

# **Allmaa-markšeiderivõrkude orienteerimine vertikaalse kaeveõõne kaudu Estonia kaevanduse näitel**

Magistritöö

Üliõpilane: Ivika Errapart (192203LARM)

Juhendaja: Erik Väli, vanemlektor, PhD

Õppekava: Maapõueressursid (LARM18/18)

## Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Ivika Errapart

[digiallkiri]

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

Juhendaja: Vanemlektor Erik Väli

[digiallkiri]

Töö on lubatud kaitsmisele.

Kaitsmiskomisjoni esimees:

[digiallkiri]

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Ivika Errapart

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Allmaa markšeiderivõrkude orienteerimine vertikaalse kaeveõõne kaudu Estonia kaevanduse näitel, mille juhendaja on Erik Väli,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

03.06.2021

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

## Sisukord

Annotatsioon .....	5
Abstract .....	6
Jooniste loetelu .....	7
Tabelite loetelu.....	8
Kasutatud mõistete ja lühendite loetelu.....	9
1. Sissejuhatus.....	11
2. Uuringuobjekt ja probleem .....	12
2.1. Estonia kaevanduse kirjeldus .....	12
2.2. Probleemi kirjeldus.....	14
2.2.1. Tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem .....	15
2.2.2. Kõrgussüsteem .....	17
3. Markšeideritöö ülevaade ja orienteerimistööd .....	20
3.1. Ajalugu.....	20
3.2. Ülevaade.....	20
3.3. Orienteerimise ja sidumise tööd .....	22
3.3.1. Gүroskoopiline orienteerimine .....	23
3.3.2. Geomeetiline orienteerimine .....	25
3.3.3. Kõrgusmärgi ülekandmine maa alla .....	27
4. Varasemalt tehtud tööd .....	30
4.1. Esimene geomeetiline ja gүroskoopiline orienteerimine Estonia kaevanduses .....	30
4.2. Järgnevad perioodilised gүroskoopilised orienteerimised Estonia kaevanduses .....	32
4.3. Orienteerimistööde näiteid mujalt maailmast.....	32
4.3.1. Orienteerimistööd Karviná ja Darkov'i kaevanduste ühendamisel.....	32
4.3.2. Orienteerimistööd Ülijuhtiva Superpõrguti rajamisel.....	33
4.3.3. Orienteerimistööd Horní Městos Püha Antoniuse nimelise stolli avamisel küllastajatele	34
5. Geomeetiline orienteerimine läbi šurfi nr 192 .....	36
5.1. Töö iseloomustus .....	39
5.2. Töövahendid.....	41
5.3. Töö metoodika .....	42

5.4.	Asimuudi arvutamine .....	47
5.5.	Allmaa markšeiderivõrkude tasandamine.....	51
5.5.1.	Tasandamise olemus .....	51
5.5.2.	19. paneeli markšeiderivõrkude loomine.....	53
5.5.3.	19. paneeli markšeiderivõrkude tasandamine.....	55
5.6.	Tulemused .....	56
6.	Järeldused.....	58
	Kokkuvõte.....	59
	Tänuavaldused .....	60
	Kirjanduse loetelu.....	61
	Lisa 1. Lõputöö ülesanne .....	65
	Lisa 2. Tasandamise tulemusel mõõtmiste täpsusele antud hinnang.....	67

## Annotatsioon

Estonia põlevkivikaevanduse avamisest on praeguseks möödunud pea viiskümmend aastat, mille jooksul on Eesti riigi geodeetilises süsteemis toimunud mitmeid muutusi, millega kaevanduse markšeiderivõrgud pole kaasa läinud. Samuti pole sisuliselt teostatud kaevanduse allmaa-markšeiderivõrkude direktsiooninurga kontrolli juba ligemale kolmkümmend aastat.

Käesoleva töö eesmärgiks on teostada Estonia kaevanduse allmaa-markšeiderivõrkude orienteerimine vertikaalse kaeveõõne kaudu, selleks et kontrollida allmaa-markšeiderivõrkude täpsust ning luua alus kaevanduse tasapinnalise ristkoordinaatide süsteemi üleminekuks praegu kasutatavast kohalikust süsteemist mujal Eesti riigis kasutatavasse L-EST97 koordinaatsüsteemi ning Balti 1977. aasta kõrgussüsteemi (BK77) üleminekuks Euroopa ühtsesse kõrgussüsteemi EH2000. Kaevanduse geodeetilise süsteemi ühtlustamine riikliku geodeetilise süsteemiga vähendab tunduvalt operatsioone, mida markšeider oma igapäevatoos teostama peab ning tõstab maa-aluste kaeveõõnte ja maapinna omavahelise sidususe täpsust.

Orienteerimiseks kasutati Estonia kaevanduse tuulutusšurfi, mis ei olnud veel töösse antud. Läbi vastvalminud šurfi riputati maa pealt kaevandusse kaks ripploodi, mille asukoht mõõdistati maapinnal L-EST97 koordinaatsüsteemis ning maa all kohalikus koordinaatsüsteemis. Orienteerimise tulemusena tekkis maa alla kaks teadaolevate koordinaatidega punkti ning üks teadaoleva asimuudiga joon. Nende andmete põhjal teostati olemasolevate allmaa-markšeiderivõrkude direktsiooninurga kontroll ning määrati koordinaatide L-EST97 süsteemist kohaliku süsteemi ümberteisendamisel tekkiv viga.

Antud töö raames teostatud allmaa-markšeiderivõrkude direktsiooninurga kontroll ei tuvastanud olulist kõrvalekallet arvatavast, ehk eelnevate markšeiderimõõtmistega määratud direktsiooninurgast. Koordinaatide ümberteisendamisel tekkiv viga jäi samuti varem eeldatud piiridesse ning kaeveõõnte ja maapinna ühendamise saab sellise vea juures teostada kaevanduse otstarbeks piisava vajaliku täpsusega.

Käesoleva tööga algas Estonia kaevanduses geodeetilise süsteemi kaasajastamise protsess, kuid kahjuks ei anna üks orienteerimine piisavalt algandmeid kogu kaevanduse tasapinnalise ristkoordinaat- ja kõrgussüsteemi ümberteisendamiseks. Vajalik on tööd jätkata ja korrata orienteerimist veel vähemalt kahel korral, et üleminek riiklikule geodeetilisele süsteemile annaks täpseid ja usaldusväärseid tulemusi.

## **Orientation of underground survey networks through a vertical shaft: a case study of the Estonia mine**

### **Abstract**

Almost fifty years has passed since the opening of the Estonia oil shale mine. During this period several changes have occurred in the geodetic system of the country Estonia, which have not been adopted into the survey networks of the mine. Similarly, no inspection of the direction angle of the mine survey networks has been carried out for almost thirty years.

The aim of the current thesis is to conduct an orientation survey of the underground survey networks of the Estonia mine. This is done by using a vertical shaft for checking the accuracy of the underground survey networks and creating a basis for transferring the planar coordinate system of the mine from the existing local system to L-EST97, which is used elsewhere in Estonia, and for transferring the Balti 1977 height system (BK77) to European height system EH2000. Unification of the geodetic systems of the mine and the country will significantly reduce the operations a surveyor has to perform daily and will increase the accuracy of coherence between the underground shafts and the surface.

A ventilation shaft of the Estonia mine not yet in operation was used for the orientation surveys performed in this study. Two plumbines were lowered into the mine through the new ventilation shaft and their positions were measured on the surface using the L-EST97 coordinate system, and underground using the local coordinate system. As a result of the orientation surveys, two underground points with known coordinates were created, as well as a line with a known azimuth. This data was then used for performing an inspection of the direction angle of underground survey networks and for determining the error arising from the conversion of coordinates from L-EST97 system to the local system.

The inspection of the direction angle of the underground survey networks performed in the framework of this thesis did not identify a significant deviation from the expected, or the direction angle determined by previous underground surveys. The error arising from the conversion of coordinates did not exceed the previously assumed limits, either. Thus, connecting the underground shafts with the surface can be performed with sufficient accuracy for the purposes of the mine, even with the existence of this error.

This thesis launched the process of modernisation of the geodetic system of the Estonia mine. However, unfortunately one orientation survey cannot provide enough data for transferring the planar coordinate and height systems of the entire mine. It is necessary to continue this work and repeat the orientation surveys at least two more times, so that the transition to the national geodetic system would give accurate and trustworthy results.

## Jooniste loetelu

- Joonis 1.** Estonia kaevanduse asukoht (Aluskaart: Maa-amet 2021)
- Joonis 2.** Šurfi nr 192 litoloogiline läbilõige (Utrobina, 2020)
- Joonis 3.** Kõrgussüsteemilt BK77 Euroopa kõrgussüsteemile üleminekul lisanduvad parandid üle Eesti, ühikuks sentimeeter. (Maa-amet, 2017)
- Joonis 4.** Markšeideritöö seosed muude teadusharudega (Певзнер, jt., 2003, lk 24)
- Joonis 5.** Orienteerimise meetodid (Ogundare, 2016)
- Joonis 6.** Gүroskoopiliste teodoliitide tüübid (Bezdiček, jt., 2018)
- Joonis 7.** Orienteerimine kahe ripploodiga ühe vertikaalse kaeveõõne kaudu (Ogundare, 2016, lk 507)
- Joonis 8.** Weisbach'i triangulatsiooni meetod (Ogundare, 2016, lk 508)
- Joonis 9.** Kõrgusmärgi ülekandmine läbi vertikaalse kaeveõõne elektroonilise kaugusmõõturiga (Ogundare, 2016, lk 545)
- Joonis 10.** Kõrgusmärgi ülekandmine läbi vertikaalse kaeveõõne mõõtelindiga (Ogundare, 2016, lk 546)
- Joonis 11.** Vertikaalse šurfi nr 72 läbilõige
- Joonis 12.** Kaldšurfi nr 142 läbilõige
- Joonis 13.** Puurmasin RHINO100 (Autori erakogu)
- Joonis 14.** Šurfi nr 192 läbilõige
- Joonis 15.** Šurfi nr 192 asukoht Estonia kaevanduse kaeveõõnte plaanil (Aluskaart: Maa-amet 2021)
- Joonis 16.** Šurfi nr 192 asendiplaan
- Joonis 17.** Orienteerimise tööprotsess maa peal (Fotod: Autori erakogu)
- Joonis 18.** Orienteerimise tööprotsess maa all (Fotod: Autori erakogu)
- Joonis 19.** Leica TC407 tahhümeeter (TEOMAC, 2021)
- Joonis 20.** Trimble R10 GNSS vastuvõtja koos Trimble TSC3 väliarvutiga (GEOMATICS LAND SURVEYING, 2021)
- Joonis 21.** Topcon GM-105 tahhümeeter (Entech Instruments Ltd, 2017)
- Joonis 22.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Trimble R10 GNSS vastuvõtjat
- Joonis 23.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Leica TC407 tahhümeetrit
- Joonis 24.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa all, kasutades tahhümeetrit Topcon
- Joonis 25.** Lähteandmed asimuudi arvutusteks
- Joonis 26.** Weisbach'i triangulatsiooni lähteandmed maa peal
- Joonis 27.** Weisbach'i triangulatsiooni lähteandmed maa all
- Joonis 28.** 19.paneeli strekkide läbindamine
- Joonis 29.** Sokkia Set500 tahhümeeter (International Surveying Equipment, 2021)
- Joonis 30.** Ühendatud ripploodide asukoha plaan



## Tabelite loetelu

- Tabel 1.** Estonia kaevanduse maavaravaru seisuga 17.02.2020 (Keskkonnaamet, 2004)
- Tabel 2.** Eestis kasutusel olnud tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemide parameetrid
- Tabel 3.** Koordinaatide teisendus kasutades Maa-ameti kalkulaatorit "Kohalik - L-EST97"
- Tabel 4.** Teisendatud koordinaatide vahe
- Tabel 5.** Eestis kasutuses olnud kõrgussüsteemide parameetrid
- Tabel 6.** Polügonomeetriavõrgu algandmed (Каждан, 1972, lk 6)
- Tabel 7.** Nivelleerimisvõrgu algandmed (Каждан, 1972, lk 7)
- Tabel 8.** Güroskoopilise orienteerimise täpsuskarakteristikud (Каждан, 1972, lk 24)
- Tabel 9.** Geomeetrilise orienteerimise täpsuskarakteristikud (Каждан, 1972, lk 27)
- Tabel 10.** Leica TC407 tööparameetrid (Leica Geosystems, 2002)
- Tabel 11.** Trimble R10 tööparameetrid (Trimble, 2021)
- Tabel 12.** Tahhümeetri Topcon GM-105 tööparameetrid (Topcon, 2017)
- Tabel 13.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Trimble R10 GNSS vastuvõtjat
- Tabel 14.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades tahhümeetrit Leica TC407
- Tabel 15.** Allmaamõõdistuse lähtepunktide koordinaadid
- Tabel 16.** Šurfi ava ringjoone punktide direktsiooninurgad ja kaugused seisupunktist
- Tabel 17.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa all, kasutades tahhümeetrit Topcon
- Tabel 18.** Lähteandmed asimuudi arvutusteks
- Tabel 19.** Tahhümeetri Sokkia Set500 tööparameetrid (SOKKIA CO., LTD., 1999)
- Tabel 20.** Ripploodide koordinaadid L-EST97 koordinaatsüsteemis
- Tabel 21.** Ripploodide mõõdetud ja teisendatud koordinaadid kohalikus koordinaatsüsteemis

## Kasutatud mõistete ja lühendite loetelu

**Tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteem** – süsteem, mida kasutatakse horisontaalsete ja vertikaalsete kauguste mõõtmiseks tasapinnalisel kaardil. Koordinaatsüsteemi määratlus sisaldab kaardiprojektsiooni, referentsellipsoidi, referentsüsteemi, ühte või enam standardparalleeli, telgmeridiaani ja võimalikke nihkeid x- ja y-suundades, et määrata punkti, joone või polügooni x,y asukohad (Suurna ja Sisas, 2012).

**Kõrgussüsteem** – süsteem, millega on määratud ühtne nullkõrgusega alguspind, millest määratakse punktide vertikaalset kaugust, ehk kõrgust või z-koordinaati (Yilmaz, 2008).

**L-EST97** – Eestis kasutusel olev tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteem, mille koordinaadid arvutatakse EUREF-EST97 geodeetilistest koordinaatidest kasutades Lamberti kahe lõikeparalleeliga koonilist konformset kaardiprojektsiooni LAMBERT-EST ja rahvusvahelist referentsellipsoidi GRS80 (Maa-amet, 2021).

**EH2000** – Lühend, millega tähistatakse Eestis kasutatava kõrgussüsteemi - Euroopa Vertikaalse Referentsüsteemi (EVRS) kõrgusi. EH2000 normaalkõrgused epohhil 2000 tuginevad riiklikul kõrgusvõrgul, mille kõrgusväärtused lähtuvad EVRS realisatsioonist EVRF2007 (Maa-amet, 2021).

**Balti 1977. aasta kõrgussüsteem (BK77)** - Eestis kuni 31. detsembrini 2017 kehtinud kõrgussüsteem. Selle kõrgussüsteemi lähtenivoo on määratletud Kroonlinna merevaatlusjaamas mõõdetud keskmise veetasemega aastatel 1825–1840 (Maa-amet, 2021).

**Markšeiderimöödistus (-töö)** - Markšeiderimöödistus on maavara kaevandamisel tehtav möödistamine ja möödistamistulemuste dokumenteerimine (Maapõueseadus, 2016).

**Allmaa-markšeiderivõrk** – Maa-alune geodeetiline võrk. Geodeetiline võrk on ühtsesse geodeetilise süsteemi kuuluvate geodeetiliste punktide kogum (Ruumiandmete seadus, 2011). Allmaa-möödistamisvõrgud koosnevad ettevalmistuskaeveõõnte möödistamiseks rajatud käikudest.

**Polügonomeetria** - geodeetiliste punktide koordinaatide määramise meetod, mille korral rajatakse maastikul neid punkte ja teada olevate koordinaatidega punkte ühendav murdjoon (polügonomeetiline käik) või sõlmpunktide kaudu omavahel ühendatud polügonomeetriliste käikude süsteem (polügonomeetiline võrk) ning mõõdetakse kõikide lõikude pikkus ja lõikudevahelised nurgad (Eesti Entsüklopeedia, 1994, lk 383).

**Direktsiooninurk** - Nurk, mida mõõdetakse telgmeridiaani või temaga paralleelse suuna põhjapoolsest otsast päripäeva antud suunani. See on orienteerimine ristkoordinaatide võrgu x-telje suhtes. Direktiooninurk võib olla vahemikus 0°-360°.

**Asimuut** - Geodeetilise meridiaani tasandi ja antud punktis referentsellipsoidiga risti oleva tasandi vaheline nurk, mida loetakse põhjapunkti suunast ida poole. Võib olla vahemikus 0–360° (Eesti Nõukogude Entsüklopeedia, 1985, lk 336).

**Markšeiderivõrkude orienteerimine** – Markšeideritööd, mille eesmärk on luua geomeetiline seos allmaa-markšeiderivõrkude ja pealmaa geodeetiliste võrkude vahel.

**Geomeetiline orienteerimine** – Orienteerimistööd, mille käigus luuakse vahetu seos kaeveõõnte ja maapinna vahel (nt. mehaaniline orienteerimine kaevandusse riputatavata ripploodide abil).

**Güroskoopiline orienteerimine** – Orienteerimistööd, mis võimaldavad määrata astronoomilise tõelise (geodeetilise) põhja suuna güroskoopilise teodoliidi abil.

**Markšeiderivõrkude tasandamine** – Markšeiderimõõtmise tulemuste matemaatiline töötlemine, mille käigus leitakse mõõdetud elementide tasandatud väärtused või parandid, mis eemaldavad liigsetest mõõtmistest tulenevad ebakõlad tasandatavate väärtuste või nende funktsioonide vahel. Tasandamise käigus antakse ka hinnang mõõtmistulemuste täpsusele (Белоликов, jt., 1979, lk 308).

## 1. Sissejuhatus

Orienteerimine on mäenduses ja markšeideriasjanduses üsna tavapärane praktika, seda tuleb teostada vähemalt kord iga kaevanduse elu jooksul – koordinaadid tuleb viia maa alla markšeiderivõrkudele aluse panemiseks. Sügavates, mitmehorisondilistes kaevandustes teostatakse orienteerimist märksa tihemini – koordinaatide ülekandmiseks ühelt horisondilt teisele. Samuti on orienteerimist maailmas teostatud mitmete eriprojektide tarbeks, nagu näiteks Ülijuhtiva Superpõrguti rajamisel Ameerika Ühendriikides (Greening, jt., 1993).

Estonia kaevanduses alustati põlevkivi kaevandamist 1972.a. ning samal aastal teostati ka esimene ja lähima ajani viimane markšeiderivõrkude geomeetriline orienteerimine, mis pani aluse kogu kaevanduse allmaa markšeideri tugivõrgustikule (Каждан, 1972). Järgneval paarikümnel aastal teostati kaevanduses perioodiliselt markšeiderivõrkude asimuudi kontrolli güroskoopilise orienteerimise näol, kuid see praktika häabus kolmekümne aasta eest güroskoopilise teodoliidi puudumise tõttu.

Vahepeal toimunud muutused Eesti riigi geodeetilises süsteemis ja tarvidus veenduda allmaa markšeiderimõõtmiste täpsuses on loonud vältimatu vajaduse uue geomeetrilise orienteerimise teostamiseks. Samuti pakub kaevanduse tuulutusšurfide läbindamise tehnoloogia areng üle pika aja taas võimalust orienteerimistöid läbi viia.

Käesoleva töö eesmärk on teostada Estonia kaevanduse allmaa markšeiderivõrkude geomeetriline orienteerimine, selleks et kontrollida olemasolevate allmaa markšeiderivõrkude asimuuti ning kanda kaevandusse üle kaks teadaolevate koordinaatidega punkti, mida saab hiljem kasutada kaevanduse koordinaatsüsteemi ümberteisendamiseks kohalikust riiklikusse L-EST97 koordinaatsüsteemi. Orienteerimine annab ka võimaluse täpselt määrata koordinaatide ümberteisendamise käigus tekkiv viga, mida on oluline teada, selleks et hinnata maapinna ja kaeveõonte situatsioonide kattuvust.

Orienteerimisel saadud andmete põhjal on võimalik hinnata allmaa markšeiderivõrkude täpsust ning analüüsida võimalusi kaevanduse geodeetilise süsteemi vastavusse viimiseks riiklikuga. Kaevanduse koordinaatsüsteemi kaasajastamine parandaks tunduvalt markšeideritöö korrektsust ja efektiivsust ning kiirendaks kaevandust puudutava graafilise info loomist ja liikuvust.

## 2. Uuringuobjekt ja probleem

### 2.1. Estonia kaevanduse kirjeldus

Estonia kaevandus asub Ida-Viru maakonnas, Alutaguse vallas Eesti põlevkivimaardla Estonia väljal (**Joonis 1**). Kaevandus ehitati aastatel 1964-1972 ning alustas tööd 28.12.1972. Kaevandamisluba põlevkivi kaevandamiseks (KMIN-054) on välja antud 04.09.2004 Enefit Power AS-ile ning kehtib kuni 10.08.2049. Kaevandamisloas dokumenteeritud mäeeraldise pindala on 13 824,23 ha ning teenindusmaa pindala on 720,97 ha.

Kokku oli loa pikendamise hetkel, seisuga 31.03.2018, kaevandatavat varu 17-nes geoloogilises ploki 135 806,638 tuhat tonni, millest aktiivset tarbevaru – 127 415,638 tuhat tonni, aktiivset reservvaru – 8 391 tuhat tonni ja passiivset tarbevaru – 7 976 tuhat tonni. Maavaravarude täpsem ülevaade seisuga 17.02.2020 on toodud allolevas tabelis (**Tabel 1**). Maksimaalselt tohib aastas kaevandada 10000 tuh t põlevkivi ning maavara kasutatakse kütusena elektrijaamades ja toormena õli tootmiseks. Maavara väljamine toimub allmaakaevandamise viisil.



