

LIITOSPISTEIDEN VAIKUTUS TAKYMETRIN ORIENTOINTIIN

Timo Alatakkari

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Timo Alataikkari	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Janne Matilainen, Sirpa Kokkonen, Virpi Peitso		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu Oy		
Työn nimi	Liitospisteiden vaikutus takymetrin orientointiin		
Sivumäärä	25 + 2		

Opinnäytetyön aiheena oli selvittää, kuinka paljon liitospisteiden suunta vaikuttaa takymetrin orientoinnin sekä merkattavan pisteen tarkkuuteen. Nykyisin takymetrit ovat melko helppokäyttöisiä. Tarkoituksena on laatia tietopaketti, jonka avulla mittaaja voi arvioida ja kyseenalaistaa takymetrin orientoinnin tarkkuutta ja tästä johtuvaa mittaustarkkuutta.

Työssä kerrotaan ensin takymetrin kehityksestä nykypäivän mittausrobotiksi. Lisäksi käydään periaatteet, miten takymetri orientoidaan tunnetulle tai vapaalle asemapistelle. Tämän jälkeen kerrotaan mittaussuunnitelmasta sekä käytettävistä laitteistoista, joiden avulla suoritetaan testirata. Työn analysointiin liittyvät keskeiset mittausrvirheet sekä laitevalmistajan ilmoittamat tarkkuudet.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi ytimekäs tietopaketti mittaajille. Opinnäytetyössä kerrotaan, millaisella orientoinnilla mittaustulokset voivat olla lähes mitaustuskelvottomia. Työn tarkoituksena ei ollut niinkään suorittaa laboratoriomaisista testiolosuhteista vastaavaa mittausta, vaan pyrkimyksenä oli suorittaa yleisiä mitaustilanteita kenttäolosuhteissa. Tämän tulokulman tarkoituksena on herättää mittaushenkilöitä pohtimaan mittauksia sekä niiden tarkkuutta.

Avainsanat maanmittaus, kartoitus, geodesia

Study Programme in Land Surveying Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Timo Alatakkari	Year	2023
Supervisor(s)	Janne Matilainen, Sirpa Kokkonen, Virpi Peitso		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Title	The effect of the backsight points to the total station orientation		
Number of pages	25 + 2		

The aim of this thesis study was to examine the effect of the total station back sight point directions to the accuracy of the total station orientation and to the accuracy of the marked point. Nowadays total stations are rather user-friendly. The aim of this thesis was to produce a manual, which helps the user to evaluate the accuracy of the orienting and its effect to the measuring precision.

First, the history of the development of the total station to the modern measuring robot was clarified. In addition, a review of the principles of how the total station is oriented to the known surface or to the free station point, was made. After this a review of the measuring plan and the equipment to be used in test course was presented. The analysis of the results included central measuring errors and the measuring accuracy of the equipment informed by the manufacturer.

The result of this thesis is a punctual information package for the measurer. The thesis explains the types of orientation that can reduce the measuring results almost unusable. The aim of the thesis was not to conduct laboratory testing comparable measuring, but to carry out common field measuring situations. This approach aims to raise the measurers' awareness towards measuring and precision.

Keywords: land surveying, mapping, geodesy

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TAKYMETRIMITTAUS	8
2.1 Takymetri	8
2.2 Mittauskohteet	9
2.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät	9
3 ORIENTOINTI.....	10
3.1 Tunnettu asemapiste	10
3.2 Vapaa asemapiste	10
4 MITTAUSSUUNNITELMA	12
4.1 Laitteisto	12
4.2 Lähtökohdat.....	13
4.3 Havaintomenetelmät ja orientointi variaatiot	14
4.4 Tavoite	16
5 TOTEUTUNEET VARIAATIOIT JA TULOKSET	18
5.1 Samalla suoralla	18
5.2 Kapea sektori.....	19
5.3 Vähintään kolmen liitospisteen orientointi	20
5.4 Keskivirheet	21
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	23
7 POHDINTA.....	24
LÄHTEET.....	25
LIITTEET	26

ALKUSANAT

Kiitän opinnäytetyönohjaajaa Janne Matilaista kannustavasta ohjauksesta. Lisäksi suuri kiitos takymetrin sekä tarvikkeiden lainaamisesta Alavuden kaupungille sekä Topgeo Oy:lle, jotka mahdollistivat opinnäytetyön toteuttamisen.

Kiitän myös läheisiäni sekä puolisoani tuesta ja ymmärryksestä opinnäytetyön ja koko opiskeluaikani aikana.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

GNSS	Global Navigation Satellite System on koko maailmaa palveleva satelliittipaikannusjärjestelmä (Maanmittauslaitos 2023)
GPS	Global Positioning System - GPS on Yhdysvaltain puolustusministeriön ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä
ppm	parts per million – ppm on yksi miljoonsaosa, jota käytetään mittalaitteen suhteellisen tarkkuuden ilmoittamiseen
”	Kulmasekunti – ilmaisee mittalaitteen kulmatarkkuuden (Korpela J 2023)
T1	Tähys 1
T2	Tähys 2
T3	Tähys 3

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia liitospisteiden suunnan ja määrän vaikutusta takymetrin orientoinnin keskivirheisiin sekä mittaustarkkuuteen. Työ pitää sisällään myös testiradan tekemisen, mikä demonstroi tyypillisiä mittaustilanteita.

