

Simo Saljola

GPS-mittauksen hyödyntäminen asfalttipohjätöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-
ohjelma

Mestarityö

Tekijä Otsikko	Simo Saljola GPS-mittauksen hyödyntäminen asfalttipohjatöissä
Sivumäärä Aika	36 sivua + 0 liitettä 23.3.2020
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Infrarakentaminen
Ohjaajat	Työpäällikkö Manu Marttinen Lehtori Tapani Järvenpää
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mitä hyötyjä GPS-mittaus tuo asfalttipohjatöihin. Tutkimuksessa perehdyttiin asfalttipohjien tekoon, GPS-mittaustekniikkaan sekä GPS-mittauksen taloudellisiin näkökulmiin.</p> <p>Asfalttipohjien teko eli kantavan kerroksen profilointi on tärkeä osa asfalttityötä. Profiloinnilla on tarkoitus saattaa päällystettävä alue oikeaan korkoon sekä muotoon ennen asfaltointia. Tämän saavuttamiseksi profiloititöissä on alettu viime vuosien aikana hyödyntämään maanrakennustöistä omaksuttua koneohjaustekniikkaa. Samaa tekniikkaa on nyt myös kehitetty asfalttipohjatöiden työnjohdon sovelluksiin.</p> <p>GPS-mittausta testattiin todellisilla työmailla 2017 ja 2018 päällystyskausien aikana. Havaintojen ja kokemusten perusteella GPS-mittauksen hyötyjä arvioitiin työmaiden läpiviennin kannalta.</p> <p>Tutkimuksen perusteella huomattiin, että GPS-mittalaitteen käyttö on helposti omaksuttavaa ja mittaukset ovat luotettavia. GPS-mittaus tuo paljon kaivattua selkeyttä raakapohjien vastaanottoon sekä niissä ilmenevien virheiden huomaamiseen.</p>	
Avainsanat	GPS-mittaus, Asfaltti, Asfalttipohjatyöt, Profilointi

Author Title	Simo Saljola Benefits of GPS-measuring in profiling
Number of Pages Date	36 pages + 0 appendices 23 March 2020
Degree	Bachelor of Construction Site Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	Infrastructure Site Management
Instructors	Manu Marttinen, Site Manager, area level Tapani Järvenpää, Senior Lecturer
<p>Benefits of GPS-measuring in profiling are researched in this thesis. The study consists of profiling, the technology behind GPS-measuring and economical factors.</p> <p>Profiling is an important part of asphalt work. Profiling is supposed to bring the base to a state in which it is in the right elevation and geometry before paving. To achieve this NCC has brought along automated machine control to profiling which has been more familiar in excavation work. This technology has now been experimented in site management of profiling.</p> <p>GPS-measuring was tested during paving seasons 2017 and 2018 on existing construction sites. Benefits were estimated on implementing projects on account of experiences and observations about GPS-measuring.</p> <p>On account of the study it was noted that using GPS-technology in measuring was user friendly and the measurements were accurate. This technology brings much needed clarity to receiving previous working phases and finding faults in them.</p>	
Keywords	GPS-measuring, Asphalt, Profiling

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn esittely	1
1.2	Tutkimusongelma	2
1.3	Tavoite	2
1.4	Työn toteutus	3
1.5	Työn rajaus	3
2	Tutkimuksen teoriapohja	4
2.1	Pohjarakentaminen asfalttialalla	4
2.2	Kantavan kerroksen vaatimukset	4
2.3	Mittaustekniikka	6
2.3.1	Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät Suomessa	6
2.3.2	Työmailla yleisesti käytetyt paikannusmenetelmät	8
2.4	GPS-mittaus	9
2.4.1	GPS-järjestelmän osat	10
2.4.2	Satelliittipaikannuksen mittaustavat	11
2.4.3	Satelliittimittauksen tarkkuus	14
2.4.4	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus	15
3	NCC Industry Oy:n asfaltointityömaat	18
3.1	Asfalttipohjatyöt NCC:llä	18
3.2	Yleisimmät tilanteet maanrakennustöiden vastaanotossa	21
3.2.1	Raakapohjien arvostelu	23
3.2.2	Liitosrakenteet ja päällysteen toimivuus	23
3.2.3	Pinta-alan mittaaminen	24
4	Havaitut GPS-mittauksen mahdollisuudet	25
4.1	Vuosaaren satama	25
4.2	Ruokakesko, Vantaa	27
4.3	Havaintoja työmaalta	27
4.3.1	Käytettävyys	28
4.3.2	Mittaustulosten luotettavuus	29
4.3.3	Taloudellisuus	32

5	Tulokset	33
6	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Lyhenteet

GPS Global Positioning System.

GNSS Global Navigation Satellite System. Globaali satelliittipaikannusjärjestelmä.

1 Johdanto

NCC on Pohjois-Euroopassa johtavia rakentamisen, kiinteistökehityksen ja infrastruktuurin yrityksiä. Pohjoismaat ovat NCC:n kotimarkkina-alueita. NCC:n liikevaihto vuonna 2016 oli noin 5,5 miljardia euroa henkilöstömäärän ollessa 17 000. Industryn osuus liikevaihdosta oli noin 20 %. NCC-konserni muodostuu neljästä toimialasta, jotka ovat: NCC Building, NCC Industry, NCC Infrastructure sekä NCC Property Development. [4]

NCC Industry keskittyy kiviaineksen ja asfaltin tuotantoon, sekä paalutukseen ja teiden päällystykseen. NCC Industry on jaettu Asphalt-, Hercules- (paalutustoiminta) ja Stone Materials divisiooniin. Eri osa-alueet ovat yhteydessä toisiinsa ja integroituvat sujuvasti NCC:n rakentamis- ja infrastruktuuritoimintaan. [5]

NCC:n arvojen neljä kivijalkaa ovat: rehellisyys, kunnioitus, luottamuksellisuus ja edistyksellisyys. Edistyksellisyys näkyy vahvasti asfalttidiivisionan toiminnassa mm. pilottihankkeiden muodossa. Viimeisimpiä hankkeita ovat olleet mm. oskilloivien jyrkien ja niiden tiiveydentarkkailulaitteiden käyttöönotto, koneohjaus asfalttipohjatöissä sekä GPS-mittaus asfalttipohjatöissä, mitä tämä opinnäytetyö tulee käsittelemään. Asfalttialaa pidetään yleisesti erittäin konservatiivisena. Työmenetelmät ja -koneet ovat pysyneet hyvin pitkään hyvin samankaltaisina. Edellä mainituilla pilottihankkeilla NCC pyrkii koko ajan kehittämään myös asfalttialaa, vahvistaen arvoissaankin mainittua edistyskäsitystä.

1.1 Työn esittely

Tässä opinnäytetyössä selvitetään millaista hyötyä GPS-mittaus tuo asfalttipohjoihin. Pääpaino selvitystyössä on korkoaseman selvityksessä, mutta myös muita sovelluksia kuten pinta-alalaskentaa, käydään läpi. Korkojen selvitys on tärkeää mahdollisten poikkeamatilanteiden kannalta, joista aiheutuu asfalttiurakoitsijalle ylimääräisiä kustannuksia. Päällysrakenteen toimivuuden kannalta voi myös olla tärkeää selvittää erilaisten liitosrakenteiden kuten pintavesikaivojen korkeusasemat.

GPS-mittalaite hankittiin NCC Industrylle loppukesästä 2017. Siitä lähtien sitä on käytetty suurien pihatyömaiden raakapohjien kartoitukseen sekä muun muassa pinta-alojen mittaamiseen. Mittauksia on suoritettu sellaisilla työmailla, joissa on käytetty asfalttipohjätöissä koneohjausta. Kyseisiä työmaita käytetään myös esimerkkeinä opinnäytetyössä. Taloudellisia lukuja ja kokemuksia ristiriitatilanteiden selvittämisestä on saatu työmaapäälliköiltä sekä aluepäälliköiltä.

1.2 Tutkimusongelma

Asfaltointityömaat ovat usein kestoaltaan lyhyitä. Tyypillinen työmaa kestää toteutuksen osalta kaksi päivää. Ensimmäinen päivä tehdään asfalttipohjia ja toinen asfaltoidaan. Yhdellä työnjohtajalla on myös usein lukuisia työmaita käynnissä samanaikaisesti. Tämä ajaa tilanteeseen, jossa ei ole aikaa arvioida muotoilemattoman kantavan kerroksen eli raakapohjan onnistuneisuutta. Myös muut liitosrakenteet kuten pintavesikaivot ja tontin liittäminen katuverkkoon saattavat olla siten toteutettu, ettei niitä pystytä korjaamaan niillä toimenpiteillä, joita tarjouksessa on annettu. Tämän kaltaiset ongelmat tulevat työn toteutusvaiheessa esiin aiheuttaen mm. joutokäyntiä, ylimääräistä työtä tai toimimattomia ratkaisuja. Jos ongelmista ei ole ilmoitettu etukäteen, voi tulla eteen sellainen tilanne, jossa kaikki vastuu korjauksista langetetaan asfalttiurakoitsijalle.

Jotta edellä mainitun kaltaisista tilanteista päästäisiin eroon, on NCC Industry hankkinut ensimmäisen GPS-mittalaitteen loppukesästä 2017. GPS-mittalaitteelta toivotaan nopeaa informaation saantia raakapohjien onnistuneisuudesta ennen varsinaisen työn aloittamista. Tällöin tilaajaa päästään informoimaan mahdollisten muutos- ja lisätöiden tarpeesta. Näin varmistetaan informaation oikean aikainen kulku ja turvataan asfalttityön talous.

1.3 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä käytössä olevaan GPS-mittaustekniikkaan ja hyödyntää sitä tehokkaasti työmailla eri tarkoituksiin. Pyrkimyksenä on kehittää asfalttipohjien rakentamisen laatua ja tuotantotehokkuutta.

1.4 Työn toteutus

Työn toteutuksessa perehdytään GPS-mittaustekniikkaan, millä luodaan teoriapohja GPS-mittauksille työmailla. GPS-mittauksia suoritetaan myös itse ja analysoidaan tuloksia ja mahdollisia käytännön sovelluksia kyseiselle laitteistolle. Teorialähteinä käytetään aihetta käsittelevää kirjallisuutta. Taloudellisia kokemuksia ja ristiriitatilanteiden selvittämiseen liittyvää tietoutta hankitaan haastattelemalla muun muassa pohjatyönjohtajia sekä asfalttityömaiden taloudesta vastaavia henkilöitä.

