



TALLINNA
TEHNIKAKÕRGKOO

Hele-Mai Ristmäe

EHITUSOBJEKTI GEODEETILINE TEENINDAMINE

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2023



Hele-Mai Ristmäe

EHITUSOBJEKTI GEODEETILINE TEENINDAMINE

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Rakendusgeodeesia õppekava

Juhendaja: Raivo Ranne

Tallinn 2023

Mina

Hele-Mai Ristmäe,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Raivo Ranne */allkirjastatud digitaalselt/*

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

Hele-Mai Ristmäe

sünnikuupäev: 22.12.1996

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Ehitusobjekti geodeetiline teenindamine”

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: **Hele-Mai Ristmäe**
Õpperühm: KRG 2019
Eriala: Rakendusgeodeesia (1824)
Lõputöö teema: **Ehitusobjekti geodeetiline teenindamine**

Lähteandmed töö koostamiseks:

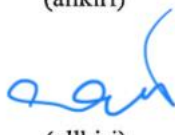
Ehitusobjekti projektipank koos ehitusaruannete, plaanide ja joonistega. Vello Kala "Ehitusgeodeesia" õpik, Soome riiklik maamõõtmisportaal "Maanmittauslaitos", Soome ehitusstandardid ja nõuded. Autori poolt teostatud objekti väljamärketööde alusfailid ja teostusjoonised.

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kirjeldatakse lõputöös kasutatava ehitusobjekti ehitusgeodeetilisi etappe, metoodikat. Antakse ülevaade kameraaltöödest, erinevate ehituskonstruksioonide väljamärketöödest, tugivõrgu kandmisest ehitusobjektile, ohutusnõuetest ehitusobjektile, teostusmöödistamisest, teostusjooniste vormistamisest, kasutatud koordinaatsüsteemidest, kõrguste kandmisest korrustele.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Graafilise materjali sisu moodustavad joonised, plaanid ja tabelid. Seletuskirja maht ligikaudu 40-60 lehekülge.

Lõputöö juhendaja:	Raivo Ranne (nimi)	 (allkiri)	20.02.2023 (kuupäev)
Lõpetaja:	Hele-Mai Ristmäe (nimi)	 (allkiri)	20.02.2023 (kuupäev)
Kinnitaja:	Aivars Alt ehitusinstituudi direktor	 (allkiri)	20.02.2023 (kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 20.02.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg: 05.05.2023

SISUKORD

LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS.....	9
1 TEOORIA	11
1.1 Soome koordinaatide ja kõrguste referentssüsteemid	11
1.2 Ehitusobjekti tutvustus	12
1.3 Ohutus ehitusobjektile.....	13
1.3.1 Üldised ohutusnõuded	13
1.3.2 Isikukaitsevahendid	15
1.3.3 Ohud geodeedile ehitusobjektile.....	15
1.4 Ehitusmäärused objektile	16
1.5 Kasutatud instrumendid.....	16
1.5.1 Elektrontahhümeeter Trimble S5	16
1.5.2 Trimble TSC3 väliarvuti	18
1.5.3 Spectra ristloodlaser LT58g koos lisatarvikutega	19
1.5.4 Statiiv	20
1.6 Prismad ja reflektorkleepsud	20
1.6.1 Üldiselt	20
1.6.2 Trimble VX&S seeria 360° prisma	21
1.6.3 Miniprisma	21
1.6.4 DR mõõtmismeetod.....	22
1.6.5 Reflektorkleepsud.....	22
1.7 Trimble S5 elektrontahhümeetri hooldamine	23
2 MÄRKETÖÖD OBJEKTIL.....	25
2.1 Tugivõrgu rajamine	25
2.2 Kameraaltööd.....	27
2.2.1 Telgede viimine projektasendisse	27
2.2.2 Punktifailide loomine AutoCAD-i keskkonnas.....	30
2.3 Märketööd.....	32
2.3.1 Üldiselt	32
2.3.2 Tehnoloogia märketöödel.....	32
2.3.3 Vaivundamendid	33
2.3.4 Monoliitsed vundamendid.....	35

2.3.5	Sarrused ja ankrupoldid.....	37
2.3.6	Elementkonstruktsioonid.....	38
2.3.7	Autohall.....	39
2.3.8	Siseseinad.....	40
2.3.9	Kõrguste üle kandmine korrusesti	41
3	TEOSTUSMÕÕDISTAMINE	42
3.1	Tehnoloogia teostusmõõdistamisel.....	42
3.2	Mõõdistatavad konstruktsioonid.....	42
3.2.1	Vaivundamendid	42
3.2.2	Kraanavundament.....	44
3.2.3	Kortermajade rõdupoolsete elementkonstruktsioonide vertikaalasendi teostusmõõdistamine	45
3.2.4	Kameraaltööd teostusjooniste vormistamisel.....	45
4	ESILEKERKINUD PROBLEEMID.....	47
4.1	Ebasoodsad mõõtmistingimused	47
4.2	Inimvead	47
	KOKKUVÕTE.....	49
	SUMMARY	51
	VIIDATUD ALLIKAD.....	53

LÜHENDID

ETRS89	– (<i>International Terrestrial Reference System</i>) Rahvusvaheline Terrestriline Referentssüsteem
EUREF-FIN	– (<i>European Reference Frame – Finland</i>) Soome realiseeritud referentssüsteem ETRS89-st
KKJ	– (<i>Kartastokoordinaattijärjestelmä</i>) Soome vana riiklik võrgukoordinaatide süsteem
ETRS-TM35FIN	– Soome riiklik tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteem
ETRS-GK25	– Soome linnade Espoo, Vantaa, Helsinki ja Kauniainen tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem
EVRS	– (<i>European Vertical Reference System</i>) Euroopa vertikaalne referentssüsteem
UTM	– (<i>Universal Transverse Mercator</i>) Mercatori universaalne põikprojektsioon
GRS80	– (<i>Geodetic Reference System 80</i>) Rahvusvahelise referentsellipsoid 80
ISO	– (<i>International Organisation for Standardisation</i>) Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon
EN	– (<i>European Standard</i>) Euroopa Standard
RYL	– (<i>Rakentamisen Yleiset Laatuvaatimukset</i>) Ehitise üldised kvaliteedinõuded
SFS	– (<i>Standardoinnin Keskusjärjestö Suomessa</i>) Soome keskne standardiorganisatsioon
RATU	– (<i>Rakennusalan Tuotannonsuunnittelun Yleistiedosto</i>) Ehitustööstuse tootmise planeerimise üldtoimik
HVAC	– (<i>Heating, ventilation, and air conditioning</i>) Kütte, ventilatsiooni ja Konditsioneerisüsteemid
BY	– (<i>Suomen Betoniyhdistys</i>) Soome betooniliit, mis väljastab erinevaid norme ja nõudeid seoses betoonitöödega
RIL	– Soome keskkonnatööstuse inseneride ja tehnikute riiklik organisatsioon, annab välja ehitusalaseid juhendeid ja käsiraamatuid
USA	– (<i>Unites States of America</i>) Ameerika ühendriigid
EDM	– (<i>Electronic distance measurement</i>) Elektrooniline kaugusmõõtmine
DR	– (<i>Direct Reflect</i>) Otsepeegeldus
LCD	– (<i>Liquid-Crystal Display</i>) Vedelkristallkuvar
MKM	– Nõuetekohaste ehitusgeodeetiliste uurimistööde vormistamiseks vajalik lisa AutoCAD tarkvaras

CAD	– (<i>Computer-Aided Design</i>) Projekteerimiseks ja joonestamiseks kasutatav arvutitarkvara
PDF	– (<i>Portable Document Format</i>) Mitme platvormiga failivorming
DXF	– (<i>Drawing Interchange Format</i>) CAD-andmete salvestamise failivorming
TXT	– (<i>Text file</i>) Tekstifail
UCS	– (<i>User Coordinate System</i>) Kasutaja koordinaatsüsteem CAD tarkvaras
PPM	– (<i>Parts Per Million</i>) Miljondikosa, mis näitab joonemõõtmisviga mm-tes 1000 m kohta
RMSE	– (<i>Root Mean Square Error</i>) Juuritud keskmine ruutviga
STD	– (<i>Standard measurement</i>) Standard mõõtmine

SISSEJUHATUS

Ehitusgeodeesia on haru, mis kuulub rakendusgeodeesia valdkonda. Ehitusgeodeetiliste töödega tagatakse hoone asendi täpsus vastavalt projektdokumentatsioonile. Hoone või rajatise piisava täpsusega ehitamine ei oleks võimalik ilma ehitusgeodeetiliste tööde, vastava hariduse omandanud ehitusgeodeetide ja geodeetiliste instrumentideta. Geodeetiliste valemitega, mis on tänapäeva instrumentidesse programmeeritud on võimalik keerukad asukohamäärangu protsessid teha kiiremini ja lihtsama vaevaga, kaotades seejuures ära kõrgendatud inimvigade tekkimise riski. Siiski peab geodeesia-alaseid töid teostav isik tundma ja saama aru asukohamäärangu põhimõtetest ja mõõtmisvigade teooriast, et vigasid ennetada. Ehitusgeodeetilised vead võivad jätta jälje objekti eelarvesse ja seada ohtu konstruktsioonide püsivuse.

Suuremalt jaolt võib ehitusgeodeetilised tööd jagada nelja kategooriasse [1, lk 9]:

- ehitusuuringud;
- märkimistööd;
- teostusmõõdistamine;
- deformatsioonide uurimine.

Ehitusuuringuteks nimetatakse ehituseelseid töid hoone või rajatise projekteerimise faasis, mille käigus saadakse usaldusväärset teavet hoone või rajatise aluse pinnase, kommunikatsioonide ja muude projekteerimiseks vajalike andmete kohta.

Märkimistööde käigus määratakse objekti teljed ja piirid maastikul ning hoone või rajatise ehituskonstruktsioonide ja muude objektide nõuetekohane asukoht vastavalt projektdokumentatsioonile. Märkimistööde faasi kuulub veel ehitusobjekti tugivõrgu rajamine lähtudes riiklikest võrgupunktidest.

Teostusmõõdistamisega kontrollitakse paigaldatud hoone või rajatise konstruktsioonide nõuetekohast püstitust vastavalt projektile. Mõõdistatud ehituskonstruktsioonide ja nende projektijärgsete asukohtade vaheline suurus määratletakse – saadakse hälbed.

Deformatsioonide uurimisega antakse hinnang hoone või rajatise seisukorrale. Viiakse läbi pragude- ja vajumisvaatlusi. Lisaks dokumenteeritakse leitud nihked, lihed, pinnasekerked ja muud hoone või rajatise korrasolekuga seonduvad deformatsioonid. [1, lk 9]

Antud lõputöös vaatleb autor lähemalt kahte ehitusgeodeetiliste tööde kategooriat neljast, milleks on märketööd ja teostusmõõdistamine.

Lõputöö autor on Soomes ehitusgeodeesia valdkonnas töötanud kolm aastat. Lõputöös kasutatud ehitusobjekti valikul osutus määravaks antud ehitusobjektile tööde teostamine töö autori poolt varajasest ehitusetapist alates kuni objekti ehitusgeodeetiliste tööde lõpuni välja.

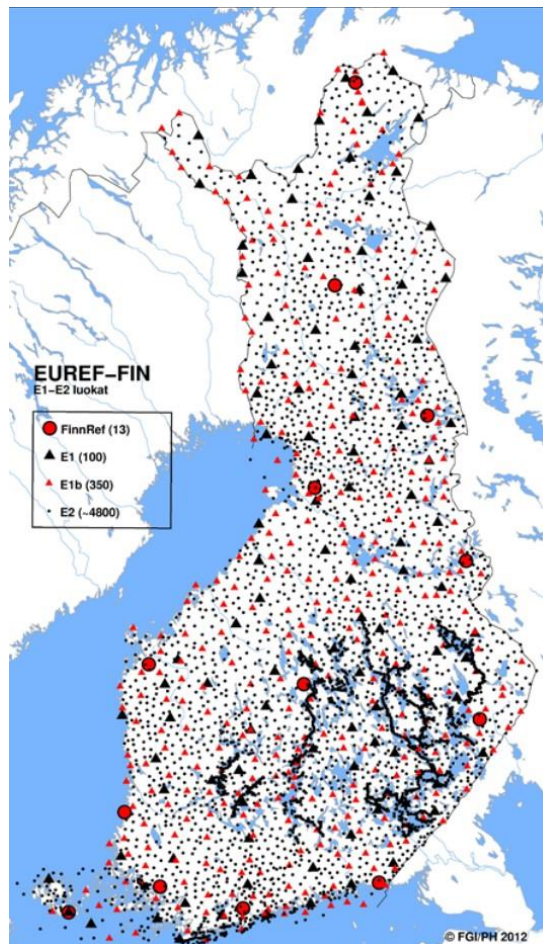
Ülesehituse poole pealt jaguneb lõputöö neljaks suuremaks kategooriaks. Teooria osas antakse ülevaade Soomes, Espoo linnas asuval ehitusobjektile kasutatud koordinaatsüsteemidest, instrumentidest ja ehitusobjekti üldnõuetest. Autor võtab teemaks ohutuse ja kajastab ohtusid, mis on seotud geodeetiliste tööde tegemisega ehitusobjektile. Töö teises osas pannakse rõhku ehitusgeodeetiliste protsesside kirjeldamisele nii kameraaltööde kui ka märketööde etapil. Kolmandas kategoorias selgitatakse teostusmõõdistuste läbiviimist ja nende andmete vormistamist. Lõpetuseks hinnatakse teostusmõõdistamisel saadud tulemusi ning autor analüüsib esinenud probleeme ehitusgeodeetiliste tööde teostamisel.

1 TEOORIA

1.1 Soome koordinaatide ja kõrguste referentssüsteemid

Iga objekti üheseks asukohamääranguks on vaja koordinaatide ja kõrguste referentssüsteeme.

