

Esa Yläjääski

Nykyaikaiset mittausmenetelmät ja niiden käyttö maanrakennustyömaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

9.3.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Esa Yläjääski Nykyaikaiset mittausmenetelmät ja niiden käyttö maanrakennustyömaalla 23 sivua 9.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Vesa Rope
<p>Tämä insinööri työ käsittelee nykyaikaisia mittausmenetelmiä, jotka ovat käytössä maanrakennustyömailla. Maanrakentamisen mittauksissa on viime vuosiin asti pääsääntöisesti käytetty takymetriä kohteiden merkitsemiseen ja kartoittamiseen. Tällä hetkellä on maanrakentamisen mittauksiin valittavissa uusia mittausmenetelmiä. Takymetrin lisäksi mittauksiin on tullut sekä laserkeilaus että koneohjausmenetelmät. Työssä esitellään mittausmenetelmien tekniset ominaisuudet ja niiden käyttö eri työvaiheissa.</p> <p>Tässä työssä olevien työvaihe esimerkkien avulla saa hyvän kuvan käytettävän mittausmenetelmän valintaan eri maanrakennustyövaiheissa. Mittausmenetelmien välisessä tarkastelussa tuli ilmi, että vain yhdellä menetelmällä voi suorittaa kaikkien työvaiheiden mittaukset. Koneohjaus- ja laserkeilausmenetelmissä tarvitaan takymetrimittausmenetelmää apuna, mutta takymetrimittausmenetelmällä pystyy suorittamaan työvaiheiden mittaukset ilman muita menetelmiä.</p>	
Avainsanat	maanrakennus, mittausmenetelmät

Author Title Number of Pages Date	Esa Yläjääski Modern methods of geodetic measurement and their use on construction sites 23 pages 9 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructor	Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor`s thesis was, on one hand, to introduce modern methods of geodetic measurement that are currently in use on construction sites and, on the other hand to give the reader a view of the operating principles of various geodetic measuring methods, their differences and their suitability to the phases of construction projects. The technical characteristics of the measurement methods and their use in the various work phases were also looked into.</p> <p>The operation examples presented in the thesis give a good picture of the various measuring methods the different stages of construction. The comparison of the measurement methods revealed that only one method can be used at all stages of the measurements. Although machine control and laser models are needed as assistance, the tacheometer methods are the only ones that can be used at every stage of construction.</p>	
Keywords	earthworks, geodetic measurement methods

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lähtökohdat insinööriyöhön	1
2.1	Aiheen valinta	1
2.2	Työnantajan esittely	2
2.3	Mittaustyö YIT infrapalvelussa	2
3	Maanrakentamisen mittaukset	2
3.1	Takymetri	4
3.2	Takymetrin osat ja akselit	5
3.3	Koordinaatiston määrittäminen	6
4	Laserkeilaus	7
4.1	Laserkeilainten luokittelu	8
4.2	Menetelmä	8
4.3	Pistepilvi	10
5	Koneohjaus	10
5.1	Menetelmä	11
5.2	Orientointi	13
6	Mittausmenetelmien tarkastelu	13
6.1	Maaleikkaukset ja rakennekerrokset	14
6.2	Putki- ja johtokaivannot	15
6.3	Perustukset	17
6.4	Kalliorakenteet ja avolouhinnat	18

7	Tarkemittaukset	19
7.1	Maaleikkausten ja rakennekerrosten tarkemittaukset	19
7.2	Putki- ja johtokaivantojen tarkemittaukset	20
7.3	Perustusten tarkemittaukset	21
7.4	Kalliorakenteiden tarkemittaukset	21
8	Pohdinta	21
	Lähteet	23

Lyhenteitä ja käsitteitä

InfraRyl	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
koordinaatisto	Kohteen sijainnin määritelmä
mittauskonsultti	Mittaustehtäviä hoitava aliurakoitsija
pintamalli	Kolmioista muodostuva yhtenäinen pinta, joka kuvaa esim. piha-alueen rakennekerrosta.
tarkemittaus	Mittaamalla todennettu kohde, esim. jätevesiviemärilinjän sijainti ja korkeusasema

1 Johdanto

Suomessa rakentamisen mittauksissa on tapahtumassa pitkästä ajasta muutoksia. Rakentamisen kovan kilpailun mukana myös nykyaikaiset mittausmenetelmät ovat saaneet uusia merkittäviä kehityskohteita. Alan käytetyin mittausmenetelmä on ollut takymetrimittaus. Nyt takymetrimittausmenetelmän rinnalle ovat tulleet laserkeilaus- ja koneohjausmenetelmät. Laserkeilausmenetelmä vastaa pitkälti takymetrimittausmenetelmän prismatonta mittausta, jossa kohde mitataan siihen koskematta. Koneohjausmenetelmässä vastaavasti työkonetta ohjataan tai opastetaan satelliitti- ja anturiavusteisesti.

Työn alkuluvuissa käydään läpi maanrakennustöiden mittauksissa käytettävät laitteet ja menetelmät sekä niiden toimintaperiaatteet. Koneohjausjärjestelmän kohdalla keskitytään kaivinkoneissa oleviin koneohjausjärjestelmiin. Laserkeilaimissa keskitytään maa-laserkeilaimiin. Jäljempänä työn edetessä tarkastellaan laitteiden ja menetelmien soveltuvuutta eri rakentamisen työvaiheisiin.

2 Lähtökohdat insinööriyöhön

2.1 Aiheen valinta

Insinööriyön aihe tuli tarpeesta valita sopiva mittausmenetelmä ja -laite työmaan käyttöön. Työ on tehty YIT Rakennus Oy:n infrapalvelujen vesi- ja maanrakennusyksikölle IVM. IVM yksikkö vastaa infrapalveluissa maa- ja vesirakentamisesta. Toimiessani mittaustyön ammattilaisena YIT Rakennus Oy:n palveluksessa sai aihe tekijän tarkastelamaan mittaustyökentän muokkautumista tämän hetkisten mittausmenetelmien ja laitteiden suhteen. Toimittuani rakennusalalla yli kolmekymmentä vuotta, joista viimeiset kuusi vuotta mittaustehtävissä, olen nähnyt alalla käytettävien mittalaitteiden ja menetelmien kehityksen. Mittaustyössä toimiessani olen käyttänyt maanrakennuskohteissa takymetrimittausta. Koneohjausmenetelmien käyttöön olen osallistunut kahdella työmaalla järjestelmän toimintakuntoon saattamisessa sekä koneohjausmallien tekemisessä. Laserkeilausmenetelmän toimintaan olen tutustunut, kun sitä on käytetty samoilla työmailla, joilla olen toiminut mittaustehtävissä.

2.2 Työnantajan esittely

YIT on rakennusalan edelläkävijä, jonka toiminnot rakennusallalla jakautuvat asunto-toimitila- ja infrarakentamiseen. Yrityksellä on yli 100 vuoden kokemus alalta, sekä vahva markkina-asema. YIT:llä on toimintaa tällä hetkellä seitsemässä maassa työllistäten yli 6 000 henkilöä. YIT:n tavoite on olla eurooppalainen hankekehittäjä, rakentaja ja palveluntarjoaja, joka luo arvoa vastuullisesti yhdessä sidosryhmien kanssa. Yrityksen toimiala jakautuu Suomen rakentamispalveluihin ja kansainvälisiin rakentamispalveluihin. Henkilöstöstä Suomen rakentamispalveluissa työskentelee n. 3 500 ja kansainvälisissä rakentamispalveluissa n. 2 800 työntekijää. [10.]