Käytännön esimerkkeinä opinnäytetyössä toimii todelliset työmaat vuosilta 2017 ja 2018, joissa on hyödynnetty GPS-mittausta. Näillä työmailla NCC Industry on suorittanut asfalttipohjatyöt sekä asfalttoinnin. Asfalttipohjatyöt on toteutettu koneohjausta hyödyntäen. Sekä koneohjaukseen että GPS-mittaukseen soveltuvat pinnantasaussuunnitelmat on tuottanut Geomalli Oy.

1.5 Työn rajaus

Tähän opinnäytetyöhön kuuluu tutkimusongelmaan perehtyminen esimerkkityömaiden avulla ja ratkaisun kehittäminen GPS-mittaustekniikalla. Ratkaisuja voi olla useampiakin, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään nimenomaan GPS-mittauksen tarjoamiin ratkaisuihin. Taustatutkimuksena perehdytään rakennekerrosten vaatimuksiin ja mittaustekniikkaan, erityisesti silmällä pitäen GPS-mittaustekniikkaa. Tässä opinnäytetyössä otetaan kantaa myös GPS-mittauksen tuomiin taloudellisiin hyötyihin.

2 Tutkimuksen teoriapohja

Asfalttityömailla pohjarakentaminen kohdistuu kantavan kerroksen yläpintaan 50:en millimetriin. Tätä työtä kutsutaan profiloinniksi. Kantava kerros rakennetaan CE-merkitystä kallio- tai soramurskeesta.

2.1 Pohjarakentaminen asfalttialalla

Pohjarakentamisella tarkoitetaan rakennettavan kohteen perustusten ja maanalaisten kerrosten rakentamista. Rakennettava kohde voi olla esimerkiksi katu tai kauppakeskus. Pohjarakennustöitä ovat louhinta-, kaivu-, tuenta-, kuivatus-, lujitus- ja tiivistystyöt. Asfalttipohjien rakentaminen kohdistuu kantavaan kerrokseen tai sen yläosaan. Pohjarakentaminen onkin käsitteenä turhan laaja, mitä tulee asfalttipohjien tekoon. Suurin osa NCC Industry Oy:n tarjoamista asfalttipohjatöistä sisältää vain 50 mm asfalttipäällysteen alapuolisen kantavan kerroksen profiloinnista. [6]

2.2 Kantavan kerroksen vaatimukset

Kantava kerros on asfalttipäällysteen alapuolinen rakennekerros, jonka tehtävänä on kantaa siihen kohdistuvat ylhäältä tulevat kuormat. Kantavalle kerrokselle asetetaan vaatimuksia käyttötarkoituksen, rakentamistavan, alustan ja käytettävien materiaalien mukaan. [6]

Kantava kerros rakennetaan CE-merkitystä kallio- tai soramurskeesta. Käytettävän murskeen raekoot voivat olla 0-32, 0-40, 0-45, 0-56 tai 0-63 mm. Kantavan kerroksen kiviaineksen vaatimuksia ovat myös riittävä murtopintaisten rakeiden osuus kiviaineksen joukosta, raemuoto, jäätymis-sulamiskestävyys ja kestävyys rapautumista vastaan. Kaikki NCC:n kiviainekset ovat CE-hyväksytyjä, täyttäen edellä mainitut vaatimukset. NCC Industryn asfalttityömailla käytetään yleisimmin kalliomursketta, joka on raekooltaan 0-32 mm. [6]

Kantavan kerroksen kerrospaksuus vaihtelee 50 mm – 200 mm välillä. Kerrospaksuuteen vaikuttavat laatuluokka, aluetyppi ja rakennettavan maaperän olosuhteet. Huo-

mion arvoinen maininta InfraRYL:sta on, että kantava kerros on rakennettava yhtenäisesti, eli kerralla koko paksuudeltaan. Kun kantava kerros profiloidaan oikeaan muotoonsa ja korkoonsa tulevaa asfalttipäällystettä varten, joudutaan usein mursketta lisäämään. Jos uudelleen tiivistettävä kerros ei ole riittävän paksu, kiviaineksen lisäys tehdään sekoittamalla jo tiivistetty ja lisättävä materiaali. Syntyvän kerroksen tulee olla vähintään kaksi kertaa niin paksu kuin käytettävän murskeen maksimiraekoko. Tosielämässä vastaavia tilanteita syntyy, kun asfalttiurakoitsijan tarjous koskee vain päällimmäistä 50 mm:ä ja kantavan kerroksen tulee olla tätä paksumpi. [6]

Kiviaineksen lajittuminen on tärkeä minimoida. Lajittumisen ketju muodostuu varastoinnista, kuljetuksesta ja levityksestä. Työmaalla on tärkeää kontrolloida kuorman purkamisen onnistumista ja levityskertojen lukumäärää. Nämä ovat toimenpiteitä, joihin työmaahenkilökunta pystyy vaikuttamaan ja niillä on suuri merkitys kiviaineksen mahdollisen lajittumisen syntyyn. Lajittumat asfalttipohjissa ilmenevät pehmeinä kohtina (kuva 1). Lajittuneisiin kohtiin kuuluu enemmän asfalttimassaa tai niiden kohdalle asfalttipinnoitteen voi tulla painuma. Rakennekerroksen tiivistämisessä on tärkeää huomioida riittävä jyräysteho ja oikeaoppinen tiivistäminen. [6]



Kuva 1. Asfaltinlevittimen renkaat ovat uponneet asfalttipohjiin murskeen lajittumisen seurauksena.

2.3 Mittaustekniikka

Työmailla käytetyimmät mittaustavat ovat takymetrimittaus sekä GPS-paikannus. GPS-mittaustavat ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus, suhteellinen mitaus ja reaaliaikainen kinemaattinen mitaus.

2.3.1 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät Suomessa

Työmaalla tapahtuva GPS-mittaus on mittalaitteen ja työmaan paikkatiedon välistä vuoropuhelua. Työmaa voidaan periaatteessa määrittää mihin koordinaatti- ja korkeusjär-

jestelmään tahansa. Esimerkiksi monilla kunnilla on omat järjestelmänsä, joita he käyttävät. Kuitenkin suurin osa toimijoista valitsee työmaillaan koordinaattijärjestelmäksi ETRS89-järjestelmän ja korkeusjärjestelmäksi N2000-järjestelmän. Tällä tavoin vältetään ristiriitaisuuksilta paikkatiedoissa. [1, 160-162]

2.3.1.1 Koordinaattijärjestelmä

Suomea on mitattu ja kartoitettu noin 40 vuotta KKJ kartastokoordinaatti-järjestelmässä. KKJ on kuitenkin vähitellen jäämässä pois käytöstä, kun on päätetty siirtyä käyttämään ETRS89-järjestelmää. ETRS89 on lyhenne sanoista European Terrestrial Reference System 1989. Järjestelmä on kiinnitetty Euraasian mannerlaattaan, niin etteivät pisteiden koordinaatit muutu ajan kuluessa. Suomessa ETRS89-järjestelmää kutsutaan myös EU-REF-FIN -järjestelmäksi. [2]

ETRS89-koordinaattijärjestelmän kanssa voidaan käyttää ETRS-TM35FIN- tai ETRS-GKn-tasokoordinaatioita. ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistossa Suomi mahtuu kokonaan yhdelle kaistalle. Täten se sopii hyvin koko maan kattaviin kartastoihin. Rakentamiseen paremmin soveltuva ETRS-GKn-tasokoordinaatio on ollut käytössä kaikilla NCC Industry Oy:n työmailla, joihin on sovellettu koneohjausta tai GPS-mittausta. ETRS-GKn-karttaprojektiossa GK tarkoittaa Gauss-Krügerin projektiota, ja n on koordinaatti-kaistan keskimediaanin asteluku. Suomi jaetaan kolmeentoista projektio ja koordinaattikaistaan. Pääkaupunkiseudun työmailla käytetään ETRS-GK25 kaistaa. [2]

2.3.1.2 Korkeusjärjestelmä

ETRS-GKn kertoo paikan tasosijainnin eli X- ja Y-koordinaatit. Tämän lisäksi paikkatiedon saamiseksi tarvitaan korkeustaso eli Z-koordinaatti. Korkeustason selvittämiseksi Suomessa käytetään N2000-korkeusjärjestelmää, joka on suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. N2000-järjestelmän vertailutaso on länsieurooppalainen Amsterdamin taso NAP. NAP tulee sanoista Normaal Amsterdams Peil. [3]

2.3.2 Työmailla yleisesti käytetyt paikannusmenetelmät

Työmaalla kulmia ja etäisyyksiä voidaan mitata esimerkiksi vaaituskojeella, takymetrilla ja GPS-mittalaitteella. Vaaituskojeen käyttö rajoittuu usein korkeudenmittaamiseen. GPS-mittalaitteen tarkkuus ei vielä tänä päivänä riitä suurta tarkkuutta vaativiin mittaustehtäviin. Takymetrilla sen sijaan on tullut yksi työmaan yleisimmin käytetyistä mittalaitteista. Takymetrilla päästää parhaaseen mittaustulokseen, mutta sen käyttö vaatii myös eniten ennakkotöitä kolmikosta. Mittaustuloksien saamisen nopeudessa GPS on ehdottomasti nopein ja soveltuu asfalttipohjatöiden tarkkuusvaatimuksiin usein riittävällä tasolla. [1, 203-231]

Jotta mittauksia voidaan suorittaa millään edellä mainituista laitteista, on oltava tiedossa työmaalla käytössä olevat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Näiden lisäksi vaaituskoje ja takymetri vaativat työmaalta kiintopisteet, joiden avulla työmaan saa sidottua koordinaatistoon. Nämä liitospisteet pitävät sisällään tasokoordinaatit, korkeuskoordinaatin tai molemmat. Työmaille rakennetaan näitä väliaikaisia liitospisteitä kuntien pitkäaikaisten kiintopisteiden perusteella. [1, 238]

Ennen kuin takymetrilla voidaan alkaa mittaamaan, täytyy se asettaa toimintakuntoon. Toimintakuntoonlaitto pitää sisällään:

- Kojeen pystytys ja tasaus sellaiseen paikkaan, josta on näköyhteys liitospisteisiin
- Kojeen ja maanpinnan välisen korkeuden mittaaminen
- Kojeen orientaatio työmaalle liitospisteiden avulla

