

Anne Riin Arismaa

RAUDTEEDE PASPORTISEERIMINE VKG NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Rakendusgeodeesia eriala

Tallinn 2015

Mina, Anne Riin Arismaa, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

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

Lõputöö autor

Anne Riin Arismaa

Allkiri ja allkirjastamise kuupäev

Üliõpilase kood 110820494

Õpperühm GI81

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendaja

Katrin Uueküla

Allkiri ja allkirjastamise kuupäev

Kaitsmisele lubatud „.....“20....a.

Ehitusteaduskonna dekaan Martti Kiisa

Allkiri

Ehitusteaduskond

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: Anne Riin Arismaa
Üliõpilase kood: 110820494
Õpperühm: GI81
Eriala: Rakendusgeodeesia (kood: 1824)
Lõputöö teema: **Raudteede pasportiseerimine VKG näitel**

Lähteandmed töö koostamiseks:

1. Töö lähteülesanne

Töö koosseis, lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Anda ülevaade tellijapoolsest lähteülesandest ja objektist, mille põhjal töö üles ehitatud on.
2. Anda ülevaade töö käigus kasutatud geodeetilistest instrumentidest ning nende spetsifikatsioonidest.
3. Tutvustada raudteede mõõdistamist üldiselt ning käsitletaval objektil.
4. Selgitada mõõdistamispõhise loomist polügonomeetria, satelliitgeodeesia ja nivelleerimise baasil.
5. Kirjeldada pasportiseerimise käigus tehtavaid sisetöid käsitletava objekti näitel.
6. Tutvustada raudteede mõõdistamist puudutavaid nõudeid, sh Raudtee tehnokasutuseeskirja ja Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise korda.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Seletuskiri peab kajastama lahendamisele kuuluvaid küsimusi, maht ca 40-60 lk (koos lisadega kuni 80 lk). Töö graafilise materjali moodustavad: joonised, fotod, tabelid ja lisad.

Seletuskiri peab olema trükitud kas masinkirjas või arvutil.

Joonised vormistada kas käsitsi või arvutil.

Lõputöö juhendaja:	Katrin Uueküla (nimi)	(allkiri)	(kuupäev)
Lõpetaja:	Anne Riin Arismaa (nimi)	(allkiri)	(kuupäev)
Kinnitaja:	Martti Kiisa Ehitusteaduskonna dekaan	(allkiri)	(kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud:

Lõputöö esitamise tähtaeg:

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. OBJEKT JA LÄHTEÜLESANNE	8
2. KASUTATUD INSTRUMENDID.....	10
2.1. Elektrontahhümeeter Topcon GPT-3003N.....	10
2.2. Elektrontahhümeeter Topcon GTS-211D.....	12
2.3. Elektrontahhümeeter Trimble S6 Robotic.....	13
2.4. Topcon väliarvuti FC-250 ja GNSS vastuvõtja HiPer+	15
2.5. Digitaalnivelliir Topcon DL-101C	16
3. MÕÕDISTAMISPÕHIS.....	19
3.1. Polügonomeetriakäik PP528-PP286-K1-K2-K3-K4-PP289	19
3.2. Plaanilis-kõrgusliku alusvõrgu rajamine territooriumile.....	22
3.2.1. Nivelliiri kontroll.....	22
3.2.2. Punktide asukoha valik.....	23
3.2.3. Alusvõrgu nivelleerimine	23
3.2.4. Alusvõrgu koordineerimine.....	26
3.2.5. Nivelleerimisvõrgu tasandamine.....	27
3.2.6. Tulemuste koondtabel	30
3.2.7. Hinnang	31
3.3. Üksikpunktide koordineerimine GNSS-meetodil.....	31
4. RAUDTEE MÕÕDISTAMINE.....	33
4.1. Ettevalmistus	36
4.1.1. Tööohutusalane instruktaaz.....	36
4.2. Mõõdistamisprotsess objektil	38
4.2.1. Instrumendi orienteerimine	40
4.2.2. Mõõdistatavad punktid ja elemendid raudteel	41
4.2.3. Ettetulnud probleemid	42
5. SISETÖÖD	44

5.1. Topograafilise maa-ala plaani joonestamine	44
5.2. Kõvera elementide arvutamine	44
5.3. Pikiprofiilide koostamine	48
5.4. Andmike koostamine	53
KOKKUVÕTE.....	56
SUMMARY	58
VIIDATUD ALLIKAD.....	60
LISAD	63
Lisa 1. Fotosid mõõdistatud raudtee-elementidest	64
Lisa 2. Nivelleerimise 1. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused	67
Lisa 3. Nivelleerimise 2. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused	70

SISSEJUHATUS

Raudteede mõõdistamiseks on erinevaid põhjusi alustades mõõdistamisest topograafilise maa-ala plaani raames kuni detailsete raudtee-spetsiifiliste mõõdistusteni. Näiteks võib raudtee-mõõdistusi vaja minna olemasoleva raudtee seisukorra kontrollimiseks, uute raudteelõikude, -rajatiste jms või raudtee lähedusse rajatavate objektide projekteerimiseks, raudtee dokumenteerimiseks jne. Igal mõõdistusliigil on oma nüansid.

Vaatamata sellele, et raudteede mõõdistamise põhimõtted on olnud läbi aja küllaltki püsivad, on suur areng toimunud mõõdistamiseks kasutatavate instrumentide osas. Enne tahhümeetrite kasutuselevõttu toimus raudteede mõõdistamine eraldatult kahes jaos – plaaniline asend teodoliidiga ning kõrguslik mõõdistamine nivelliiriga. Tahhümeetrite tulek võimaldas need kaks osa kombineerida. Nüüdseks on kohati jõutud juba ka tahhümeetrite kasutamisest kaugemale, eriti täpseteks mõõtmisteks on välja töötatud spetsiaalne raudteede rööbaste mõõdistamise tehnika, mida on võimalik kombineerida laserskaneerimisega. Klassikaline tahhümeetiline mõõdistamine pole aga tänase päevani kuhugi kadunud ning ka elektrontahhümeetrite osas toimub pidev areng.