2.3 Mittaustyö YIT infrarakentamisessa

Nykyajan rakentamisessa tarvitaan mittaushenkilöä ja mittaustyötä lähes jokaisessa rakennuskohteen työvaiheessa. Nykyisin rakentamista ohjaavat eri määräykset edellyttävät rakennusvaiheiden ja rakenteiden laadun todentamista. Näissä määräyksissä määritellään toleranssit laadun todentamiselle.

YIT infrapalvelujen mittaustyötehtäviä suorittavat yrityksen mittausoperaattorit, mittaus-työnjohtajat ja mittaustyöntekijät sekä mittauskonsultit. Mittauskonsultteja käytetään täydentämään ja tasapainottamaan YIT:n omien mittaustyöntekijöiden työmäärää. Mittauskonsultteina pyritään käyttämään samoja tekijöitä, jotka tuntevat ja tietävät infrarakentamisen mittaustarpeen ja termistön. Mittaustöiden laatuun vaikuttaa ulkoisesti lähtötietojen laatu sekä saatavan aineiston laatu. Sisäisesti mittaustöiden laatuun vaikuttavat mittalaitteiden ja mittaushenkilöiden laatu.

3 Maanrakentamisen mittaukset

Maanrakentaminen on osa infrarakentamista. Infrastruktuurilla tarkoitetaan yhteiskunnan pohjarakennetta, johon toiminta laajassa kokonaisuudessaan perustuu. Infrarakentaminen koostuu yhteiskunnan yhteisten toimintojen perusrakenteiden rakentamisesta. [1.] Monenlaista rakennustekniikkaa tarvittavaan infrarakentamiseen sisältyvät

- liikenneväylät
- satamarakentaminen
- lentoasemat ja lentopaikat
- vesi- ja viemärihuolto
- tietoliikenne
- kalliotilat
- ympäristörakentaminen
- teollisuusrakentaminen.

Infrarakentamista voidaan kutsua suppeammin maa- ja vesirakentamiseksi. Tässä työssä keskitytään mittauksen osalta maanrakentamisessa käytettäviin laitteisiin ja menetelmiin.

Maanrakentamisen mittauksia suoritetaan erilaisilla mittalaitteilla ja erityisissä olosuhteissa. Rakentamisen aikana mittauksiin vaikuttavat mm. seuraavat, tekijät:

- ilmastolliset olosuhteet
- työkoneiden aiheuttamat esteet ja haitat
- työstä syntyvä pöly ja tärinä
- työmaajärjestys
- rakennuspaikan maaston muoto.

Nykyisin rakennuspaikat ovat ahtaita ja rakennushankkeiden aikataulut kireitä. Rakennushankkeiden aikataulusuunnittelu ja varsinkin niissä pysyminen on hyvin tärkeää. Ahtaiden rakennuspaikkojen logistiikalla on suuri merkitys aikatauluissa pysymiselle. Rakennustarvikkeiden saapuminen työmaalle oikea-aikaisesti helpottaa töiden edistymistä työmaalla.

Kuvasta 1 käy hyvin ilmi rakennuspaikkojen ahtaus ja siitä ilmenee myös, kuinka tärkeä pienissä rakennushankkeissa on aikataulullinen ja logistinen suunnittelu. Tälle kuvan esittämälle alueelle on tarkoitus aloittaa viemäri- ja vesijohtotyöt, kun samalla se on ainoa tarvikkeiden toimituspaikka ja säilytyspaikka työmaalle.



Kuva 1. Rakennuspaikan työmaajärjestys

Osaavalla työmaan henkilökunnalla on merkittävä osuus töiden sujuvuudelle ja aikatauluissa pysymiselle. Aikataulumuutoksia tulee usein työvaiheissa ilmenevien ongelmien vuoksi. Työvaiheiden uudelleen järjestelyssä työmaan henkilökunnan yhteistyöllä on keskeinen merkitys.

3.1 Takymetri

Takymetri on yksi yleisimmin käytetyistä kojeista maanrakennustyömaiden mittaus- ja kartoitustehtävissä. Nykyaikainen takymetri on syntynyt yhdistämällä teodoliitti ja elektro-optinen etäisyysmittari. Ensimmäisissä takymetreissä etäisyysmittari oli lisäosa, joka asennettiin teodoliitin kaukoputken päälle. Nykyisin etäisyysmittari on asennettu kojeen sisään koaksiaalisesti. Ensimmäiset koaksiaaliset takymetrit integroiduilla tallentimilla tulivat markkinoille vuonna 1978. Kojet olivat tuolloin raskaita käyttää, kuluttivat paljon virtaa ja lisäksi kojeen ominaisuudet olivat vähäiset. [3, s. 44—46.] Ensimmäisten ta-

takymetriä kanssa työskenteleminen oli kahden mittaajan työtä, toinen työskenteli kojeen takana ja toinen kuljetti prismasauvaa kojeen takana olevan ohjeiden mukaisesti. Nykyisin takymetrit ovat ns. robottitakymetrejä, jotka on varustettu servomoottorein ja niitä voidaan ohjata erillisellä etäkäyttöyksiköllä, (kuva 2).

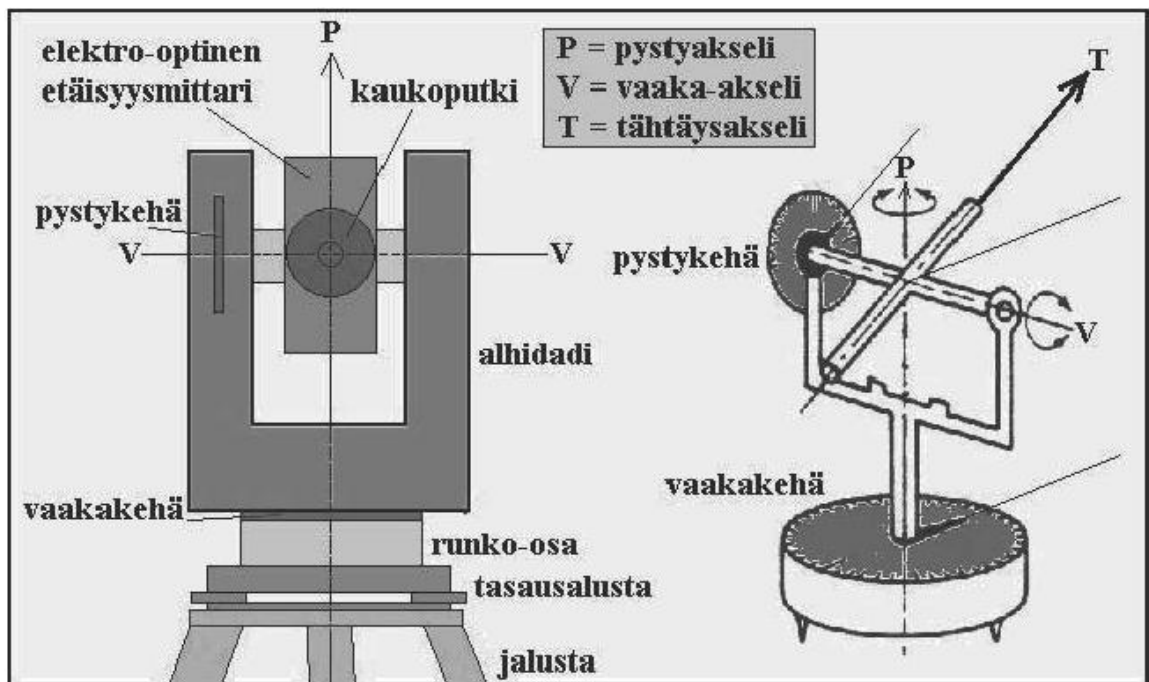


Kuva 2. Robottitakymetri Leica TS 15 mittausvalmiina

Robottitakymetrin yleistettyä on mittaus muuttunut lähes yksinomaan yhden mittaajan tehtäväksi. Useimmissa takymetreissä on nykyisin liitettyä digitaalinen kamera, jonka kuva näkyy etäyksikön näytöllä ja takymetriä voidaan ohjata kuvalta. [4, s. 18—20.]