Kyseiset toimenpiteet ottavat käyttäjästä riippuen aikaa noin 30 minuuttia. Huomion arvoinen asia on myös, että jos takymetria joudutaan siirtämään jostain syystä, pitää yllä mainittu toimenpidelista toistaa. Takymetrimittaus on siis melko työlästä ja aika ajoitin hidasta. Tarkkuus on ensiluokkaisen hyvää, mutta asfalttityömaiden nopean kierron vuoksi takymetri on monin paikoin turhan kankea mittaväline vaikkapa sokkeloisille pihatyömaille. GPS-mittaus puolestaan tarjoaa usein riittävän tarkkuuden tuottavan ja notkean vaihtoehdon asfalttitoissa tarvittaville mittauksille. [1, 238-246]

2.4 GPS-mittaus

GPS eli satelliittimittaus on tärkeä maastossa ja rakennustyömailla tapahtuvien mittausten menetelmä. Tärkeimpiä mittaustapoja kartoitus- ja mittaustekniikan näkökulmasta ovat suhteellisen paikannuksen mittaustavat, joiden avulla sijainti voidaan määrittää muutaman sentin tai jopa millimetrien tarkkuudella. Suurimmalle osalle ihmisiä satelliittipaikannus tarkoittaa GPS-paikannusta. GPS tulee sanoista Global Positioning System. Yhdysvalloissa kehitetty GPS-paikannusjärjestelmä mahdollistaa maailmanlaajuisen ja reaaliaikaisen paikantamisen, milloin tahansa sääolosuhteista riippumatta. GPS-paikannus on käyttäjälleen helppokäyttöistä ja suhteellisen edullista. Paikantaminen ennen satelliittipaikannusta perustui tähtien suunnan ja havaintohetken ajan mittaukseen. Tähtitieteeseen perustuva paikannus on tiedollisesti ja taidollisesti vaativaa, hidasta ja sääolosuhteista riippuvaa. [1, 288]

Ensimmäisen Maata kiertävän satelliitin avaruuteen lähetti Neuvostoliitto vuonna 1957. Satelliittien tarjoamat mahdollisuudet paikannustekniikalle ymmärrettiin näinä aikoina, kun avaruuden valloitus ja tekninen hyödyntäminen alkoi. Yhdysvalloissa sotilaskäyttöön 1960-luvun alkupuolella kehitetty Transit Doppler -paikannusjärjestelmä loi osaltaan perustan GPS-paikannusjärjestelmälle. Siviilikäyttöön järjestelmä vapautettiin 1960-luvun lopulla. GPS-järjestelmä on suurin satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS:n valmistelut alkoivat 1970-luvulla ja 1994 se oli käyttökunnossa. Vaikka järjestelmä kehitettiin sotilaskäyttöön, vapautettiin se myös joiltain ominaisuuksiltaan siviilikäyttöön. [1, 288]

Satelliittipaikannus ei ole pelkästään GPS-järjestelmän varassa. Venäläinen Glonass-järjestelmä on ollut käytössä suurin piirtein yhtä pitkään. Se on kokonsa puolesta yhtä suuri kuin GPS-järjestelmä. Myös EU toteuttaa Galileo nimistä järjestelmäänsä samoin kuin Japani, Kiina ja Intia omiaan. Näiden paikannusjärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi. GNSS tulee sanoista Global Navigation Satellite System. Sen tavoitteena on, että eri järjestelmät täydentävät toisiaan luoden mahdollisimman kattavan ja saumattoman käyttäjäkokemuksen. GPS- ja Glonass-järjestelmien yhteispeli toimii jo hyvin. [1, 289]

Euroopan Unionin suunnittelemassa Galileo-järjestelmän käyttöönotossa on mittavia poliittisia, teknisiä ja taloudellisia ongelmia. Venäjän Glonass-järjestelmä toimii kohtuullisen hyvin. GPS-järjestelmä on puolestaan palvellut siviilikäytön tarpeita jo yli 20 vuotta. Järjestelmän kehittämispäätöksillä GPS:n tulevaisuus on varmistettu 2030-luvulle saakka.

Satelliittipaikannuksen tulevaisuus on siis turvattu pitkälle tulevaisuuteen pelkästään USA:n ansiosta. [1, 290]

2.4.1 GPS-järjestelmän osat

GPS-järjestelmän kehitystyön tavoitteena olivat muutaman metrin paikannustarkkuus, hyvä häiriönsietokyky sekä yksisuuntaisuus, joka tarkoittaa sitä, että paikannuksenkäyttäjä vastaanottaa signaalin satelliitilta, muttei lähetä mitään signaalia satelliittiin. Vaikka GPS onkin sotilaskäyttöön luotu järjestelmä, on siviilikäytön tarpeet otettu sen kehitystyössä huomioon alusta alkaen. Järjestelmän avulla käyttäjä pystyy määrittämään sijaintinsa ja nopeutensa missä ja milloin vaan. Paikannuksen lisäksi GPS-järjestelmä on tärkeä ajanmäärityksessä. Maailmanlaajuisten tietoverkkojen synkronointi tehdään sen avulla. [1, 290]

GPS-järjestelmä muodostuu kolmesta lohkoista, jotka ovat satelliitti-, valvonta ja käyttäjälohkot. Satelliittilohko muodostuu minimissään 24:stä satelliitista, jotka kiertävät maapalloa kuudella ratatasolla noin 20 200 km korkeudella maan pinnasta. GPS-järjestelmän toiminnallinen laajuus saavutetaan, kun käytössä on 21 satelliittia ja 3 varasatelliittia. Tämä määrä saavutettiin vuonna 1995. [1, 291]

GPS-järjestelmän valvontalohko muodostuu päävalvonta-asemasta, joka sijaitsee USA:ssa lähellä Colorado Springsiä, sekä useista antenni- ja seuranta-asemistä. Valvontalohkon asemien tehtävänä on määrittää ja ennustaa kellovirheitä sekä valvoa järjestelmän yleistä toiminnallista tilaa. Ne sijaitsevat päiväntasaajan molemmin puolin. Tarvittaessa myös satelliittien siirrot onnistuvat näiltä asemilta. Siirtoja tehdään, jos satelliitti ajautuu pois suunnitellulta radaltaan tai jos siirrolle on jokin sotilaallinen syy. Valvontalohkon toimet ja niiden kehittäminen ylläpitävät ja parantavat GPS-paikannuksen tarkkuutta. Kehittämistoimia ovat muun muassa valvonta-asemien lisääntyminen ja satelliittien taajuuksien lisäys. [1, 291]

Reaaliaikaista sijaintitietoa tarvitsevat paikannuspalvelun käyttäjät muodostavat käyttäjälohkon. He mittaavat satelliittien lähettämiä signaaleja sijainnin, ajan ja nopeuden määrittämiseksi. GPS-järjestelmän käyttäjien saamat koordinaattitiedot tulevat koordinaattijärjestelmästä nimeltä WGS84. WGS84 tulee sanoista World Geodetic System 1984. Suomessa käytössä oleva koordinaattijärjestelmä EUREF-FIN perustuu tähän koordinaattijärjestelmään. [1, 292]

2.4.2 Satelliittipaikannuksen mittaustavat

GPS-paikannuksessa havaitaan satelliittien lähettämiä signaaleja. Signaalihavaintojen pohjalta mitataan havaitsijan etäisyydet vähintään kolmeen satelliittiin. Havaitsijan paikka saadaan selville, kun satelliittien sijainnit tunnetaan havaintohetkellä. GPS-paikannus perustuu siis etäisyyksien ja etäisyyserojen mittaukseen. Mitä useampaan satelliittiin etäisyys mitataan, sitä pienemmät mittausvirheet saadaan. [1, 298]

Satelliittipaikannuksen mittaustapojen jaottelu perustuu mittauksissa käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin sekä havaintolaitteiden lukumäärään. Perusmittaustavat ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. [1, 300]

2.4.2.1 Absoluuttinen paikannus

Kansan keskuudessa yleisin satelliittipaikannuksen muoto on absoluuttinen paikannus. Teknisesti se on yksinkertaista ja tarvittavalta laitteistoltaan halvin. Tarkkuudeltaan absoluuttinen paikannus soveltuu harrastekäyttöön ja useimpiin ajoneuvonavigoinnin sovelluksiin. Absoluuttisen paikannuksen peruseriaatteet ovat:

- Satelliitit ovat mittauksessa sijainniltaan tunnettuja, koska niiden rataparametrit välitetään havaitsijalle paikannussignaalisissa.
- Havaitsija mittaa etäisyydet vähintään kolmeen satelliittiin.
- Satelliitin lähettämän signaalin kulku-aika mitataan C/A koodin avulla signaalin viivytystekniikkaa käyttäen.
- Havaitsija on satelliittien ja etäisyyksien määrittämien pallopintojen leikkauskohdassa
- Mittauksessa tarvitaan erittäin tarkkoja kelloja signaalin kulkuajan mittaamiseksi
- Havaitsijan paikantimen kellon käyntivirhe määritetään mittaamalla etäisyydet vähintään neljään satelliittiin.

