin nostamalla laserlähetin jalustassaan tunnetulle korkeudelle. Korkeus tarkistettiin laserlatan ja mittanauhan avulla. Referenssin asetustarkkuus oli ± 1 mm.

Kallistusantureiden tarkkuus testattiin kallistamalla kallistusanturia kiinnityksessään. Anturin alla olevan astelevyn avulla anturi asetettiin referenssiin $\pm 0,5$ mm:n tarkkuu-

della. Astelevy asetettiin ennen testiä pystysuoraan luotilankaa hyväksikäyttäen. Anturin kallistus tehtiin sekventiaalisesti siten, että anturi asetettiin kuhunkin asetukseensa vuoronperään kummastakin suunnasta lähestyen. Koska anturi on vaimennettu silikoniöljyllä, niin ennen mittausta anturia naputeltiin lievästi sormin ja sen annettiin asettua n. 30 sekuntia. Testaustilan lämpötila oli tasainen 18° C. Tällä testijärjestelyllä saadaan selville anturien mahdollinen hystereesi. Otosmäärä oli kuusi ja otoskoko kaksikymmentä.

Potentiometrin testaus tehtiin analogisesti kallistusanturitestaukseen nähden. Potentiometrin iskua ensin kasvatettiin ja sitten pienennettiin, ja tämä sekvenssi toistettiin kolme kertaa. Otosmääräksi saatiin täten kuusi, kuten kallistusanturitestissäkin. Referenssimittaus tehtiin $\pm 0,2$ mm tarkkuudella.

Matkapyörän tarkkuus testattiin dynaamisen testin yhteydessä. Staattisen testin tulokset ovat seuraavassa taulukossa (taulukko 2).

Taulukko 2.

Anturien staattinen tarkkuus ja toistettavuus.

Anturi	Asetus	Mittaus- tarkkuus	Mittauksen toistettavuus t(0,975,5)				
			% f.s.				
Vastaan- otin- masto	45 \pm 1	mm	+1	mm	+0,04	\pm 1	mm
	295 \pm 1	mm	+2	mm	+0,08	\pm 2	mm
	1381 \pm 1	mm	+1	mm	+0,04	\pm 1	mm
Kall.- anturi 1	-10 \pm 0,5	°	+1,9	°	+2,11	\pm 0,35	°
	0 \pm 0,5	°	-0,1	°	-0,11	\pm 0,12	°
	+10 \pm 0,5	°	+0,6	°	+0,67	\pm 0,28	°
Kall.- anturi 2	-10 \pm 0,5	°	+1,1	°	+1,22	\pm 0,26	°
	0 \pm 0,5	°	-0,3	°	-0,33	\pm 0,26	°
	+10 \pm 0,5	°	+0,5	°	+0,56	\pm 0,04	°
Poten- tio- metri	98 \pm 0,5	mm	+0,5	mm	+0,2	\pm 0,3	mm
	145 \pm 0,5	mm	+0,8	mm	+0,3	\pm 0,5	mm
	195 \pm 0,5	mm	-1,8	mm	-0,8	\pm 0,3	mm

Referenssien tarkkuus oli rajoittava tekijä, joten taulukon tulokset ovat suuntaa-antavia. Toisaalta tulokset ovat käyttötarkoitukseensa aivan tarpeeksi tarkkoja.

Kallistusantureiden mittausvirheen vaikutus syvyysmittaukseen voidaan laskea kallistuskorjauksen kaavan (1) avulla. Tässä virhe on laskettu seuraavien oletusten ollessa voimassa:

Masto on kiinnitetty 3,3 m:n korkeudelle tasosta, jossa potentiometrin varsi on täysin sisällä (kentäkokeissa masto oli asennettu tälle korkeudelle)

Kallistusanturien virheen vaikutus mittaustulokseen määritetään sukkulan ollessa korkeimmassa mittauspisteessään eli 5,94 m:n etäisyydellä putken päältä (= kiinnityskorkeus + potentiometrin isku + maston mittausalue = 3,3 + 0,25 + 2,39 = 5,94)

Kallistusanturin virhe muutetaan millimetreiksi kallistuskorjauksen kaavan (1, ks. 3.1.) perusteella seuraavasti:

Kallistusanturin maksimimittausvirhe, $kv_{i_{\max}}$ [°]:

$$(2) \quad kv_{i_{\max}} = k_{\text{ref}} - (k_{\text{mit}} + 0,5 \cdot lv_i);$$

missä k_{ref} = referenssikallistus
 k_{mit} = mitattu kallistus
 lv_i = kyseisen kallistusmittauksen 95 % luotettavuusväli [°], kun $i \in \{1, 2\}$

Maksimivirhe saadaan laskemalla korjatut syvyyslukemat (1):n mukaan erikseen referenssikallistuksilla ilman virhettä ja maksimimittausvirheen kanssa. Kun koeradalla saadut arvot sijoitetaan kaavoihin (1) ja (2), niin kallistusanturien virheestä johtuvaksi syvyysmittauksen maksimivirheeksi, $H_{\text{err}_{\max}}$ [m], saadaan:

$$(3) \quad H_{\text{err}_{\max}} = H_{\text{mit}} - H_{\text{ref}} \\ = H_{\text{laser}} \left\{ \left[\frac{1}{1 + \tan^2(K_{\text{mit}_1} + kv_{1_{\max}}) + \tan^2(K_{\text{mit}_2} + kv_{2_{\max}})} \right]^{0,5} \right\} - \\ \left[\frac{1}{1 + \tan^2(K_{\text{ref}_1}) + \tan^2(K_{\text{ref}_2})} \right]^{0,5} \};$$

missä	H_{mit}	=	mitattu putken asema	[m]
	H_{ref}	=	todellinen putken asema	[m]
	H_{laser}	=	mitattu etäisyys lasertasoon ilman kallistuskorjausta	[m]
	K_{mit_i}	=	mitattu kallistus	[°]
	K_{ref_i}	=	todellinen kallistus	[°]

kun $i \in \{1, 2\}$

Kun kaavaan sijoitetaan taulukon 2 arvot niin virheeksi saadaan

$$= 5,94(0,9685-0,9703)$$

$$= -0,0107 \text{ m}$$

ts. jos kallistusanturit ovat yhtäaikaan kallistuneet 10° ja sukkula on tällöin yläasennossaan, niin kallistusanturien mittausepätkätkuudet aiheuttavat ojasyvyyden mittaukseen virheen, josta syystä ojan tulkitaan olevan n.11 mm matalampi kuin se todellisuudessa on.

Anturien mittausepätkätkuuden aiheuttama kokonaisvirhe riippuu täten ratkaisevasti kallistuksesta ja sukkulan korkeudesta mastossa kallistuksen aikana. Käytännössä kaikki maksimivirheet eivät voi sattua yhtä aikaa, koska kallistusanturin virhe on riippuvainen sukkulan asemasta ja eri tavalla kuin maston mittaustarkkuus. Potentiometrin maksimivirhe saattaa esiintyä koska tahansa, eli se on riippumaton muiden anturien arvoista.

Staattinen maksimivirhe muodostuu seuraavasti:

	virhe
masto	1 mm
kallistukset (samassa korkeudessa)	11 mm
potentiometri	1 mm

tällöin järjestelmän *maksimivirhe* on, oletusten ollessa voimassa, (huonoin tapaus, DALLY et.al.1984, 545)

$$(1^2 + 11^2 + 1^2)^{0,5} = 11,1 \text{ mm}$$

Tämä virhe edellyttää, että kallistus on yhtä aikaa kummankin kallistusanturin suuntaan -10° ja sukkula on samanaikaisesti mittausalueensa ylimmässä mittauspisteessä, mikä on hyvin epätodennäköistä. Mikäli kallistukset vaihtelevat nollan ympäristössä

ja vain toinen kallistus on hetkellisesti suuri, niin järjestelmän käytännön mittaustarkkuus on huomattavasti parempi.

DALLYn (et. al. 1984, 545) mukaan maksimimittausvirheen asemesta on järkevämpää käyttää ns. todennäköistä virhettä, joka lasketaan kaavalla:

$$(3) \quad dy = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n\right)^2}$$

missä dy = todennäköinen virhe
 $\frac{\partial y}{\partial x_1}, \frac{\partial y}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_n}$ = yhtälön osittaisderivaatat mitattavien tekijöiden suhteen
 dx_1, dx_2, \dots, dx_n = havaitut mittausvirheet $x_1:n, x_2:n, \dots, x_n:n$ mittauksessa

(1):n derivoinnista saadaan:

$$\frac{\partial H}{\partial k_1} = -\tan(k_1) \cdot (1 + \tan^2(k_1)) \cdot (a + \tan^2(k_1))^{1.5}$$

ja

$$\frac{\partial H}{\partial k_2} = -\tan(k_2) \cdot (1 + \tan^2(k_2)) \cdot (b + \tan^2(k_2))^{1.5},$$

$$\text{kun } a = 1 + \tan^2(k_1) \\ b = 1 + \tan^2(k_2)$$

Kun kaavaan (3) sijoitetaan testissä saadut arvot, niin mittausjärjestelmän *todennäköiseksi virheeksi* saadaan:

$$\begin{aligned} dy &= [1 \cdot 2^2 + (-\tan(10,35) \cdot (1 + \tan^2(10,35)) \cdot (b + \tan^2(10,35))^{1.5} \cdot 11)^2 \\ &\quad + (-\tan(10,26) \cdot (1 + \tan^2(10,26)) \cdot (a + \tan^2(10,26))^{1.5} \cdot 11)^2 + 1 \cdot 1^2]^{0.5} \\ &= [4 + (-0,1208 \cdot 11)^2 + (-0,1395 \cdot 11)^2 + 1]^{0.5} \\ &= 2,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tämäkin tarkastelu edellyttää, että käytännössä 10° kallistukset ovat mahdollisia. Käytännön mittaustarkkuus on tätä parempi, koska kenttäkokeissa kallistukset olivat kummankin akselin suunnassa alle $0,003^\circ$ (< 0.2 rad). Tällöin todennäköinen mittausvirhe jää alle 1 mm:n. (Kenttäkokeen tuloksia käsitellen tarkemmin kappaleessa 4.3.).

4.2. Dynaaminen testaus

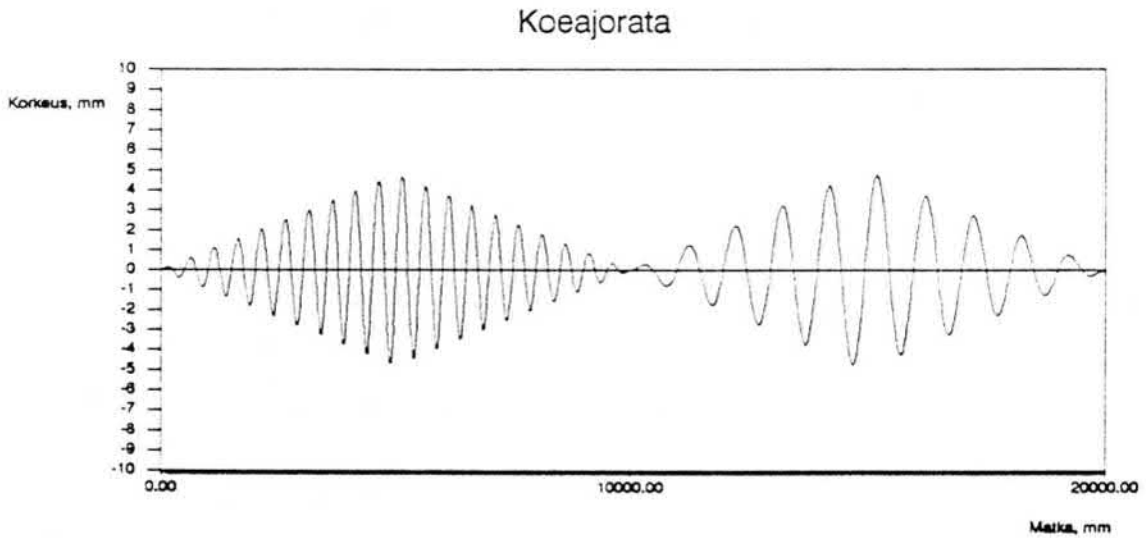
Dynaaminen testaus tehtiin kahdessa vaiheessa (ks. liite 5):

Ensin systeemi oli staattinen ja pulssigeneraattori toimi matkapyöränä. Pulssitaajuutta lisättiin asteittain, jotta saataisiin selville tiedonsiirtonopeuden rajoitukset. Jokaisen frekvenssin noston jälkeen järjestelmällä tehtiin mittausotos, josta nähtiin, esiintyikö tiedonsiirrossa ongelmia.

Toisessa vaiheessa koko mittausjärjestelmää työnnettiin testirataa pitkin. Käytetyt ajonopeudet olivat 0,2, 1,0 ja 2,0 m/s.

Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin mittausaajuuden merkitystä datan luotettavuuteen. Koska mittausdata lähetetään yksinkertaisella siirtoprotokollalla (ks. ed. 3.2.2.), niin liian nopea mittaus saattaa aiheuttaa mittautietojen sekaantumista. Eri anturidatat voivat joutua pois synkronista ja sekaantua keskenään, jolloin mittausohjelman laskentakaavoihin syötetään vääriä arvoja. Tutkija teki Turbo-Pascalilla mittautiedostojen lukuohjelman, jolla tiedostoja pystyy selaamaan näytössä ja halutut kohdat voidaan tulostaa paperille. Toisella ohjelmalla tiedostot voidaan siirtää jatkokäsittelyyn taulukkolaskimeen (Lotus-123) (ohjelmat liitteessä 3). Tiedoston numeerisesta tulostuksesta näkee virhekohdat testin aikana. Taulukkolaskimessa tiedostoista voi muokata graafisia tulostuksia, joista tiedonsiirron onnistuminen näkyy selvästi. Testin tulos oli, että mittausnopeus saatiin helposti 40 mittaukseen sekunnissa, joka vastaa salaojakoneen ajonopeutta 2,0 m/s. (Kenttäkokeissa todettiin kuitenkin, että virheitä saattaa esiintyä jo 0,3 m/s keskinopeudella, mikäli matkapyörä kääntyy hetkellisesti erittäin nopeasti, esimerkiksi kun salaojakone osuu kiveen).

Dynaamisessa testissä käytetyn koeajoradan profiili on amplitudiltaan ja aallonpituudeltaan muuttuva sinikäyrä (kuvio 12).



Kuvio 12.

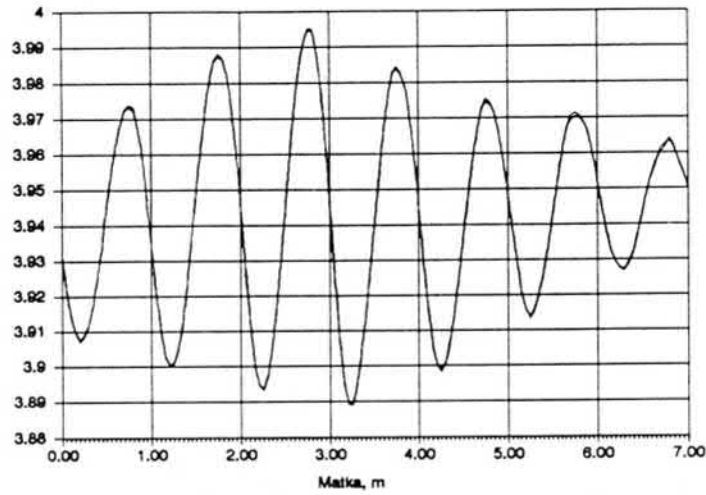
Dynaamisessa testissä käytetyn koeajoradan profiili.

Radan alkupuoliskolla käyrän amplitudi kasvaa 5 mm/jakso (0..5 m), ja pienenee takaisin (5..10 m); loppupuoliskolla se kasvaa 10 mm/jakso (10..15 m) ja pienenee takaisin (15..20 m). Radan alkupuoliskossa aallonpituus on 0,5 metriä ja toisessa puoliskossa 1 metri. Käyrä leikattiin vesivanerista käyttämällä ohjelmoidusta funktiosta (liite 3) otettua kirjoitintulostusta sablonana. Radan profiilin tarkoituksena on osoittaa, miten järjestelmä reagoi eri suuruisiin putken aseman muutoksiin eri ajonopeuksilla.

Järjestelmän mittaustarkkuus ja mittausten toistettavuus olivat dynaamisessa testissä staattisen testin osoittamaa luokkaa. Tämä edellytti sitä, että potentiometri oli sopivasti painotettu ja pystysuorassa, ja että testialustaa ohjattiin tarkasti rataa pitkin. Testitulokset ovat tästä johtuen käyttökelpoisia 0,2 m/s nopeudella radan loppupäässä tehdyissä kokeissa, joissa potentiometrin asento pystyttiin pitämään hyvänä. (Sala-ajakoneella ajonopeus oli kenttäkokeissa aina alle 0,5 m/s, ks. 4.3.). Suurimmat poikkeamat olivat 1,5 mm:n suuruisia ja ne esiintyivät radan huippu- ja laaksokohdissa, joissa potentiometrin liikesuunta muuttuu. Testi osoitti myös, että matkapyörä on oikein käytettynä erittäin tarkka, koska radan huippukohtien mittauservat ovat joka toistolla oikealla kohdalla myös radan loppupäässä. (Kuvio 13)

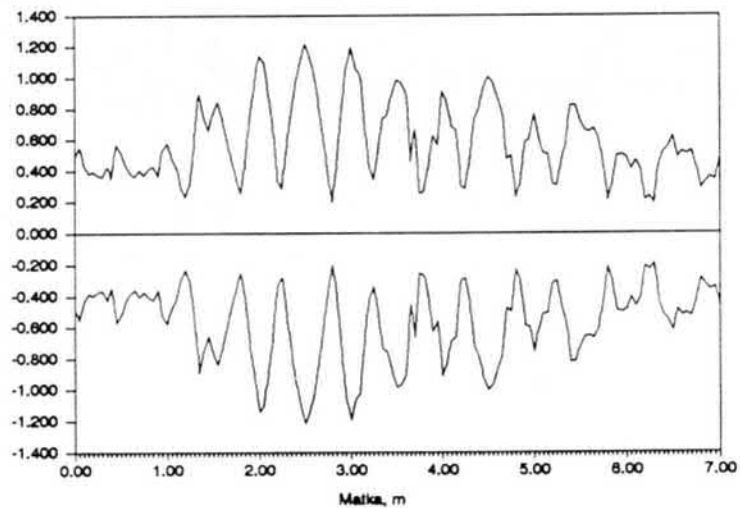
a.

Syvyys, m



b.

Syvyys, mm



Kuvio 13.

Dynaaminen toistotesti koeradon loppuosalla (12..19 m), kun ajonopeus on 0,2 m/s ja $n = 5$. (a) Mittaustarkkuus 95 %:n luotettavuusvälillä. (b) Sama kun mittaustulos on nolattu referenssiin.