3.2 Takymetrin osat ja akselit

Takymetrin pääosat ovat runko-osa, alhidadi, mittauskaukoputki, elektro-optinen etäisyysmittari, sisäinen tallennin ja tasausalusta. Muista pääosista poiketen tasausalusta on irrallinen osa. Tasausalustan avulla koje kiinnitetään kolmijalkaan ja alustassa olevilla kolmella jalkaruuvilla voidaan kojeen tasausta muuttaa. (Kuva 3.) [5, s. 224—225.]

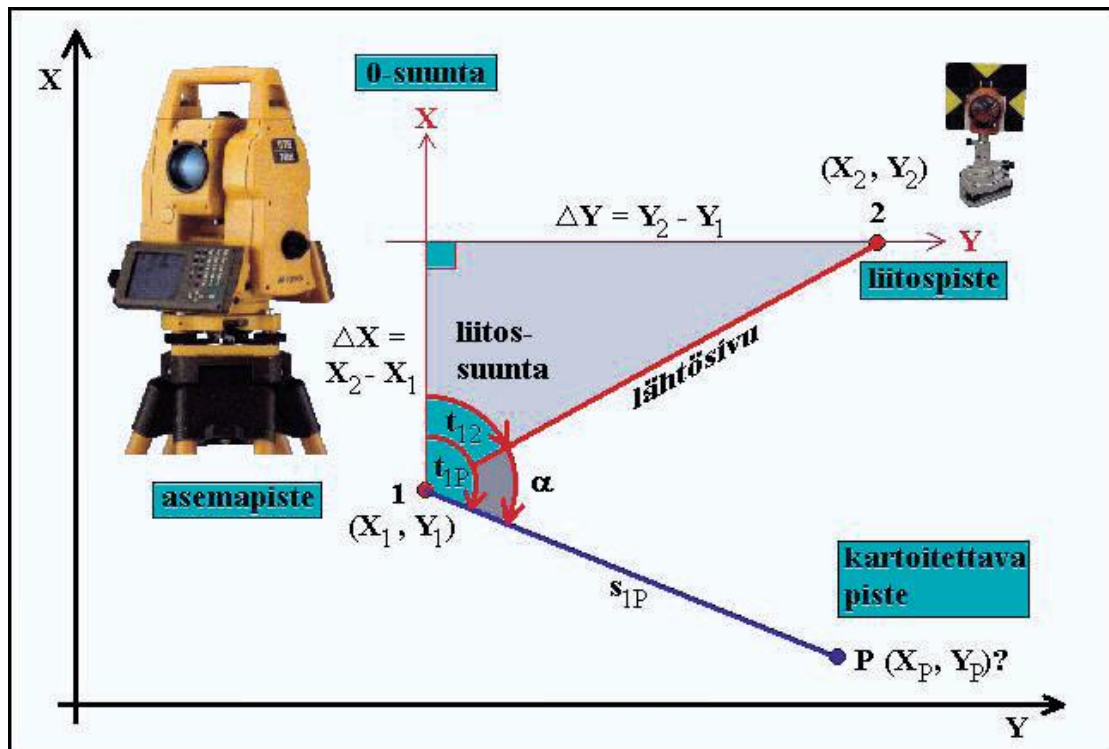


Kuva 3. Takymetrin pääosat ja akselit [5, s. 225]

Takymetri on samanaikaisesti kahden kulman (vaakakulma ja pysty kulma) ja etäisyyden mittaamiseen perustuva yhden pisteen mittaustekniikka.

3.3 Koordinaatiston määrittäminen

Orientointi on koordinaattimuotoisen takymetrimittauksen edellytys. Orientoinnilla määritetään mittauspai kalle koordinaatisto ja korkeus. Orientointi voidaan suorittaa kahta eri menetelmää käyttäen, tunnetun tai vapaan asemapisteen menetelmillä. Tunnetun asemapisteen menetelmässä koje pystytetään ja tasataan suoraan tunnetun pisteen päälle, josta tulee samalla asemapiste. Prisma viedään toiselle tunnetulle pisteelle, liitospisteelle. Takymetrin muistiin on ennen mittaustyötä syötetty pisteiden tiedot x ja y koordinaatit ja korkeus h . Asemapisteeltä mitataan liitospisteellä oleva prisma, mittauksen vaakakehälukemaksi asetetaan koordinaateista laskettu suuntakulma. (Kuva 4.) Orientointi tarkistetaan kartoittamalla jokin tunnettu piste mittausalueella. Korkeustaso kojeeseen siirretään asemapisteestä rullamitalla mittaamalla. Jos asemapisteessä ei ole korkeustietoa, siirretään korkeustieto joltakin lähistöllä olevasta korkeuskiintopisteeltä trigonometrisesti tai vaaitsemalla.



Kuva 4. Takymetrin orientointi tunnetun pisteen menetelmällä [5, s. 243]

Nämä vaiheet suoritettua voi kojeella suorittaa mittaustyötä. Vapaan asemapisteen menetelmässä koje pystytetään ja tasataan kulloinkin parhaaseen paikkaan mittausta-
pahtuman aikana, kuitenkin niin että kojeella voidaan havaita vähintään kaksi tunnettua
pistettä. Vapaan asemapisteen etuna on ns. ylimääritysperiaate, jossa liitoshavaintoja
tehdään enemmän kuin mittaustuloksen saamiseksi olisi tarpeellista. Näin toimittaessa
voidaan havaintojen ristiriitaisuuksista johtaa tuloksen tarkkuutta johtavia suureita.
Maanrakentamisen mittauksissa käytetään lähes poikkeuksetta vapaan asemapisteen
menetelmää.

4 Laserkeilaus

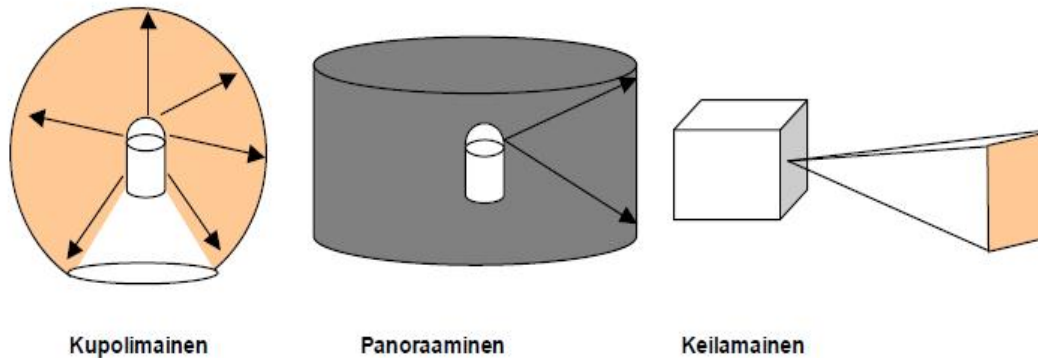
Laserkeilauksella suoritettava mittaus tapahtuu maasta tai ilmasta käsin. Laserkeilau-
sta käytettiin aluksi tietojen hankinnassa maa- ja tiealueiden pintageometrioista. Keilaa-
malla kohteet pystytään mittaamaan niitä koskematta ja saada niistä kolmiulotteinen
pisteaineisto. Mittauksen jälkeen aineisto käsitellään tietokoneohjelmien avustuksella.
Käsittelyn tuloksena aineistosta saadaan kolmiulotteinen malli, jota on mahdollista ver-
rata suunnitteluaineistosta tehtyyn malliin.