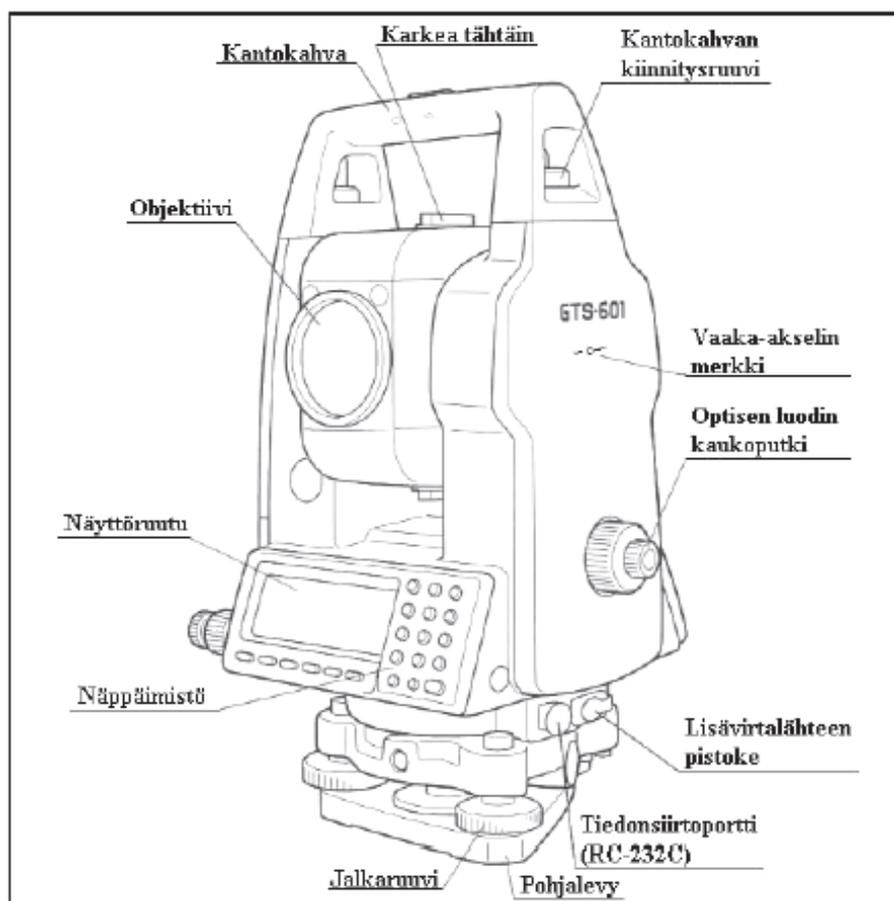
Testiradalla päähuomiossa on erityisesti liitospisteiden vaikutus kapealla ja leveällä sektorilla. Lisäksi tutkitaan, kuinka paljon liitospisteiden määrä vaikuttaa merkattavan pisteen tarkkuuteen.

Takymetrit ovat nykyään melko helppo käyttöisiä, mikä on tuonut myös negatiivista ilmentymää alan erityisosaamisen kannalta. Mittaajia on nykyään useita itseoppineita, joilla ei ole teoriaa kojeen käytön kannalta. Tämä saattaa johtaa siihen, ettei pystytä kyseenalaistamaan merkatun pisteen tarkkuutta. Tästä opinnäytetyöstä on tarkoitus laatia tietopaketti, jonka avulla mittaushenkilöt voivat ymmärtää liitospisteiden sijainnin vaikutuksen merkattavan pisteen tarkkuuteen.

2 TAKYMETRIMITTAUS

2.1 Takymetri

Nykyaikainen takymetri (kuvio 1) on yhdistelmä teodoliitista, elektro-optisesta etäisyysmittarista ja tietokoneesta. Nykyaikaiset takymetrit ovatkin oikeastaan etäohjattavia robottitakymetreja. Robottitakymetrilla pystyy yksi henkilö kartoittamaan ja merkitsemään, kun taas 90-luvun takymetrilla samaan työhön tarvittiin kaksi henkilöä. Näistä toinen henkilö oli kojeella sihtaamassa tähykseen, jota toinen henkilö liikuttaa merkattavilla pisteillä. Nykyaikaisen robottitakymetrin hallinta tapahtuu maastotietokoneen avulla etänä, jolloin kojeella ei tarvitse olla sihtaamassa tähykseen. Tällainen takymetri on huomattavasti nopeampi käyttää se myös säästää yhden henkilön resursseissa. (Laurila 2012, 238).