Koeajoratatestit osoittavat, että laitteiston mittaustarkkuus ja mittauksen toistettavuus ovat erittäin hyviä ja että laitteella pystytään käytännössä saavuttamaan vaatimukseksi asetettu 5 mm erottelukyky.

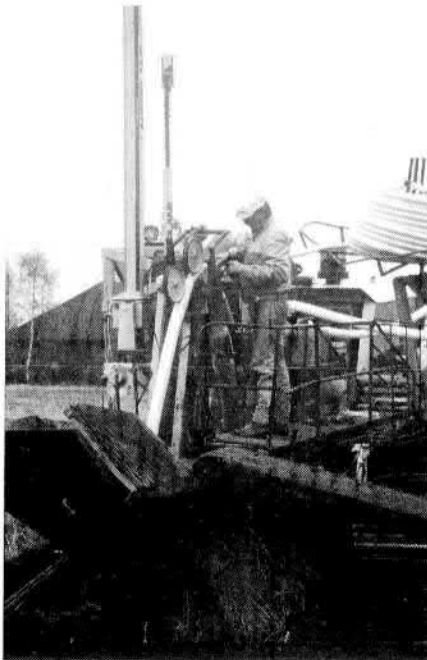
4.3. Kenttäkokeet

Menetelmän tarkkuutta ja soveltuvuutta kenttäolosuhteisiin selvitettiin kenttäkokeissa Pohjanmaalla ja Uudellamaalla (salaojakartat liitteessä 4). Laitteisto oli kiinnitettyä aurasalaojakoneeseen (Inter Drain 2050 GPI, kuvat 1 ja 2) normaalin ojitustyön aikana vaihtelevissa olosuhteissa.



Kuva 1.

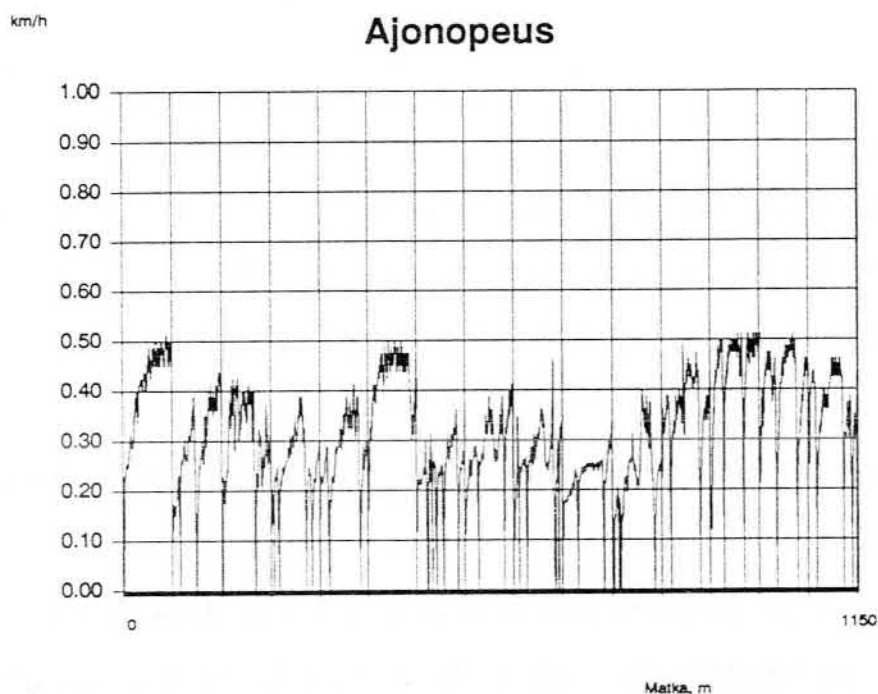
Aurasalaojakone ja sorastusvaunu työssä. Sora lisätään sorasuppiloon, josta se valutetaan putken päälle. Kaivanto tasataan ryömään kiinnitetyillä tasoitusruuvilla.



Kuva 2.

Kenttäkokeissa käytetty aurasalaojakone mittausvarustuksessa. Vastaanotinmasto, kallistusanturit ja potentiometri on kiinnitetty ryömään. Matkapyörä on putken pinnalla järjestelmän oman matkapyörän perässä.

Aurasalaojakone on hyvä testialusta, koska se etenee nopeasti (keskimäärin n. 0.5 km/h, kuvio 14), ja siten asennustarkkuuden mittaukselta edellytetään hyviä suoritusarvoja: sen tulee reagoida nopeasti, mutta olla silti tarkka ja luotettava.



*Kuvio 14.
Aurasalaojakoneen ajonopeudet kenttäkokeiden aikana. Kaikki ojat.*

Kokeissa tutkittiin yli viisikymmentä salaojaa, joiden pituus oli 40..50 m. Aineistosta poistettiin ojat, joissa ei tarkistusmittausta voitu kaivannon tiivistyneisyyden vuoksi luotettavasti tehdä ja ne ojat, joissa havaittiin mittausvirheitä. Yleisin mittausvirhe oli mittauslaitteiston käynnistäminen epätarkasti (käynnistys tehdään mikrotietokoneen näppäintä painamalla), jolloin tarkistusmittauksen aloituspistettä ei voitu yksiselitteisesti kiinnittää mittaustietoon. Muutama oja jouduttiin hylkäämään siksi, että mittauslaitteiston mittausalue ei riittänyt. Kirkkonummen kentällä topografia oli niin vaihtelevaa, että ojat olivat varsin jyrkkiä. Tällöin lasertaso oli jossakin kohtaa ojaa vastaanotinmaston sukkuloiden ulottumattomissa.

Karsinnan jälkeen tutkimusaineistoon saatiin kaksikymmentäyksi ojaa. Saatua aineistoa on analysoitu tilastollisilla analyyseillä, joissa selvitettiin mittaustuloksen ja tarkistusmittauksen keskinäistä vastaavuutta sekä mittaustarkkuutta. Karsinta ei vaikuta aineiston edustavuuteen, koska karsintakriteerit eivät suosineet mittauksen kannalta erityisen suotuisia tai epäsuotuisia olosuhteita. Karsinnasta huolimatta aineisto on varsin kattava ja se riittää hyvin mittausmenetelmän arviointiin. Tarkistusmittauksen epäonnistuminen tiiviissä kaivannoissa ei aiheuta ongelmia, koska kaikissa tapauksissa karsintaan johtanut tiivistymä johtui kaivannon yli ajaneen soravaunun tiivistävästä vaikutuksesta. Tätä on pidettävä epänormaalina tilanteena, jonka vaikutus tulee poistaa aineistosta. Normaaliolosuhteista aineistoa saatiin riittävästi.

Kokeissa käytetyn aurakoneen reaktionopeus mitattiin auran ollessa ilmassa. Tämä tehtiin, jotta oltaisiin saatu selville, miten saatua mittaussignaalia tulisi käsitellä. Lasertaso asetettiin ja aura poikkeutettiin siitä mahdollisimman paljon siten, että lasertaso vielä osui vastaanottimen aktiiviselle alueelle. Salaojakone asetettiin työssä käytetylle moottorin kierrosnopeudelle ja säätöelektronikan asetuksille, jonka jälkeen säätöjärjestelmä asetettiin säätötilaan (*control mode*). Tällöin hydraulikka korjasi auran korkeutta siten, että vastaanotin saatiin keskelle lasertaso. Koejärjestelyssä saavutetulla 8.5 cm:n askelvasteella saatiin nousuajaksi 2.1 sekuntia. Maassa ollessaan ryömä liikkuu hitaammin, koska maa vastustaa nosto- ja laskuliikkeitä. Ääritilanteissa aura voi kuitenkin päästä liikkumaan lähes vastuksetta, kiveen ajettaessa liikkeet voivat olla jopa vapaata liikettä nopeampia. Jos halutaan tunnistaa tällaiset kohdat ojassa, niin asennustarkkuuden mittaustiheyden pitää olla korkea. Käytetyllä mittauslaitteiston konfiguraatiolla mittaustuloksia saatiin viiden senttimetrin välein. Putki ei kuitenkaan voi mennä sallittua enemmän mutkalle näin lyhyellä matkalla, joten tulosten tarkastelussa mittaustuloksia suodatettiin puolen metrin liukuvalla keskiarvolla, joka ei vielä heikennä tuloksen tulkintaa. (kuviot 15 ja 16)

a.



b.



c.

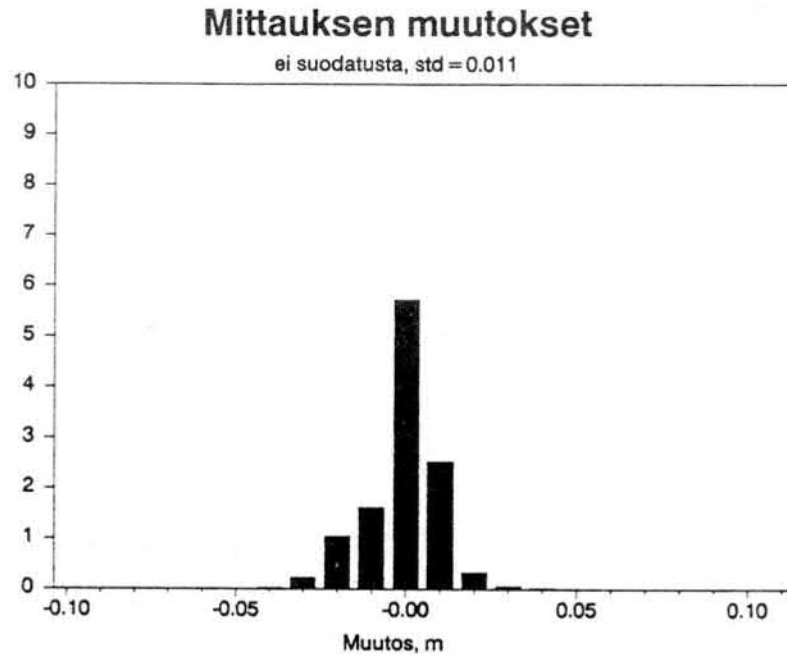


Kuvio 15.

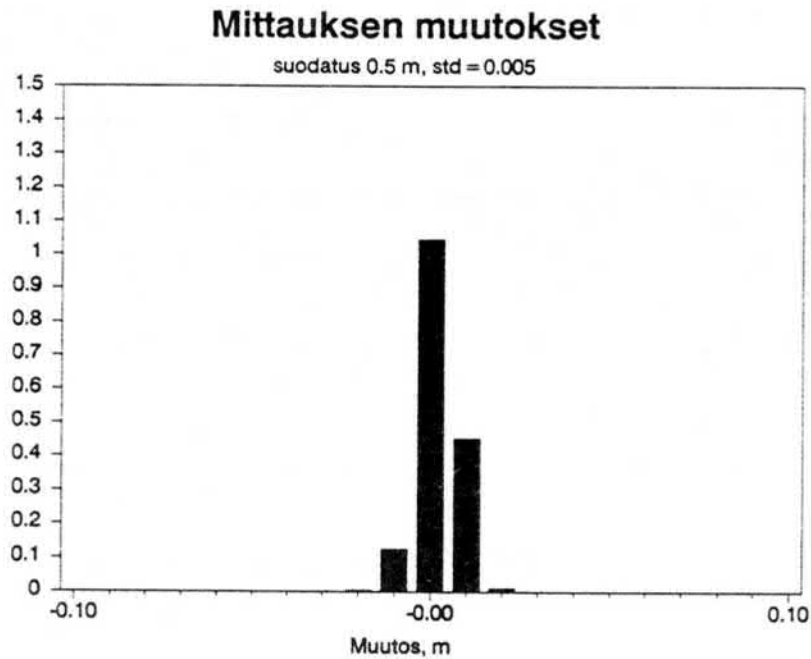
Mittaussignaalin suodatuksen vaikutus. Esimerkkioja on kaivettu tuulisissa olosuhteissa. a. Ei suodatusta, b. 50 cm:n liukuva keskiarvo ja c. 100 cm:n l.k.a.

matka, m

a.



b.



Kuvio 16.

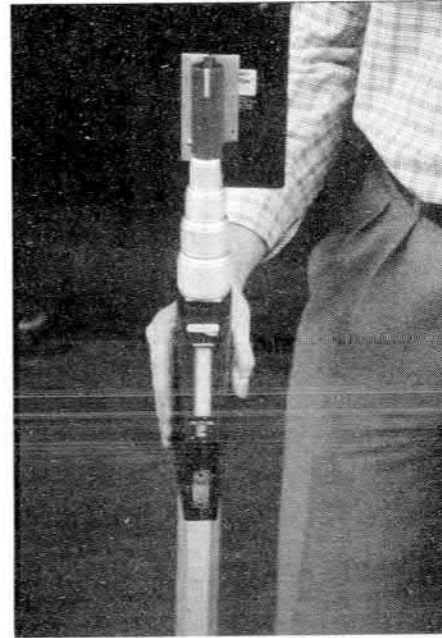
Mittaussignaalin suodatuksen vaikutus mittaustulosten muutoksiin pisteestä seuraavaan mentäessä. Suodattamaton (a) ja 0,5 m:n liukuvalla keskiarvolla suodatettu signaali (b).

Mittaussignaalin lievä suodatus poistaa ojasyvyyden muutosten jakaumasta ääriarvoja, jotka johtuvat lasertason heilahduksista (ks. tarkemmin s. 44-45).

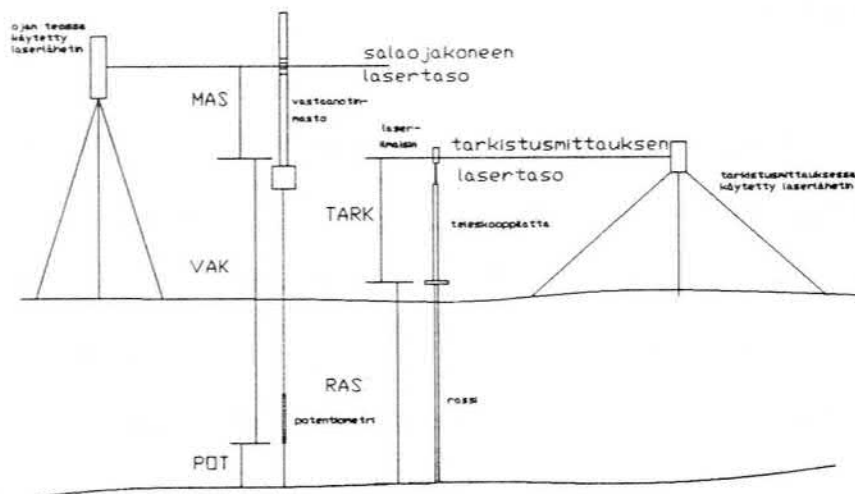
Aurakone sulkee tekemänsä kaivannon välittömästi, joten mittaustulosten tarkistaminen on työlästä. Kenttäkokeessa tarkistusmittaus tehtiin putken yläpinnan tasosta metrin välein lattaa käyttäen: ensin putken päälle työnnettiin auran tekemän kaivannon läpi rassi, jonka päälle asetettiin ns. laserlatta (kuvat 3 ja 4). (kuvio 17)



*Kuva 3.
Rassi, joka työnnetään putken päälle.*



*Kuva 4.
Laserlatta, joka asetetaan rassin päälle.*



*Kuvio 17.
Mittaus- ja tarkistusmenetelmän mittaustavat. Mittauksessa käytetään salaojakoneen tasolaserlähettäjä. Tarkistusmittaus tehdään mahdollisimman alhaalle asetetun laserlähettimen avulla.*

Mittaustulos koostuu mastosignaalista ("mas" kuviossa 17), salaojakonekohtaisesta vakioista ("vak") ja potentiometrisignaalista ("pot"), joiden summa korjataan kallistusanturien signaalin perusteella. Tarkistustulos saadaan putken päälle asetetun rassin pituuden ("ras") ja teleskooppilatan osoittaman lukeman ("tark") summana. Lukemat kirjataan käsin tarkoitusta varten tehdylle lomakkeelle, josta tieto kirjoitetaan mikrotietokoneelle samana päivänä. Tarkistustuloksia ei tulosten tarkastelussa suodateta.

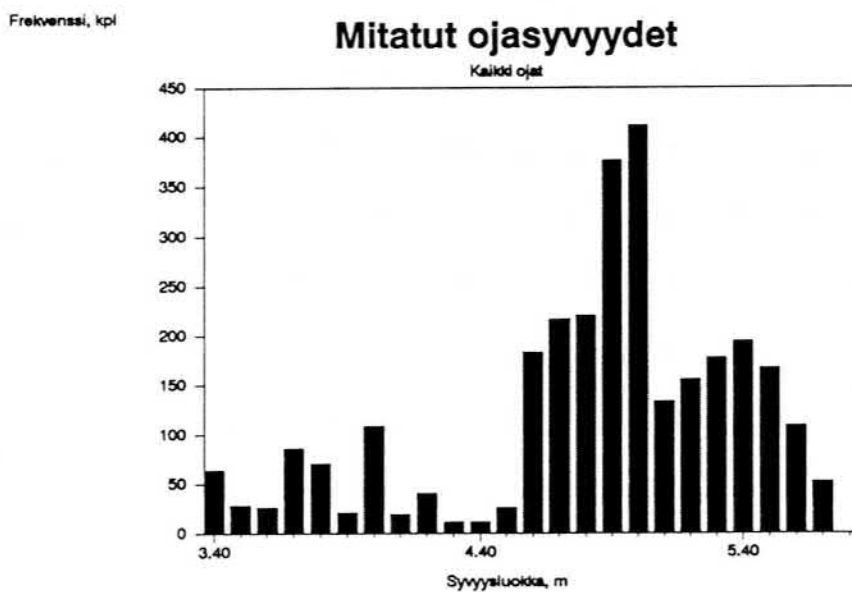
Joissakin tapauksissa jouduttiin kaivamaan lapiolla alkukuoppa, koska kaivanto oli liian tiivis rassin työntämistä ajatellen. Rassin osuminen putken päälle oli toisinaan epävarmaa, koska maan kovuus, kokkareisuus tai kivisyys vaikeuttavat putken yläpinnan löytymistä. Kuten edellä mainittiin, tällaiset ojat hylättiin aineistosta. Hylkäämiskriteeri oli selvä: jos tarkistusmittauksessa ei putkea löytynyt joka pisteessä, niin oja hylättiin. Putken löytyminen oli selvästi havaittavissa rassia heiluttamalla: kun putki oli rassin alla, niin rassin kiertäminen sai aikaan käsiin tuntuva ja kuultavissa olevan havainnon putken korrugoinnista. Tästä syystä tarkistusmittausten hylkäämiskriteerin reliabiliteetti on hyvä: tarkistustulosten hylkääminen olisi käytetyllä kriteerillä luotettavasti toistettavissa.