Joonis 1. Estonia kaevanduse asukoht (Aluskaart: Maa-amet 2021)

**Tabel 1.** Estonia kaevanduse maavaravaru seisuga 17.02.2020 (Keskkonnaamet, 2004)

aT - aktiivne tarbevaru		pT - passiivne tarbevaru		aR - aktiivne reservvaru	
Plokk	Varu (tuh t)	Plokk	Varu (tuh t)	Plokk	Varu (tuh t)
1 plokk	22616,11	2 plokk	1764,00	7 plokk	8391,00
8 plokk	5,91	3 plokk	3715,00	15 plokk	0,00
10 plokk	46337,99	5 plokk	170,00		
13 plokk	967,00	6 plokk	237,00		
16 plokk	38520,77	11 plokk	1060,00		
17 plokk	0,00	12 plokk	673,00		
		14 plokk	122,00		
Kokku	108447,78	Kokku	7741	Kokku	8391

Maapinna absoluutkõrgused jäävad Estonia kaevanduse mäeeraldise põhjaosas vahemikku 55 - 75 m ning kaeveala lõunaosas 45-65 m. Põlevkivi lasumissügavus on kaevanduse põhjaosas 37-60 m ning lõunaosas ca 75 m. Tootsa kihindi paksus varieerub 2,3 kuni 3,1 meetrini (Kutsar, 2016-2017). Antud töös käsitletud piirkonna, ning täpsemalt šurfi nr 192, litoloogiline läbilõige on toodud alloleval joonisel (**Joonis 2**).

Kaeveväli on peastrekkidega jagatud kaheks – põhja ja lõunaosaks ning lõigustatud paneelideks. Paneelid on jagatud kambriplokkideks. Alates 2020. aasta juunist viiakse ajutiselt mäetöid läbi ainult kaevanduse idatiivas, kaevandamine toimub kamberkaevandamise meetodil ning maavara väljamiseks kasutatakse puur-lõhketöid.

## LITOOLOGILINE LÄBILÕIGE

(Möötkavata)

Surf 192

↕ 65,5	Geol. Indeks	Sügavus, m		Paksus, m	Läbilõige	Kivimite kirjeldus	Hüdrogeoloogi-line tulp
		alates	kuni				
	Q	0,0	4,00	4,00		0-2,5m - liivsavid, liivad 2,5-8,1 - savi	Kvatemaari veekompleks
	O <sub>2 on</sub>	4,0	8,30	4,30		Mergel lubjakivid	Oandu keskmine veepide
	O <sub>2 kl</sub>	8,3	20,50	12,20		Monoliitsed savikad lubjakivid. Kohati purunenud.	Keila - Jõhvi veekiht
	O <sub>2 ih</sub>	20,5	31,00	10,50		Savikad lubjakivid.	
	O <sub>2 id</sub>	31,0	37,70	6,70		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega.	Jõhvi - Idavere nõrk veepide
	O <sub>2 kk</sub>			15,10		Savikad lubjakivid põlevkivi vahekihtidega.	Idavere - Kukruse veekiht
↕ 12,7		37,7	52,80			Tootuskiht	kaeveõõne lagi

Joonis 2. Šurfi nr 192 litoloogiline läbilõige (Utrobina, 2020)

### 2.2. Probleemi kirjeldus

Probleem, mida ma oma töös lahendada soovin, tuleneb erinevate tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemide ja kõrgussüsteemide kasutamisest Estonia kaevanduses ja Eesti riigis. Nimelt on Estonia kaevanduse maa-aluses osas siiani kasutusel kohalik koordinaatide süsteem, samal ajal kui mujal Eesti

riigis on kasutusel L-EST97 koordinaatsüsteem. Samuti on kaevanduses kasutusel vananenud Balti 1977. aasta kõrgussüsteem (edaspidi BK77), mis Eesti riigis vahetati välja juba 2018. aastal ühtse Euroopa kõrgussüsteemi EH2000 vastu.

See tekitab mõningaid raskusi kaevanduse maa-aluse ja maapealse osa sidumisel. Ühendatud plaanide koostamiseks tuleb kohalikud koordinaadid L-EST97 süsteemi ümber teisendada, mis tähendab nii lisatööd kui ka loob teatud ebatäpsusi, sest ümberarvutused ei pruugi tagada vajalikku täpsust. Maa-amet on oma geoportaalis selleks otstarbeks küll vastava kalkulaatori loonud, kuid see ei ole probleemi lahendus, vaid pigem ajutine leevendusmeede.

Kahe kõrgussüsteemi kõrguste vahe on Kirde-Eestis, Estonia kaevanduse piirkonnas 18-19 sentimeetrit, mida tuleb arvestada näiteks tervikute koormus- ja kandvusarvutuste juures. Kõrguseid on võimalik Maa-ameti vastava kalkulaatori abiga ümber arvutada, kuid kuna BK77 kõrgussüsteem on ebatäpne ja aegunud, siis on ülemineku täpsuse tagamiseks vajalik orienteerimine.

### 2.2.1. Tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem

1946. aastal võeti NSV Liidus kasutusele 1942. aasta koordinaatsüsteem (Pulkovo-42) ning Eesti triangulatsioonivõrk koos Läti ja Leedu võrkudega viidi üle Pulkovo 1942 daatumisse. Alates 1960. aastast oli kasutusel 1963. a. koordinaatide süsteem (Pulkovo-63), mis põhines 1942. a. koordinaatide süsteemile, kuid projektsiooni parameetrid olid muudetud ja täiesti salajased. Kirde-Eesti kaevanduste alale rajati IV klassi polügonomeetria võrk aastatel 1957-1959 ja 1969-1972. Tööde teostajaks oli Sojuzmarkštrest (Государственный всесоюзный топографо-маркшейдерский трест «СОЮЗМАРКШТРЕСТ») ning triangulatsioonivõrku kuuluvate punktide koordinaadid arvutati ja topograafilised kaardid koostati Gauss-Krügeri põiksilindrilises konformses projektsioonis 3° ja 6° tsoonides Krassovski ellipsoidil (Maa-amet, 2021). Hetkel on Eestis kasutusel L-EST97 koordinaatsüsteem, mis kasutab Lamberti kahe lõikeparalleeliga koonilist konformset kaardiprojektsiooni LAMBERT-EST ja rahvusvahelist referentsellipsoidi GRS80.

**Tabel 2.** Eestis kasutusel olnud tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemide parameetrid

	Pulkovo-43		Pulkovo-64			L-EST97
<b>Ellipsoid</b>	Krassovski 1940		Krassovski 1940			GRS-80
<b>Projektsioon</b>	Gaussi-Krügeri konformne põiksilindriline		Gaussi-Krügeri konformne põiksilindriline			Lamberti konformne kooniline
<b>Tsooni ulatus</b>	6°		3°			-
<b>Eestit katvad tsoonid</b>	tsoon nr 4 O-34	tsoon nr 5 O-35	tsoon 0	tsoon 1	tsoon 2	-



<b>Telgmeridiaan</b>	L <sub>0</sub> =21°00' ip	L <sub>0</sub> =21°00' ip	L <sub>0</sub> =21°57' ip	L <sub>0</sub> =24°57' ip	L <sub>0</sub> =27°57' ip	L <sub>0</sub> =24°00'00"
<b>Lähtepunkti geodeetilised koordinaadid</b>	B <sub>0</sub> =0°00'	B <sub>0</sub> =0°00'	B <sub>0</sub> =00°06'	B <sub>0</sub> =00°06'	B <sub>0</sub> =00°06'	B <sub>0</sub> =57°31'03.19415"
	L <sub>0</sub> =21°00'	L <sub>0</sub> =27°00'	L <sub>0</sub> =21°57'	L <sub>0</sub> =24°57'	L <sub>0</sub> =27°57'	L <sub>0</sub> =24°00'
<b>Lähtepunkti ristkoordinaadid</b>	X <sub>0</sub> =0 m	X <sub>0</sub> =0 m	X <sub>0</sub> =0 m	X <sub>0</sub> =0 m	X <sub>0</sub> =0 m	x <sub>0</sub> = +6 375 000m
	Y <sub>0</sub> =4 500 000 m	Y <sub>0</sub> =5 500 000 m	y <sub>0</sub> =250 000 m	y <sub>0</sub> =1 250 000 m	y <sub>0</sub> =2 250 000 m	y <sub>0</sub> =+500 000m
<b>Möötkavategur</b>	k = 1.0		k = 1.0			-

Alates Estonia kaevanduse tarbeks polügonomeetria võrgu loomisest kuni tänapäevani kasutusel olevate tasapinnaliste ristkoordinaatide süsteemide parameetrite võrdlus (Suurna ja Sisas, 2012) on toodud ülalolevas tabelis (**Tabel 2**).

Estonia kaevanduses on täna kasutusel kohalik koordinaatide süsteem, mis on sellisel kujul eksisteerinud kaevanduse töö algusest (28.12.1972) saati. Maa-amet on loonud kalkulaatori kohalike koordinaatide ümberarvutuseks, mis on kõigile kättesaadav nende geoportaalil (Maa-amet, 2021). Siiski on selle kalkulaatori abil koordinaatide teisendamine problemaatiline. Selle illustreerimiseks viisin läbi katse, kus teisendasin enda mõõdetud markšeideripunktide koordinaadid kohalikust süsteemist L-EST97 süsteemi, kasutades kalkulaatori pakutavaid erinevaid, kuid kaevanduse läheduses asetsevaid asukohti (Mäetaguse ja lisaku) ning samuti kaevanduse otstarbeks loodud „Eesti Põlevkivi 1973.a.“ võtet. Allolevas tabelis (**Tabel 3**) on ära toodud saadud tulemused.

**Tabel 3.** Koordinaatide teisendus kasutades Maa-ameti kalkulaatorit "Kohalik - L-EST97"

Punkt	Kohalik		L-EST97					
			Mäetaguse		lisaku		Kaevanduse (Eesti Põlevkivi 1973.a.)	
	x	y	x	y	x	y	x	y
201	36197.336	28588.579	6568533.800	697750.700	6568534.200	697750.400	6568533.960	697750.570
101	36190.321	28576.345	6568526.200	697738.800	6568526.700	697738.500	6568526.400	697738.660
901	36176.292	28551.880	6568511.100	697715.000	6568511.600	697714.700	6568511.290	697714.850
902	36139.341	28574.462	6568475.200	697739.200	6568475.700	697738.900	6568475.390	697739.050
903	36126.766	28581.672	6568463.000	697747.000	6568463.400	697746.600	6568463.150	697746.820
904	36212.754	28530.973	6568546.600	697692.500	6568547.100	697692.200	6568546.780	697692.330
905	36224.912	28524.001	6568558.500	697685.000	6568558.900	697684.600	6568558.620	697684.820

Selgub, et olenevalt valitud asukohast või kalkulatsiooni variandist, varieeruvad tulemused oluliselt, saadud koordinaatide vahed on toodud allolevas tabelis (**Tabel 4**). Võrreldes Mäetaguse ja lisaku võtet Maa-ameti poolt kaevanduse kasutuseks loodud kalkulaatori võttega, selgus, et saadud koordinaadid erinevad keskmiselt 0.196, ehk umbes 200 mm võrra. Võrreldes Mäetaguse ja lisaku võttega saadud koordinaate, sain juba suurema erinevuse – keskmiselt 0.393, ehk umbes 400 mm.

**Tabel 4.** Teisendatud koordinaatide vahe

Punkt	Koordinaatide vahe					
	Kaevanduse - Mäetaguse		Kaevanduse - lisaku		Mäetaguse - lisaku	
	x	y	x	y	x	y
201	0.160	-0.130	-0.240	0.170	-0.400	0.300
101	0.200	-0.140	-0.300	0.160	-0.500	0.300
901	0.190	-0.150	-0.310	0.150	-0.500	0.300
902	0.190	-0.150	-0.310	0.150	-0.500	0.300
903	0.150	-0.180	-0.250	0.220	-0.400	0.400
904	0.180	-0.170	-0.320	0.130	-0.500	0.300
905	0.120	-0.180	-0.280	0.220	-0.400	0.400
<b>Keskmine</b>	0.170	-0.157	-0.287	0.171	-0.457	0.329

Seega, saame teisendamisel ebatäpseid tulemusi. Isegi oletades, et „Eesti Põlevkivi 1973.a.“ kalkulaatori võte on kõige täpsem, ei saa me siiski kunagi nii täpseid tulemusi, kui siis, kui mõõtmised toimuks otse L-EST97 koordinaatide süsteemis.

## 2.2.2. Kõrgussüsteem

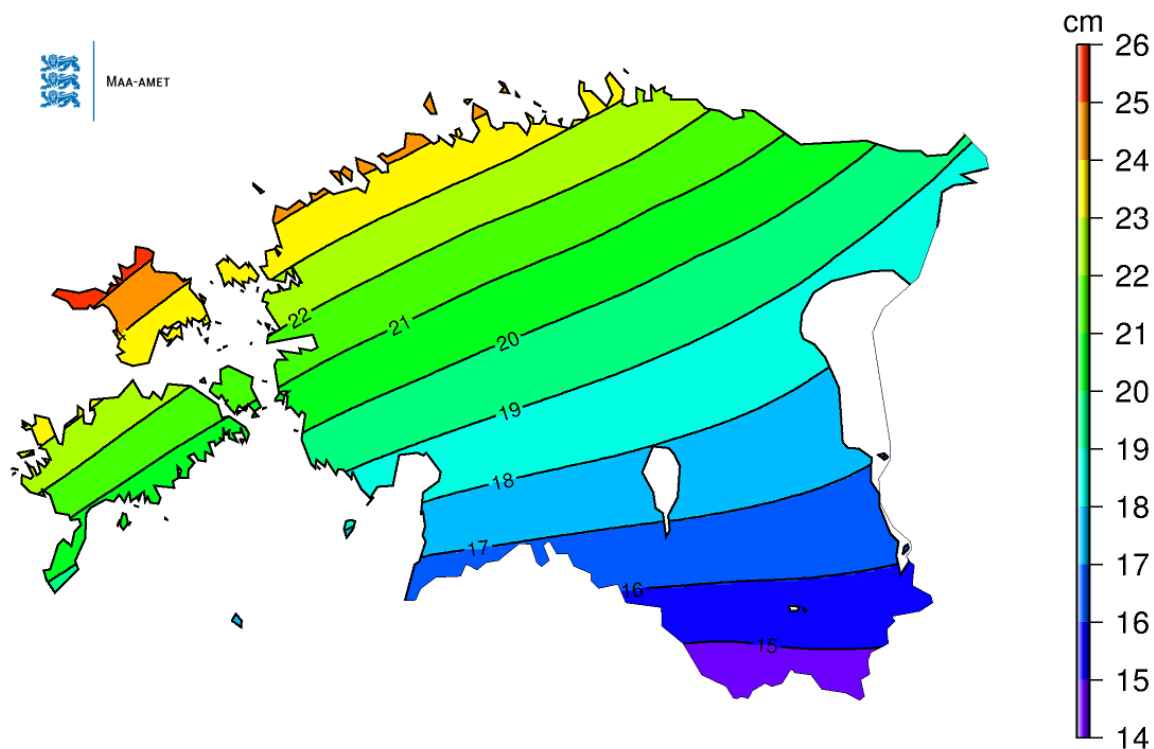
Kuni 31.detsembrini 2017.a. kehtis Eestis Balti 1977. aasta kõrgussüsteem, ehk BK77. Enne seda, alates aastast 1946, oli kasutusel BK77 tasandamata variant (Eesti Ensüklopeedia, 2003). Kõrgussüsteemi aluseks on nn. Kroonlinna null, ehk ajavahemikus 1825–1840 tehtud Kroonlinna merevee taseme mõõtmise keskmine tulemus. Epohh on määratlemata, kuid Ollikainen (Ollikainen, jt., 2003) on välja arvanud, et BK77 ligikaudne epohh Eestis on 1970. Kõrgused arvutatakse normaalkõrgustena, Maa raskuskiirenduse normaalvälja arvutamisel kasutatakse Helmerti 1901.-1909.aasta normaalväljavalemit (Geodeetiline süsteem. Keskkonnaministri määrus nr. 26, 2008).

1. jaanuaril 2018.a. läks Eesti üle Euroopa Vertikaalsele Referentsüsteemile (EVRS), mille kõrgusi tähistatakse Eestis lühendiga EH2000. EVRS aluseks on nn. Amsterdami null (Normaal Amsterdams Peil, NAP), ehk kõrgussüsteemi lähtenivoo on arvestatud veetaseme keskmise väärtusega, mis mõõdeti Amsterdamis ajavahemikul 1. september 1683 kuni 1. september 1684. Epohh on 2000 ning riikliku kõrgusvõrgu kõrgusväärtused lähtuvad EVRS realisatsioonist EVRF2007 (Maa-amet, 2021). Kõrgused väljendatakse geopotentsiaaliarvudena ning geopotentsiaaliarvudest normaalkõrguste arvutamisel kasutatakse referentsellipsoidi GRS-80 normaalraskuskiirenduse väärtusi.

**Tabel 5.** Eestis kasutuses olnud kõrgussüsteemide parameetrid

Kõrgussüsteem	BK77	EVRS 2007
Null	Kroonlinn	NAP
Epohh	määramata (c. 1970)	2000
Looded	keskmine Maa püsivate loodete süsteem	null-loodete süsteem
Kõrgused	Normaalkõrgused	Normaalkõrgused
Raskuskiirenduse normaalväli	Helmerti 1901.a valem	GRS-80 ellipsoidi normaalraskuskiirendus

Kahe mainitud kõrgussüsteemi parameetrite (Kollo, Oja, ja Pihlak, 2016) võrdlus on toodud ülalolevas tabelis (**Tabel 5**). Nagu näha allolevalt jooniselt (**Joonis 3**), lisandus kõrgussüsteemilt BK77 Euroopa Vertikaalsele Referentssüsteemile üleminekul absoluutsetele kõrgusväärtustele sõltuvalt piirkonnast 15-24 sentimeetrit, Ida-Virumaal, Estonia kaevanduse piirkonnas 18-19 cm.



**Joonis 3.** Kõrgussüsteemilt BK77 Euroopa kõrgussüsteemile üleminekul lisanduvad parandid üle Eesti, ühikuks sentimeeter. (Maa-amet, 2017)

Üks olulisi põhjuseid, miks uuele kõrgussüsteemile üle mindi, oli vana süsteemi BK77 vananemine ja ebapiisav täpsus. Seega eksisteerib Estonia kaevanduse maa-alune kõrgusvõrk hetkel vananenud ebatäpses süsteemis, mis on riikliku kõrgusvõrguga üsna meelevaldses seoses. See raskendab usaldusväärsete algandmete saamist mäetööde projekteerimise jaoks.

### 3. Markšeideritöö ülevaade ja orienteerimistööd

#### 3.1. Ajalugu

Markšeiderimõõdistamise ajalugu ulatub Vana-Egiptusesse, kolme tuhande aasta tagusesse aega, kust pärinevad esimesed teadaolevad maamõõtjad ning ka vanim säilinud geoloogiline kaart. Egiptlased kasutasid kalibreeritud nõõri põldude mõõdistamiseks, sellest tulenes ka mõõtjatele omistatud ametinimi – nõõrivenitaja. Lisaks nõõrile, kasutati ka mõõtepulka, ripploodi ja kolmnurka 90°-te nurkade mõõtmiseks. Selliste töövahendite abil ehitati ka püramiidid, mille suurim külgede pikkuste vahe on 30 cm ja külgede asimuudid varieeruvad vaid 4-8 minutit (Paulson, 2005).

Vanim säilinud geoloogiline kaart joonestati papüürusele Ramses IV valitsusajal (1151-1145 eKr) ning sellel on muuhulgas kujutatud ka kulda sisaldavad kvartsisooned ja liivakivikarjäär. Samuti on juuresolevas tekstis mainitud kullakaevandamist ning on oletatud, et üks osa kaardist viitab kaevandamisjääkide basseini (Harrell ja Brown, 1992). Hilisemad uuringud on tõestanud kaardi suhtelist geograafilist ja geoloogilist täpsust.

1. sajandil Vana-Kreekas elanud Aleksandria Heron kirjeldas oma teoses „Dioptra“ põhjalikult mitmesuguseid mõõdistustöid ning nendeks kasutatavat instrumenti – dioptrit, mis on tänapäeva teodoliidi eelkäija. M.J.T. Lewis'e teos „Surveying Instruments of Greece and Rome“ sisaldab tõlget Heroni juhendist kuidas ehitada ja kasutada dioprit (Lewis, 2001).