Käesolevas töös keskendutakse raudteede tahhümeetrilisele mõõdistamisele pasportiseerimise eesmärgil ning sellega seotud sisetöödele. Lõputöös vaadeldakse lähemalt Viru Keemia Grupp AS-i Kohtla-Järvel paiknevate raudteede pasportiseerimise erinevaid tööetappe, sealhulgas ettevalmistamist, mõõdistuspõhise loomist ning väli- ja kameraaltööde käiku. Lisaks antakse ülevaade ka raudteede mõõdistamisele seadusandlusega ette nähtud nõuetest, sh mõõdistamise nõutavast intervallist ning üldistest nõuetest geodeetilistele mõõdistamistöodele vastavalt Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrusele „Ehitusgeodeetiliste uurimistöode tegemise kord“.

Töö alguses tutvustatakse lühidalt objekti, käsitletavale tööle töövõtja leidmiseks korraldatud hanget ning tellijapoolset lähteülesannet mõõdistustööle. Samuti tuuakse välja töö käigus kasutatavate instrumentide tehnilised andmed.

Mõõdistamisel on eesmärgiks tugineda maksimaalselt Kohtla-Järve linna polügonomeetriapunktidele ning vajadusel tihendada mõõdistamispõhist täiendavate kindelpunktidega, kasutades selleks tahhümeetriat ning GNSS meetodeid. Lugeja leiab tööst erinevate kasutatavate alusvõrgu loomise meetodite kirjeldused, skeemid ning andmetabelid.

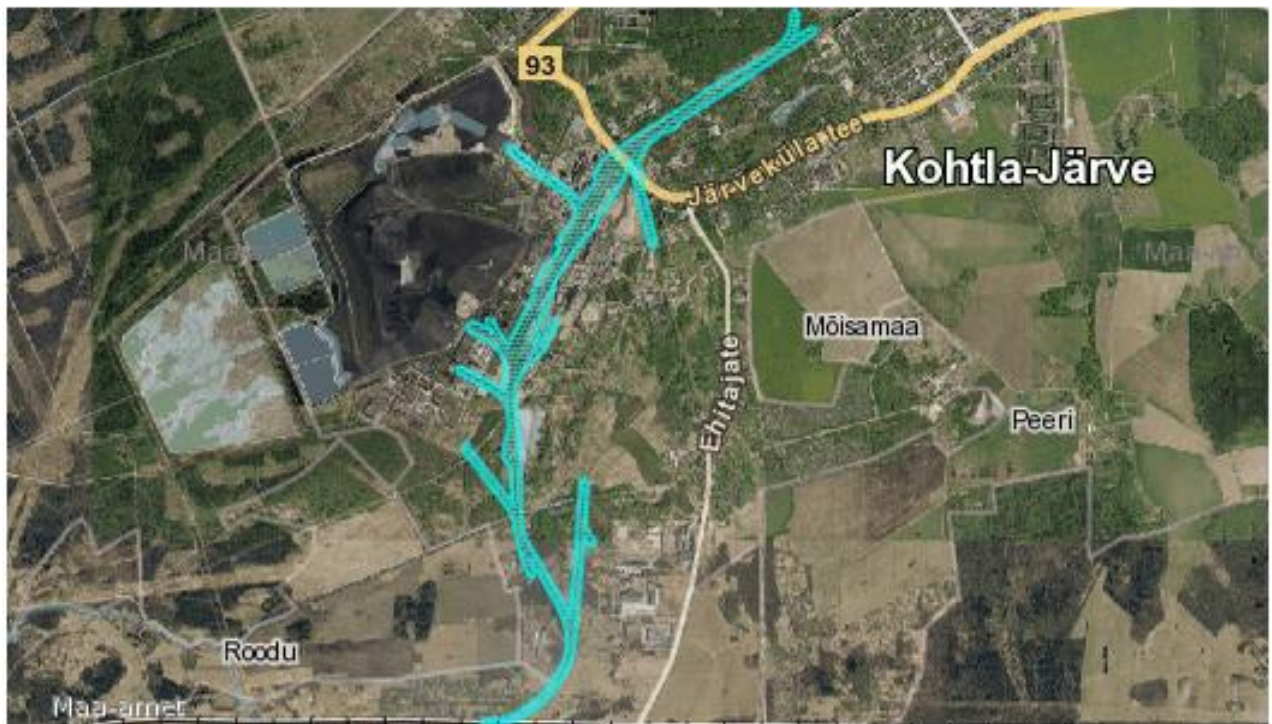
Tööde ettevalmistuse juures käsitletakse muuhulgas tööohutuse alast instrueerimist seoses raudteel töötamisega. Mõõdistamisprotsessi kirjeldamisel antakse ülevaade, milliseid elemente käesoleva töö raames mõõdistatakse; eraldi pööratakse tähelepanu elektrontahhümeetri orienteerimisviisidele, mida töös kasutatakse: vastulõikele ja tuntud koordinaatidega punkti kohale orienteerimisele. Samuti kirjeldatakse mõõdistamise käigus tekkivaid probleeme.

Sisetöödest uuritakse lisaks topograafilise maa-ala plaani joonestamisele veel mõõdistusandmete põhjal kõvera elementide leidmist, pikiprofilide koostamist ning elementide andmike koostamist.

Lõputöös kasutatakse autori varasemat projektitööd plaanilis-kõrgusliku mõõdistamise alusvõrgu loomise kohta VKG kinnisele territooriumiosale. Projektitöö sai juba algselt kirjutatud eesmärgiga kasutamiseks lõputöös, käesolevas töös sellele projektitööle eraldi viidatud ei ole.

1. OBJEKT JA LÄHTEÜLESANNE

Mõõdistusobjekt asub Järve linnaosas Kohtla-Järve linnas Ida-Virumaal. Objekti asukohaskeemil (Joonis 1) on mõõdistatav ala tähistatud helesinise viirutusega.



Joonis 1. Objekti asukohaskeem [1]

Töö tellijaks on Viru Keemia Grupp AS kontserni tütarettevõtte VKG Transport AS (edaspidi VKG). Töövõtja leidmiseks korraldas tellija eraviisilise hanke hankekeskkonnas Mercell. Tegemist ei olnud riigihankega, kuna VKG on eraettevõtte ning ei ole seega riigihanke kohuslane. Korraldatud hanke võitis Rakendusgeodeesia ja Ehitusgeoloogia Inseneribüroo OÜ.