4.1 Laserkeilainten luokittelu

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen pääluokkaan käyttötarkoituksen mukaisesti:

- Kaukokartoitus
- Teollisuus
- Maalaserkeilaimet.

Maanrakentamisessa käytetään pääsääntöisesti maalaserkeilaimia. Maalaserkeilaimissa on kolme eri toimintaperiaatteella toimivaa keilainmallia. Laserkeilainten toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 5. [6]



Kuva 5. Laserkeilainten toimintaperiaatteet [6]

Maanrakennusmittauksissa nykyisin käytettävät keilaimet ovat kupolimaisesti mittaavia kojeita, joissa teknisestä ominaisuuksista johtuen jää vain pieni alue mittaamatta kojeen alapuolelta.

4.2 Menetelmä

Laserkeilausmittaus menetelmänä muistuttaa pitkälti prismatonta takymetrimittausta. Kojeessa on nollapiste, josta lähetettävä lasersäde kohdatessaan esteen palautuu takaisin kojeeseen. Säteen kulkuajan avulla saadaan mitattua kohteen etäisyys kojeesta. Kun tiedetään kojeesta lähteneen säteen lähtökulma ja matka, voidaan mitatuille pisteille laskea koordinaattiarvot. Jokainen piste saa koordinaattien lisäksi intensiteettiar-

von kohteesta palautuvan signaalin voimakkuudesta. Laserkeilainjärjestelmään (kuva 6) osat ovat [7]

- keilain
- pakkokeskistysalusta
- jalusta
- kaapelit
- virtalähde
- tietokone
- tähykset ja kuljetuslaukut.

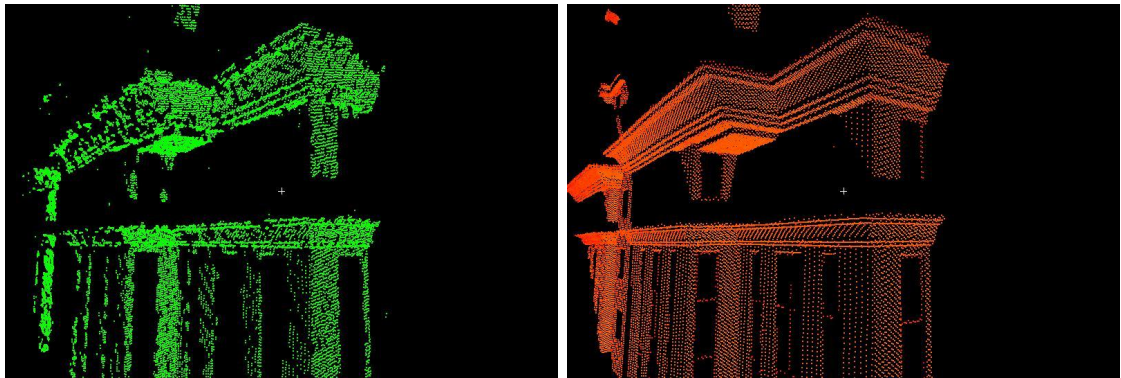


Kuva 6. Laserkeilainjärjestelmä [7]

Laserkeilainmittausmenetelmää käytettäessä on toisinaan keilaimella mitattava useista kojeasemista ja useita keilauksia, jotta kohteen kaikki pinnat saadaan mitattua.

4.3 Pistepilvi

Laserkeilausmittausta käytettäessä saadaan kohteesta pistepilvi. Pistepilvessä jokaisella pisteellä on x ja y koordinaattiarvo sekä h korkeusarvo. Pistepilvi mitataan kohteen mallintamista varten ja malli verrataan suunnitelmasta tehtyyn malliin. Laserkeilaustyön laatuun vaikuttaa kolme laadun kriteeriä, yksittäisen pisteen laatu, pistepilven tiheys ja erikseen mitattujen pistepilvien laatu. Vaikuttavana tekijänä voi pitää myös mitattujen pisteiden hajontaa, johon vaikuttaa mittaussäteen osumakulma mitattavaan kohteeseen. Tiheästi mitatusta pistepilvestä on helpompi mallintaa esim. putkistoja ja kohteiden reunoja. (kuva 7.)



Kuva 7. Esimerkki pistepilvien eroista [7]

Laserkeilausmittauksessa syntyviä pistepilviä yhteen liittäessä tulee pistepilvissä olla vähintään kolme yhteistä tähtystä. Pistepilvistä yksi on ns. kotipilvi, johon muut pilvet yhdistetään. Tähtyksien avulla pistepilvet voidaan muuntaa mittauskohteen koordinaatistoon.

5 Koneohjaus

Koneohjausmenetelmiä hyödyntävien työkonoiden käyttö on lisääntynyt maanrakennustyömailla. 3D-koneohjausmenetelmän käytön edellytyksenä on työkonoiden reaaliaikaisen sijainnin jatkuva paikannus. Koneohjausmenetelmä on työkonoiden opastamista tai osittaista ohjaamista suunnitelma-alueella. Työkonoiden opastaminen ja ohjaaminen

voidaan suorittaa joka takymetri- tai satelliittiseurantaan perustuvalla menetelmällä. Takymetriseurantamenetelmässä käytetään automaattisesti prismaa seuraavaa robottitakymetriä. Koje mittaa prisman liikettä noin sekunnin välein. Takymetrin ja työkoneessa olevan prisman välillä on oltava jatkuva näköyhteys. Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus on satelliittipaikannusta tarkempi korkeuden määrittämisessä. Yleisemmin menetelmää käytetään tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä, kaivinkoneissa käytetään satelliittiseurantamenetelmää. [9, s. 11–13] Laitteita, jotka käyttävät satelliittipaikannusta, nimitetään GPS-laitteiksi (Global Positioning System). Koneohjausjärjestelmässä kone paikannetaan suunnitelma-alueelle, ja kuljettaja vertaa koneen ohjaamossa olevalta näytöltä koneen sijainnin suhteessa suunnitelmaan. Järjestelmä vaatii toimiakseen työkoneen ja satelliittien geometrian määrittäksen.