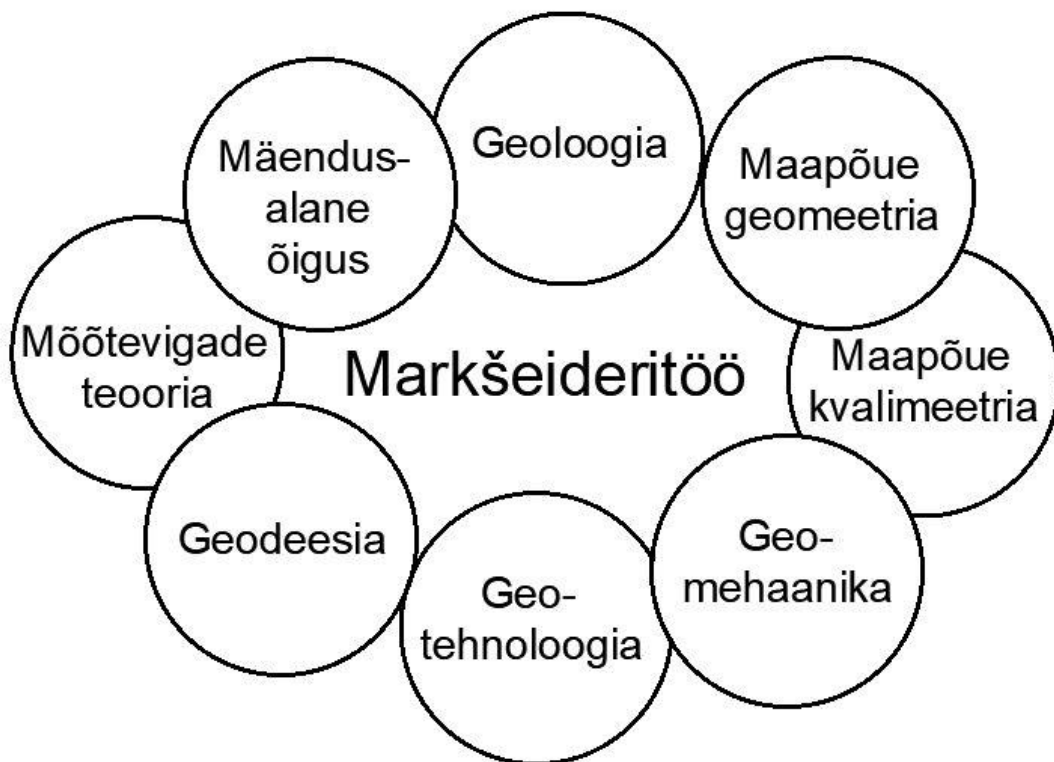
Markšeideritöö arenes kaevanduste laialdasema leviku ning arenguga käsikäes, kuid enne 16. sajandit ei ole teadaolevalt joonestatud tänapäeva mõistes täpseid kaevanduse kaarte. Esimene omataoline pärineb aastast 1531 ning sellel on mõõtkavas 1:600 kujutatud soolakaevandust Austrias. Markšeiderialast haridust hakati esimesena pakkuma aastal 1716, Jáchymov'is, Tšehhis (Ovesna, jt., 2017), mis tõi kaasa teadusharu ja kasutatavate instrumentide kiire arengu.

Tänapäevalgi on markšeiderikunst pidevas kasvamises, muutudes üha automatiseeritumaks, täpsemaks ja efektiivsemaks. See on lahutamatu osa kaevanduse planeerimisest, juhtimisest ja sulgemisest. Kaasaegsed kaevandamisprotsessid nõuavad markšeiderilt hulgaliselt väga laialdasi oskusi ning teadmisi mitte ainult geodeesia, vaid ka geoloogia, mäenduse ja isegi majanduse valdkonnas.

#### 3.2. Ülevaade

Sõna „markšeider“ tuleneb saksa keelsest *Mark* – piir ja *scheiden* – jagama, eraldama. Aja jooksul on kogunenud mitmeid markšeideritöö mõiste seletusi, kuid kokkuvõttes võib öelda, et markšeideritöö on mäenduse teadusharu, mis moodustab tähtsa osa maavarade eksploatatsioonist. Rahvusvaheline markšeideritöö ühing ISM (International Society for Mine Surveying) on defineerinud markšeideritöö kui mäendusteaduse ja -tehnoloogia haru, mis tegeleb igat tüüpi mõõtmiste, arvutuste ja kartograafiaga, mille eesmärk on informatsiooni omandamine ja dokumenteerimine kõigis maavara otsingute, uuringute ja kaevandamise etappides, nii ava-, kui allmaakaevandamisel ning samuti allmaaratistite ehitamisel ja eksploatatsioonil.

Markšeideritöö on tihedalt seotud mitmete teadusharudega (**Joonis 4**) ning eeldab selle tegijalt lisaks erialastele, geodeetilistele, teadmistele ka näiteks kaevandamise tehnoloogiliste protsesside ning markšeideritööd reguleerivate õigusaktide, määruste, projektide ja muu dokumentatsiooni tundmist. Samuti kasutavad markšeiderid oma töös geoloogilisi andmeid ja vastupidi – markšeiderimõõtmised on aluseks varuarvutustele. Maapinna ja karjäärinõlvade püsivusarvutusteks ning maapinna vajumise ja ehitiste deformatsioonide instrumentaalseks jälgimiseks on jällegi vajalikud teadmised geomehaanikast ning geotehnoloogilised otsused põhinevad markšeideri poolt kogutud informatsioonile.



**Joonis 4.** Markšeideritöö seosed muude teadusharudega (Певзнер, jt., 2003, lk 24)

Mõned näited markšeideri tööülesannetest (Enefit Power AS (Estonia Kaevandus), 2021) on:

- Geodeetiliste tugivõrkude projekteerimine ja loomine nii kaevanduses kui ka maa peal;
- Kõrgusvõrkude loomine kaevanduses - kaeveõõnte nivelleerimine ja nende profiili koostamine;
- Kaeveõõnte mõõdistamine ja väljatud alade mahtude määramine;
- Kaeveõõnte kaardistamine ning mäendus-graafilise dokumentatsiooni koostamine ja täiendamine;

- Tehniliste rajatiste geomeetriliste elementide märkimine ja kontroll (konveieriliinid, tõstekompleksid, jms.);
- Maapealsete rajatiste kaitseks jäetavate kaitsetervikute ning seismilise mõjupiirkonna järgimise kontroll;
- Mäerõhu ilmingute, maapinna ja maapealsete rajatiste deformatsioonide, karjääri- ja puistangute nõlvade instrumentaalne jälgimine.

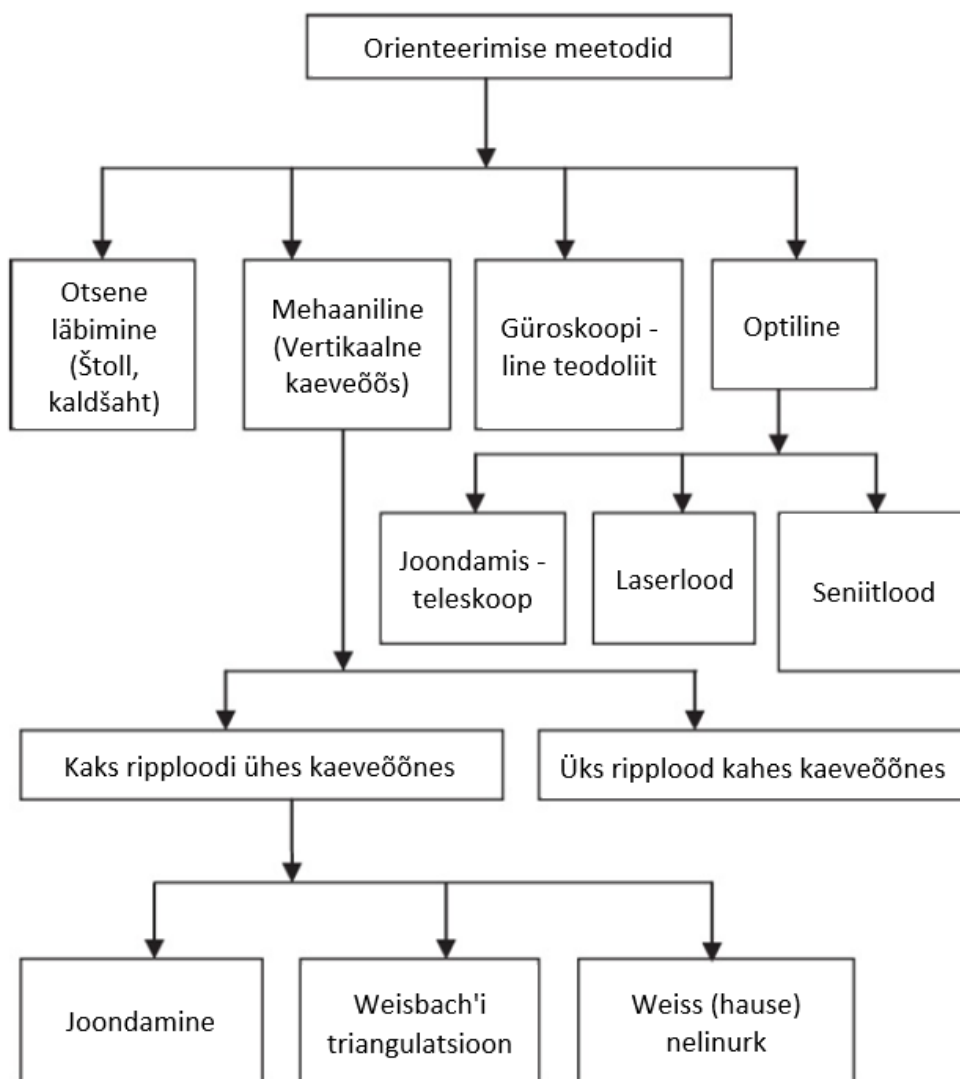
Sisuliselt on markšneideritöö eesmärk koguda informatsiooni kaevanduse elementide ruumilise asetuse kohta, seejärel esitada see informatsioon graafilisel või analüütilisel kujul selleks, et antud info põhjal saaks teha kaalutud otsuseid või leida tehnilisi lahendusi ning hiljem realiseerida nende otsuste elluviimine praktikas. Selle eesmärgi täitmiseks kasutab markšneideritöö mitmeid meetodeid, millest üks on maa-aluste kaeveõõnte ruumiline orienteerimine.

### 3.3. Orienteerimise ja sidumise tööd

Orienteerimistööde eesmärk on luua geomeetiline seos allmaa-markšneiderivõrkude ja pealmaa geodeetiliste võrkude vahel. Orienteerimine teeb võimalikuks maa-aluse tugivõrgu loomise maapinnal kasutatavas koordinaatide süsteemis. Ühtne koordinaatide süsteem on eelkõige vajalik maapinna objektide kaitseks – täpne asukoht on aluseks kaitsetervikute projekteerimisele, kaitseala ja muude piiride mahamärgimisele ning seismilise mõjupiirkonna järgimisele.

Eristatakse horisontaalset ja vertikaalset orienteerimist. Horisontaalsel orienteerimisel kantakse maa alla üle koordinaadid  $x$  ja  $y$  ning määratakse direktsiooninurk  $\alpha$ . Vertikaalne orienteerimine teostatakse punktide kõrgusväärtuste (koordinaadi  $z$ ) ülekandmiseks kaevandusse. Mõningatel juhtudel teostatakse vertikaalset orienteerimist iseseisvalt, eraldi horisontaalsest orienteerimisest. Orienteerimist tuleb teostada kahel korral, kusjuures saadud direktsiooninurkade vahe ei tohi olla suurem kui  $3'$ . Kui direktsiooninurgad erinevad üksteisest vähem kui  $3'$ , võetakse tulemuseks kahe direktsiooninurga keskmine väärtus (Певзнер, jt., 2003, lk 203-205).

Orienteerimiseks kasutatakse nii geomeetrilisi kui ka füüsilisi meetodeid. Geomeetriliste meetodite puhul luuakse vahetu seos kaeveõõnte ja maapinna vahel, füüsilised meetodid, nagu güroskoopiline orienteerimine, võimaldavad määrata direktsiooninurkasid ka vahetu geomeetrilise seoseta kaeveõõnte ja maapinna vahel. Ülevaade orienteerimise meetoditest on toodud alloleval joonisel (**Joonis 5**). Edasi käsitlem täpsemalt güroskoopilist ja geomeetrilist orienteerimist, kuna neid on Estonia kaevanduses läbi viidud ning geomeetiline (mehaaniline) orienteerimine on antud töö põhisuund.



**Joonis 5.** Orienteerimise meetodid (Ogundare, 2016)

### 3.3.1. Güroskoopiline orienteerimine

Güroskoopiline orienteerimine võimaldab määrata astronoomilise tõelise (geodeetilise) põhja suuna güroskoopilise teodoliidi abil. Selle meetodi abil saab kaeveõõntesse üle kanda asimuuti, või kontrollida olemasolevate markšeiderivõrkude asimuuti. Koordinaatide ülekandmiseks on siiki vajalik geomeetriline orienteerimine.

Güroskoopilised teodoliidid jagunevad sõltuvalt güroskoobi kinnitusviisist kaheks – eemaldatava ja püsiva güroskoobiga teodoliidid. Näited güroskoopiliste teodoliitide tüüpidest on toodud alloleval joonisel (**Joonis 6**). Esimese variandi puhul on tegemist tavalise teodoliidiga, millele on lisatud güroskoop. Sellised teodoliidid mõõdavad keskmiselt täpsusega  $\pm 20''$  ning mõõtmiseks kulub aega 20-30 min. Teise variandi puhul on güroskoop teodoliiti sisseehitatud ja liigub anumaski vedelikuga. Sellised teodoliidid on võimelised mõõtma täpsusega  $\pm 3''$  ning mõõtmiseks kulub aega 10-15 min (Ogundare,



2016, lk 525-527). Sisseehitatud güroskoobiga teodoliidid on täpsemad ja vähem väliskeskonna poolt mõjutatavad, kuid samas ka raskemad ja keerulisemad kasutada, kui eemaldatava güroskoobiga teodoliidid (Bezdiček, jt., 2018).

Püsiva güroskoobiga



Gyromat 3000

Eemaldatava güroskoobiga



Sokkia Gyro SX1

**Joonis 6.** Güroskoopiliste teodoliitide tüübid (Bezdiček, jt., 2018)

Güroskoopiliseks orienteerimiseks tuleb maapinnal kasutada teadaoleva asimuudiga baasjoont, mille ühes punktis seatakse üles güroskoopiline teodoliit ning määratakse astronoomilise tõelise põhja suund ning samuti mõõdetakse baasjoone direktsiooninurk. Seejärel korratakse sama protsessi maa all, kasutades baasjoonena allmaa markšeiderivõrgu kahte punkti, mille vahekaugus on vähemalt 50 m. Mõõtmisi korratakse nii maa peal kui maa all kaks korda ning arvutatakse keskmine parand. Orienteeritava joone direktsiooninurk maa all arvutatakse järgmise valemiga (Певзнер, jt., 2003, lk 208):

$$\alpha_{ED} = \alpha_{AB} + G_{ED} - G_{AB} + (Y_A + Y_E) \quad \text{Valem 1}$$

Kus:

$\alpha_{AB}$  – Maapealse baaskülje AB direktsiooninurk;

$G_{ED}$  – Maa-aluse baaskülje ED güroskoopiline asimuut;

$G_{AB}$  – Maapealse baaskülje AB güroskoopiline asimuut;

$\gamma_A$  – Meridiaanide koonduvus punktis A;

$\gamma_E$  – Meridiaanide koonduvus punktis E.

### 3.3.2. Geomeetriline orienteerimine

Geomeetriline orienteerimine seisneb koordinaadi ülekandmises maapinnalt kaeveõõntesse ühe või mitme ripploodi abil, mis on riputatud läbi ühe või mitme vertikaalse kaeveõõne. Meetodi aluseks on eeldus, et traatide, mille otsas ripuvad raskused, asukoht maa all ei erine nende asukohast maa peal, ehk siis nad ripuvad absoluutselt vertikaalselt.

Traadi otsas rippuv raskus peab olema piisav, et vältida traadi keerdumist ning vähendada loodi kõikumist, kuid mitte suurem, kui 50% traadi purunemistugevusest. Raskused lastakse anumatesse vee, õli või muu sobiva vedelikuga, et vähendada kõikumist. Selline meetod on usaldusväärsem madalates kaevandustes, kuna väga sügavates šahtides (üle 900 m) hakkab gravitatsioonijõud raskusi mõjutama ning traatide asukoht võib nihkuda. Samuti võivad traatide asukohta mõjutada neid ümbritsevate kivimite magnetilised omadused. Seega on Estonia kaevanduse tingimuste jaoks selline meetod sobilik.

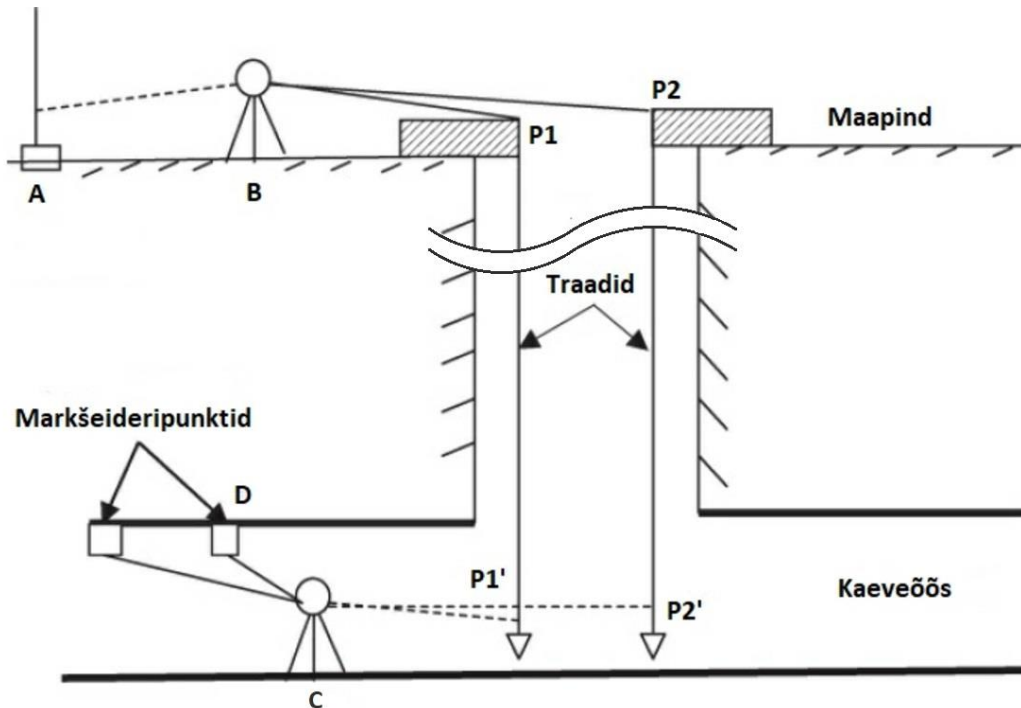
Seda tüüpi geomeetriline orienteerimine on suhteliselt lihtne, võrreldes teiste meetoditega, kuid võimaldab samas saada täpseid tulemusi (Ogundare, 2016, lk 505).

Eristatakse kahte tüüpi geomeetrilist orienteerimist – kasutades üht traati kahes vertikaalses kaeveõõnes ning kasutades kaht traati ühes vertikaalses kaeveõõnes. Kuigi esimene meetod annab täpsemaid tulemusi, kui viimane ning võimalik, et isegi täpsemaid tulemusi, kui güroskoopiline orienteerimine, on selle kasutamine raskendatud, kuna see nõuab kahe vertikaalse kaeveõõne olemasolu, mida saab korraga orienteerimiseks kasutada. Kuna käesolevas töös teostasin orienteerimise kasutades kahte traati ühes vertikaalses kaeveõõnes, kirjeldan edaspidi seda meetodit täpsemalt.

#### 3.3.2.1. Geomeetriline orienteerimine kahe ripploodiga läbi ühe vertikaalse kaeveõõne

Käesolev geomeetrilise orienteerimise meetod näeb ette kahe ripploodi riputamist maapinnalt kaeveõõntesse läbi ühe ja sama vertikaalse kaeveõõne nii, et kahe ripploodi vaheline kaugus jääb vahemikku 2-4 meetrit. Orienteerimiseks kasutatava vertikaalse kaeveõõne sügavus seejuures ei tohiks ületada 500 m (Певзнер, jt., 2003, lk 211).

Seadmed seatakse üles nii, nagu on kirjeldatud alloleval joonisel (**Joonis 7**). Punktid P1 ja P2 kujutavad kaevandusse riputatud traatide asukohta maa peal ning punktid P1' ja P2' kujutavad traatide asukohta maa all. Tahhümeetrid on üles seatud punktides B (maa peal) ja C (maa all). Punktid A ja D tähistavad viseerimispunkte vastavalt maa peal ja maa all.



**Joonis 7.** Orienteerimine kahe ripploodiga ühe vertikaalse kaeveõõne kaudu (Ogundare, 2016, lk 507)

Asimuut P1-P2 kantakse ripploodide abil üle kaevandusse, kus see tähistatakse asimuudina P1'-P2'. Asimuuti P1'-P2' kasutatakse seejärel allmaa markšeiderivõrkude orienteerimiseks. Direktsiooninurkade arvutamiseks kasutasin antud töös Weisbach'i triangulatsiooni meetodit.

### 3.3.2.2. Weisbach'i triangulatsiooni meetod

Weisbach'i triangulatsiooni meetod pealtpaates on kirjeldatud alloleval joonisel (**Joonis 8**). Joonisel kujutatud punktid A ja B tähistavad maapealseid lähtepunkte, punktid C ja D tähistavad maa-aluseid lähtepunkte ja punktid P1 ja P2 tähistavad ripploode.