Tellija sõlmis töövõtjaga lepingu töö tegemiseks 29. juulil 2014 ning töö esialgseks tähtjaks oli 30. november 2014. Tööde teostamine toimus ajavahemikus augustist 2014 kuni veebruarini 2015. Selle vahemiku sisse jäi ka valminud töö tellijapoolne ülevaatamine ning vastavalt tellija täpsustustele jooniste korrigeerimine. Lõplik pasportiseerimise aruande üleandmine tellijale toimus 4. veebruaril 2015.

Tellitud töö (Vaheküla jaama ja Kohtla-Järve jaama raudteede pasportiseerimise) lähteülesandes on sätestatud järgmised punktid [1]:

- objekti geodeetiline sidumine L-Est 97 koordinaatsüsteemi ja Balti Kõrgussüsteemiga;
- raudteede ja sellega ristuvate ning seotud objektide geodeetiline mõõdistamine;
- raudtee maa-ala plaanide koostamine M 1:1000;
- kõvera elementide ja pikikallete arvutus;
- raudtee pikiprofiilide koostamine igale haruteele M 1:1000/1:50, kusjuures pikiprofiilile kantakse ka kõik raudteega seonduvad objektid ja neile antakse piketaaž;
- pasportiseerimise aruande koostamine;
- maa-aluste võrkude mõõdistamist ja väljaselgitamist antud pakkumine ei sisalda.

Käsitletavasse töösse oli kaasatud kokku kolm töötajat.

Lähemalt on raudteede mõõdistamist ja pasportiseerimist käsitletud peatükis 4 (raudteede mõõdistamine).

Käesolev lõputöö käsitleb pasportiseerimise töö seda osa, milles osales ka töö autor.

2. KASUTATUD INSTRUMENDID

Välitööde käigus kasutati mitmeid erinevaid instrumente. Tahhümeetriliste mõõdistuste jaoks kasutati elektrontahhümeetreid Topcon GPT-3003N, Topcon GTS-211D ning Trimble S6 Robotic. Rajatud plaanilis-kõrgusliku alusvõrgu punktide koordineerimisel kasutati GNSS-vastuvõtjat Topcon Hiper+ ja väliarvutit Topcon FC-250. Alusvõrgu nivelleerimiseks kasutati digitaalnivelliiri Topcon DL-101C ja invarkoodlatti Nedo 51001. Jooniste vormistamiseks kasutati tarkvarapaketti AutoCAD 2010 LT.

2.1. Elektrontahhümeeter Topcon GPT-3003N

Elektrontahhümeeter GPT-3003N (Joonis 2) kuulub GPT-3000 seeriasse. Number tahhümeetri seeria lõpus väljendab instrumendi nurgamõõtmise täpsust, antud juhul on tegemist n-ö 3-sekundi tahhümeetriga. [2]



Joonis 2. Elektrontahhümeeter GPT-3003N [3]

GPT-3000 seeria tahhümeetrid on varustatud impulsslaseriga, mis võimaldab laserkiirega viseerida (see on abiks näiteks hämarates tingimustes mõõtmisel või punktide väljamärgimisel) ning vajadusel mõõta ilma prismata. Impulsslaser minimeerib kiire hajumist, olles samas üpris ohutu 1. klassi laser. Tahhümeetril on nii vertikaal- kui horisontaalsuunaline kompensaator. [4]

Allolevas tabelis (Tabel 1) on välja toodud tahhümeetri tehnilised andmed.

Tabel 1

Elektrontahhümeetri Topcon GPT-3003N spetsifikatsioonid [4]

Pikksilm	
Pikkus	150 mm
Suurendus	30×
Vaateväli	1°30'
Eraldusvõime	2,8"
Minimaalne fookuskaugus	1,3 m
Kauguse mõõtmine	
Mõõtmisulatus	
Prismata (Tähis: Kodak White)	1,5 kuni 250 m
Prismaga	kuni 3000 m
Mõõtmistäpsus	
Prismata: 1,5 kuni 25 m	± 10 mm
Prismata: 25 m või rohkem	± 5 mm
Prismaga	± (3 mm + 2 ppm)
Nurgamõõtmine	
Väikseim loendus	1"/5"
Täpsus	3"
Kompensaator	
Tüüp	kaheteljeline
Tööpiirkond	± 3'
Laser	
Kauguse mõõtmisel	klass 1(impulsslaser)
Juhtvalgus	klass 2
Muu info	
Vee- ja tolmukindlus	IP66 (standard IEC60529)
Kasutatav temperatuuridel	-20°C kuni +50°C

2.2. Elektrontahhümeeter Topcon GTS-211D

Elektrontahhümeeter Topcon GTS-211D (Joonis 3) on pärit seeriast GTS-210. GTS-211D näol on tegemist üpris vana instrumendiga, selle mudeli tootmist alustati 1996. aastal [5]. Funktsioonide, numbrite ja tähtede sisestamine toimub vaid nelja nupu abil. Instrument suudab talletada sisemällu kuni 2400 mõõdistus- ja kindelpunkti. Küll aga on sellel tahhümeetril erinevalt seeria teistest tahhümeetritest (GTS-212 ja GTS-213) olemas kaheteljeline kompensaator. [6]



Joonis 3. Elektrontahhümeeter Topcon GTS-211D [7]

Järgnevasse tabelisse (Tabel 2) on koondatud kõnealuse tahhümeetri tehnilised näitajad.