Geodeetilise referentssüsteemina kasutatakse Soomes Euroopa Terrestrial Referentssüsteemi 89 (ETRS89). ETRS89 puhul on tegemist kolmemõõtmelise koordinaatide referentssüsteemiga. ETRS89 on kattuvuses Rahvusvahelise Terrestrial Referentssüsteemiga (ITRS). EUREF-FIN on soome realiseeritud referentssüsteem ETRS89-st (Joonis 1). Kõik EUREF-FIN kontrollpunktid on mõõdetud satelliitpositsioneerimise teel. [2], [3]



Joonis 1. EUREF-FIN geodeetiline võrk soomes [3], [4]: *FinnRef* – GNSS püsijaamad; *E1* – kõrgeim riiklik mõõtmisklass; *E2* – valdade, linnade kõrgeim mõõtmisklass

Soomes kasutati kuni aastani 2003/2005 Riikliku Võrgukoordinaatide süsteemi KKJ (ingl k. *National Grid Coordinate System*), mis asendati ETRS89-ga, kuid osades Soome linnades võib KKJ olla veel kasutusel. [5]

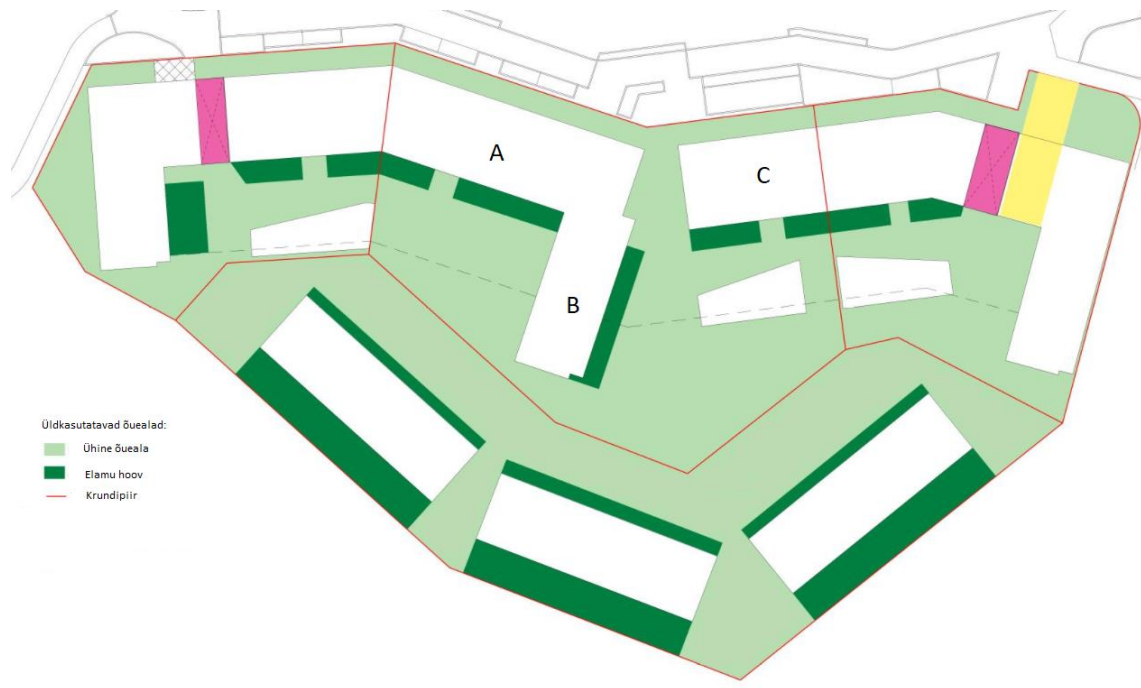
Üleriigiliseks tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemiks on Soomes ETRS-TM35FIN, mille koordinaadid põhinevad UTM projektsioonil ja rahvusvahelisel referentsellipsoidil GRS80. Kuna ETRS-TM35FIN pole täiesti täpne oma suure kasutusala tõttu, on Soomes omavalitsustel enamjaolt eraldi koordinaatsüsteemid. Alates 2012. aasta detsembrikuust kasutavad sellised Soome linnad nagu Espoo, Vantaa, Helsinki ja Kauniainen ETRS-GK25 tasapinnalist ristkoordinaatide süsteemi. [2], [6], [7]

Soomes on kasutusel kõrguste referentsüsteem N2000. Kõrgussüsteemi loomisel kasutati üleriigilist nivelleerimist ja ka gravitatsioonivaatlusi. Soome N2000 kõrgussüsteem on seotud Euroopa Kõrgussüsteemi (EVRs) nullpunktiga, mille lähtepunkt on tuletatud Normaal Amsterdam Peili ehk Amsterdami nulli kaudu. Varasemalt kasutusel olnud kõrgussüsteemiga N60 võrreldes erinevad N2000 kõrgused 13-43 cm võrra, mis on peamiselt tingitud maapinna tõusust viimase 40 aasta jooksul. [3], [8]

1.2 Ehitusobjekti tutvustus

Lõputöös kasutatud projekti puhul on tegu Soomes, Espoos asuva ehitusobjektiga. Kokkuleppeliselt ja konfidentsiaalsuse huvides jätab autor töös mainimata objekti täpse asukoha, peaettevõtte/tellijä nime ning muud seletused/kirjed, mis võivad lekitada konfidentsiaalset infot antud objekti kohta. Edaspidiselt nimetatakse antud lõputöö ehitusobjekti lihtsalt ehitusobjektiks või objektiks. Ehitusobjekti ehitustegevust alustati novembris, 2022 ja objekt peaks valmima juunis, 2023.

Ligikaudu 4484 m² suurusele krundile rajati kahest kortermajast koosnev eluasemekompleks kokku 66 korteriga. Rajatud hooned on osa suuremast kvartalist. Ehitusobjekt koosneb ühest kuuekorruselisest kortermajast kahe eraldi osahoonega (A ja B hoonega) ning ühest neljakorruselisest kortermajast (C hoonega) (Joonis 2). Nii AB kui ka C hoone alla on ehitatud pommivarjend. Lisaks ühine autohall, kus on kokku 63 parkimiskohta. Korteralamute kandekarkassiks on raudbetonelementidest kandevseinad. Erandiks on autohalli monoliitbetoonist lagi, mis toetub osaliselt postide ja tugiseina peale. Kortermajade rõdutagused seinad on ehitatud puitvoodrist. Rõdud on paigaldatud eraldi konstruktsioonidena ja vastavalt eraldi plaanidele. Katuse puhul on tegu volditud lamekatusega. Nii A kui ka C kortermaja vastas olevad hooned olid enne ehitustöödega alustamist püstitatud. [9]



Joonis 2. Väljavõtte ehitusobjekti asendiplaanist [10]: joonisel terve kvartal

1.3 Ohutus ehitusobjektil

1.3.1 Üldised ohutusnõuded

Tööohutuse poolelt on ehitusvaldkond kõrge riskiga ja väljakutseid pakkuv. Ehitusobjektidel töötavad suured masinad, tõstetakse mitmetonniseid ehituskonstruktsioone ning ehitatakse kõrgustes. Ehitusobjekt on ühine töökoht, mille tingimused on pidevalt muutlikud ja asjaolusid ei kergenda mitme erineva töövõtja tegutsemine ühisel ehitusobjektil. Soome tööohutusnõuded ehitusel on välja toodud Soome valitsuse ehitustööde ohutuse määrusega (205/2009). [11]

Määrus on leitav leheküljelt finlex.fi, mis on Soome justiitsministeeriumi seadusandliku ja õigualase teabe veebipõhine andmebaas. [12]

Ohutus peaks algama juba ehitusobjekti planeerimisfaasis, mil koostatakse tööohutusplaan. Ühiskasutatavatel ehitusplatsidel on arendaja kohustus jälgida, et iga ehitusetapp oleks planeeritud nii, et töid saaks teha ohutult ja töötajate tervist kahjustamata. Peatöövõtja kohustus on määrata ehitusobjektile kvalifitseeritud isik, kes vastutab ehitusplatsi ohutuse eest. [11]

Enne ehitusobjektil töödega alustamist tuleb Soomes läbida peatöövõtja poolt korraldatud üldine ohutuskoolitus, mis läbitakse enamasti veebi teel kord aastas. Lisaks tuleb läbida objektipõhine ohutuskoolitus enne esmast ehitusplatsile suundumist.

Tähtsaimad läbivaadatavad teemad objektil [13]:

- ohutus;
- sotsiaal-ja puhkeruumid;
- kogunemiskoht;
- varuväljapääsud ja evakuatsiooniteed;
- ligipääs ja liikluskorraldus;
- jäätmete sorteerimine;
- parkimine.

Soomes ehitusvaldkonnas töötades on vajalik Soome tööohutuskaardi olemasolu (Foto 1). Tegemist on ühepäevase kursusega, mille jooksul käsitletakse töötervishoiu ja tööohutuse põhitõdesid. Koolitust on võimalik sooritada Eestis ja Soomes kohapeal või veebipõhiselt. Koolituse läbinule väljastatakse plastikust tööohutuskaart. [14]



Foto 1. Näide Soome tööohutuskaardist [14]

Soomes peavad ehitusvaldkonnas töötavad inimesed omama töökaarti (soome k. *valttikortti*) (Foto 2). *Valttikortti* kasutatakse isikutõendi ja läbipääsuloana. [13]



Foto 2. Näide Soome töökaardist [15]

Kui eelpool toodud nõuded on täidetud ja vajalikud kaardid olemas registreeritakse töötaja objekti juurdepääsu süsteemi ning antakse objektile sisenemise luba. Edasiselt tuleb registreerida töötaja kaart iga kord ehitusobjekti külastates ja sealt väljudes. [13]

1.3.2 Isikukaitsevahendid

Nõutavad isikukaitsevahendid objektil [13]:

- kiiver EN397 koos kinnitusrihmaga;
- kaitseprillid;
- kõrgnähtav riietus (2. klassi ja EN ISO 20471 standardile vastav);
- kaitsekindad;
- tööpüksid;
- turvajalanõud (S3, S5 või S1P-EN-ISO-20345 standardile vastav).

1.3.3 Ohud geodeedile ehitusobjektil

Levinumaks ohuks geodeedina töötades on autori seisukohalt kukkumisoht, kuna töid teostatakse olles pidevalt väliarvuti ekraani taga ega pruugita märgata ümberringi toimuvat. Lisaks tuleks olla tähelepanelik töötades kõrgustes – jälgida piirete olemasolu, et vältida kukkumist, vajadusel kasutada rakmeid. Näide ohtlikust olukorrast objektil (Foto 3).



Foto 3. Geodeet piireteta alas tööd tegemas ilma rakmeteta

Ohukohaks on kindlasti veel suured masinad – tõstukid, kraanad, kopad. Tuleks olla tähelepanelik, et tõstmistööde ajal ei viibitaks tõstetavate asjade vahetus läheduses. Samuti võib tekkida objektil kokkupuuteid tolmu ja müraga. Vastavalt ohuolukorra ilmnemisele tuleb kasutada respiraatorit või kõrvatroppe.

1.4 Ehitusmäärused objektil

Lõputöö ehitusobjekti ehitusaruandes on välja toodud määrused, millest ehitustööde (sh ehitusgeodeetiliste tööde) teostamisel lähtutakse.

Lähtutakse järgmistest määrustest [9]:

- keskkonnaministeeriumi määrustest;
- valitsuse otsustest ja juhistest;
- valla ehitusmäärustest;
- tuletõrjeameti eeskirjadest;
- eurokoodeksist;
- soome ehitusmääruste kogumikest;
- üldtunnustatud kehtivatest normidest;
- kohaliku ehituslubade asutuse erijuhistest;
- tööaruannetest;
- joonistest;
- materjalitootjate juhistest;
- standarditest (RIL, BY, SFS, RATU kaardid, HVAC juhendkaardid).

Lisaks toetutakse järgmistele RYL-käsiraamatutele [9], [16]:

- sisetööde RYL 2013; Ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone sisetööd;
- maalritööde RYL 2012; Maalritööde kvaliteedi üldnõuded;
- tarindiRYL 2010. Ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone kande-ja piirdetarindid;
- maaRYL 2010. Ehitustööde kvaliteedi üldnõuded. Hoone ehituse pinnasetööd.

1.5 Kasutatud instrumendid

1.5.1 Elektrontahhümeeter Trimble S5

Elektrontahhümeeter on ehitusgeodeetiliste tööde juures üks asendamatumaid ja tähtsamaid instrumente. Elektrontahhümeetrit kasutades on võimalik projekteeritud ehituskonstruksioonid välja

märkida kuni mõne millimeetri täpsusega. Samuti on võimalik kontrollida paigaldatud ehituskonstruktsioonide horisontaal- ja vertikaalsuunalist asendit kasutades elektrontahhümeetrise integreeritud salvestamisvõimalusi. Lõputöö ehitusobjektidel sooritati geodeetilised tööd kasutades peamiselt Trimble S5 seeria elektrontahhümeetrit (Foto 4).



Foto 4. Trimble S5 seeria elektrontahhümeeter [17]

Trimble S5 on üks seitsmest USA ettevõtte Trimble Inc. poolt toodetud tahhümeetri seeriast. Esimest korda tutvustati Trimble S5 seeria elektrontahhümeetrit 2015. aastal ning antud elektrontahhümeeter on tänaseni laialdaselt kasutusel [17]. S5 seeria tahhümeeter kasutab elektroonilisel kaugusmõõtmisel (EDM) põhinevat DR PLUS tehnoloogiat, mis parandab otsepeegelduse (DR) jõudlust ja vajab seejuures vähem seadistamist instrumendis [18]. Tegemist on automatiseeritud tahhümeetriga, mille servomootori abil on võimalik teostada tahhümeetri automaatset pööramist sihtmärgile. Sel viisil parandatakse tahhümeetri paigutust otsitava objekti suhtes, mis hõlbustab märkeprotsesside teostamist. Samuti on tahhümeetrise integreeritud automaatne lukustus- ja jälgimisüsteem [17].

Trimble S5 seeria elektrontahhümeetri parameetrid [19]:

- nurgamõõtmistäpsus 2";
- kaugusmõõtmistäpsus prisma standardmeetodil (ISO) 1 mm + 2 ppm, (RMSE) 2 mm + 2 ppm;
- maksimum mõõtekaugus hea ilmastiku korral relfektorkleepsule 1300 m;
- töövahemik $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- akukestvus kuni 7,5 tundi.

Väljamärgitavate punktide õigete koordinaatide saamiseks tuleb läbi viia elektrontahhümeetri orienteerimine. Elektrontahhümeetri seisupunkti koordineerimine ja limbi õige orienteeritus määrati ehitusobjektidel „vaba jaama“ põhimõttel. Tahhümeeter asetati vabale seisupunktile (tuntud punktide keskel), kust oli nähtavus vähemalt kolmele teada olevate koordinaatidega tugivõrgupunktile (objektidel kasutatud reflektorkleepse). Vaba jaama põhimõtte puhul kolme lähtesuunda kasutades mõõdeti nurgad ja ka kaugused ehk tahhümeetri seisupunkt koordineeriti nurgalis-joonelise vastulõike ja seisupunkti kõrgus määrati vastassuunalise trigonomeetrilise nivelleerimise teel. Antud tegevusega kindlustati ka limbi O-lugemi õige orienteeritus X-telje suunas. Standardvead ei tohtinud ületada kinnitamisel 0,002 m. Antud nõue tagati ehitusobjektidel kõikide geodeetiliste tööde puhul. [20]

Vaba jaama asukohavalikul uue tugivõrgu loomisel jälgiti, et:

- vastulõike tegemiseks kasutatavad punktid ei asuks samas suunas;
- seisupunkti asukohast oleksid nähtaval ehitusobjekti planeeritava tugivõrgu rajamiseks valitud asukohad;
- võimalikult stabiilset pinnast tahhümeetri paigutamiseks koos statiiviga.

Vaba jaama asukohavalikul märketööde/teostusmõõdistamise teostamisel võeti arvesse:

- tugivõrgupunktide omavahelist nähtavust;
- ühest jaamapunktist väljamärgitavate/koordineeritavate punktide võimalikult suurt nähtavust;
- võimalikult stabiilset pinnast tahhümeetri paigutamiseks koos statiiviga;
- ohutut paigutust võimalikult kaugemale ehitusobjektidel liikuvatest masinatest/kraanadest;
- tahhümeetri nähtavust teistele kaastöötajatele.