Koska tarkistusmenetelmään sisältyi satunnaisvirhettä, niin karsitusta aineistostakin havaittiin tarkistusmenetelmän hajonnan olevan suurempi kuin mittausmenetelmän. Tarkistustulosten muutokset pisteestä seuraavaan mentäessä eivät tämän vuoksi noudattaneet odotettua vinoa, pienenevää ojasyvyyttä osoittavaa jakaumaa (ojat kaivettiin alajuoksulta ylöspäin). Tarkistustulosten muutokset olivat lähes normaalisti jakautuneita, mikä osoittaa tarkistusmittauksen hajonnan olevan varsin suuri verrattuna ojasyvyyden muutoksiin (kuvio 18, vrt. ed. kuvio 16).



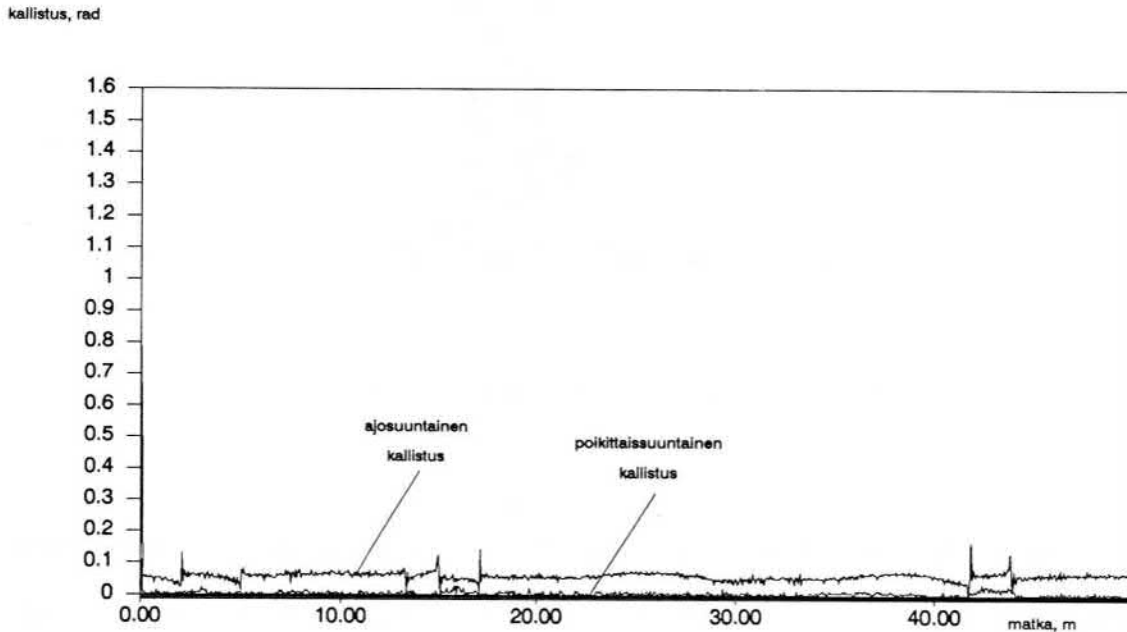
Kuvio 18.
Tarkistusmittauksen muutokset pisteestä toiseen mentäessä.

Lasertaso osui vastaanotinmastoon kaikille korkeuksille (kuvio 19). Mitattujen ojasyvyyksien vaihtelu ei kuitenkaan ollut merkittävästi suurempaa ojissa, joissa lasertaso osui korkealle, kuin ojissa, joissa signaali otettiin vastaan maston alaosalla.



Kuvio 19.
Mastosignaalit syvyysluokittain.

Tämä osoittaa sen, minkä kallistusanturien signaalitkin (kuvio 20) todistavat, että vastaanotin ei ollut missään vaiheessa merkittävän paljoa kallistunut (vrt. ed. kaava 1 s. 18).



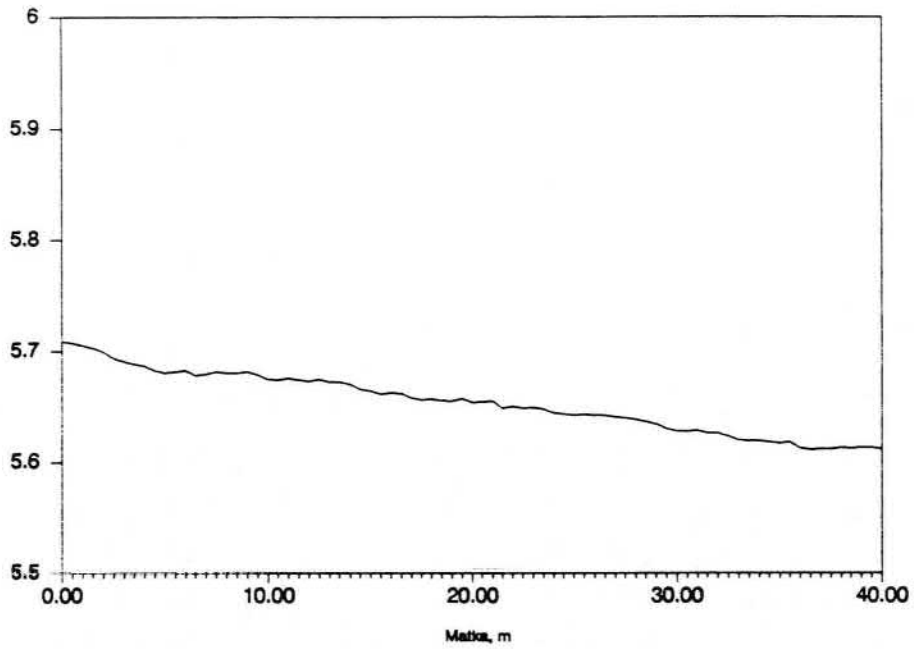
Kuvio 20.

Ryömän kallistukset tuulisella säällä (oja 12). Kallistusten muutokset ovat pääsääntöisesti alle 0,05 rad, jolloin kallistuskorjaus on alle 30 mm.

Lähettimen ja vastaanottimen välisen etäisyyden kasvaessa signaali tulee herkästi epästabiiliksi. Tuulisissa olosuhteissa laserlähetin heiluu hieman, jolloin lasertaso liikkuu, ja liike on sitä suurempaa mitä kauempana lähettimestä salaojakone on. Mittausmaston laservastaanotin on varsin herkkä, joten sen antama mittaussignaali reagoi lasertason liikkeeseen nopeasti. On myös mahdollista, että vastaanotinmasto heiluu enemmän tuulessa kuin tyynessä, mutta sitä ei voitu erottaa kallistusanturein. Tuulisissa olosuhteissa saatiin tästä syystä vaihtelevampi mittaustulos kuin tyynellä (kuvio 21).

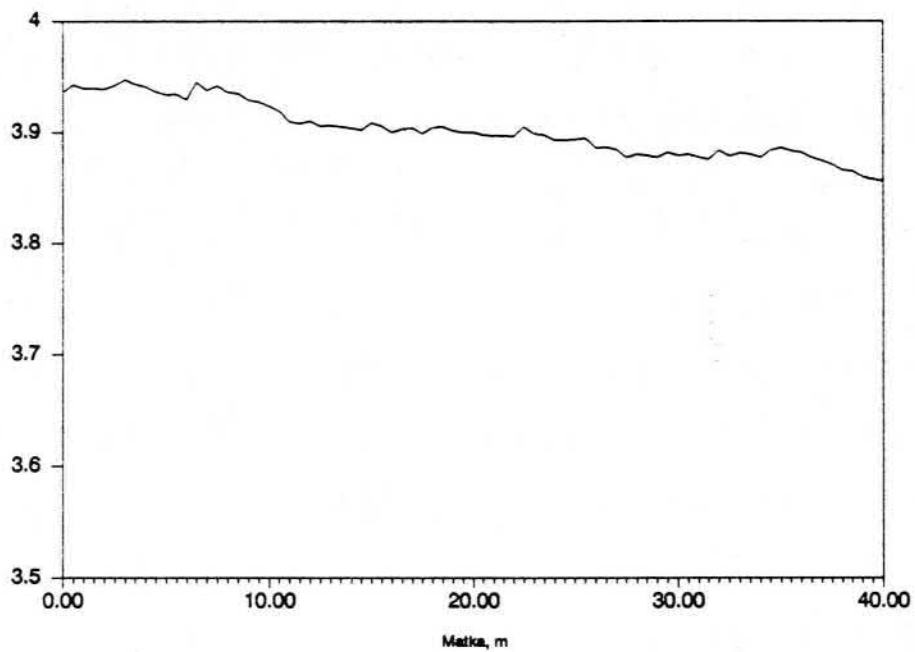
a.

Syvyys, m



b.

Syvyys, m



Kuvio 21.

Tuulen vaikutus mittaussignaaliin. (a) Tuuleton mittaus (oja 36) ja (b) puuskainen tuuli mittauksen aikana (oja 12). Signaali on suodatettu 0,5 m:n liukuvalla keskiarvolla.

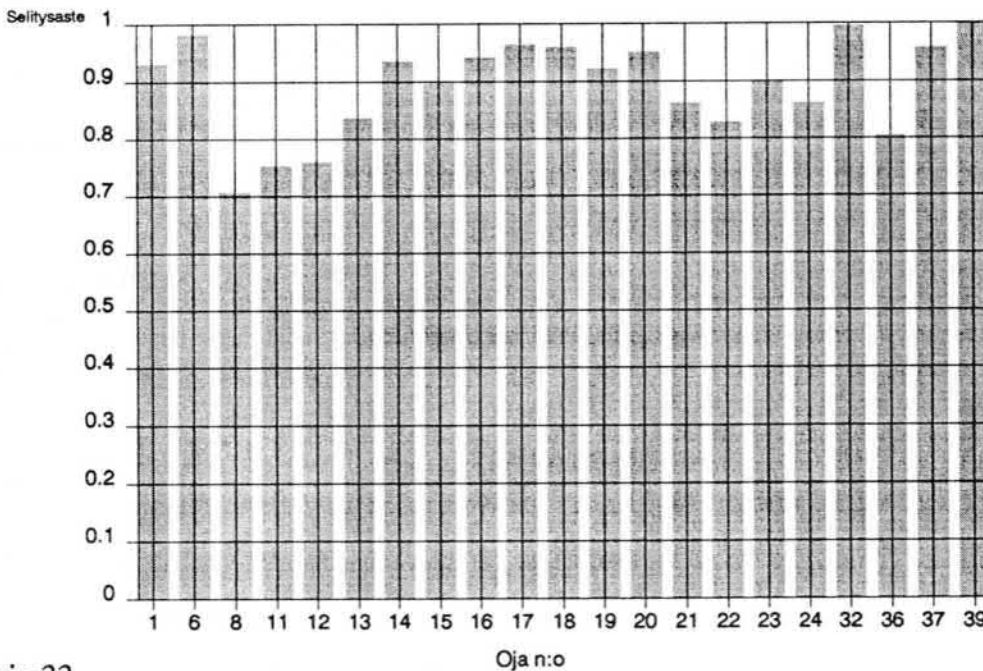
Laserlähettimen säde sammuu automaattisesti, mikäli itsetasausjärjestelmä ei pysty pitämään lähetintä tasattuna. Sammumisherkyys voidaan asettaa halutulle tasolle, ts. lähetin voi olla poissa tasauksesta tietyn ajan säteen sammumatta. Kun säde on sammunut eikä säätöjärjestelmä voi enää seurata lasertason, salaojakoneen hydrauliiikka jää vakioasetuksille. Säätöjärjestelmään kuuluu hälytyssummeri tai merkkivalo, joka varoittaa kuljettajaa, mikäli säde jostakin syystä hukkuu. Tällöin kuljettajan tulisi pysäyttää kone ja kytkeä säätöjärjestelmä pois säätötilasta, kunnes vakaa säde löytyy uudelleen. Kuljettaja havaitsee säteen löytymisen näytöltä ja voi antaa säätöjärjestelmän jälleen seurata sädettä. Jos kuljettaja ei pysäytä konetta ja pellon pinta on epätasainen, niin vastaanottimen keskikohta saattaa hydrauliiikan ollessa vakioasetuksilla joutua lasertason ulkopuolelle. Kun säde löytyy, automatiikka tekee nopean korjausliikkeen. Tällöin ojan pohjaan saattaa syntyä vesitasku. Jos lähettimen sammumisherkyys on asetettu liian matalaksi, säde ei sammuu tuulisella säällä lähettimen heiluessa. Tästä voi aiheutua salaojan pohjan epätasaisuutta, mikäli hydrauliiikka pystyy toteuttamaan säätöjärjestelmän antamat korjauskäskyt. Hydrauliiikka on kuitenkin hidas, ja siten se vaimentaa heiluvan lähettimen vaikutusta.

Kenttäkokeissa käytetyn salaojakoneen säätöjärjestelmän herkkyyttä voidaan säätää. Säätö vaikuttaa hydrauliiikan reaktio- ja liikenopeuteen. Salaojakone voidaan tällöin asettaa toimimaan eri ajonopeuksille, eri maalajeille, eri maan kovuuksille, jne. Tämä säätö vaikuttaa myös asennustarkkuuden tuuliherkkyyteen. de BOERin (1987) tuloksien mukaan jaksollinen putken aseman heilahtelu johtuu salaojakoneen säätöjärjestelmän väärästä herkkyyssäädöstä. Tässä tutkimuksessa sellaisen olemassaoloa ei kuitenkaan voitu osoittaa.

Koska sekä mittaus- ja tarkistusmenetelmät perustuivat tasolaseriin, tuulisissa olosuhteissa mittauksen ja tarkistuksen välille saatiin heikommat selitysasteet kuin tyyneellä säällä. Koejärjestelyllä ei voida kuitenkaan selvittää, aiheuttiko tuulisissa

olosuhteissa mittausjärjestelmällä havaittu epästabiilius salaojakoneen korjausliikkeitä, ja siten ojan pohjan epätasaisuutta, koska salaojakoneen säätöjärjestelmä on hitaampi reagoimaan kuin mittausjärjestelmä. Tuulen puuskaisuus kuitenkin vaikutti mittauslaitteiston mastosignaaliin selvästi (säähavainnot otettiin lähimmältä sääasemalta). Mittaussignaalin epästabiiliudesta ja tarkistusmittauksen virhelähteistä huolimatta tarkistusmittauksilla pystyttiin selittämään mittaustuloksia hyvin. Selitysaste muodostui pääosin hyväksi (0.7 .. 0.99, kuvio 22).

Selitysasteet ojittain



*Kuvio 22.
Tarkistusmittauksilla selitetty ojasyvyys.*

Kuten aiemmin mainittiin, oli mittauksen aloitus manuaalinen, jonka vuoksi tarkistus- ja mittauspisteiden keskinäisissä matkakoordinaateissa on epävarmuutta. Selitysaste on varsin herkkä tunnusluku, jonka vuoksi sen käyttö absoluuttisena mittarina ei tässä tapauksessa ole mahdollista. Selitysasteen avulla on kuitenkin helppoa erottaa ne ojat, joissa tuulen vaikutus on aiheuttanut mittaussignaaliin epävakaisuutta. Säähavainnot vahvistavat tätä tulkintaa.

5. Tulosten tarkastelua

Koska kehitetty menetelmä osoittautui laboratoriotestauksissa erittäin tarkaksi ja kenttäkokeissa kenttäkelpoiseksi, niin on todennäköistä, että kehitetyllä laitteella saadaan putken asennustarkkuus selvitettyä tarkasti. Tutkimustulokset antavat aiheen olettaa, että kehitetty menetelmä on kenttäolosuhteissa vähintään yhtä tarkka kuin tarkistusmenetelmä.

Menetelmän käytännön tarkkuus riippuu eniten tuulisuudesta. Laite soveltuu hyvin nopeisiin salaojakoneisiin herkkyytensä vuoksi. Jos mittaustiheyttä lasketaan, mitausnopeus ei rajoita kaivunopeutta missään käytännön tilanteessa.

5.1. Tulosten luotettavuus

Laitteisto testattiin elektroniikan toimivuuden suhteen TKK:n sovelletun elektroniikan laboratoriossa Otaniemessä. Koottu laitteisto ja ohjelmisto testattiin laboratorioolosuhteissa ja testiradalla Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksella Viikissä sekä käytännön ojitustyön aikana Pohjanmaalla ja Uudellamaalla. Saatua mitausaineisto koodattiin ojakohtaisesti ja varustettiin aikamerkinnoin. Tulokset laskettiin ja mittausvirheiden tarkastelu tehtiin kirjallisuuden perusteella valittujen tilastollisten menetelmien mukaisesti. Menetelmää vertailtiin tunnettuihin mittausmenetelmiin. Tällä perusteella voidaan saatuja tuloksia pitää tieteellisesti pätevinä ja luotettavina.

5.2. Tulosten vastaavuus

Salaojan asennustarkkuutta on mitattu sekä manuaalisesti (mm. KESO 1951, OLKINUORA ja ESALA 1982, VAKKILAINEN ja SUORTTI-SUOMINEN 1982) että automaattista tietojenkeruuta käyttäen (mm. LHOTZKY ja COLLINS 1975, de BOER 1987). Manuaalisissa mittausmenetelmissä mittauspisteiden välinen etäisyys

on kuitenkin ollut niin suuri, että niitä käytettäessä on erittäin suuri riski hyväksyä määräyksiä täyttämätön oja (de BOER 1987, 13). Automaattiset mittausjärjestelmät ovat mahdollistaneet tiheän mittauksen, joten käsillä olevaa menetelmää tulisi verrata johonkin niistä, vaikkakin kenttäkokeissa oli käytettävissä vain manuaalinen jälkitarkastusmenetelmä.

Automaattista tiedonkeruuta on salaojan asennustarkkuutta selvittävässä tutkimuksessa käytetty *putken sisältä mittaavilla* menetelmillä. Koska menetelmät ovat kehittyneet tiedonkeruulaitteiden muistikapasiteetin ja laskentatehon kasvaessa, on järkevää verrata tutkimustuloksia vain uusimpiin menetelmiin. Käyttökelpoisin vertailukohde on de BOER (1987). Hän on saanut lasersäätöisten salaojakoneiden työjälkeä selvittäneessä tutkimuksessaan saman suuntaisia tuloksia kuin tässä tutkimuksessa kehitetyllä menetelmällä saatiin. Tuulen vaikutus laserlähetimeen, ja sen kautta lasersäätöisen salaojakoneen työjälkeen, aiheutti hänen tutkimuksessaan samanlaisia heilahteluja putken sisältä mitattuun putken asemaan kuin tässä kehitetyn mittauslaitteen avulla saatiin selville putken päältä. Manuaalisella referenssimittauksella niiden selvittäminen olisi ollut miltei mahdotonta.