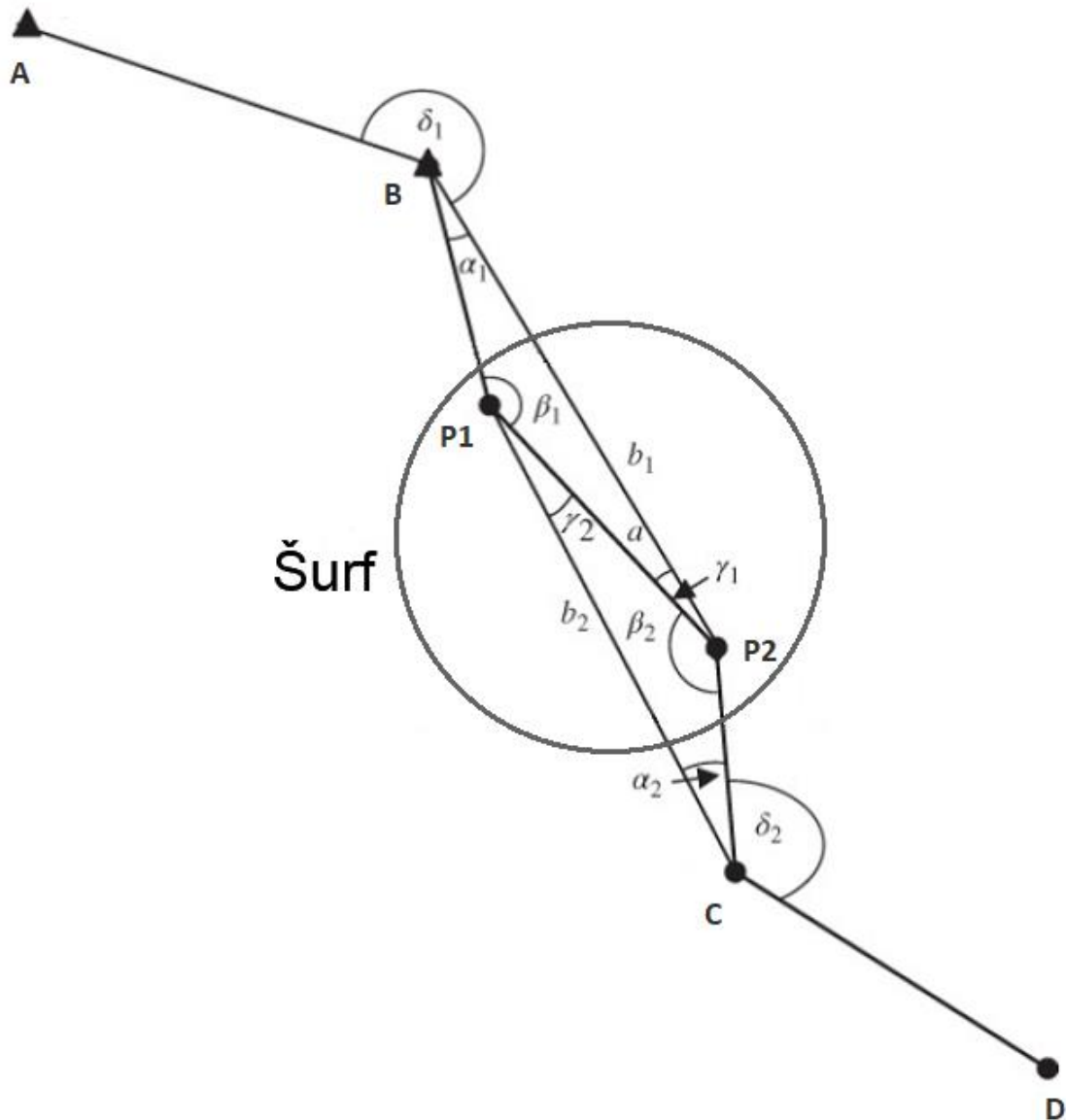
Teadaolevad andmed maa peal on:

- Lähtepunktide A ja B koordinaadid;
- Mõõdetud nurgad  $\delta_1$  ja  $\alpha_1$ ;
- Mõõdetud kaugused B-P1, B-P2 ja P1-P2.

Teadaolevad andmed maa all on:

- Mõõdetud nurgad  $\alpha_2$  ja  $\delta_2$ ;
- Mõõdetud kaugused C-P1, C-P2 ja C-D.

Weisbach'i triangulatsiooni meetodi abil tuleb leida maa-aluse joone C-D asimuut.

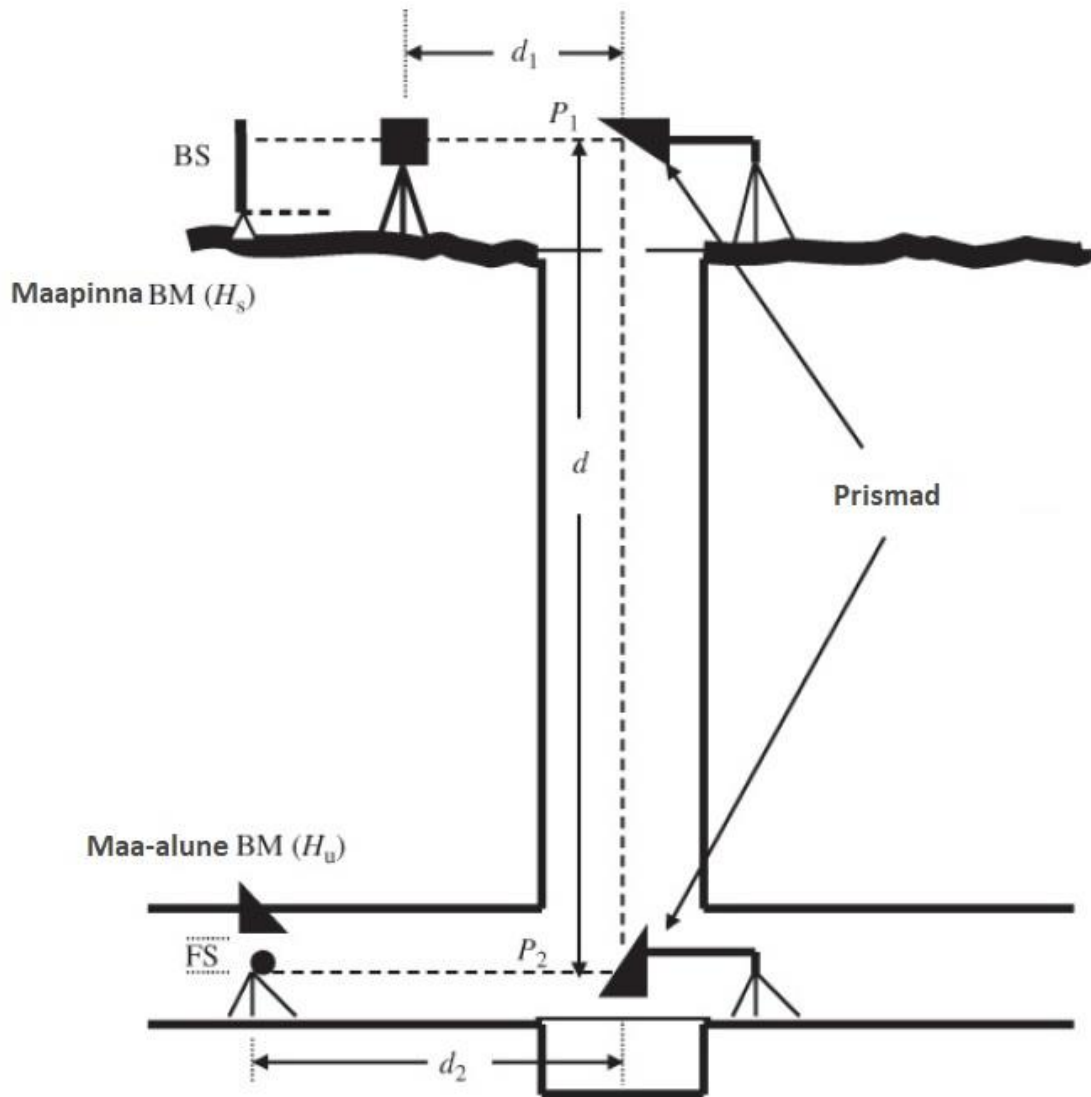


Joonis 8. Weisbach'i triangulatsiooni meetod (Ogundare, 2016, lk 508)

### 3.3.3. Kõrgusmärgi ülekandmine maa alla

Kõrgusmärgi ülekandmiseks maa alla vertikaalse kaeveõõne kaudu võib kasutada kas elektroonilist kaugusmõõturit või mõõtelinti. Mõlemal juhul kasutatakse kõrgusmärgi mõõtmiseks nivelliiri.

Elektroonilise kaugusmõõtuuri kasutamise eeliseks on täpsem ja kohene mõõtmistulemus, kuid see meetod nõuab nii kaugusmõõtuuri kui peegeldavate prismade täpset tsentreerimist. Meetodi põhimõte on kirjeldatud alloleval joonisel (Joonis 9).



**Joonis 9.** Kõrgusmärgi ülekandmine läbi vertikaalse kaeveõõne elektroonilise kaugusmõõturiga (Ogundare, 2016, lk 545)

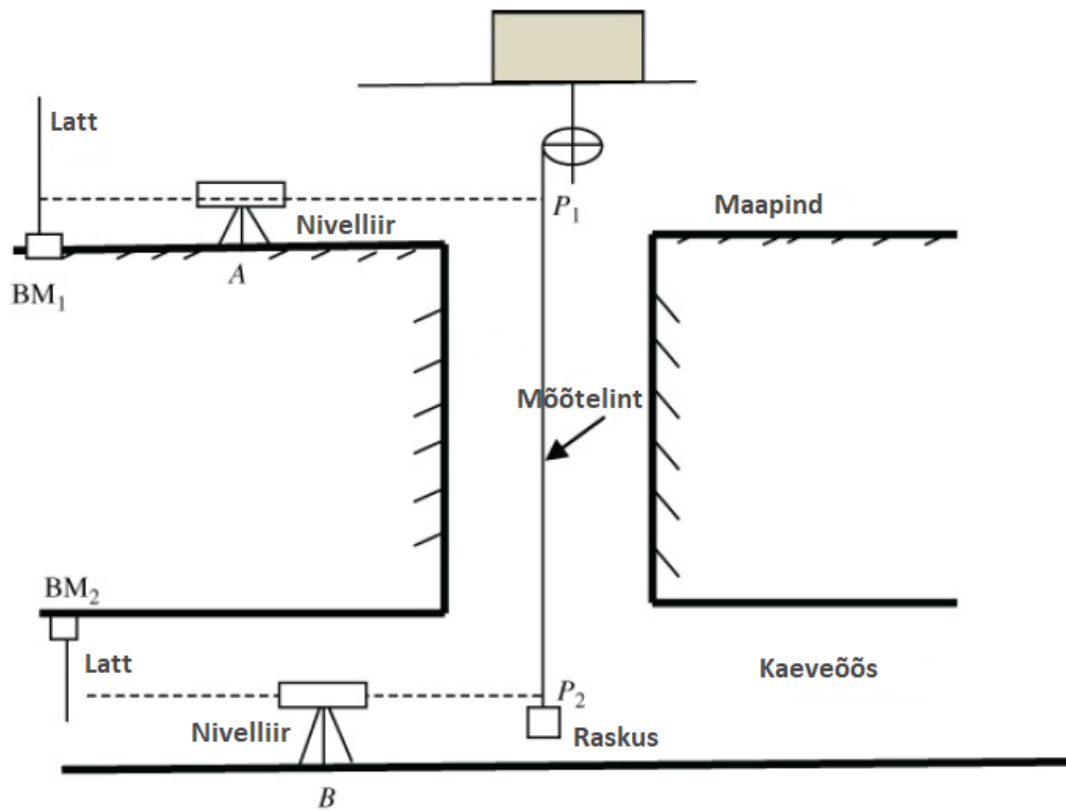
Maapinnal seatakse üles elektrooniline kaugusmõõtur ning peegeldav prisma ning teine prisma seatakse üles maa all. Mõõdetakse instrumendi ja prisma kõrgus, et kanda see üle maa alla. Maapinna kõrgusmärgi (BM) kõrgus on joonisel märgitud kui  $H_s$ , instrumendi kõrguse ja maapinna kõrgusmärgi vahet maapinnal tähistab BS ning maa all FS ning kaugused prismadeni on märgitud vastavalt kui  $d_1$  ja  $d_2$ . Seega saab maa-aluse kõrgusmärgi kõrgusväärtuse välja arvutada järgmise valemiga:

$$H_u = H_s + BS - d_m + d_1 + d_2 + FS \quad \text{Valem 2}$$

Kus:

$$d_m = d_1 + d + d_2 \quad \text{Valem 3}$$

Mõõtelindiga vertikaalse kaeveõone kaudu kõrgusmärgi kaevandusse ülekandmise põhimõte on kirjeldatud alloleval joonisel (**Joonis 10**). Läbi vertikaalse kaeveõone riputatakse kaevandusse mõõtelint, mille otsas on lindi vertikaalsuse tagamiseks raskus. Meetodi puuduseks ongi siinkohal mõõtelindi kõrge hind ning vajadus teha korrekture temperatuuri ja lindi venimise tõttu. Samas võib see meetod lühikeste vahemaade puhul anda täpsemaid ja kiiremaid tulemusi kui elektroonilise kaugusmõõturi kasutamine (Ogundare, 2016, lk 546).



**Joonis 10.** Kõrgusmärgi ülekandmine läbi vertikaalse kaeveõone mõõtelindiga (Ogundare, 2016, lk 546)

Üheaegselt on kasutuses kaks nivelliiri, üks maapinnal, punktis A ning teine maa all, punktis B. Maapealsele kõrgusmärgile BM<sub>1</sub> asetatakse nivelleerimislatt ning võetakse sellelt lugem, samuti võetakse lugem läbi vertikaalse kaeveõone rippuvalt mõõtelindilt. Seeläbi määratakse ülekantav kõrgusmärk P<sub>1</sub>. Sama protsessi korratakse maa all, ehk võetakse mõõtelindilt lugem P<sub>2</sub> ning asetatakse nivelleerimislatt maa-alusele kõrgusmärgile BM<sub>2</sub> ning võetakse sellelt lugem. Seejärel määratakse mõõtelindilt võetud lugemi P<sub>2</sub> ja kauguse P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> abil maa-aluse kõrgusmärgi BM<sub>2</sub> kõrgusväärtus.

## 4. Varasemalt tehtud tööd

### 4.1. Esimene geomeetiline ja güroskoopiline orienteerimine Estonia kaevanduses

Esimene dokumenteeritud orienteerimine teostati aastal 1972, kaevanduse rajamisel. Tööd teostas Sojuzmarkštresti 301. ekspeditsioon (Каждан, 1972), kasutades algandmetena omaenda 1969.a. loodud IV klassi polügonomeetria (**Tabel 6**) ja III klassi nivelleerimisvõrku (**Tabel 7**). Algandmed on toodud allolevates tabelites.

**Tabel 6.** Polügonomeetriavõrgu algandmed (Каждан, 1972, lk 6)

Lähtepunkt i nr	Lähtepunkti sisaldava käigu nimetus	Käigu pikkus , km	Nurkad e arv	Nurga mõõtmis - viga	Pikkuste mõõtmisvead		
					xy- teljel, m	Absoluutne , m	Suhteline
2209 3801	Puusepa - punkt nr. 2165	4,2	7	-2",8	+0,05 8 -0,034	±0,067	1:62000
2003 2886	Puusepa - punkt nr. 2727	5,5	10	-2",9	+0,01 1 +0,10 0	±0,101	1:55000

**Tabel 7.** Nivelleerimisvõrgu algandmed (Каждан, 1972, lk 7)

Lähtepunkti nr	Lähtepunkti sisaldava käigu nimetus	Käigu pikkus L, km	Statiivide arv	Kõrguste mõõtmisvead	
				Tegelik, mm	Lubatud 10 vL, mm
2003 2009	III klassi käik Ehitusreeper nr 12 - Ehitusreeper nr 58	8,2	60	+2	±29

Tööde eesmärk oli ristkoordinaatide ja kõrguste üleviimine maa alla ning kõrge täpsusega polügonomeetria võrkude ja tehnilise täpsusega kõrgusvõrkude loomine maa all. Tehtud tööle teostati kontroll kasutades tugivõrkude güroskoopilist orienteerimist.

Tööde käigus loodi I järgu polügonomeetria käik šurfini nr 2, pikkusega 1714 m, kasutades algpunkte nr 2003 ja 2886. Teostati koordinaatide ülekandmine maa alla läbi šurfide nr 2 ja 3 neisse riputatud ripploodide abil ning seejärel loodi 5,38 km kõrge täpsusega polügonomeetria käike maa all. Samuti teostati läbi šurfide nr 2 ja 3 kõrgusmärkide ülekandmine 65 m sügavusele ning loodi tehnilise täpsusega nivelleerimiskäigud maa all. Kontrolliks teostati maa-aluse polügonomeetria kolme külje güroskoopiline orienteerimine.

Tulemuste täpsuse hindamiseks võrreldi omavahel nii kahe iseseisva güroskoopilise orienteerimise tulemusi, kui ka güroskoopilise ja geomeetrilise orienteerimise tulemusi. Saadud võrdlus on toodud alljärgnevas tabelis (**Tabel 8**).

**Tabel 8.** Güroskoopilise orienteerimise täpsusarakteristikud (Каждан, 1972, lk 24)

Jrk. nr	Töö koht	Külje nimetus	Kahe güroskoopilise asimuudi erinevus	Güroskoopilise ja geomeetrilise orienteerimise erinevus	Nurkade arv orienteeritavate külgede vahel
1	Algne külg maa peal	t.A - t.B	-20"	-	-
2	4. paneeli rööbas-strekk	K nr 1 - K nr 2	+26"	+26"	2
3	1. paneeli rööbas-strekk	K nr 10 - K nr 11	-1"	+57"	5
4	Pearööbas-strekk	K nr 19 - K nr 20	-12"	+30"	3

Geomeetrilise orienteerimise tulemused võeti aluseks kõigi maa-aluse tugivõrgu punktide koordinaatide arvutusele. Geomeetrilise orienteerimise täpsusarakteristikud on toodud alljärgnevas tabelis (**Tabel 9**).

**Tabel 9.** Geomeetrilise orienteerimise täpsusarakteristikud (Каждан, 1972, lk 27)

Jrk. nr	Parameeter	Väärtus
1	Siduva polügooni külgede arv orienteeritaval horisondil	17
2	Siduva polügooni pikkus, m	1592,724
3	Ripploodide vahekaugus, m	1411,02
4	Ripploodide vahekauguse erinevus mõõdetuna maa peal ja maa all a) absoluutne b) suhteline	-0,0009 1:177000
5	Güroskoopilise ja geomeetrilise orienteerimise tulemuste erinevus (külje K nr 19 - K nr 20 jaoks)	-30"

Kokkuvõttes järeldati, et kõik tööd on tehtud vastavalt kehtinud nõuetele ning kõik mõõtmisvead jäid lubatud piiridesse, seega võib saadud tugivõrgud võtta aluseks kõigile järgmistele markšeideritöödele, mis on vajalikud kaevanduse teenindamiseks.



## **4.2. Järgnevad perioodilised güroskoopilised orienteerimised Estonia kaevanduses**

Järgnevatel aastatel teostas Sojuzmarkštrest Estonia kaevanduses perioodiliselt allmaa tugivõrkude güroskoopilist orienteerimist koos kõrgusvõrkude tehnilise nivelleerimisega. Kokku tehti seda tööd aastatel 1974 - 1992 kuueteistkümnel korral, keskmiselt kord ühe või kahe aasta tagant. Alates aastast 1992 pole güroskoopilist orienteerimist Estonia kaevanduses teostatud, kuna taasiseseisvunud Eestis pole siiani mitte ühelgi markšeideriteenuseid osutaval ettevõttel ega teadusasutusel güroskoopilist teodoliiti ning teenuse sisseostmine välismaalt on transpordipiirangute tõttu raskendatud.

## **4.3. Orienteerimistööde näiteid mujalt maailmast**

Mujal maailmas on orienteerimistöid tehtud mitte ainult tavapärasel eesmärgil – koordinaatide ülekandmiseks maapinnalt kaeveõõntesse või ühelt kaevanduse horisondilt teisele, vaid ka märksa keerulisematel objektidel. Üheks selliseks näiteks on kahe lähedalasuva kaevanduse kaeveõõnte asukoha määramine teineteise suhtes ning samuti maapinna suhtes, selleks et saaks rajada nende vahele kahte kaevandust ühendav kaeveõõs, nagu tehti Karviná ja Darkov kaevanduste vahel Tšehhis. Teine üsna huvitav näide on orienteerimistööde teostamisest pooleni jäänud Ülijuhtiva Superpõrguti (inglise keeles Superconducting Super Collider, lühend SSC; hüüdnimi Desertron) rajamisel Ameerika Ühendriikides Texases Waxahachie lähedal. Orienteerimistöid on Tšehhis, Horní Městos, kasutatud isegi turismisektori arendamiseks, nimelt vana kaevanduse mõõditamiseks, selleks et seda saaks külastajatele avada.

### **4.3.1. Orienteerimistööd Karviná ja Darkov'i kaevanduste ühendamisel**

Onteerimine viidi läbi, kuna kahe kaevanduse vahele oli planeeritud rajada ühendav kaeveõõs, mistõttu oli vajalik välja selgitada mõlema kaevanduse kaeveõõnte täpne asukoht ühes geodeetilises süsteemis. Orienteerimistöid teostati läbi kahe vertikaalse kaeveõõne - Čsa 2 (Karviná kaevandus) ja Mír 5 (Darkov kaevandus) šahtide 2011. aasta juulis (Černota, jt., 2014). Orienteerimist viidi läbi mitmes etapis:

1. Tugipunktide koordinaatide määramine maapinnal, kasutades GNSS tehnoloogiat.
2. Direktsiooninurga mõõtmine maapinnal mõlemas otsas.
3. Kõrgusmõõtmised.
4. Sügavuse mõõtmised selleks, et ühendada mõlema kaevanduse horisondid.
5. Orienteerimine Čsa 2 ja Mír 5 šahtide kaudu.
6. Orienteerimine güroskoopilise teodoliidi MVT-2 abil.

Tugipunktide koordinaadid maapinnal määrati GNSS tehnoloogia, täpsemalt Leica System 1200 komplekti abil. Direktsiooninurgad mõõdistati kahel iseseisval korral ja kaugused mõõdeti kahes suunas (edasi-tagasi) ning kohandati vastavalt atmosfäärikorrektiividele ja kõrgusparanditele.

Koordinaadid arvutati kohalikus koordinaatsüsteemis ning teisendati ümber Tšehhi riiklikusse S-JTSK koordinaatsüsteemi.

Kaevandusi ühendav kaeveõõs oli planeeritud nii, et selle Karviná kaevanduse poolne ots asetseks kaevanduse üheteistkümnendal horisondil, umbes 930 m sügavusel ja Drakov kaevanduse poolne ots asetseks kaevanduse üheksandal horisondil, umbes 745 m sügavusel. Kõrgusmõõtmised viidi läbi Leica DNA 03 ülitäpse elektroonse nivelliiriga ning sügavuse mõõtmiseks kasutati mõõtelinti pikkusega 1000 meetrit, mille otsa riputati 5 kg kaaluv raskus. Viidi läbi viis iseseisvat kõrgusmõõtmist.