Kuvio 1. Takymetrin osat (MPK 2012)

2.2 Mittauskohteet

Takymetrimittauksella on edelleen tukeva jalansija maanmittauksessa. Puhekielessä käytettävän GPS-mittauksen eli GNSS-paikannuksen tarkkuus on kehittynyt huomattavasti 2000-luvulla. Tämä on vähentänyt takymetrimittausten tarvetta perinteisessä maanmittauksessa. Edelleen vaativat mittaukset suoritetaan takymetria käyttäen. Satelliittipaikantimen heikkous korostuu etenkin peitteisellä alueella, kuten tiheässä, iso kasvuisessa metsässä tai lähellä rakennuksia. Rakennukset tekevät satelliittipaikantimelle katvealueen satelliitteihin, joka johtaa suuriin tuloksien epävarmuuksiin. Lisäksi GNSS-paikannustarkkuuteen vaikuttavat satelliittien rata- ja kellopoikkeamavirheet sekä ilmankehässä ionosfääri ja troposfääri vääristävät signaalin kulkua satelliitilta vastaanottimelle. Takymetrimittauksen etuna on etenkin mittauksen sisäisen tarkkuuden suuruus verrattuna GNSS-mittaukseen. (Maanmittauslaitos 2023.)

Tarkkuudeltaan vaativissa mittauksissa, kuten rakennus-, teollisuus-, silta- ja erilaisissa inframittauksissa vaaditaan korkeaa sisäistä tarkkuutta, jolloin GNSS-mittauksen tarkkuuden luotettavuus ei korvaa takymetria.

2.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Takymetrin mittaustarkkuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Lopullisen virheen muodostaa kaikkien virheiden summa. Yksittäistä muuttujaa on lähes mahdotonta paikallistaa. Virheetöntä mittausta ei ole olemassakaan, mutta virheiden suuruuteen pystyy vaikuttamaan myös mittaushenkilö itse huolehtimalla kojeen tarkastusmittauksista ja kalibroinnista. Tällä vältetään systemaattisten karkeiden virheiden muodostuminen. (Laurila 2012, 363.)

Mittauskojeen kulmatarkkuus, havaitsija sekä suoritustekniikka vaikuttaa suuntien ja kulmien tarkkuuteen. Lisäksi tarkkuuteen vaikuttavat ilmanpaine, refraktio, lämpötila, etäisyydenmittaustarkkuus, kompensattorin kalibrointi, prisman lukitustarkkuus ja maankaarevuus. Tunnetulle pisteelle orientoitessa pakkokeskitys-alustan luodin tarkkuus.

3 ORIENTOINTI

3.1 Tunnettu asemapist

Takymetrin orientointi tapahtuu tunnetulle asemapisteele tai vapaalle asemapisteele. Erityisen vaativissa mittauksissa käytetään tunnetulle asemapisteele orientointia. Tunnetulle pisteelle orientoidessa takymetri pystytetään ja tasataan tarkalleen zeniittiin suhteessa maassa olevaan koordinaateiltaan tunnettuun pistemerkkiin. Ulkona tapahtuvissa mittauksissa usein käytössä on kuvion 2 kaltainen merkintänaula esimerkiksi asfaltissa.



Kuvio 2. Merkintänaula (Geofix 2023)

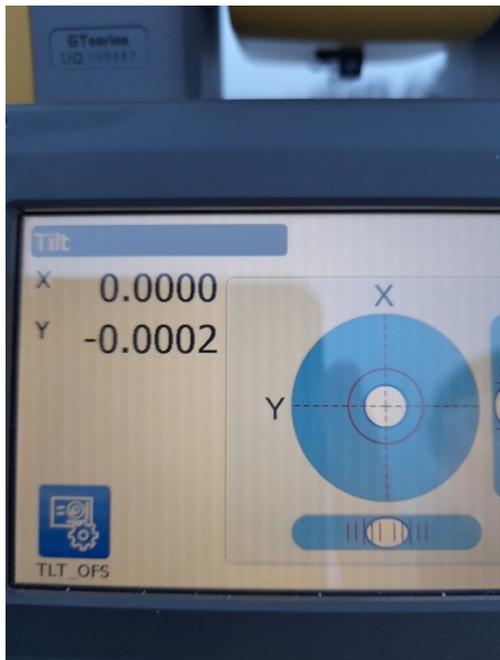
Kun takymetri on pystytetty tunnetulle pisteelle, otetaan sillä liitoshavainto/liitos-suunta vähintään yhdeltä koordinaateiltaan tunnetulta pisteeltä. Tarkoissa mittauksissa havainnot otetaan aina kahdessa kojeasennossa. Havaintojen ottaminen kummassakin kojeasennossa poistaa pysty- ja vaaka-akselien kulmavirheet sekä akselien epäkeskisyysvirheet. Mikäli mittauksissa tarvitaan tasokoordinaatiston lisäksi korkeussijainti, täytyy tunnetulta pisteeltä mitata manuaalisesti koje-korkeus takymetrin vaaka-akselin merkkiin (kuvio 1). (Laurila 2012, 257, 340.)