Tabel 2

Elektrontahhümeetri Topcon GTS-211D spetsifikatsioonid [8]

Pikksilm	
Pikkus	153 mm
Suurendus	26×
Vaateväli	1°30′
Eraldusvõime	3″
Minimaalne fookuskaugus	0,9 m
Kauguse mõõtmine	
Mõõtmisulatus	
Miniprismaga	550 m

1 prismaga	1100 m
3 prismaga	1600 m
Mõõtmistäpsus	± (3 mm + 2 ppm)
Nurgamõõtmine	
Väikseim loendus	1"/5"
Täpsus	5"
Kompensaator	
Tüüp	kaheteljeline
Tööpiirkond	± 3'
Muu info	
Vee- ja tolmukindlus	IPX6
Kasutatav temperatuuridel	-20°C kuni +50°C

2.3. Elektrontahhümeeter Trimble S6 Robotic

Trimble S6 tahhümeetri (Joonis 4) näol on tegemist robottahhümeetriga. Tahhümeeter kasutab Trimble VISION tehnoloogiat, mis tähendab, et kontrolleriolt on võimalik kuvada instrumendis paikneva kaamera kaudu pilti, mida näeks läbi pikksilma vaadates – see hõlbustab tunduvalt üksi mõõtmist. Lisaks on instrumendis kasutusel MagDrive kiired servomootorid. [9]



Joonis 4. Robottahhümeeter Trimble S6 [10]

Mõõtmisviisidest on lisaks tavapärasele prismale mõõtmisele olemas DR-režiim ilma prismata mõõtmiseks ning võimalus kombineerida GNSS-režiimil mõõtmist tavapärase tahhümeetrilise mõõdistamisega. [9]

Instrumenti spetsifikatsioonidega saab tutvuda järgnevas tabelis (Tabel 3).

Tabel 3

Elektronrahhümeetri Trimble S6 Robotic spetsifikatsioonid [9]

Pikksilm	
Suurendus	30×
Vaateväli	1°29' (2,6 m 100 m kaugusel)
Minimaalne fookuskaugus	1,5 m
Kauguse mõõtmine	
Mõõtmisulatus (normaalse nähtavuse, mõõduka päikesevalguse ja vähese kuumusvirvenduse juures)	
Prisma režiimis	0,2 m kuni 2500 m (kaugrežiimis kuni 5500 m)
DR režiimis	1 kuni 1300 m (peegelduvus 90%) 1 kuni 600 m (peegelduvus 18%) Kaugrežiimis vastavalt: 1 kuni 2200 m (peegelduvus 90%) 1 kuni 1000 m (peegelduvus 18%)
3 prismaga	1600 m
Mõõtmistäpsus (prisma ja DR režiimis)	
Standardne	± (2 mm + 2 ppm)
Tracking režiimis	± (4 mm + 2 ppm)
Nurgamõõtmine	
Väikseim loendus	0,1"
Täpsus	2"
Kompensaator	
Tüüp	kaheteljeline
Tööpiirkond	± 5,4'

Laser	
Kauguse mõõtmisel	impulsslaser, klass 1
Juhtvalgus	koaksikaalne laser, klass 2
Muu info	
Vee- ja tolmukindlus	IP55
Kasutatav temperatuuridel	-20°C kuni +50°C

2.4. Topcon väliarvuti FC-250 ja GNSS vastuvõtja HiPer+

Puutetundlik väliarvuti FC-250 (Foto 1) töötab operatsioonisüsteemi Windows Mobile 6.5 põhjal, tal on 806 MHz protsessor. Lisaks on tal sisseehitatud *WIFI* ning *bluetooth*. [11]



Foto 1. Topcon FC-250 väliarvuti (autori foto)

Topcon HiPer+ vastuvõtja (Foto 2) sobib hästi meie kliimas töötamiseks: lubatud temperatuuridevahemik on -30° kuni +60°C ning seade on veekindel. Väliarvutiga suhtleb vastuvõtja *bluetooth*-ühenduse kaudu. HiPer+ kasutab nii GPS- kui ka GLONASS-satelliite, on võimeline tuvastama L1/L2, C/A ning P koodi ja kandevlainet. Ideaaloludes lubatakse järgnevas tabelis (Tabel 4) toodud täpsusi.



Foto 2. Topcon Hiper+ GNSS-vastuvõtja (autori foto)

Tabel 4

Topcon Hiper+ GNSS-vastuvõtja täpsusandmed [12]

Meetod	Horisontaalne täpsus	Vertikaalne täpsus
Staatiline	3 mm + 0,5 ppm	5 mm + 0.5 ppm
RTK	10 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm

2.5. Digitaalnivelliir Topcon DL-101C

Kasutatud nivelliir Topcon DL-101C ning koodlatt Nedo 51001 on näidatud allolevatel piltidel (Foto 3 ja Foto 4).



Foto 3. Topcon DL-101C digitaalnivelliir [13]



Foto 4. Koodlatt Nedo 51001 (autori foto)

Digitaalnivelliiri Topcon DL-101C spetsifikatsioonid on koondatud alljärgnevasse tabelisse (Tabel 5).

Tabel 5

Digitaalnivelliiri Topcon DL-101C spetsifikatsioonid [14]

Pikksilm	
Suurendus	32×
Vaateväli	1°20'
Eraldusvõime	3"
Kompensaator	
Tööpiirkond	± 12'
Kõrguse mõõtmine	
Täpsus (standardhälve 1 km edasi-tagasi käigu korral)	
Elektrooniline lugem	0,4 mm invarlatiga
Optiline lugem	1,0 mm
Väikseim loendus	0,1 mm/0,01 mm
Kauguse mõõtmine	
Väikseim loendus	1 cm/1 mm
Täpsus	1-5 cm

Muu info	
Mõõtmisvahemik	2-100 m: klaasfiiber-/alumiiniumlatiga 2-60 m invarlatiga
Mõõtmise aeg	3 sekundit
Kasutatav temperatuuridel	-20°C kuni +50°C

3. MÕÕDISTAMISPÕHIS

Mõõdistamine toimus L-Est 97 koordinaatsüsteemis ning Balti kõrgussüsteemis BK77.

Suur osa mõõdistustöödest käesoleval objektil tugines vahetult Kohtla-Järve linna polügonomeetriapunktidele: 9, 256, 257, 261, 285, 286, 289, 359, 528, 560, 390.

Samas leidis ka olukordi, kus oli vaja rajada täiendavaid kindelpunkte, kuna olemasolevad polügonomeetriapunktid olid kaugel või asetsesid võsas ning ei olnud kas leitavad või puudus sealt nähtavus. Siinkohal võib tuua välja kolm põhilist alagruppi, milliste meetoditega mõõdistamise alusvõrku tihendati:

- polügonomeetriakäik kindelpunktide vahel;
- punktide võrgu koordineerimine GNSS seadmega, kombineerituna nivelleerimisega;
- üksikpunktide koordineerimine GNSS seadmega.