Havaitsijan paikka määritetään kolmen etäisyyden avulla. Menetelmää kutsutaan avaruustrilateraatioksi, joka tarkoittaa etäisyyksien avulla tapahtuvaa kolmiomittausta. Mittauksista ensimmäinen määrittää paikan pallon pinnalle, jonka keskipiste on satelliitti ja säteenä mitattu etäisyys. Toinen mittaus rajoittaa sijainnin ympyrän kaarelle. Kolmas mittaus määrittää sijainnin kahteen pisteeseen. Toinen ratkaisu voidaan pudottaa pois

pelistä, sillä se sijaitsee avaruudessa. Kolme etäisyydenmittausta tuottaa kolme havaintoyhtälöä kolmen tuntemattoman ratkaisemiseksi. Tällöin paikantimen sijainti on mahdollista laskea. Ratkaisuja on kuitenkin kaksi, koska yhtälöt ovat toisen asteen yhtälöitä. Mitattuja etäisyyksiä kutsutaan pseudoetäisyyksiksi eli näennäisiksi etäisyyksiksi, koska mitatut etäisyydet voivat olla virheellisiä havaitsijan kellon käyntivirheen vuoksi. [1, 302-303]

2.4.2.1.1 Signaalin viivytys

Satelliitin lähettämän signaalin kulkuajan mittausta tehdään siviilikäytössä olevilla paikantimilla C/A-koodin avulla. Jokaisella paikannussatelliitilla on yksilöllinen koodinsa, jonka tuottamistapa on julkinen. Vastaanotin pystyy erottamaan satelliitit toisistaan tämän koodin avulla. Etäisyyden mittausta C/A-koodin avulla pohjautuu tarkkaan ajanmittaukseen. Ajanmittausta varten satelliiteissa on kaksi tai kolme kelloa, jotka ovat atomikelloja tai stabiloituja kvartsikelloja. Kellojen käyntivirheitä seurataan jatkuvasti valvonta-aseilla ja ne välitetään paikannussignaalin mukana käyttäjille. Paikantimen kello on epätarkka kvartsikello, joka rannekellon lailla vähitellen ajautuu pois oikeasta ajasta. Sen käyntivirhe saadaan määritettyä, kun mitataan etäisyydet vähintään neljään satelliittiin. [1, 303-305]

2.4.2.2 Differentiaalinen paikannus

DGPS ja DGNSS eli differentiaalisessa paikannuksessa etäisyydet satelliitteihin mitataan C/A-koodin avulla, eli samalla tavalla kuin absoluuttisessa paikannuksessa. Tämän lisäksi mittauksessa on mukana tukiasema, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tukiasema mittaa etäisyyden ja laskee havaintopaikan ja satelliitin tunnettuja koordinaatteja vastaavan etäisyyden. Laskettu arvo on etäisyyden oikea arvo. Mitatun ja lasketun etäisyyden erotuksena saadaan havainnon virhe, jonka avulla pystytään määrittämään havainnon korjattu etäisyys. [1, 305]

Etäisyyksiin tehtävää korjausta kutsutaan differentiaalikorjaukseksi. Tällä tavoin voidaan korjata tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen yhteiset virheet. Korjattujen etäisyyksien avulla paikantavan vastaanottimen sijainti saadaan laskettua huomattavasti tarkemmin kuin absoluuttisella paikannuksella. [1, 306]

DNGSS-paikannuksessa havaitsija tarvitsee vain yhden oman vastaanottimen, koska Suomessa on tarjolla monia erilaisia yleisiä tukiasemapalveluita. Satelliittipaikantimen lisäksi tarvitaan kuitenkin verkkoyhteys korjauspalvelun tarjoajaan ja mahdollisesti lisälaitteen korjaussignaalin vastaanottamiseen. Tarkkuutensa puolesta differentiaalinen mittaus soveltuu muun muassa yleiseen paikkatietojen keruuseen, merenmittaukseen ja auto- ja laivaliikenteen ammattikäyttöön. [1, 306-308]

2.4.2.3 Suhteellinen mittaus

Vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus eroaa absoluuttisesta- ja differentiaalisesta paikannuksesta kahdella tapaa. Etäisyydenmittauksessa havaintosuurena käytetään kantoaaltoa ja paikantavan vastaanottimen sijainti mitataan toiseen vastaanottimen, suhteen. Suhteellisella mittaustavalla saavutetaan paras mahdollinen tarkkuus. Parhaimmillaan paikannusvirheet ovat vain muutamia millimetrejä. Vaihehavaintoihin perustuvaa suhteellista mittausta käytetään esimerkiksi koneohjauksen tehtävissä. [1, 308]

GPS-satelliittien lähettämien signaalien koodit ovat vaihemoduloitu kantoaaltoihin. Kantoaallon havaitsemiseen perustuvaa etäisyydenmittausta kutsutaan interferometriseksi mittaukseksi, jonka mittauksen yksikkönä on aallonpituus. Mitattu etäisyys syntyy kokonaisista aallonpituuksista ja vaihe-eroista. Kantoaallon avulla vastaanottimen ja satelliitin välinen etäisyys pystytään määrittämään millimetritarkkuudella. Se on kuitenkin merkityksetöntä, koska satelliittien radat tunnetaan huonommalla tarkkuudella, eikä ilmakehän virhevaikutuksia voida täysin hallita. Tämän vuoksi mittauksen vertailukohta siirretään maanpinnalle toiseen vastaanottimeen. Silloin puhutaan suhteellisesta mittauksesta, kun mittaus tehdään toisen vastaanottimen, vertailuvastaanottimen, suhteen. [1, 308]

Suhteellisessa mittauksessa tarvitaan aina vähintään kaksi vastaanotinta. Toinen on vertailuvastaanotin ja toinen paikantava vastaanotin. Mittaustulokset saadaan, kun vastaanottimien havainnot on yhdistetty. Vertailuvastaanotin voi sijaita joko tunnetulla tai tuntemattomalla pisteellä. [1, 310]

2.4.3 Satelliittimittauksen tarkkuus

2.4.3.1 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Mittaustapojen arvioitu tarkkuus kertoo sen, millaisiin työtehtäviin mitäkin mittaustapaa kannattaa ja voi käyttää. Mittaustavan ja siihen liittyvien havaintosuureiden lisäksi aina-kin seuraavat tekijät tulee huomioida satelliittipaikannuksen tarkkuutta arvioidessa:

- Maapallo ja havaitsija liikkuvat havaintojakson aikana. Myös satelliitit liikkuvat noin 4 km/s nopeudella.
- Satelliitin paikka tunnetaan vain rajallisella tarkkuudella. Paikannussignaalin ratatiedot mahdollistavat paikan laskemisen muutaman metrin tarkkuudella.
- Valon nopeus eli signaalin kulkunopeus on riippuvainen ilmakehän tilasta. Erityisesti ionosfääri ja troposfääri vaikuttavat signaalin etenemiseen.
- Satelliittien lukumäärä ja sijainti taivaalla voi olla mittaukselle epäedullinen.
- Vastaanotettu signaali voi olla heijastunut ympäristöstä, eli monitieheijastunut
- Vastaanottimen ohjelmistot voivat toimia virheellisesti tai mittaaja käyttää ohjelmia ja laitteita virheellisesti.
- Mittauksessa käytettävät korkeus- ja koordinaattijärjestelmät on oltava valittuna oikein. Tarkoissa suhteellisissa mittauksissa koordinaatisto ja korkeuksien muuntamiseen liittyvä geoidimalli voivat olla jopa suurin virhetekijä. [1, 311]

2.4.3.2 Ionosfääri, troposfääri ja monitieheijastukset

Ilmakehä toimii paikannussignaalin etenemisen väliaineena. Rakenteeltaan ilmakehä on kerroksellinen. Eniten signaaliin vaikuttavat kerrokset ovat ionosfääri ja troposfääri. Yläilmakehän kerrokseen kuuluvan ionosfäärin tilaan vaikuttaa Auringon hiukkassäteilyn aktiivisuus. Runsaan aurinkosäteilyn aikana paikannus on vaikeaa, koska signaalin näennäinen kulkumatka vaihtelee liikaa. Troposfääri on ilmakehän alin kerros. Sen vaihteleva vesihöyrypitoisuus aiheuttaa satelliittipaikannukseen virheitä. Troposfäärissä aiheutuvat virheet ovat ongelmallisia etenkin vuoristoisilla seuduilla. Suomen tapaisilla alavilla mailla virhevaikutukset ovat pieniä. [1, 312]

Paikannussignaalin on tarkoitus saapua vastaanottimeen suoraan satelliitista. Näin ei kuitenkaan aina ole ja signaali saattaa heijastua ympäristöstä. Erityisesti vesi, rakennukset ja ajoneuvot voivat heijastaa signaalia. Tällöin puhutaan monitieheijastumisesta. Monitieheijastumisesta aiheutuvia paikannusvirheitä voidaan vähentää antennitekniikalla ja signaalikäsittelyllä. Absoluuttisessa paikannuksessa virheet voivat olla jopa 10-20 metrin suuruusluokkaa. [1, 313]

2.4.3.3 Satelliittigeometria

Satelliittigeometria tarkoittaa mittauksessa käytettävien satelliittien lukumäärää ja asemaa havaittajan nähden. Kun mittausympäristössä ei ole esteitä, satelliittien lukumäärä ei ole ongelma. Kaupunkiympäristössä ja metsäalueilla tilanne voi olla kuitenkin toinen ja pahimmillaan mittaus ei onnistu ollenkaan. Havaittavien satelliittien tulee olla selvästi yli havaittajan horisontin. Lähellä horisonttia sijaitsevien satelliittien signaalit joutuvat kulkemaan pidemmän matkan ilmakehässä, joka voi aiheuttaa mittavirheitä. Satelliitit eivät saa olla samalla suoralla tai pienessä rykelmässä. Paikannuksen tarkkuus on paras, jos yksi satelliitti on suoraan havaittajan yläpuolella eli zenitissä ja muut tasaisesti jakautuneena eri suuntiin. [1, 313]

2.4.4 Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus eli RTK-mittaus on mittaustapa, jota on alettu hyödyntämään syksystä 2017 lähtien NCC Industry Oy:n asfaltointityömailla, takymetrimittauksen rinnalla. RTK-mittaus on suhteellisen nopea tapa saada luotettavia ja riittävän tarkkoja mittaustuloksia asfaltointitöissä. RTK-mittauksen onnistuminen on riippuvainen satelliittien lukumäärän suhteen. Satelliitteja tulee olla seurannassa vähintään viisi. Käytännössä katsoen vasta 6 - 7 satelliittia antaa riittävän luotettavan mittaustuloksen.

Tarkoissa suhteellisissa mittauksissa käytetään geodeettisia satelliittivastaanottimia. Vastaanotin ottaa näytteitä satelliittien lähettämistä signaaleista tasaisin väliajoin. Samanaikaisesti se muodostaa sisäistä vertaussignaalia. Paikannin myös kerää kaikki tarvittavat havaintosuureet. Näitä ovat: koodi-, vaihe-, ja Doppler-havainnot kaikilla taajuuksilla. Jokaista satelliittia ja havaintosuuretta varten laitteessa on oma kanava, jonka kautta havainto vastaanotetaan.