3.2 Vapaa asemapist

Yleisin takymetrin orientointitapa on vapaalle asemapisteele orientointi. Tämä tarkoittaa, että takymetrin ei tarvitse olla keskitettynä koordinaateiltaan tunnetun

pisteen zeniittiin. Usein mittauskohteissa on lukuisia esteitä, mikä estäisi takymetrillä mittauksen. Vapaalle asemapisteelle orientoidessa takymetri voidaan sijoittaa sellaiseen sijaintiin, että siitä näkee esteettömästi kartoitettavaan tai merkattaviin kohteisiin. Vapaan asemapisteen orientoinnissa takymetri pystytetään ja tasataan (kuvio 3) kolmijalalle, jonka jälkeen otetaan havainnot vähintään kahden liitospisteeseen (Laurila 2012, 259).

Erityisesti rakennustyömailla käytetään vapaan asemapisteen orientointia lähes täysin, johtuen näkemäesteistä ja työkoneista. Tarkkuudeltaan vaativien mittauksien luotettavuuden varmistamiseksi orientoinnissa on suositeltavaa käyttää useampaa kuin kahta liitospistettä sekä tallentaa havainnot kummassakin kojeasennossa.



Kuvio 3. Takymetrin tasausnäkyminen Topcon GT1200-robotti takymetrissa

4 MITTAUSSUUNNITELMA

4.1 Laitteisto

Kenttämittauksia suorittaessa käytössä on Topcon GT1203-robotitakyometri (kuvio 4). Käytettävän takymetrin kulmatarkkuus on 3" ja prismattoman etäisyysmittauksen tarkkuudeksi on ilmoitettu 2 mm + 2 ppm tarkalla mittausmoodilla. Prismallisen etäisyydenmittauksen tarkkuus on kyseisellä takymetrillä tarkalla mittausmoodilla 1 mm + 2 ppm. (Topcon Positioning Systems 2023.)

Maastotietokoneena on Topconin tuoteperheen FC-6000 (kuvio 4). Käytettävä maastotietokone, joka on Windows 10 OS käyttöjärjestelmällä. Kyseistä mallia on saatavana myös Android versiona. Maastotietokoneessa on kapasitiivinen kosketusnäyttö, joka toimii erityisen hyvin myös vesi, räntä ja lumi sateessa. Mittausohjelmistona toimii Topconin Magnet Field -maastomittausohjelma. (Topcon 2023.)



Kuvio 4. FC-6000 maastotietokone ja GT1203 robotitakyometri. (Topgeo Oy, 2023)

Lisäksi käytössä on Secon tarkkuusminiprisma sekä kaksi Nikon miniprismaa statiiveilla (kuvio 5). Secon tarkkuusminiprisma on suosittu malli etenkin Suomessa. Käytössä oleva Nikonin miniprisma edustaa hieman vanhempaa vuosikertaa. Kummatkin miniprismat ovat varsin laadukkaita sekä vastaavat tämänpäivän mittausvälineitä.



Kuvio 5. Tähykset T3 ja T2

4.2 Lähtökohdat

Testiradan tarkoituksena on selvittää, miten orientoinnin liitospisteiden lukumäärä ja sektori vaikuttavat asemapisteen koordinaatteihin sekä merkittävän pisteen tarkkuuteen. Omat havainnot aiemmista mittaustilanteista ovat antaneen merkkiä siitä, että kapealla sektorilla olevat havainnot johtavat huonompiin mittaustuloksiin.

Normaalissa työmaatilanteessa tämän havainnon paikallistaminen ei ole ollut niin yksiselitteistä. Tämä johtuu osittain siitä, että liitospisteitä on tehty lukuisilla eri orientoinneilla lisää, johtuen muuttuvasta työmaaympäristöstä. Näinpä edellisten liitospisteiden virhe kertaantuu taas uusille liitospisteille. Näin ollen on lähes mahdotonta ollut aiemmin todistaa omia havaintoja kapean sektorin orientoinnin virheestä, koska liitospisteiden luotettavuutta ja tarkkuutta on ollut mahdotonta tietää.

4.3 Havaintomenetelmät ja orientointi variaatiot

Nykyisin takymetri orientoidaan useimmiten vapaalle asemapisteelelle. Mikäli kyseessä on esimerkiksi rakennustyömaakohde, johon mittauskäyntejä tulee lukuisia, niin käytetään usein tarratähkyksiä (kuvio 6). Tämä johtaa siihen, että käytetään prismatonta mittausa orientointiin. Prismattoman orientoinnin etuna on se, että kojeelta suoritetaan havainnot. Tämä on nopeampi tapa saada orientoitua takymetri hektisessä työmaaolosuhteessa. Prismattoman etäisyydenmittauksen tarkkuus on takymetrin riippuen noin yhden millimetrin huonompi kuin prismallinen mittaus. Tästä huolimatta prismatonmittaus on yleinen orientoidessa takymetriä.