Tässä tutkimuksessa kehitetty menetelmä on de Boerin käyttämää LHOTZKYn ja COLLINSin (1975) kehittämää menetelmää vähätöisempi. Toimintatapansa vuoksi järjestelmästä saadaan nopeampi palaute urakoitsijalle, joka voi ottaa asennustarkkuudesta saamansa tiedon huomioon työtä tehdessään. Salaojakoneen säätöjärjestelmän toimintaa voidaan menetelmää käytettäessä valvoa tehokkaasti. Salaojakoneen käyttötavasta saadaan myös yksityiskohtaista tietoa (ajonopeus, ryömän kallistus), jota muilla menetelmillä ei saada. Lisäksi saadaan selville putken asettuminen ryömään nähden. Putken lopullinen asettuminen kaivannon pohjalle saattaa joissakin tapauksissa kuitenkin jäädä selvittämättä. Tällaisissa tapauksissa putken sisäinen mittaus antaa paremman tuloksen.

Aikaisemmin kehitetyistä salaojitustyön aikaisista mittausmenetelmistä kehitetty menetelmä poikkeaa reaaliaikaisuutensa ohella siten, että se soveltuu sekä manuaalisesti että automaattisesti säädettyihin salaojakoneisiin. Salaojakoneeseen tarvitsee kiinnittää vain sopiva kiinnitysalusta vastaanotinmastolle, tunnusteluelin potentiometriä varten, matkapyörälle teline ja tiedonkeruulaitteelle suojattu tila. Koska laitetta testattiin aurakoneessa, soveltuu se mitä ilmeisimmin myös hitaammin eteneville koneille, joissa laitteiston suorituskyvyllä ei aseteta niin suuria vaatimuksia.

5.3. Jatkotutkimustarve

Jatkotutkimustarvetta on ilmennyt sekä laitteiston, ohjelmiston että koko järjestelmän tasoilla. Koska itse menetelmä on osoittautunut käyttökelpoiseksi, ja tarvittavat korjaukset riippuvat laitteiston käyttösovelluksesta, niin laitteiston ja ohjelmiston jatkokehittäminen on järkevää liittää laitetta jatkossa käyttävään projektiin. Järjestelmätasolla havaittu tutkimustarve saadaan parhaiten tyydytettävä uuden laajemman projektin yhteydessä. Kehitystarpeet ovat kahtaalla: tutkimusvälineen ja kaupallisen version tavoitteet poikkeavat jonkin verran. Tutkimusvälineeksi laite kelpaa vähäisin korjauksin, mutta kaupallisen tuotteen kehitys vaatii vielä runsaasti panostusta, jotta laitteesta saataisiin edullinen ja täysautomaattinen versio.

5.3.1. Laitteiston jatkokehitys

Laitteistolla pystytään nykykokoonpanossa mittaamaan salaojan asennustarkkuus ojitustyön aikana. Jatkokehittämisessä, oli seuraava sovellusalue millainen tahansa, on laitteita kuitenkin välttämättä kehitettävä. Mittaustapahtuma tulee saada automaattisemmaksi ja laite huoltovapaammaksi ja kenttäkelpoisemmaksi.

Matkan mittauksen virhe riippuu matkan mittauksen aloituksen ja lopetuksen tarkkuudesta, matkapyörän luistosta, putken venymästä ja putken asennustarkkuudesta. Näistä mittauksen aloitus- ja lopetustarkkuus ovat merkittävimpiä, koska kenttäko-

keissa mittaus aloitettiin ja lopetettiin manuaalisesti painamalla tiedonkeruulaitteen näppäintä tähtäyslinjalla. Matkapyörän mahdollinen luisto ja matkapyörän jälkeen tapahtuva putken venyminen vähentävät, kun taas epätarkka putken asennus lisää mitaustulosta. Matkan mittauksen tarkkuuden testaus edellyttäisi, että laite merkitsisi maastoon mittaamansa matkan automaattisesti (esim. suihkuttamalla maalia maahan viiden metrin välein). Mittauksen aloitus ja lopetus tulisi automatisoida inhimillisen tekijän karsimiseksi pois. Jos laitetta käytetään ajopiirturin tavoin, mittauksen aloitus ja lopetus voidaan jättää matkapyörän tehtäväksi: ojan asennustarkkuutta mitataan, kun putkea menee ojaan. Tässä yhteydessä matkanmerkitsemislaitteita ei enää tarvittaisi.

Tutkimuslaitteen komponentteja on käytetty salaojakoneiden säädössä (laserlaitteet) ja metsäkoneissa (potentiometri). Tiedonkeruulaite suunniteltiin kenttäolosuhteisiin sopivaksi. Laitteiston heikoin lenkki on kannettava tietokone, joka ei ole tarkoitettu kenttäkäyttöön. Kokeiden aikana mikrotietokone oli koteloituna ja värinävaimennettuna. Tietokoneen värinänsietokyky testattiin TKK:n laboratoriossa, ja kotelointi tehtiin TKK:n verstaalla. Näppäimistöön ja levykeasemiin kerääntyy koteloinnista huolimatta pölyä. Laite kesti hyvin kentällä, mutta jatkossa on pyrittävä käyttämään kenttäkelpoisempaa mikrotietokonetta. Paras ratkaisu olisi, jos tiedonkeruuyksikköä modifioitaisiin siten, että mikrotietokonetta ei tarvitsisi liittää siihen mittauksen ajaksi. Kerätty mittaustieto siirrettäisiin tiedonkeruulaitteen massamuistista toimistomikrotietokoneeseen jatkoanalyysijä varten. Tiedonkeruulaitteeseen liitetylle näytölle ja/tai tulostimelle saataisiin pellolla tarvittavat tiedot. Laitteen ohjelmistoa tulisi kehittää siten, että laitteelta olisi mahdollista pyytää erilaisia raportteja ojituksen asennustarkkuudesta ja salaojakoneen käyttötavasta. Sähköisesti laite tulisi kytkeä siten, että sen akut voidaan liittää salaojakoneen omaan latausvirtapiiriin.

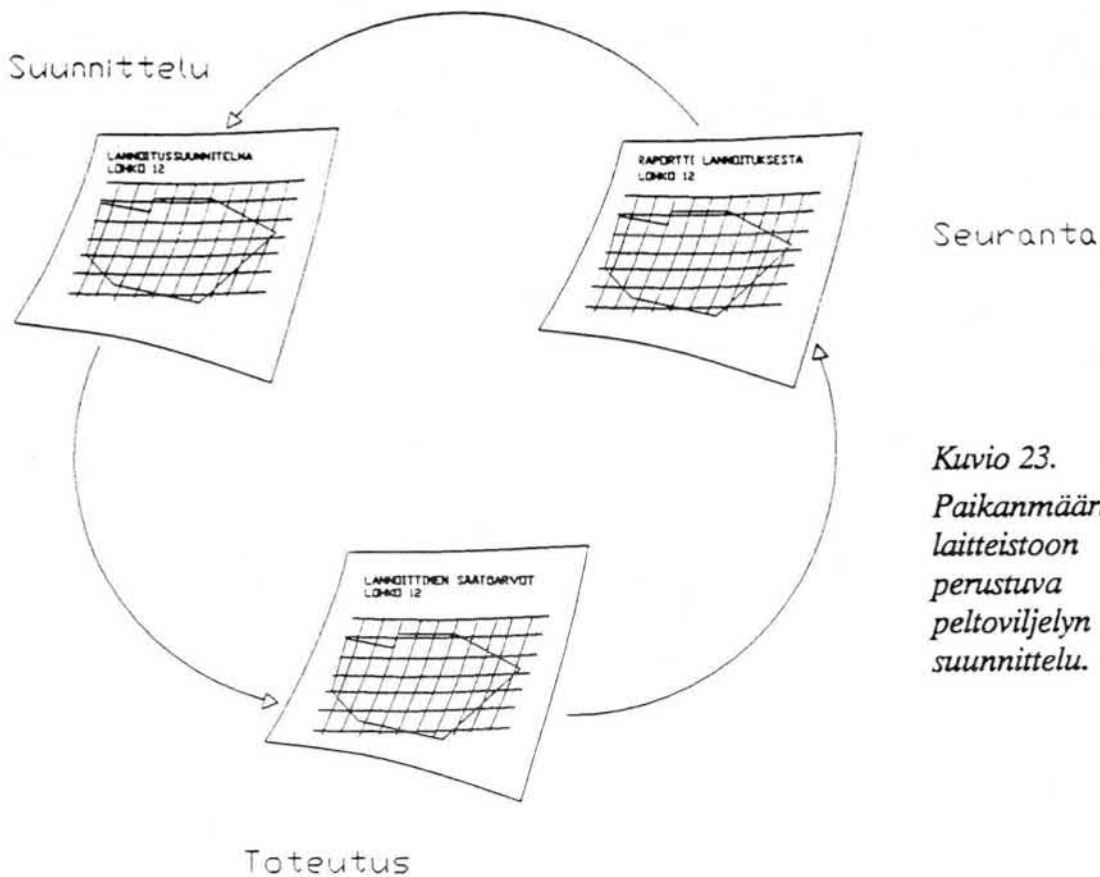
Jatkokehittely on tarpeellista myös laserlähettimen tuuliherkkyyden pienentämiseksi. Tuulisella säällä jalustan heiluntaa on vaikea estää. Tämän vuoksi lähettimen jalustaa ja sen käyttöä tulisi kehittää (jalustan ankkurointi, painotus, suuntaus). Tämä parantaisi lasersäätöisten salaojakoneiden työljälkeä yleensä ja laserilla tehdyn asennustarkkuuden mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta.

Vaikka tutkimuksessa tehty tarkistusmittaus oli tiheämpää kuin normaalisti, niin sillä ei pystytä käytetyllä metrin mittaustiheydelläkään selvittämään ojan pohjassa mahdollisesti esiintyviä korkeataajuuksisia pieniä heilahteluita. Tämä heikentää tarkistusmittauksella saatua selitysastetta. Vasta kun tarkistusmenetelmän tarkkuus saadaan vähintään samalle tasolle kuin mittaumenetelmän, on mahdollista luotettavasti arvioida kehitetyn menetelmän ominaisuuksia. Mikäli kehitettyä menetelmää halutaan arvioida tarkemmin, tulee tarkistusmenetelmää kehittää siten, että mittaumenetelmän mahdolliset puutteet saadaan selville. Aiheellista olisi tarkistaa ojat de BOERin (1987) käyttämällä laitteella, joka mittaa ojasyvyyden yhtä tiheästi kuin nyt kehitetty laite.

5.3.2. Kolmiulotteinen paikantamismenetelmä

Jatkotutkimustarve painottuu, kuten edellä on mainittu, laitteiston virhelähteiden poistoon. Koska kuitenkin mittaumenetelmä on alkuperäistä tavoitetta tarkastellen valmis, tulee jatkotutkimus liittää uuteen projektiin, jonka yhteydessä tarvittavat muutokset tehdään. Tutkimuksessa kehitetyllä menetelmällä saadaan selvitettyä, paitsi salaojan asennustarkkuus, myös minkä tahansa kohteen korkeusasema laser-tasoon nähden. Menetelmän käyttösovellutuksia on useita (esim. maan pinnanmuotojen kartoitus ja koneen työsyvyyden säätö). Menetelmän käyttömahdollisuudet paranisivat kuitenkin huomattavasti, mikäli siihen lisättäisiin *paikanmäärittäislaitteisto*.

Kolmiulotteinen kohteen paikanmääritys peltoviljelyssä mahdollistaa automaattisen paikkaan sidotun tiedonkeruun. Kerätty tieto voidaan sitoa maastoon tarkasti ja tietojen perusteella tehtävät suunnitelmat saadaan tarkemmiksi. Salaojitussuunnitelman ojasyvyydet on helpompi suunnitella oikeiksi, kun maaston muodoista on enemmän tietoa. Pellon pinnan tasaaminen helpottuu, kun siirrettävät maamassat voidaan kuo- tioida ja minimoida. Viljavuus- ja satoanalyysiin voidaan liittää tarkempi syy-seuraus -tarkastelu, kun saadut tiedot voidaan liittää yksiselitteisesti tiettyyn paikkaan pellolla. Suunnitelmien toteuttamisesta jää pois maastoonmerkintävaihe, ns. paalu- tus. Tuotannon ympäristökuormaa voidaan vähentää, mikäli tuotantopanoksia (lan- noitteita, kasvinsuojeluaineita) annetaan vain sellaisille kohteille, joilla on mahdollisuus ne käyttää hyväkseen. Kolmiulotteinen paikanmääritys tekee mahdolli- seksi luoda peltoviljelyn kokonaisjärjestelmän, jossa tuotannosta saatavat tiedot, suunnitelmat ja toimenpiteet käyttävät samaa koordinaatistoa (kuvio 23).



*Kuvio 23.
Paikanmääritys-
laitteistoon
perustuva
peltoviljelyn
suunnittelu.*

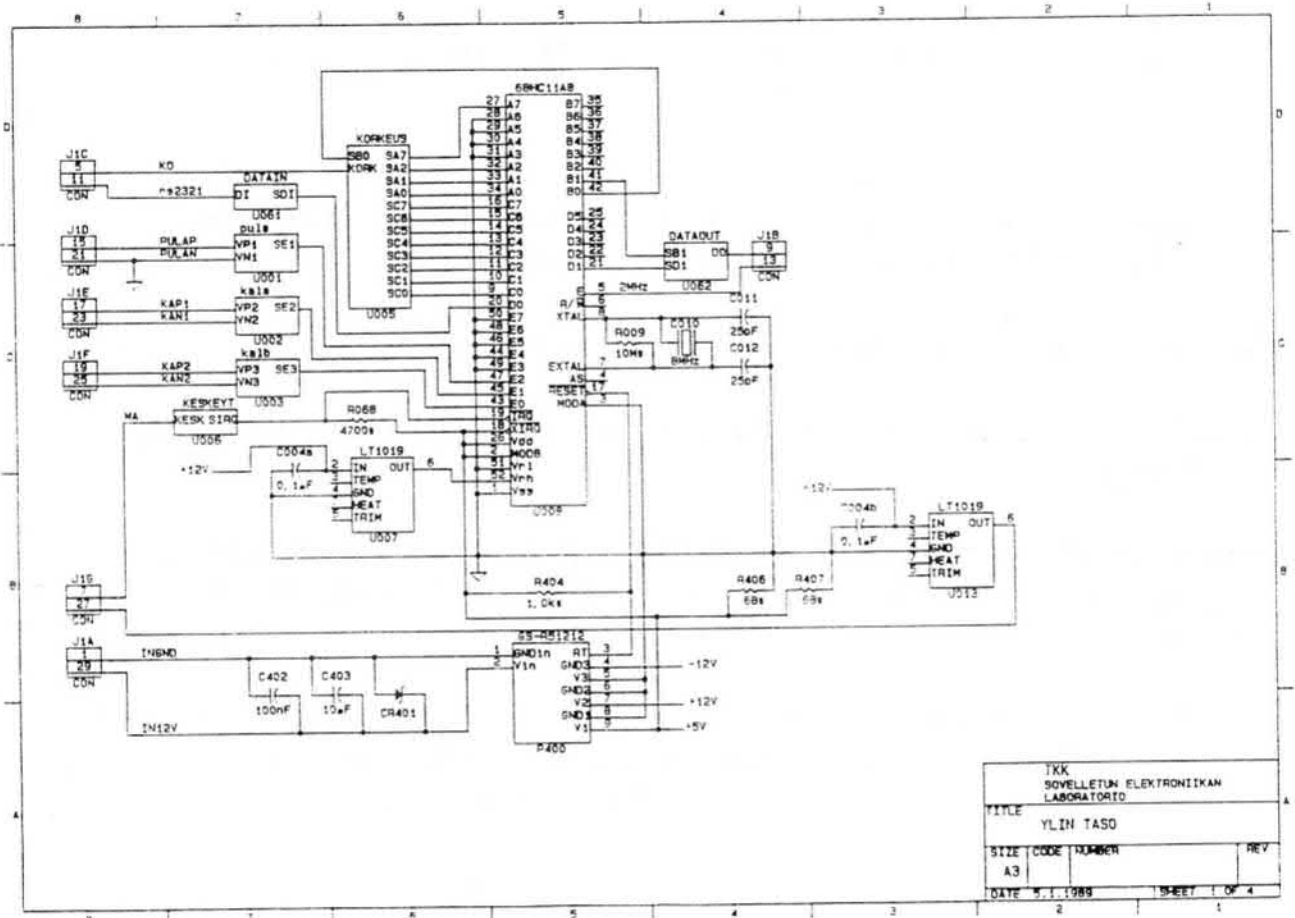
KIRJALLISUUTTA

- Anon. 1987. Muovirakenteiden käyttö maanparannuksessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja. N:o 9. Helsinki. 123 s.
- ASAE 1987. Design and Construction of Subsurface Drains in Humid Areas. ASAE Engineering Practice. EP260.4. ASAE Standards. s. 450-460.
- Bellin, K. 1979. Die Verlegegenauigkeit einer Dränung - Erfahrungen, Grundsätze, Forderungen. Wasser und Boden. No 1. s. 10-14.
- de Boer, K. 1987. Grading Precision of Subsurface Drains. English edition. Mededelingen Landinrichtingsdienst. No 158a. 47 s.
- Boels, D. 1979. A method to predict changes in hydraulic conductivity caused by drainage plows and backfilling of trenches. Agric. water management 1. s. 11-24.
- Dally, J., Riley, W. ja McConnel, K. 1984. Instrumentation for Engineering Measurements. John Wiley & Sons. New York. 576 s.
- Godwin, R., Magalhaes, S., Miller, S. ja Fry, R. 1987. Instrumentation to Study the Force Systems and Vertical Dynamic Behaviour of Soil-engaging Implements. J. agric. Engng Res. 36 s. 301-310. Academic Press. London.
- Haapala, H. 1987. Salaojan asennustarkkuus. Käsikirjoitus. Nähtävänä Helsingin yliopiston Maatalousteknologian laitoksella.
- Haapala, H. ja Luoma, T. 1989. Salaojan asennustarkkuuden merkitys. Helsingin yliopisto. Maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote 60. 30 s.
- James, L. ja King, B. 1984. Trans. ASAE. Vol. 27(6):Nov-Dec. 367 s. St. Joseph.
- Kellet, A. ja Armstrong, A. 1980. Sedimentation of Drainage Pipes: Results of a National Investigation (DW 14) - Preliminary Report. Min. of Agric., Fish. and Food. Land Drainage Service. Research and Development. Rep. 2. 9 s.
- Keso, L. 1951. Salaojitustyöt. Kolmas painos. Pellervo-Seura. Helsinki. 299 s.
- Lhotzky, K. ja Collins, H. 1975. Entwicklung von Meverfahren zur Prüfung der Lage eines im Boden verlegten Rohres. Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung. No 5. s. 297-303.
- Mäkinen, Y. 1978. Tilastotiedettä biologeille. Synapsi r.y. Turku. 306 s.