Orienteerimiseks kasutati korraga kahte vertikaalset kaeveõõnt - Čsa 2 ja Mír 5 šahte, millest kumbagi oli riputatud üks ripplood. Ripploodide pikkused olid 950 m Čsa 2 šahtis ja 760 m Mír 5 šahtis. Selleks, et määrata ripploodide lõplikud koordinaadid maa all, tuli tahhümeetriga pidevalt jälgida ripploodi kõikumist ning teha ripploodi asukoha järjepidevaid mõõdistamisi. Saadud mõõdistamisandmete põhjal arvutati välja lõplikud ripploodide koordinaadid.

Seejärel kasutati güroskoopilist teodoliiti MVT-2, et määrata orienteeritava joone asimuut. Kõigepealt mõõdeti maapinnal asuva baasjoone astronoomiline asimuut ning seejärel orienteeritava joone astronoomiline asimuut maa all. Kõige lõpuks määrati veelkord maapinna baasjoone astronoomiline asimuut.

Orienteerimisel saadud andmed olid aluseks kahte kaevandust ühendava kaeveõõne rajamisele. Karviná ja Darkov kaevandused said ühendatud 2012. aasta detsembris 870 m sügavusel. Ühendav kaeveõõs on 6°-se kaldega ning 1750 m pikk, kusjuures kaeveõõne otste kõrguste erinevus on 196 m.

#### **4.3.2. Orienteerimistööd Ülijuhtiva Superpõrguti rajamisel**

Ülijuhtiva Superpõrguti ehitamist alustati aastal 1988 Ameerika Ühendriikides Texase osariigis Waxahachie lähedal, 40km Dallasest lõunas. Planeeritud oli rajada 87,1 km pikkune ja 4,2 m diameetriga ringikujuline tunnel ning sellest pidi saama maailma suurim ja võimsaim osakeste kiirendi. Kahjuks aga lõpetati projekti ehitus 1993. aastal rahapuuduse tõttu (Eesti Füüsika Selts, 2010, lk 42).

Kuna Ülijuhtiva Superpõrguti rajamisel kehtisid väga ranged täpsusnõuded - geodeetiliste mõõtmiste täpsusnõudeks oli  $\pm 76$  mm horisontaalsetel mõõtmistel ja  $\pm 12$  mm kõrgusmõõtmistel (Greening, jt., 1993), tuli geodeetiliste võrkude kontrollmõõtmisteks kasutada orienteerimist. Orienteerimisi teostati vertikaalsete teenindus- ja tuulutusšahtide kaudu, mida rajati Superpõrguti ringile iga 4,4 km tagant. Kokku plaaniti rajada 45 vertikaalset šahti sügavusega 20-80 m.

Kontrollmõõtmiste aluseks loodi maapinnal 22-st tugipunktist koosnev võrk, kusjuures kõik punktid olid betoneeritud maasse ja eraldatud kaelusega pinnasest, selleks et vältida nende nihkumist pinnase paisumise tõttu. Suurem osa nendest punktides oli ankurdatud kaljupinnasesse. Kõrgusmõõtmisteks kasutatav alusvõrk koosnes 130-st kõrgusmärgist, mis olid samuti pehmest pinnasest eraldatud ja ankurdatud kaljupinnasesse.

Enne igat orienteerimist laiendati tugivõrku, luues kontrollpunktid orienteerimiseks kasutatava šahti vahetus läheduses. Kuna need kontrollpunktid pidid kestma ainult lühikest aega – orienteerimise vältel, kasutati nendeks lihtsaid betoonmarkereid.

Kuna planeeritud oli rajada 45 vertikaalset šahti, seega tuli teostada 45 orienteerimist, leiti moodus, kuidas orienteerimise protsessi lihtsustada ja kiirendada. Selleks võeti prismade hoidikuna kasutusele firma Taylor Hobson sfäärid, mis lubasid prisma pöörata nii horisontaalsesse kui vertikaalsesse asendisse, seejuures säilitades liikumatu keskpunkti. Seega sai prismasid kasutada nii vertikaalseteks mõõtmisteks šahti põhjast maapinnani, kuid ka horisontaalseteks kauguse mõõtmisteks maapinnal.

Horisontaalseks orienteerimiseks, ehk koordinaatide x ja y ülekandmiseks maa alla, kasutati kahte või rohkemat ajutist statiivi, mis moodustasid maapinnal Taylor Hobson sfääridega Weisbach'i kolmnurga. Teostati direktsiooninurga, kauguse ja seniidi nurga mõõdistamine, kasutades selleks Wild/Leica TC2002 tahhümeetrit. Maa all tsentreeriti Wild/Leica ZL lood Taylor Hobson sfääride all ning teostati mitmed mikromeetri mõõtmised. Seejärel asendati lood tahhümeetriga ning loodi seosed kontrollpunktidega maa all.

Vertikaalsed orienteerimised toimusid kolmes etapis:

1. Kõrgusmärgi ülekandmine maapinna kontrollmärgilt Taylor Hobson sfääride keskpunkti.
2. Vertikaalse kauguse maapinna ja šahti põhja vahel mõõtmine elektro-optilise kaugusmõõtmiseseadmega.
3. Kõrgusmärgi ülekandmine Taylor Hobson sfääri keskpunkti teljelt maa-alustele kontrollpunktidele.

Ülijuhtiva Superpõrguti ehituse peatamise hetkeks oli rajatud 23,5 km tunnelit ning 17 abišahti. See tähendab, et geodeetilist aspektist vaadatuna oli lühikese aja jooksul tehtud tohutult mahukas ja täpne töö, kasutades innovaatilisi meetodeid ning saadud märkimisväärseid tulemusi.

#### **4.3.3. Orienteerimistööd Horní Město Püha Antoniuse nimelise stolliga avamisel küllastajatele**

Püha Antoniuse nimelise stolliga muutmine turisiatraktsiooniks oli osa projektist, mille eesmärk oli kaevandamisega mõjutatud maa rehabiliteerimine Horní Město piirkonnas Tšehhis. Vana kaeveõõs oli 600 m pikkune ning see tuli põhjalikult mõõdistada, selleks et rajada vertikaalne šaht, mille kaudu hakkaks toimuma kaeveõõne teenindamine ja tuulutus (Novosad, jt., 2019).

Töö tegid aga keeruliseks vana stolliga mõõtmised – kaeveõõne laius varieerus 0,5 - 1 meetrini ning kõrgus jäi vahemikku 1,2 - 3 meetrit. Sellistes tingimustes polnud võimalik kasutada standardset mitme statiivi meetodit, kuna statiivide üles seadmiseks ei olnud tihti piisavalt ruumi või siis ei jätkunud ruumi statiivi ümber liikumiseks. Mõningatel juhtudel tuli statiivi üles seadmiseks lõigata stolliga seina sisse süvendid. Seega kasutati statiivi ainult tahhümeetri üles seadmiseks ning mõõteprismad kinnitati statiivi asemel kaeveõõne lakke, kuid nii, et nende kõrgust sai vastavalt vajadusele muuta. Prisma kõrgus mõõdeti

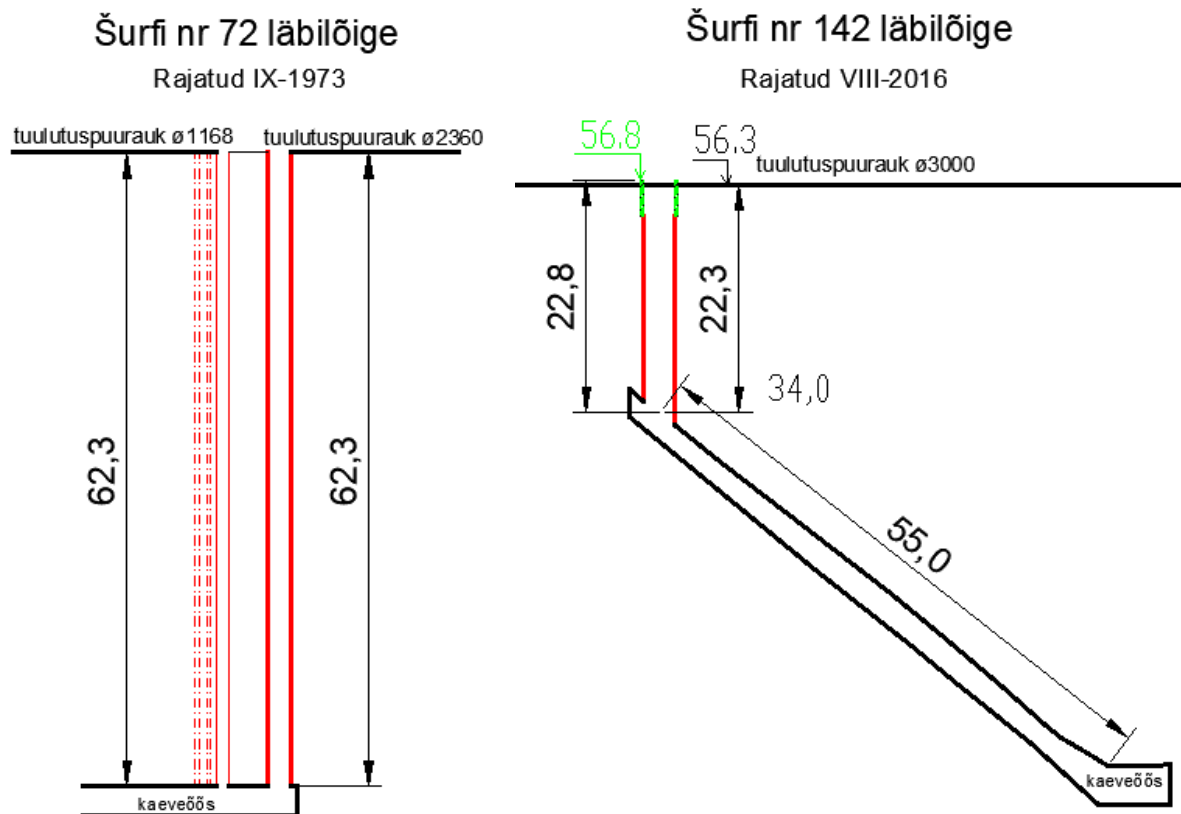
antud punktist prisma riputuskohani ning hiljem liideti sellele kaugus prisma keskpunktini, mis on konstantne. Töös kasutati Leica GPH1P prismsid.

Pärast seda, kui kaeveõõne mõõdistustööd olid tehtud, rajati maa pealt selleni uus teenindus- ja tuulutusšaht sügavusega umbes 42 m. Mõõdistamistööd jätkusid nüüd orienteerimisega vastrajatud šahti kaudu. Orienteerimiseks kasutati maa all tahhümeetrit, mis oli üles seatud šahti põhjas. Tahhümeetri teleskoop pöörati seniidi nurka  $0^\circ$  ning instrumendi laserkiir suunati šahti avale asetatud lauale. Samal ajal mõõdeti korduvalt kaugus lauani, et määrata šahti sügavus. Laserkiire asukoht maa peal tehti kindlaks optilise loodi abiga.

Orienteerimist kasutati siinkohal kontrollimaks, kas uue meetodiga teostatud kaeveõõne mõõdistamine oli piisavalt täpne. Tulemusena selgus, et rippuvate prismade kasutamine kaeveõõne mõõdistamisel andis piisavalt täpseid tulemusi ning seda tehnikat võib ka edaspidi kasutada ebasoodsate mõõdistamistingimustega vanades kaeveõõntes.

## 5. Geomeetiline orienteerimine läbi šurfi nr 192

Selleks, et teostada allmaa tugivõrkude geomeetrist orienteerimist, on vajalik ühe või enama vertikaalse kaeveõõne olemasolu ning võimalus seda selleks otstarbeks kasutada. Estonia kaevanduses on varem orienteerimiseks kasutatud tuulutussurfe. Põhjus, miks geomeetrist orienteerimist pole kaevanduse algusaastatest alates teostatud, seisneb asjaolus, et kuni lähiajani viimane vertikaalne šurf rajati kaevanduses 1977. aasta mais. Kõik peale seda rajatud šurfid on olnud kaldšurfid, mis tähendab, et neid ei ole olnud võimalik orienteerimiseks kasutada. Näited kahe erineva šurfi ristlõikest on toodud allolevatel joonistel. Šurf nr 72 (**Joonis 11**) on rajatud 1973. aasta septembris ning šurf nr 142 (**Joonis 12**) on rajatud 2016. aasta augustis, mõlemad on tänaseni töös.



**Joonis 11.** Vertikaalse šurfi nr 72 läbilõige **Joonis 12.** Kaldšurfi nr 142 läbilõige

2020. aastal alustati taas vertikaalsete šurfide rajamist, kuna soetati selleks vajalik puurmasin RHINO100, mis on kujutatud allolevatel fotodel (**Joonis 13**). Esimene ja tänase päevani ainus uuema aja vertikaalne šurf läbindati 2020. aasta märtsi lõpus, mis andis kaevanduse markšeideritele võimaluse teostada orienteerimine. Orienteerimist on nimelt võimalik teostada ainult vahetult peale šurfi rajamist ning enne selle töösse andmist, kuna töötav, ehk kaevanduse ventilatsioonisüsteemiga ühendatud, šurf muudab selle igasuguse teisese kasutamise võimatuks.

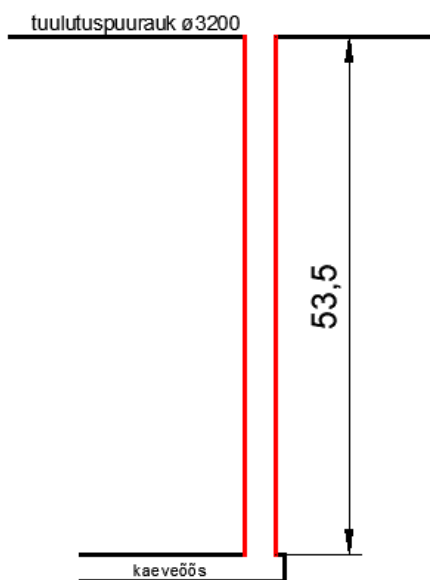


**Joonis 13.** Puurmasin RHINO100 (Autori erakogu)

2020. aasta märtsis läbindatud uus vertikaalne šurf nr 192 asetseb kaevanduse kirdetiivas 19. paneelil külgstreki 1907-1908 vahetus läheduses. Šurfi asukoht ning asendiplaan on kujutatud allolevatel joonistel (**Joonis 15**, **Joonis 16**). See on läbimõõduga 3,2 m ning 53,5 m sügav. Šurfi läbilõige on kujutatud alloleval joonisel (**Joonis 14**).

### Šurfi nr 192 läbilõige

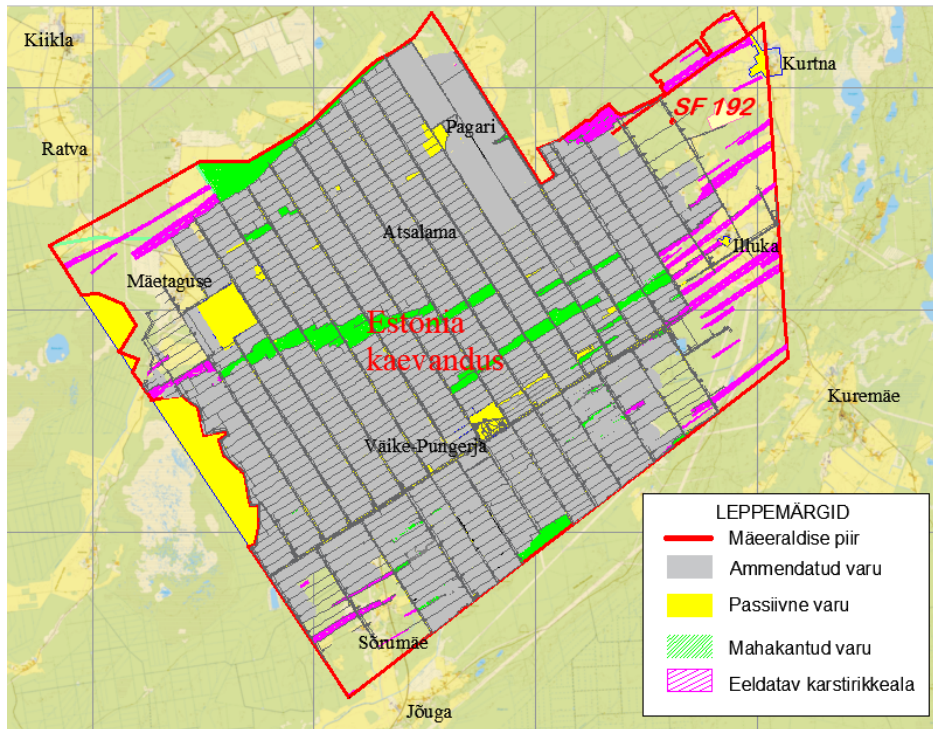
Rajatud III-2020



**Joonis 14.** Šurfi nr 192 läbilõige

## Šurfi nr 192 asukoht

Kaeveõõnte plaan seisuga 01.04.2021



Joonis 15. Šurfi nr 192 asukoht Estonia kaevanduse kaeveõõnte plaanil (Aluskaart: Maa-amet 2021)

## Šurfi nr 192 asendiplaan

Rajatud III-2020



Joonis 16. Šurfi nr 192 asendiplaan



## 5.1. Töö iseloomustus

Vahetult peale šurfi läbindamist avanes kaevanduse markšeideriteenistus, kuhu kuulub ka antud lõputöö autor, võimalus taaskord teostada geomeetiline orienteerimine. Välitööd teostasime meeskonnana, kusjuures minu põhiline ülesanne oli ripploodide kordusmõõdistamine maa all. Seejärel tegin järgnevad kameraaltööd, ehk siin töös kajastatud arvutused, teisendused, joonised ja analüüsi.

Kõigepealt kaeti šurf pealt tellingutega, et oleks võimalik ohutult ripploodide kaevandusse laskmiseks šurfi ava peal tööd teha. Seejärel riputasid markšeideritöölised kaevandusse läbi šurfi kaks ripploodi. Tööde käiku maa peal kirjeldavad allolevad fotod (**Joonis 17**).



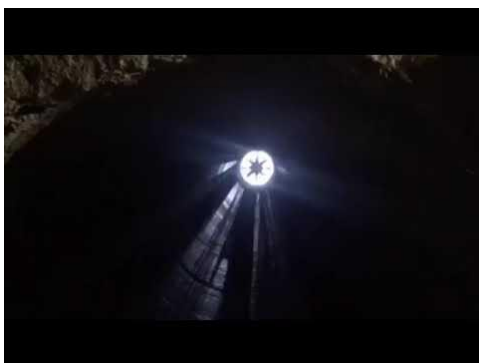
**Joonis 17.** Orienteerimise tööprotsess maa peal (Fotod: Autori erakogu)

Ripploodide kõikumise vähendamiseks asetatakse maa alla anumad veega, millesse ripploodid langesid. Seejärel märkisime meie, markšeiderid, maha polügonomeetria käigu šurfini nii maa all kui ka maa peal. Tööde käiku maa all kirjeldavad allolevad fotod (**Joonis 18**). Alloleval videol on näha vaade läbi šurfi kaevandusest (alt üles), ülal paistab päevavalgus (**Video 1**).





**Joonis 18.** Orienteerimise tööprotsess maa all (Fotod: Autori erakogu)



**Video 1.** Vaade alt üles läbi šurfi nr 192 (Video: Autori erakogu)

## 5.2. Töövahendid

Oma töös kasutasime maa peal tahhümeetrit Leica TC407 ja Trimble R10 GNSS vastuvõtjat koos Trimble TSC3 väliarvutiga (Joonis 19 ja Joonis 20). Nende põhilised tööparameetrid on toodud allolevates tabelites (Tabel 10 ja Tabel 11). Maa all kasutasime mõõdistamiseks tahhümeetrit Topcon GM-105 (Joonis 21), mille põhilised tööparameetrid on toodud allolevas tabelis (Tabel 12).

