



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGGKOO

Andy Pokk

TUULEPARGI GEODEETILINE TEENINDAMINE

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2024



Andy Pokk

TUULEPARGI GEODEETILINE TEENINDAMINE

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Rakendusgeodeesia

Juhendaja: Katrin Uueküla, *MSc*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Andy Pokk**

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Tuulepargi geodeetiline teenindamine

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, **Andy Pokk**

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

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

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja **Katrin Uueküla**

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1 EHTUSOBJEKT	7
1.1 Asukoht	7
1.2 Objekti tutvustus	7
1.3 Tööohutus ehitusplatsil	8
1.4 Isikukaitsevahendid	8
1.5 Kasutatud töövahendid	9
1.5.1 Elektrontahhümeeter Trimble S6 2" DR Plus	9
1.5.2 Väliarvuti Timble TSC7	10
1.5.3 Trimble R8s GNSS vastuvõtja	11
1.5.4 Trimble DiNi 0,3 mm digitaalnivelliir	12
1.5.5 Miniprisma Seco Sliding 360° Prism Kit.....	13
1.5.6 Põhiprisma Trimble Active Track 360° Target	14
2 GEODEETILINE MÕÕDISTUSVÕRK.....	16
2.1 Nõuded geodeetilisele mõõdistamisvõrgule	16
2.2 Nõuded tasapinnalisele mõõdistamisvõrgule	16
2.3 Nõuded kõrguslikule mõõdistamisvõrgule	16
2.4 Plaanilise mõõdistusvõrgu rajamine	17
2.5 Kõrgusliku mõõdistusvõrgu rajamine	18
2.6 Ehituskäigu rajamine	20
3 EHTUSGEODEETILISED TÖÖD	22
3.1 Ettevalmistustööd	22
3.2 Instrumendi orienteerimine	23
3.3 Raadamispiiride märkimine.....	24
3.4 Tuulikute tsentrite märkimine	25
3.5 Platside väljakaevete märkimine ja teostus	25
3.6 Piketaaži märkimine	26
3.7 Truubid, tuletõrje veevõtukohad, maaparanduskraavid.....	27
3.7.1 Truubid.....	27
3.7.2 Tuletõrje veevõtukohad/tiigid	27
3.7.3 Maaparanduskraavid	28
3.8 Tuuliku vundament.....	29
3.8.1 Vundamendi kaevik.....	29
3.8.2 Vundamendi killustikalus.....	31
3.8.3 Tööbetoon	32
3.8.4 Alumine tugirõngas	34

3.8.5	Ankrupoltide kõrguslik märkimine	36
3.8.6	Kontrollmõõdistus enne betooni	37
3.8.7	Vundamendi teostusmõõdistus	38
KOKKUVÕTE		40
SUMMARY		42
VIIDATUD ALLIKAD		43

SISSEJUHATUS

„Tuuleparkide rajamine on kulutõhus viis toota Eestis taastuvelektrit ning muuta seeläbi meie elektritootmist tulevikukindlamaks ning keskkonnasäästlikumaks.“ [1]

„Tuuleenergia on töökindel ja roheline viis, kuidas kasvavat energiavajadust rahuldada.“ [2]

„Mida tuulepargiks vaja on? Ühe tuulepargi püstitamiseks on vajalik leida sobilik maa-ala, kus tuulepark ei sega kohalikke elanikke ega koorma liigselt looduslikku keskkonda. Loomulikult on oluline, et tuulepargi asukohas oleks sobilik tuuleressursi olemasolu. Tuulekiirus 5-6 m/s on juba väga hea, et sellest elektrit toota.“ [2]

Lõputöö teemaks on tuulepargi ehituse geodeetiline teenindamine. Antud objekti mastaapsus pakkus autorile võimalust osa saada erinevatest geodeetilistest töödest, mis on seotud just eelkõige ehitusgeodeesiaga. Autor töötas geodeesia ettevõttes geodeediabi ametikohal. Objekt pakkus autorile huvi kuna on ise varasemalt olnud tööl erinevatel ehitusobjektidel ehitajana nii Eestis kui ka Soomes.

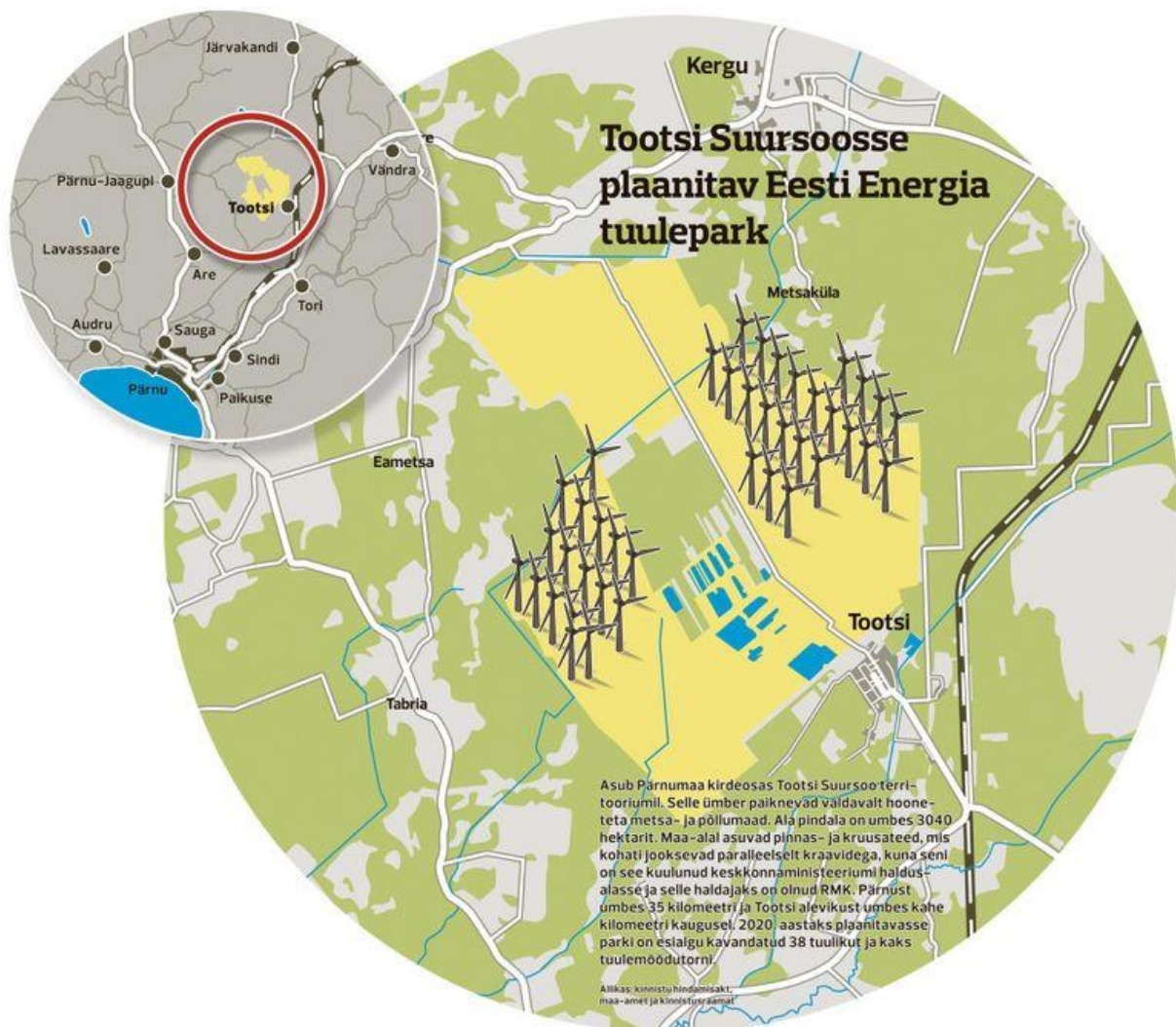
Objekti suuruse tõttu tuli ette erinevaid väljakutseid, mis nõudsid erinevaid oskusi tööde teostamisel.

Lõputöö eesmärgiks on anda valikuline ülevaade ehitusobjektile tehtud geodeetilistest töödest.

1 EHTUSOBJEKT

1.1 Asukoht

„Planeeringuala asub Pärnu maakonnas Vändra valla lääneosas Metsaküla ja Metsavere küla aladel (Joonis 1). Ala suurus on ca 4150 ha ning tegemist on valdavalt ammendatud turbaväljaga. Planeeringuala hõlmab Tootsi Suursood, mis on terves ulatuses turbapinnasega ala. Alale jäävad Pööravere turbamaardla passiivse ja aktiivse tarbevaru plokid.“ [3]



Joonis 1. Objekti asukoht [4]

1.2 Objekti tutvustus

„Enefit Green ehitab Põhja-Pärnumaale endisele turbamaardla alale Eesti kõige kaasaegsema taastuvenergeetika ala.“ [5]

„Tootsi asula lähistele kerkib 2024. aasta lõpuks 38 tuulikut ning ettevõtte plaanib tuulikute lähistele rajada ka suure päikesepargi. Sopi-Tootsi tuulepargi toodang katab ligi 8% kogu Eestis tarbitavast elektrist.“ [5]

„Tuulepargist saab Põhja-Pärnumaa vald igal aastal otsest rahalist kasu vastavalt riiklikule kohaliku kasu mudelile. Samuti saavad toetust pargi vahetusse lähedusse jäävate eluruumide omanikud.“ [5]

„Lisaks sellele võimaldab Enefit Green otseliiniga ehk võrgutasuta elektritarbimist alajaamast kuue kilomeetri raadiuses ja kuni 20 megavati ulatuses. Samuti rajatakse tuulepargiga koos uus tee, mis lühendab kohalike elanike Tallinnasse sõitva tee kilometraaži paarikümne kilomeetri võrra.“ [5]

„Sopi-Tootsi tuulepark annab aastas ca 680 gigavatt-tundi taastuvelektrit ja kahekordistab sellega kogu Eesti tuuleenergia toodangu. Võrdluseks on Eestis praegu kokku 145 tuulikut, nende koguvõimsus on ca 320 megavatti ja aastane toodang ca 730 gigavatt-tundi.“ [5]

„Projekti lõplik valmimine on plaanitud 2025. aasta teise kvartalis.“ [6]

1.3 Tööohutus ehitusplatsil

„Ehitusvaldkonnas juhtub töötajatega arvukalt tööõnnetusi.“ [7]

„Ligemale kolmandik juhtumitest lõppeb raske tervisekahjustusega. Kõrgelt kukkumised, käsitööriista üle kontrolli kaotamised, langeva materjali või objekti alla jäämised juhtuvad sagedamini ehituses kui mõnel teisel tegevusalal. Raske tööõnnetus vähendab oluliselt töövõimelise inimese sissetulekut või muudab ta riigi ja pere ülalpeetavaks. Seda ei soovi töötaja ja ta lähedased ega tööandja, kelle juhtimisel tööd tehakse.“ [7]