Suhteellisessa mittauksessa vastaanottimen on saatava selville kantoaallon vaihe. Tähän vastaanotin käyttää koodikorrelaatiota. Menetelmän toimiminen vaatii, että vastaanottimessa pystytään tuottamaan paikannuskoodien täsmälliset kopiot. Satelliitivastaanottimessa on myös sisäänrakennettu antenni. Antennin tehtävä on vastaanottaa satelliittista horisontin yläpuolelta tulevat paikannussignaalit. [1, 320]

RTK-mittausta on kahdenlaista. Perinteisessä RTK-mittauksessa tulee olla tukiaseman virkaa suorittava vertailuvastaanotin ja paikantava vastaanotin, jolla suoritetaan varsinainen mittaus. Toinen RTK-mittauksen tapa on verkko-RTK-mittaus. Verkko-RTK-mittauksessa käytetään tukiasemien verkostoa, jolloin ilmakehän aiheuttamia mittavirheitä on helpompi hallita. Kun RTK-mittausta tehdään verkossa, puhutaan verkko-RTK-mittauksesta. Tukiasemaverkon avulla voidaan mallintaa ilmakehän virheitä niin, että ionosfäärin ja troposfäärin aiheuttamia virheitä pystytään korjaamaan. Tämä parantaa mittauksen luotettavuutta ja nopeutta. [1, 320-323]

NCC:n käyttämää tukiasemaverkkoratkaisua kutsutaan VRS-järjestelmäksi. VRS tulee sanoista Virtual Reference Station System. Järjestelmä laskee jokaiselle mittaajalle oman virtuaalisen tukiaseman lähelle mittauspaikkaa. Trimblen VRS-järjestelmä on avaimet-käteen-paketti, joka pitää sisällään vastaanottimet varusteineen, ohjelmiston ja tiedonsiirtotekniikan. Järjestelmän toimintaperiaate on seuraava:

- Kiinteät tukiasemat lähettävät satelliittidatan laskentakeskukseen.
- Mittaaja lähettää matkapuhelinverkossa likimääräisen sijaintinsa laskentakeskukseen.
- Laskentakeskus prosessoi kiinteiden tukiasemien lähettämää dataa, käyttää mittaajan likimääräistä sijaintia virtuaalitukiaseman muodostamiseen mittaajan lähelle ja lähettää korjausdatan mittaajalle.
- Virtuaalitukiasema on kuvitteellinen tukiasemapiste, joka lasketaan erikseen jokaiselle mittaajalle. Pisteeseen suhteen lasketaan mittaajan saama korjausdata.
- Mittaaja vastaanottaa korjausdatan laskentakeskukselta. Keskuksen korjausdata simuloi paikallisen tukiaseman lähettämää dataa.

Geotrim Oy:n ylläpitämä Trimblen VRS-verkko on käytettävissä koko Suomessa ja siihen kuuluu noin sata tukiasemaa. Rakennusliikkeiden lisäksi muun muassa Maanmittauslaitos, kunnat ja mittausalan yritykset käyttävät VRS-verkkoa hyödyksi mittauksissaan. VRS-verkon käyttäjä tarvitsee pelkän paikantavan vastaanottimen. Oma tukiasemaa ei

tarvita. VRS-verkon käyttö on siis edullisempi ja kätevämpi vaihtoehto perinteiselle RTK-mittaukselle. [1, 323-325]

3 NCC Industry Oy:n asfaltointityömaat

Asfaltointityömaat jaetaan kolmeen työvaiheeseen: profilointi, jyrä ja päällystys. Profilointi on usein työvaiheista ensimmäinen, jonka asfalttiurakoitsija suorittaa. On tärkeää, että ennen profilointityön aloitusta edeltävä työvaihe, maanrakennustyöt, otetaan harkitusti vastaan.

3.1 Asfalttipohjat NCC:llä

Asfalttipohjat alkavat aloituspalaverista ja työkohteen katselmuksesta. Aloituspalaverissa käydään läpi muun muassa viimeisimmät suunnitelmat, tarjouksessa mainittu työn sisältö, työturvallisuus- ja aikatauluasiat sekä muut tilaajan ja urakoitsijan toiveet työn toteutuksen suhteen. Katselmuksessa kävellään työkohte läpi ja tarkastetaan, että edellytykset profilointi- ja asfaltointitöille ovat olemassa. Tämän jälkeen työnjohtaja käy raakapohjat vielä tarkemmin läpi ja huomauttaa poikkeamia, ilmoittaa niistä tilaajalle. Poikkeamia voivat olla muun muassa kaivot väärässä korossa tai tarjouksessa mainitun murskemäärän riittämättömyys eli raakapohjan alitäyttö. Samalla käynnillä työnjohtaja myös mittaa työkohteen pinta-alan mittapyörällä, mistä selviää tarvittava murskemäärä kyseiseen profilointityöhön.

Kun alkukatselmus on suoritettu, valitsee työnjohtaja kohteelle sopivan murskeenkuljetuskaluston ja määrän. Kuljetuskaluston määrä ja tyyppi perustuvat ajomatkaan, murskeen määrään ja levitysnopeuteen. Myös sopiva murskeen levitys- ja tiivistyskalusto on sovitettava vallitseviin olosuhteisiin. Valittavana on työkohteen tyypistä riippuen pieni tai iso tiehöylä, pieni kauhakuormaaja kuten Bobcat sekä iso tai pieni pohjajyrä (kuva 2). Iso tiehöylä sopii hyvin muodoltaan suoraviivaisille työkohteille. Kauhakuormaaja on hyvä valinta ahtaiden kulmien profiloinnin suorittamiseen. Jyrä on valittava sen mukaan, kuinka paksu murskekerros on tiivistettävänä. Myös työskentelytilan ahtaus vaikuttaa jyrän valintaan.



Kuva 2. Pieni tiehöylä profiloi kantavaa kerrosta.

Tarjouksessa on yleensä laskettu pohjatöiden hintaan kuuluvaksi 50 mm 0/32 mursketta tasattuna ja tiivistettynä. Tärkeä tieto työnjohtajan selvittää on, tehdäänkö pohjatyöt tilaajan vai urakoitsijan murskeella. Kun työkohteen raakapohjat on katselmoitu ja pinta-ala laskettu, voidaan murske tilata. 50 mm mursketta tarkoittaa $100 \text{ kg} / \text{m}^2$. Jos työkohteen pinta-ala on $10\,000 \text{ m}^2$, lasketaan tarvittava murskemäärä seuraavasti: $10\,000 \text{ m}^2 \times 100 \text{ kg} / \text{m}^2 = 1000 \text{ tn}$.

Itse murskeen levitystä kutsutaan profiloinniksi. Profiloinnin tarkoituksena on saattaa kantava kerros oikeaan korkoon ja muotoon siten, että pintavedet kulkisivat suunniteltuun paikkaansa. Ennen profilointia raakapohja tulisi vielä kerran tiivistää, sillä varsinkin pienemmillä työmailla ei aina ole saatavilla dataa maanrakentajan tiivistystyön tuloksista. Tällä tavoin vältytään jälkipainumilta, jotka voivat pilata pintarakenteen täysin.

Mursketta levitettäessä, eli profiloitaessa, murskekuorma puretaan kuorma-auton lavalta levittämällä se matoksi raakapohjan päälle. Matoksi levittäminen onnistuu kuorma-auton lavan perälautaa vain vähän avaamalla. Kun perälauta on avattu, ohjeistaa höyläkuski kuorma-auton kuljettajaa mistä kohtaa kippaus alkaa ja mihin se päättyy. Kuorma-autolla ajetaan eteenpäin kippi pystyssä ja samalla mursketta valuu tasaisesti perälaudan välistä. Murskematon tavoitepaksuus on yleensä 5 - 10 cm (kuva 3).



Kuva 3. Kuorma-auto kippaa mursketta matoksi profiloitavalle kentälle.

Kun mursketta on ajettu kentälle matoksi, alkaa varsinainen profilointityö (kuva 4). Tiehöylä työntää keskiterällänsä mursketta eteenpäin niin, että terän kallistus- ja korkeusasema levittävät murskeen vaadittuun pinnantasoon tiivistysvara huomioiden. Työntöjä toistetaan niin monta kertaa, että kenttä on profiloitu suunnitelman mukaiseen, pintavesien kulun kannalta toimivaan muotoon. Kun haluttu muoto on saavutettu, tiivistetään alue jyräämällä. Painumia saattaa vielä tässä kohtaa ilmaantua, jolloin painuma täyte-

tään murskeella ja tiivistetään uudelleen. Kastelu on myös tärkeä osa profilointi- ja tiivistystyötä. Lisäksi se estää murskeen pölyämisen. Kivipöly on haitallista hengityselimistölle.



Kuva 4. Bobcat ja iso tiehöylä profiloivat tienpohjia.

3.2 Yleisimmät tilanteet maanrakennustöiden vastaanotossa

Asfalttiurakoitsija on usein viimeisimpiä toimijoita työmaalla. Urakkarajoihin jaetulla työmaalla työvaihe, jonka asfalttiurakoitsija ottaa vastaan on maanrakennustyöt eli raakapohjat. Raakapohjien onnistuneisuus arvostellaan usein silmämääräisesti ja yksinkertaisia mittoja ottamalla esimerkiksi sokkelin korosta, reunakiven näkymästä tai muusta vastaavasta. Asfaltoitavan alueen rajat mitataan myös manuaalisesti esim. rullamitalla tai mittapyörällä.

Edellä mainitut keinot ovat perusvarmoja ja nopeita tapoja todeta raakapohjien tila. Mutta mitä tulee suuriin päällystettäviin alueisiin, kertovat kyseiset mittaustavat kuitenkin vain pintaraapaisun maanrakennustöiden valmiudesta. Suurilla kentillä voi olla huomattavan isoja alueita, joissa raakapohjat eivät ole korossaan. Suurissa kokonaisuuksissa virheitä ei silmällä erota eikä tasolaseria pysty luotettavasti käyttämään.

Liitosrakenteet kuten kaivot ja kunnan tonttiliittymä saattavat olla siten suunniteltu tai rakennusvaiheessa toteutettu, ettei pintavesien kannalta toimivaa päällystettä pystytä toteuttamaan. Usein kaivojen korkoa pystytään kuitenkin helposti muuttamaan korokerenkailla tai teleskooppiä säätämällä. Tonttiliittymien osalta ongelmia tulee eteen, jos kunta käyttää kaduissaan eri korkeusjärjestelmää kuin työmaa, eikä tätä ole otettu huomioon suunnittelussa. Vesien ohjauksista tonttiliittymissä usein selviää pienillä muutoksilla, kuten esimerkiksi asfalttimakkaralla tai lautakourulla.