**Tabel 10.** Leica TC407 tööparameetrid (Leica Geosystems, 2002)

Leica TC407	
Nurgamõõtmise täpsus	7"
Nurga esitamise täpsus displeil	1"
Teleskoobi suurendus	30x
Mõõteulatus kauguse mõõtmisel prismaga	3500 m
Tolmu- ja veekindlus	IP54
Tööaeg ühe akuga	6h



**Joonis 19.** Leica TC407 tahhümeeter (TEOMAC, 2021)

**Tabel 11.** Trimble R10 tööparameetrid (Trimble, 2021)

Trimble R10	
Tehnoloogia	Trimble 360
Kanaleid	440
Tüüp	HD-GNSS
Töötemperatuur	-40 °C kuni +65 °C
Tolmu- ja veekindlus	jah
Aku kestvus	3.7h GSM/GPRS-modemiga



**Joonis 20.** Trimble R10 GNSS vastuvõtja koos Trimble TSC3 väliarvutiga (GEOMATICS LAND SURVEYING, 2021)

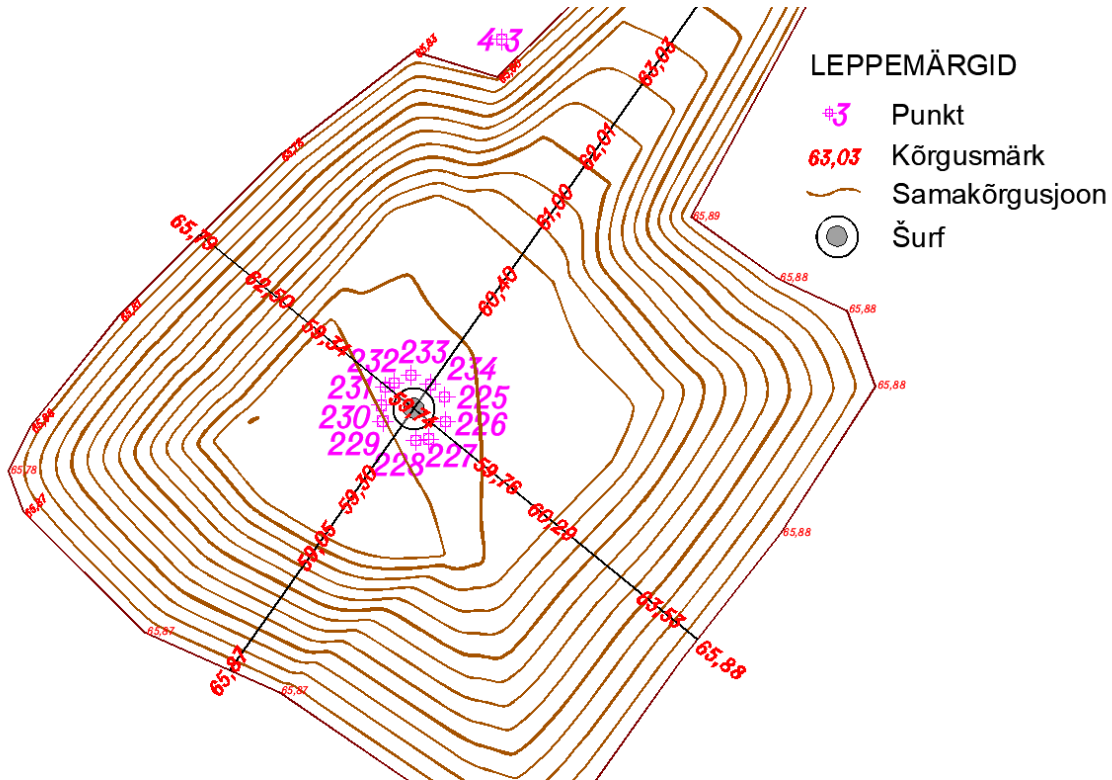
**Tabel 12.** Tahhümeetri Topcon GM-105 tööparameetrid (Topcon, 2017)

<b>Topcon GM-105</b>	
Nurgamõõtmise täpsus	5"
Nurga esitamise täpsus displeil	1"
Teleskoobi suurendus	30x
Mõõteulatus kauguse mõõtmisel prismaga	6000 m
Tolmu- ja veekindlus	IP66
Tööaeg ühe akuga	28h

**Joonis 21.** Topcon GM-105 tahhümeeter (Entech Instruments Ltd, 2017)

### 5.3. Töö metoodika

Nii maa all kui ka maa peal mõõdistasime ripploodide asukoha ning šurfi ava ringjoone punktid. Maa peal mõõdistasime ripploodide asukoha tahhümeetri Leica TC407 ning šurfi ava ringjoone punktid Trimble R10 GNSS vastuvõtjaga. Põhipunktid PP1 ja PP2 mõõdistasime kahel iseseisval korral Trimble R10-ga. Trimble R10-ga mõõdetud tulemused on toodud allolevas tabelis (**Tabel 13**) ning joonisel (**Joonis 22**). Jooniselt jäi välja põhipunkt 1 (punktid 1 ja 2), kuna ta asetseb lähimast punkti – põhipunkti 2 (punktid 3 ja 4) ligikaudu 100 meetri kaugusel.



**Joonis 22.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Trimble R10 GNSS vastuvõtjat

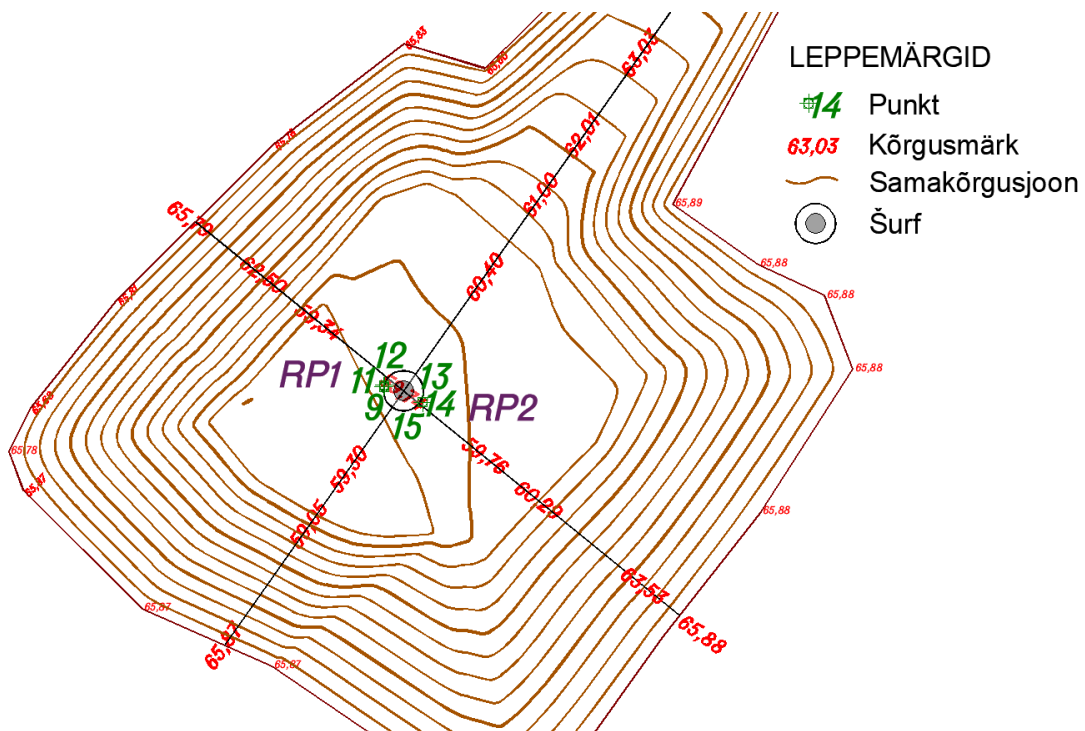
**Tabel 13.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Trimble R10 GNSS vastuvõtjat

Asukoht	Punkti nr	Koordinaadid		
		x	y	z
PP1	1	6574353,223	698138,127	65,96
	2	6574353,228	698138,139	65,97
PP2	3	6574264,981	698093,335	66,04
	4	6574264,981	698093,333	66,05
Šurfi ava	225	6574247,599	698090,573	60,18
	226	6574246,416	698090,610	60,13
	227	6574245,564	698089,796	60,16
	228	6574245,488	698089,181	60,09
	229	6574246,426	698087,564	60,23
	230	6574247,202	698087,479	60,04
	231	6574248,071	698087,674	59,77
	232	6574248,264	698088,098	60,12
	233	6574248,654	698088,933	60,11
	234	6574248,208	698089,877	60,20

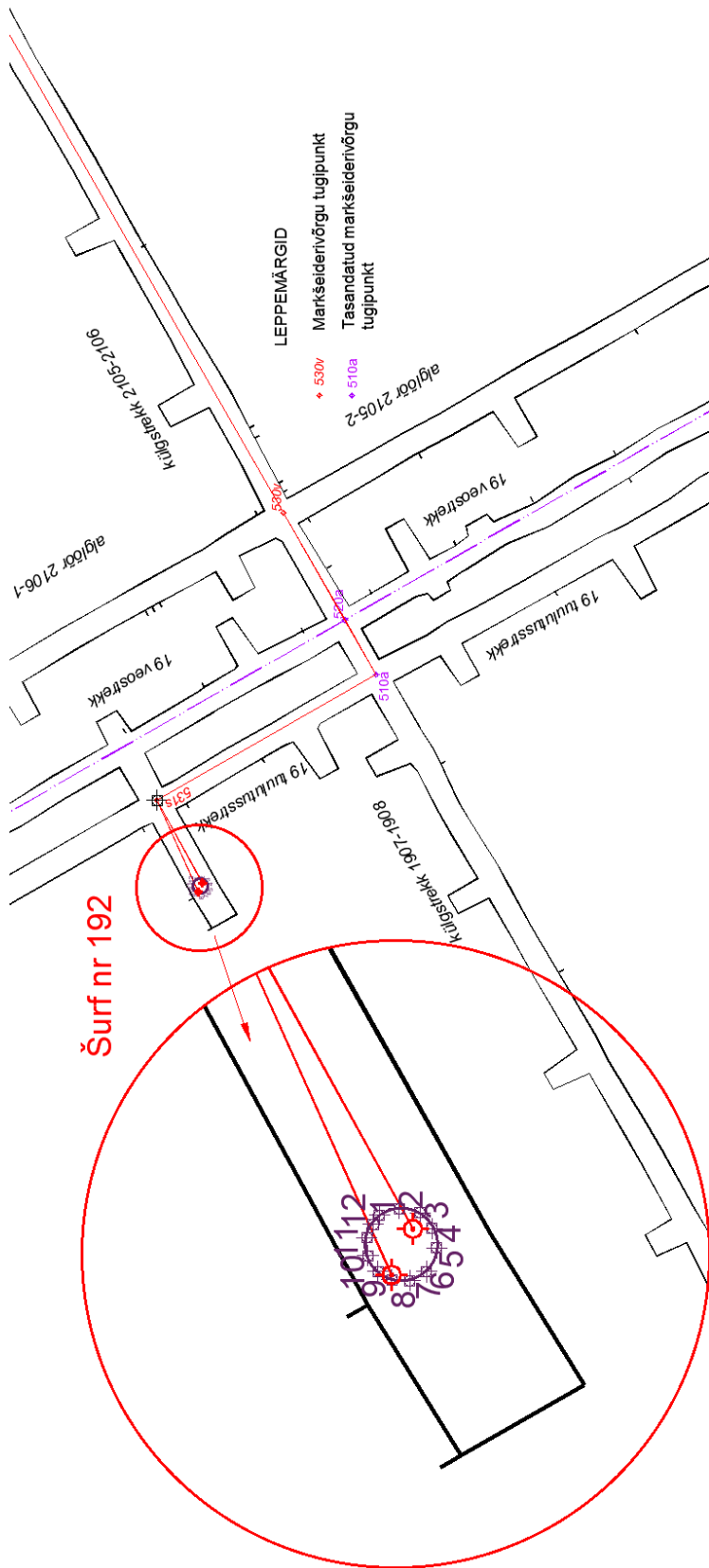
Tahhümeetriga Leica TC407 mõõdistasime kolmel iseseisval korral põhipunkti PP1 ja ripploodide RP1 ja RP2 asukohad. Tahhümeetrimõõdistuse tulemused maa peal on toodud alloleval joonisel (**Joonis 23**) ja tabelis (**Tabel 14**).

**Tabel 14.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades tahhümeetrit Leica TC407

Asukoht		Punkti nr	Koordinaadid		
			x	y	z
PP1	Võte 1	6	6574353,247	698138,142	65,97
		7	6574353,241	698138,139	65,98
		8	6574353,248	698138,143	65,97
	Võte 2	16	6574353,246	698138,140	65,97
		17	6574353,242	698138,138	65,97
		18	6574353,241	698138,137	65,97
Ripploodid	RP1	9	6574247,227	698088,087	60,41
		11	6574247,307	698088,110	60,44
		12	6574247,308	698088,111	60,44
	RP2	13	6574246,452	698090,037	60,50
		14	6574246,455	698090,038	60,50
		15	6574246,454	698090,038	60,50

**Joonis 23.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa peal, kasutades Leica TC407 tahhümeetrit

Maa all mõõdistasime tahhümeetriga Topcon mõlema ripploodi asukohad RP1 ja RP2 ja šurfi ava ringjoone punktid. Tulemus on kujutatud alloleval joonisel (**Joonis 24**).



Joonis 24. Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa all, kasutades tahhümeetrit Topcon

Allmaamõõdistamiseks kasutasime lähtepunkte 531s ja 510a, mille koordinaadid on toodud alljärgnevas tabelis (**Tabel 15**). Seisupunktiks oli punkt nr 531s ja viseerimispunktiks oli punkt nr 510a. Sellest lähtuvalt teostasime nii ripploodide kui ka šurfi ava ringjoone punktide mõõdistuse, mõõtes iga punkti jaoks direksiooninurga ja kauguse seisupunktini. Šurfi ava mõõdistamiseks tehtud mõõtmised on kirjeldatud allolevas tabelis (**Tabel 16**).

**Tabel 15.** Allmaamõõdistuse lähtepunktide koordinaadid

Punkti nr	Koordinaadid	
	x	y
531s	41899,036	29200,123
510a	41852,581	29226,739

**Tabel 16.** Šurfi ava ringjoone punktide direksiooninurgad ja kaugused seisupunktist

Punkti nr	Direksiooninurk			Kaugus, m
	°	'	''	
1	93	50	27	18,810
2	91	12	06	18,963
3	89	11	16	19,537
4	88	55	44	20,377
5	89	36	20	21,187
6	91	54	27	21,857
7	94	00	51	21,872
8	95	48	10	21,518
9	96	52	53	20,972
10	97	14	44	20,192
11	96	31	31	19,469
12	95	06	35	19,060

Tulemusena saime kahe ripploodi (RP1 ja RP 2) ja šurfi ava ringjoone punktide koordinaadid kohalikus ristkoordinaatide süsteemis, mis on toodud allolevas tabelis (**Tabel 17**).

**Tabel 17.** Orienteerimise mõõdistamise tulemused maa all, kasutades tahhümeetrit Topcon

Punkti nr	Koordinaadid	
	x	y
RP1	41890,284	29180,673
RP2	41889,380	29182,613
1	41890,799	29183,212
2	41889,956	29183,475
3	41889,084	29183,311
4	41888,577	29182,635
5	41888,377	29181,812
6	41888,808	29180,807
7	41889,518	29180,431
8	41890,281	29180,466
9	41890,866	29180,808
10	41891,288	29181,477
11	41891,340	29182,240
12	41891,071	29182,807

#### 5.4. Asimuudi arvutamine

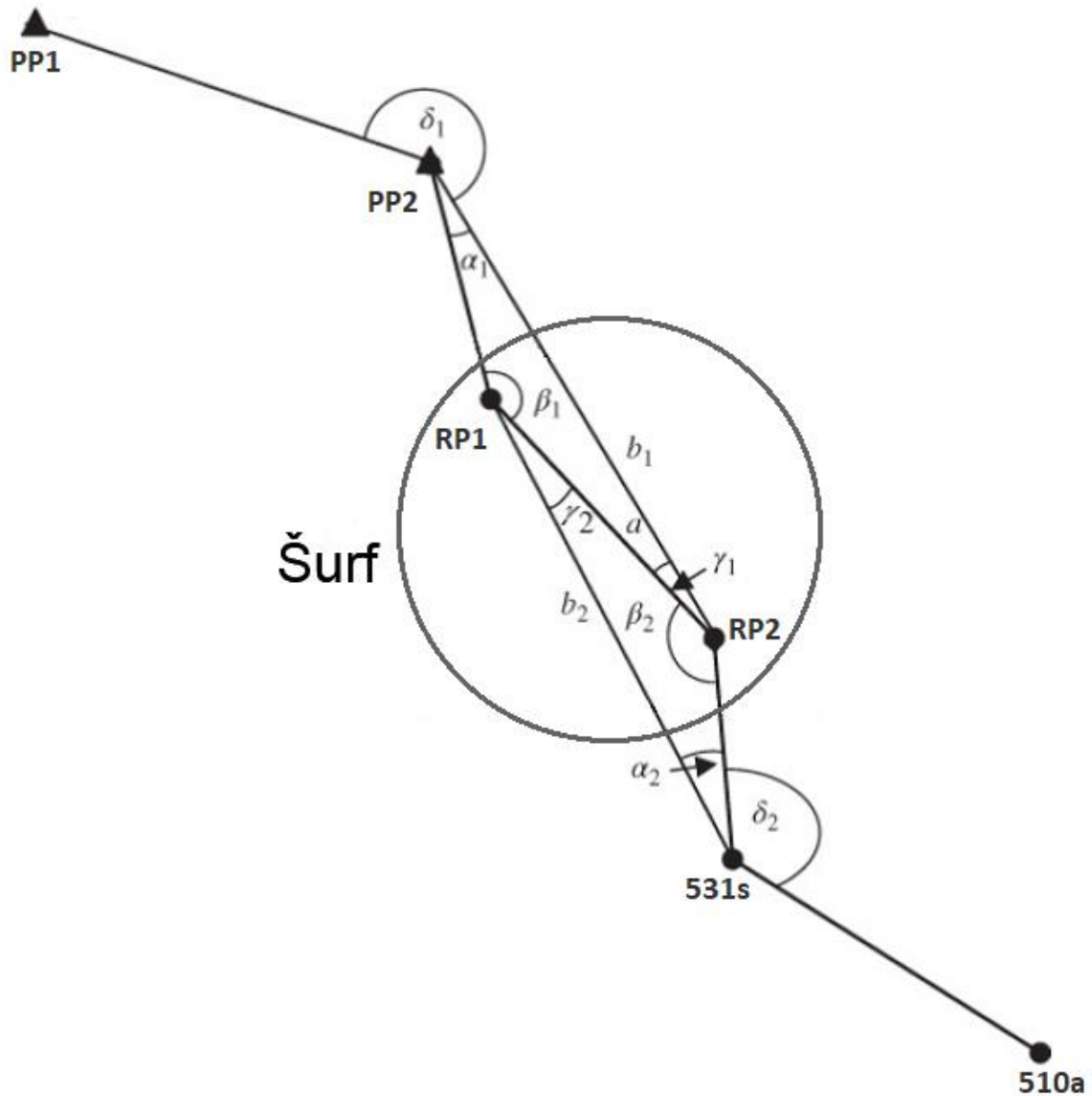
Alloleval joonisel (**Joonis 25**) on kujutatud minu arvutuste lähteandmed Weisbach'i triangulatsiooni skeemil. Punktid PP1 ja PP2 tähistavad maapealseid lähtepunkte ja punktid 531s ja 510a tähistavad maa-aluseid lähtepunkte. Punktid RP1 ja RP2 tähistavad ripploode.

Allolevas tabelis (**Tabel 18**) on toodud lähteandmete väärtused. Teada on ka joone PP1\_PP2 asimuut maa peal, milleks on 26°55'03". Sellest lähtuvalt kasutasin Weisbach'i triangulatsiooni meetodit, et välja arvutada maa-alune asimuut 531s\_510a.

**Tabel 18.** Lähteandmed asimuudi arvutusteks

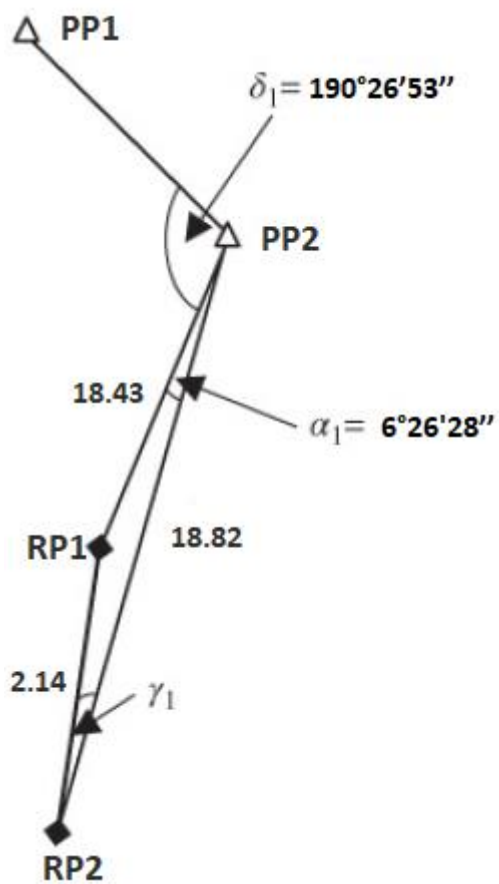
Kus	Kust	Kuhu	Kaugus, m	Direktsiooninurk
PP2	RP2	PP1	PP2-RP2 = 18,82	196°53'21"
	RP1	PP1	PP2-RP1 = 18,43	190°26'53"
		P1P2	2,14	-
531s	RP1	510a	531s-RP1 = 21,33	264°24'59"
	RP2	510a	531s-RP2 = 20,00	269°03'53"





**Joonis 25.** Lähteandmed asimuudi arvutusteks

Alustasin joone RP1\_RP2 asimuudi leidmisest maa peal. See on vajalik hilisemate maa-aluste arvutuste teostamiseks. Maapealsete arvutuste lähteandmed on toodud alloleval joonisel (**Joonis 26**).



Joonis 26. Weisbach'i triangulatsiooni lähteandmed maa peal

Kõigepealt arvutasin nurga  $\gamma_1$ , selleks kasutasin järgmisi valemeid:

$$\frac{\sin \alpha_1}{2,14} = \frac{\sin \gamma_1}{18,43}$$

või

$$\gamma_1 = \arcsin\left(\frac{18,43 * \sin 6^\circ 26' 28''}{2,14}\right) = 75^\circ 02' 41''$$

Seejärel kasutades kolmnurka PP2-RP2-RP1 (Joonis 26), arvutasin nurga PP2\_RP1\_RP2:

$$\text{Nurk } PP2\_RP1\_RP2 = 180^\circ - (6^\circ 26' 28'' + 75^\circ 02' 41'') = 98^\circ 30' 51''$$

Meil on teada asimuut PP1\_PP2, milleks on  $26^\circ 55' 03''$  ning nurk  $\delta_1$ . Lähtuvalt sellest arvutasin Asimuudi PP2\_RP1:

$$\text{Asimuut } PP2\_RP1 = \text{Asimuut } PP1\_PP2 - \delta_1$$

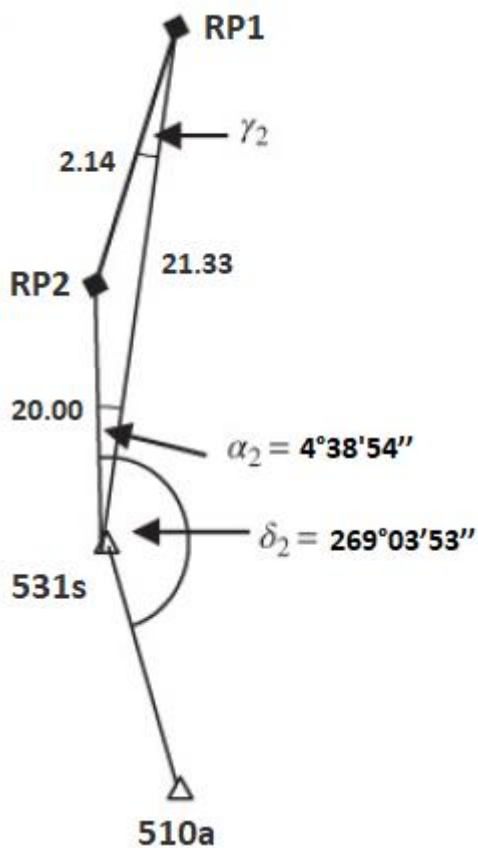
$$\text{Asimuut } PP2\_RP1 = 26^\circ55'03'' - 190^\circ26'53'' = 16^\circ28'10''$$

Saadud andmete põhjal arvutasin joone RP1\_RP2 asimuudi:

$$\text{Asimuut } RP1\_RP2 = \text{Asimuut } PP2\_RP1 + \text{Nurk } PP2\_RP1\_RP2$$

$$\text{Asimuut } RP1\_RP2 = 16^\circ28'10'' + 98^\circ30'51'' = 114^\circ59'01''$$

Seega on ripploodide vahelise joone RP1\_RP2 asimuut  $114^\circ59'01''$ . Võtsin selle väärtuse aluseks maa-alustele arvutustele. Maa-aluste arvutuste lähteandmed on toodud alloleval joonisel (**Joonis 27**).