Kuvio 6. Tarratähky, liitospiste 1003

Yleisessä mittausilanteessa käytetään pisteen merkkäamiseen prismaa, jolle luvataan laitevalmistajan puolesta yhden millimetrin parempi tarkkuus verrattuna prismattomaan mittaukseen. Tarkkuuteen vaikuttaa myös lukitustarkkuus prismaan.

Edellämainituista perusteista johtuen testiradassa on ajatus toteuttaa mahdollisimman yleinen mittaustilanne, joskin ehkä hieman pidemmillä etäisyyksillä verrattuna useaan rakennuskohteeseen. Tämän ajatuksena on saada suuremmat havaittavat virheet. Mahdollista prismanlukitustarkkuusvirhettä ei tule tässä testiradassa, koska kaikki havainnot suoritetaan kojeelta tähdäten. Tämä mahdollistaa kuitenkin havaitsijan tekemät tähtäysvirheet. Lähtökohtaisesti erityisen tarkkuudeltaan suuret mittaukset suoritetaan aina mittaishenkilön tähtäämänä kojeelta.

Mittaukset suoritetaan yhden päivän aikana. Mittausajankohdaksi pyritään valitsemaan tyyni sekä leuto pakkassää. Tyynellä säällä mahdolliset tuulenpuuskat eivät heiluta takymetria, joka vaikeuttaa kohdistamista. Myös pakkassää on parempi vaihtoehto kuin nolla asteinen sää, jolloin takymetri todennäköisemmin hiiptuu pehmeään maahan. Lisäksi statiivilla olevat tähykset pysyvät varmemmin liikkumattomina. Tähyksien liikkumattomuus varmistetaan asettamalla ne tukevalle alustalle kuten kiven päälle. Mittauspaikka on valittu niin, että kojeelle tai millekään pisteelle ei aiheudu ulkopuolista tärinää esimerkiksi liikenteestä. Ennen mittauksia takymetri sekä käytettävät välineet saavat asettua vallitsevaan mitaussäähän vähintään tunnin ajan.

Mittaus aloitetaan kartoittamalla kaikki liitospisteet ja tähykset (kuvio 7) kolmeen kertaan kummastakin kojeasennosta. Tällä pyritään saamaan riittävä tarkkuus liitospisteille sekä tähyksille. Riittävän tarkkuuden tässä määrittelee myös se, että yleisellä tavalla liitospisteitä rakentaessa, ei välttämättä oteta kuin yksi havainto kummassakin kojeasennossa. Tämä vaihtelee mittaushenkilöstä riippuen, mutta omat havainnot toisten mittaajien orientointitavoista ovat johtaneet tähän lopputulokseen.



Kuvio 7. Testiradan mittaussuunnitelma (Maanmittauslaitos 2022)

Lähtötilanteen kartoituksen jälkeen, suoritetaan erilaiset orientointivariaatiot. Näitä on muun muassa kaikki kuusi liitospistettä, samalla suoralla takymetrin kanssa olevat, noin 90 asteen kulmilla olevat liitospisteet, niin kahdella kuin kolmella liitospisteellä sekä kapea sektorin orientointi kahdella liitospisteellä.

Lopuksi takymetri orientoidaan kaikilla kuudella liitospisteellä ja kartoitetaan tähykset. Tällä pyritään sulkemaan takymetrin asemapisteen sekä tähyksien liikkuminen pois.

4.4 Tavoite

Mittauksien tavoitteena on saada vertailukelpoista dataa eri orientointivariaatioiden poikkeamisista. Muuttujia on aina lukuisia ja takymetrin teoreettinen tarkkuus vaikuttaa myös havaintoihin. Lisäksi mittajaan havainnot aiheuttavat virheitä tuloksiin. Näitä ei ole tarkoitus täysin sulkea pois mittauksista.

Erityiseen tarkkailuun nousee ”piikki” orientoinnin tarkkuus verrattuna kahden pisteen orientointiin leveällä sektorilla sekä niin sanotun ”samalla suoralla” olevaan orientointiin. Muiden orientointivariaatioiden vertailulla pyritään luomaan havain- toja, joilla voidaan todentaa oikeaksi tai vääräksi ennakko olettamukset orientoin- nin tarkkuudesta. Olettamuksena on, että vähintään kolmen liitospisteen orien- tointi mahdollistaa lähes poikkeuksetta useimpiin mittauksiin riittävän tarkkuuden.

Toteutuksen pyrkimyksenä on suorittaa yleisesti käytössä olevalla takymetrilla mahdollisimman vertailu kelpoinen testi, jolla voidaan analysoida liitospisteiden vaikutusta orientointivirheeseen sekä mittaustarkkuuteen. Erityisessä huomiossa on takymetrin laskemat asemapisteen sekä tähyksiin suoritettujen havaintojen koordinaatit.