- Olkinuora, P. ja Esala, J. 1982. Aurasalaoituksen käyttömahdollisuudet. Summary: Utilisation of Trenchless Drainage. VAKOLAn tutkimusselostus n:o 29. Vihti. 28 s.
- Pehkonen, A. 1986. The malfunctions of Finnish subsurface drainage. Proc. Int. Sem. on Land Drainage. TKK. Rak.ins.os. Vesitekn. Julk. 1986/1. Helsinki. 503 s.
- Puustinen, M. ja Pehkonen, A. 1986. Salaojien toimintahäiriöt. Summary: The Malfunctions of Finnish Subsurface Drainage. Hels. yliop. Maatal. teknol. lts. Tutk.tied. n:o 48. 67 s., 16 liites.
- Puustinen, M., Varis, R. ja Luoma, T. 1987. Salaojien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turvemaidilla. Summary: Solutions for Subsurface Drainage Malfunctions on compacted clay and peat Soils. Hels. yliop. maatal.teknol.lts. Tutk.tied. n:o 51.
- Saavalainen, J. 1981. Salaojittajan käsikirja. Osa II b. 61 s.
- Tikka, M. 1986. Mittausten suoritus. Käytännön geodesia IV. Otakustantamo. Espoo. 464 s.
- Vakkilainen, P. ja Suortti-Suominen, T. 1982. Pitkälle koneellistetun salaoituksen käyttömahdollisuudet ja kannattavuus. Esitutkimus. Salaoituksen tutkimusyhdistys. Helsinki. 55 s.
- Voss, B. ja Zimmermann, F. 1972. Untersuchungen über die Festigkeitsänderungen im Boden sowie die Verlegegenauigkeit von Rohren beim Einsatz grabenlos arbeitender Dränmaschinen. Wasser und Boden 4. s. 102-105.

Liite 1.

Tiedonkeruulaitteen kytkentäkaavio



68HC11AB	U008	Motorolan 8-bittinen mikrotietokone
J1A	CON	Syöttöjännitteeseen liitin
J1B	CON	Lähtevän sarjasmotoisen datan liitin
J1C	CON	Mastosihtaalien ja sisään tulevan sarjasmotoisen datan (ei käytössä) liitin
J1D	CON	Potentiometrin liitin
J1E	CON	Kallistusanturin liitin
J1F	CON	Kallistusanturin liitin
J1G	CON	Natkapyörän liitin
Korkaus	U005	Mastosihtaalien käsittely
Datain	U061	Sisään tulevan sarjasmotoisen datan käsittelypiirit
Dataout	U062	Lähtevän sarjasmotoisen datan käsittelypiirit
Pula	U001	Potentiometrin signaalien käsittely
Kala	U002	Kallistussignaalien käsittely
Kalb	U003	Kallistussignaalien käsittely
Keskkeyt	U006	Natkapyörän signaalien käsittely
LT1019	U007	Jännitereferenssi
LT1019	U013	Jännitereferenssi
GS-RS1212	P400	Kalmitulovalaisin hakkuriteollisuuden

Liite 2.

Tiedonkeruulaitteen ohjelma

```

START  FDI  STAA
DATA   EDI  $1000
LAIET  EDI  $1001
ALDIET EDI  $2A
LOPPI  EDI  $C1
CR     EDI  $10
          INR  START

OVI    CLR  $1000
        LDB  $9FF
        CLR  $1004
        LDA  $980
        STAA $1070
        LDA  $901
        STAA $901
        STAA $1017
        STAA $1018
        STAA $1021
        STAA $1022
        STAA $1029
        STAA $102B
        STAA $101C
        STAA $101D
        CLR  $9FF
        LDA  $901
        STAA $1018

        LDA  $901
        STAA $1017
        CLR  $1A
        STAA $1027

        LDA  $97A
        STAA $1075

MSB00  LDA  $910
        STAA $1070
        LDA  $2
        STAA $1074

          LAM
          LDA  $9C
          STAA $1020
          LDA  $102E
          AND  $27
          PED  $E1
          LDA  $102F
          AND  $10FF
          PED  START
          LDA  LAIET
          CLR  $E1
          AND  $E2
          LDA  $910
          STAA $1070
          CLR  LAIET

OVI2   AND  $1000

LAM    LDA  $908
        STAA $1020
        LDA  $102E
        LDA  DATA
        STAA $102F
        LDA  $102E
        AND  $9C0
        AND  TOR

        LDA  $98
        STAA $1020
        RTS

TUT1   LDA  $1070
        AND  $901
        PED  TUT1
        LDA  $1071
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1072
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1073
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1000
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1007
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1000
        STAA DATA
        JSR  LAM
        LDA  $1007
        STAA DATA
        JSR  LAM
        CLR  $A
        STAA $102C
        LDA  $99
        STAA $102D
        LDA  $98
        STAA $102E
        CLR  $A
        STAA $102C
        LDA  $901
        STAA LAIET
        RTS

** ESI VAI TORIT

TORV   DMB  $FFC
        FDB  TUT1
        DMB  $FFE
        FDB  ALI
        ENB
  
```

* Muistiosoitteiden (LAIET, LAIET2)
 * Muistiosoitteiden (LAIET2)
 * Alkuperäinen (LAIET2)
 * Loppuosoite (LAIET2)
 * Sivunopeus

* FORTIA A
 * 98
 * TORV2

* PORTIA
 * TUTI, EDI-Mapping
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* LAIET
 * LAIET2
 * OVI-CONTROL
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* FORTIA A
 * FORTIA A

* MAA
 * LAIET
 * LAIET2
 * OVI-CONTROL
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* LAIET
 * LAIET2
 * OVI-CONTROL
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* LAIET
 * LAIET2
 * OVI-CONTROL
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* SCC2, SCC1, SCC0, SCC3, SCC4
 * SCC2, SCC1, SCC0, SCC3, SCC4
 * SCC2, SCC1, SCC0, SCC3, SCC4
 * SCC2, SCC1, SCC0, SCC3, SCC4

* SCC1, SCC0
 * SCC1, SCC0
 * SCC1, SCC0
 * SCC1, SCC0

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

* OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4
 * OVI2, OVI3, OVI4

Liite 3.

Mikrotietokoneen ohjelmat.

Mittausohjelma.

```

Program ReadData;(* Uusin versio, tallentaa myös kellonajan *)

uses dos,crt;(* tureen mm. KeyPressed-funktion vuoksi *)
Type      (* sekä ajan lukemiseksi dos:ista *)
  Taulu=Array[1..15] of byte;
Var
  Data: Taulu;
  vak : Real;      (* sukkulan ja putkenlaskupotikan väli *)
  T,min,sek,s:word;
  Data1: File of Byte;
  Data2: File of Byte;
  Data3: File of Byte;
  Data4: File of Byte;
  Data5: File of Byte;
  Aika : File of Word;
  Korkeus:File of Real; (* tänne tallatetaan lasketut korkeudet *)
  Vali :File of Real; (* täältä ohjelma lukee vak:n *)
  ni: string[10];
  ni2: string[10];
  ni3: string[10];
  ni4: string[45];
  ni5: string[45];
  ni6: string[10];
  Habs,Laskuri: Real;
  kierr:integer;

Procedure Alustus;
(* Alustaa levyketiedostot *)
Begin
  Assign(Vali,'a:\progs\Vali.ree');
  Reset(Vali);
  Read(Vali,vak);Close(Vali);
  Assign(Data1,'c:\Data1.by1');
  Rewrite(Data1);
  Assign(Data2,'c:\Data2.by1');
  Rewrite(Data2);
  Assign(Data3,'c:\Data3.by1');
  Rewrite(Data3);
  Assign(Data4,'c:\Data4.by1');
  Rewrite(Data4);
  Assign(Data5,'c:\Data5.by1');
  Rewrite(Data5);
  Assign(Korkeus,'c:\Korkeus.ree');
  Rewrite(Korkeus);
  Assign(Aika,'c:\Aika.wrd');
  Rewrite(Aika);
  Port[$3FD]:=0;(* Line Status Register *)
  Port[$3F9]:=0;(* Interrupt Enable Register *)
  Laskuri:=0;

End;

Procedure LuePortti(var x:Taulu);
(* lukee 5 tavua com1:sta kutsutaulukkoon *)

var n,Tavu:integer;
apireal;
Begin
  n:=1;
  Repeat
    Repeat
      Tavu:=(Port[$3FD] and $11);
    Until (Tavu=1) OR (Tavu=$11) OR KeyPressed;
  End;
  x[n]:=Tavu;
  n:=n+1;
  Until n=15;
End;

```

```

    if Tavun1 then
        Begin x(n):=Port(33F8);inc(n);end;

    Until (Tavun811) or KeyPressed;
    ap:=Port(33F8);
End;

Function TulkPul: Real;(* Muuntaa putkenlaatuportin jännitteen *)
    (* asteiksi ja tallentaa c-levylle *)
    Const mit:=real=9.6078431E-4;
    Var x:byte;
    Begin
        Read(Data3,x);
        TulkPul:=0.245-integer(x)*mit;
    End;

Function TulkKal1: Real;(* Muuntaa kallistuspotikoiden jännitteet *)
    (* asteiksi ja tallentaa c-levylle *)
    Var mit:=real;
    x:byte;
    Begin
        mit:=PI/(2*255);(* yksi bitti=90deg/255 *)
        Read(Data1,x);
        TulkKal1:=abs(PI/4-x*mit);(* Kuluun arvo on *)
    End;(* poikkeama pystysuorasta *)

Function TulkKal2: Real;

    Var mit:=real;
    x:byte;
    Begin
        mit:=PI/(2*255);
        Read(Data2,x);
        TulkKal2:=abs(PI/4-x*mit);
    End;

Function TulkKork: real;(* Muuntaa maaston korkeuden 12-bittiseen *)
    (* datan reaaliluvuksi *)
    Var x,y :byte;
        msb,lsb:integer;
        h :Real;(* pulssien lkm *)
    Begin
        Read(Data4,x);msb:=integer(x);
        Read(Data5,y);lsb:=integer(y);

        If msb<4 Then h:=msb*256+lsb
        Else h:=(136-msb)*256+lsb;
        TulkKork:=h*0.0025+vas ;
    End;

Function tan(a:real):real;
    begin
        Tan:=sin(a)/cos(a); (* a:n oltava radiaaneja *)
    end;

Function AbsKork : Real;

    Var h:real;

```

```

Begin
Abasork:=*(TuikKork+TuikPul)/
(sqr(1+sqr(tan(TuikKal1))+sqr(tan(TuikKal2))));
End;

Procedure Talleta(Data:Taulu);

(* Tallettaa datan 5 tavua kerrallaan ram-levylle *)

Begin
GetTime(T,min,sek,s1);
Write(Data1,Data(1));
Write(Data2,Data(2));
Write(Data3,Data(3));
Write(Data4,Data(4));
Write(Data5,Data(5));
Write(Aika,min,sek);
End;

Procedure alku;
var kirj:char;

Begin
clrscr;
Writeln('=====');
Writeln('*** Enterin painallus aloittaa sarjaportin lukemisen ***');
Writeln('=====');
repeat kirj:=readkey;
until (kirj=chr(13));
End;

Begin
(* Pääohjelman alku *)

Alustus:Alku;
Writeln('*** Luan dataa sarjaveylältä, paina jokin neppainta ***');
Writeln('*** kun haluat lopettaa. ***');
while not KeyPressed do

Begin

LusPortti(Data);Talleta(Data); (* Varsinainen tiedon luku *)
(* Data1.bytt tiedostoihin *)
End; (* c-levykeelle *)

Writeln('*** Data tallistettu c-levylle ***');
Writeln('=====');

Reset(Data1);Reset(Data2);Reset(Data3);
Reset(Data4);Reset(Data5);

writeln('*** Nyt laskan putkan syvyyden kussakin pisteessä ja ***');
writeln('*** ja talletan tulokset c-levylle tiedostoon ***');
writeln('*** Korkeus.ree ***');
writeln('=====');

While not (EOF(Data1) OR EOF(Data2) OR EOF(Data3) OR EOF(Data4)
OR EOF(Data5)) Do
Begin

```

```

      Habs:=AbsKork;
      Write(Korkaus,Habs);
    End;

writeIn(' OK. Nyt tallutetaan Korkaus.rea-tiedosto ');
writeIn(' b:-levylle. Anna tälle mittaukselle eri nimi ');
writeIn(' kuin b:-levyllä jo olevat .rea-tyyppiset tie- ');
writeIn(' ostonimet. ');
writeIn('-----');
      (BN $4000,0,0)
      Exec('\command.com', '/c dir b:\datat\*.rea');
writeIn(' Mikä niminen mittaus (xxxx.rea) ? ');
writeIn(' Anna xxxx (maks 5 kirj.). ');
      readln;read(n1);n1:~n1;n1:~n1+'.rea';n2:=n1+'.wrđ';
      m1:= '/c copy c:korkaus.rea b:\datat\' + n1; (* 31 *)
      m2:= '/c copy c:Aika.wrđ b:\datat\' + n2; (* Aika-tiedosto *)
      writeIn(m1); (* see nimen xxxx.wrđ *)
      Exec('\command.com', m1);
      Exec('\command.com', m2);
      for kierr:= 1 to 5 do
      begin
        (* tavutiedostot Data1.byť tallutetaan *)
        (* nimelle xxxx.byť *)
        str(kierr:1, n1);
        m2:= '/c copy c:Data'+n1+'.byť b:\datat\' + n1 + n1 + '.byť';
        Exec('\command.com', m2);
      end;
writeIn('-----');
writeIn(' OK. Homma hoidettu. Bye. ');
writeIn('-----');

End.

```

Liite 3.**Mikrotietokoneen ohjelmat.****Numeerinen tulostusohjelma.**

Program hui;

```
var
  kork, korkeus:file of real;
  n:integer;
  m,x:real;

begin
  Assign(Kork, 'c:Korkeus.rea');
  reset(Kork);m:=1;
  while not eof(kork) do
  begin
    writeln('Matka: Syvyys:');
    for n:=1 to 22 do
    begin
      if not eof(kork) then
      begin
        read(kork,x);
        writeln(m#0.05:6:2, ' ',x:6:4);m:=m#1;
      end;
    end;
    readln;
  end;
  close(Kork);

  writeln('O.K. ');
end.
```

Liite 3.

Mikrotietokoneen ohjelmat.

Graafinen tulostusohjelma.

```

program Tulostus;

($I Float.inc)

uses
  Dos, Crt, GDriver, GKernel, GWindow, GShell, Graph, sftext;

const
  Null = #0;
  CA:Array[0..9] of Char = ('0','1','2','3','4','5','6','7','8','9');

var
  I,Jv,xlask : integer;           (Jv = y-akselin jakoväli)
  CH : char;
  Kork:file of real;
  x1,yy1,x2,yy2,krs:integer;
  Mu:Array[1..5] of char;        (aputaulukko integer->char-muunnoksessa)
  Luvut:Array[1..800] of integer;(tähän luetaan verran dataa)
  Xpstk:integer;                 ( x-akselin pisteiden lukumäärä )

Procedure Alustus;
Begin;
  Assign(Kork,'c:Korkeus.real'); ( huom !!!!!!!!!!!!!!! )
  Reset(Kork);                   ( mitat millimetreissa )
  Xpstk:=400;
  x1:=-15;yy1:=2650;
  x2:=Xpstk;yy2:=2350;
  krs:=0;
  Jv:=50;
End;

Procedure LueLuuu;(Lukee c:levyiltä yhdelle näyttöruudulle mahtuvan
                  (määrän dataa )
var n,apu:integer;
    x :real;
Begin
  n:=1;
  while (n <= Xpstk) AND (NOT EOF(Kork)) do
  begin
    Read(Kork,x);apu:=round(1000*x);( luetaan Xpstk pistettä )
    Luvut[n]:=apu;inc(n);           ( taulukkoon, pyöristys )
  end;                              ( millimetrin tarkkuudelle )

  if EOF(kork) then                 ( jos data loppuu, annetaan taulukon )
  begin                               ( luvuille arvoiksi nolita )
    while n <= Xpstk do
    begin
      Luvut[n]:=0;inc(n);
    end;
  end;
End;

Procedure PiirraKuvaaja;

var n:integer;

Begin
  n:=1;
  while n < Xpstk do
  begin;
    Draw.Line(n,Luvut[n],n+1,Luvut[n+1]);inc(n);
  end;

```

```

end;

End;

Procedure PiirraKuv2; ( metri-kerrallaan-tulostusta varten )

var n:integer;

Begin
  n:=1;
  DrawLine(0,Luvut[xlask],n*(xpetikm div 20)
  ,Luvut[xlask]);
  While n <= 20 do
  begin
    DrawLine(n*(xpetikm div 20),Luvut[xlask],(n+1)*(xpetikm div 20)
    ,Luvut[xlask+1]);
    inc(xlask);inc(n);
  end;

End;

Procedure Lukuikkuna; ( ikkuna johon syötetyt parametrit tulostuvat )

Begin
  DefineWindow(3,0,0,6,20);
  DefineWorld(3,0,0,2,2);
  SelectWindow(3);
  SelectWorld(3);
  SetBackground(0);
  DrawBorder;

End;

Procedure konv (n:integer); ( muuttaa kokonaisluvun merkkijonoksi )

var a:array[0..4] of integer;
    x,mn:integer;

Begin
  mn:=10^n;
  x:=mn div 10000;a[0]:=x;
  mn:=mn-10000*x;
  x:=mn div 1000;a[1]:=x;
  mn:=mn-1000*x;
  x:=mn div 100;a[2]:=x;
  mn:=mn-100*x;
  x:=mn div 10;a[3]:=x;
  mn:=mn-10*x;a[4]:=mn;

  for x:=0 to 4 do
    hui[x+1]:=CA[a[x]];
  End;

Procedure Vaakaviivat;

var n:integer;
    ss:string(6);
    apireal;

Begin
  n:=yy2*10;
  while n>yy1 do
  begin
    DrawLine(0,n,xpetikm,n);apireal:=v1000;str(apireal:2,ss);
    DrawText(-14,n*(yy1-yy2)/50,1,ss);
    (* DrawText(-8,n,1,'); *)
    (* DrawText(-6,n,1,hui[3]); *)
  end;