5.1 Menetelmä

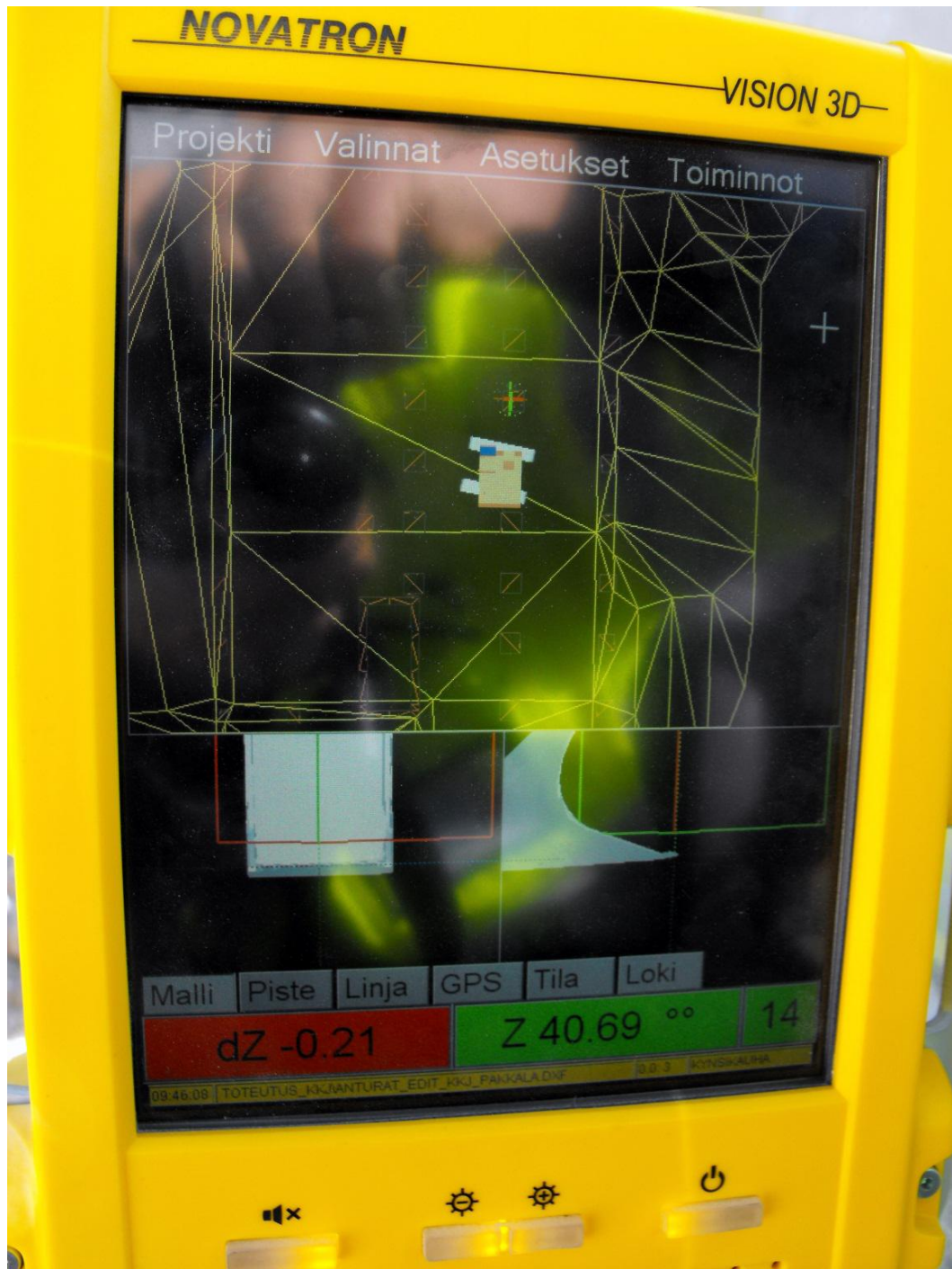
Koneohjausjärjestelmä koostuu antureista, tietokoneyksiköstä, näyttöpäätelaitteesta, radiomodemista, satelliittivastaanotinantenneista ja virtalähteistä. Järjestelmää esim. kaivinkoneeseen asennettaessa kiinnitetään koneen runkoon ja kaikkiin kaivupuomin nivellettyihin osiin antureita. (Kuva 8.)



Kuva 8. Koneohjausjärjestelmän anturit ja antennit kaivinkoneessa [2, s 22]

Antureina käytetään pääosin MEMS-kiikityvyysantureita (Micro-Electro-Mechanical-System), joiden toiminta perustuu piikiteeseen. Antureita pidetään mekaanisesti ja ajallisesti kestävinä. Anturit mittaavat koneen liikkeen analogisesti, joka muunnetaan digi-

taaliseen muotoon AD-muuntimen avulla. Muunneltua signaalia käsitellään ja stabiloidaan. Digitaalinen signaali lähetetään päätelaitteelle. Tietokoneyksikössä olevien käyttöjärjestelmän ja ohjelmien avulla toteutetaan käyttäjälle näkyvät toiminnot näyttöpäätteen näytössä (kuva 9).



Kuva 9. Koneohjausjärjestelmän näyttöpäite [2, s. 24]

5.2 Orientointi

5.2.1 Ulkoinen orientointi

Koneohjausjärjestelmän ulkoinen orientointi käsittää satelliittipaikannuksessa vaikuttavat osatekijät. Ulkoisista tekijöistä tärkeimmät ovat tukiasemaratkaisu siihen liittyvine yksityiskohtineen ja satelliittigeometria. [2; 24.]

5.2.2 Sisäinen orientointi

Sisäinen orientointi koneohjausjärjestelmässä tarkoittaa kaivinkoneen geometrian määrittelyn kautta saatavaa kaivinkoneen sisäistä koordinaatistoa, josta voidaan käyttää termiä kaivinkoneen sisäinen orientointi. Kaivinkoneen nivelletyt puominosat ja antennijärjestelmän sijainti suhteessa kaivinkoneen pyörähdysakseliin ovat sisäisen orientoinnin määräävät tekijät. Kaivinkoneen nivelletyn puomin osien pituudet tulee määrittää kaivinkoneen rungosta aina kauhan kärkeen asti. Ohjelmisto määrittää kauhan sijainnin puomin pituuden ja antureiden avulla.

Antennijärjestelmä on sisäisen orientoinnin toinen osa. Antennien sijainnit on määritettävä kaivinkoneen pyörähdysakselin suhteen. Antennien asennuksessa tulee huomioida kaivinkoneen ohjaamon aiheuttama katve satelliittien kuuluvuuteen. [2; 25.]

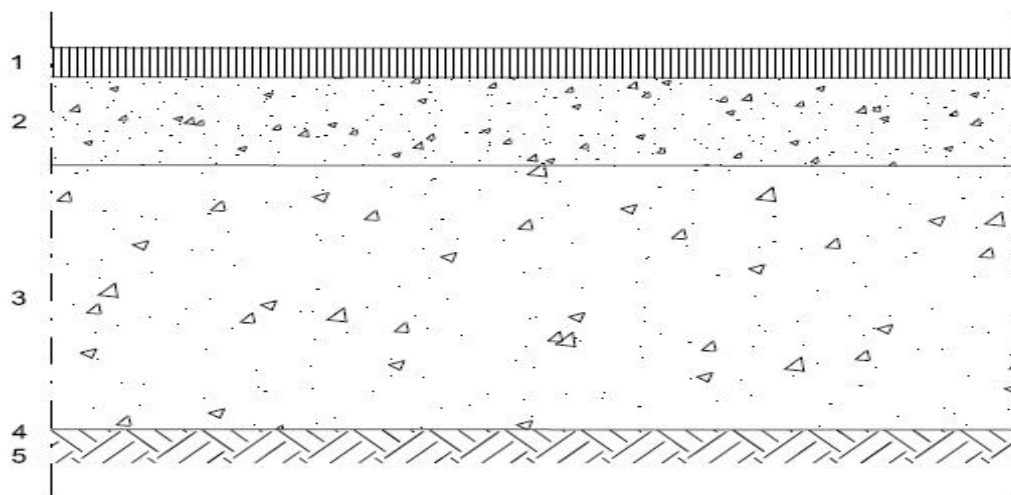
6 Mittausmenetelmien tarkastelu

Mittausmenetelmiä tarkastellessa käy ilmi menetelmien käyttötarkoitusten ero ja se, miten menetelmät voivat täydentää toisiaan. Maanrakentamisen mittauksissa on tärkeä miettiä mittausmenetelmien valintaa kyseisissä kohteissa ja sitä, minkälaisella mittauskalustolla selviää kohteen vaatimustasosta mittauksen suhteen. Rakentamisen kohteissa työselityksen kirjallisessa osassa kerrotaan miten työvaiheiden kelpoisuus on osoitettava. Työselityksissä viitataan usein InfraRYL:iin, jossa on määritelty infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset [11]. Tässä työssä mittausmenetelmien soveltuvuutta tarkastellaan muutamien eri työvaiheiden kautta.