5 TOTEUTUNEET VARIATIOT JA TULOKSET

Erilaisia orientointi variaatioita suoritettiin yhteensä kuusi kappaletta, joista osa myös kahteen kertaan tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi. Variaatiot pitivät sisällään normaallissa mittausolosuhteissa tapahtuvia tilanteita.

Mittaukset suoritettiin päivän aikana eikä takymetria purettu asemapisteeltä eri variaatioiden välissä. Tällä pyrittiin pitämään liitospistevariaatioiden vertailu kelpoisuus mahdollisimman yksiselitteisenä. Eri variaatioiden virheiden suuruutta voi tarkastella myös liitteissä olevasta taulukosta (liite 1).

5.1 Samalla suoralla

Yleinen mittaustilanne, etenkin ratamittauksissa on samalla suoralla oleva orientointi. Ratamittauksissa takymetri täytyy orientoida usein geometrialtaan huonosti sijaitsevista kiintopisteistä. Tässä testiradassa suoritettiin (Kuvio 8) mittaustilanne, joka tapahtuu usein ratamittauksissa. Liitospisteiden etäisyys toisistaan oli noin 218 metriä ja takymetri sijaitsi noin 67 ja 141 metrin päässä liitospisteistä lähes samalla suoralla.



Kuvio 8. Samalla suoralla oleva orientointi

Samalla suoralla olevan orientoidun takymetrin asemapisteen koordinaateiksi muodostui millimetrilleen sama kuin lähtötilanteessa. Tähyksien koordinaatteihin muodostui maksimissaan yhden millimetrin virhe, lukuunottamatta T3:n korkeuden neljän millimetrin virhettä. Tämä korkeusvirhe todennäköisesti johtui karkeasta tähtäysvirheestä.

5.2 Kapea sektori

Kapean sektorin orientoinnissa on pyritty saamaan melko harvinainen mittaustilanne. Tässä variaatiossa liitospisteet sijaitsivat noin 8 goonin kulmaerolla. Etäisyys liitospisteelle 1002 on noin 92.7 metriä ja 1003 pisteelle noin 96 metriä (kuvio 9).



Kuvio 9. Kapean sektorin orientointi

Kapean sektorin variaatio suoritettiin kahteen kertaan. Havainnot otettiin kummastakin kojeasennosta. Ensimmäisellä orientoinnilla asemapisteen koordinaattivirheeksi tuli pohjoista 39 mm, itäistä 16 mm ja korkeusvirheeksi nolla millimetriä. Toisella orientoinnilla asemapisteen koordinaattivirheeksi tuli pohjoista 48 mm, itäistä 19 mm ja korkeusvirheeksi nolla millimetriä. Tällä varmistettiin samaa

suuruusluokkaa olevat asemapisteen koordinaattivirheet. Molempien orientointien virhesuunta oli sama. Molemmat orientoinnit ovat suoritettu saman havaitsijan toimesta. Pohjoista koordinaattivirhettä on muodostunut suhteessa enemmän kuin itäistä. Tämä selittyy takymetrin ja liitospisteiden sijainnilla, jolloin virheen suuruuteen vaikuttaa enemmän kojeen kulmanlukutarkkuus sekä havaitsijan pienikin havaintovirhe vaakakehällä johtaa suurempiin tasoituslaskentavirheisiin. Itäiseen koordinaatti virheeseen vaikuttaa suurimmaksi osaksi kojeen etäisyydenmittauksentarkkuus.

Mitattaviin tähyksiin muodostui suuria virheitä, jotka johtuivat asemapisteen orientoinnin koordinaatti ja suunta virheestä. Asemapisteen koordinaattivirheet korreloivat tähyksien koordinaattivirheisiin. Lähimpänä asemapistettä sijaitseva T2:een muodostui yli 60 mm:n virhe pohjoiseen koordinaattiin ja kauimpaan T3:een 127 millimetrin virhe. Näistä tuloksista voi päätellä, että kapean sektorin orientointi on lähes kelvoton mittaustilanteessa. Ainoastaan korkeudessa päästiin millin tarkkuuteen, lukuun ottamatta mahdollista karkeaa tähtäysvirhettä toisella orientoinnilla T3:een.

Kun kapean sektorin (kuvio 9) orientointiin otetaan havainto liitospisteestä 1005, joka on noin 130 goonin suuntakulmaerolla liitospisteeseen 1002 nähden, on mitaustarkkuus vertailupisteisiin maksimissaan kaksi millimetriä. Tätä voidaan pitää jo erittäin hyvänä tarkkuutena, ottaen huomioon, että tähtäyksissä piilee aina havaitsemisesta johtuvaa virhettä.

5.3 Vähintään kolmen liitospisteen orientointi

Useimpiin mittaustilanteisiin riittävään tarkkuuteen pyrkiessä, on suositeltavaa orientoida vähintään kolmesta liitospisteestä (Kuvio 10). Liitospisteiden tulisi sijaita vähintään 200 goonin sektorilla, jolla varmistetaan luotettava takymetrin orientointi. Mitä enemmän liitospisteitä on havaittu, sen tarkemmin takymetrin orientoinnin tasoituslaskennan luotettavuus parantuu. Jokaisen havainnon kulmavirheet jaetaan havaituille suunnille. Mikäli havaitaan vain kahdesta liitospisteestä, muodostuu näille suuremmat tasoitusvirheet.