„Ehitus on tegevusala, mida sageli iseloomustavad muutuvad töötamiskohad ja ohtlikud tööd. Soovimatud tagajärjed võivad ette tulla ka siis, kui erinevate tööandjate töötajate samaaegne tegutsemine ühisel töökohal on koordineerimata. Igalt tööandjalt ja peatöövõtjalt nõuab ohutuse tagamine ehitusplatsil läbimõeldud tegevusi ja ohutusabinõude rakendamist, mida viivad ellu kohusetundlikud ja kompetentsed töötajad.“ [7]

1.4 Isikukaitsevahendid

„Ohutuse tagamiseks ja terviseriskide ennetamiseks peavad tööandjad tagama isikukaitsevahendite nõuetekohase kasutamise ehitusplatsil. Koordinaator jälgib, et töötajad on varustatud ohule vastavate isikukaitsevahenditega ning puuduse korral annab

töötajale ja tööandjale korraldusi puuduse kõrvaldamiseks. Välitingimustes vihma või külma ilmaga töötamisel kasutatakse oludele vastavat tööriietust.“ [7]

„Kaitsekiivri kandmine ehitusplatsil on kohustuslik piirkondades, kus tööprotsessist tulenevalt on peavigastuse oht, nt töö kõrgel paiknevatel töötamiskohtadel, töö redelitel ja tellingutel, tellingute püstitamise ja lahtivõtmine, töö tõsteseadmete, sh kraana tööpiirkonnas.“ [7]

„Ehitustöödel peab üldjuhul kasutama kaitsejalanõusid. Need peaksid olema vähemalt torkekindlate taldade ja tugevdatud ninaosaga.“ [7]

„Kui töötatakse pimedal ajal või maa all, tuleb kanda märguriietust (helkurvesti).“ [7]

„Iga tööandja peab enne isikukaitsevahendite valimist tegema töökeskkonna riskianalüüsi, et selgitada välja need ohutegurid, mille mõju ei saa vältida või vähendada muul moel kui isikukaitsevahendit kasutades. Isikukaitsevahendeid valides peab lähtuma töö eripärast ja ohuteguritest. Tööandja tagab töötajale ohutuselase juhendamise ja vajaliku väljaõppe ning korraldab valmistaja kasutusjuhendi kohaselt isikukaitsevahendi regulaarse kontrolli ja hoolduse.“ [7]

1.5 Kasutatud töövahendid

Antud objekti puhul tuli kasutusele võtta erinevaid instrumente ning muid töövahendeid just seoses objektil esinenud erinevate tööde tõttu.

Väljamärgimis- ja teostustöödel olid kasutusel elektrontahhümeeter Trimble S6, väliarvuti Trimble TSC7, Trimble R8s GNSS vastuvõtja, miniprisma komplekt ja põhiprisma.

Geomeetrilisel nivelleerimisel oli kasutusel Trimble DiNi 0,3 mm digitaalnivelliir, koodlatid ja statiiv.

Muudest töövahenditest kasutati aerosoolvärve, vasarat, kangi, kindelpunktide rajamiseks kahemeetriseid metallkeermetlatte, ehituskäigu rajamisel lisaks keermelattidele umbes meetriseid armatuurivardaid, punktide kindlustamiseks puutikke, märkimiseks ja tähistamiseks veekindlaid markereid.

Järgnevas peatükis tutvustatakse lähemalt tähtsamaid kasutusel olnud instrumente.

1.5.1 Elektrontahhümeeter Trimble S6 2" DR Plus

Ehitusobjektidel olid märkimistöödel ning teostusmöödistamisel kasutusel elektrontahhümeetrid Trimble S6 (Foto 1) ja Trimble S5. Kuna ettevõttes on määratud igale

geodeedile oma elektrontahhümeeter ja kuna lõputöö autor kõiki töid ei sooritanud iseseisvalt, siis kasutati ka kahte erinevat elektrontahhümeetrit. Autori kasutuses oli elektrontahhümeeter Trimble S6.



Foto 1. Elektrontahhümeeter Trimble S6 2'' DR PLUS [8]

Elektrontahhümeetri tehnilised andmed [9]:

- nurgamõõtmistäpsus 2'';
- kaugusmõõtmistäpsus prismaga standard mõõtmisel 2 mm + 2 ppm;
- kaugusmõõtmistäpsus prismaga sihtmärgi jälgimisel 4 mm + 2 ppm;
- mõõtmiskaugus prismale hea ilmastiku korral kuni 2500 m;
- töötemperatuuride vahemik -20 °C kuni +50 °C;
- kaal 5,25 kg;
- tolmu- ja veekindlus IP55.

1.5.2 Väliarvuti Timble TSC7

Märkimistöde teostamiseks ja ehitusjärgsete andmete kogumiseks kasutas autor ehitusobjektil Trimble TSC7 väliarvutit (Foto 2).



Foto 2. Trimble TSC7 väliarvuti [10]

Trimble® TSC7 on vastupidav ja ergonoomiline kontrolleri, mis pakub Microsoft® Windows® 10 Pro ja Trimble Access™ tarkvara võimsust ja paindlikkust suurel 7" ekraanil. See võimas kombinatsioon võimaldab töövoos jaoks piiramatut potentsiaali [11].

Väliarvuti tehnilised andmed [12]:

- kaal 1,42 kg;
- salvestusmaht 64 GB;
- liiva- ja tolmukindlus IP6x (kuni 8 tundi);
- veekindlus IPx8 (kuni 2 tundi meetri sügavusel);
- töötemperatuuride vahemik -30 °C kuni +60 °C;
- keskmisel kasutusel akude kestvus kuni 5 tundi;
- taustavalgustusega klaviatuur;
- omab nii ees- kui tagakaamerat;
- 7 tolline LED-valgustusega ekraan, millel on eraldi režiimid puute, pliatsi ja kinda jaoks.

1.5.3 Trimble R8s GNSS vastuvõtja

Vähem täpsust nõudvatel märkimistöodel ning teostusmõõdistamistel kasutas autor Trimble R8s GNSS vastuvõtjat (Foto 3). Samuti alusvõrgu rajamisel kasutati punktide koordineerimiseks eespool mainitud vastuvõtjat.



Foto 3. Trimble R8s GNSS vastuvõtja [13]

GNSS vastuvõtja tehnilised andmed [14]:

- RTK mõõtmise horisontaaltäpsus ± 8 mm + 1 ppm;
- RTK mõõtmise vertikaaltäpsus ± 15 mm + 1 ppm;
- tolmu- ja veekindlus IP 67;
- töötemperatuuride vahemik -40 °C kuni $+65$ °C;
- kaal 1,52 kg;
- initsialiseerimise aeg tavaliselt alla 8 s;
- jälgitavad satelliididüsteemid - GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, SBAS;
- akude kestvus kuni 5 tundi.

1.5.4 Trimble DiNi 0,3 mm digitaalnivelliir

Alusvõrgu punktide nivelleerimiseks kasutati digitaalnivelliiri Trimble DiNi 0,3 mm (Foto 4) koos koodlattidega. Abivahenditena kasutati „konnasid“ ja suuremapoolseid kruvikeerajaid. Nende kasutus oli tingitud pinnase iseärasustest.

Trimble DiNi 0,3 mm digitaalnivelliir aitab olla veelgi produktiivsem, sest mõõdab kõrgust oluliselt kiiremini, kui tavaline automaatne nivelleerimine, isegi hämaras [15].



Foto 4. Trimble DiNi 0,3 mm digitaalnivelliir [15]

Digitaalnivelliiri tehnilised andmed [16]:

- mõõtmistäpsus koodatiga 1 kilomeetri kohta 1,3 mm;
- mõõtmisvahemik 1,5 m – 100 m;
- kaugusmõõtmise eraldusvõime 1 mm;
- mõõtmisaeg 3 s;
- töötemperatuuride vahemik -20 °C kuni +50 °C;
- tolmu- ja veekindlus IP 55;
- teleskoobi suurendus 32x;
- kaal 3,5 kg.

1.5.5 Miniprisma Seco Sliding 360° Prism Kit

Miniprisma komplekti (Foto 5) kasutati kõrgemat täpsust nõudvatel väljamärgimis- ja teostustöödel. Eelkõige olid sellisteks töödeks ehituskäigu rajamine, ankrupoltide väljamärgimine ja teostus, samuti vundamendi teostus.



Foto 5. Miniprisma Seco Sliding 360° Prism Kit [13]

Miniprisma tehnilised andmed [17]:

- prisma on 9mm läbimõõduga terasvardal;
- täispikk varras koosneb neljast 35 cm pikkusest roostevabaterasest osast;
- igal varda osal on iga 10 mm järel rõngakujuline soon;
- 360° liugprisma koosneb seitsmest hõbedaga kaetud osast;
- prisma konstant +2 mm;
- prisma kõrgust saab fikseerida kinnituskruvi abil;
- kaal 0,77 kg.

1.5.6 Põhiprisma Trimble Active Track 360° Target

Põhiprisma (Foto 6) leidis kasutust kui oli tarvis teostada vundamendi killustikalus, EPS-is olevate süvendite väljamärgimisel ja teostusel, teede ja platside liiva ja killustiku teostusmöödistamisel.



Foto 6. Põhiprisma Trimble Active Track 360° Target [13]

Põhiprisma tehnilised andmed [18]:

- prisma konstant +22 mm;
- töötemperatuuride vahemik -20 °C kuni +50 °C;
- tolmu- ja veekindlus IP 55;
- aktiivjälgimine ühildub vaid Trimble S-seeria instrumentidega;
- 360° peegelduv taust.

2 GEODEETILINE MÕÕDISTUSVÕRK

Geodeetiliste- ja ehitustöödega alustamiseks ehitusobjektile tuleb rajada riiklikus ristkoordinaatide süsteemis (Lambert-EST 97) ja kõrgussüsteemis (EH2000) mõõdistusvõrk.

2.1 Nõuded geodeetilisele mõõdistamisvõrgule

„Mõõdistus tuleb siduda mõõdistamisvõrgu lähtepunktidega“ [19].

„Kui mõõdistuseks ei piisa olemasolevatest lähtepunktidest, tuleb rajada mõõdistamisvõrk“ [19].

„Käesolevas määruses sätestatud täpsusnõuete täitmiseks kasutatakse selleks sobivat mõõdistamisvõrgu tihedust, punktide asetust ja mõõdistamiseks sobivat geodeetilist instrumenti ning mõõdistamistehnoloogiat“ [19].

„Mõõdistamisvõrgu punktid kindlustatakse kohtkindlate märkidega, välja arvatud juhul, kui mõõdistamisvõrgu punktide säilimine ehitustööde alguseni on ebatõenäoline“ [19].

„Mõõdistamisvõrgu suletud mõõdistuskäigu punktide koordinaadid ja kõrgused saadakse tasandusarvutuse teel“ [19].