Kasutatud GNSS seadmega koordineeriti RTN-meetodil, tuginedes Hades Invest OÜ GNSS püsijaamade võrgule.

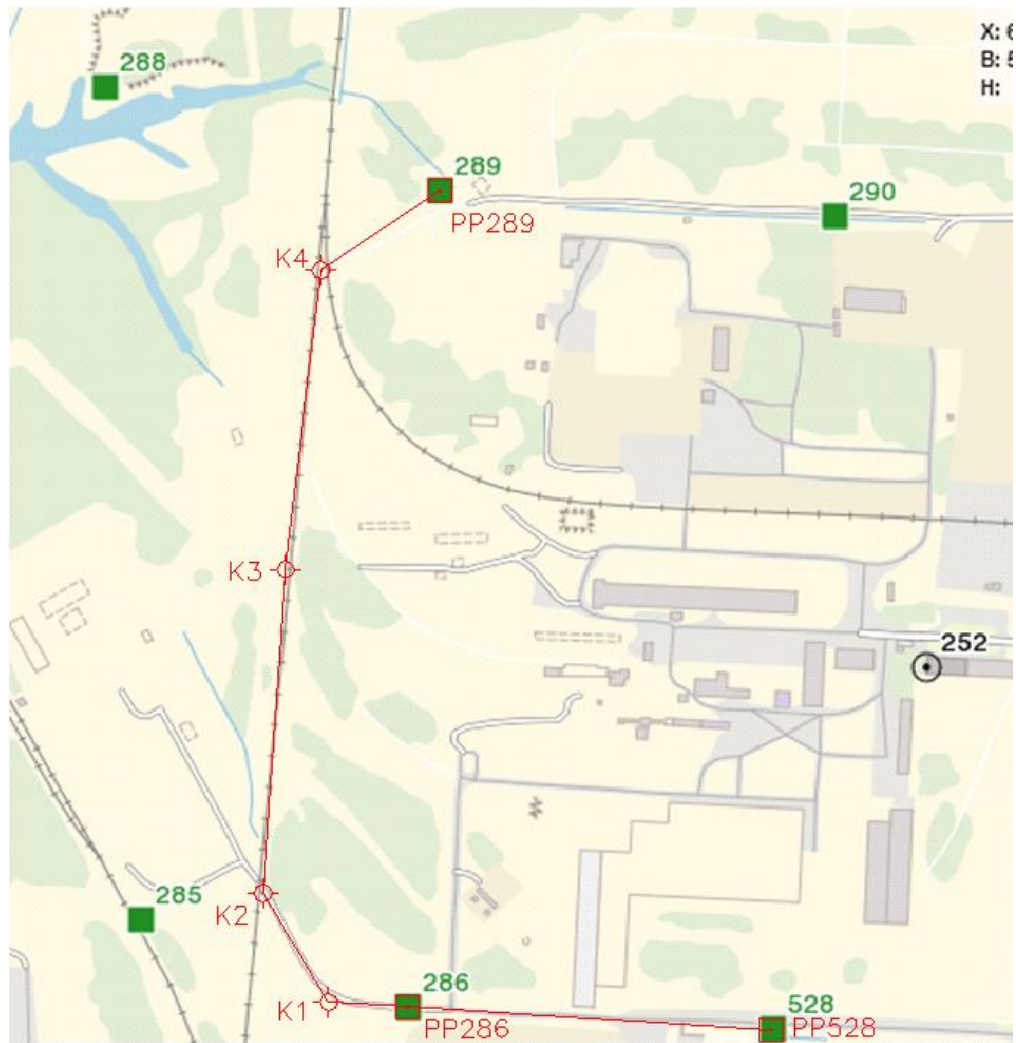
Järgnevalt on iseloomustatud kõiki väljatoodud olukordi.

3.1. Polügonomeetriakäik PP528-PP286-K1-K2-K3-K4-PP289

Ühe raudteeharu mõõdistamisel tuli rajada kindelpunktide koordineerimiseks polügonomeetriakäik. Eelnenud sisetöö käigus ortofoto ning kaardiga tutvumise põhjal oli planeeritud, et selle harutee mõõdistamiseks koordineeritakse kindelpunktid GPS-iga. Objektile aga selgus, et kogu harutee pikkuses olid puud ning kõrge ja tihe võsa raudteest vaid paari meetri kaugusel. GPS ei oleks selles olukorras andnud usaldusväärseid tulemusi.

Seega rajati piki seda raudteeharu polügonomeetriakäik (Joonis 5). Käik oli plaanis siduda nelja polügonomeetriapunktiga – kummaski planeeritava käigu otsas oli polügonomeetriapunktide paar, millel abriisside põhjal eeldati olevat omavaheline nähtavus. Punktipaarid olid: 528 ja 286 ning 289 ja 290.

Käiku alustati punktidest 528 ja 286, rajatav käik kulges mööda koordineeritavaid punkte: K1, K2, K3, K4 ning pidi suletama punktidega 289 ja 290. Käigu sulgemisel aga selgus, et käigu lõppu planeeritud kindelpunktidel puudus omavaheline nähtavus. Kaardi väljavõttelt on näha, et läheduses asub ka polügonomeetriapunkt nr 288, kuid ka sellele ei olnud taimestiku tõttu nähtavust punktilt 289. Võsa ja putked ulatasid tugevalt üle pea.



Joonis 5. Polügonomeetriakäigu PP528-PP286-K1-K2-K3-K4-PP289 skeem [15]

Sisuliselt oleks saanud koordineerida lisapunkti või uue baasjoone satelliitpositsioneerimise meetodil. Majandus- ja kommunikatsiooniministri 27.08.2007 vastu võetud määrus „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ (edaspidi MKM määrus) sätestab 7. paragrahvi (nõuded plaanilisele mõõdistamisvõrgule) 4. lõike all, et GPS-mõõdistamisega määratav baasjoone pikkus (baaspunktide paari omavaheline kaugus) ei või olla väiksem kui 300 meetrit, kuid situatsioonist tingitud nähtavuse või horisondi piiratuse tõttu võib baasjoone pikkust erandjuhul vähendada 200 meetrini. [16]

3.2. Plaanilis-kõrgusliku alusvõrgu rajamine territooriumile

VKG kinnise, aiaga piiratud territooriumiosa mõõdistamiseks rajati plaanilis-kõrguslik mõõdistamise alusvõrk. Alusvõrgu rajamise põhjuseks oli asjaolu, et instrumendi orienteerimiseks ei olnud võimalik kasutada vahetult polügonomeetriapunkte nende kauguse tõttu objektist.