Tahhümeetrilisel mõõdistamisel kasutati standard (STD) mõõtmisviisi. STD mõõtmisviisi puhul on tegu ühekordse mõõtmisega millimeetri täpsusega [20].

1.5.2 Trimble TSC3 väliarvuti

Väljamärketööde teostamiseks ja ehitusjärgsete andmete kogumiseks kasutas autor ehitusobjektidel Trimble TSC3 väliarvutit (Foto 5).



Foto 5. Trimble TSC3 väliarvuti [21]

TSC3 väliarvutit on võimalik ühendada tahhümeetriga nii bluetoothi kui ka raadioside abil. Ehitusobjektil sooritati mõõdistustööd ühendades väliarvuti tahhümeetriga raadioside vahendusel. TSC3-l on kõrge eraldusvõimega LCD puuteekraan. [22]

TSC3 kasutab *Trimble Access* tarkvara, mis on vajalik välitööde teostamisel. *Trimble Business Center* kontoritarkvara muudab andmete kogumise ja andmetöötluse Windows sülearvutis mugavaks ja kiireks. Ühendamine toimub *bluetoothi* vahendusel. [21], [18]

1.5.3 Spectra ristloodlaser LT58g koos lisatarvikutega

Spectra ristloodlaserit kasutas autor ehitusobjekti sisetööde käigus kõrguste „kandmiseks” korrustel (Foto 6). Samuti leidis ristloodlaser kasutust paigaldavate vannitubade uste kõrguste kontrollimiseks.



Foto 6. Ristloodlaser koos tarvikutega [23]

Spectra ristloodlaseri parameetrid [23]:

- automaatne tasandus 4° ulatuses;
- täpsus 2 mm 10 m puhul;
- 2. laserklass;
- töötemperatuur vahemikus +10 °C kuni +45 °C;
- laserkiire nähtavus 20 m - 40 m.

1.5.4 Statiiv

Statiivi kasutati ehitusobjektidel elektrontahhümeetri „toestamiseks”. Statiiv annab võimaluse reguleerida tahhümeetri kõrgust aparadi püstitamisel (Foto 7).



Foto 7. Statiiv [24]

1.6 Prismad ja reflektorkleepsud

1.6.1 Üldiselt

Prismad koosnevad spetsiaalsete nurkade all paiknevatest peeglitest. Tahhümeeter saadab prisma meetodit kasutades välja nähtamatud infrapunalained, mis peegelduvad prismast tagasi tahhümeetrisse. Teades kasutatava prisma täpset nurka, kaugust ja konstanti arvutab tahhümeeter prismale koordinaadid. Prisma konstant määratleb tahhümeetri ja tegeliku kauguse erinevuse. Enimkasutatavad prismad on paigaldatud mõõtesaua otsa, seejuures tuleb õige kõrgusliku asukoha

saamiseks määrata väliarvutis õige prismaaia kõrgus. Võimalus on kasutada ka tagasipeegelduvaid reflektorkleeppe või statiivi otsa paigaldatavaid prismaid. [20], [25]

Trimble S5 elektrontahhümeetri kaugusmõõtmise täpsuse juuritud keskmine ruutviga (RMSE) standardmõõtmise korral 2 mm + 2 ppm ja prisma aktiivjälgimissüsteemi kasutades 4 mm + 2 ppm.

1.6.2 Trimble VX&S seeria 360° prisma

Trimble panoraamprismat kasutati ehitusobjektidel vundamentide ja krundi piiri märkimiseks (Foto 8).



Foto 8. VX&S Seeria 360° prisma [26]

VX&S seeria 360° prisma tehnilised parameetrid [27]:

- prisma absoluutkonstant trimble elektrontahhümeetreid kasutades +2 mm;
- prisma konstant leica elektrontahhümeetreid kasutades +36,40 mm;
- jälgimiskaugus 350 m.

1.6.3 Miniprisma

Ehitusobjektidel teostati seinte, postide, ankrupoltide ja muude kõrgemat täpsust nõutavate ehituskonstruktsioonide mõõdistus miniprismaga (Foto 9).



Foto 9. Miniprisma komplekt koos mõõtevarrastega [28]

Miniprisma tehnilised parameetrid [27]:

- prisma absoluutkonstant -18 mm;
- mõõtekaugus 1500 m;
- prisma suurus 24,5 mm.

1.6.4 DR mõõtmismeetod

DR (otsepeegeldus) mõõtmismeetod ehk ilma prismata mõõtmine viitab EDM tehnoloogiale, mis lubab mõõta pindu ja objekte minemata seejuures füüsiliselt prismaga punktidele. DR mõõtmismeetodi eeliseks on võimalus teostada kaugusmõõtmisi ilma ühtegi tagasipeegelduvat abivahendit kasutamata (reflektorkleepsud, prismad). DR mõõtmismeetodi kasutus on obligaatne ligipääsmatute punktide asukohamääramisel. Mõõtmiste teostamist soovitatakse vältida DR meetodil udu, turbulentsi ja otsese päikesevalguse käes. [29]

DR meetodil on mõõtekaugus normaalsete mõõtmistingimuste korral (mõõdukas päikesevalgus, mõningane kuumuse virvendus) valgele reflektorkleepsule kuni 1300 m. Mõõtmistäpsus DR meetodit kasutades on Trimble S5 tahhümeetril 2 mm + 2 ppm. [19]

1.6.5 Reflektorkleepsud

Reflektorkleipse kasutati ehitusobjektidel tugivõrgupunktidena. Reflektorkleepsud paigaldati objekti kõrvalhoonetele. Ehitusobjektidel kasutati 60 x 60 mm, 40 x 40 mm ja 20 x 20 mm suurusega valgeid reflektorkleipse (Foto 10). Reflektorkleipsu konstant on 0 mm. Koordinaatide andmiseks reflektorkleepsule tuleb niitristi keskpunkt suunata märgi keskele [20].



Foto 10. Reflektorkleepsud [22]

1.7 Trimble S5 elektrontahhümeetri hooldamine

Lõputöö ehitusobjektidel kontrolliti Trimble S5 seeria elektrontahhümeetri kompensaatori korrasolekut automaatse kalibreerimisega vähemalt kord kuus.

Välitingimustel tuleks viia automaatne elektrontahhümeetri kompensaatori kalibreerimine läbi [30]:

- enne suurte projektidega alustamist;
- vähemalt kord kolme kuu jooksul;
- suurte temperatuurimuutuste juures.

Enne kompensaatori kalibreerimist tuleks treegeri peenliigutuskruve pöörates loodida tahhümeetri elektrooniline vesilood. Tuleks jälgida, et tahhümeeter koos statiiviga oleks paigaldatud stabiilsele maapinnale. [30]

Kompensaatori kalibreerimisel loob instrument horisontaalse võrdlustasandi vertikaaltelje suhtes täispöörete tegemise ajal. [31]

Ehitusobjektidel kasutatud Trimble S5 elektrontahhümeetril on viidud kalibreerimist läbi vähemalt kord aastas sertifitseeritud hooldusteenuse pakkuja juures, mis on ühtlasi ka miinimum soovituslik nõue. Peale tahhümeetri iga-aastast kalibreerimist teenusepakkuja juures väljastatakse instrumendi korrasoleku akt [32]. Õnnetuste juhtumise (tahhümeetri kukkumine, löögi saamine) korral vajab elektrontahhümeeter enne edasist kasutamist põhjalikku kalibreerimist ja vajadusel justeerimist sertifitseeritud teenusepakkuja juures.

Trimble seadme hoolduses kontrollitakse [32]:

- kollimatsiooniviga;
- treegerit;
- nulliaseme viga;
- inklinatsiooniviga;
- prismakonstanti;
- optilist loodi;
- vesiloodi.

2 MÄRKETÖÖD OBJEKTIL

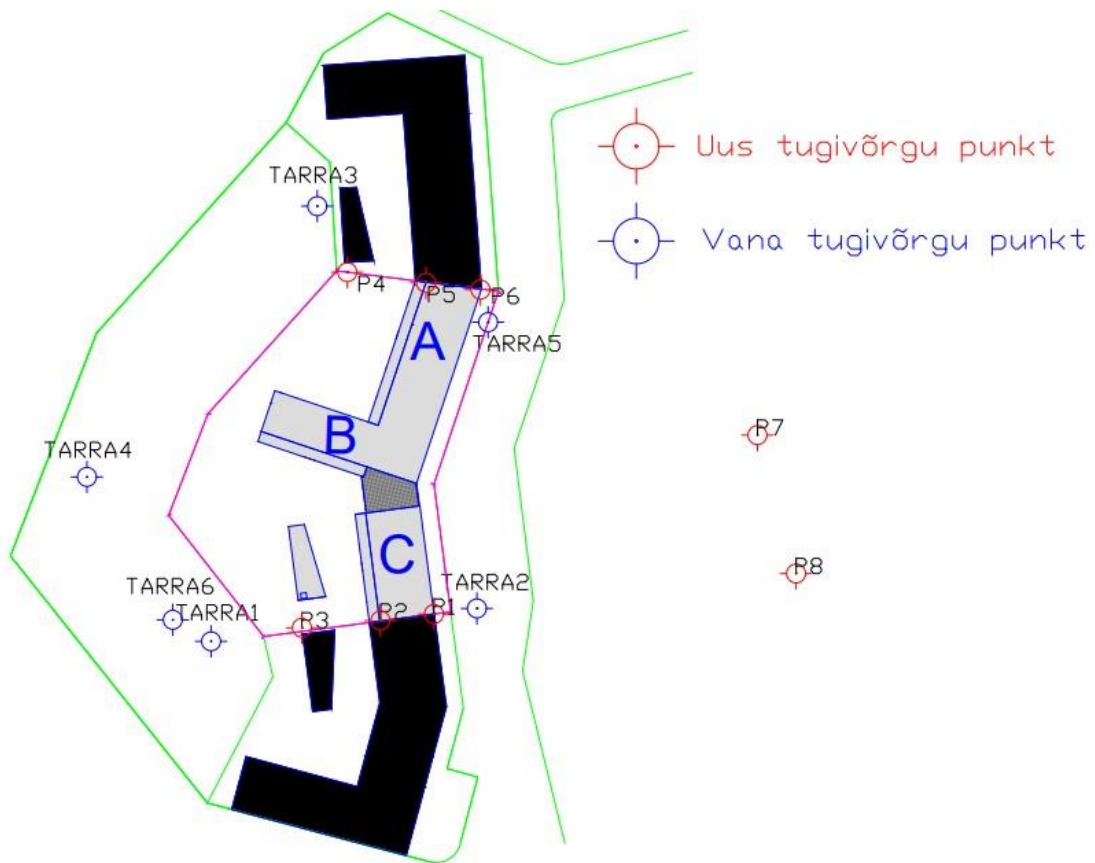
2.1 Tugivõrgu rajamine

Esimeseks geodeetiliseks tööks ehitusobjektile peetakse geodeetilise tugivõrgu loomist. Autori seisukohast lähtudes on Soomes saanud tavaks linnageodeetide poolt esmase tugivõrgu loomine ehitusobjektini või selle ümbrusse. Selleks kasutatakse riiklike põhivõrgu punkte ja reepereid. Sarnaselt Eestiga, on ka Soomes oma riiklik maamõõtmisportaal, kust vastavaid geodeetilisi andmeid leida. Soome keeli *Maamittaustaitos* kaardirakenduses toodetakse, kogutakse, uuendatakse ja säilitatakse ruumiandmeid lähtudes topograafilistest andmetest [33].

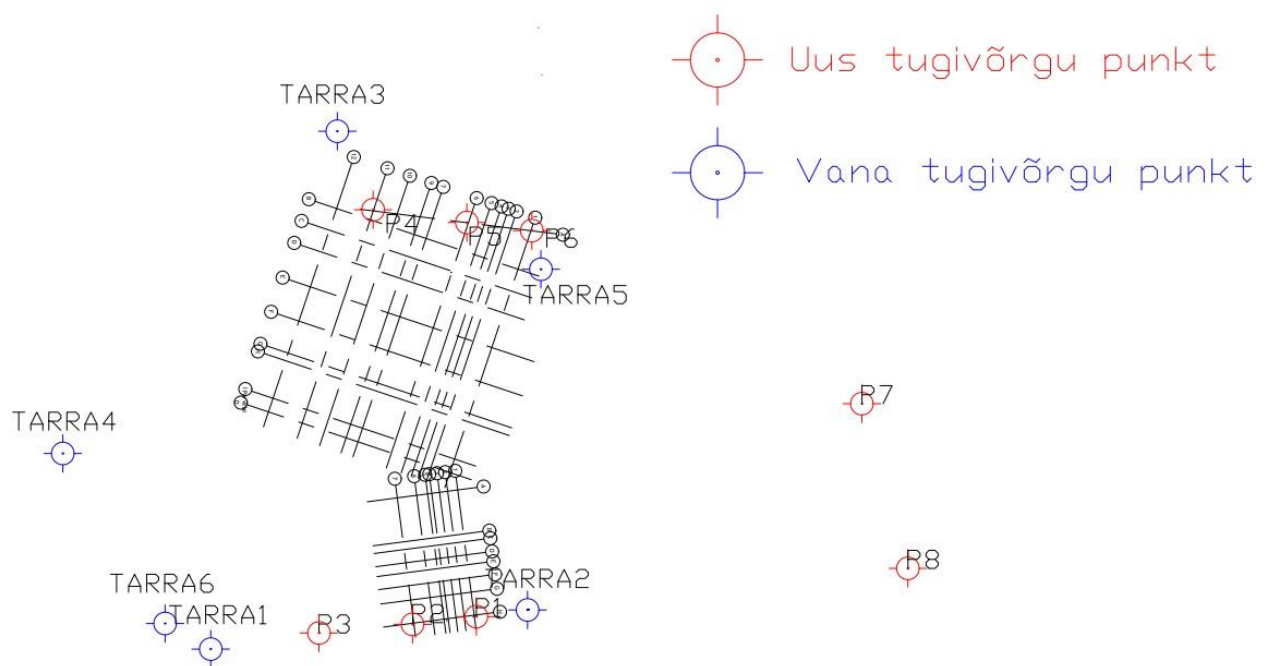
Lõputöö ehitusobjekti puhul sai autor ajutise võrgu koordinaatandmed teise ehitusgeodeesia ettevõtte käest, kes algselt antud objektile ehitusgeodeetilisi töid teostas. Kuna teise firma geodeetilised punktid olid paigaldatud tänavavalgustitele seinareflektorite näol või suurema läbimõõduga puudele otsustas geodeesiaettevõtte, kus autor töötas luua uue tugivõrgustiku, mille punktid oleksid paigaldatud paremini säilivatesse kohtadesse. Üldiselt puudele ja tänavavalgustitele koordinaatpunkte pikemaajalisemaks kasutamiseks ei paigaldata, kuna taolised objektid ei ole püsivad ja alluvad ilmastikule ning inimtegevusele (tuul, vibratsioon jm).