„Mõõdistamisvõrgu lähtepunktide andmed tuleb esitada aruande seletuskirjas“ [19].

„Mõõdistamisvõrgu arvutamisel loetakse riikliku geodeetilise võrgu ja kohaliku geodeetilise võrgu punktid võrdtäpseteks, välja arvatud mõõdistamisvõrgu rajamisel kõrgendatud täpsusnõuetega geodeetilise uuringu jaoks“ [19].

2.2 Nõuded tasapinnalisele mõõdistamisvõrgule

„Tasapinnaline mõõdistamisvõrk tugineb vähemalt kahele lähtepunktile“ [19].

„Kindlustatud mõõdistamisvõrgu punktid tuleb oma tasandatud koordinaatides kanda maa-ala plaanile, lisades punkti numbri ja absoluutkõrguse“ [19].

2.3 Nõuded kõrguslikule mõõdistamisvõrgule

„Kõrguslik mõõdistamisvõrk seotakse riikliku kõrgussüsteemiga, kasutades lähtepunktina riikliku või kohaliku kõrgusvõrgu punkti (edaspidi *lähtereeper*)“ [19].

„Kõrgusliku mõõdistamisvõrgu võib siduda kõrgusvõrku mittekaasatud lähtereeperiga juhul, kui kõrgusvõrguga sidumine on uuringu eesmärki arvestades eaproportsionaalselt pikk või kui kõrgusvõrguga sidumine ei taga kõrgusliku täpsuse paranemist“ [19].

„Kõrgusliku mõõdistamisvõrgu punkti kõrguslik viga lähima lähtereeperi suhtes ei või olla suurem kui 5 sentimeetrit“ [19].

Ühe geodeetilise uuringu piires ei või kõrgusliku mõõdistamisvõrgu punktide omavaheline kõrguslik viga olla [19]:

- suurem kui 3 sentimeetrit;
- suurema kui 1 kilomeetri pikkuse vahemaaga objektidel suurem kui 3 sentimeetrit 1 kilomeetri pikkuse vahemaa kohta.

„Nivelleerimiskäik rajatakse vähemalt kahe lähtereeperi vahele“ [19].

„Ühele lähtereeperile tugineva suletud käigu võib rajada juhul, kui teise reeperi kaasamine tingib täpsuse seisukohalt põhjendamatult pika nivelleerimiskäigu“ [19].

Nivelleerimiskäigu suurim lubatud pikkus geomeetrilisel nivelleerimisel on [19]:

- kahe lähtepunkti vahel 8 kilomeetrit;
- lähte- ja sõlmpunkti vahel 6 kilomeetrit;
- kahe sõlmpunkti vahel 4 kilomeetrit.

„Trigonomeetrilise nivelleerimise lähtepunktiks võib olla geomeetrilise nivelleerimisega määratud mis tahes klassi või järgu punkt“ [19].

Trigonomeetrilise nivelleerimiskäigu [19]:

- kogupikkus ei või olla suurem kui 2 kilomeetrit;
- ühe käigujoone pikkus ei või olla suurem kui 300 meetrit;
- käigujooni ei või olla rohkem kui 10.

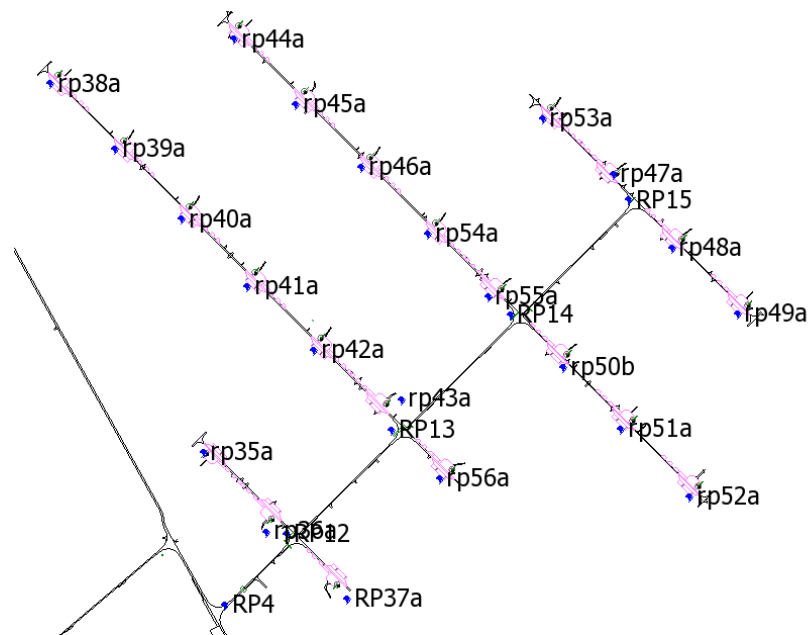
„Trigonomeetrilisel nivelleerimisel määratakse kõrguskasv täisvõttega“ [19].

2.4 Plaanilise mõõdistusvõrgu rajamine

Plaaniline mõõdistusvõrk on geodeetiline võrk, mis koosneb mõõdetud punktidest kindlas piirkonnas või alal. Mõõdistusvõrk aitab tagada ehitusprojektide täpsuse ja usaldusväarsuse.

Plaanilise mõõdistusvõrgu rajamisel kasutati reeperitena kahemeetriseid keermelatte, mis löödi vasaraga maasse. Reeperite kõrvale paigaldati puutikud, millele kirjutati punkti

number ja tähistati aerosoolvärviga. Keermelatid ehk mõõdistusvõrgu punktid asetati teede ristumiskohtadele ja lisaks veel iga tuuliku vundamendi lähedusse (Joonis 2).



Joonis 2. Käigupunktide asukohaskeem idapargis [20]

RTK-tehnoloogiaga määratud mõõdistamisvõrgu punkti koordinaatide täpsusnõuete tagamiseks mõõtis autor punktid kahekordse initsialiseerimisega [19]. Ühe mõõtmisseansi pikkuseks oli 30 sekundit.

RTK-tehnoloogia toimivust kontrollitakse enne ja pärast mõõdistamist riikliku või kohaliku geodeetilise võrgu punktidel, mis on kantud geodeetiliste punktide andmekogusse, ning mõõtmistulemused dokumenteeritakse. Mõõdetud koordinaatide ja andmekogus olevate koordinaatide erinevus ei tohi ületada käesoleva paragrahvi lõikes 2 toodud väärtuseid, suurema vea korral tuleb kogu mõõdistamisvõrgu punktide mõõtmist korrata [19].

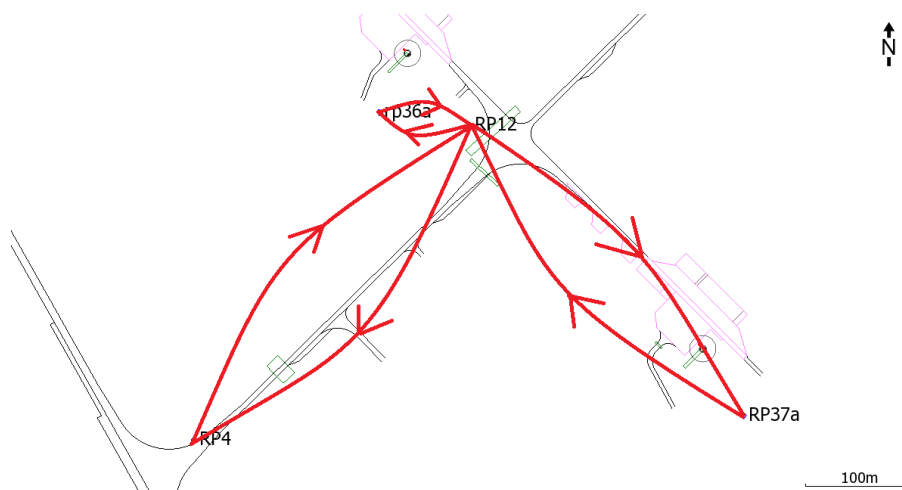
Objekti siseselt lepiti ehitajaga kokku, et kõik GNSS seadme kontrollid teeme alati enne mõõdistamiste alustamist ja lõpetamist objektile rajatud käigupunktil (RP4).

2.5 Kõrgusliku mõõdistusvõrgu rajamine

Tuulepark koosneb kahest eraldi pargist – idapark ja läänepark, ja nende vahel kulgevast peateest. Peatee mõõdistusvõrk teostati eelnevalt autoriga samas firmas töötavate geodeetide poolt. Autori ülesandeks oli rajada idapargi plaaniline-kõrguslik mõõdistusvõrk.

Kõrgusliku mõõdistusvõrgu rajamine tehti peamiselt geomeetrilise nivelleerimise teel. Nivelleerimiseks ehk kõrguslikuks mõõdistamiseks nimetatakse mõõtmistöid, mille alusel määratakse maapinna punktide omavahelisi kõrguslikke erinevusi ehk kõrguskasve [21].

Juhul kui nähti, et geomeetrilist nivelleerimist pole otstarbekas kasutada rakendati trigonomeetrilist nivelleerimist. Nii geomeetrilist kui ka trigonomeetrilist nivelleerimist teostati olude sunnil mitmes osas. Kõige suuremad segajad geodeetidele olid erinevad suured masinad, mis objektile liiklesid edasi-tagasi, vedades teede ehitusteks materjali. Nende liiklemise tõttu tekkis maapinnas tugev vibratsioon ja tolmutpilved, mis segasid nähtavust. Tee kõrvale ei saanud ka nivelliiri asetada, sest seal oli turvas ja astudes turbale nivelliiri lähedal vajusid ka statiivi jalad. Selle tõttu oldi sunnitud idapargis kulgeva peatee nivelleerimist tegema lausa kolmes osas. Nivelleerimisel kasutati kinnise käigu meetodit. Kinnise käigu puhul käik algab ja lõpeb samal punktil. Allpool on selgitav joonis esimese osa kinnise nivelleerimiskäigu skeemist, kus punased nooled tähistavad liikumissuunda nivelleerimisel (Joonis 3).



Joonis 3. Kinnise nivelleerimiskäigu esimese osa skeem [20]

Nivelleerimisel võeti aluseks juba eelnevalt teiste geodeetide poolt koordineeritud ja nivelleeritud peatee mõõdistusvõrgu punktid. Antud juhul oli selleks idapargi tee alguses olev punkt RP4. Töö lõpus eksporditi raporti fail (Foto 7) nivelleerimise tulemustest ja edastati sisetöötajale, kes lisas andmed käigufaili.