6.1 Maaleikkaukset ja rakennekerrokset

Maaleikkauksissa rakennuspaikalla oleva maasto leikataan eli kaivetaan kohteen suunnitelma-asiakirjoissa esitettyyn muotoon ja tasoon. Maanleikkausalueilta on puusto poistettu ennen kaivutyön aloittamista. Ennen pintamaan poistoa on se kartoitettava myöhempää määrälaskentaa varten. Pintamaalla tarkoitetaan tässä maaston humuspi-toista kasvillisuuden juurikerrosta. Pintamaan poiston jälkeen maanpinta on kartoitettava uudelleen ja vasta tämän jälkeen voidaan aloittaa varsinainen maaleikkaus. Leikka-uksen saavutettua suunniteltu taso on leikkauksen pohja kartoitettava.

Piha-, katu- ja tiealueiden rakennekerrosalueiden leikkaus suoritetaan samoin kuin maaleikkauksissa. Rakennekerroksia tehtäessä kunkin kerrosrakenteen yläpinta on hyvä kartoittaa myöhempää määrälaskentaa varten. (Kuva 10.)



Kuva 10. Kerrosrakenteet: 1. Pintarakenteet, 2. Kantavakerros Ø 0 - 32 mm, 3. Jakavakerros Ø 0 - 100 mm 4. Suodatinkangas, 5. Pohjamaa

Mittausmenetelmää valittaessa maaleikkauksissa ja rakennekerrosalueille on menetelmävaihtoehtoina koneohjaus- tai takymetrimittausmenetelmä. Koneohjausmenetelmää valittaessa on syytä varmistua ennen valintaa satelliittipaikannukseen perustuvan menetelmän toimivuudesta alueella ja varautua suunnitelmista tehtävien mallien tekemiseen. Takymetrimenetelmällä maaleikkaus ja rakennekerrosalueet merkitään perinteisesti maalimerkein ja merkintärimoin maastoon. Maalimerkein merkitylle maaleikkausalueelle lyödään puiset merkintärimat kaivinkoneenkuljettajaa varten pystyyn ja rimoihin kiinnitetään korkeusasemaa kuvaava sihtilappu. Maalimerkkejä ja puurima-merkintöjä joutuu uusimaan useasti työmaan edetessä. Koneohjausmenetelmän toimi-

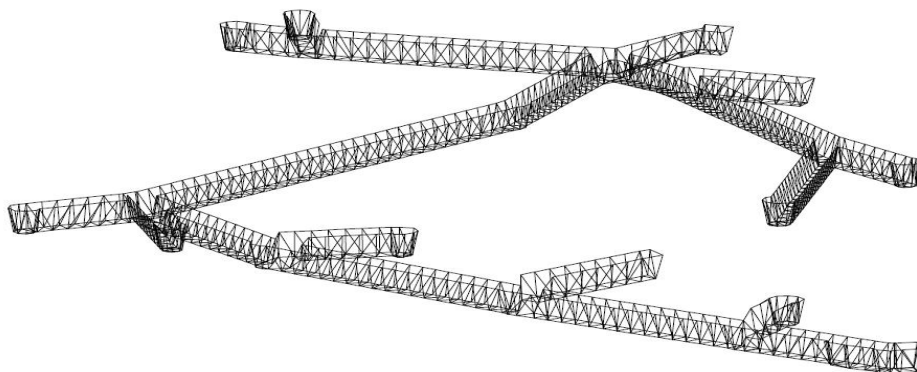
essa ei uudelleen merkintää tapahdu, koska koneohjatussa työkoneessa on alueesta tehty kolmioitu pintamalli, jonka avulla kuljettaja pystyy työskentelemään työalueella mallin rajaamalla alueella. Koneen ohjaamossa olevasta näytöstä kuljettaja näkee, milloin koneen kauha on mallin alueella sekä kauhan korkeusaseman suhteessa malliin.

6.2 Putki- ja johtokaivannot

Putki- ja johtokaivannot käsittävät kaikki maahan kaivettavat putki- ja johtolinjat:

- jätevesiviemärit ja kaivot
- hulevesiviemärit ja kaivot
- salaojaputket ja kaivot
- kaukolämpölinjat ja kaivot
- vesijohdot
- kaapelisuoja-putket ja vetokaivot.

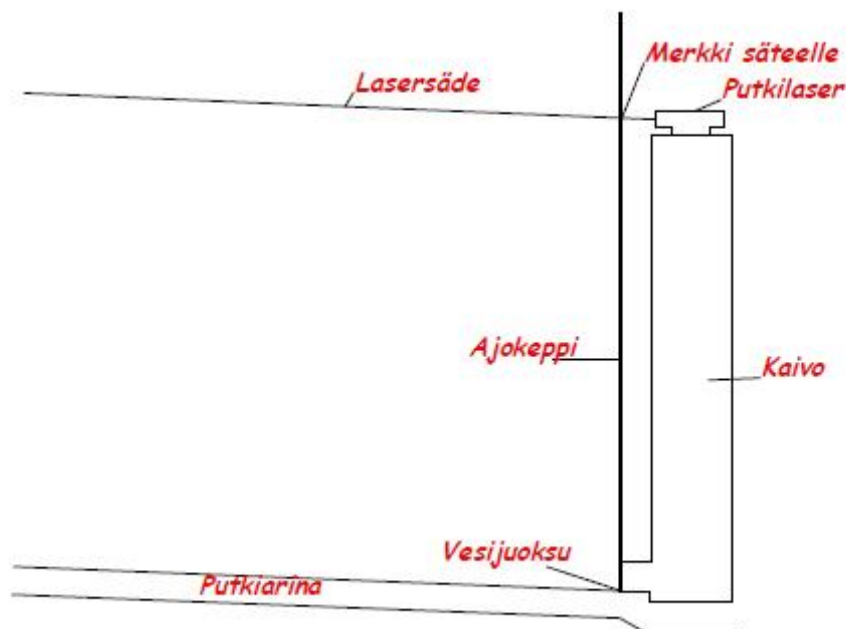
Putki- ja johtokaivantojen mittauksessa käytettäviä menetelmiä ovat takymetrimittaus ja koneohjaus. Koneohjausmenetelmä soveltuu hyvin putki- ja johtokaivantojen suorittamiseen, kunhan kaivannoista on tehty oma kolmiomalli tai linjat on mallinnettu viivoina esim. rakennekerrosten kanssa samaan malliin (kuva 11).