Uue tugivõrgustiku loomisel võeti aluseks teise ehitusgeodeesia ettevõtte tugivõrgustik punktidega TARRA1-TARRA6, mille abil viidi läbi esmane elektrontahhümeetri orienteerimisprogramm objektile (ptk 1.5.1). Uue tugivõrgu loomisel arvestati planeeritava hoone gabariitide ja kõrgustega. Ideaalis võiksid esmased tugivõrgupunktid säilida terve objekti vältel. Paraku ei ole alati kõigi esmaste tugivõrgupunktide säilitamine võimalik ja võib tekkida vajadus uute mõõdistusvõrgu punktide paigaldamiseks ehitusaja vältel. Antud objektile peale A ja B maja püstitust osutus mõõdistusvõrgu punktide lisamine vajalikuks.

Eelpool mainitud kriteeriume arvesse võttes paigaldati esmasel elektrontahhümeetri orienteerimisel objektile uued tugivõrgupunktid objekti kõrvalhoonetele seinareflektoritena. Väliarvutist teostumõõdistuse funktsiooni kasutades mõõdeti seinareflektoritele koordinaadid ja anti nimed P1-P8 (Joonis 3) (Joonis 4). Lisaks koordineeriti uuesti tugivõrgupunktid TARRA1-TARRA6. Tugivõrgustiku koordinaadid mõõdeti ETRS-GK25 tasapinnalises koordinaatsüsteemis ja kõrgused N2000 kõrgussüsteemis. Antud kõrgus-ja koordinaatsüsteeme kasutati kõikide geodeetiliste tööde vältel.



Joonis 3. Tugivõrgupunktide asetus ehitusobjekti ümbruses



Joonis 4. Tugivõrgupunktide asetus ehitusobjekti teljestiku suhtes

2.2 Kameraaltööd

Väljamärketööde teostamiseks ehitusobjektile on vajalikud alusfailid. Alusfailid tuleb modelleerida vastavalt kasutusotstarbele ja viia õigesse projektasendisse ning mõõtkavasse selleks, et väliarvuti oleks võimeline modelleeritud faile lugema. Failid modelleeritakse võttes aluseks ehitusobjekti arhitekti poolt loodud joonised. Selleks tuleb saada ligipääs ehitusobjekti projektipanka, kus antud jooniseid, lõikeid, plaane ja muid geodeetiliste tööde teostamiseks vajalikke dokumente hoitakse ja uuendatakse.

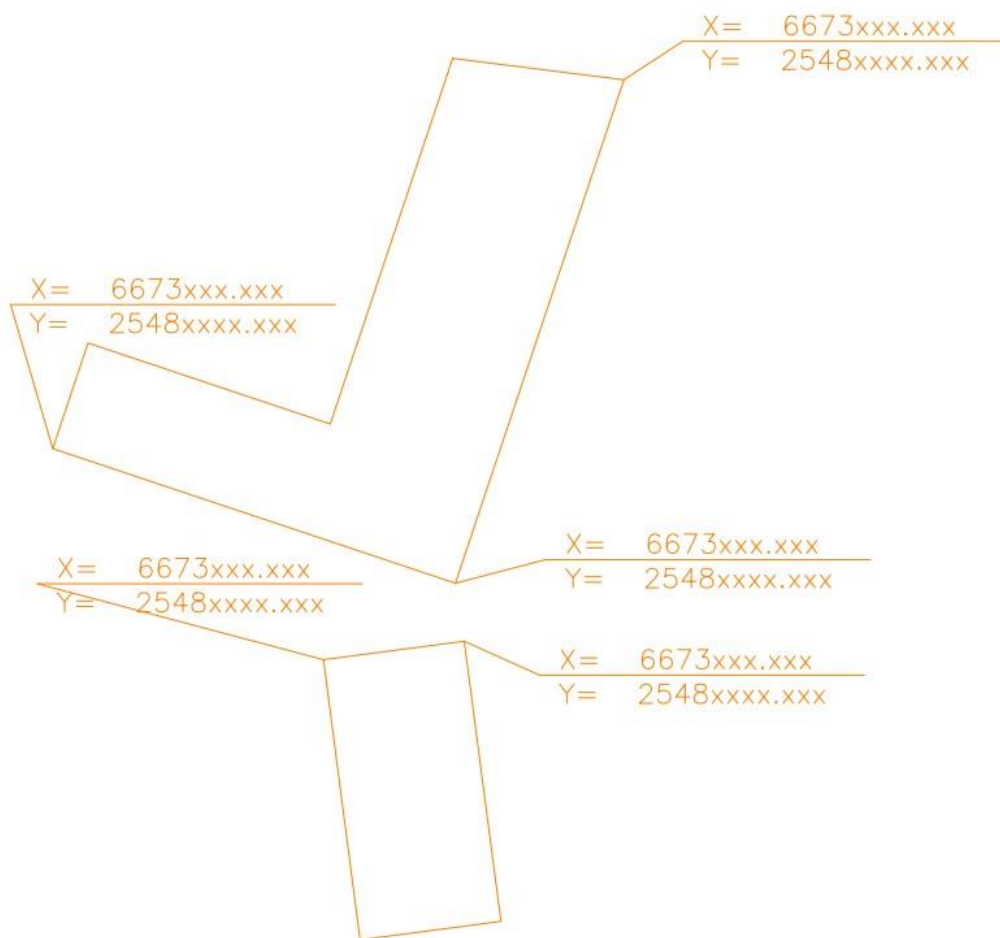
Antud lõputöö puhul kasutati alusfailide loomiseks Autodesk Inc. poolt toodetud modelleerimise ja joonestamise tarkvara AutoCAD-i koos MKM lisaga.

Geodeetiliste tööde puhul AutoCAD-is kasutati mõõtkava 1:500.

2.2.1 Telgede viimine projektasendisse

Enamus ehitusgeodeetilised joonised, mida autor ehitusobjektile välitööde teostamiseks kasutas, viidi projektasendisse kasutades objekti telgi. Telgede puudumisel joonises võeti kasutusele kas krundipiir või hoone välisnurgad.

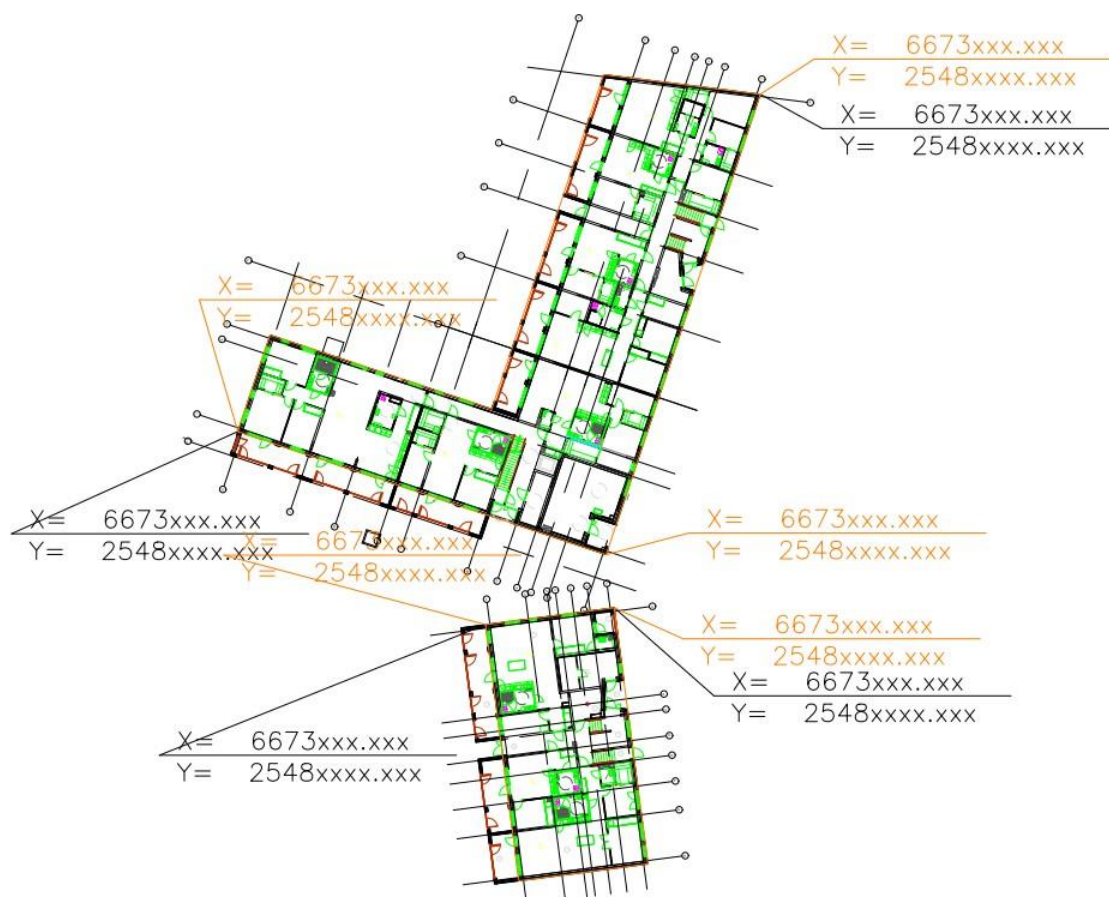
Esmaseks telgede loomiseks võeti aluseks ehitusobjekti asendiplaan. Asendiplaani puhul oli tegemist ainsa ehitusobjekti joonisega, mis oli varasemalt viidud arhitekti poolt õigesse projektasendisse. Võttes arvesse väliarvutis seadistatud parameetreid tuli arhitekti poolt loodud joonist vähendada 1000 korda AutoCAD tarkvaras. Lisaks tuli anda õige täpsus asendiplaanile, milleks oli projekti puhul läbivalt millimeetri täpsus. Seejärel uuendati joonise kirjastiili ja vastavaid parameetreid. (Mõõtkava, mõõtühikute ja parameetrite muudatused viidi läbi ka kõikide teiste ehitusgeodeetiliste joonistega.) Eeltoodud käskluste lõpetamisel loodi uus kiht, millega tõmmati üle asendiplaanil oleva hoone gabariidid, anti nurkadele koordinaadid *aso* käsklusega ja loodi saadud joontest uus joonis ilma kõrvaliste andmeteta (Joonis 5).



Joonis 5. Väljavõte AutoCAD programmis loodud joonisest koos asendiplaanilt saadud hoone gabariitide ja nurkade koordinaatidega

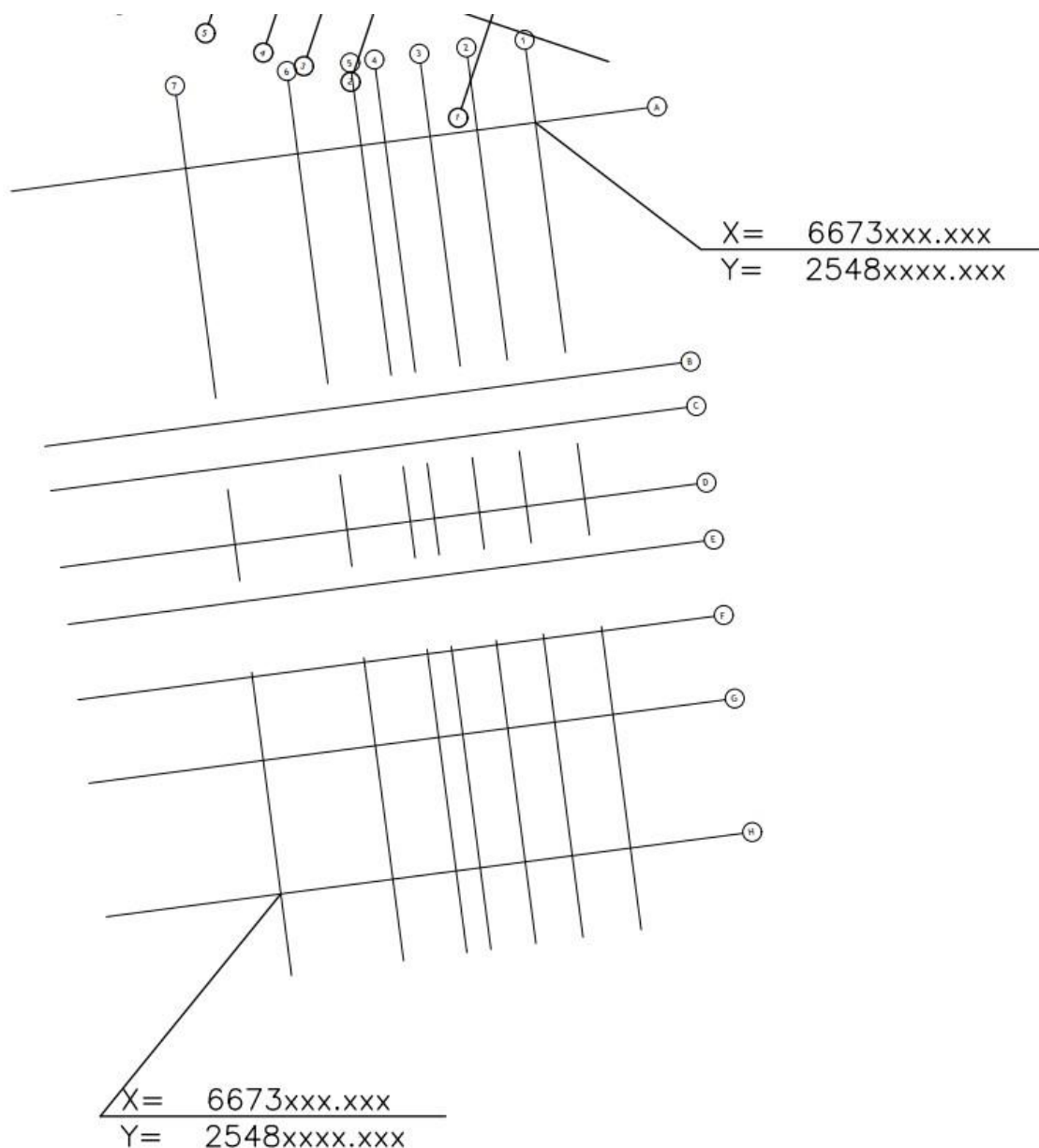
Eelpool nimetatud toimingud kuni parameetrite uuendamiseni viidi läbi ka esimese korruse arhitektuurse pildiga seetõttu, et esimese korruse arhitektuurne pilt sisaldas objekti telgesid ja ka vastavaid hoone gabariite, mida kasutati asendiplaanil.

Arhitektuursest joonisest loodi seejärel *.dxf formaadis fail ning sisestati hoone gabariite sisaldavasse joonisesse. Kasutades hoone nurki viidi arhitektuurne pilt õigesse projektasendisse vastavalt asendiplaanilt saadud hoone nurkadele. Käskluse *aso* abil kontrolliti hoone nurkade kattuvust arhitektuurse pildi ja asendiplaanilt võetud hoone nurkade vahel (Joonis 6).