Level Report

Imported file: [EH-TOOTS-2023_05_30_Agur.DAT](#)
 Instrument: DiNi
 Creation option: Delta elevations
 Description usage: Feature codes

Run - 1 Raw Observations

Standard error per kilometer of double leveling: 0.00070 m
 Standard error per turn/station setup: 0.00000 m
 Raw Misclosure: 0.00209 m
 Σ BS Distances: 847.830 m
 Σ FS Distances: 876.705 m
 Run Length: 1724.535 m
 Reduction: Adjusted Values

Create	Point ID	BS	HI	IS	FS	Δ Elevation	Raw Elevation	Correction	Adj. Elevation	Type	Distance	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	RP4	1.54614 m	32.85014 m			0.00000 m	31.30400 m	0.00000 m	31.30400 m	Benchmark	31.273 m	
<input type="checkbox"/>	001				1.95615 m	-0.41001 m	30.89399 m	-0.00014 m	30.89385 m	Computed	29.383 m	
<input type="checkbox"/>	001	0.90951 m	31.80350 m								77.292 m	
<input type="checkbox"/>	002				1.25721 m	-0.34770 m	30.54629 m	-0.00048 m	30.54581 m	Computed	75.942 m	
<input type="checkbox"/>	002	1.83611 m	52.40240 m								80.349 m	
<input type="checkbox"/>	003				2.55592 m	-0.69981 m	29.84648 m	-0.00079 m	29.84569 m	Computed	61.427 m	
<input type="checkbox"/>	003	1.38376 m	31.23024 m								25.263 m	
<input checked="" type="checkbox"/>	RP36A				1.07759 m	0.30617 m	30.15265 m	-0.00094 m	30.15171 m	Computed	42.793 m	
<input checked="" type="checkbox"/>	RP36A	1.07779 m	31.23044 m								42.801 m	
<input checked="" type="checkbox"/>	RP12				1.40730 m	-0.32951 m	29.82314 m	-0.00118 m	29.82196 m	Computed	64.490 m	
<input checked="" type="checkbox"/>	RP12	2.62652 m	32.44966 m								56.124 m	
<input type="checkbox"/>	006				1.57767 m	1.04883 m	30.87199 m	-0.00118 m	30.87081 m	Computed	73.497 m	
<input type="checkbox"/>	006	0.81592 m	31.68791 m								77.250 m	

Foto 7. Fragment nivelleerimise raportist [20]

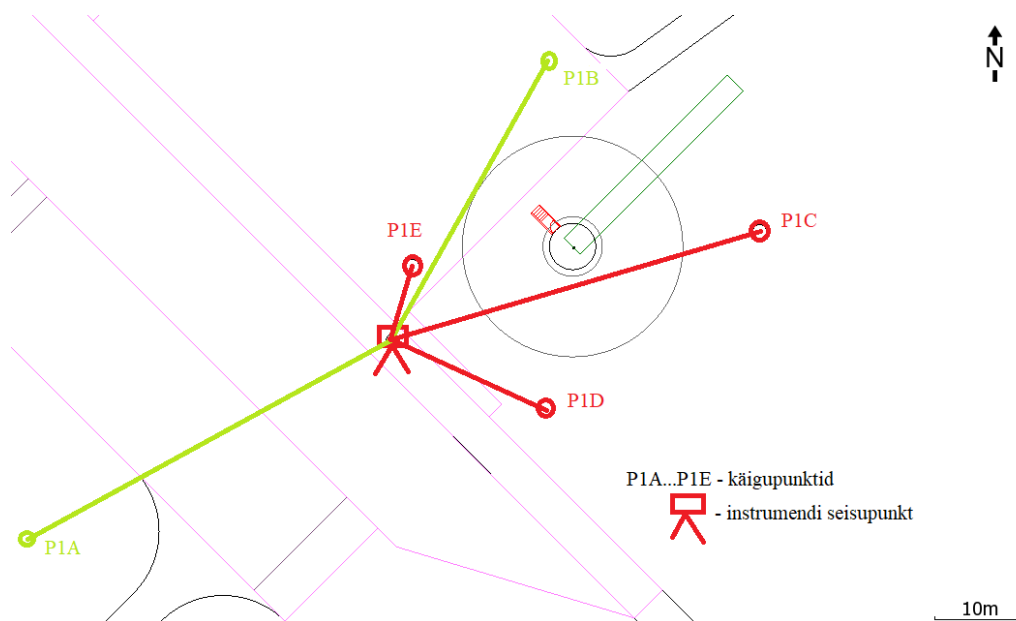
Kinnise nivelleerimiskäigu pikkuseks kujunes ligikaudu 1725 meetrit ning sidumatuse väärtuseks saadi ligikaudu 2 millimeetrit. Tegemist on joonelise objektiga ning lubatud täpsuse *fh lub* kohta kehtib valem (1) [22]

$$fh\ lub = \pm 30\sqrt{L}, \quad (1)$$

- kus ± 30 - konstant millimeetrites;
 L - käigu pikkus kilomeetrites.

2.6 Ehituskäigu rajamine

Iga tuuliku vundamenti kaeviku juurde oli vaja rajada mõõdistusvõrk ehk geodeetide keeles ehituskäik (Joonis 4). Järgnevalt autor kirjeldab ehituskäigu loomist ühe rajatud ehituskäigu näitel. Kõik ehituskäigud antud objektile rajati samal põhimõttel.



Joonis 4. Näide tuuliku vundamendi püstitamiseks rajatud ehituskäigu skeemist [20]

Ehituskäigu kõrguslikuks aluseks võeti keermelatist reeper (P1A), mis oli eelnevalt GNSS seadmega koordineeritud ja kõrgus oli kantud punktile, kas trigonomeetrilise või geomeetrilise nivelleerimise teel. Ehituskäigu rajamisel lisati teine punkt (P1B) tuuliku vundamendi kaeviku juurde, milleks oli umbes meetrine armatuurvarras, mis koordineeriti GNSS seadmega.

Möödistusvõrgu täienduseks rajati tugivõrk. Selleks paigaldati mineraalsesse pinnasesse kolm armatuurvarrast (P1C, P1D ja P1E) ümber vundamendi kaeviku. Ehk siis rajati ühtekokku kolm „rippuvat“ punkti.

Ehituskäigu möödistamiseks orienteeriti elektrontahhümeeter kasutades „vabajaama“ meetodit kahe punkti vahel (P1A ja P1B) kasutades miniprismat. Seejärel möödistati kõik lisatud „rippuvad“ käigupunktid (P1C, P1D ja P1E) täisvõttega. Peale punktide sissemõõtmist kontrollitakse väljamärgimisega saadud täpsust. Üldjuhul saadakse väljamärgimise tulemused 0 mm või 1 mm. Sellised tulemused viitavad, et punktide koordineerimine on õnnestunud. Vastasel korral peaks kontrollima, kas instrument on loodis ning vajadusel kontrolliks välja märkima ühte seisuks kasutatud käigupunktidest.

3 EHITUSGEODEETILISED TÖÖD

„Ehitusgeodeesia on kombinatsioon väljamärgimis- ja mõõtmistööst. Ehitusgeodeesias on olulisel kohal ehitusettevõtte ja geodeedi omavaheline suhtlus, mis tagab selle, et väljamärgimistöode tähised oleks kõigile üheselt arusaadavad ja ei tekiks töö käigus arusaamatusi.“ [23]

„Korrektne väljamärgimine tagab selle, et ehitaja alustab oma tööd kindla teadmisega, et ehitatava objekti asukoht saab töö valmides olema seal, kuhu projekteerija on selle looduses projekteerinud.“ [23]

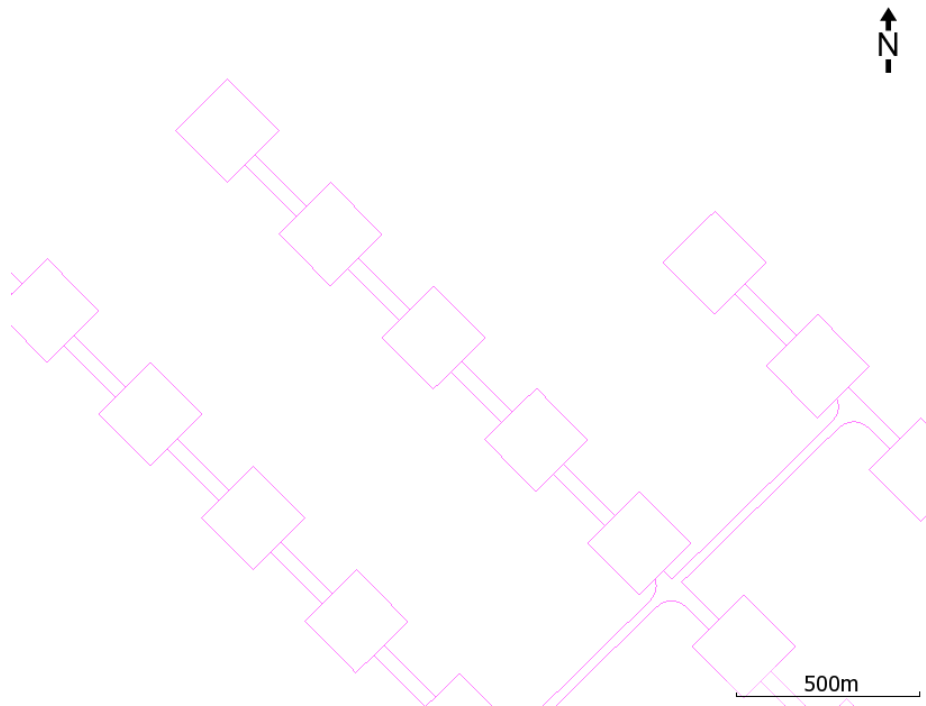
„Mõõtmistöö ehitusobjektidel koosneb ehituse ajal toimuvast kontrollmõõdistusest ja ehituse lõppedes teostusmõõdistusest. Kontrollmõõdistusi on vaja teostada, et veenduda, kas veel rajamise käigus olev ehitusobjekt on oma asukohalt õiges kohas. Ehitustöö lõppedes tuleb teostada teostusmõõdistus, mis näitab välja tegelikkuses asuva ja projekteeritud objekti omavahelised nihked nii plaaniliselt kui ka kõrguslikult.“ [23]

Järgnevalt kirjeldab autor erinevad märgimis- ja teostusmõõdistusteid, millega antud ehitusobjektile kokku puututi.

3.1 Ettevalmistustööd

Firmasiseselt on korraldatud nii, et kõik märgimistöodega seotud failid valmistab ette antud objektiga tegelev joonestaja ning edastab need siis, kas otse geodeedile meilile või laeb üles vastava töö kausta serverisse. Samuti teeb joonestaja kooskõlastused ning jooniste lõplikud vormistused, mis edastatakse tellijale.

Joon- ja punktobjektide märgimiseks kasutati AutoCad DXF failivormi. See tähendab, et ettevalmistusel koostati vastav AutoCad DXF fail, mis sisaldas märgimist vajavat joon- ja punktelementide infot. Allpool on fragment raadamispiiride väljamärgimisfailist (Joonis 5), kus lillad jooned tähistavad raadamispiire.