Testissä kävi ilmi, että kolmen liitospisteen orientointi on myös hyvä, vaikka kaksi liitospistettä näistä sijaitsisikin niin sanotusti kapealla sektorilla. Voidaankin siis todeta, että on suositeltavaa ottaa havainto myös aina kolmannesta liitospisteestä. Kolmen liitospisteen käytöllä voidaan myös pienentää liitospisteiden koordinaatti virheitä, mitä on muodostunut liitospisteitä rakentaessa.

Mikäli orientoi takymetrin vain kahdesta liitospisteestä, on mahdollisuus, että toinen pisteistä on liikkunut. Takymetri orientoinnin keskivirheet liikkuneesta pisteestä saattavat olla ”normaalit”, jos liitospisteen liikkuminen on ollut vähäistä. Tällainen liitospisteen liikkuminen saattaa kuitenkin vaikuttaa merkittävästi mitaustarkkuuteen.



Kuvio 10. Hyvä orientointi

Kolmen liitospisteen orientoinnilla laajalla sektorilla voidaan suorittaa luotettavia mittauksia useimpiin merkintä- ja kartoitusmittauksiin. Tällä (kuvio 10) variaatiolla päästään lyhyemmällä mittauksella T2:een millimetrin toleranssiin ja pidemmällä matkoilla kahden millimetrin tarkkuuteen.

5.4 Keskivirheet

Merkittävä huomio erilaisia orientointi variaatioita suorittaessa ja analysoidessa on, että orientoinnin keskivirheet x, y, z olivat kahden-kolmen millimetrin erolla

riippumatta, mistä suunnasta oli kyse. Tästä voidaankin päätellä, että mittaajat voivat todeta orientoinnin olevan onnistunut, mutta silti merkattavaan pisteeseen voi syntyä huomattavia virheitä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittauksien luotettavuutta puoltaa se, että ajankohdaksi valikoitui tyyni ja noin viiden asteen pilvinen pakkassää. Tämä pienentää takymetrin ja tähyksien liikkumisen riskiä eri mittausvariaatioiden välillä, eikä tähtäämistä häiritsevää lämpöväreilyä ole havaittavissa. Mittaukset suoritettiin yhden päivän aikana, jolloin tähyksiä tai takymetria ei siirretty eri variaatioiden välillä. Tällä saatiin luotettavuutta tulosten vertailuun, koska asemapisteen siirrosta johtuvien muuttujien osuus vähenee. Lopuksi takymetri orientointiin jokaisesta liitospisteestä, sekä kartoitettiin jokainen tähyks. Tällä varmistettiin takymetrin asemapisteen, mutta erityisesti tähyksien liikkumattomuus mittauksien aikana.

Mittauksissa suoritettiin yhteensä kuusi erilaista orientointi variaatiota. Erityisen tarkkailun alle oli ennakko asetelmissa asetettu kapealla sektorilla, samalla suoralla oleva sekä kolmen liitospisteen orientointien tarkkuus. Tulokset olivat aika yksiselitteiset erityisesti sen suhteen, että kapean sektorin orientointi on lähes mittauskelvoton, ellei ole mahdollisuutta verrata tarkkuutta tunnettuun pisteeseen. Kaikki muut orientointi variaatiot olivat tuloksiltaan varsin hyviä, eikä merkittäviä eroja ollut (Liite 1). Kahdessa kojeasennossa suoritettu mittaus pienentää akselivirheistä johtuvaa mittausvirhettä. Tällöin päästiin jopa 2 millimetrin tarkkuuksiin orientoinnista riippumatta, lukuun ottamatta kapean sektorin variaatiota.

Orientoinnin keskivirheitä ei voi yksiselitteisesti suositella katsottavan siihen, onko orientointi hyvä. Mittaajalla täytyy olla tietoa myös ymmärtää mahdolliset muuttujat tarkkuuden takana sekä ymmärtää mittauksiensa tarkkuus. Mittaajalle suositeltava tapa on, että pystyisi vertaamaan orientointinsa tarkkuutta jollekin tunnetulle ja luotettavalle pisteelle. Lisäksi suositeltavaa on suorittaa orientointi aina vähintään kolmesta liitospisteestä. Tämä lisää orientoinnin luotettavuutta, joka puolestaan johtaa tarkempiin mittauksiin. Kun mittaushenkilöt pystyvät suorittamaan luotettavia mittauksia, johtaa tämä mittaushenkilöiden ammattikunnan yleiseen arvostukseen.