Joonis 6. Väljavõte AutoCAD programmis loodud ja projektasendisse viidud arhitektuursest joonisest koos asendiplaanilt saadud hoone gabariitide ja koordinaatidega: kollase värviga saadud hoone koordinaadid asendiplaanilt; musta värviga saadud hoone koordinaadid arhitektuurselt pildilt

Peale arhitektuurse joonise projektasendisse viimist lasti arhitektuurne pilt „õhku” kasutades *explode* käsklust, valiti ära objekti teljed, ning tehti uus *.dxf formaadis fail objekti telgedest, mis ühtlasi jäi alusfailiks töös edasiselt kasutatud jooniste projektasendisse viimiseks (Joonis 7).



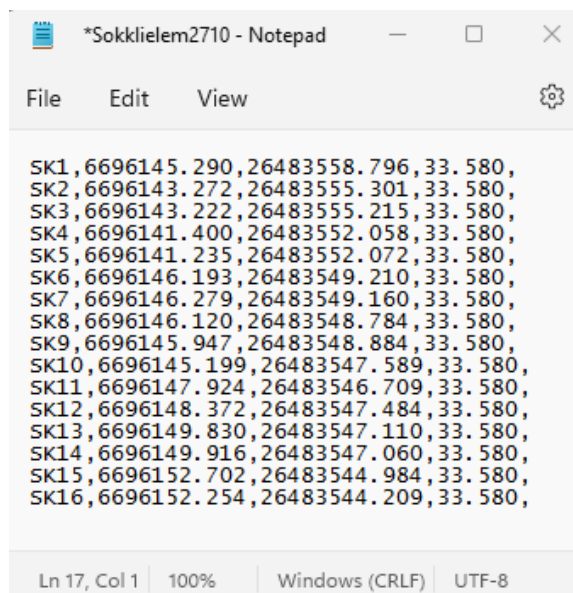
Joonis 7. Väljavõte AutoCAD programmis loodud lõplikust objekti telgede alusfailist C kortermaja näitel

Märkusena alusfailide ettevalmistamisel väliarvutisse tõmbamiseks tuleks joonised puhastada kõrvalistest ja märkimise jaoks ebavajalikest andmetest. Andmemaht alusfailis mõjutab oluliselt väliarvuti töötamise kiirust.

2.2.2 Punktifailide loomine AutoCAD-i keskkonnas

Väljamärketöid on võimalik teostada kasutades ainult loodud alusfaile ja joone märkimise tehnikat, kuid olenevalt väljamärgitavast objektist ja kasutatavast tehnikast võib osutuda mugavamaks variandiks punktifailide ehk *.txt formaadis failide kasutamine lisaks alusfailidele.