Alusvõrgu rajamisel kombineeriti satelliitgeodeesia meetodeid ning digitaalset nivelleerimist kahe kindelpunkti põhjal. Kombineeritud meetodit kasutati põhjusel, et pasportiseerimisel on oluline kõrguslik täpsus, mida GNSS-meetod ei võimalda saavutada.

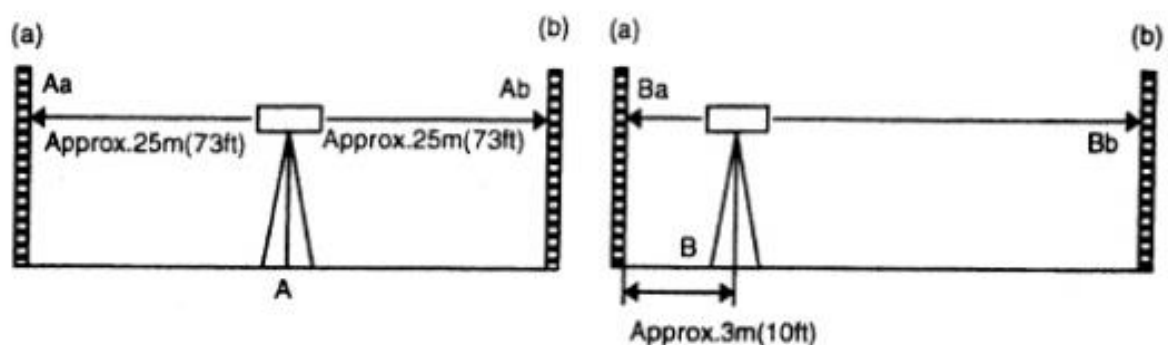
Plaanilis-kõrgusliku alusvõrgu rajamise välitööd toimusid 8.-10. septembril 2014. Sellele järgnes sisetööna nivelleerimiskäigu tasandamine.

Töö toimus viies etapis:

- nivelliiri kontrollimine,
- alusvõrgu punktide kindlustamine,
- nivelleerimine,
- punktide koordineerimine,
- nivelleerimisvõrgu tasandamine.

3.2.1. Nivelliiri kontroll

Vahetult enne mõõdma asumist teostati digitaalnivelliirile kontroll keskelt ning seejärel otsast nivelleerimise kaudu vastavalt instrumendi manuaalile. Illustreeriv skeem manuaalist on kujutatud alloleval joonisel (Joonis 6).



Joonis 6. Nivelliiri kontrollimiseks keskelt ja otsast nivelleerimine [17, pp. 10-5]

Kontrollimiseks asetatakse nivelliir kahe lati vahele nii, et kaugus kummagi latini oleks umbes 25 m. Kuna kasutati vaid ühte latti, valiti kontrollimiseks koht, kuhu saaks lati pärast ümber tõstmist samale kohale ja samale kõrgusele tagasi asetada. Ühel pool kasutati selleks „konna“ ning teisel pool sobivat liikumatut kivinukki. Keskelt nivelleerides fikseeriti tagasivaate- ning edasivaatelugem. Seejärel liigutati nivelliir umbes 3 m kaugusele tagasivaatepunktist, misjärel fikseeriti otsast nivelleerides tagasivaatelugem ning pärast lati ümbertõstmist uuesti ka edasivaatelugem.

Kontrolli käigus selgus, et instrument justeerimist ei vaja, kuna erinevus õige ehk keskelt arvutatud kõrguskasvu ning otsast arvutatud kõrguskasvu vahel tuli umbes 0,2 mm. Nivelliiri tuleb justeerida, kui kõrguskasvude erinevus ületab 4 mm [18].

3.2.2. Punktide asukoha valik

Välitööd mõõdistuse alusvõrgu rajamiseks teostati kolme järguna. Esimese etapina valiti välja sobivad punktide asukohad, arvestades mõõdistamisvajadusi ning asukoha sobivust koordineerimiseks satelliitgeodeesia meetodil. Oluline oli saavutada kindelpunktidele selline tihedus, mis võimaldaks edasise töö käigus kasutada instrumendi orienteerimiseks põhiliselt nn vaba jaama (ehk nurgalis-joonelise vastulõike) meetodit ning võimalikult vähe rippuvaid punkte. Satelliitpositsioneerimise seisukohast tuli valida asukohad, kus horisont oleks võimalikult avatud ning läheduses ei oleks kõrgeid puid, hooneid ega rajatisi. Sobivatesse kohtadesse paigaldati sõltuvalt pinnase materjalist kas asfaldinael või metalltoru. Kokku kindlustati 15 punkti. Punktide paiknemist on võimalik näha nivelleerimisvõrgu skeemilt (Joonis 7) alapeatüki 3.2.3. (alusvõrgu nivelleerimine) alt.

3.2.3. Alusvõrgu nivelleerimine

Teise välitööetapina toimus alusvõrgu punktide nivelleerimine nii, et kõik maha pandud punktid saaksid kaetud. Nivelleerimiseks kasutati Topcon digitaalnivelliiri DL-101C, Nedo 51001 koodlatti ja „konna“.

Käigu nivelleerimisel peeti maksimaalses võimalikus ulatuses silmas õlgade võrdsuse nõuet.