7 POHDINTA

Tutkimuksen kohteena oli selvittää, miten liitospisteiden määrä ja suunta vaikuttaa takymetri orientointi- sekä mittaustarkkuuteen. Tutkimus piti sisällään testiradan, jossa voitiin havaita erilaisia orientointeja mahdollisimman pienillä muuttujilla, joita kenttämittauksessa voi syntyä. Tällä pyrittiin jäljittelemään mahdollisimman todenmukaista maastomittauskohdetta eikä pyritty samaan liian laboratoriomaisesta testiolosuhteesta. Eri orientointivariaatioiden vaikutuksia verrattiin kolmeen eri statiivilla olevaan prismaan. Näiden sijoittelussa pyrittiin ottamaan huomioon myös etäisyyden vaikutus virheeseen.

Aiheena takymetrin orientointi varsin laaja, joten erilaisia variaatioita ja tarkkailukohteita jäi vielä lukuisia. Tutkimus selkeytti omia aiempia havaintoja, joita olen tehnyt mittauksia suorittaessa.

Jatkotutkimuksen kohteena näkisin selvittää, että miten kapean sektorin orientoinnin mittaustarkkuuteen vaikuttaa, jos liitospisteistä toinen olisi huomattavasti lyhyemmällä tähtäysetäisyydellä.

LÄHTEET

Geofix Oy 2023. Tuotteet. Viitattu 28.1.2023 <https://www.geofix.fi/tuote/merkin-tanacula-tasakanta-50mm/>.

Korpela J. Mittayksiköt. Viitattu 14.4.2023 <https://jkorpela.fi/yksikot/6.5.html>.

Maanmittauslaitos 2022. Karttapaikka. Viitattu 15.10.2022 <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

Maanmittauslaitos 2023. Satelliittipaikannus. Viitattu 14.4.2023 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>.

Laurila P 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Topgeo Oy 2023. Tuotteet. Viitattu 15.1.2023 <https://topgeo.fi/tuotteet/>.

Topcon Positioning Systems. Datasheet. Viitattu 28.1.2023 https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/gt-1200gtseries_datasheet_7010-2320_revd_ltr_en_us_lores.pdf.

LIITTEET

Liite 1 1(2). Orientointi variaatioiden virheet tähyksille.

Variaatio 1:

Käytetyt liitospisteet			
1001			
1005			
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.181	1004.041	100.098
2	986.159	1052.896	97.997
3	949.798	1148.172	97.172
Tähys	Virhe / m		
1	0.000	0.001	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.001	0.001	-0.004

Variaatio 2:

Käytetyt liitospisteet			
1001			
1004			
1005			
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.182	1004.042	100.096
2	986.160	1052.896	97.996
3	949.799	1148.172	97.176
Tähys	Virhe / m		
1	0.001	0.002	-0.002
2	0.001	0.000	-0.001
3	0.002	0.001	0.000

Variaatio 3:

Käytetyt liitospisteet			
1001	1005		
1004	1006		
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.181	1004.043	100.098
2	986.159	1052.895	97.996
3	949.798	1148.171	97.175
Tähys	Virhe / m		
1	0.000	0.003	0.000
2	0.000	-0.001	-0.001
3	0.001	0.000	-0.001

Variaatio 4:

Käytetyt liitospisteet			
1002			
1003			
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.221	1003.984	100.099
2	986.221	1052.885	97.996
3	949.901	1148.177	97.177
Tähys	Virhe / m		
1	0.040	-0.056	0.001
2	0.062	-0.011	-0.001
3	0.104	0.006	0.001

Liite 1 2(2). Orientointi variaatioiden virheet tähyksille.

Variaatio 4:

Käytetyt liitospisteet			
1002			
1003			
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.231	1003.973	100.097
2	986.235	1052.884	97.996
3	949.924	1148.180	97.182
Tähys	Virhe / m		
1	0.050	-0.067	-0.001
2	0.076	-0.012	-0.001
3	0.127	0.009	0.006

Variaatio 5:

Käytetyt liitospisteet			
1002			
1003			
1005			
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.182	1004.039	100.097
2	986.161	1052.894	97.995
3	949.797	1148.169	97.177
Tähys	Virhe / m		
1	0.001	-0.001	-0.001
2	0.002	-0.002	-0.002
3	0.000	-0.002	0.001

Variaatio 6:

Käytetyt liitospisteet			
1001	1004		
1002	1005		
1003	1006		
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.181	1004.042	100.097
2	986.160	1052.894	97.997
3	949.797	1148.170	97.175
Tähys	Virhe / m		
1	0.000	0.002	-0.001
2	0.001	-0.002	0.000
3	0.000	-0.001	-0.001

Variaatio 6:

Käytetyt liitospisteet			
1001	1004		
1002	1005		
1003	1006		
Tähys	I- ja II-kojeasennossa		
1	1093.181	1004.042	100.096
2	986.160	1052.895	97.995
3	949.797	1148.171	97.177
Tähys	Virhe / m		
1	0.000	0.002	-0.002
2	0.001	-0.001	-0.002
3	0.000	0.000	0.001