```



```

      (* Drawtext(-3,n,1,hui(4)); *)
      inc(n,jv)
    end;

  End;

Procedure Pystyviivat;

var n:integer;
    ap:real;
    ss:string(6);
Begin
  n:=0;
  While n <= x2 do
    Begin
      Drawline(n,yy2,n,yy1);ap:=v/40+(xpatikka/40)*trs;
      str(ap:2:4:1,ss);
      Drawtext(n*(xpatikka div 80),yy2+(yy1-yy2)/50,1,ss);
      inc(n,(xpatikka div 10));
    End;
  End;

Procedure Pystyviivat2; ( jälleen metri-kerrallaan jnw. )

var n:integer;

Begin
  n:=0;

  While n <= 10 do
    begin
      Drawline(n*(xpatikka div 10),yy2,n*(xpatikka div 10),yy1);
      kow(n);
      Drawtext(n*(xpatikka div 10)+5,yy2+(yy1-yy2)/50,1,'. ');
      Drawtext(n*(xpatikka div 10)+8,yy2+(yy1-yy2)/50,1,hui(4));
      inc(n);
    End;
  End;

Procedure Skalaaf(kx:integer); ( skaalaa y-akseli kuvan mukaan )

var n,max,min:integer;

Begin
  n:=1;max:=Luvut[n];min:=max;
  while n <= x2 do
    begin
      if (Luvut[n] > max) and (Luvut[n] < 10000) then max:=Luvut[n];
      if (Luvut[n] < min) and (Luvut[n] > 0) then min:=Luvut[n];
      inc(n,kx);
    end;
  yy1:=((max div 50)+1)*50;
  yy2:=((min div 50)-1)*50;
  jv:=((yy1 - yy2) div 100)*10;if jv<10 then jv:=10;
  End;

Procedure jako; ( jakovälin muuttaminen )

var apujv:integer;

Begin
  gotoxy(48,3);writein(' ');
  gotoxy(48,4);writein('Anna jakoväli/cm ');

```

```

    gotoxy(4,5);writeln('Vanne jv = ',jv div 10,' ');
    gotoxy(4,6);writeln(' ');
    gotoxy(4,7);writeln(' ');
    komv(jv);Lukuikkuna;
    gotoxy(1,1);Readln(apujv );
    if apujv >(yy1-yy2) div 10 then jv:=jv
    else jv:=apujv*10;

    Defineworld(1, xx1,yy1, xx2,yy2);
    ClrScr;
    SelectWindow(1);      ( Valitaan tulostusikkuna )
    SetHeaderOn;
    SelectWorld(1);
    SetBackground(0);
    DrawBorder;

    Vaakaviivat;      PiirraKuvaaja;

End;

Procedure Yaks; ( y-akselin muokkaus )

var apuy1,apuy2:integer;

Begin
    Lukuikkuna;
    gotoxy(4,3);writeln(' ');
    gotoxy(4,4);writeln('Anna uusi min(y) ');
    gotoxy(4,5);writeln('vanha ',yy2 div 10,'cm ');
    gotoxy(4,6);writeln(' ');
    gotoxy(4,7);writeln(' ');
    gotoxy(1,1);Readln(apuy2);
    gotoxy(4,3);writeln(' ');
    gotoxy(4,4);writeln('Anna uusi max(y) ');
    gotoxy(4,5);writeln('vanha ',yy1 div 10,'cm ');
    gotoxy(4,6);writeln(' ');
    gotoxy(4,7);writeln(' ');
    gotoxy(1,1);Readln(apuy1);
    if apuy1 > apuy2 then ( onko max(y) > min(y) ? )
    begin;
        yy1:=10*apuy1;yy2:=apuy2*10;
    end;
    Defineworld(1, xx1,yy1, xx2,yy2);
    ClrScr;
    SelectWindow(1);      ( Valitaan tulostusikkuna )
    SetHeaderOn;
    SelectWorld(1);
    SetBackground(0);
    DrawBorder;
    Vaakaviivat;
    PiirraKuvaaja;

End;

Procedure Xaks; ( metri kerrallaan tulostus )

var i:integer;
    sa:string(6);
    apireal;

Begin
    gotoxy(4,3);writeln(' ');
    gotoxy(4,7);writeln(' ');
    gotoxy(4,4);writeln('Tulostetaan ');
    gotoxy(4,5);writeln('metri kerral- ');
    gotoxy(4,6);writeln('laan ? k/e ');
    Lukuikkuna;

```

```

GotoY(10,10);Readln(ch);i:=1;steak:=1;
if ch='k' then
begin
  while i<=xpatlas div 20 do
  begin
    ClrScr;
    SelectWindow(1);          ( Valitaan tulostusikkuna )
    DefineHeader(1, 'METRI KERRALLAAN H=HARDCOPY');
    SetHeaderOn;
    SelectWorld(1);
    SetBackGround(0);
    DrawBorder;
    ap:=(-1)*(krs*xpatlas div 20);str(ap:4:0,sa);
    Vaakaviivat;Pystyviivat2;
    PiirraKuvio;Kuvio(i-1);inc(i);
    if xpatlas=100 then DrawText(-12,yy2+(yy1-yy2)/50,1,sa);
    if xpatlas=200 then DrawText(-12,yy2+(yy1-yy2)/50,1,sa);
    if xpatlas=400 then DrawText(-15,yy2+(yy1-yy2)/50,1,sa);
    repeat
      ch:=readkey;
    until (ch=chr(13)) or (ch='h') or (ch='e');
    if ch='h' then
      begin
        HardCopy(false,6);
        GotoY(26,10);writeln('NAYTTO KOPIOITU PRINTERILLE' );
      end;
    if ch='e' then exit;
  end;
  DefineHeader(1, 'PUTKEN STYVYS X/M, Y/M P=VALIDO');
  SetHeaderOn;
end;
End;

Procedure Hardis; ( printausrutiini, HardCopy-ohjelmaa )
Begin
  ClrScr;
  SelectWindow(1);          ( Valitaan tulostusikkuna )
  SetHeaderOn;
  SelectWorld(1);          ( Select it's world )
  SetBackGround(0);        ( Give it a black background )
  DrawBorder;              ( Draw a border around the window )
  Vaakaviivat;Pystyviivat;
  PiirraKuvio;
  HardCopy(false,6);
  GotoY(26,10);writeln('NAYTTO KOPIOITU PRINTERILLE' );
End;

Procedure Valikko;
var ch:char;

Begin
  SelectWindow(2);          ( piirtää valikkoikkunan )
  SetHeaderOn;
  SelectWorld(2);
  SetBackGround(0);
  DrawBorder;
  gotoxy(48,3);writeln('J=Jakovalli ');
  gotoxy(48,4);writeln('Y=Y-koordsto ');
  gotoxy(48,5);writeln('X=Metri kerrallaan');
  gotoxy(48,6);writeln('H=hardcopy ');
  gotoxy(48,7);writeln('E=Poistu ');
  Repeat
    repeat
      ch:=readkey;

```

```

until (Ch='j') OR (Ch='y') OR (Ch='x') OR (Ch='p')
OR (Ch='e') OR (Ch=chr(13)) OR (Ch='h');
if Ch='j' then begin Jako:Pystyviivat;end;
if Ch='y' then begin Yako:Pystyviivat;end;
if Ch='p' then Valikko;
if Ch='h' then Hardia;
if Ch='x' then Xako;
until (Ch='e') OR (Ch=chr(13));
SelectWindow(1);
End;

Procedure Kappain;

var ch:char;
Begin
  repeat
    Ch:=readkey;
    until (Ch=chr(13)) or (Ch='p');
    if Ch='p' then Valikko;
  End;

Procedure xsteele;
var si:integer;

begin
  repeat
    begin
      gotoxy(10,5);
      writeln('-----');
      gotoxy(10,6);
      writeln('*** Voit valita tulostuksen x-akseliksi joko ***');
      gotoxy(10,7);
      writeln('*** 10 tai 20 metriä. Syötä valintasi mukaan: ***');
      gotoxy(10,8);
      writeln('***');
      gotoxy(10,9);
      writeln('*** 1 -> 10m ***');
      gotoxy(10,10);
      writeln('*** 2 -> 20m ***');
      gotoxy(10,11);
      writeln('*** 3 -> 5m ***');
      gotoxy(10,12);
      writeln('*** 0 -> lopeta ***');
      gotoxy(10,13);
      writeln('-----');
      readln(a);
      end;
    until (a=1) or (a=2) or (a=0) or (a=3);
    if a=2 then xpatikas=400;
    if a=1 then xpatikas=200;
    if a=3 then xpatikas=100;
    if a=0 then begin
      close(kork);halt;
      end;
  end;

Procedure kokoPutki; { tulostetaan koko putki kerralla näytölle }

var n,m,l:integer;
s:string[6];
x,ap:real;
ch:char;
Begin
  gotoxy(10,10);writeln('*** ODOTA, LASKEN VÄMÄÄ....(maks 3 min) ***');

```

```

Reset(Kork);n:=1;ss:=0;:=1;
Repeat
  read(Kork,x);inc(n); ( lasketaan pisteiden lukumäärä n )
Until eof(Kork);reset(kork);( josta saadaan putken pituus. )
ssu:=n;n:=n div 400; ( Skalaus 400:n pisteen ruudulle )
if n=0 then n:=1; ( tulostetaan joko n:ssä piste )
Repeat
  read(Kork,x);inc(ss);
  if ssu then begin
    Luvut[1]:=round(x*1000);inc(l);ss:=0;
  end;
Until eof(Kork);
xptik:=1;xx2:=1;
Skalaus(n);
Defineworld(1, xx1,yy1, xptik,yy2);
ClrScr;
SelectWindow(1); ( Valitaan tulostusikkuna )
Defineheader(1, 'KOKO PUTKI J=JAKO,T=YAKSI, H=HARDCOPY');
SetHeaderOn;
SelectWindow(1);
SetBackground(0);
DrawBorder;
PiirraKuvaja;VeskaVivat;
str(ssu/20:4:1,ss);
DrawText(0,yy2+(yy1-yy2)/20,1,ss);
DrawText(xptik div 20,yy2+(yy1-yy2)/20,1,'m');
repeat
  ch:=readkey;
  if ch='j' then begin Jako;DrawText(0,yy2+(yy1-yy2)/40,1,ss);
    DrawText(xptik div 20,yy2+(yy1-yy2)/40,1,'m');end;
  if ch='y' then begin Yaksi;DrawText(0,yy2+(yy1-yy2)/40,1,ss);
    DrawText(xptik div 20,yy2+(yy1-yy2)/40,1,'m'); ;end;

until (ch=chr(13)) or (ch='h');
if ch='h' then
begin
  HardCopy(false,6);
  gotoxy(26,10);writeln('MÄTTÖ KOPIOITU PRINTERILLE ');
end;
reset(Kork);
End;

Begin (*****
(***** PÄÄOHJELMAN ALKU *****
(*****

InitGraphic; ( Graffikan alustus )

Alustus;

DrawBorder;
DefineWindow(1, 0, 0, XmaxGib, YMaxGib );
DefineHeader(1, 'PUTKEN SYTYTYS X/W, Y/W P=VALIKKO');
DefineWorld(1, xx1,yy1, xx2,yy2); ( Give it a world coordinate system )

DefineWindow(2, 45,5,XmaxGib-10, 58);
DefineHeader(2, 'TULOISTUOKSEN HUOKKAUS');
DefineWorld(2, 0,0, 15, 15); ( Give it a world coordinate system )
gotoxy(10,9);
writeln('*****');
gotoxy(10,10);
writeln('*** HALLUATKO TULOSTAA KOKO PUTKEN ? (K/E) ***');
gotoxy(10,11);

```

```

writeLn('*****');
readLn(ch);
if ch='x' then kokoPutki: ( Koko putki yhdelle raudulle )
SetBackground(0);      ( Musta tausta )
DrawBorder;
*skala;
*x2:=xputika;
DefineHeader(1, 'PUTKEN SYTYYS X/M, Y/N P=VALIKKO');

Repeat                ( Varsinaisen 10 tai 5 m kerrallaan piirtävä )
  Luuhuntu;Skalaaf(1); ( silmukka )
  DefineWid(1, x1,yy1, x2,yy2);
  ClrScr;
  SelectWindow(1);    ( Valitaan tulostusikkuna )
  SetHeaderOn;
  SelectWid(1);
  SetBackground(0);  ( Musta tausta )
  DrawBorder;
  VaakaViivat;PystyViivat;
  PiirraKuvioja;
  Kappain;
  Inc(krs);

Until EOF(Kork);
Close(Kork);
LeaveGraphic;
end.

```

Liite 3.

Mikrotietokoneen ohjelmat.

Datan lukuohjelma.

```

Program Luodata; (* Lukee ja tulostaa reaal- ja tavutiedostot *)

uses crt; (* tarpeen mm. KeyPressed-funktion vuoksi *)

Type
  TauluArray[1..5] of byte;
Var
  Data:Taulu;
  n:integer;
  Data1:file of Byte;
  Data2:file of Byte;
  Data3:file of Byte;
  Data4:file of Byte;
  Data5:file of byte;
  Pul :file of Real; (* putkenleakupotentimetrin lukema metreinä *)
  Kal1 :file of Real; (* kallistus 1 asteina *)
  Kal2 :file of Real; (* kallistus 2 asteina *)
  Kork :file of Real; (* maaston korkeus metreinä *)
  Abakork:file of Real;(* laakettu ojan kokonaisvyvyys *)
  Alka :file of Word;
  min,sek:Word;
  m,s:integer;
Procedure Alustus;
(* Alustaa levytiedostot *)
Begin
  Assign(Data1,'c:Data1.byt');
  Assign(Data2,'c:Data2.byt');
  Assign(Data3,'c:Data3.byt');
  Assign(Data4,'c:Data4.byt');
  Assign(Data5,'c:Data5.byt');
  Assign(Pul,'c:Pul.ree');
  Rewrite(Pul);
  Assign(Kal1,'c:Kal1.ree');
  Rewrite(Kal1);
  Assign(Kal2,'c:Kal2.ree');
  Rewrite(Kal2);
  Assign(Kork,'c:Kork.ree');
  Rewrite(Kork);
  Assign(Abakork,'c:Korkeus.ree');
  Assign(Alka,'c:Alka.wrd');
  Port($3FD):=0;
End;

Procedure TulkaaPul; (* Muuntaa putkenleakupotikan jännitteen *)
(* metreiksi ja tallentaa c-levylle *)
Const mit:real=9.6078431E-4;
Var x:byte;
  y:real;
Begin
  Repeat
    Read(Data3,x);
    y:=0.245-integer(x)*mit;
    Write(Pul,y)
  Until EOF(Data3);
End;

Procedure TulkaaKal; (* Muuntaa kallistuspotkoiden jännitteet *)
(* asteiksi ja tallentaa c-levylle *)

```

```

Var mit:real;
  x:byte;
  y:real;
Begin
mit:=PI/(2*255);
Repeat
  Read(Data1,x);
  y:=PI/4-x*mit;
  Write(Kal1,y)
Until EOF(Data1);
Repeat
  Read(Data2,x);
  y:=PI/4-x*mit;
  Write(Kal2,y)
Until EOF(Data2);
End;

Procedure TulkkasKork; (* Muuntaa maaston korkeuden 12-bittiseen *)
(* datan reaaliluvuksi *)
Var x,y :Byte;
  mab,lab:integer;
  h :Real;
Begin
Repeat
  Read(Data4,x);mab:=integer(x);
  Read(Data5,y);lab:=integer(y);

  If mab<4 Then h:=mab*256+lab
  Else h:=-(136-mab)*256+lab;
  h:=h*0.0025 ;
  Write(Kork,h)

Until Eof(Data4) or Eof(Data5);
End;

Procedure Luku;
(* testiproceduuri *)
var x:real;y,z:byte;
Begin
Reset(Kork);Reset(Data1);
Reset(Pul);Reset(Data2);
Reset(Kal1);Reset(Data3);
Reset(Kal2);Reset(Data4);
Reset(Abakork);Reset(Data5);
Reset(Aika);
s:=0;m:=1;
While not EOF(Kork) do
Begin
writeLn('matka: aika: SYVYS: mato: kal1: kal2: potikka:');
for s:=1 to 22 do
Begin
if not EOF(Kork) then
Begin
write(a*0.05:2,' ');m:=m+1;
Read(Aika,min,sek);write(min:2,sek:2,' ');
Read(Abakork,x);write(x:5:3,'m',' ');
Read(Kork,x);Read(Data4,y);Read(Data5,z);write(x:5:3,'m',' ',y:1,z:3,' ');
Read(Kal1,x);Read(data1,y);write(x:7:3,' ','y',' ');
Read(Kal2,x);Read(data2,y);write(x:7:3,' ','y',' ');
Read(Pul,x);read(data3,y);write(x:5:3,'m',' ',y:3);
End;
End;

```



```

End;
readln;
End;
Writeln('O.K. ');
Writeln('Lopetus= ctrl+break');
Writeln('Jatko= enter');
End;

Begin

(* Pääohjelman alku *)

Alustus;
Writeln('Tulostan korkaus- ja datatiedot');

(* Alustetaan tiedot *) Reset(Data1);Reset(Data2);Reset(Data3);
(* käsitteily varten. *) Reset(Data4);Reset(Data5);Reset(Pu1);
Reset(Kal1);Reset(Kal2);Reset(Kork);

(* Data käsitellään ja *) TulkaaPu1;TulkaaKal;TulkaaKork;
for n:=1 to 20 do
begin
(* tallotetaan c-levylle *) Luku;readln;
end;

(* Levytiedot kiinni *) Close(Data1);Close(Data2);Close(Data3);
Close(Data4);Close(Data5);Close(Pu1);
Close(Kal1);Close(Kal2);Close(Kork)

End.

```

Liite 3.

Mikrotietokoneen ohjelmat.

Koeajoradan profiilin tulostusohjelma

```

10  "SOVSIM"
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150  DISP CHR(129)
160  DEL
170  GOTO
180  DUMP DEVICE IS 701
190  GRAPHICS ON
200
210
220
230  INPUT "OLETUSKOORDINAATIO (1/0)?" D
240  IF D=1 THEN GOTO 1200
250  IF D=1 THEN 440
260
270
280
290
300
310
320  INPUT "KOKONAISKOORDINAATIO (Xo, Xo, Yo, Zo)?" R, S, I, O
330  INPUT "X-ASELIN KOKONAISKOORDINAATIO?" X, Y
340  INPUT "X-ASELIN PITUUS (KOKONAISKOORDINAATIO)?" M
350  INPUT "X-LABEL?" Xa
360  INPUT "PALKKA?" O, U
370  INPUT "Y-ASELIN PITUUS (KOKONAISKOORDINAATIO)?" N
380  INPUT "Y-LABEL?" Ya
390  INPUT "PALKKA?" H, L
400  INPUT "DISEKKA?" Oa
410  INPUT "PALKKA?" Pa
420
430
440  OUTPUT KOD:"K";
450  0-0
460
470  WINDOW R, S, I, O
480  RES H, Y
490  LONG 6
500  FOR I=1 TO M
510  MOVE I*X, O
520  LABEL I
530  NEXT I
540  LONG 3
550  MOVE O, U
560  LABEL Xa
570  LONG 2
580  FOR I=1 TO N
590  MOVE O, I+Y
600  LABEL I
610  NEXT I
620  LONG 2
630  MOVE H, L
640  LABEL Ya
650  LONG 2
660  MOVE Pa, N
670  LABEL Oa
680
690
700  INPUT "OIKEA KOORDINAATIO (1/0)?" G
710  IF G=0 THEN GOTO 10
720
730
740
750
760
770  INPUT "SINIKÄYRÄN ENSIMMÄISEN KÄRRÄN AMPLITUUDI (CM)?" C
780  A=C
790  INPUT "SINIKÄYRÄN AMPLITUUDIN MUUTOS (CM/JAKSO)?" E
800  0-E
810  F=F/24

```

```

"PIENENNETTYN SOVITETUN JA
LUONNALLISESSA KÄRSÄ TULOSTE-
TAVAN, AMPLITUUDITAVAN JA JAKSON-
PITUUKSETAVAN (VÄHINTÄ KUUKA-
KÄRSÄSSÄ OLEVA) SINIKÄYRÄ.
"
"OHJELMA ON TÄYTY ALUMPEIN
"SAJALUJAN POKJAN TASAISUUTTA
"MITTAVAN LÄITTEEN TESTIARVIA
"VÄHINTÄ KOKONAISKOORDINAATIO
"PROFIILIN SUORITTELOJA VÄHINTÄ.