Joonis 5. Fragment idapargi raadamispiiride märkimisfailist [20]

Ettevalmistustööde hulka kuulub ka seadmete visuaalne kontroll. Samuti tuleb üle vaadata, kas kõik tööde teostamiseks vajalik inventar on kaasas pakitud. Eelneval päeval tuleks alati akud laadima panna.

3.2 Instrumendi orienteerimine

Ehitusgeodeesias on kõige levinum elektrontahhümeetri orienteerimise viisiks niinimetatud vabajaama meetod, kus ollakse instrumendiga vabalt valitud seisupunktil ja millelt on nähtavus vähemalt kahele koordineeritud punktile, milledele on siis võimalik prismaga minna [24].

„Nurgalise vastulõike puhul mõõdetakse määratavas punktis nurgad suundade vahel vähemalt kolmele lähtepunktile. Võimalik on ka jooneline lõike, kus mõõdetakse kaugused kahe lähtepunktini. Et kummalgi juhul ei esine lisamõõtmisi, siis on soovitatav mõõta nii nurgad kui kaugused. Tänapäeva elektrontahhümeetrid võimaldavad sooritada ka joonelis-nurgalise lõike, kusjuures enamik tahhümeetreid on varustatud vastavate tasandusprogrammidega, mis annavad sealjuures ka sidumise keskmise ruutvea.“ [22]

Elektrontahhümeetri orienteerimisel jälgiti, et asukoht oleks sobiv. Sobiv asukoht tähendab seda, et statiiv asetatakse sobivale pinnasele, kus ei tekiks statiivi vajumisi. Samuti peab olema tagatud nähtavus orienteerimisel kasutatavatele käigupunktidele. Arvestama pidi ka

asjaoluga, et tegemist on siiski ehitusobjektiga ja palju liiklemist erinevate masinate ja inimeste näol.

Kui tööde täpsusnõue jäi sentimeetritesse, orienteeriti elektrontahhümeeter vabajaamana kahe käigupunkti vahel. Mõõdistamisel kasutati suurt prisma. Nendeks olid siis tuuliku vundamendi killustikaluse teostusmõõdistamine ja teede ning platside killustiku teostusmõõdistamised.

Kolme käigupunkti vahel orienteerimist vabajaama meetodil kasutati millimeetri täpsust nõudvatel töödel. Nendeks olid alumise tugirõnga väljamärkimine ja teostusmõõdistamine, ankrupoltide kõrguslik väljamärkimine ja teostusmõõdistamine ning vundamendi lõplik teostusmõõdistamine.

3.3 Raadamispiiride märkimine

„Raadamine on raie, mida tehakse, et võimaldada maa kasutamist muul otstarbel kui metsa majandamiseks.“ [25]

Esimene töö, millega autor objektile kokku puutus, oli raadamispiiride märkimine. Raadamise märkimiseks oli eelnevalt joonestaja koostanud vajaliku märkimistööde faili ja selle edastanud geodeedile.

Raadamis punkte märgiti objektile GNSS seadmega. Peale GNSS seadme tööle panemist ning enne märkimistöödega alustamist objektile, kontrolliti GNSS seadme täpsust riikliku geodeetilise võrgu tihendusvõrgu punktile.

Punkti asukoht märgiti välja loodusesse GNSS seadmega. Peale punkti tähistamist looduses väljamärgitud punkt salvestati. Salvestamine oli vajalik selleks, et kui töö tellijal tekib mingeid pretensioone või küsimusi antud töö suhtes, siis geodeedil on salvestatud punktide näol võimalik tõestada väljamärgitud punktide asukohtasid.

Kuna oli veebruari kuu, siis raadamispiiri märkimine võrdus autori jaoks lumisel turbaväljal sumpamisega põlvedeni lumes. Töö teostamiseks tuli kaasa võtta piisavas koguses puutikke, aerosoolvärv, marker, vasar ning komplekteeritud GNSS vastuvõtja, mis sisaldas endas GNSS seadet, sau ja väliarvutit.

Võimalusel tehti raadamispiiri tähistav märke aerosoolvärviga puudele, umbes silmade kõrgusele. See oli raadamistööliste soov. Puude puudumisel löödi vasara abil pinnasesse puutikk, kirjutati peale sõna „RAAD“ ja värviti märkevärviga. Lagedatel aladel jäeti väljamärkimiste vahedeks isegi kuni 100 meetrit. Seevastu aladel, kus oli puud tihedamalt, tehti märkimisi tihedamalt, teinekord isegi 10-15 meetri järel. Töö lõppedes käidi

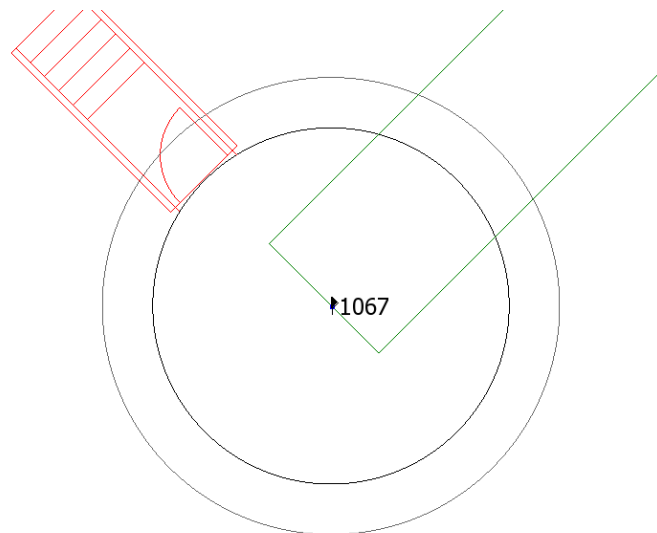
tihendusvõrgu punktil ning kontrolliti GNSS seadet tihendusvõrgu punkti väljamärgimise teel.

Talvisel märkimisel tuli tihti ületada kraave, mis olid kaetud lume ja jääga. See tegi ettevaatlikuks, sest kunagi ei teadnud, kas on tegemist piisavalt tugeva jääkattega või mitte. Kevadisel raadamise märkimisel olid geodeedil kohtumised rästikuga ja metsseakarjaga.

3.4 Tuulikute tsentrite märkimine

Tuulikute tsentrite ehk keskkohdade märkimine (Joonis 6) oli vajalik peatöövõtjale akti koostamiseks. See tehti kasutades GNSS seadet. GNSS seadet kontrolliti enne märkimistööga alustamist objektil asuval kindelpunktil. Selleks ajaks oli rajatud objekti läbivale teele firmas töötavate geodeetide poolt mõõdistusvõrk ja geodeedil oli võimalus seadet kontrollida objektil. Peale kontrolli alustati märkimistöödega.

Tsentrite asukohtade tähistamiseks kasutati puutikke, millele kirjutati sõna „TSENER“ ja värviti märkevärviga. Kuna tegemist oli turbaväljaga, oli tikke lihtne suruda pinnasesse. Autor jälgis, et märkimise asukohaline viga jääks +/- 3 sentimeetri sisse. Töö lõpus mindi taas samale kindelpunktile, millel käidi enne tööde algust ja sooritati kontrollsalvestus.



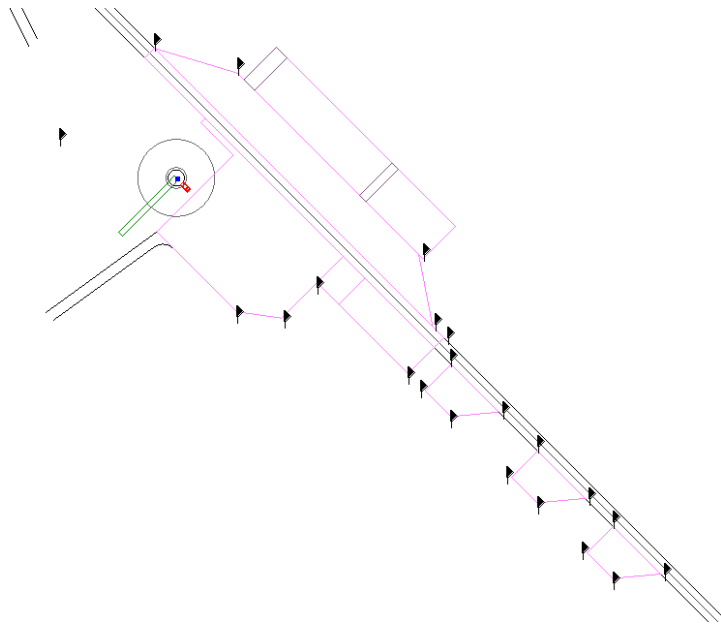
Joonis 6. Väljamärgitud tuuliku tsester ehk keskkohht [20]

3.5 Platside väljakaevete märkimine ja teostus

Platside väljakaevete märkimised (Joonis 7) ja teostused tehti GNSS seadme abil, sest tegemist oli vähem täpsust nõudva tööga. Taas pidi geodeet kaasa haarama koti

puutikkudega, aerosoolvärvi ja markeri. Vasarat ei olnud seekord tarvis kaasa võtta, sest puutikke sai hõlpsasti suruda otse pehmesse pinnasesse.

Platside väljakaevete väljamärgimisel paigaldati tikud projektjoonest meeter eemale ehitaja soovil. Tikule kirjutati sõna „PLATS” ja kirjutis jäi väljakaevetava osa poole. Autor jälgis, et asukohaline märkimine jääks oma täpsuselt +/- 5 sentimeetri sisse. Kõrgused polnud tellija jaoks olulised.



Joonis 7. Näide platside väljakaevete väljamärgimisest [20]

Platside väljakaevete teostustel mõõdistati punktid nõlva ülemisele ja alumisele osale. Lisaks mõõdeti kõrguspunkte platside keskele. Järsumad kõrgusmuutused, mis olid silmaga eristatavad, mõõdeti tihedamalt. Ehk siis tõusu või languse algus, keskkohal ning lõpp.

Selle töö puhul tuli palju läbida jalgsi, sest autoga juurdepääs sel hetkel veel puudus. See oli tingitud sellest, et ehitaja polnud jõudnud oma teedehitusega kõiki teid valmis ehitada. Mõnikord võis tekkida olukord, kus sa pääsesid mööda turbateed ligi, aga tagasi enam ei pääsenud juhul kui vahepeal oli tulnud kõva vihm ja tee seetõttu läbipääsmatuks muutunud.

3.6 Piketaaži märkimine

Teede piketaaži väljamärgimiseks pidi joonestaja välitöötajale ette valmistama AutoCad DXF formaadis faili ja selle üles laadima serverisse või edastama välitöötajale otse meilile.

Piketaaži olemasolu on eelkõige vajalik teedehitajale. See aitab määrata teedehituses asukohad, kus teed ja muud infrastruktuuriobjektid peaksid olema ehitatud.

Piketaaži kasutatakse ehitusobjektidel ka suhtlusvahendina erinevate osapoolte vahel, näiteks inseneride, ehitajate ja maaparandajate vahel, et tagada ühtne arusaam projekti asukohast ja ehitusplaanidest.