Selleks, et tekstifaile teha, kasutati antud töös MKM-lisa. AutoCAD-is valiti käsklus *out* ning seati vastavalt kasutatavale instrumendile sobilik failitüüp. Trimble TSC3 väliarvuti jaoks on sobilik kõige tavalisem tekstifail. Enne punktide „välja võtmist” AutoCAD-i keskkonnas tuleb määrata punktile sobiv tähis ja valida, kas tekstifail tuleb 2D või 3D dimensiooniga. 2D puhul jäävad Z koordinaadi andmed kõrguseta ehk nullideks, 3D puhul näidatakse Z koordinaadile vajalik kõrgus (Joonis 8).



```
*Sokklikelem2710 - Notepad
File Edit View
SK1,6696145.290,26483558.796,33.580,
SK2,6696143.272,26483555.301,33.580,
SK3,6696143.222,26483555.215,33.580,
SK4,6696141.400,26483552.058,33.580,
SK5,6696141.235,26483552.072,33.580,
SK6,6696146.193,26483549.210,33.580,
SK7,6696146.279,26483549.160,33.580,
SK8,6696146.120,26483548.784,33.580,
SK9,6696145.947,26483548.884,33.580,
SK10,6696145.199,26483547.589,33.580,
SK11,6696147.924,26483546.709,33.580,
SK12,6696148.372,26483547.484,33.580,
SK13,6696149.830,26483547.110,33.580,
SK14,6696149.916,26483547.060,33.580,
SK15,6696152.702,26483544.984,33.580,
SK16,6696152.254,26483544.209,33.580,
Ln 17, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Joonis 8. Näide 3D punktifailist

Antud ehitusobjekti puhul kasutati mõlemat versiooni, lihtsuse huvides ja punktide kõrgusi teades on mõistlikum kasutada 3D versiooni. Vahe seisneb tahhümeetri viseerimises prismale. Õige konstandiga ja prisma varda kõrgusega saab tahhümeetri viseerida otse prismale väljamärketööd teostades kui kõrgus on eelnevalt tekstifaili sisestatud. Selleks tuleb valida mahamärgitav punkt ning vajutada väliarvutis nuppu *pööra*. Antud tehnika on kasulik muidugi juhul, kui enamjaolt on teada mis kõrgusel mahamärgitav punkt peaks paiknema. Pöörates ilma ette antud kõrguseta tahhümeeter punktile, pöörab tahhümeeter viseerimiskiire vertikaalsuunas maha ja vajalikuks osutub väliarvutist tahhümeetri mehaaniline viseerimine prismale. 3D punktile viseerimine on aja kokkuhoiu mõttes otstarbekam.

Nii alusfailid (*.dxf) kui ka punktifailid (*.txt) salvestatakse *Trimble Business Center* vahendusel väliarvuti andmebaasi loodud objekti kausta.

2.3 Märketööd

2.3.1 Üldiselt

Märkimistöödega tagatakse ehitusobjektile hoone ja muude rajatiste konstruktsioonide püstitus projektdokumentatsiooni kohaselt. Ehitusgeodeetiliste märketööde puhul on tegu suurt täpsust nõudvate töödega, mille tõttu ei pruugi kõik üldgeodeesias kasutatavad instrumendid sobida märketööde teostamiseks [34]. Märketööde täpsusnõuded määrab reeglina projekteerija. Kui eraldi pole märketööde norme välja toodud lähtutakse Soomes kehtivatest standarditest. Suuremat täpsust nõudvate ehituskonstruktsioonide märketööd teostati lõputöö ehitusobjektile Trimble S5 seeria elektrontahhümeetriga, mille nurgamõõtmistäpsus on 2". Vähem täpsemate kui 3" nurgamõõtmistäpsusega elektrontahhümeetritega üldjuhul märketööde teostamist ehitusel ei sooritata.

Järgnevalt toob autor välja edasiselt töös vaadeldavad ehituskonstruktsioonid ja muud olulisemad märkimist vajavad objektid, millele ehitusobjektile väljamärketöid teostati:

- vaivundamendid;
- monoliitsed vundamendid;
- sarrused;
- ankrupoldid;
- betoonkonstruktsioonelemendid;
- sanitaartehtnilised vannitoad;
- rõduvundamendid;
- augud/avad;
- monoliitsed tugiseinad;
- postid;
- siseseinad.

2.3.2 Tehnoloogia märketöödel

Tahhümeetri orienteerumisel „vaba jaama” meetodil kasutati kolme tugivõrgupunkti. Märketöödel piisanuks täpsuse poolest ka kahest tugivõrgupunktist (nurgalis-jooneline vastulõige), mille nurk soovitatavalt ei ületanuks $30^{\circ} - 150^{\circ}$ [20]. Lähtudes M. Risti lõputööst oleks antud vahemikuks sobilik ka 180° nurk, mille puhul M. Rist oma lõputöös sai kõige täpsema tulemuse [35]. Autor

kasutas siiski märketöödel kolmandat punkti orienteerituse kontrolliks. Autor jälgis, et standardvead nii plaaniliselt kui kõrguslikult ei ületaks vastulõike kinnitamisel 0,002 m.

Märkimistööde jooksul tuli tagada kõikide märgitavate punktide säilivus. Olenevalt töö iseloomust kasutati markereid, rasvakriite, spreivärvi, püstraudasid, naelu, asfaldinaelu. Märkimistööde teostamisel üritati liikuda kaugemalt asuvast punktist tahhümeetri poole vältimaks tagurpidi kõndimisest tekkivat potentsiaalset ohtu geodeedile.

Prismasauale kinnitatud prisme puhul oli märkimistöid teostades väliarvutis aktiivne autolukustussüsteem. Paremaks tahhümeetri viseerimiseks prismaele kasutati autolukustussüsteemiga samaaegselt jälgimistule funktsiooni. Mõõdistuse aegselt viis autor läbi kontrolli, viseerides tahhümeetrit lähtepunktile. Lähtepunkt koordineeriti uuesti ja võrreldi algsete lähtepunkti koordinaatidega. Koordinaatide erinevusel plaaniliselt ja/või kõrguslikult üle ± 5 mm teostati tahhümeetri uus orienteerimine.

2.3.3 Vaivundamendid

Lõputöös kasutatud ehitusobjekti pinnaseuuringu aruandes seisneb, et objekti maapinna puhul on tegu niiske pinnasega. Ülemiste pinnasekihtide all on kogu ehitusala ulatuses pehme savikiht veesisaldusega kuni 95%. Savikihi all omakorda erineva tihedusega mudast ja mudaliivast koosnev kiht mille paksus varieerus kogu ehitusala ulatuses. Mudase liiva all kivine/rahnuline moreenikiht. [36]

Niiske pinnase puhul on hoone toetamiseks sobilikud vaivundamendid. Pinnaseuuringust lähtudes määrati antud ehitusobjektile tugivaiadena löödavad raudbetoonvaiad TB300b. Vaivundamendid vajavad eriprojekti, mille planeering on tehtud vastavalt RIL 254-2016 PO-2016 juhiste. [36]

Vaivundamendite koordinaadid võeti kameraaltööde käigus vaivundamendi plaanilt. Märkimiseks kasutati VS & X Seeria 360° prisma ja spreivärvi. Kuna vundamentide väljamärketöid teostati talvel, osutus märkide püsivuse tagamiseks vajalikuks püstraudade löömine märgi tsentrisse.

Löömiskalde järgi jaotati vaivundamendid otse löödavateks vaiadeks ja viltu löödavateks vaiadeks. Otse löödavate vaiade puhul märgiti maha vaia täpsed keskkohad (Foto 11).



Foto 11. Otse löödava raudbetoonvaia keskkoha märk maapinnal koos vaia numbriga

Viltuste vaiade puhul tuli arvesse võtta vaia kaldenurka v ning väljamärketööde teostamise hetkel oleva maapinna kõrguse ja spetsiaalse vaia lõikekõrguse vahet Δh . Alljärgneva valemi (1) [37] abil arvutati välja kauguse nihe s (m) vaia keskkohast 1 m maapinna muutuse kohta:

$$s = \frac{\Delta h}{\arctan v}. \quad (1)$$

Vaiade löömiskõrgused, lõikekõrgused ja kalded olid antud eraldi vaivundamentide loetelus. Vaivundamendid paigaldati samaaegselt kogu ehitusobjekti ulatuses, välja arvatud ehitusobjekti sissesõiduteele, mille vaiad löödi peale elementkonstruktsioonide püstitamist A, B ja C majas.

Kokku märgiti ehitusobjektile maha 612 vaia.

Vaivundamentide mahamärgimise järgselt tuli igale vaivundamendile märkida vähemalt ühele küljele vaia lõikekõrgused (Foto 12). Selleks võeti kasutusele sama *.txt fail, mille abil sooritati vaivundamentide väljamärketöid. Igale vaia keskkoha koordinaadile anti projektijärgne lõikekõrgus vaivundamentide loetelust ning kasutades DR mõõtmismeetodit ja laserit, suunati laser *pööra* funktsiooni kasutades raudbetoonvaiale. Vajadusel reguleeriti kõrgust õigesse projektasendisse ja tehti märke kasutades markerit ja spreivärvi.



Foto 12. Lõikekõrguste märgid raudbetoonvaiadel

Lubatud kõrvalekalded vaivundamentide paigaldamisel [10]:

- üksikul vaial horisontaalsuunas ± 100 mm;
- vaiarühmal horisontaalsuunas ± 100 mm;
- üksiku vaia kalle ± 40 mm/m;
- samasuunaliste vaiade kalle ± 20 mm/m;
- vaia kaldesuund kraadides 5° .

2.3.4 Monoliitsed vundamendid

Vaivundamendi vaiad seoti ehitusobjektile armeeringuga ning kohapeal ehitatud raketised täideti sellejärgselt betooniga. Siinkohal tuleb juhtida tähelepanu tõsiasjale, et raketise ehitamise täpsusest ja konstruktsiooni püsivusest oleneb ka vundamendi täpsus ja püsivus [1, lk 86].

Vundamentide ehitamisel on kõikideks geodeetilisteks töödeks vajalikud vundamendi plaanid ja lõiked [1, lk 86].

Objektile ehitatavate raketiste nurgapunktid tuli enne ehitamist märkida maapinnale kasutades spreivärvi ja VX & S Seeria 360° prismat.

Ehitusobjektile rajatavad monoliitsed vundamendid võis jagada kuju ja mõõtmete järgi lintvundamentideks ja kannvundamentideks. Lintvundamentidele toetusid edasises ehitusetapis

betoonelementkonstruktsioonid. Kannvundamentide puhul oli tegemist üksikute eraldiseisvate vundamendikannudega, mille peale hilisemas ehitusetapis olid planeeritud ümmargused või nelinurksed sambad, mis olid mõeldud toestamaks autohalli katust. Näide kannvundamentide väljamärgimisest (Foto 13).



Foto 13. Vundamendikannu märgetööd ehitusobjektil: punase spreivärviga maha märgitud vundamendikannu nurgapunkt

Lisaks vajas mahamärgimist kahe projekteeritud tornkraana vundament – A ja B kortermaja tornkraana vundament ning C kortermaja tornkraana vundament.

Nii A, B kui ka C maja vundamendid rajati eraldi etappidena. B ja C maja vundament rajati samaaegselt A maja elementkonstruktsioonide püstitamisega.

Objektile lähtuti antud betoontarindi rajamisel SFS-EN 13670 sätestatud tolerantsidest. Rajatud hoonetele kohaldati esimese tolerantsiklassi (tavaklassi) nõudeid, mille kohaselt on maksimaalne lubatud tolerants monoliitsete vundamentide puhul [10]:

- plaaniliselt ± 30 mm;
- kõrguslikult ± 10 mm.

2.3.5 Sarrused ja ankrupoldid

Betoonivalamise aegselt märkis autor spreivärviga ja miniprismat kasutades valatud röstvärgile sarruste asukohad (Foto 14). Sarruste pikkused jäid vahemikku 600-1500 mm. Sarruste märketööd olid vajalikud soklielementide omavaheliseks sidumiseks sarrustega peale betooni kuivamist. Sarrustele kohaldati tolerantsid nende pikkuste järgi vastavalt Soome betooniliidu poolt väljastatud normidele. Sarrustele pikkusega 600-900 mm kohaldati täpsusnõue ± 15 mm. Sarrustele pikkusega 1200-1500 mm kohaldati täpsusnõudeks ± 20 mm. [10]



Foto 14. B maja betoonivalu objektil 2022. aasta aprillikuus

Ankrupoltide keskkohad märgiti ja paigaldati enne betoneerimistöödega alustamist vineerplaadile, mille toetuse raketisele tagasid puitprussid (Foto 15).



Foto 15. Vineerplaadile paigaldatud ankrupoldid [38]

Lisaks märgiti vineerile ankrupoldi projektkõrgus vineerplaadi suhtes. Ankrupoltide augud freesiti läbi vineerplaadi ja peale paigaldamist viis autor läbi kontrollmõõdistuse poltide plaanilise ja kõrgusliku asukoha määramiseks. Vajadusel korrigeeriti ankrupoltide asukohti. Kontrollmõõdistust korراتi ja vajadusel polte reguleeriti vundamendi valamise järgselt. Ankrupoltide kõrgused määrati lõikejooniste järgi.

Objekti monoliitsete konstruktsioonide tööde kirjelduses on antud poldirühmade maksimaalsed lubatud hälbed.

Ühe ankrupoldi asukoha kõrvalekalle ankrupoltide rühma siseselt [39]:

- plaaniliselt ± 2 mm;
- kõrguslikult ± 5 mm.

Ankrupoldi grupi keskpunkti asukohalise hälbe maksimaalsed väärtused [39]:

- plaaniliselt ± 5 mm;
- kõrguslikult ± 10 mm.

2.3.6 Elementkonstruktsioonid

Ehitusobjekti korterelamud monteeriti paika tõstetavatest elementkonstruktsioonidest, vahelaepaneelidest ja trepimarssidest. Elementkonstruktsioonid jaotati asukohast lähtuvalt siseseina- ja välisseinapaneelideks ning sokli- ja korrusepaneelideks. Liftišahtide puhul kasutati monteeritavaid neljast seinast koosnevaid elemendiplokke. Lisaks tõsteti iga korruse vahelaepaneelide peale tehases valmistatud sanitaartehtnilised vannitoad. [1, lk 181]

Autori töö hulka ehitusobjektil kuulusid nii korruse kui ka soklielementide väljamärketööd (Foto 16). Erinevus sokli- ja korruspaneelide märkimisel seisnes elemendi nurkade märgitavas pooles. Soklielementide puhul märkis autor seinapaneelide välimised nurgad, korruspaneelide puhul välisseinapaneelide sisemised nurgad. Lisaks määrati korrusesti asukohad liftišahti välimistele nurkadele ja ka paika tõstetavate sanitaartehtniliste vannitubade välisnurkadele. Igale korrusele paigaldati kõrgusreeper asfaldinaela näol. Kõrgus määrati asfaldinaelale trigonomeetrilise nivelleerimise teel, miniprismat kasutades. Väliarvuti lihtmõõtmise funktsiooni alt mõõdeti kõrgus ühekordse mõõtmisega (STD) millimeetri täpsusega ühes poolvõttes. Seinanurgad märgiti vahelaepaneelidele markeriga. Halva ilmastiku korral paigaldati naelad ja kasutati spreivärvi. Märkimistööd viidi läbi miniprismat kasutades. Suurimad lubatud kõrvalekalded olid liftišahtil ja elementkonstruktsioonidel detailjooniste järgi ± 10 mm [10].



Foto 16. Praktikant teostamas lõputöö ehitusobjektil B maja elementkonstruktsioonide väljamärketöid

2.3.7 Autohall

A, B ja C maja ühendava autohalli lagi valati vineerist ehitatud raketise näol betooniga. Lagi toetus osaliselt sammastale ja monoliitsele välisseinale.

Sambad märgiti kuivanud vundamendikannu peale kasutades miniprismat ja markerit. Neljakandiliste postide puhul märgiti posti neli nurka, ümmarguste postide puhul jaotati postid neljaks sektoriks, mille välisringi punktid märgiti vundamendile. Lubatud maksimaalne hälve plaaniliselt nii monoliitsetel kui monteeritavatel postidel oli ± 10 mm.

Monoliitse seina puhul märgiti vundamendile seina mõlemad pooled – nii seina algus kui ka lõpp-punktid.

Enne betoonivalu märkis autor avade keskkohad, mis tuli jätta betoonivalu ajal valamata. Samuti tuli märkida rõduvundamendi asukohad, kuhu paigaldati töömeeste poolt betoonist välja ulatuvad rauad hilisemaks rõduvundamendi sidumiseks autohalli katusega.

Peale betooni kuivamist autohalli katusel märgiti rõduvundamendi raudade ümber miniprismaga täpsed rõduvundamendi nurgapunktid, mille peale paigaldati hilisemas etapis rõduelemendid. Lisaks nurkadele tuli DR meetodil laseriga kanda nii A, B kui ka C maja rõduelementide poolsetele seinadele

projektijärgsed meetrimärgid. Meetrimärgid kanti kõikidele korrustele. Ligipääsetavus tagati autorile korvtõstukiga.

2.3.8 Siseseinad

Kõikides majades tuli peale püstitamist märkida ehitavate siseseinade asukohad. Märkida tuli siseseinade valmispinna nurgad ja uste asukohad.

Selleks valmistati kameraaltööde käigus ette vastava maja ja vastava korruse arhitektuuriline joonis. Jooniselt võeti välja siseseinte nurgapunktid ja uste kohad. Eraldi tekstifail loodi tahhümeetri orienteerimiseks korterites. Välja võeti kõikide korterite sisenurkade punktid 10 cm nurgast eemalt.

Korteri sisenurkadesse tegi autor märgistuse silmade kõrgusele mõõdulindiga ja 10 cm nurgast eemalt. Seejärel tahhümeetrit orienteerides DR meetodil viseeriti laser tehtud märgi tsentrisse. Igas korteris viidi läbi tahhümeetri orienteerimine „vaba jaama” põhimõttel kasutades nelja tekstifailis loodud korteri sisenurka. Standarvead jäid orienteerimise kinnitamisel vahemikku kuni 0,010 m X ja Y koordinaatide puhul, mille täpsus oli piisav siseseinade märkimiseks. Z koordinaadi standardvead loeti orienteerimise kinnitamisel ebaoluliseks.