Kun raakapohjat ovat ylitäytetyt, tilanne ei asfalttiurakoitsijan kannalta ole välttämättä huono. Ylitäyttö raakapohjissa tarkoittaa, ettei profilointivaiheessa tarvitse niin paljon mursketta, mikä on puolestaan kustannussäästö. Raakapohjat voivat kuitenkin olla tehty niin suuriraekokoisesta murskeesta tai murske on niin hyvin tiivistynyt, ettei tavallinen asfalttipohjatöissä käytettävä tiehöylä pysty terällään levittämään sitä. Tällaisissa tilanteissa kaivinkone tai puskutraktori ovat ainoat vaihtoehdot ylitäytettyjen raakapohjien taasoittamiseen.

Taloudellisesti hankalin tilanne tulee eteen, kun raakapohjat ovat alitäytetyt. Alitäyttö tarkoittaa, että työkohteen valmiin pinnan tasolle on asetettu tietty korko, eikä sitä ole mahdollista saavuttaa tarjouksessa ja urakkarajasopimuksessa mainituilla kerrospaksuuksilla. Asfalttiurakoitsijan kerrokset voivat olla esimerkiksi 50 mm 0/32 murske ja 50 mm AB 16 asfalttipäällyste. Raakapohjat voivat olla valmiin pinnan korosta 150 mm alhaalla. Tällöin korko jää 50 mm vajaaksi tavoitteesta. Tilanteeseen mitenkään reagoimatta tämä tarkoittaa, että 50 mm ylimääräistä mursketta menee pahimmassa tapauksessa kokonaan asfalttiurakoitsijan pussista.

Urakkarajat ovat usein määritetty siten, että asfalttiurakoitsijalle kuuluu pohjarakennuksen osalta kantavan kerroksen ylimmät 50 mm. Maanrakentaja kuten muutkin toimijat koettavat selvittää mahdollisimman vähällä materiaalimäärällä taloudellisten säästöjen vuoksi. Usein tulee tilanteita eteen, joissa raakapohjat ovat alitäytöllä. Kuvitteellinen esimerkkityömaa, jossa asfalttiurakoitsija joutuu levittämään 20 mm ylimääräistä mursketta 10 000 m²:n kentällä, tarkoittaa 400:a tonnia ylimääräistä levitettävää mursketta. Se on suuri taloudellinen tappio jatkuvasti kiristyvässä markkinatilanteessa.

3.2.1 Raakapohjien arvostelu

Raakapohjia on mahdollista tarkastella GPS-mittausta hyödyntäen. Tutkittavasta työmaasta tarvitaan pinnantasaussuunnitelma, joka on yhteensopiva koneohjausmalliin ja sitä kautta myös GPS-mittauksen käyttöön. Yleensä pinta-alaltaan suuriin työmaihin valitaan pohjatöitä varten koneohjauksella varustettu höyläryhmä, jolloin samaa mallia käyttäen pystytään myös GPS-mittausta hyödyntämään työmaalla. Pinta-alaltaan suuri työmaa tarkoittaa myös suurta taloudellista riskiä ylimääräisen murskemenekin muodossa. Pinnantasaussuunnitelmassa valmis korkomaailma asetetaan joko murskeen pintaan tai päällysteen pintaan. Tällöin GPS-mittalaite osaa kertoa kuinka paljon tietystä kohdasta tarvitsee raakapohjaa leikata tai täyttää. Profiloititarjoukset usein pitävät sisällään 0-50 mm mursketta. Jos GPS-mittaus osoittaa, että täyttöä vaaditaan työmaalle keskimäärin 70 mm, tiedetään että tarjouksessa ilmoitettu murskemäärä ei tule riittämään. Näissä tilanteissa täytyy aina informoida tilaajaa asiasta ja hän saa päättää tekeekö korjaukset maanrakentaja vai asfalttiurakoitsija lisätyönä. Jos asiasta ei ilmoiteta, käy usein niin, että ylimääräisen murskeen levytyksestä jää korvaus saamatta. Tämä onkin pää syy, miksi GPS-mittalaite on NCC Industryn asfalttityömaita varten hankittu. GPS-mittalaite on nopea ja helppo käyttää, joten sillä saadaan tarvittava tieto raakapohjien korosta vaivattomasti ennen töiden aloittamista.

3.2.2 Liitosrakenteet ja päällysteen toimivuus

Päällysteen yksi tärkeimmistä funktioista on ohjata pintavedet oikeaan paikkaan. Vesien lätköityminen on hyvin yleinen syy, miksi valmista päällystettä joudutaan korjaamaan. Pinnantasaussuunnitelma saattaa sisältää virheitä tai työmaalla on saatettu tehdä virheitä, jonka takia vesien oikeanlainen kulku saattaa olla mahdoton saavuttaa. Raakapohjavaiheessa on mahdollista GPS-mittausta hyödyntäen tarkastella, onko työkohteella edellytykset pintavesien suunnitelmien mukaiseen kulkuun. Tähän liittyy erityisesti liitosrakenteiden korot. Liitosrakenteita ovat muun muassa kaivot ja kunnan tonttiliittymät. Kaivojen korkoja tarkkailemalla saadaan hyvä kuva siitä mihin pihalla tai kadulla vedet tulevat kulkemaan. Karkea esimerkki on, että pintavesikaivo saattaa olla jopa korkeimmalla kohtaa pihaa. Myös tontin liittäminen kunnan katuverkostoon on saatettu suunnitella virheellisesti, jolloin suunnitellun mukaan vedet jäävät liittymän kohtaan. Sokkelin korkoa ja kaivolinjan korkoa vertaamalla saadaan myös tietoa, tarvitseeko kaivojen koroille tehdä toimenpiteitä.

3.2.3 Pinta-alan mittaaminen

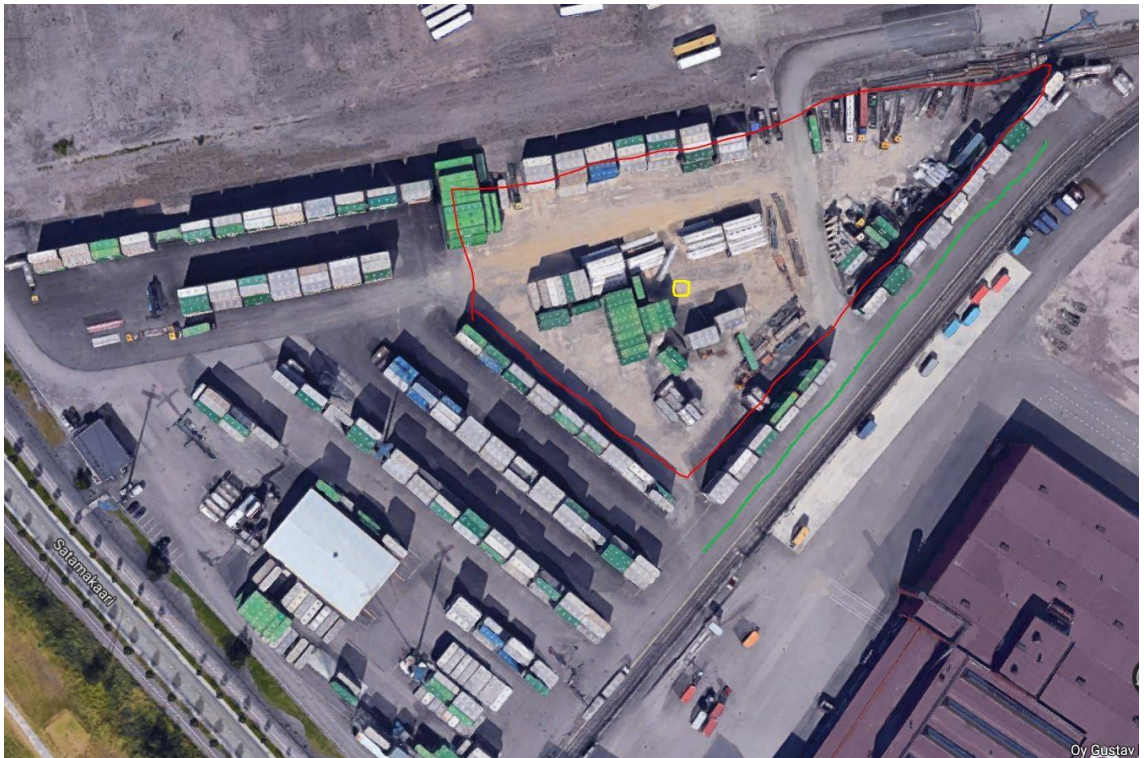
Päällystettävän alueen pinta-alan mittaaminen on jokapäiväistä toimintaa asfalttialalla. Yleisin tähän käytetty mittalaite on mittapyörä. Mittapyörä antaa kuitenkin epätarkkoja tuloksia, jos sitä työnnetään epätasaisella alustalla, kuten esimerkiksi raakapohjilla. GPS-mittausta voidaan käyttää hyödyksi pinta-alojen mittaamisessa. Sen mittaustulokseen ei vaikuta pinnan epätasaisuus. GPS-mittalaitteella pinta-alan mittaaminen tapahtuu, mittaamalla työmaan nurkkapisteiden koordinaatit. Tämän jälkeen laite osaa itse laskea pinta-alan. Erityisen käteväksi se on osoittautunut monimuotoisilla pihoilla, joissa pinta-alan mittaamiseen tarvittaisiin muuten monimutkaisia laskukaavoja.