Väljamärgimisel paigaldati puutikud kraavide välimisele servale, kirjutati peale vastav piketaaži number ja kaugus teeteljest. Piketaaž märgiti välja iga 50 meetri tagant. Võimaluse korral märgitakse ja paigaldatakse tikud teeteljest samale kaugusele, et ei tekiks arusaamatusi ja eksimusi. Märkimisel kasutati GNSS seadet ja jälgiti, et asukohaline täpsus jääks +/- 3 sentimeetri sisse.

3.7 Truubid, tuletõrje veevõtukohad, maaparanduskraavid

Kuna järgnevad tööd nõuavad sentimeetrilist täpsust, kasutas geodeet allpool mainitavates tööde teostusel GNSS seadet.

3.7.1 Truubid

Truup on rajatis, mille abil juhitakse voolavat vett. Tavaliselt juhitakse truubiga vesi tee alt läbi. Tänapäeval valmistatakse truupe peamiselt terasest, betoonist või plastmassist [26].

Antud objektidel nägi autor objektidel ehitajat paigaldamas erineva läbimõõduga plastik truupe.

Truupide asukohaliseks märkimiseks kasutati kahte puutikku. Tikud tähistati sõnaga „TRUUP“ ja sõna ise jäi truubi lõpu või siis alguse poole. Nii sai eelnevalt töö tellijaga kokkulepitud. Reeglina tähistasid tikud truubiotste täpseid asukohti, kuid tuli ette ka olukordi, kus polnud võimalik asetada tikke täpsetele projektsetele asukohtadele. Sel juhul lisati tikule veel kaugus täpsest asukohast, reeglina täpsmeetrites.

Kolmandat puutikku kasutati kõrgusreeperina. Tikk asetati kraavi pervele ja „mõõdeti sisse“ absoluutkõrgus tiku pealt. Saadud tulemus kirjutati sentimeetrise täpsusega tikule. Jälgiti, et täpsus jääks +/- 3 sentimeetri sisse.

3.7.2 Tuletõrje veevõtukohad/tiigid

„Tuletõrje veevõtukoht (Foto 8) on veeallika juures olev aasta ringi kasutatav rajatis, mille kaudu võetakse vett pääste- ja demineerimistöodeks ning veekahuri täitmiseks.“ [27]

„Ehitisel, millele on kehtestatud tuleohutusnõuded, peab olema nõuetele vastav veevõtukoht.“ [27]



Foto 8. Tuletõrje veevõtukoht/tiik [13]

Kuna tegemist on turbaväljale rajatud ehitusobjektiga, siis siin tuleb eriti tähelepanelik olla tuleohutusnõuete järgimisel. Teada on, et suviti tuleb ette perioode, kus vihma ei saja nädalaid ja õhutemperatuur on päikese käes +30 kuni +40 kraadi, mõnikord isegi kõrgem. Turvas muutub väga kuivaks ja kergesti süttivaks. See on peamine põhjus, miks suitsetamine ja tule tegemine on rangelt keelatud. Samuti oli keelatud kasutada töövahendeid, mille kasutamisel tekib sädemeid. Just tulekahju tekkekorral selle likvideerimiseks oli ehitajal kohustus rajada veevõtukohtad.

Rajatud tiikidest on kasu ka metsloomadel. Nimelt saavad nad neid kasutada nii joogikohana kui ka kuumal suvepäeval keha jahutuskohana.

Tiikide väljamärgimisel piisas nurkade tähistamisest tikkudega. Tikule kirjutati sõna „TIIK“. Kuna töö ei nõudnud suurt asukohalist täpsust, siis autor jälgis, et märkimistäpsus jääks +/- 3 sentimeetri sisse.

Teostamisel mõõdeti tiigi põhja neli nurka, võimalusel mõned kõrgused tiigi keskosale, samuti tiigi nõlva algused. Silmaga nähtavad järsumad kõrgusmuutused fikseeriti mõõtmistega.

3.7.3 Maaparanduskraavid

Maaparandus on maa kuivendamine ja niisutamine ning maa veerežiimi kahepoolne reguleerimine [28].

Kuna tegemist on endise turbaväljaga, siis olid antud alale juba eelnevalt omal ajal rajatud maaparanduskraavid. Rajada oli tarvis uusi kraave ja olemasolevaid uuendada ning osasid pikendada.

Maaparanduskraavide märkimisel soovis ehitaja vaid kraavi keskkoha tähistamist tikkudega. Tikkude vaheliseks sammuks jäeti ehitaja soovil 50 meetrit. Lagedamatel aladel, kus nägemisulatus oli suurem, võis ka kahe tiku vaheline vahemaa olla pikem, mõnikord isegi 100-150 meetrit. Seevastu metsasemal alal pidi paigaldama tikke tihedamini, umbes 20 meetriste vahedega. Märkimisel jälgiti, et täpsus jääks +/- 3 sentimeetri sisse.

3.8 Tuuliku vundament

Üks tähtsaim, vastutusrikkam ning kõige enam täpsust nõudvam töö oli seotud tuuliku vundamendi märkimis- ja teostusmöödistamisega. Selleks oli geodeet rajanud eelnevalt ehituskäigu.

Vundament on ehitise maa-alune kandekonstruksioon, mille ülesandeks on ehitise omakaalust ning ehitisele mõjuvatest jõududest (tuulekoormus, lumekoormus jne) põhjustatud koormuse ülekandmine pinnasele. Vundament ning selle alus peavad tagama ehitise püsivuse ehituspaiga geoloogilistes, hüdrogeoloogilistes ning kliimaatilistes tingimustes. Tegemist on ehitise ühe olulisema osaga, mille kvaliteedist sõltub ülejäänud konstruktsioonide eluiga ja deformatsioonidele vastupidavus [29].

Tuuliku vundamendiks tehti koonusekujuline raudbetoon vundament. See valmistati ehitusplatsil kohapeal. Selliselt tervikuna ehitusplatsil valatud raudbetoonkonstruktsiooni nimetatakse monoliitraudbetoonkonstruktsiooniks.

3.8.1 Vundamendi kaevik

Vundamendi kaevik tehti 3D ekskavaatorite poolt, mis tähendab seda, et ekskavaatorile on paigaldatud masinjuhtimise 3D süsteem. Seadme abil on töö täpsem, kiirem ja efektiivsem. Operaator saab sisestada kaeve sügavuse ja kalded. Seadmega on ideaalne planeerida suuremaid maa-alasid, kaevata trasse või ehitada nõlvasid [30].

Kui peatöövõtjal on objektil oma baasjaam püsti, siis saab masinjuhtimise süsteemi sellega ühendada. Samuti on 3D masinjuhtimise seadmete korral oluline teada, missuguseid satelliitsüsteeme masin toetab, sest see mõjutab otseselt töötava masina täpsust objektil [30].

Vundamendi kaeviku põhi jäeti esialgu umbes 10 sentimeetrit kõrgem kui projektne mõõt ette nägi. Põhjuseks oli ekskavaatori liiklemine vundamendi süvendi põhjal, mis rikub selle tugevuse.

Kaablikaitsetorude (Foto 9) paigaldamiseks pidi ekskavaator kaevama umbes kolm meetrit laia ja meeter sügava süvendi.



Foto 9. Kaablikaitsetorude paigaldus [13]

Kaitsetorude paigaldajad soovisid geodeedilt saada vundamendi tsentri asukohta ning vundamendi kaeviku nõlvale süvendi keskkoha asukohta. Kaitsetorude jaoks kaevatud süvendi põhja pandi umbes 10 sentimeetrit peenkillustikku. Kaitsetorude teostusmõõdistus teostati GNSS seadmega jooksvalt koos torude kinni katmisega killustikuga.

Seejärel ekskavaatorid kaevasid (Foto 10) vundamendi kaeviku põhja õigele projektkõrgusele, peale mida autor teostas teostusmõõdistuse vundamendi kaeviku väljakaevetele.



Foto 10. Vundamendi kaeviku põhja täitmine killustikuga [13]

3.8.2 Vundamendi killustikalus

Kui kaeviku põhja mõõdistamistulemused jäid ette antud kõrguste piiridesse, alustasid ekskavaatorid kaeviku põhja täitmist killustikuga. Alumise kihina kasutati jämedama fraktsiooniga killustikku ja pealmise kihina peenemat killustikku. Killustik tihendati ehitaja poolt pinnasetihendajaga. Killustikaluse (Foto 11) teostusmõõdistamisel kasutati elektrontahhümeetrit ja suurt prisma.

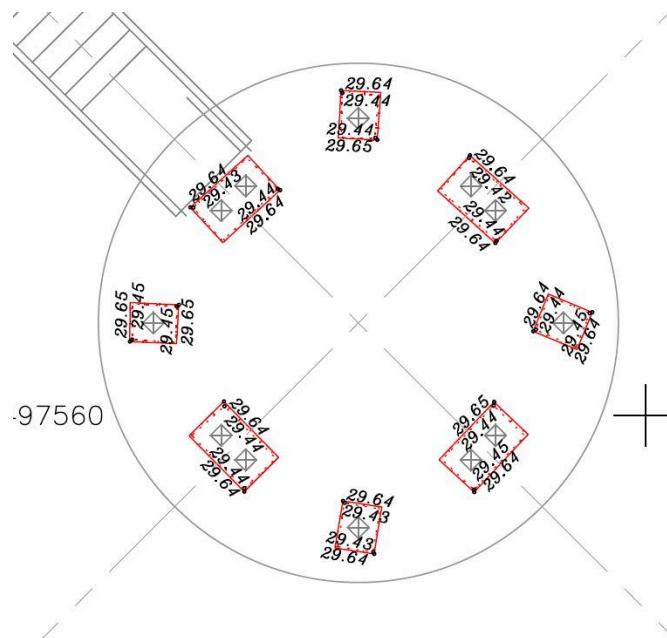


Foto 11. Tuuliku vundamendi killustikalus [13]

Keskel asuv ringikujuline osa jäeti umbes 30 sentimeetrit madalam, sest sinna tuli paigaldada veel kaks kihti paksusega 10 sentimeetrit sinist vahtpolüstüreeni plaate ehk EPS-i plaate. EPS on kerge kuid jäik plastvahul põhinev soojustusmaterjal [31].

3.8.3 Tööbetoon

Kui EPS-i plaat oli vundamendi põhja laotatud, siis märgiti EPS-i plaadile tulevaste tugijalgade asukohtade keskkohad. Tugijalgade keskkohdade märkimisest piisas, sest ehitaja oli valmistanud endale šabloni, mille sai asetada geodeedi märkide järgi õigesse kohta ja teha vastavad väljalõiked süvendite (Foto 12) tarbeks. Peale väljalõikeid süvendid mõõdistati kasutades suurt prisma. Mõõdistusandmete põhjal tegi geodeet EPS-is olevatest süvenditest (Joonis 8) arvutis esialgse teostusjoonise, mis edastati joonestajale lõplikuks vormistamiseks.