Märkimismeetodi poolest viseeriti laserkiir lakke. Viseerimise täpsust hinnati lakke viseeritud laseri vertikaalkauguse (täida/lõika) vahemikku kasutades. Antud vahemik tuli viia nulli muutes väliarvutis ette näidatud punkti kõrgust ning seejärel kasutades funktsiooni *pööra* (Foto 17). Siinkohal tuleb välja Z koordinaadi ebaolulisus standardvigade kinnitamisel.

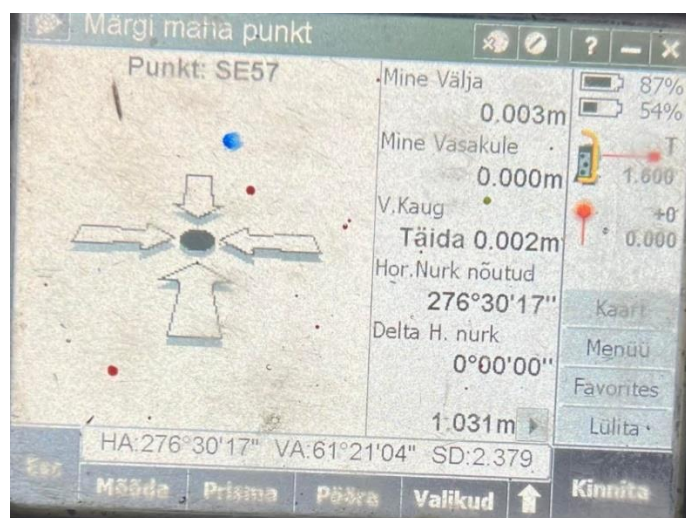


Foto 17. Väliarvuti kuvatõmmis siseseina punkti märkimisel

Lasertäpi suurust pinnal mõjutavad lasertäpi kaugus objektist ja divergentsi nurk ehk laseri hajuvus. Sellepärast on oluline tahhümeetri seisupunkti asetus korteris siseseinte märkimise puhul lakke. Mida suurem on laserkiire langemisnurk, seda rohkem hakkab laserkiir hajuma, põhjustades märkimisel esineva vea suurenemist. 90° langemisnurga juures ei ole võimalik enam laserkiirt näha. Seega, mida väiksem on laserkiire langemisnurk pinnanormaali suhtes, seda täpsemalt on võimalik määrata punkti asukohta. [40]

Suuremate korterite puhul, kus siseseinad paiknesid üksteisest 5 m raadiuses või kaugemal, märgiti siseseinad mitmest seisupunktist. Väiksemate korterite puhul või korterites, mille siseseinad paiknesid vähem kui 5 m raadiuses märgiti siseseinad ühest seisupunktist. Märketöid teostati redeli pealt ja kasutades markerit.

2.3.9 Kõrguste üle kandmine korruseti

Iga korruse liftišahti, korterite välisuste, rõduuste ja vannitubade juurde tuli paigaldada projektijärgne meetrikõrgusmärk. Märgid olid vajalikud uste paigaldamiseks ja põrandavalu jaoks. Aluseks võeti iga korruse koridori paigaldatud kõrgusreeper, millele anti õige väärtus seisupunkti kõrguse sisestamisel peale vabajaama orienteerimist. Esialgsed kõrgused kanti laseriga korterite välisustele, ning seejärel ristloodlaserit kasutades edasi korteritesse. Märgid tehti harilikku pliiatsit ja markerit kasutades lasertäpi/laserjoone keskele ja tõmmati sirge joon miniloodi abiga. Juurde kirjutati markeriga joonel asuv kõrgus.

Kõrgusi „vedades” kontrolliti loodlatiga paigaldatud vannitubade lävepakkude kõrgusi, mis pidid jääma projektijärgsest põrandakõrgusest +10 mm kuni +20 mm kõrgemale. Samuti kontrolliti trepimarsside ülemist astet, mis pidi vastama projektijärgsele põranda kõrgusele. Erinevus ei tohtinud olla suurem kui ±5 mm.

3 TEOSTUSMÕÕDISTAMINE

3.1 Tehnoloogia teostusmõõdistamisel

Teostusmõõdistamise eesmärgiks on ehitise (või selle osa) asendi tehniliste andmete fikseerimine ja dokumenteerimine. [41]

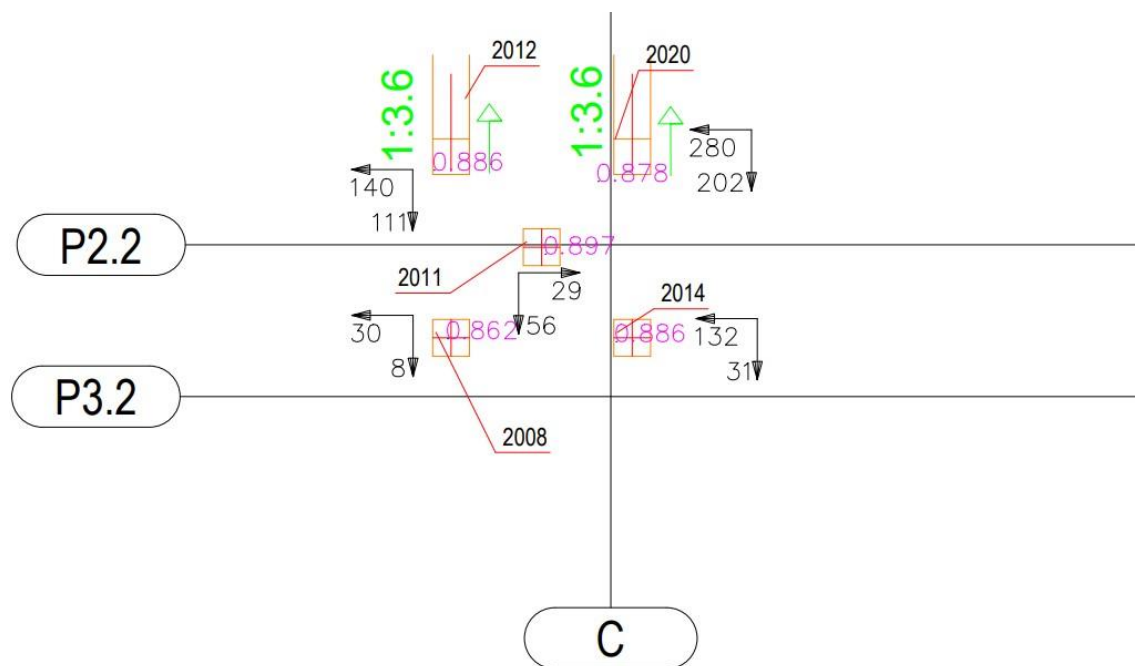
Orienteerimisprogramm läbiti vastavalt punktis 1.5.1 mainitule. Lisaks peeti kinni vaba jaama asukohavaliku põhimõtetest. Mõõtmisel kasutati väliarvuti teostusmõõdistuse funktsiooni *nurgad ja kaugused*. Mõõdetavale punktile anti nimi ja lisati kood, eristamaks punkte kameraaltööde etapis. Punktide eristamiseks jooniste vormistamisel on kasulik lisaks koodidele teha mõõdetavatest konstruktsioonidest pildid või videod. Mõõtmisi viidi läbi liikudes kaugemal asuvast punktist tahhümeetri poole ning tehes mõõdistuse aegselt kontrolli orienteerides tahhümeetrit lähtesuunale. Lähtepunkt koordineeriti uuesti ja võrreldi algsete lähtepunkti koordinaatidega. Koordinaatide erinevusel plaaniliselt ja/või kõrguslikult üle ± 5 mm teostati tahhümeetri uus orienteerimine.

3.2 Mõõdistatavad konstruktsioonid

3.2.1 Vaivundamendid

Vaiade teostusmõõdistamisel mõõdeti lõikekõrguselt murtud vaiadiagonaalide otspunktid. Kahe diagonaalis paikneva otspunkti vahele tõmmati AutoCAD programmis joon, mille keskkoha loeti vaiapea keskkohaks. Saadud vaia keskkoha koordinaate võrreldi projektijärgse vaia keskkoha koordinaatidega ning määrati koordinaatide vahelised telgedesuunalised hälbed AutoCAD tarkvaras. Antud tegevusega määrati konstruktsioonile absoluutne viga. Vaiadiagonaalide otspunktide mõõtmine ei olnud alati võimalik vaiapeade halva murdumise tõttu kuna sellisel juhul ei olnud kõikide vaiade otspunktid selgelt eristatavad. Lahendusena üritati leida vaiapeade keskkohad. Lisaks plaanilisele asendile teostati vaiapeade kõrguste mõõdistus lähedale vaiapea keskele. Mõõdistatud punktide eristamiseks anti väliarvutis igale punktile vastav kood. Mõõdistusi teostati miniprismaga ühes poolvõttes.

Suurim hälve mõõdeti kalde all olevatel vaiadel, milleks oli -280 mm projektijärgse asukohaga võrreldes (Joonis 9). Hälbe suurus plaaniliselt ületab -180 mm lubatud maksimum hälbe suurusest (± 100 mm).



Joonis 9. Väljavõtte vaiade teostusjoonisest: musta noole suund ja number näitavad vaia tegeliku asukoha ja projektijärgse asukoha telgedesuunalist erinevust mm-tes; rohelisega noole suund ja number näitavad vastavalt vaia kaldesuunda ja kallet peale maasse löömist m-tes; roosaga tegelik vaiapea kõrgus peale maasse löömist m-tes

Nurga all löödud vaiadel mõõdeti lisaks asukohale kaldu oleva külje keskkoha kaks punkti erinevalt kõrguselt, arvutamaks vaia tegelikku kallet v peale maasse löömist. Kalle arvutati enne vaia löikamist. Mõõdulindiga tehti vaia külje keskkohale markeriga kaks märget – üks löikamata vaiapea lähedale, teine maapinna lähedale. DR meetodil laserit kasutades koordineeriti märgistatud punktid väliarvutisse. Arvutatud kaldeid näidati vaiade teostujoonisel.

Kalle v (m) leiti valemiga (2) [37]

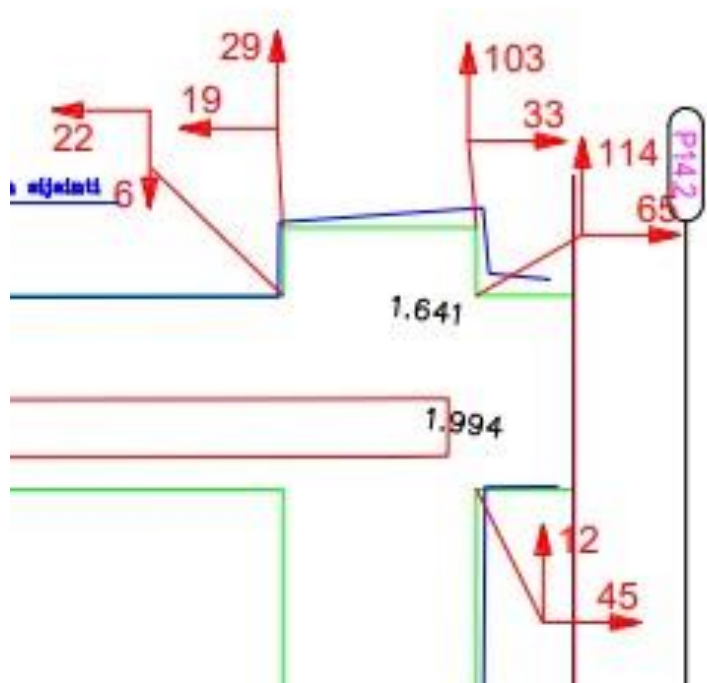
$$\arctan v = \frac{\Delta h}{s}, \quad (2)$$

kus Δh – mõõdetud punktide vaheline kõrguslik tõus, m;

s – mõõdetud punktide vaheline kaugus, m.

3.2.2 Kraanavundament

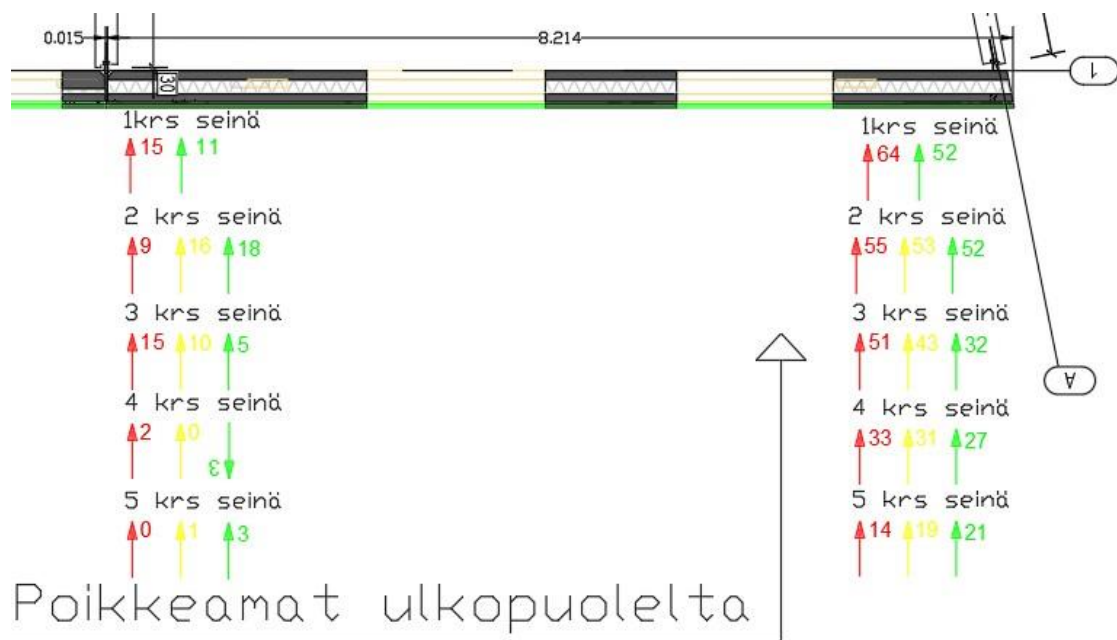
C maja kraanavundamendi teostusmõõdistamisel koordineeriti vundamendi nurgad. Lisaks mõõdeti tornkraana alustoe nurgad, kõrgused ja neli vundamendi nurkadesse paigaldatud asfaldinaela. Kuna tekkis kahtlus tornkraana vajumise osas, kontrolliti kuu aja jooksul iganädalaselt kõrguste potentsiaalseid vajumeid afaldinaeltele ja alustugedele paigaldatud märkide järgi. Teostusjoonisele kanti projektjoonisega võrreldes hälbed ja vastavad parandid. Suurim saadud hälve vundamendi nurkades projektjoonisega võrreldes oli +103 mm (Joonis 10). Hälbe suurus plaaniliselt ületab +91 mm lubatud suurimast hälbe suurusest (± 12 mm). Projekti järgi nähti kraanavundamendi kõrguseks +1.650 m. Kõige suurem erinevus võrreldes projektijärgse kõrgusega oli -9 mm, mis jääb lubatud kõrgusliku hälvete piiridesse (± 10 mm). Mõõdistusperioodi jooksul kogutud kõrguslike andmete põhjal võib öelda, et tornkraana vajumist ei toimunud.



Joonis 10. Väljavõte C maja tornkraana teostusjooniselt: punase noole suund ja number näitavad vundamendi tegeliku asukoha (joonisel sinise joonega) ja projektijärgse asukoha (joonisel rohelise joonega) telgedesuunalist erinevust mm-tes; mustaga näidatud tegelikud kõrgused m-tes

3.2.3 Kortermajade rõdupoolsete elementkonstruktsioonide vertikaalasendi teostusmõõdistamine

Vertikaalasendi koordinaadid määrati kortermajade rõdupoolsetele elementkonstruktsioonidele igal korrusel. Elementkonstruktsioonide välimise poole ülemised ja alumised servad mõõdistati DR meetodil laseriga. Lisaks mõõdistati elemendiservade keskkohad. Hälbed joonisel näidati projektijärgse asukoha järgi (Joonis 11). Suurimaks erinevuseks vertikaalasendi määramisel saadi A kortermaja mõõdistamisel, milleks oli +64 mm. Hälbe suurus ületab +54 mm lubatud suurimast hälbe suuruselt (± 10 mm).



Joonis 11. Väljavõte A maja elementkonstruktsioonide teostusjooniselt: punasega elemendi alumise serva hälbe suund ja suurus mm-tes; kollasega elemendi serva keskkoha hälbe suund ja suurus mm-tes; rohelisega elemendi ülemise osa hälbe suund ja suurus mm-tes

3.2.4 Kameraaltööd teostusjooniste vormistamisel

Mõõdistatud andmete koordinaatide kättesaamiseks väliarvutist exporditi failid *.txt formaati. Trimble Business Center vahendusel koguti andmed Windows sülearvutisse. Edasiselt failid puhastati kustutades info seisupunktide andmetest tekstifailis. Puhastatud tekstifailid konverteeriti vastavat tarkvara kasutades *.dxf formaati, mille järel lisati fail plokina eelnevalt puhastatud projektasendis olevale joonisele, mille suhtes hälbeid hakati näitama.

Autor näitas teostusjoonistel kajastuvaid hälbeid objekti telgede suhtes, mille jaoks tuli joonis pöörata telgedega ortogonaalseks. Selleks kasutas autor UCS käsklust AutoCAD-is. UCS ehk *User Coordinate System* lubab luua uue koordinaatsüsteemi ehk pöörata X ja Y tasapinda.

Hälvete arvutamiseks on AutoCAD-i tarkvara MKM lisas automaatkäsklus telg. Antud käsklus kalkuleerib hälbed $\delta X, \delta Y, \delta Z$ (mm) teostusmöödistamisel saadud koordinaatide ja projektijärgsete koordinaatide vahel sarnaselt alljärgnevatele valemitele (3) (4) (5) [1, lk 90]:

$$\delta X = X - X_{pr}, \quad (3)$$

$$\delta Y = Y - Y_{pr}, \quad (4)$$

$$\delta Z = Z - Z_{pr}, \quad (5)$$

kus X, Y, Z – möödistatud koordinaadid;
 X_{pr}, Y_{pr}, Z_{pr} – projektijärgsed koordinaadid.

Teostusjooniste vormistamisel kasutas autor mõõtkava 1:500 või 1:1000. Joonised esitatati digitaalsel (*.dwg) ja paber kandja kujul (*.pdf). Teostusjoonistele esitatavaid nõudeid ei olnud üheselt määratletud.

Teostusjoonistel esitati:

- möödistatud objekti asukoht, aadress ja nimetus;
- tellija nimi;
- möödistamise läbi viinud isiku ja ettevõtte andmed koos möödistamise kuupäevaga;
- vajalikud abijoonised;
- objekti teljed, kus vähemalt kahel telje ristumispunktil näidatud koordinaadid;
- põhja-lõuna suuna tähis projektasendis jooniste puhul.

4 ESILEKERKINUD PROBLEEMID

4.1 Ebasoodsad mõõtmistingimused

Ehitusobjektil teostati välitingimustes mõõdistustöid aastaringsest. Sellest tulenevalt olid ka ilmastikutingimused erinevad. Esines tugevat vihma, suuri temperatuurimuutusi, tuisku, ja udu.

Kõige ebasoodsamad mõõtmistingimused esinesid talvel. Tuisu korral esines probleeme tahhümeetri autolukustussüsteemi kasutamisega. Tahhümeetri pikksilmale ja prismale tekkinud lumi/vihm pärssis geodeetiliste tööde teostamist. Lahendusena kasutati tahhümeetril pikksilma ümber asetatavat vihmakaitset, mis pidurdas lume/vihma sattumist pikksilma läätse peale. Märkide hävinemise tõenäosus oli samuti talveperioodil suurem tänu pidevale lumesajule. Lisaks tuli kasutada asfaldinaelu/terasvardaid märkimistöödel. Statiivijalgade asetamisel maapinnale tuli jälgida, et maapinna alla ei jääks lund ega jääd. Vastasel juhul ei olnud tahhümeetri ja statiivi asendi stabiilsus enam tagatud. Ajakulu geodeetiliste tööde sooritamisel oli tänu ülal mainitule talveperioodil oluliselt suurem võrreldes muude aastaegadeaga.

Orienteerumisprogrammi läbimisel tugeva udu korral muutus raskendatuks tahhümeetri reflektorkleepsule viseerimine ja selle mõõdistamine. Mõõtekaugus lähtepunktile märkis udu korral suurt rolli ja võimalusel eelistati lähedamalasuvaid reflektorkleepse. Tugeva tuule korral asetati statiivjalad laiemalt tavapärase 1 m vahemaa asemel vältimaks instrumendi ebastabiilset asetust.

Muudeks füüsikalisteks teguriteks, mis raskendasid geodeetiliste tööde teostamist objektil olid veel tekkinud vibratsioon, ebapiisav valgustus, korrastamata ehitusplats, õhu konvektsioon, refraktsioon ning pidev liikumine tahhümeetri ja prisma vahel, mistõttu ei olnud tahhümeeter suuteline enam prisma jälgima.

4.2 Inimvead

Vältimaks ehitusalaseid vaidlusi geodeedi, töö tellija ja ehitustööliste vahel, mis on tingitud mingisuguse teatud konstruktsiooni valesti ehitamisest, tuleb kasuks, kui väljamärgitavad punktid oleksid säilinud ka peale ehituskonstruktsiooni püstitamist. Säilinud punktide abil on kiiresti võimalik kindlaks teha veaallikas.

Lõputöö ehitusobjektil esines valesti ehitatud/püstitatud konstruktsioone nii elementide paigaldamisel, vundamentide rajamisel kui ka vaiade löömisel.

Elementide paigaldamisel olid põhiprobleemiks A maja esimese korruse osad rõdupoolsed seinad. Uurimise käigus selgus, et elemendipaigaldajad olid asetanud elemendid märgist mööda maksimaalselt +54 mm. Antud probleemi veaallikas tehti kiiresti kindlaks, kuna geodeedi paigaldatud asfaldinaelu, mis tähistasid elemendinurkade asukohti oli betooni alt näha. Maksimaalne vahemik elementide kõrvalekalletes ületas 6,4 korda lubatud määra. Ühtlasi saadi betoonelementide teostusmõõdistamisel suurimad kõrvalekalded võrreldes teiste teostusmõõdistatud konstruktsioonidega. Probleem avastati 2. korruse elemendinurkade märketöödel ja ainsa lahendusena nähti järgnevate korruste elementidega järk-järgulist tagasitulekut projektasendi poole.

Vaiade puhul veaallikat peale maasse löömist kindlaks määrata ei suudetud kuna märgid olid hävinenud. Enamus vaiasid jäid siiski lubatud normi piiresse. Kõige suurem hälve projektijärgse asukohaga võrreldes oli plaaniliselt -180 mm. Antud seisukord dokumenteeriti ning hilisemalt midagi ette ei võetud.

Trepimarsside paigaldamisel C majas tehti samuti kõrguslikke vigu, mis jäid ± 10 mm piiresse. Lahendusena reguleeriti trepimarsside kõrgust nii, et need ei ületaks ± 5 mm.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös tutvustati Soomes, Espoo linnas asuva ehitusobjekti geodeetilise teenindamise etappe. Geodeetilise tööde kategooriatest kirjeldati teostusmöödistuse ja märketööde teostamist hoonete rajamisel.

Ülevaade anti objekti ehitusgeodeetiliste tööde teoreetilisest poolest. Geodeetilistel töödel kasutati ETRS-GK25 tasapinnalist ristkoordinaatide süsteemi ja N2000 kõrgussüsteemi. Eraldi ortogonaalset tugivõrgustikku ega nullkõrguse sidumist absoluutkõrgusega ei toimunud. Põhilise instrumendina oli kasutusel Trimble S5 elektrontahhümeeter 2" nurgamõõtmistäpsusega. Töös kirjeldati asukohamäärangu metoodikat geodeetilise tugivõrgu loomisel, milleks autor kasutas varasemalt koordineeritud tugivõrgupunkte. Ehitusgeodeetilisi töid teostati ehitusnõudeid ja määrusi silmas pidades nii täpsuse kui ka ohutuse poolelt.

Kameraaltööd moodustasid ligi poole kõikidest ehitusgeodeetilistest töödest objektil. Kameraaltöid teostati AutoCAD tarkvara kasutades. Kameraaltööde käigus valmistati joonised ette märkimistöödeks neid modelleerides vastavalt kasutusotstarbele ja viies joonised õigesse projektkasendisse ning mõõtkavasse. Lisaks vormistati peale teostusmöödistamist saadud andmed hilisemas kameraaltööde etapis.