4 Havaitut GPS-mittauksen mahdollisuudet

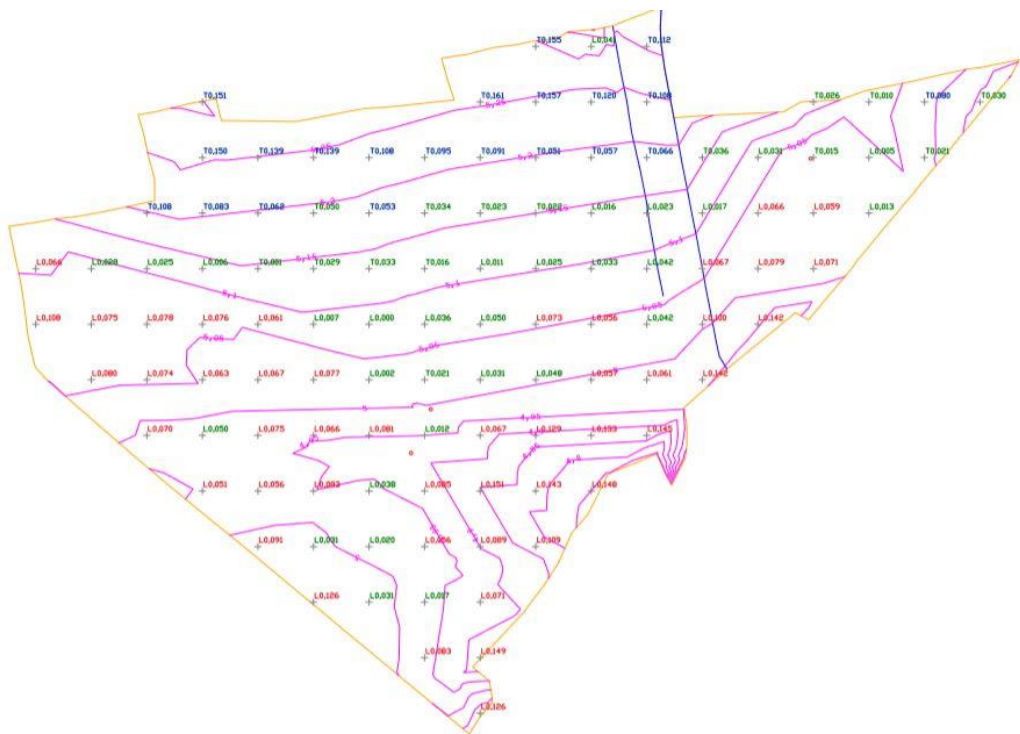
GPS-mittausta on syksystä 2017 lähtien kokeiltu useilla eri työmailla useisiin eri tarkoituksiin. Käyttötarkoituksia ovat olleet raakapohjien korkomaailman tarkastelu, liitosrakteiden korkojen tarkastelu sekä kohteiden pinta-alojen mittaus. GPS-mittaus on osoittautunut helpoksi omaksua ja se antaa luotettavia tuloksia. Tässä opinnäytetyössä esitellään Ruokakeskon työmaa Vantaan Honkanummella, jossa Skanska toimii pääura-koitsijana ja Louhintahiekka maanrakennusurakoitsijana. NCC Industry Oy toimii Louhintahiekan alaisuudessa tuottaen kantavan kerroksen profiloinnit ja asfaltoinnit. Toinen työmaa, jota esitellään, on Helsingin Vuosaarella sijaitseva satamatyömaa, jossa on tarkoitus laajentaa merikonttien varastointitilaa. GPS-mallit molempiin työmaihin on tehnyt Geomalli Oy.

4.1 Vuosaaren satama

Vuosaaren satamassa sijaitseva Logistiikkayrityksen merikonttien varastointikenttää on tarkoitus laajentaa. Työ on vielä tarjousvaiheessa. Varastointikenttä on alun perin NCC Industry Oy:n rakentama ja nyt on tarve laajenukselle. Merikonttien varastointikentällä täytyy olla mahdollisimman pienet kaadot, jotta kontteja on turvallista pinota päällekkäin. Olemassa oleviin kaivoihin ei ole tarkoitus koskea ja uuden alueen vedet tulee saada ohjattua niihin sekä yhteen keräävään kaivoon keskellä uutta kenttää. GPS-mittauksella kartoitettiin olemassa olevien kaivojen korot, mistä saatiin selville mihin korkoon uusi varastointikenttä on tehtävä. Myös uuden alueen nykyisen pinnan korko otettiin kiinni GPS-mittalaitteella (kuva 6). Tarjous pystytään antamaan, kun on saatu selville, kuinka paljon mikin kohta kentästä vaatii leikkausta tai täyttöä (kuva 5).



Kuva 5. Ilmakuvaan on merkitty punaisella asfaltoitava alue, keltaisella keskellä kenttää sijaitseva keräävä kaivo ja vihreällä korkojen puolesta mitattu kaivolinja. Keltaisella merkitylle kaivolle on tarkoitus kerätä valtaosa uuden alueen pintavesistä ja loput ohjataan vihreällä merkitylle kaivolinjalle.



Kuva 6. Merikonttien säilytyskentän korkopisteet

4.2 Ruokakesko, Vantaa

Ruokakesko, Vantaa on profiloinnin ja asfaltoinnin osalta kaksivuotinen urakka. Työt aloitettiin 2017 ja 2018 ne valmistuivat. Piha on lohkottu useisiin eri alueisiin, jotta logistiikkakeskuksen lastauslaitureita saataisiin mahdollisimman nopeasti käyttöön. Työmaalla on profilointityössä käytetty takymetriohjattua tiehöylää eli koneohjausta. Koneohjausmallin on tehnyt Geomalli Oy. Sama malli käy myös GPS-mittaukseen. Työmaan suunnitelmat on sidottu ETRS-GK25 -koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmänä on N2000. Alla olevassa kuvassa on pinnantasaussuunnitelmasta leikattu lohko, joka profiloitiin ja asfaltoitiin keväällä 2018. Suurena ongelmana oli, että kyseistä aluetta oltiin käytetty lumenkaatopaikkana, joten lumien ja niiden alapuolisen roudan sulaminen kesti pitkään keväeseen. Kyseiseltä kentältä käytiin mittaamassa raakapohjien korot GPS-mittalaitteella (kuva 7).



Kuva 7. Pinnantasaussuunnitelma Keskon pihasta

4.3 Havainnot työmaalta

GPS-mittausta on käytetty korkojen mittaukseen sekä pinta-alamittaukseen. Laitteiston mittaustarkkuus on pääkaupunkiseudulla hyvä. Mittavirheet ovat helposti eliminotavissa, kun tiedetään mistä ne aiheutuvat.

4.3.1 Käytettävyys

GPS-mittausta on käytetty kahteen eri sovellukseen: pinta-alamittaukseen ja korkojen mittaukseen. Kumpaakin voi soveltaa sekä sellaisiin työmaihin, joista on olemassa GPS-malli, että sellaisiin, joissa sitä ei ole. Jos mallia ei ole, rajoittuu korkojen mittaus lähinnä liitosrakenteiden, kuten kaivojen, korkojen mittaamiseen. Kun toimiva malli on olemassa, pystytään esimerkiksi raakapohjien korkoa seuraamaan reaaliajassa. Tästä on hyötyä etenkin, jos on epäily, että raakapohjat on väärään korkoon tehty (kuva 8).



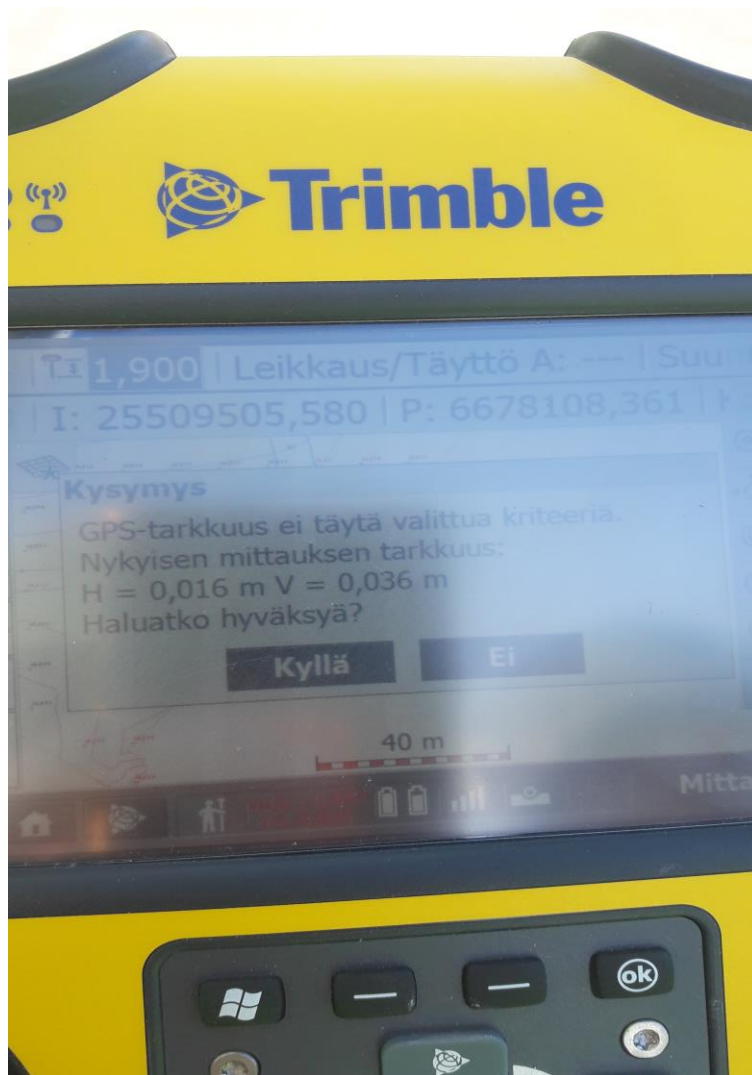
Kuva 8. Raakapohjien koron tarkastelua GPS-mittausta hyödyntäen.

NCC Industry Oy:n käytössä oleva GPS-mittalaite koostuu Trimblen SPS985 antennista, TCS3 maastotietokoneesta, VRS-palvelusta sekä Business Center -tietokoneohjelmasta. Jos mitattavasta kohteesta halutaan GPS:n soveltuva malli, tilataan se Geomalli Oy:ltä. Mallia voidaan tutkia ja muokata Trimblen Business Center -tietokoneohjelmalla.

Tämän jälkeen malli ladataan USB-kaapelin välityksellä tietokoneelta TCS3-maastotietokoneelle. Työmaalla mittalaite kasataan siten, että antenni ja maastotietokone kiinnitetään sauvaan ja kytketään molemmista virrat päälle. Tämän jälkeen maastotietokone ja antenni ottavat automaattisesti yhteyden toisiinsa ja VRS-verkkoon Bluetoothin ja matkapuhelinverkon internetyhteyden avulla. Maastotietokoneesta avataan Site Manager -niminen sovellus ja valitaan ladattu työmaan pinnantasaussuunnitelma. Tämän jälkeen voidaan alkaa mittaamaan haluttuja asioita. Kun mittaukset on tehty, voidaan tuloksia katsella heti maastotietokoneen näytöltä tai Business Center -ohjelmalla tietokoneelta.