```

```

"LAITTEISTON INITIAALISOINTI:
" LAUSE ON
" ASIETAV
" GRAFIKAN INITIAALISOINTI
" TULOSTIN ON HP-THAIJETI "TISA
" GRAFIKATILAN

```

```

"LEHD:
" JOS KÄYTTÄÄN OLETUS-
" KOORDINAATIOJA, NIIN
" KOKONAISKOORDINAATIO
" TOON, MUUTEN KÄYTTÄÄN
" UUSIEN KOORDINAATIOJA
" ASELOJAN"

```

```

"RUUDON IVÄJÄYS

```

```

"KOORDINAATION TULOSTUS

```

```

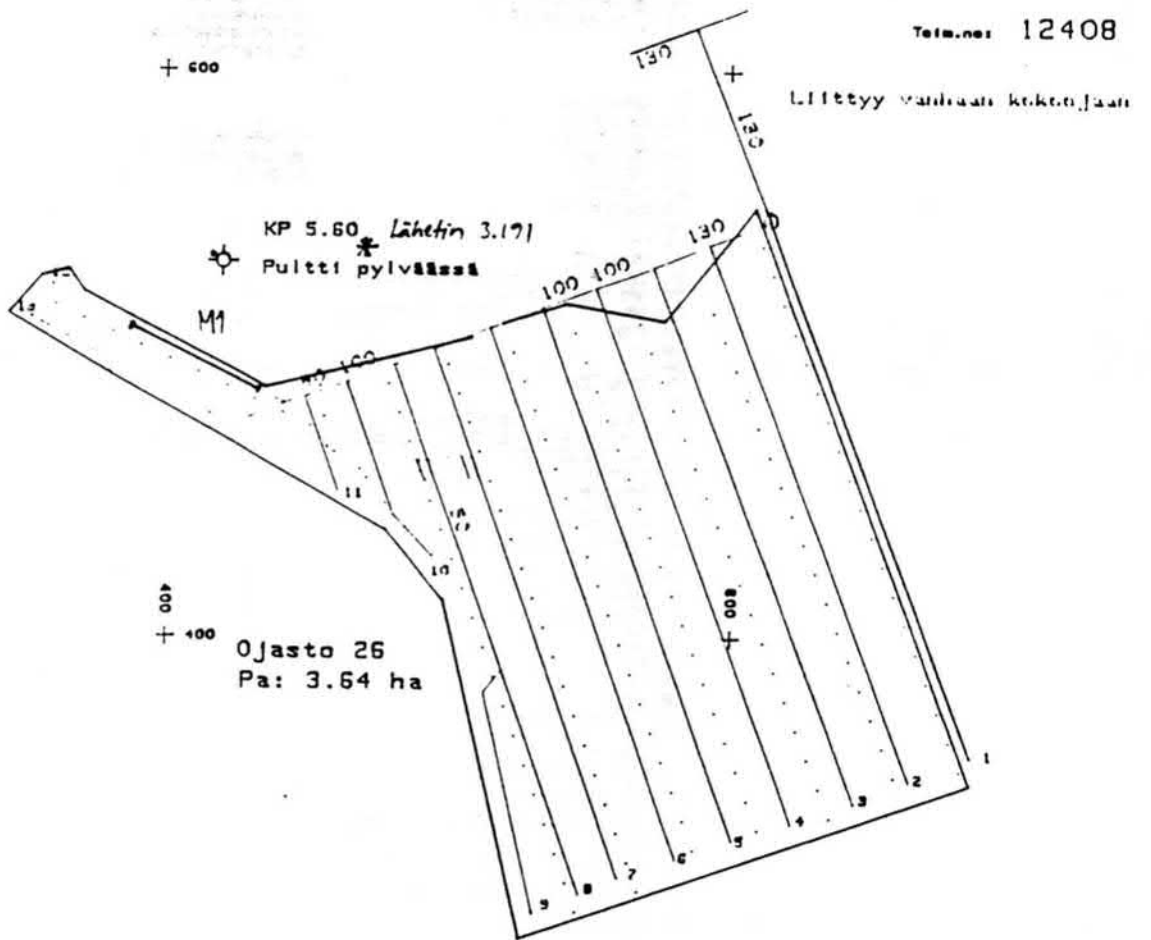
" JOS KOORDINAATIO
" ON OIKEIN, NIIN JAT-
" KETAAN SINIKÄYRÄN
" ASITTELOJAN, MUUTEN
" PALATAAN ALKUUN"

```


Liite 4.

Kenttäkoealueet.

Nurmo



Liite 4.

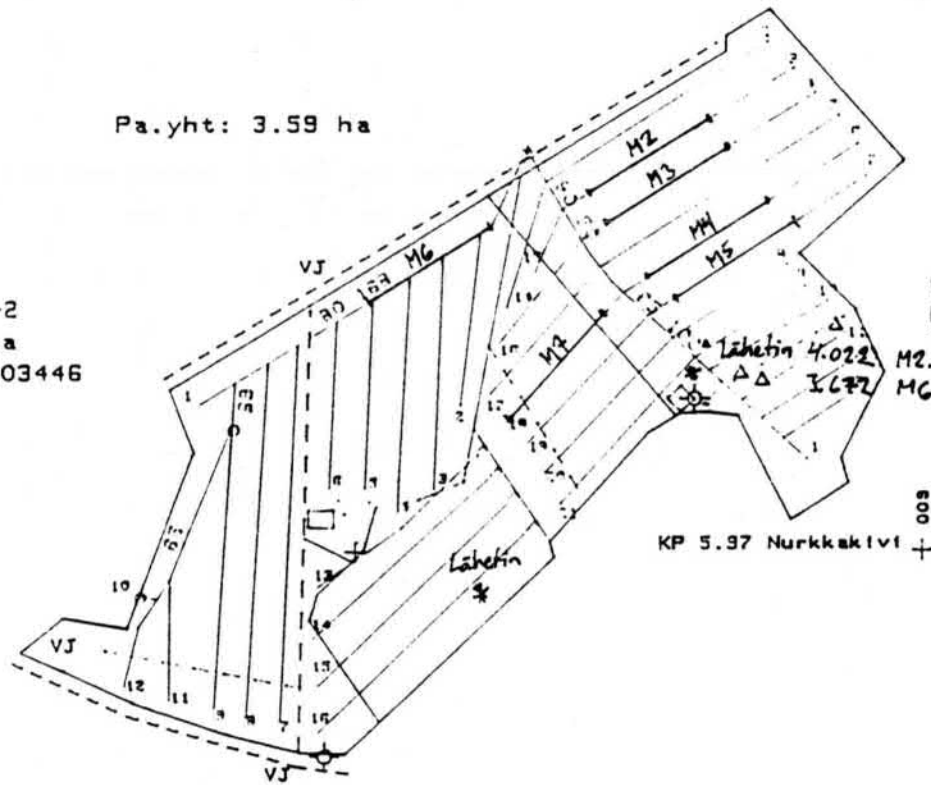
Kenttäkoealueet.
Kauhava

+ 500

+

+ 40344E
+ Toim.no: 402951

Pa.yht: 3.59 ha

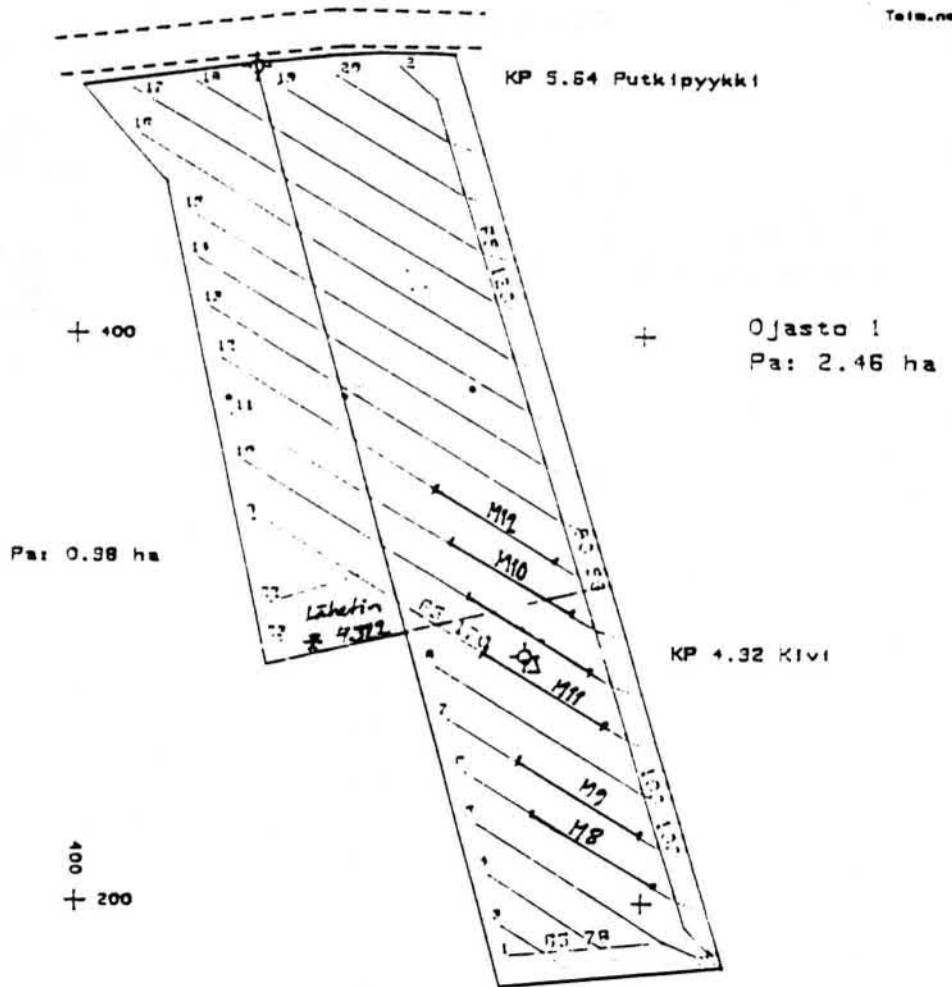
Ojastot 1-2
Pa: 2.28 ha
Toim.no: 40344EOjasto 1
Pa: 1.31 ha
Toim.no: 402951
M2-M5
M6, M7+ 200
+ 400

KP 5.97 Nurkkakivi +

KP 6.43 Rummun harja

Liite 4.
Kenttäkoealueet.
Kauhava

Talv.no: 40340

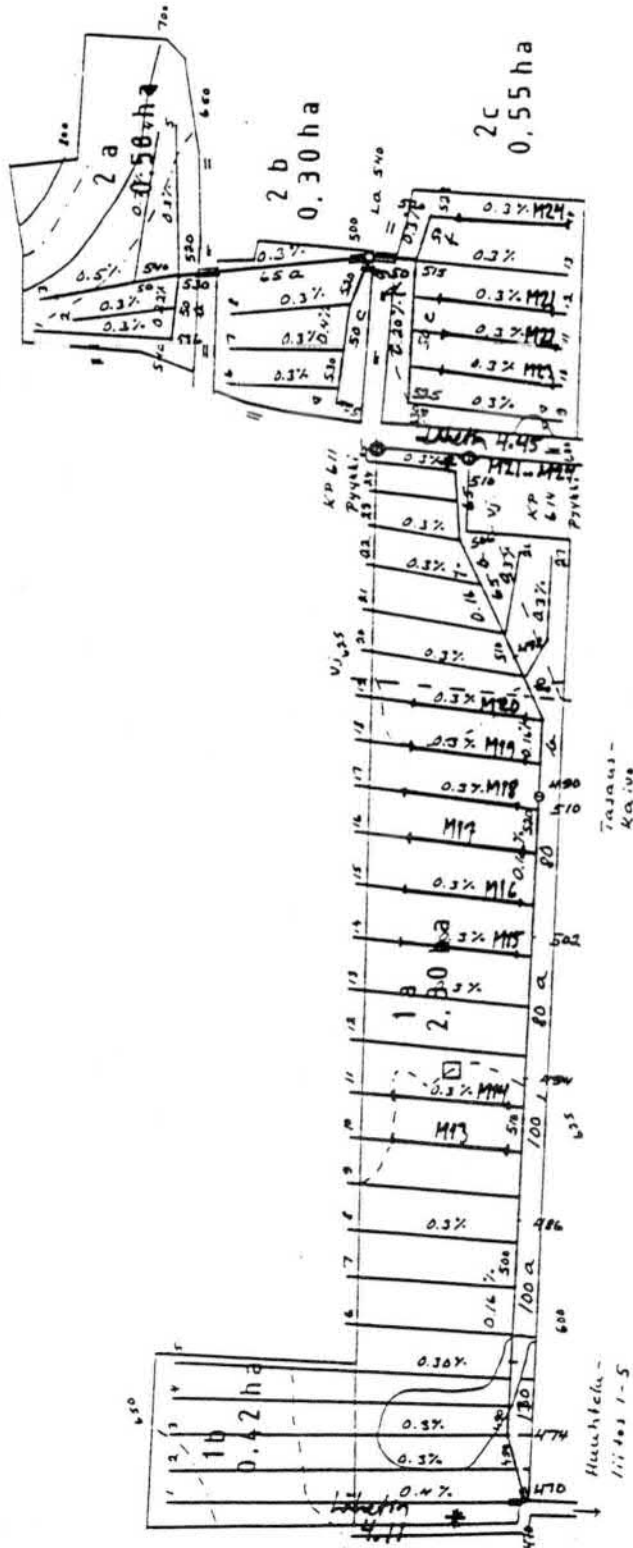


Liite 4.

Kenttökoalueet.

Lapua

Toim.no. 403732



Liite 4.

Kenttäkoealueet.

Kirkkonummi

Karttoja ei saatu käyttöön julkaisun painopäivään mennessä suunnitteluorganisaation muutosten vuoksi.

Liite 4.

Kenttäkoealueet.

Kirkkonummi

Karttoja ei saatu käyttöön julkaisun painopäivään mennessä suunniteltuorganisaation muutosten vuoksi.

Liite 4.

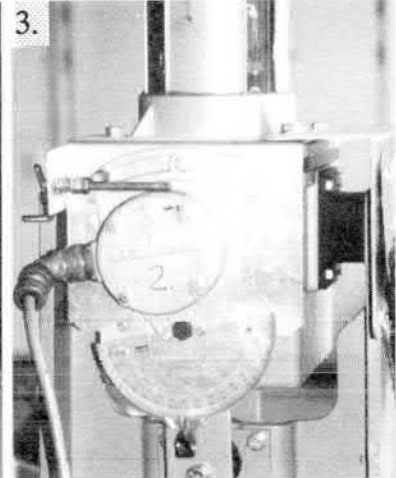
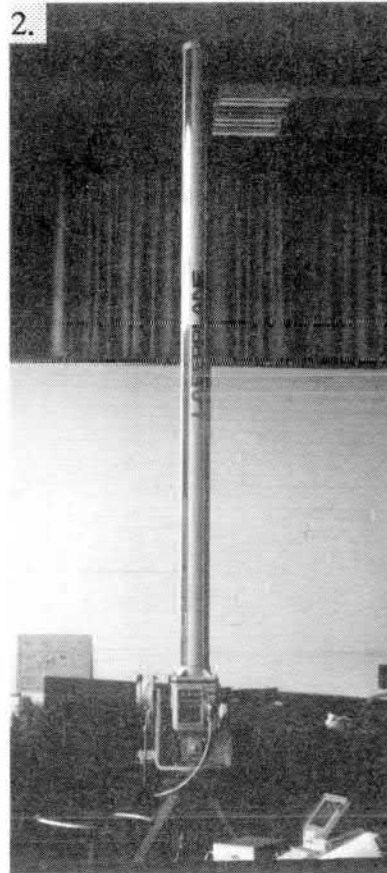
Kenttäkoealueet.

Kirkkonummi

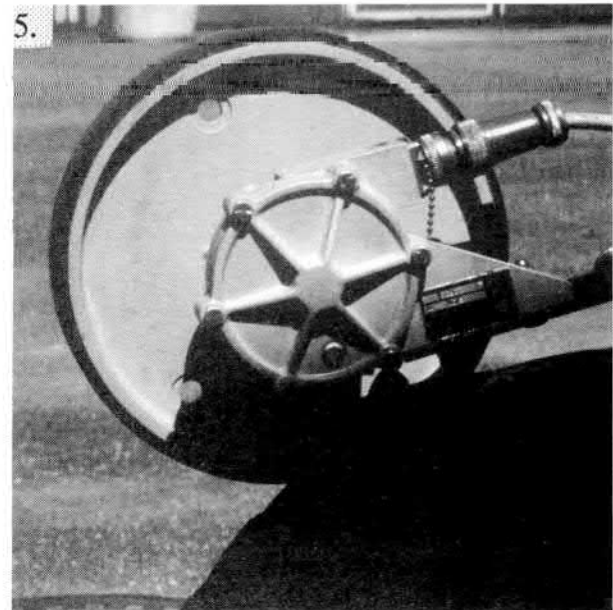
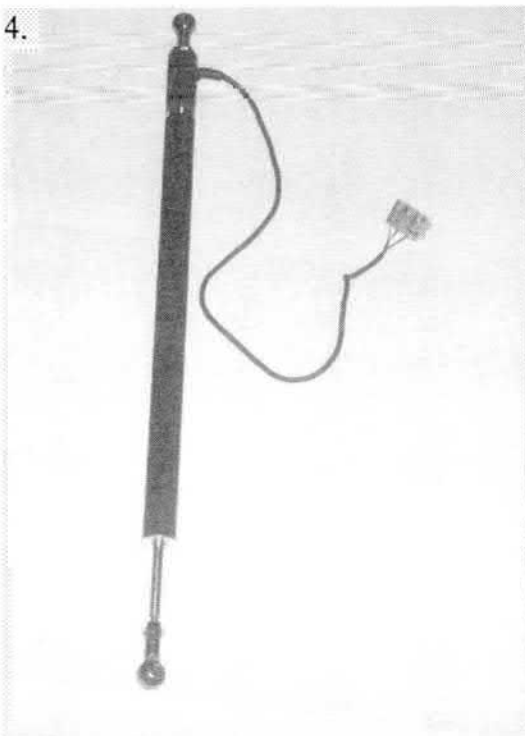
Karttoja ei saatu käyttöön julkaisun painopäivään mennessä suunnitteluorganisaation muutosten vuoksi.