Jooniste ettevalmistus kameraaltööde faasis oli aluseks märketöödele. Autor teostas märketöid sellistele ehituskonstruksioonidele nagu vaivundamendid, monoliitsed vundamendid, ankrupoldid, sarrused, postid, seinad, trepimarsid ja sanitaartechnilised vannitoad. Konstruksioonidest lähtuvalt erinesid ka tehnoloogiad ja täpsusnõuded, mida autor lõputöös kirjeldas. Kõige suuremad vead olid lubatud vundamentide rajamisel. Vaivundamentide puhul oli lubatud veaks ± 100 mm. Sellele järgnesid monoliitsed ja- kannvundamendid, mille lubatavaks veaks määrati plaaniliselt ± 30 mm ja kõrguslikult ± 10 mm. Postide, seinte, trepimarsside ja sanitaartechniliste vannitubade täpsus pidi nõuetekohaselt jääma ± 10 mm piiridesse. Ankrupoltide täpsusnõuded olid kõige rangemad. Eksimuse maksimaalne määr oli poldirühma sisese plaanilise asendi puhul ± 2 mm ning kõrguslikult ± 5 mm.

Projektijärgsete kõrvekallete kindlaks määramiseks olulisemad ehituskonstruksioonid teostusmöödistati. Autor analüüsis töös saadud kõrvalekaldeid ja võrdles lubatuga. Suurimaks kõrvalekaldeks peeti A maja elementkonstruksioonide püstitamisel tehtud jämedaid vigu. Maksimaalselt ületasid antud hälbed 6,4 korda lubatud määra. Antud hälvete suurused

dokumenteeriti ja neid näidati teostusjoonisel nagu ka kõigi teiste teostusmöödistatud konstruktsioonide puhul.

Esilekerkinud probleemidest tooks autor esile ebasoodsaid ilmastikutingimusi ja ehitamisel tehtud inimvigu. Antud vigade kombinatsioon sai määravaks objekti ehituskonstruktsioonide kõrvalekalletes.

Tuleb siiski nentida, et ühegi hoone rajamine ei möödu ilma komplikatsioonideta. Geodeedi panusel ehitusobjekti teenindamisel on suur osa tagamaks nõuetekohaselt ehitatud, turvaline ning kauakestev hoone.

SUMMARY

The following thesis *Geodetic Surveying on the Construction Site* is an overview of the construction survey methods and data collection performed by the author. The construction site is in the city of Espoo, Finland. The construction site consists of two apartment buildings. One building consists of two parts, buildings A and B, while the other is a separate building C.

Author describes the execution of surveying during the construction. Construction survey ensures the accuracy of the building's position according to the project documentation.

The graduation thesis is composed of four chapters, each of them dealing with different aspect of geodetic tasks on the construction site.

Chapter 1 is introductory which gives an overview of the coordinate systems used on the construction site, instruments, and general requirements of the construction surveying. Author takes safety as a topic and reflects the dangers associated with geodetic surveying on a construction site.

In the case of the second chapter of the thesis, emphasis is placed on the description of surveying processes using AutoCAD software, as well as on the execution of fieldwork done on the site. The author describes the fieldwork, which was conducted on building structures such as pile foundations, monolithic foundations, anchor bolts, reinforcing steels, posts, walls, staircases, and bathroom elements. The author describes the technologies and accuracy requirements used in the marking of these building structures, which differ from one structure to another.

Chapter 3 further explains how as-built measurements are conducted and how the formalization of this data is made in AutoCAD software. Constructed buildings often lack accurate documentation of the as-built condition, however those measurements are necessary to determine the value of deviations made during the construction. As-built surveys were made by author for pile foundations, monolithic foundations, and walls. Deviations are presented on as-built drawings to reflect how the final building differs from the original plan.

The conclusions are drawn in the last chapter of the thesis. The graduate analyses the absolute errors obtained during the as-built measurements. Common surveying problems that occurred during surveying are also identified.

The most common surveying problems that occurred during the construction surveying were due to severe weather circumstances and untidy construction site. The biggest deviations were allowed in

the construction works of pile foundations. The permitted deviation compared to the project was ± 100 mm. The highest accuracy requirements were set for the location of the anchor bolts, the range of which could not exceed ± 2 mm.

The analysis of absolute errors showed that the biggest mistakes were made during the construction of the element structures of house A. At most, these deviations exceeded the permissible rate by 6.4 times. The magnitudes of these deviations were documented and shown on the construction as-built drawing as with all other structures measured after building.

Construction sites generally have some problems, therefore, from the author's point of view, the contribution of the surveyor on the construction site is particularly important to ensure a high-quality, safe, and long-lasting building.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] V. Kala, *Ehitusgeodeesia*, Tallinn, TTÜ kirjastus, 2008, lk 271.
- [2] Finnish Geodetic Institute, National Land Survey of Finland, „The Finnish coordinate reference systems,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Finnish_Coordinate_Systems.pdf. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [3] National Land Survey of Finland, „Reference systems for coordinates and heights,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.maanmittauslaitos.fi/en/research/research/research-groups/previous-research-groups/coordinate-reference-systems-and>. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [4] H.Koivula, A.Laaksonen, S.Lahtinen, J.Kuokkanen, S.Marila, „Finnish permanent GNSS network, FinnRef,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://fig.net/resources/monthly_articles/2017/Koivula_etal_August_2017.asp. [Kasutatud 12. veebruar, 2023].
- [5] E. Uikkanen, “Finnish coordinate systems,” *Eino Uikkanen's homepage*, 2021.
- [6] Helsingin Kaupunki, „Geographic data materials,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.hel.fi/helsinki/fi/kartat-ja-liikenne/kartat-ja-paikkatieto/paikkatiedot+ja+aineistot>. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [7] M. Mäkela, „Overview to GIS coordinate systems,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://dev.solita.fi/2017/12/12/gis-coordinate-systems.html>. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [8] Finnish Meteorological Institute, „Theoretical mean water and geodetical height systems in Finland,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/theoretical-mean-sea-level>. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [9] Ehitusobjekti projektipank, „Rakennusselostus,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.b360.autodesk.com/projects/e84c8ed3-5f36-4bb3-8a31-0aa8f24475ce/folders/urn:adsk.wipprod:fs.folder:co.KaTVUtdpRR-Y-sdzIgzOug/detail>. [Kasutatud 19. veebruar, 2023].
- [10] Ehitusobjekti projektipank, „Ehitusalsed plaanid ja joonised,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.b360.autodesk.com/projects/e84c8ed3-5f36-4bb3-8a31-0aa8f24475ce/folders/urn:adsk.wipprod:fs.folder:co.KaTVUtdpRR-Y-sdzIgzOug/detail>. [Kasutatud 10. märts, 2023].

- [11] Occupational Safety and Health Administration of Finland, „Rakennusala,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala>. [Kasutatud 18. veebruar, 2023].
- [12] Finlex, „Finlex Data Bank,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.finlex.fi/en/>. [Kasutatud 18. veebruar, 2023].
- [13] Raksa, „Perehdytysmateriaali,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://raksa.eu/tms/bonava/common_ee/courseStart.php?action=startCourse&cn=bonava&token=NKaBrWcCTA7nAJJV14KJHbEV5nRfbPciQ3bxwrLFtGEVDDDD8kUuro6gIKCr96E5KlX4g___common_ee&userLang=en. [Kasutatud 18. veebruar, 2023].
- [14] Tondi koolituskeskus, „Soome tööturvalisuskaart,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.koolitamine.ee/koolitused/soome-tooohutuskaardi-koolitus>. [Kasutatud 18. veebruar, 2023].
- [15] Skanska OY, „Valttikortti-ohje,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.skanska.fi/4ae9a2/siteassets/tietoa-skanskasta/yhteistyokumppaneille/valttikortti-ohje.pdf>. [Kasutatud 18. veebruar, 2023].
- [16] ET Infokeskuse AS, „ETF-kartoteek,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://etfnet.ehituskeskus.ee/kartoteek/etf>. [Kasutatud 22. veebruar, 2023].
- [17] M. Whitt, „Trimble product comparisons & field tips,“ Positioning Solutions, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://positioningsolutions.com/blogs/product-info/total-station-comparison>. [Kasutatud 16. veebruar, 2023].
- [18] Precision Laser & Instrument, Inc., „Trimble S5 robotic DR plus, active total station,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.laserinst.com/trimble-s5-robotic-dr-plus-active-total-station/>. [Kasutatud 16. veebruar, 2023].
- [19] Trimble Inc., „Datasheet - Trimble S5 total station,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2021-02/Datasheet%20-%20Trimble%20S5%20Total%20Station%20-%20English%20US%20-%20Screen_0.pdf. [Kasutatud 16. veebruar, 2023].
- [20] R. Ranne, „Õppematerjal (Elektrontahhümeetrid, laserskänner),“ [Võrgumaterjal]. Available: https://moodle.tktk.ee/pluginfile.php/188633/mod_resource/content/1/Elektrontahh%C3%BCmeetrid%2C%20laserskanner.pdf. [Kasutatud 8. aprill, 2023].
- [21] Trimble Inc., „Datasheet - trimble TSC3 controller,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20->

%20Trimble%20TSC3%20Controller%20-%20English%20USL%20-%20Screen.pdf.

[Kasutatud 16. veebruar, 2023].

- [22] Trimble Inc., „Optical accessories,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://geospatial.trimble.com/Optical-Accessories>. [Kasutatud 4. aprill, 2023].
- [23] Geotrim OY, „Moniviivalaser spectra precision LT58G,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://geotrim.fi/shop/piste_ja_viivalaserit/moniviivalaser-spectra-precision-lt58g/. [Kasutatud 24. veebruar, 2023].
- [24] Hitechniques, „Wooden heavy duty tripod,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://hitechniques.ie/wooden-heavy-duty-tripod/>. [Kasutatud 17. veebruar, 2023].
- [25] BIM Learning Center, „BIM 101: Total station measurement methods,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://bimlearningcenter.com/bim-101-total-station-measurement-methods/>. [Kasutatud 8. aprill, 2023].
- [26] Surveyor.DEV, „Trimble VX&S series 360° prism,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://geomatics.cc/wiki/survey-prisms/trimble-vxs-series-360-prism>. [Kasutatud 17. veebruar, 2023].
- [27] Trimble Inc., „Target datasheet and optical accessories,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1017195/022516-415A_Target%20Datasheet_Optical%20Accessories_USL_0222_LR%20\(7\).pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1017195/022516-415A_Target%20Datasheet_Optical%20Accessories_USL_0222_LR%20(7).pdf). [Kasutatud 17. veebruar, 2023].
- [28] Geodirect, „Red mini prism with 4 section pole +17.5mm (Leica) constant,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.geodirect.com.au/red-mini-prism-with-pole-17.5mm-constant>. [Kasutatud 17. veebruar, 2023].
- [29] G. Mylne, „What is Trimble DR (Direct Reflex) plus,“ Surveyor Insider, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: https://surveyorinsider.com/trimble-direct-reflex-plus/?utm_content=cmp-true. [Kasutatud 8. aprill, 2023].
- [30] Trimble Inc., „Trimble S5 total station user guide,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.solitech.bg/uploads/assets/manual-trimble-total-stations-s5.pdf>. [Kasutatud 19. märts, 2023].
- [31] T. Lemmon ja R. Jung, „Trimble S6 with magdrive servo technology – Trimble White,“ Trimble Navigation Limited, 2023. [Võrgumaterjal]. Available: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-208581/022543-100_TrimbleS6_MagDrive_WP_1204_lr.pdf. [Kasutatud 19. märts, 2023].

- [32] Geosoft OÜ, „Teenindus,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://geosoft.ee/teenindus/>. [Kasutatud 19. märts, 2023].
- [33] National Land Survey of Finland, „Maps and spatial data,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.maanmittauslaitos.fi/en/maps-and-spatial-data>. [Kasutatud 11. veebruar, 2023].
- [34] K. Kirotam, „Ehitusgeodeesia,“ [Võrgumaterjal]. Available: [file:///C:/Users/hrist/OneDrive/T%C3%B6%C3%B6laud/TKTK/III%20aasta/Ehitusgeodeesia/Ehitugeodeesia%20materjalid/1-_Sissejuhatus%20\(2\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hrist/OneDrive/T%C3%B6%C3%B6laud/TKTK/III%20aasta/Ehitusgeodeesia/Ehitugeodeesia%20materjalid/1-_Sissejuhatus%20(2)%20(1).pdf). [Kasutatud 10. aprill, 2023].
- [35] R. Ranne, „Vaba seisupunkti koordineerimise täpsuse hindamine Martin Risti lõputöö põhjal,“ [Võrgumaterjal]. Available: file:///C:/Users/hrist/OneDrive/T%C3%B6%C3%B6laud/TKTK/L%C3%B5put%C3%B6%C3%B6%20ja%20I%C3%B5put%C3%B6%C3%B6%20seminar/huvitav/M.Rist.vaba%20sp%20elektrontahh%C3%BCmeetrid_print.pdf. [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [36] Ehitusobjekti projektipank, „Pinnaseuringud,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.b360.autodesk.com/projects/e84c8ed3-5f36-4bb3-8a31-0aa8f24475ce/folders/urn:adsk.wipprod:fs.folder:co.KaTVUtdpRR-Y-sdzIgzOug/detail>. [Kasutatud 26. veebruar, 2022].
- [37] Lolso OÜ, „1-kalde-arvutamine,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Available: [file:///C:/Users/hrist/Downloads/1-kalde-arvutamine\(AnnaAbi\).PDF](file:///C:/Users/hrist/Downloads/1-kalde-arvutamine(AnnaAbi).PDF). [Kasutatud 16. märts, 2023].
- [38] J. Kuuppelomäki, *Perustustöiden tarkastuslista*, Seinäjoki, Suomi: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, 2018, p. 29.
- [39] Vahanen Group, „Paikallavalurakenteiden työselostus,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.b360.autodesk.com/projects/e84c8ed3-5f36-4bb3-8a31-0aa8f24475ce/folders/urn:adsk.wipprod:fs.folder:co.KaTVUtdpRR-Y-sdzIgzOug/detail>. [Kasutatud 10. aprill, 2023].
- [40] T. Mill, „Pt_2_Ülesanne_1_2_3_Laser, Loengumaterjal,“ [Võrgumaterjal]. Available: file:///C:/Users/hrist/OneDrive/T%C3%B6%C3%B6laud/TKTK/II%20aasta/Ehitiste%20m%C3%B5%C3%B5distus/Pt_2_%C3%9Clesanne_1_2_3_Laser.pdf. [Kasutatud 14. märts, 2023].

- [41] „Topo-geodeetilisele uuringule ja teostusmõõdistamisele esitatavad nõuded,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119042016003>. [Kasutatud 16. märts, 2023].