**Joonis 27.** Weisbach'i triangulatsiooni lähteandmed maa all

Alustasin samamoodi nurga  $\gamma_2$  leidmisest, selleks kasutasin järgmisi valemeid:

$$\frac{\sin \alpha_2}{2,14} = \frac{\sin \gamma_2}{20,00}$$

või

$$\gamma_2 = \arcsin\left(\frac{20,00 * \sin 4^\circ 38' 54''}{2,14}\right) = 49^\circ 14' 02''$$

Seejärel arvutasin joone 531s\_510a asimuudi:

$$\text{Asimuut } 531s_510a = \text{Asimuut } RP1\_RP2 + \gamma_2 - 180^\circ + \delta_2 - \alpha_2$$

$$\text{Asimuut } 531s_510a = 114^\circ 59' 01'' + (360^\circ - 49^\circ 14' 02'') - 180^\circ + 269^\circ 03' 53'' - 4^\circ 38' 54''$$

$$\text{Asimuut } 531s_510a = 150^\circ 09' 58''$$

Seega sain maa-aluse joone 531s\_510a uueks asimuudiks  $150^\circ 09' 58''$ . Joone 531s\_510a asimuut eelnevate markšeiderimõõtmiste põhjal oli  $150^\circ 10' 00''$ . Erinevus  $2''$  kinnitab allmaa markšeiderivõrkude õiget orienteeritust.

## 5.5. Allmaa markšeiderivõrkude tasandamine

Orienteerimise käigus mõõdeti maapealsed koordinaadid L-EST97 koordinaatsüsteemis ning maa-alused koordinaadid kaevanduses kasutatavas kohalikus süsteemis. Esialgset orienteerimise tulemused näitasid maapealse ja maa-aluse situatsiooni, ehk siis punktide asukoha, erinevust umbes meetri võrra. See oli üsna ehmata viga, aga selleks hetkeks ei olnud maa-alused markšeiderivõrgud, millele antud mõõtmised tuginesid, veel tasandatud. Täpsete tulemuste saamiseks tuli 19. paneeli markšeiderivõrgud tasandada.

### 5.5.1. Tasandamise olemus

Markšeiderivõrkude tasandamine on sisuliselt markšeiderimõõtmiste matemaatilise analüüsi protsess, mis aitab välistada liigsetest mõõtetulemustest tekkivad ebakõlad ning hinnata mõõtetulemuste ja tasandatava markšeiderivõrgu täpsust.

Tänapäeval kasutatakse markšeiderimõõtmiste teostamisel elektroonset kauguse mõõtmise tehnikat ja elektrontahhümeetreid nurgamõõtmisteks ning mõõtmistel kogutud andmete hulk on niivõrd suur, et selle töötlemiseks on vajalik kõrgetasemeline matemaatilise analüüsi protsess. Mõõtmiste arv on alati suurem, kui miinimum vajalik selleks, et tundmatud väärtused kindlaks teha. Samuti on analüüs vajalik mõõtmisvigade elimineerimiseks ning markšeiderivõrgule täpsushinnangu andmiseks.

Geodeetilist võrku võib kirjeldada kui matemaatilist mudelit, mis koosneb mitmest võrgupunktist, ehk geodeetilisest seisupunktist, mille vahelisel võrdluspinnal asetsevad tundmatud väärtused. Võrgupunktid on omavahel ühendatud joontega, mis kujutavad endast ühte või mitut mõõtmist, mis

kasutavad seda kahte punkti, mille vahele joonistub joon. Mõõtmised võivad olla kas kaugusmõõtmised või nurgamõõtmised, mistõttu nende mõõtmiste ja tundmatute väärtuste suhe väljendub mittelineaarsete võrranditena, kusjuures iga võrrand kaasab vaid väikese arvu tundmatutest väärtustest (Golub ja Plemmons, 1980). Tundmatute väärtuste kindlaks tegemiseks rakendatakse geodeesias tavaliselt vähimruutude meetodit.

Vähimruutude meetod arenes välja 19. sajandi esimeses pooles (Okwuashi ja Asuquo, 2014) ning selle meetodi aluseks on tingimus, et parandite ruutude summa oleks minimaalne, mis on kirjeldatud järgmise valemiga (Белоликов, jt., 1979, lk 308):

$$[v^2] = \min \quad \text{Valem 4}$$

Kus:

$$v = L - l \quad \text{Valem 5}$$

Kus:

v – Parandid;

L – Tasandatud väärtused;

l – Mõõdetud väärtused.

Vähimruutude meetod võimaldab omistada tasandatud väärtustele L suurima kaalu ehk saavutada väikseim viga, võrreldes teiste meetoditega. Mõõtmiste kaalu arvesse võttes, saame tingimuseks järgmise valemi:

$$[v^2 p] = \min \quad \text{Valem 6}$$

Kus:

v – Parandid;

p – Mõõtmiste kaal.

Markseideritöö raames kasutatakse lihtsustatud tasandamist, mis koosneb neljast etapist (Белоликов, jt., 1979, lk 330-331):

1. Määratakse käigu nurgamõõtmise viga. Kui see ei ületa lubatud, siis lisatakse mõõdetud nurkadele vastavad parandid ning arvutatakse välja parandatud direktsiooninurgad;
2. Parandatud direktsiooninurkade ja mõõdetud küljepikkuste põhjal arvutatakse välja koordinaatide juurdekasvud;
3. Määratakse koordinaatide lahknevus ja üldine joonte mõõtmise suhteline viga ning võrreldakse seda lubatud suhtelise veaga;
4. Koordinaatide lahknevus jagatakse koordinaatide juurdekasvude vahel proportsionaalselt küljepikkustega ning arvutatakse määratavate punktide tasandatud koordinaadid.

Käesoleval ajal kasutatakse kõigi nende arvutuste tegemiseks vastavat tarkvara, milleks on Estonia kaevanduses Valgevene päritolu firma Кредо-Диалог tarkvara CREDO DAT 5.0 (Компания "Кредо-Диалог", 2021).

### 5.5.2. 19. paneeli markšeiderivõrkude loomine

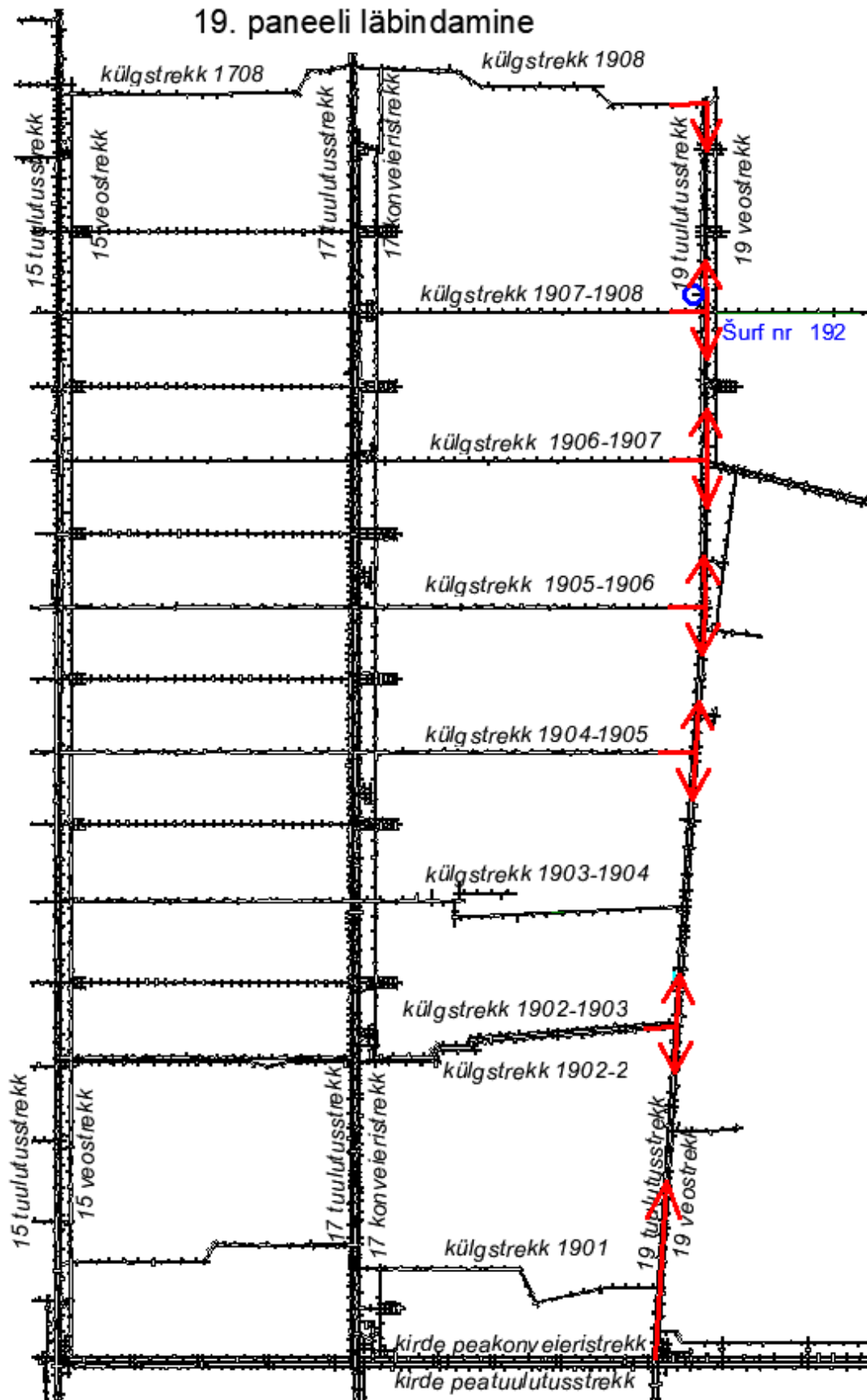
Allmaa-markšeiderivõrgud arenevad koos mäetööde edenemisega. Markšeiderivõrgu suunapunktid läbindusetes ei jää tavaliselt kaeveõõne eest maha rohkem kui 70 m, tihti on punktidevaheline kaugus veelgi väiksem – umbes 50-60 m. Kuna vahemaad on väikesed, kannatab ka täpsus, seetõttu luuakse tagantjärei pidevalt kõrgendatud täpsusega kontrollkäike, mille küljepikkus on vähemalt 200 m. Need käigud kuuluvad hiljem tasandamisele.

19. paneeli strekke läbindati mitmes osas, hargnedes mitmest erinevast alguspunktist nii nagu on näidatud alloleval joonisel (**Joonis 28**):

- Kirde peakonveieristrekilt põhja suunas;
- Külgstrekilt 1902-2 põhja ja lõuna suunas;
- Külgstrekilt 1904-1905 põhja ja lõuna suunas;
- Külgstrekilt 1905-1906 põhja ja lõuna suunas;
- Külgstrekilt 1906-1907 põhja ja lõuna suunas;
- Külgstrekilt 1907-1908 põhja ja lõuna suunas;
- Külgstrekilt 1908 lõuna suunas.

Seetõttu olid ka algsed markšeiderivõrkude käigud üsna fragmenteeritud, algasid ja lõppesid mitmes erinevas punktis ning ei moodustanud ühtset süsteemi. Selliseid käike ei ole võimalik tasandada. Seetõttu tuli oodata 19. paneeli strekkide täielikku kujunemist, et luua tasandamiseks vajalik kontrollkäik, mis ühendaks kogu 19. paneeli ning samuti 19. paneeli ja selle alguspunkti (kirde peakonveieristreki) ning lõpp-punkti (17. konveieristreki).

19. paneeli strekkide läbindamise käigus teostati pidevalt kontrollmõõtmisi. Selleks loodi kõrgendatud täpsusega mõõdistuskäigud vähima küljepikkusega umbes 200m, kasutades olemasolevaid markšeideripunkte. Külgstrekkide ristumiskohtades 19. paneeli strekkidega kontrolliti üle ka ristumispunktid.



Joonis 28. 19.paneeli strekkide läbindamine

Peale seda kui 19. paneeli strekid olid lõpuni läbindatud, loodi kontrollkäik algusega kirde peakonveieristrekilt mööda 19. veostreki ja suleti see külgstrekil 1908. Varasemalt oli juba loodud kontrollkäik algusega kirde peakonveieristrekilt mööda 17. konveieristreki ning suletud külgstrekil 1708. See kontrollkäik oli juba ka tasandatud. Kõik mõõtmised teostati tahhümeetri Sokkia Set500 (Joonis 29), mille tööparameetrid on toodud allolevas tabelis (Tabel 19).

**Tabel 19.** Tahhümeetri Sokkia Set500 tööparameetrid (SOKKIA CO., LTD., 1999)

Sokkia Set500	
Nurgamõõtmise täpsus	5"
Nurga esitamise täpsus displeil	1"
Teleskoobi suurendus	30x
Mõõteulatus kauguse mõõtmisel prismaga	2000 m
Tööaeg ühe akuga	5h



**Joonis 29.** Sokkia Set500 tahhümeeter (International Surveying Equipment, 2021)

### 5.5.3. 19. paneeli markšneiderivõrkude tasandamine

Lähtudes olemasolevatest 17. paneeli allmaa markšneiderivõrgu tasandatud käikudest tasandati 19. paneelil loodud kontrollkäik. Selleks kasutati Valgevene päritolu firma Кредо-Диалог tarkvara CREDO DAT 5.0. Selle programmi abil teostati kõik kontrollkäigu punktide tasapinnaliste ristkoordinaatide ja kõrgusväärtuste arvutused ja tasandamine. Tasandamise käigus teostati:

- Direktsiooninurkade ja parandite arvutamine mõõtetulemuste keskmiste väärtuste põhjal;
- Vertikaalsete nurkade ja parandite arvutamine;
- Küljepikkuste, direktsiooninurkade ja parandite, mida tuleb tasandada, redutseeritud väärtuste tuletamine, liigsete mõõtmiste tuvastamine;
- Tasapinnaliste ristkoordinaatide arvutamine ja markšneideri tugivõrgu topoloogia tuletamine.

Tasandamine teostati vähimruutude meetodil. Tasandatud punktide asukohtadele täpsushinnagu andmiseks kasutab tarkvara kovariatsiooni maatriksit, mille koefitsiendid arvutatakse tasandamise protsessis.

Saadud tulemused on toodud antud töö lisa (Lisa 2. Tasandamise tulemusel mõõtmiste täpsusele antud hinnang). Tasandamise tulemusena saadud keskmised parandid olid nurgamõõtmistel 0°00'03"



ning kaugusmõõtmistel 0,019 m. Tasandamise tulemusena liigitati allmaa-markšeiderivõrk 4. täpsusklassi, mis tähendab, et see on piisava täpsusega võrk.

## 5.6. Tulemused

Orienteerimise tulemusena sain ripploodide asukohtade tasapinnalised ristkoordinaadid maa peal L-EST97 koordinaatsüsteemis, mis on esitatud allolevas tabelis (**Tabel 20**) ning maa all kohalikus koordinaatsüsteemis. Selleks, et tulemusi omavahel võrrelda, tuli koordinaadid ümber teisendada, et nad oleksid samas koordinaatsüsteemis. Estonia kaevanduses on selleks otstarbeks kasutuses niinimetatud „Gauss kalkulaator“, mis annab täpsemaid tulemusi, kui Maa-ameti vastavad kalkulaatorid.

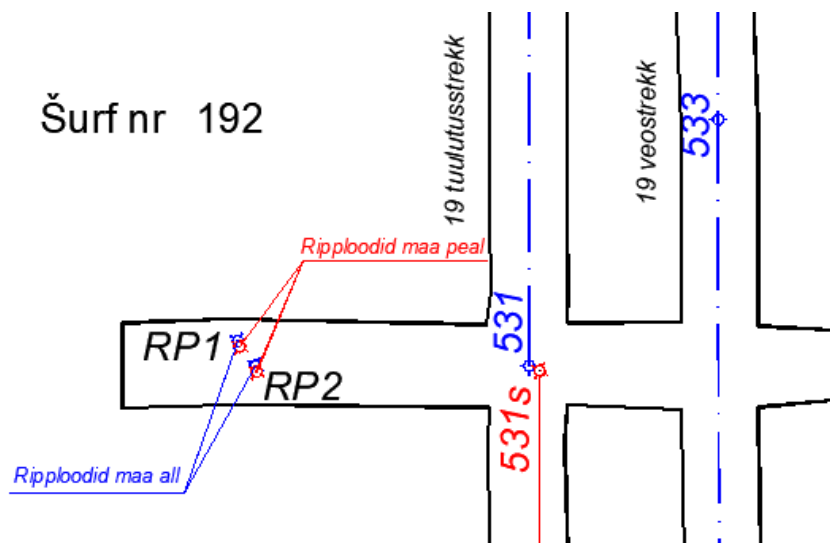
**Tabel 20.** Ripploodide koordinaadid L-EST97 koordinaatsüsteemis

Ripplood	Koordinaadid		
	x	y	z
RP1	6574247,307	698088,110	60,435
RP2	6574246,454	698090,038	60,495

Niisiis teisendasin ripploodide RP1 ja RP2 koordinaadid ümber L-EST97 koordinaatsüsteemist kohaliku süsteemi, kasutades Gauss kalkulaatorit. Maa all orienteerimise käigus mõõdetud ja L-EST97 süsteemist ümberteisendatud maapealsed koordinaadid on toodud allolevas tabelis (**Tabel 21**). Kandsin tulemused plaanile, mis on kujutatud alloleval joonisel (**Joonis 30**). Sinise värviga on tähistatud ripploodide asukohad maa all ning punase värviga on tähistatud ripploodide asukohad maa peal.

**Tabel 21.** Ripploodide mõõdetud ja teisendatud koordinaadid kohalikus koordinaatsüsteemis

Ripplood	Mõõdetud		Teisendatud	
	x	y	x	y
RP1	41890,284	29180,673	41889,994	29180,986
RP2	41889,380	29182,613	41889,055	29182,874



**Joonis 30.** Ühendatud ripploodide asukoha plaan

Tulemusena selgus, et koordinaatide ümberteisendamise käigus tekib viga, kus punkti asukohad erinevad teineteisest 43 cm võrra. Kuna realselt nende punktide koordinaadid aga loomulikult kattuvad, tuleb järeldada, et viga tekib koordinaatide ümberarvutuse käigus. Tänu orienteerimisele saime sellele faktile kinnitust.

Koordinaatide teisendamise käigus tekkiv viga 43 cm on kaevanduse mastaape ja vajadusi arvestades vastuvõetav, kuna mitmesuguste piiride järgimisel ja tsoonide arvutamisel arvestatakse teatud varuga.

Orienteerimise käigus kogutud andmete põhjal antud töös teostatud asimuudi kontroll ei näidanud samuti kõrvalekallet olemasolevast asimuudist. Vahe orienteerimise andmete põhjal arvutatud asimuudi ja olemasoleva markšeiderimõõdistuse põhise asimuudi vahel oli 2".

## 6. Järeldused

Orienteerimise tulemusena selgunud koordinaatide ümberarvestuse käigus tekkiv viga jäi oodatud suurusjärku. Kaevanduse markšeideriteenistus saab ka edaspidi kindel olla, et eksisteerib korrektne seos maa-aluste kaeveõõnte ja maapinnal asuvate objektide vahel ning kõik vajalikud ettevaatusmeetmed ja piirid saavad järgitud.

Mis meile, markšeideritele, aga veelgi tähtsam – ka direktsiooninurga/asimuudi kontroll ei tuvastanud märkimisväärset erinevust. Seega on kaeveõõned suunatud õigesti ning allmaa-markšeiderivõrgud usaldusväärsed.

Hetkel jääb siiski veel kaevanduse koordinaatsüsteemi üleminekuks andmeid vajaka, kuid lähiajal on plaanis läbindada uus šurf kaevanduse kagutiivas, mis annab võimaluse tööd jätkata. Kui teostada veel üks orienteerimine antud šurfi kaudu, annab see meile juba rohkem ja täpsemaid andmeid, mida vajame koordinaatsüsteemi üleminekuks.

Nimelt saab koordinaatide ümberarvutuseks kasutada programmikompleksi CREDO, mis aga vajab selleks vähemalt kolme ühist teadaolevate koordinaatidega punkti, kusjuures, mida kaugemal nad üksteisest asuvad, seda täpsemad on tulemused. Kuigi meil on juba kaks teadaolevate koordinaatidega punkti (kaks ripploodi RP1 ja RP2), asetsevad nad üksteisele liiga lähedal (sammas šurfis), et sellise pindalaga objekti, nagu Estonia kaevandus, õnnestuks usaldatavate tulemustega ümber teisendada. Töös kasutatud šurfi nr 192 ja uue šurfi vahekaugus on aga linnulennult 6 km, mis annaks juba palju parema aluse koordinaatide ümberarvutamiseks. Ideaalis tuleks orienteerimist korrata ka kaevanduse läänetiivas, veelgi täpsema tulemuse saavutamiseks.