Kuva 11. Putkilinjan kolmioverkkomalli

Putkikaivannosta tehty kolmiomalli siirretään kaivinkoneessa olevaan koneohjausjärjestelmään. Järjestelmän toimivuus x, y ja korkeussuunnassa on tarkistettava ennen kaivutöiden aloittamista. Koneohjausjärjestelmän toimiessa moitteettomasti ei muuta mitausta tarvita kaivua varten.

Takymetrillä putki- ja johtokaivannoista merkitään ensin lähtökaivon paikka ja linjan suunta maalimerkein maanpinnalle. Kaivomerkit siirretään kaivun tieltä sivuun ns. sidontakepeihin, jotta kaivun jälkeen kaivon paikka voidaan siirtää näistä sidonta kepeistä kaivannon pohjalle. Putkien asentajille annetaan myös lähtökorkeus kaivannon läheisyyteen. Putkien asentajat mittaavat tasolaserin avulla lähtökaivon suunnitelmassa ilmoitettuun korkeusasemaan. Putkien kallistus mitataan putkilaserin avulla suunnitelmissa olevan kallistuksen mukaan; usein kallistus on laskettava kaivojen etäisyyden ja korkeuseron avulla. Kaivannon linjaa ja syvyyttä seurataan putkilaserin asetetun säteen avulla, kun se on asennettu ja suunnattu ensimmäisen kaivon päältä linjakepin osoittamaan suuntaan. Kallistuksen seuraamista varten tehdään ns. ajokeppi, eli puinen rima laitetaan ensimmäisen kaivon lähtevään vesijuoksuun ja putkilaserin säteeseen piirretään merkki (kuva 12).



Kuva 12. Periaatepiirros ajokepin käyttöönotosta

Ajokeppiin tehdään toinen merkki edellisen merkin yläpuolelle. Viivojen välinen etäisyys saadaan suunnitelmissa määrätystä putkiarinnan paksuudesta. Takymetrillä merkittyjä kaivonpaikkoja ja putkilinjojen merkintöjä joudutaan merkitsemään useasti työn edetessä.

6.3 Perustukset

Rakennuskohteissa hankkeen urakkaraja vaihtelee maanrakennustöiden osalta, usein urakkaan kuuluvat myös rakennusten perustustyöt. Urakkaan kuuluvat betonirakenteet lisäävät mittausten tarvetta maanrakennustöissä. Lisääntyvää mittaustarvetta tuovat perustukset ja niihin asennettavat rakennuksen kiinnitysosat:

- peruspultit
- tartuntateräkset
- varaukset
- läpiviennit.

Takymetri soveltuu tarkkuutensa puolesta kiinnitysosien paikalleen mittauksiin (kuva 13).



Kuva 13. Rakennuksen kiinnitysosa

Takymetrillä voidaan mitata myös perustuksia varten kaivettavat pohjat. Koneohjausmenetelmä soveltuu perustusten pohjien kaivamiseen.

6.4 Kalliorakenteet ja avolouhinnat

Kalliorakenteita ovat kallioon louhitut väestösuojat, tunnelit ja niihin liittyvät louhitut kallosyvennykset ja seinämät (kuva 14). Soveltuvat mittausmenetelmät ovat takymetrimittaus ja laserkeilaus. Takymetrillä mitataan tunneleiden pisteverkko, laserkeilaimella keilataan tunnelin seinämät ja poravaunut poraavat takymetriavuteisesti.



Kuva 14. Takymetrimittaus lousintatyömaalla

Louhittujen tilojen ja rakenteiden sijainnista tarvitaan nykyisin tarkkaa tietoa. Louhittujen tilojen muodosta ja sijainnista saatava tieto sekä sen nopea toimittaminen suunnittelijoille mahdollistaa rakennesuunnitelmien nopean päivittämisen. Tilojen ja rakenteiden koko määrittää käytettävän mittausmenetelmän. Laserkeilaus on soveltuvin mittausmenetelmä nopeutensa puolesta näiden tilojen tarkastamiseen. [8, s. 22–25.]

7 Tarkemittaukset

Rakennuskohteiden työselostuksissa määritellään työvaiheiden vaatimukset ja niiden kelpoisuuden osoittaminen. Työselostuksissa mainitaan tarkemittausten vaatimuserot tai viittaus siihen, mistä kyseiset arvot löytyvät. Selostuksista kerrotaan, millä menetelmällä tarkastusmittaukset tulisi suorittaa. Tarkastusmittauksilla eli tarkemittauksilla osoitetaan rakennustyövaiheiden kelpoisuus suhteessa suunnitelma-asiakirjoihin. Tarkemittauksista jää myös dokumentti rakennuskohteen asiakirjoihin.

7.1 Maaleikkausten ja rakennekerrosten tarkemittaukset

Maaleikkauksien ja rakennekerrosten tarkemittauksissa käytettävät mittausmenetelmät ovat takymetrimittaus, koneohjausjärjestelmä, laserkeilaus. Maaleikkauksien ja rakennekerrosten teon aikana joudutaan usein suorittamaan massanvaihto, joka tarkoittaa huonosti kantavan maan vaihtoa paremmin kantavaan maa-ainekseen. Massanvaihdon aikana saavutettava tavoitetaso tai kantavan maanpinnan taso on kartoitettava, jotta pystytään todentamaan massanvaihdon laajuus. Tähän kartoitustyöhön soveltuu parhaiten kaivinkoneessa oleva koneohjausjärjestelmä, joka voi tallentaa kaivannon edetessä tarkemittauksen pohjasta. Tämä tarkemittausmuoto on hyvä sopia rakennuttajan kanssa ennen massanvaihdon suorittamista. Toinen soveltuva tarkemittautustapa on takymetrimittaus, mutta työturvallisuuden kannalta on koneohjaus parempi vaihtoehto. Laserkeilaus soveltuu huonoiten näistä kolmesta menetelmästä kaivantojen pohjien tarkemittauksiin, koska keilauksia olisi suoritettava vähintään kaksi, jotta saataisiin kaivannon muodot mitattua lasersäteiden avulla.

Maaleikkauksien tarkemittauksissa käytännöllisin laite on koneohjausjärjestelmä, joka leikkausta tehdessään saavuttaa suunnitellun tason ja tallentaa pisteen tiedot järjestelmän muistiin. Takymetri soveltuu myös leikkauspintojen tarkemittauksiin. Laserkeilauksen huono soveltuvuus johtuu mittausaineiston suuremmasta käsittelymäärästä sekä ajasta. Rakennekerroksia tehtäessä harvoin koko kerrosten leikkausala on yhtä aikaa kaivettuna. Leikkauksen kaivu ja ensimmäisen rakennekerroksen täyttö etenevät samanaikaisesti. Näin suoritettuna rakennekerrostyövaiheessa tarkkeiden ottamiselle jää lyhyt aika. Laserkeilaimella suoritettavien tarkemittauksien varten olisi rakennekerrosten pintojen oltava kokonaan tehty yksi vaihe kerrallaan, jotta keilaaminen olisi kannatta-

vaa. Rakennekerrosten kerrosvahvuuksien tarkemittauksissa käytetään menetelmiä seuraavassa käyttöjärjestyksessä: koneohjaus, takymetri, laserkeilain.