Joonis 8. Fragment tugijalgade süvenditest EPS-is [20]



Foto 12. Tugijalgade süvendid EPSis [13]

Enne tööbetooni (Foto 13) valamist soovis ehitaja saada ka kõrgusreeperit, millest lähtuda betooni valamisel. Selleks kasutas geodeet umbes meetrist armatuurvarrast, mis löödi killustikalusesse. Reeperi kõrgus määrati trigonomeetrilise nivelleerimise teel, kus kasutati täisvõttega mõõtmist. Saadud tulemus kirjutati reeperi kõrvale paigaldatud puutikule. Betooni kihi paksuseks oli umbes 10 sentimeetrit.



Foto 13. Valatud ja silutud tööbetoon [13]

3.8.4 Alumine tugirõngas

Peale betooni kivistumist, tavaliselt järgneval päeval, sai alustada tuuliku alumise tugirõnga (Foto 14) märkimisega. Tuuliku alumine tugirõngas koosneb neljast võrdsest kaarjakujuga metallplaadist, mis monteeritakse omavahel kokku mutrite, poltide ja spetsiaalsete kaasapandud metallplaatide abil, moodustades ringikujulise objekti.



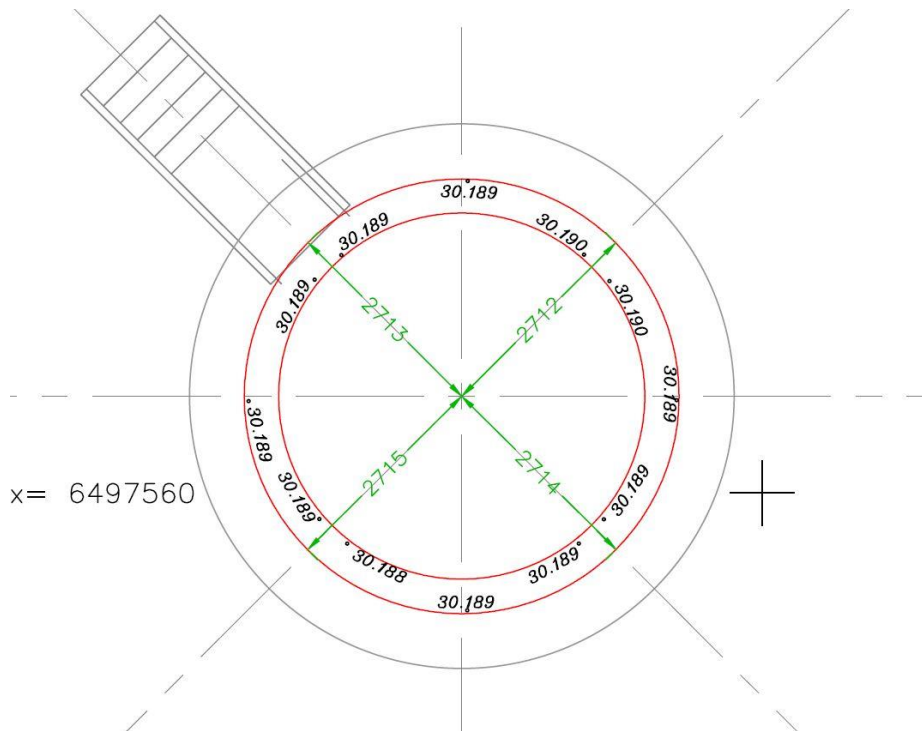
Foto 14. Kõrguslikult ja plaaniliselt märgitud ja teostatud alumine tugirõngas [13]

Instrument orienteeriti kasutades vabajaama meetodit kolme ehituskäigu punktiga. Kasutati miniprisma komplekti, sest töö täpsusnõuded eeldasid seda. Kõrguslikuks aluseks võeti alati keermelatist niinimetatud peareeper, mille kõrgus oli määratud, kas geomeetrilise nivelleerimise või siis trigonomeetrilise nivelleerimise teel. Alati peale instrumendi orienteerimist kontrolliti orienteerituse õigsust orienteerimisel kasutatud käigupunkti väljamärgimise teel. Kui asukohalised ja kõrguslikud standardvead jäid 1-3 millimeetri sisse, jätkati töödega. Samuti tööde lõpus kontrolliti instrumendi orienteeritust käigupunkti väljamärgimisega. Väljamärgimise tulemused salvestati hiljem võimalike tekkivate vaidluste ja küsimuste kaitseks.

Alumise tugirõnga asukohalisel märkimisel tehti betoonile neli märget – tugirõnga detailide välimise gabariidi liitumiskohtadele. Märkimisel jälgiti, et vead jääksid 1-3 millimeetri sisse.

Tugirõnga kõrguslikul märkimisel ning teostusmöödistamisel oli otstarbekam kasutada L-kujulist spetsiaalotsikut. See andis täpsema ja stabiilsema tulemuse. Metallplaatidel olid ääred faasidega ja seetõttu polnud võimalik täpselt äärel tavalise terava otsikuga prisma varda otsa asetada. Ehitaja poolne nõue oli, et alumise tugirõnga kõrguslik viga jääks +/- 2 mm/m kohta ning asukohaline maksimum viga +/- 10 mm.

Teostusmöödistuse andmete põhjal koostas joonestaja alumise tugirõnga teostusjoonise (Joonis 9), kus ta pidi ära näitama mööditud kõrgused ja raadiused. Raadiused on kaugused tuuliku tsestrist tugirõnga välimise gabariidini.



Joonis 9. Fragment tuuliku alumise tugirõnga teostusjoonisest [20]

Peale alumise tugirõnga teostusmöödistamist alustasid ehitajad ankrupoltide paigaldust tugirõngale. Selleks kulus neil umbes 3-4 tundi. Sel ajal sai geodeet tegeleda jooksvalt teiste vajalike töödega.



Foto 15. Alumisele tugirõngale paigaldatud ankrupolidid [13]

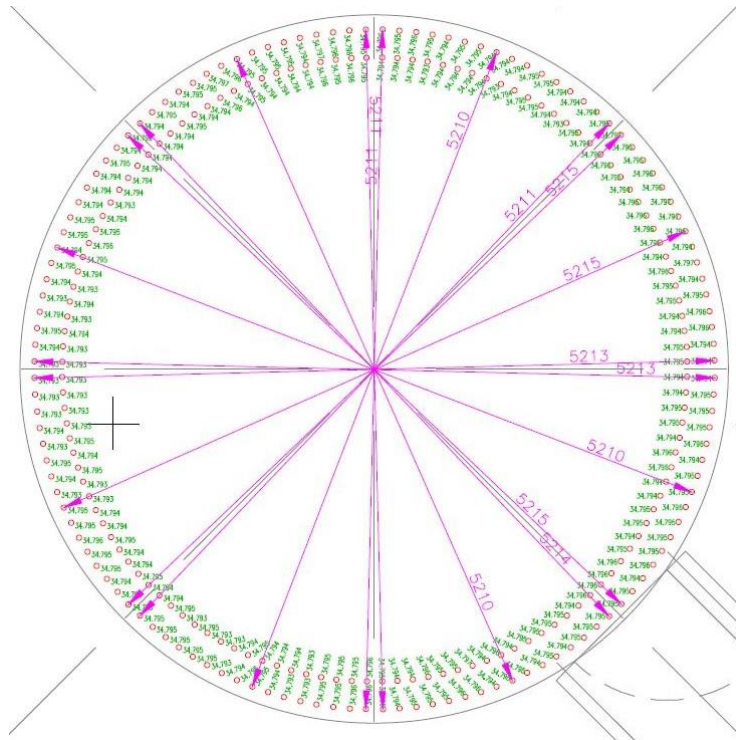
3.8.5 Ankrupoltide kõrguslik märkimine

Peale ankrupoltide (Foto 15), sooviti geodeedilt ankrupoltide kõrguslikku väljamärkimist. Kõikide tuulikute ankrupoltide kõrgused olid vastavas tabelis olemas. Instrument orienteeriti kasutades vabajaama meetodit kolme käigupunktiga.



Foto 16. Ankrupoltide kõrguslik märkimine miniprismaga tellingult [13]

Ankrupoltide kõrguslikuks märkimiseks (Foto 16) pidi geodeet ronima tellingule ja sealt oma tööd teostama. Märkimiseks sisestas geodeet väliarvutisse kaks punkti ankrupoldi projektse kõrgusega. Punktide vahele tekitati joon ja see salvestati. Tekitatud joon tehti väliarvutis aktiivseks ja kasutati ankrupoltide väljamärkimisel. Üldiselt on tegemist lihtsa tööga, aga ankrupolte, mida vaja märkida on tuulikul ühtekokku 256 tükki. Neid ühekaupa kõrguslikult paika saada on aeganõudev töö. Selleks kulub 1,5 – 2 tundi. Ehitaja nõue oli, et ankrupoltide kõrgused jääksid +/- 2 mm sisse. Geodeet omakorda proovis saada ankrupoltide kõrgused +/- 1 mm sisse (Joonis 10). Poldide asukohalist täpsust ei saanud usaldada, sest ülemine ring, millele olid paigaldatud vineerist šabloonid, et poldid koos püsiks, liikus. Samuti polnud ehitaja veel ankrupolte alt mutritega lõpuni kinni keeranud.



Joonis 10. Ankrupoltide kõrguslik väljamärkimine [20]

Kontrolliks mõõdistati alati polt, millelt mõõdistamist alustati. Sel viisil sai geodeet end kontrollida. Lisaks mõõdistati kontrolliks üks käigupunkt, et veenduda instrumendi õiges orienteerituses.

Peale seda jätkasid ehitajad armatuuri paigaldusega. Mõõdistatud andmed edastati ehitajale.

3.8.6 Kontrollmõõdistus enne betooni

Geodeedi tööd tuuliku vundamendi juures jätkusid kui ehitaja oli paigaldanud kogu vajaliku armatuuri, raketise, paigaldanud ülemise tugirõnga plaadi ja toonud tuuliku keskelt välja kaablikaitsetorude otsad (Foto 17).



Foto 17. Ankrupoldid, kaablikaitsitorud enne betooni [13]

Enne vundamendi betoneerimist sooritati geodeedi poolt kontrollmõõdistus, mis oli ühtlasi ka teostusmõõdistuseks. Taas mõõdistati kõik ankrupoldid. Selle mõõdistuse puhul olid tähtsad nii ankrupoltide asukohaline kui ka kõrguslik täpsus. Ankrupoldi tsentri pidi geodeet ise oma silmaga „paika panema“, sest tsentrimärgid poltidel puudusid.

Lisaks mõõdeti mõned kontrollkõrgused ülemisele tugirõngale ja fikseeriti mõõtmistega väljaulatuvate kaablikaitsitorude otsade asukohad.