Selleks, et tagada allmaa-markšeiderivõrkude ja ka kaeveõõnte plaani täpsus, tuleks kogu kaevandus ühtse süsteemina ühekorraga L-EST97 koordinaatsüsteemi üle viia. Kui seda teha osade kaupa, koguneb liialt suur viga ning eraldiseisvad osad ei ühendu omavahel enam täpselt. Eriti oluline on allmaa-markšeiderivõrkude täielikkuse säilitamine, sest kõik muud mõõtmised baseeruvad nendel. Selleks aga, et kogu kaevandust korraga käsitleda, on vajalik veel vähemalt kaks kindlat teadaolevate koordinaatidega baaspunkti, mis asetseksid kaevanduse eri tiibades, ehk siis võimalikult kaugel üksteisest ja võimalikult hajutatult üle terve kaevanduse ala. Nii on võimalik saada kõige rohkem informatsiooni koordinaatsüsteemi teisenduseks ja kõige täpsemad tulemused.

Samuti ei teostanud me antud orienteerimise käigus kõrgusmärgi ülekandmist maa alla, mis on oluline osa kaevanduse geodeetilise süsteemi kaasajastamisest ja vastavusse viimisest mujal Eesti riigis kehtivaga. Kuigi markšeideripunktide kõrgusväärtusi on oluliselt lihtsam Maa-ameti vastava kalkulaatori abil ümber arvutada, tuleks kontrolliks kõrgusmärk siiski orienteerimise teel maa alla üle kanda.

Seega tuleks kaevanduse koordinaatsüsteemi ülemineku protsessi jätkata uute orienteerimistega kaevanduse eri tiibades, et saada võimalikult palju täpseid algandmeid, mis võimaldaksid saada koordinaatide ümberteisendamisel usaldusväärsed tulemused. Samuti tuleks järgnevatel orienteerimistel kanda kaevandusse üle ka kõrgusmärk, et kontrollida ümberarvutatud kõrguste täpsust.

## Kokkuvõte

2020. aasta kevadel teostas Estonia kaevanduse markšeideriteenistus allmaa-markšeiderivõrkude orienteerimise läbi vastvalminud tuulutussurfi nr 192. See oli vajalik eelkõige selleks, et kontrollida allmaa-markšeiderivõrkude täpsust ning luua vahetu geomeetriline seos allmaa kaeveõõnte ja maapinna vahel.

Viimane geomeetriline orienteerimine teostati kaevanduses 1972. aastal ning sellest ajast saadik kuni lähijani ei olnud võimalust otseselt kontrollida maa-aluse ja maapealse situatsiooni kattuvust. Samuti pole kaevanduses direktsiooninurga kontrolli ehk güroskoopilist orienteerimist teostatud Eesti taasiseseisvumisest peale. See on aga äärmiselt oluline kaeveõõnte õige suunatuse tagamiseks.

Orienteerimise käigus mõõdistati kaks markšeideripunkti maa peal L-EST97 koordinaatsüsteemis, mille projektsioonid maa all mõõdistati kohalikus koordinaatide süsteemis. Selle tulemusel on meil kaks teadaolevate koordinaatidega punkti ja üks teadaoleva direktsiooninurgaga joon nende punktide vahel.

Nende andmete põhjal teostas in antud töös olemasoleva allmaa-markšeiderivõrgu direktsiooninurga kontrolli ning samuti leidsin vea, mis tekib koordinaatide ümberteisendamise käigus L-EST97 süsteemist kohaliku koordinaatsüsteemi või vastupidi.

Leidsin, et koordinaatide ümberteisendamise käigus tekib viga, mistõttu ümberarvutatud koordinaatidega ja maa all mõõdetud koordinaatidega punktide asukohad erinevad teineteisest 43 cm võrra. Direktsiooninurga kontrolli käigus tuvastasin erinevuse minu välja arvutatud ja olemasoleva allmaa-markšeiderivõrgu asimuudi vahel, milleks oli 2''.

Arvan, et see on vastuvõetav tulemus kaevanduse vajadusi ja nõudeid arvestades. Järeldan, et kaevanduse allmaa-markšeiderivõrgud on piisava täpsusega ja kaeveõõned õigesti suunatud. Samuti pole koordinaatide teisendamise käigus tekkiv viga märkimisväärne, mistõttu võib hetkeseisuga maa-aluse situatsiooni ja maapinna sidususe üsna heaks lugeda.

Sellel põhjal tuleks jätkata uute orienteerimistega, et luua alus kaevanduse koordinaatsüsteemi üleminekuks L-EST97 koordinaatsüsteemi. Hetkel on koordinaatide ümberteisendamiseks veel liiga vähe algandmeid. Vajalik oleks vähemalt kolme surfi kaudu orienteerimine kaevanduse eri tiibades, et saada piisavalt usaldusväärsed tulemused. Samuti tuleks järgnevatel orienteerimistel kaevandusse üle kanda ka kõrgusmärki, et kontrollida Maa-ameti kalkulaatori abil ümberarvutatud kõrgusväärtusi.

## **Tänuavaldused**

Täna enda lõputöö juhendajat, Erik Väli, mõjuva eeskuju ja professionaalse nõu eest. Samuti AS Enefit Power Estonia kaevanduse kollektiivi, eriti markšeideriosakonda, kes pakkus välja unikaalse uuringuprobleemi, abistas välitöödel ja varustas mind töö tegemiseks vajaliku info ja töövahenditega ning kelle teadmised ja head nõuanded aitasid mul selles keerulises teemas orienteeruda.

## Kirjanduse loetelu

- Bezdiček, V., Dandoš, R., Konečný, M., Kotrbánek, J., Král, T., ja Wlochová, A. (2018). Orientation Measurement with Gyrotheodolite. *Geodesy and Cartography*, 44(3), 100-105. doi: <https://doi.org/10.3846/gac.2018.2683>
- Černota, P., Staňková, H., Pospíšil, J., ja Novosad, M. (01 2014. a.). Connecting Surveys and Orientation Measurements in Čsa 2 and Mír 5 Shafts. *Inżynieria Mineralna - Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 15(1), lk 69-76. Kasutamise kuupäev: 14. 05 2021. a., allikas [https://www.researchgate.net/publication/292105203\\_Connecting\\_surveys\\_and\\_orientation\\_measurements\\_in\\_Csa\\_2\\_and\\_Mir\\_5\\_Shafts](https://www.researchgate.net/publication/292105203_Connecting_surveys_and_orientation_measurements_in_Csa_2_and_Mir_5_Shafts)
- Eesti Ensüklopeedia. (2003). *EE 12 Eesti Entsüklopeedia* (Kd-d 12: Eesti A-Ü). (A. Raukas, Toim.) Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus.
- Eesti Entsüklopeedia. (1994). *EE 7 Eesti Entsüklopeedia* (Kd. 7). (Ü. Kaevats, ja T. Varrak, Toim-d) Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus.
- Eesti Füüsika Selts. (2010). *Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 2009*. (H. K. Anna Aret, Toim.) Tartu. Kasutamise kuupäev: 14. 05 2021. a., allikas <https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:240078>
- Eesti Nõukogude Entsüklopeedia. (1985). *ENE 1 Eesti Nõukogude Entsüklopeedia* (Kd. 1). (G. Naan, Toim.) Tallinn: Valgus.
- Enefit Power AS (Estonia Kaevandus). (28. 01 2021. a.). Markšeideri ametijuhend. Väike-Pungerja, Ida-Virumaa, Eesti.
- Entech Instruments Ltd. (2017). *Entech Instruments Ltd*. Kasutamise kuupäev: 20. 03 2021. a., allikas TOPCON GM-105 TOTAL STATION: <http://www.entechbd.com/product/topcon-gm-105-total-station/>
- Geodeetiline süsteem. (30. 06 2008. a.) Keskkonnaministri määrus nr. 26: *Riigi Teataja I*. Kasutamise kuupäev: 16. 03 2021. a., allikas <https://www.riigiteataja.ee/akt/12987975>
- GEOMATICS LAND SURVEYING. (2021). *GEOMATICS LAND SURVEYING - Trimble Surveying Equipment Distributor*. Kasutamise kuupäev: 15. 03 2021. a., allikas TRIMBLE R10 MODEL 2 GNSS SYSTEM: <https://geomatricslandsurveying.com/product/trimble-r10/>
- Golub, G. H., ja Plemmons, R. J. (12 1980. a.). Large-Scale Geodetic Least-Squares Adjustment by Dissection and Orthogonal Decomposition. *Linear Algebra and its Applications*, 34, lk 3-28. doi: [https://doi.org/10.1016/0024-3795\(80\)90156-1](https://doi.org/10.1016/0024-3795(80)90156-1)
- Greening, W. J., Robinson, G. L., Robbins, J. S., ja Ruland, R. E. (02 1993. a.). Control Surveys for Underground Construction of the Superconducting Super Collider. *3rd International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA 93)*, 28.09.1993-01.10.1993, Annecy, France (lk V/267-V/274). United States: Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). Kasutamise kuupäev: 14. 05 2021. a., allikas <https://www.slac.stanford.edu/econf/C930928/papers/030.pdf>

- Harrell, J. A., ja Brown, V. M. (01 1992. a.). The World's Oldest Surviving Geological Map: The 1150 B.C. Turin Papyrus from Egypt. *The Journal of Geology*, 100(1), 3-18. doi: <https://doi.org/10.1086/629568>
- International Surveying Equipment. (2021). *International Surveying Equipment*. Kasutamise kuupäev: 20. 04 2021. a., allikas Sokkia SET500: [https://www.usasurveyingsupplies.com/index.php?route=product/product&product\\_id=59](https://www.usasurveyingsupplies.com/index.php?route=product/product&product_id=59)
- Keskkonnaamet. (04. 09 2004. a.). Maavara kaevandamise luba KMIN-054. Tallinn. Kasutamise kuupäev: 30. 04 2021. a., allikas [https://kotkas.envir.ee/permits/public\\_detail\\_view?1=1&permit\\_id=120384](https://kotkas.envir.ee/permits/public_detail_view?1=1&permit_id=120384)
- Kollo, K., Oja, T., ja Pihlak, P. (2016). Eesti kõrgusvõrk ja kõrgussüsteem: olevik ja tulevik. *ESTGIS aastakonverents 2016*. MTÜ Eesti Geoinformaatika Selts. Kasutamise kuupäev: 16. 03 2021. a., allikas <https://estgis.ee/archive/wp-content/uploads/2016/08/Karin-Kollo-Maa-Amet-K%C3%B5rgusv%C3%B5rk.pdf>
- Kutsar, R. (2016-2017). *AS Enefit Kaevandused Estonia kaevanduse maavara kaevandamisloa KMIN-054 pikendamise taotluse keskkonnamõju hindamine. Töö nr 2596/16*. Tartu-Tallinn: OÜ Hendrikson & Ko. Kasutamise kuupäev: 30. 04 2021. a., allikas [https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/estonia\\_pikendamise\\_kmh\\_aruanne\\_ava\\_likustamisele\\_04-08-17.pdf](https://www.keskkonnaamet.ee/sites/default/files/estonia_pikendamise_kmh_aruanne_ava_likustamisele_04-08-17.pdf)
- Leica Geosystems. (2002). *LEICA TPS400 Series*. Heerbrugg, Šveits: Leica Geosystems AG. Tsiteeritud 19. 04 2021. a.
- Lewis, M. (2001). *Surveying Instruments of Greece and Rome*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511483035>
- Maa-amet. (2017). *Voldik: Euroopa kõrgussüsteem*. Kasutamise kuupäev: 16. 03 2021. a., allikas Maa-amet: [https://www.maaamet.ee/sites/default/files/content-editors/geodeesia/uus\\_297x210mm\\_gvoldik\\_4\\_4varv\\_maa\\_amet\\_korgussysteem\\_4\\_6okt20\\_17trykki.pdf](https://www.maaamet.ee/sites/default/files/content-editors/geodeesia/uus_297x210mm_gvoldik_4_4varv_maa_amet_korgussysteem_4_6okt20_17trykki.pdf)
- Maa-amet. (19. 01 2021. a.). *Eesti geodeetiline süsteem*. Kasutamise kuupäev: 16. 03 2021. a., allikas Geoportaal: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Geodeetilised-andmed/Eesti-geodeetiline-susteem-p223.html>
- Maa-amet. (15. 01 2021. a.). *Geodeetiliste mõõtmiste ajaloost Eestis*. Kasutamise kuupäev: 09. 03 2021. a., allikas Geoportaal: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Geodeetilised-andmed/Geodeetilised-vorgud/Geodeetiliste-mootmiste-ajaloost-Eestis-p636.html>
- Maa-amet. (19. 01 2021. a.). *Geoportaal*. Kasutamise kuupäev: 09. 03 2021. a., allikas Geodeesia kalkulaatorid - Kohalik geodeesia kalkulaator: <https://gpa.maaamet.ee/calc/helm/>

- Maapõueseadus. (27. 10 2016. a.) *RT I*, 10.11.2016, 1, § 76, (1). Riigikogu. Riigi Teataja I. Kasutamise kuupäev: 03. 05 2021. a., allikas <https://www.riigiteataja.ee/akt/MaaPS>
- Novosad, M., Dandoš, R., Černota, P., ja Pospišil, J. (2019). Surveying of old underground mining works using innovative measurement techniques. *Archives of Mining Sciences*, 64(4), lk 739-146. doi: <https://doi.org/10.24425/ams.2019.131063>
- Ogundare, J. O. (2016). *Precision Surveying The Principles and Geomatics Practice*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Okwuashi, O., ja Asuquo, I. (08 2014. a.). Basics of Least Squares Adjustment Computation in Surveying. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(8), lk 1988-1993. Kasutamise kuupäev: 12. 05 2021. a., allikas <https://www.semanticscholar.org/paper/Basics-of-Least-Squares-Adjustment-Computation-in-Okwuashi-Asuquo/bae1543b8455a212c9bdeffc1419d7eb4fdbf8d7?p2df>
- Ollikainen, M., Rüdja, A., Jürgenson, H., ja Mäkinen, J. (2003). Height connection over the Gulf of Finland. *Meeting of the IAG Commission X – Subcommission for Europe, EUREF 2003. Toledo, Spain, 4–7 June 2003*. Toledo. Kasutamise kuupäev: 16. 03 2021. a., allikas <http://www.euref.eu/symposia/book2003/5-5-Ollikainen.pdf>
- Ovesna, G., Stankova, H., Planka, L., ja Wlochova, A. (2017). The history of mine surveying and mining maps. *Geodesy and Cartography*, 43(3), 118-123. doi: <https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1371651>
- Paulson, J. F. (2005). Surveying in Ancient Egypt. *From Pharaohs to Geoinformatics. April 16-21*. Kairo: FIG Working Week 2005 and GSDI-8. Kasutamise kuupäev: 23. 03 2021. a., allikas [https://www.fig.net/resources/proceedings/fig\\_proceedings/cairo/papers/wshs\\_02/wshs02\\_02\\_paulson.pdf](https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/papers/wshs_02/wshs02_02_paulson.pdf)
- Ruumiandmete seadus. (17. 02 2011. a.) *RT I*, 28.02.2011, 2, § 22, (2). Riigikogu. Riigi Teataja I. Kasutamise kuupäev: 03.05.2021. a., allikas: <https://www.riigiteataja.ee/akt/121062016012?leiaKehtiv>
- SOKKIA CO., LTD. (1999). *Sokkia SET500, SET500S, SET600, SET600S Operator's Manual*. SOKKIA CO., LTD. Kasutamise kuupäev: 10. 05 2021. a., allikas [http://www.geoaxis.de/manuals/set600\\_manual\\_en.pdf](http://www.geoaxis.de/manuals/set600_manual_en.pdf)
- Suurna, R., ja Sisas, E. (2012). *Kartograafia alused*. (E. Ajaots, Toim.) Tallinn: SA INNOVE. Kasutamise kuupäev: 09. 03 2021. a., allikas DIGAR: <https://www.digar.ee/arhiiv/et/download/119298>
- TEOMAC. (2021). *Teomac - Equipamentos para Agrimensura e Geodesia*. Kasutamise kuupäev: 15. 03 2021. a., allikas ESTACÃO TOTAL LEICA TC407: <https://www.teomac.com.br/wpcproduct/estacao-total-leica-tc407/>



- Topcon. (2017). *GM-100 Series Manual Total Station Datasheet*. Topcon Corporation. Allikas: [https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product\\_files/gm-100\\_series\\_broch\\_7010\\_2235\\_reva\\_sm.pdf](https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/gm-100_series_broch_7010_2235_reva_sm.pdf)
- Trimble. (2021). *Tribble R10 Model 2 GNSS System*. Kasutamise kuupäev: 19. 04 2021. a., allikas Trimble: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/r10#>
- Utrobina, L. (2020). *Šurfi nr 192 litoloogiline läbilõige*.
- Yilmaz, N. (2008). Comparison of different height systems. *Geo-spatial Information Science*, 11(3), 209-2014. doi: <https://doi.org/10.1007/s11806-008-0074-z>
- Белоликов, А. Н., Ушаков, И. Н., Гусев, Н. А., Зданович, В. Г., Никифоров, Б. И., Фисенкс, Г. Л., Кузнецов, С. Т., Финаревский, И. И., Морозов, А. И., Зверевич, В. В., Лавров В. Н., Сеницын, В. А., Миронович, М. И., Гурич, А. А., Кронгауг, В. Ш., Трунин, А. П., Хлебников, А. В., Филатов, С. А., Добкин, И. И., ... Смирнов, А. С. (1979). *Справочник по маркшейдерскому делу (Vene keeles „Markšeideritöö teatmik“)*. Москва: Недра.
- Каждан, А. Б. (1972). *Технический отчет о маркшейдерских работах, выполненных на шахте № 9 треста "Эстонсланец" в 1972 г (Vene keeles „Eesti Põlevkivi ettevõtete koondise kaevanduses nr 9 1972. a. teostatud markšeideritööde tehniline aruanne“)*. Союзмаркштрест, Экспедиция № 301. Leningrad: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР.
- Компания "Кредо-Диалог". (2021). *Программные продукты и технологии CREDO*. Kasutamise kuupäev: 16. 05 2021. a., allikas КРЕДО ДАТ 5.2: <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/239-credo-dat-professional-naznachenie.html>
- Певзнер, М., Попов, В., Букринский, В., Викторова, Е., Киселевский, Е., Кузьмин, Ю Ю., Навитный, А., Орлов, Г., Сученко, В., ja Федотов, Н. (2003). *Маркшейдерия: Учебник для вузов (Vene keeles "Markšeideritöö. Õpik ülikoolidele.")*. Москва: Издательство Московского Государственного Горного Университета.

## Lisa 1. Lõputöö ülesanne

Töö ID	<b>LG70LT</b>	Õppekava kood	<b>LARM18/18</b>
Üliõpilane	<b>Ivika Errapart</b>	Matrikli nr	<b>192203LARM</b>
Töö liik	<b>Magistritöö</b>	Õppeaine kood	-
Juhendaja	<b>Erik Väli, LG - geoloogia instituut</b>	Ülesanne kehtib kuni	-
Töö pealkiri	<b>Allmaa-markšeiderivõrkude orienteerimine vertikaalse kaeveõõne kaudu Estonia kaevanduse näitel</b>		
Pealkiri ingl k	<b>Orientation of underground survey networks through a vertical shaft: a case study of the Estonia mine</b>		
Töö sisu põhipunktid	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geomeetrilise orienteerimise teostamine vertikaalse kaeveõõne, antud juhul tuulutusšurfi nr 192 kaudu.</li> <li>2. Olemasolevate allmaa markšeiderivõrkude asimuudi kontrollarvutamine orienteerimisel saadud andmete põhjal.</li> <li>3. Orienteerimiseks kasutatavate ripploodide koordinaatide määramine L-EST97 koordinaatsüsteemis maa peal ja kohalikus koordinaatsüsteemis maa all.</li> <li>4. Koordinaatide ümberteisendamisel tekkiva vea määramine.</li> <li>5. Orienteerimisel saadud tulemuste põhjal kaevanduse geodeetilise süsteemi kaasajastamise võimalikkuse analüüs.</li> </ol>		
Seotud teadusprojekt ja/või asutus	-		
Lisamärkused	-		
Esitamise kuupäev	<b>24. mai 2021</b>	Kaitsmise kuupäev	<b>04. juuni 2021</b>

Üliõpilane

Juhendaja

---

Konsultant

---

---

nimi allkiri kuupäev

## Lisa 2. Tasandamise tulemusel mõõtmiste täpsusele antud hinnang

Проект:

Дата: 29.04.2021

### Ведомость оценки точности измерений в сети по результатам уравнивания

#### Ведомость оценки точности плановой сети

СКО единицы веса: 26,822	СКО единицы веса (нижняя граница): 0,838	СКО единицы веса (верхняя граница): 1,139
--------------------------	--	---

Класс	Линейно - угловая сеть						СКО углов по невязкам в ходах			
	СКО направлений		СКО линий				Априорная	Фактическая		
	Априорная	Фактическая	Априорная		Фактическая					
	a	b	σ	a	b	m				
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	
4-класс (ГГС), III класс ГС, СИГС-2	1,414214"	40,064404"	0,0050	0,0030	0,0056	0,0000	0,0000	0,0000	5,000000"	39,628710"

#### Поправки по результатам уравнивания

Класс	В измеренные направления			В измеренные расстояния					
	min	Сторона	max	Средняя	min	Сторона	max	Сторона	Средняя
4-класс (ГГС), III класс ГС	0°00'00"	611a - 584a	0°00'57"	0°00'03"	0,000	623a - 626a	0,226	353a - 401a	0,019