7.2 Putki- ja johtokaivantojen tarkemittaukset

Putki- ja johtokaivannoista tarkemittauksia otetaan kaivantoihin asennettavista putkista ja kaivoista. Putket ja kaivot kartoitetaan viiva ja pistemuotoisena. Tarkemittauslaitteena on takymetri paras sen soveltuvuutensa takia. Koneohjausjärjestelmää ei tule käyttää lainkaan putkien ja kaivojen tarkemittauksiin. Koneohjausjärjestelmää voidaan käyttää putki- ja johtokaivantojen pohjan tarkemittauksiin, jos koneohjausmenetelmällä otettavat tarkkeet ovat ennalta sovittu rakennuttajan kanssa työmaan aloituspalaverissa. Laserkeilaimen käyttö on hankalaa useiden kojeasemien pystytysten vuoksi. Laserkeilain on pystytettävä aina jokaisen kaivannon suuntaisesti erikseen. (Kuva 15.) Laserkeilaimella putkilinjoja kartoitettaessa putkien pitäisi olla ilman alkutäyttöä, näin pystyttäisiin keilaamaan putkistojen muoto ja sijainti. Jätettäessä alkutäyttö tekemättä on putkilinjojen suoristaminen kaivovälille hankalaa.



Kuva 15. Sadevesikaivannon täyttö käynnissä tarkistusmittauksen jälkeen

Tarkistusmittaukset suoritetaan takymetrillä, kun putkilinjoille on tehty alkutäyttö ja putkista näkyy vain niiden laki eli selkä. Tarkistusmittauksissa prisma-auvalla kartoitetaan putken laen korkeus ja prismasauvan pituuteen lisätään putken seinämän vahvuus ja halkaisijan mitta. Nämä lisäykset prisma-auvaan tehdään putkille, joista mitataan tarkemittaus vesijuoksusta. Paineputkista tarkemittaus mitataan putken selästä. Koodeja käyttämällä voidaan tarkemittatut putket yksilöidä mittausvaiheessa. Koodauksen käyttäminen putkistojen risteyskohdissa selventää linjojen suunnat havainnollisemmin.

7.3 Perustusten tarkemittaukset

Perustusten tarkemittauksissa mitataan tarke perustusten yläpinnasta ja perustuksiin asennetuista rakennuksen kiinnitysosista. Takymetri soveltuu tarkkuutensa puolesta hyvin peruspulttien ja tartuntaterästen tarkemittauksiin. Laserkeilaimella kartoitustietoa tulisi tarpeettoman paljon peruspulteista ja tartuntateräksistä, vaikka yksittäinen piste-tieto riittää.

7.4 Kalliorakenteiden tarkemittaukset

Kalliorakenteiden tarkistusmittauksissa kartoitetaan louhittujen kalliotilojen seinämiä. Laserkeilain sopii ominaisuuksiensa puolesta parhaiten kalliotilojen, varsinkin tunneleiden kartoitukseen. Laserkeilaimella mitattujen pisteiden määrä suhteessa aikaan on paljon suurempi kuin takymetrin skannaustoiminolla tehty mittaus. Takymetrin skannaustoiminto soveltuu pienimuotoisempiin kallioseinämiä tarkemittauksiin.

8 Pohdinta

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli esitellä maanrakentamisessa käytettäviä mittalaitteita ja menetelmiä sekä niiden soveltuvuutta erilaisiin mittaustehtäviin. Tarkastelun kohteiksi valittiin kolme täällä hetkellä erityyppistä maanrakennustyömailla käytettyä menetelmää, joilla on mahdollista suorittaa samantapaisia työsuoritteita.

Tarkastelujen tulokset perustuvat työn tekijän omiin käytännön kokemuksiin sekä niiden lisäksi mittausmenetelmien seuraamiseen työmaaolosuhteissa. Tarkastelujen tarkoituksena oli selvittää maanrakennustyöissä tällä hetkellä käytetyimmän takymetrimit-

tauksen asemaa uusimpien menetelmien rinnalla. Mittausmenetelmien tarkastelun tuloksista käy ilmi takymetrin olevan edelleen käytetyin mittausmenetelmä maanrakennuskohteissa. Koneohjausjärjestelmän tulo kaivinkoneisiin vähentää takymetrimittauksen määrää koneohjausjärjestelmän toimiessa työmaalla. Laserkeilaus on suurien pintojen ja tasojen selkeästi paras vaihtoehto tarkistus- ja mallinnumittauksiin.

Tarkastelujen aikana ilmeni mittausmenetelmien suhteen poikkeava seikka. Takymetrimittausmenetelmä on ainoa menetelmä, jota voi käyttää ainoana mittausmenetelmänä maanrakennustyömaalla. Laserkeilaus- ja koneohjausmenetelmiä käytettäessä tarvitaan takymetrimenetelmää apuna. Mittausmenetelmät täydentävät toisiaan mittaus-työssä. Rakennusalan kovan kilpailun vuoksi kaikkien mittausmenetelmien käyttö yhtäjaksoisesti rakennuskohteessa on kustannustehotonta. Mittausmenetelmän valintaan kannattaa paneutua jo rakennushankkeen laskentavaiheessa. Nykyisin monissa hankkeissa vaaditaan jo tarjouskilpailuvaiheessa valmiutta koneohjausmenetelmän käyttöön. Suurissa ja vaativissa kohteissa esim. moottoritie- ja metrohankkeissa mittausmenetelmien samanaikainen käyttö on välttämätöntä.

Menetelmien tarkastelun yhteydessä tuli ilmi kehitysidea koneohjausmenetelmän osalta. Koneohjausjärjestelmän ollessa käytössä sellaisella työmaalla, jolla suoritetaan louhintaa, olisi hyödyllistä jos poravaunuissa olisi käytössä sama koneohjausjärjestelmä. Poravaunuille merkitään maalimerkein kalliolle porauslinjat ja poraussyvytydet, jotka häviävät helposti poratessa syntyvän kivi-pölyn alle. Merkinnet joudutaan toistamaan useaan kertaan työn edetessä. Koneohjausjärjestelmää käyttävässä poravaunussa voisi mallintaa porattavan alueen rajat ja poraussyvytyden. Näyttöpäätteeltä poravaunun kuljettaja näkisi porauslinjan sekä korkeusaseman joka poratessa tulisi saavuttaa.

Lähteet

- 1 Wikipedia. 2012. Internet sivut, <http://fi.wikipedia.org/wiki/Infrastrukturi>. Luettu 14.7.2012
- 2 Pelkonen, Jari. 2012. Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 3 Wikman, Esa. 2004. Nykyaikaisen takymetrin anatomia. Maankäyttö, 4/2004, s. 44- 46.
- 4 Wikman, Esa. 2010. Takymetri - Mittaustyökalu moneen käyttöön. Maankäyttö, 4/2010, s. 18- 20.
- 5 Laurila, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3, 2008, s. 224- 225.
- 6 Joala Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Luentomoniste. 30.11.2006
- 7 Joala Vahur. 2010. Laserkeilauksen sovelluksia. Luentomoniste, 7.4.2010
- 8 Petäjäjärvi, Jarmo. Vaarala, Tony. 2012. Laserkeilaimen käyttö tunnelimittauksissa Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- 9 Nieminen, Juha-Matti. 2011. Koneohjaus maanrakennustöissä Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu.
- 10 YIT Rakennus. 2013. Internetsivusto. www.yit.fi/yit_fi/Tietoa_YITsta. Luettu 12.8.2013
- 11 InfraRyl. 2014. Internetsivusto. www.rakennustieto.fi/infraryl. Luettu 3.4.2014