Käik kulges territooriumi lõunapoolse värava lähedalt mööda punkte P1MAST, P2NAEL, P3PUMPLA, P4KAEV, P5NAEL, P6KAEV, P7AK, P8NAEL, P9NAEL, P9APOLT ning vahepunkte põhjapoolse väravani. Sealt pöörduiti teiselt poolt raudteid paralleelselt eelmise käiguosaga tagasi punkti P1MAST, kattes mõõdistamise käigus punktid P10TORU, P11NAEL,

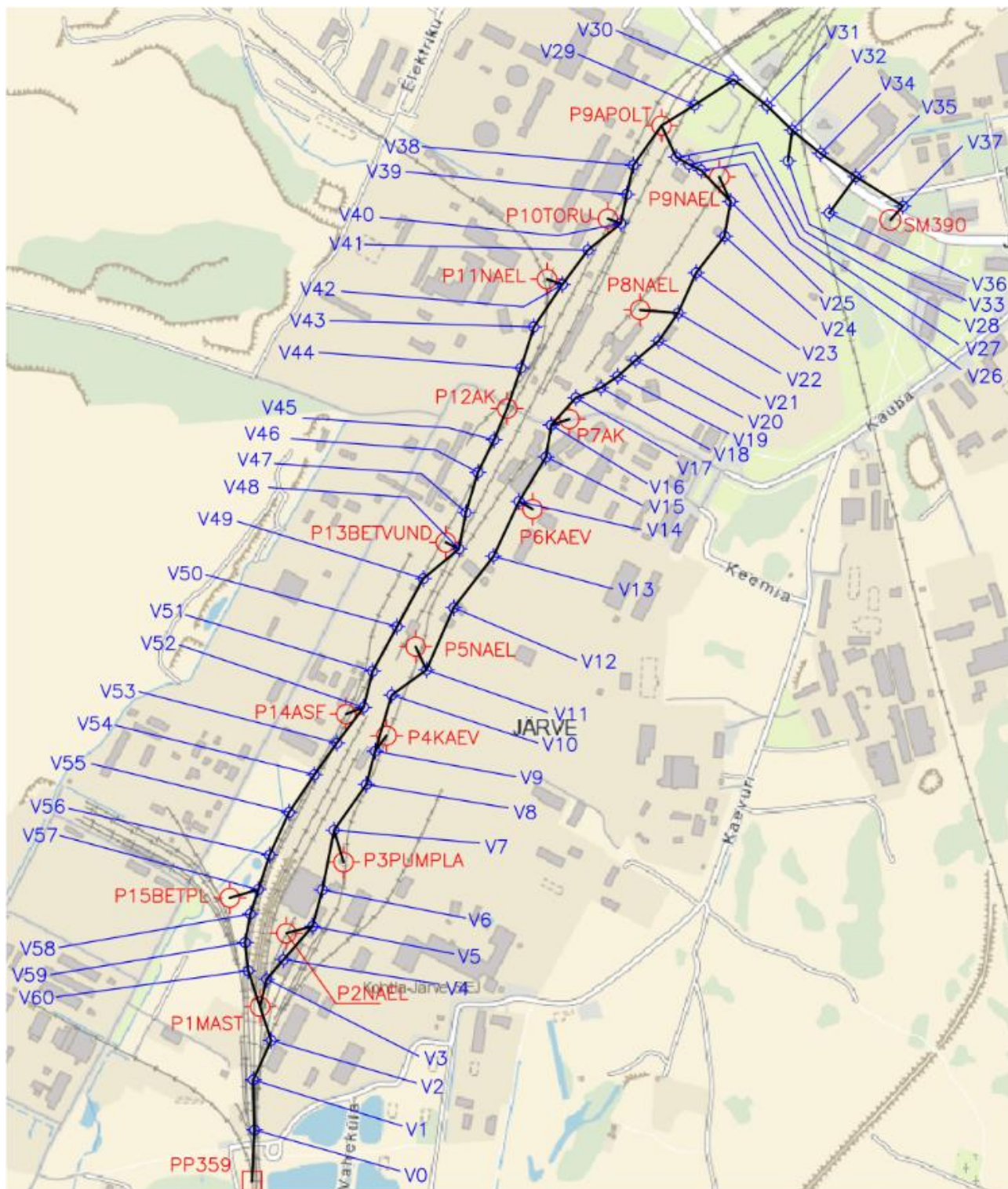
P12AK, P13BETVUND, P14ASF, P15BETPL, mida ühendasid taaskord looduses kindlustamata vahepunktid. Vahepunkte on nivelleerimisvõrgu skeemil (Joonis 7) ning nivelleerimistabelites tähistatud V0, V1, V2 jne.

Tekkinud polügooni kõrguslikuks sidumiseks kasutati põhjapoolse värava lähedal seinamärki SM390 (nivelleeriti eraldi käigulõik punktist P9APOLT seinamärgini SM390) ning lõunapoolse (Vaheküla) värava pool seoti eelnevalt nivelleeritud polügoon polügonomeetriapunktiga PP359 (käiguga liiguti vastavalt PP359...P1MAST). Sellise nivelleerimise käigus tekkis käiguosadest sisuliselt nivelleerimisvõrk kahe sõlmpunktiga: P1MAST ning P9APOLT.

Nivelleerimisvõrgu skeemil (Joonis 7) on kõik tähistatud musta paksema joonega. Sinise värviga on kujutatud kõik vahepunktidega seotu: leppemärgid, punktide nimed ning viitjooned (joonise selguse huvides on kõik vahepunktide nimed toodud käigujoonest eemale ning ühendatud õigete asukohtadega siniste viitjoonte abil). Punast värvi on kasutatud leitavate alusvõrgu punktide ning olemasolevate kindelpunktide leppemärkide ning nimede tähistamiseks.

Nivelleerimisvõrgu skeemi koostamisel on AutoCAD-i joonisele aluseks võetud Maa-ameti geoportaali kaardirakenduse väljavõte, täpsemalt on kasutatud geodeetiliste punktide andmebaasi kaarti.

Välitööl saadud mõõteandmed ning arvutustulemused on kantud tabelitesse, millega saab tutvuda töö lisade jaotuses (Lisa 2, Lisa 3).



Joonis 7. Nivelleerimisvõrgu skeem [15]

3.2.4. Alusvõrgu koordineerimine

Rajatud alusvõrgu plaaniliseks koordineerimiseks kasutati Topcon FC-250 väliarvutit koos Topcon HiPer+ GNSS-vastuvõtjaga. Instrument kasutab firma Hades-Invest OÜ GNSS-püsijaamade võrku, mis võimaldab reaalajas saada parandusandmeid. Mõõdistamiseks asetati vastuvõtja statiivile ning tsentreeriti eelnevalt kindlustatud punktile (Foto 5). Mõõdistati reaalaja-, täpsemalt RTN-meetodil, seistes igal punktil 5 minutit. See võimaldas saavutada piisava täpsuse lähteülesandega ette nähtud nõuete täitmiseks, mistõttu ei peetud otstarbekaks kasutada staatilist meetodit.