Täitsa tavaline oli olukord, et ankrupoltide kõrgus oli võrreldes esialgsest väljamärgitud kõrgusest 5-7 millimeetrit madalamal. Ehitaja aktsepteeris tekkinud olukorda, sest kogu raskuse kaal oli oluliselt suurenenud ja sellest oli tingitud ka selline vajumine.

3.8.7 Vundamendi teostusmõõdistus

Reeglina järgneval või siis üle järgneval päeval peale kontrollmõõdistuste tulemuste edastamist ehitajale saabusid objektile betooniautod. Algas vundamendi betoneerimine (Foto 18). Ühe vundamendi betoneerimiseks pidi objektile käima umbes sada autot.



Foto 18. Vundamendi betoneerimine [13]

Betoneerimisele järgneval päeval demonteeriti ehitaja poolt erinevad raketise osad. Selleks võis kuluda 4-6 tundi. Peale seda alustas geodeet vundamendi teostusmöödistamisega. Instrument paigaldati vundamendi tippu kuna ehitaja asus vundamendi ümbruses tagasitäidet teostama. Instrumendi orienteerimisel kasutati vabajaama meetodit ja kolme ehituskäigupunkti.

Teostusmöödistamisel möödistati 16 ankrupolti (Foto 19), kõrgused vundamendi ülemisele osale, betooni erinevad kõrguslikud astmed möödistati nelja punktiga.



Foto 19. Betoneeritud vundament [13]

KOKKUVÕTE

Selles lõputöös antakse ülevaade valitud ehitusgeodeetilistest töödest tuulepargi ehituse teenindamisel. Objekt asub Pärnu maakonnas Vändra valla lääneosas Metsaküla ja Metsavere küla aladel. Ala suurus on ca 4150 ha ning tegemist on valdavalt ammendatud turbaväljaga [3]. Autori esimene töö antud objektil algas raadamispiiride väljamärgimisega, 2023 aasta veebruaris. Objekti lõplikuks valmimiseks on märgitud 2025 teine kvartal.

Esimeses peatükis räägitakse lahti tuulepargi vajalikkus ja otstarve. Mainitakse ära, miks on tähtis tööohutus ja isikukaitsevahendite kasutamine ehitusplatsil. Suuremat tähelepanu pööratakse erinevatele instrumentidele, mida kasutati geodeetilistel töödel.

Teise peatüki alguses tuuakse välja nõuded mõõdistamisvõrgule. Kirjeldatakse plaanilise mõõdistusvõrgu rajamist, selleks kasutatud vahendeid ja seadmeid.

Kõrgusliku mõõdistusvõrgu loomisel lähtuti juba olemasolevast mõõdistusvõrgu reeperist. Nivelleerimist tehti mitmes osas, seoses suurte masinate tiheda liikumisega tuulepargis. Peamiselt kasutati koordineeritud reeperite kõrguste määramisel geomeetrilist nivelleerimist. Teise nivelleerimise viisina kasutati trigonomeetrilist nivelleerimist.

Kõrget täpsust nõudvate tööde teostamiseks oli vaja rajada iga tuuliku vundamendi juurde tugivõrk ehk ehituskäik. Selleks orienteeriti instrument vabajaama meetodil kahe eelnevalt koordineeritud punkti vahel. Seejärel mõõdeti sisse ehituskäigu tarbeks paigaldatud punktid.

Kolmandas ehk viimases peatükis kirjeldatakse valikuliselt objektil tehtud ehitusgeodeetilisi töid - märkimistööd ja teostusmõõdistamised.

Sentimeetritäpsust nõudvad märkimised ja teostusmõõdistamised sooritati kasutades GNSS seadet. Selliste tööde hulka kuulusid näiteks, raadamispiiride märkimine, tuuliku tsentrite märkimine, platside väljakaevete märkimine ja teostusmõõdistus, teede piketaaži märkimine, truupide märkimine, maaparanduskraavide märkimine vundamendi kaeviku teostusmõõdistus jne.

Tahhümeetrilist mõõdistamist suure prismaga kasutati tuuliku vundamendi killustikaluse mõõdistamisel, EPS-is olevate tugijalgade süvendite mõõdistamisel, teede ja platside killustiku ja liiva mõõdistamisel.

Millimeetritäpsust nõudvatel töödel kasutati miniprismakomplekti. Instrument orienteeriti kasutades vabajaama kolmel käigupunktil. Sellisteks töödeks olid tööbetooni

teostusmõõdistus, alumise tugirõnga märkimine ja teostusmõõdistus, ankrupoltide kõrguslik märkimine ja teostusmõõdistus, kontrollmõõdistus enne betooni ning vundamendi lõplik teostusmõõdistus.

SUMMARY

The aim of the thesis *Geodetic Surveying of Wind Farm* is to provide a selective overview of the geodetic works conducted on the construction site.

This thesis provides an overview of the selected geodetic works related to the construction of a wind farm. The project is located in the western part of Vändra municipality in Pärnu County, covering an area of approximately 4150 hectares, predominantly consisting of exhausted peat fields. The author's involvement began with marking the clearing boundaries in February 2023, with the project slated for completion in the second quarter of 2025.

The first chapter elaborates on the necessity and purpose of the wind farm, emphasizing workplace safety and the use of personal protective equipment. It also highlights various instruments used in geodetic works.

In the second chapter, the requirements for the survey network are outlined, detailing the establishment of both planimetric and altimetric survey networks, along with the tools and equipment used.

Altimetric survey network construction relied on an existing reference network. Levelling was conducted in several stages due to heavy machinery traffic in the wind farm, primarily employing geometric levelling for coordinated reference point height determination, supplemented by trigonometric levelling.

The third and final chapter selectively describes geodetic works performed on-site, including marking and construction surveying. The marking and construction surveys requiring centimeter-level accuracy were performed using GNSS equipment, while theodolite measurements were employed for certain detailed works. Miniprism set was used for millimeter-precision tasks.

In conclusion, this thesis comprehensively highlights the geodetic procedures undertaken for the wind farm construction, emphasizing the importance of precision, safety, and efficient utilization of geodetic tools and techniques.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Tuuleenergia | Kliimaministeerium“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/energeetika-maavarad/taastuenergia/tuuleenergia>
- [2] „Tuuleenergia - Evecon OÜ“. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://evecon.ee/tuuleenergia/>
- [3] „Vallavalitsus - Tootsi Suursoo ala ja tuulepargi teemaplaneering.pdf“. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4080/7201/6029/Lisa2.pdf>
- [4] „Eesti Energia ostis Tootsi tuulepargi kinnistu 51,5 miljoni euroga“, Majandus. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://majandus.postimees.ee/6902618/eesti-energia-ostis-tootsi-tuulepargi-kinnistu-51-5-miljoni-euroga>
- [5] „Avaleht“. Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <https://sopitootsipargid.ee/avaleht>
- [6] „Ehitus“. Vaadatud: 3. mai 2024. [Online]. Available at: <https://sopitootsipargid.ee/ehitus>
- [7] „Tööohutus ehitusplatsil“. Tööinspeksioon, 2022.
- [8] „Trimble S6 Robotic“, Survey Solutions Group. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://surveysolutionsgroup.co.uk/product/trimble-s6-robotic-hire/>
- [9] „Trimble S6.pdf“. Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <http://www.hydronav.com/pdf/Trimble%20S6.pdf>
- [10] admin, „Trimble TSC7“, Geotronics. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://geotronics.sk/produkt/trimble-tsc7/>
- [11] „Trimble TSC7“, Geosoft | Trimble Eesti. Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <https://geosoft.ee/trimble-tsc7/>
- [12] „Datasheet - Trimble TSC7.pdf“. Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <https://geosoft.ee/wp-content/uploads/pdf/Datasheet%20-%20Trimble%20TSC7.pdf>
- [13] A. Pokk, „Erakogu“.
- [14] „Datasheet - Trimble R8s.pdf“. Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <https://geosoft.ee/wp-content/uploads/pdf/Datasheet%20-%20Trimble%20R8s.pdf>
- [15] „Nivelliirid“, Geosoft | Trimble Eesti. Vaadatud: 23. märts 2024. [Online]. Available at: <https://geosoft.ee/nivelliirid/>
- [16] „DiNi - PERFORMANCE SPECIFICATIONS.pdf“. Vaadatud: 24. märts 2024. [Online]. Available at: <https://geosoft.ee/wp-content/uploads/pdf/Datasheet%20-%20Trimble%20DiNi.pdf>
- [17] „Goecke GmbH & Co. KG - Der Ausrüster für Vermessungstechnik - SECO 360° sliding prism set“. Vaadatud: 24. märts 2024. [Online]. Available at:

<https://goecke.de/Products/EDM-Accessories/Mini-prism-with-offset-0--30-mm--SECO-mini-prism-systems-with-mini-prism-poles/product-1013.html>

- [18] „022516-415A_Target Datasheet_Optical Accessories_USL_0222_LR .pdf”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-1017195/022516-415A_Target%20Datasheet_Optical%20Accessories_USL_0222_LR%20
- [19] „Topo-geodeetilisele uuringule ja teostusmöödistamisele esitatavad nõuded–Riigi Teataja”. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119042016003>
- [20] „Raxoest OÜ arhiivi materjal”. Raxoest OÜ, 2023.
- [21] „Nivelleerimine ehk kõrguslik möödistamine | Aamos Atlas OÜ”, Geodeesia | maamöötmise | Aamos Atlas. Vaadatud: 28. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://aamosatlas.ee/nivelleerimine-ehk-korguslik-moodistamine/>
- [22] R. Reimo, „Saue raudteejaama kergliiklustee ehitusgeodeetiline teenindamine.” Tallinna Tehnikakõrgkool, 2016.
- [23] „Ehitusgeodeetilised tööd - Märkimistööd - Joonised”, Geodeesia partner. Vaadatud: 19. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://geodeesiapartner.ee/ehitusgeodeetilised-tood/>
- [24] R. Ranne, *Geodeesia alused. Geodeesia II osa*. Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2006.
- [25] „Metsaseadus–Riigi Teataja”. Vaadatud: 4. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130122015032?leiaKehtiv>
- [26] „Truup”, *Vikipeedia*. 12. mai 2021. Vaadatud: 15. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Truup&oldid=5896119>
- [27] „Tuleohutuse seadus–Riigi Teataja”. Vaadatud: 15. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/116122022020#para24lg4>
- [28] „Maaparandusseadus–Riigi Teataja”. Vaadatud: 15. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130062023038?leiaKehtiv>
- [29] „Vundament”, *Vikipeedia*. 1. juuli 2022. Vaadatud: 16. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Vundament&oldid=6142761>
- [30] „3D masinjuhtimine - kopateenused ja rasketehnika rent Raplamaal, Harjumaal - Bestkop”. Vaadatud: 16. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://bestkop.ee/3d-masinjuhtimine-kopateenused-ja-rasketehnika-rent-raplamaal-harjumaal/>
- [31] „MIS ON EPS? – ESTPLAST”. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://estplast.ee/est/mis-on-eps/>