Liite 5.

Valokuvia laitteen kehityksestä.



Lähetin ja anturit
 1. Tasolaserlähetin
 2. Vastaanotinmasto
 3. Kallistusanturit
 4. Potentiometri
 5. Matkapyörä



Kuvia ensimmäisestä prototyypistä (1987):

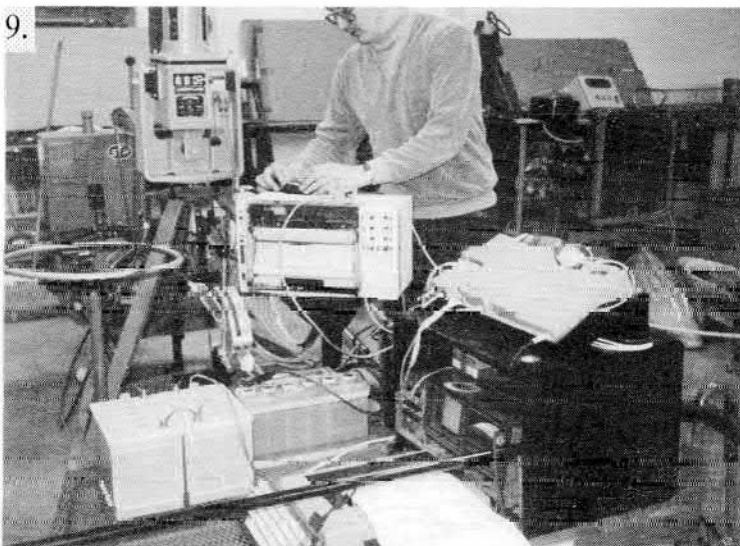
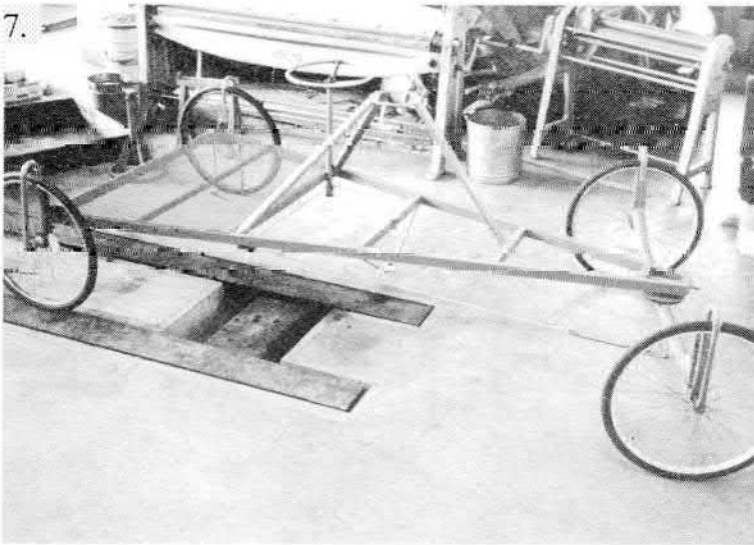
6. Piirturin matkapyöräohjauksen testaus.

7. Testausalusta.

8. Testausalustan koeajo.

9. Mittauslaitteiston asennus.

10. Laitteiston testaus koeajoradalla.



*Kuvia toisesta prototyypistä
(1988-1990):*

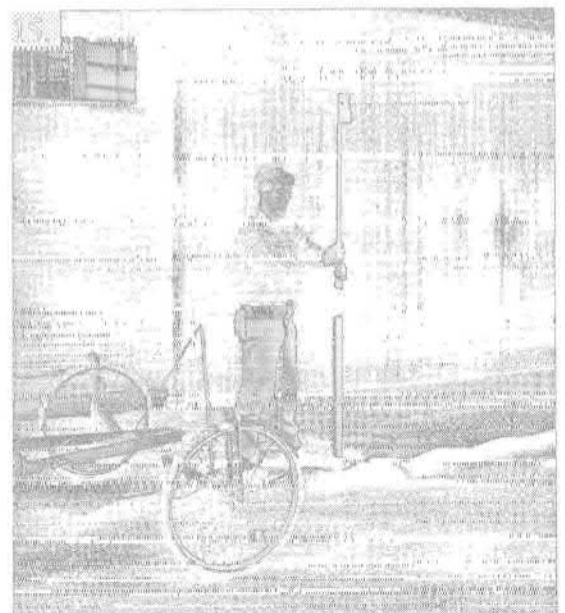
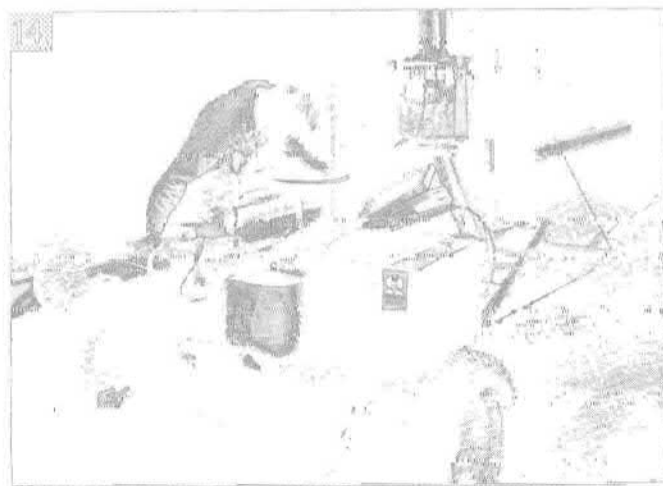
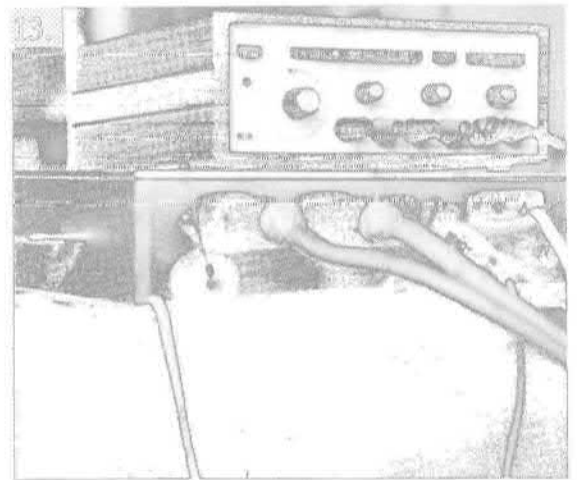
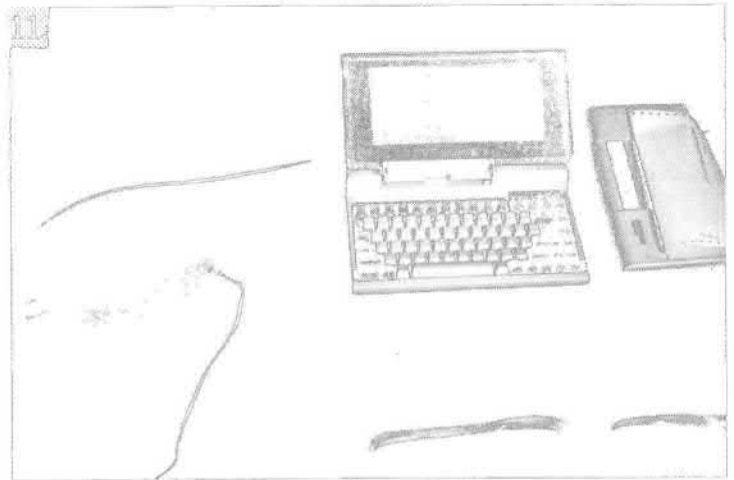
*11. Tiedonkeruulaite, PC ja
lärjoitin.*

*12. Laitteet asennettuna
testausalustaan koeajoradalle*

*13. Pulsstigenenattori staattisessa
testissä matkapyörän tilalla*

*14. Dynaaminen testaus koeajo-
radalla*

*15. Koeajoradan tarkistusmittaus
laserlatalla*



Kuvia toisesta prototyypistä (1988-1990):

16. Salaojakone ilman mittalaitteita

17. Vastaanotinmasto kiinnitettyinä salaojakoneen ryömään (vas. salaojakoneen laserjärjestelmään kuuluva teleskooppinen vastaanotinmasto)

18. Kallistusanturit kiinnitettyinä vastaanotinmastoon.

19. Matkapyörä putken pinnalla. Toinen matkapyörä kuuluu salaojakoneen laserjärjestelmään.

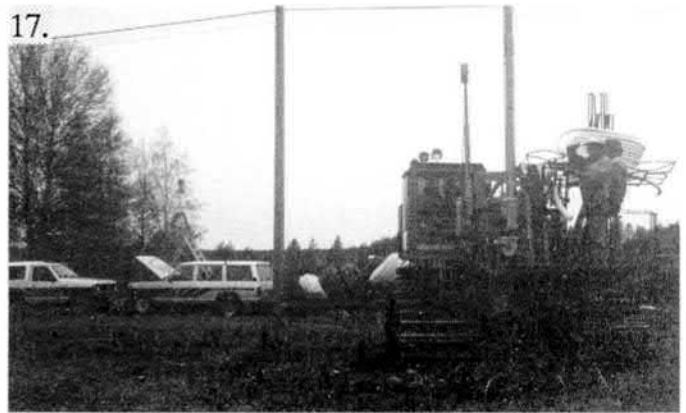
20. Potentiometri sorasuppilon yläpuolella. Putken asemasta saadaan tieto välitystangon avulla.

21. Tiedonkeruulaitteet salaojakoneen hytissä. Tiedonkeruun aloitus ja lopetus ovat manuaalisia.

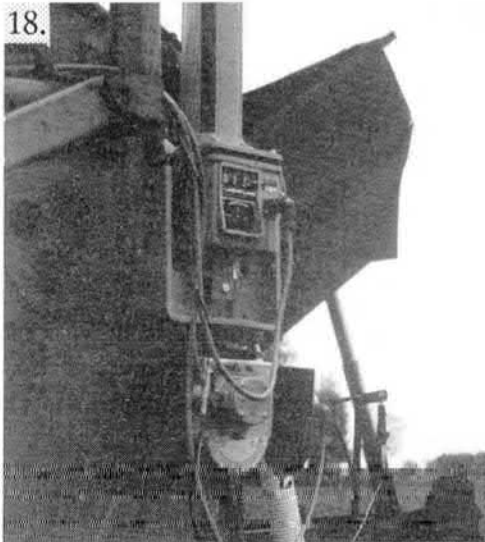
16.



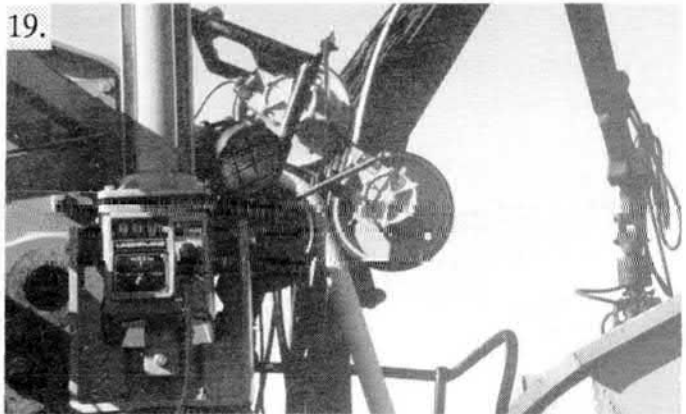
17.



18.



19.



20.



21.



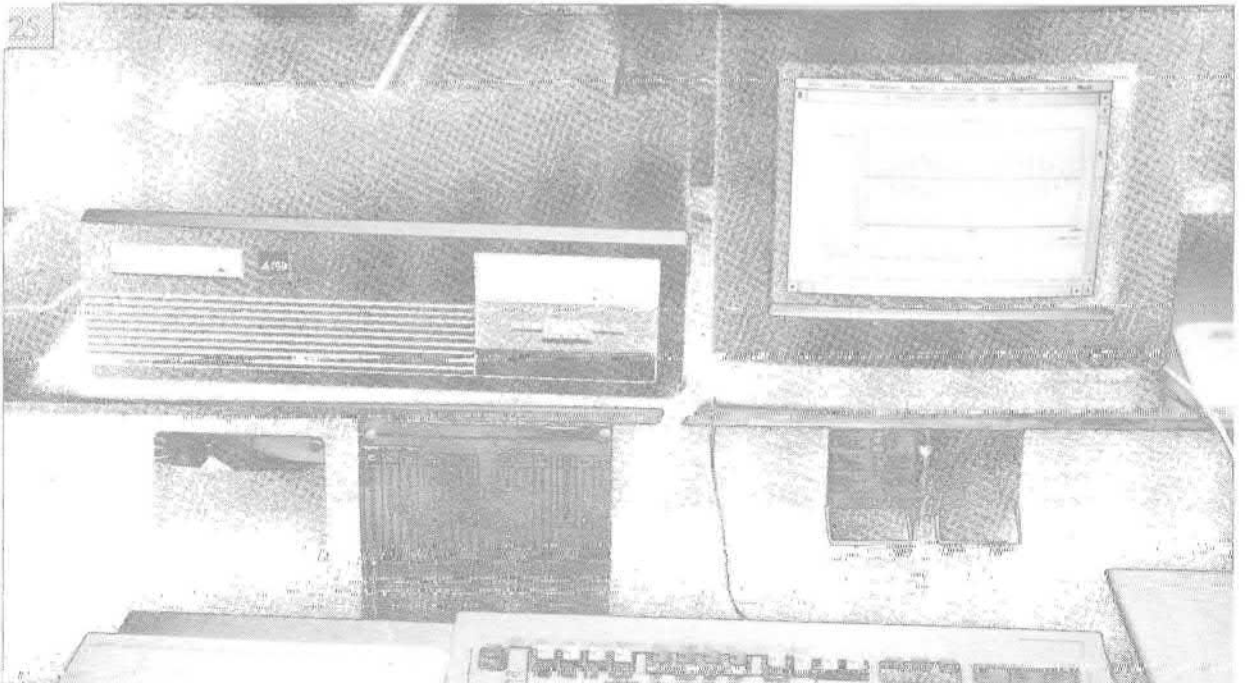
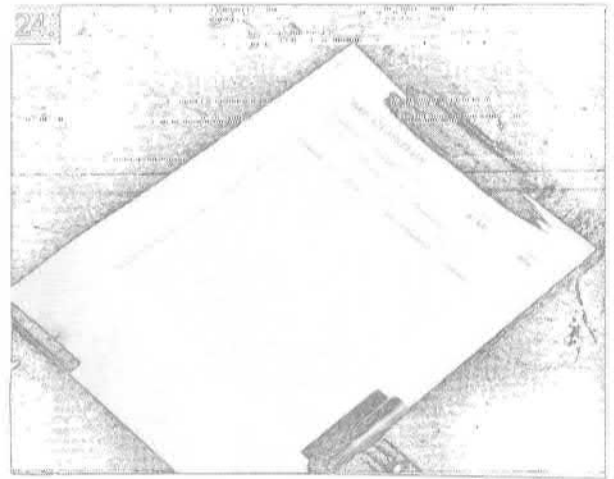
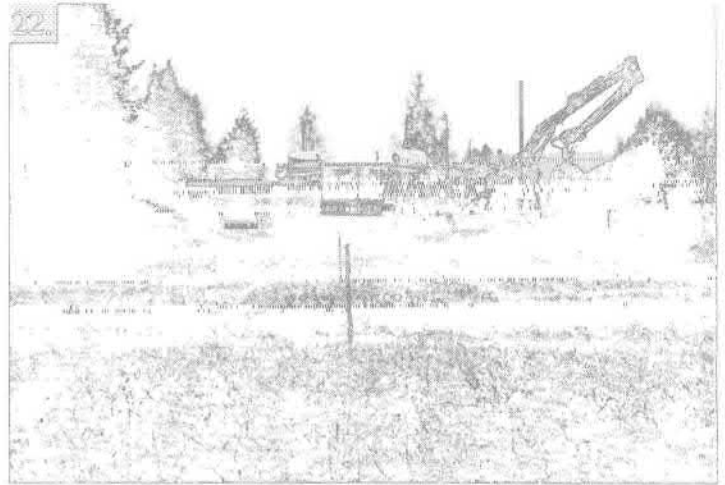
*Kuvia toisesta prototyypistä
(1988-1990):*

*22. Mittaus alitetaan ja lopetetaan
sähköinjalla.*

23. Mittauksessa käytetty laserlähettä.

24. Tarkistusmittauspöytäkirja

25. Tulosten käsittely PC:llä



N:o Vuosi Viimeisimmät ilmestyneet tutkimustiedotteet:

- 50 1987 Pyykkönen, Markus. Lypsimen lypsyominaisuuksien mittaamisesta. 79 s.
- 51 1987 Puustinen, Markku, Varis, Risto & Luoma, Tarmo. Salaojien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turvemaidilla. 109 s.
- 52 1987 Pehkonen Aarne & Kojo, Matti. Leikkuupuimurin pöytätapit. 56 s.
- 53 1987 Pyykkönen, Markus. Mjölkning och mjölkningsarbetet. NJF-seminar 122. 158 s.
- 54 1988 Varis, Risto & Pehkonen Aarne. Leikkuupuimurin pöytätapit 2. 57 s.
- 55 1988 Luoma, Tarmo & Sipilä, Ilkka. Jätevesilietteen maataloudellinen käyttöarvo ja -tekniikka. 118 s.
- 56 1988 Pyykkönen, Markus & Aaltonen, Raila. Pikkuvasikan lisäämisen tarve. 36 s.
- 57 1988 Pyykkönen, Markus. Vasikan termisen ympäristön mittaaminen. 50 s.
- 58 1989 Varis, Risto & Pehkonen, Aarne. Leikkuupuimurin pöytätapit 3. 39 s.
- 59 1989 Varis, Risto & Pehkonen, Aarne. Leikkuupuimurin pöytätapit. Yhteenveto vuosien 1986...-88 pöytätapitutkimuksista.ä): 72 s.
- 60 1989 Haapala, Hannu & Luoma, Tarmo. Salaojan asennustarkkuuden merkitys. 30 s.
- 61 1990 Luoma, Tarmo. Jätevesilietteen maataloudellinen hyväksikäyttö. Summary: Agricultural Use of Sewage Sludge. Diss. 142 s.
- 62 1990 Suutarinen, Juha & Pehkonen, Aarne. Traktoritapaturmat 1987. 30 s.

ISBN 951-45-5453-1

ISSN 0357-5799

Helsinki 1990
Yliopistopaino