4.3.2 Mittaustulosten luotettavuus

Verkko RTK -mittausta hyödyntävä mittalaite on korkeuden puolesta sentin, jopa millimetrin tarkkuudessa. Jos laite havaitsee, ettei riittävää tarkkuutta pystytä saavuttamaan, ilmoittaa se siitä aina ennen mittauksen suorittamista (kuva 9). Tällä tavoin voidaan varmistua, ettei epätarkkoja mittoja päästä vahingossa ottamaan. Mittauksen tarkkuuteen vaikuttavia asioita ovat käytännössä olleet monitieheijastuminen, satelliittigeometria ja GPS-mallin väärä korkojärjestelmä tai koordinaattien tasoprojektio.



Kuva 9. Maastotietokone ilmoittaa, jos tarkkuus on huono.

Monitieheijastumista tapahtuu yleisimmin seinän vierustalla mitatessa (kuva 10). Tärkeää on myös huomioida, että mittalaitteen antenni säädetään sellaiselle korkeudelle, että se on mittaajan pään yläpuolella. Pää aiheuttaa myös monitieheijastumista. Satelliittisaatavuuden eli satelliittigeometrian kanssa on myös välillä ollut ongelmia, kun mittalaitetta on käytetty alueilla, jossa on paljon puustoa. Satelliittigeometriaan vaikuttaa myös mittausajankohta, jolloin samasta paikasta on voinut hetken odottelun jälkeen saada mitattua. Vääriä GPS-mallin korkojärjestelmiä tai tasoprojektioita on tullut myös vastaan. Näissä tilanteissa mitat ovat heittäneet työmaan omiin suunnitelmiin verrattuna metrikaupalla. Pahimmassa tapauksessa mittalaite ei ole ymmärtänyt olevansa edes työmaan rajojen sisällä.



Kuva 10. Seinän vierustalla mitatessa on suuri riski signaalin monitieheijastumiselle.

Kaiken kaikkiaan mittaustulosten luotettavuus on ollut hyvällä tasolla. Mittauksia on suoritettu kuitenkin vain pääkaupunkiseudulla, joten tilanne voi olla toinen syrjäisemmillä seuduilla. Mittalaitteessa on se hyvä ominaisuus, että se ilmoittaa reaaliajassa mihin tarkkuuteen mittauksessa päästään. Tällöin voidaan välttyä virheelliseltä mittausdataalta. pinnantasaussuunnitelmissa olevat korkeus- ja koordinaattijärjestelmävirheet ovat hallittavissa vertaamalla Business Centerillä mallia työmaan omiin suunnitelmiin. Näin saadaan varmistettua, että suunnitelmat ja malli ovat samassa korkeus- ja koordinaattijärjestelmässä.

4.3.3 Taloudellisuus

GPS-mittalaitteisto, VRS-verkko ja Business Center tietokoneohjelmisto ovat Geotrimin tarjoama avaimet-käteen-palvelu. Palvelu maksaa kuukaudessa satoja euroja. Kuukausimaksua voi pitää melko suurena, mutta se ei ole, jos sitä vertaa mahdollisiin kuluihin, mitä maanrakennustöiden vastaanotossa tapahtuvista laiminlyönneistä voi seurata. Ylimääräisen murskeen levitys ja tiivistys tekevät suuremmilla työmailla helposti jopa kymmenien tuhansien eurojen loven asfalttiurakoitsijan talouteen. Päällystyskaudella 2017 tuli myös eteen tilanne, jossa luotettiin ulkopuolisen mittamiehen takymetrimittoihin ja kun profilointi oli suoritettu, osoittautui, että asfalttipohjat oli tehty väärään korkoon. Tästä seurasi se, että tilaaja vaati asfalttiurakoitsijaa korjaamaan korkomaailman, ja asfalttipohjatyöt jouduttiin käytännössä tekemään alusta asti uudestaan.

GPS-mittalaitetta kannattaa ja täytyy käyttää niin sanotusti oman selustan turvaamiseen, jos työmaalla vallitsee riski siitä, että joudutaan tekemään jotain mikä ei sopimukseen kuulu. Mittaus on nopeaa, helppoa, luotettavaa ja tarjoaa oivan työkalun poikkeamatilanteiden huomaamiseen ja niistä raportointiin. Kun ongelmista informoidaan tilaajaa hyvissä ajoin, ennen töiden aloittamista, saadaan sovittua lisä- ja muutostöistä. Ennen kaikkea saadaan korvaus kaikesta mistä kuuluukin.

5 Tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä GPS-mittauksen tuomiin mahdollisiin hyötyihin profiloitutyössä sekä raakapohjien vastaanotossa. Tutkimusongelmana oli raakapohjien epätarkkuus ja siitä seuraavat taloudelliset ja työn toteutukseen liittyvät ongelmat. Taloudellisilla ongelmilla tarkoitetaan lisä- ja muutostöistä saamatta jääneitä korvauksia. Toteutukseen liittyvät ongelmat voivat liittyä muun muassa hulevesien ohjaukseen. Työn tulokset on saavutettu perehtymällä laitteistoon ja käyttämällä sitä todellisilla työmailla.

GPS-mittalaitetta on käytetty loppukesästä 2017 lähtien korkojen ja pinta-alojen mittaamiseen. Laitteen käyttöönotto on onnistunut kivuita, koska se osoittautunut helpoksi käyttää. Mittauksen avulla on onnistuttu havaitsemaan puutteita raakapohjissa, jotka olisi muuten ollut mahdotonta huomata aiemmin käytössä olleilla menetelmin. Myös mittapyörällä suoritettavia hankalia pinta-alamittauksia on tehty GPS-mittalaitteen avulla helpommin. GPS-mittauksen käyttöönotto asfalttipohjätöissä on tuonut toivotun avun päällystystöymaiden suorittamiseen, joten investointi on ollut järkevä.

6 Yhteenveto

NCC Industry Oy toimi tämän mestarityön tilaajana. Yrityksellä on ollut tarve löytää muotoilemattoman kantavan kerroksen laadun tarkkailuun sopiva laitteisto mahdollisten lisä- tai muutostöiden tarpeiden nopeaan ja oikean aikaiseen kartoittamiseen. Keinoksi kyseiseen ongelmaan valikoitui verkko RTK -mittausta hyödyntävä GPS-mittalaite. Laitteisto on Geotrim Oy:n tarjoama kuukausimaksu perusteinen avaimet-käteen-paketti, joka pitää sisällään tarvittavat laitteet, ohjelmistot ja liittymät. Mestarityön tavoitteena oli selvittää mitä hyötyjä kyseinen laitteisto tuo profilointityöhön. Tutkimuksessa perehdyttiin pohjarakentamiseen asfalttialalla, GPS-mittaustekniikkaan sekä ennestään tunnettuihin ongelmiin ja niiden ratkaisemiseen GPS-mittausta hyödyntäen.

Tutkimuksen tekijä on työskennellyt neljä vuotta asfalttialalla sekä tilaaja-, että urakoitsijapuolella. Aikaisemman kokemuksen perusteella tiedettiin, että raakapohjien omakohtaiseen arvostelemiseen ei ollut olemassa kunnollisia keinoja. Arvostelu tapahtui silmämääräisesti, yksinkertaisia mittoja ottamalla esimerkiksi reunakiven näkymästä tai sitten luotettiin ulkopuolisen mittapalvelun tuottamaan dataan. Suurissa kokonaisuuksissa tämä osoittautui riskialttiiksi toiminnaksi, josta seurasi pahimmillaan suuriakin taloudellisia menetyksiä asfalttiurakoitsijalle. Asfalttiurakat ovat olleet viime vuosina todella tiukkaan kilpailuja. Jotta urakka pystyttäisiin toteuttamaan taloudellisesti kannattavana, ei ole varaa juuri minkäänlaisiin virheisiin. Raakapohjien vastaanotossa tapahtuvia laiminlyöntejä on syytä välttää, jottei niissä mahdollisesti olevia virheitä tarvitse korjata omakustanteisesti.

Verkko RTK -mittausta hyödyntävä GPS-mittalaite koostuu Trimblen SPS985 antennista, TCS3 maastotietokoneesta, VRS-palvelusta sekä Business Center -tietokoneohjelmasta. Mittalaite antaa reaaliajassa tietoa esimerkiksi raakapohjien korkomaailmasta, liitosrakenteiden, kuten kaivojen koroista ja sillä on kätevä suorittaa pinta-alamittausta. Laite tarvitsee toimiakseen pinnantasaussuunnitelman, mutta työmailla, joilla laitteesta on eniten hyötyä, on sellainen yleensä olemassa. Mittalaitteen käyttö on ollut intuitiivista ja helppoa omaksua. Pääkaupunkiseudulla satelliittisaatavuus on ollut hyvä, joten mitaukset ovat yleensä onnistuneet silloin kun niitä on koettu tarpeelliseksi suorittaa.

GPS-mittaus on hyvä työkalu raakapohjien arvosteluun. Sillä saadaan nopeasti tarvittava ennakkotieto alkavasta työmaasta. Jos raakapohjissa havaitaan puutteita, esimerkiksi alitäyttöä, pystytään työn tilaajaa informoimaan asiasta ennen työn aloitusta. Tällä varmistetaan urakan talous.

Mestarityö toi lisäarvoa omaan osaamiseen asfalttialalla. Asfalttipohjatyöt ovat olleet itselle huomattavasti vieraampi aihe kuin esimerkiksi teiden ja katujen uudelleen pintaukset. Asfalttipohjatöistä sekä työmaamittauksista oppi paljon tutkimuksen aikana. Vaikka asfalttialaa pidetäänkin melko vanhoillisena, on ollut positiivista huomata, että ainakin NCC:llä katse on tulevaisuuteen tämän kaltaisten investointien muodossa. Mielestäni tutkimuksen perusteella pystytään osoittamaan, minkälaista hyötyä GPS-mittauksesta on asfalttipohjatöissä.

Lähteet

- 1 Laurila, P. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: RAMK. 2012.
- 2 Suomalaiset koordinaatitot. <http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geodocs/kkjgps.htm>
- 3 Poutanen, M. Koordinaatit, korkeus, kartat ja GPS. Geodeettinen laitos. <https://www.mv.helsinki.fi/home/korpela/MINV12/koordinaatitot.pdf>
- 4 <https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/>, luettu 3.2.2017
- 5 <https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-industry/>, luettu 3.2.2017
- 6 InfraRYL 2010. 21310 Sitomattomat kantavat rakenteet. 2010.