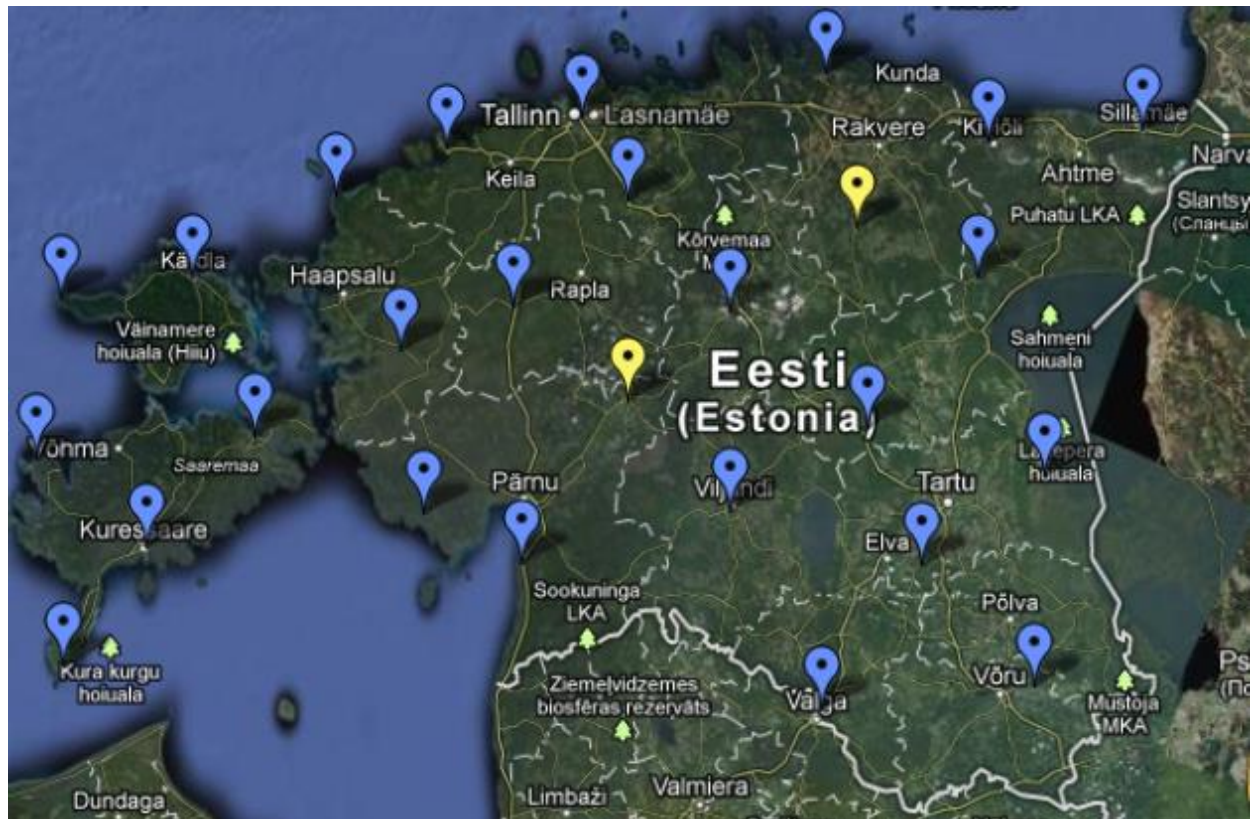
Lühend RTN tuleneb inglisekeelsest nimest *Real-Time Network*. Sarnaselt RTK-meetodile (ingl *Real-Time Kinematic*) kasutatakse ka RTN-i puhul reaalajas saadud parandeid mõõtmistäpsuse suurendamiseks. Kahe meetodi erinevus seisneb selles, et RTK puhul saadakse reaalaja parandid püstitatud füüsilisest baasjaamast, RTN-i puhul luuakse selleks otstarbeks mõõdistuskoha lähedusse n-ö virtuaalne referentsjaam. [19]



Foto 5. Punkti koordineerimine RTN-meetodil (autori foto)

Püsivad referentsjaamad saadavad pidevalt andmeid serverisse. Serveris toimub andmete töötlemine ning parandite arvutamine. Parandeid edastatakse kasutajatele pidevalt reaalajas kas Interneti, raadio- või telefoniühenduse vahendusel. [19]

Antud juhul kasutatud Hades-Invest OÜ GNSS-püsijaamade võrk Hadnet katab pea terve Eesti territooriumi. 2013. aasta aprilli seisuga oli võrgus kokku 28 püsijaama, neist 25 Eestis ja 3 Lätis. Alloleval pildil (Joonis 8) on kujutatud Hadnet püsijaamade asukohad Eestis. [20]



Joonis 8. Hadnet püsijaamade asukohad Eestis seisuga 16. aprill 2013 [21]

3.2.5. Nivelleerimisvõrgu tasandamine

Nivelleerimisvõrk tasandati kahes jaos. Esimesena tasandati lõik polügonomeetriapunktist PP359 seinamärgini SM390, mille käigus leiti kõrgused kindlustatud punktidele P1MAST, P2NAEL, P3PUMPLA, P4KAEV, P5NAEL, P6KAEV, P7AK, P8NAEL, P9NAEL ja P9APOLT ning nende vahel asunud kindlustamata punktidele (punktide asetust vaata jooniselt 7 ja nivelleerimisandmeid lisast 2). Selle lõigu peale tuli sidumatus +4,70 mm, mis jagati võrdselt kõigi tasandatavate kõrguskasvude (kokku 39) vahel, saades igäühele parandiks -0,12 mm.

Teisena, kasutades uuesti eelnevalt juba leitud kõrguskasve põhjapoolses otsas punktide SM390 ja P9APOLT vahel ning lõuna pool PP359 ja P1MAST vahel, moodustati tasandamiseks teine käik, mis kulges seinamärgist SM390 läbi punktide P9APOLT, P10TORU, P11NAEL, P12AK, P13BETVUND, P14ASF, P15BETPL ning P1MAST polügonomeetriapunkti PP359 (vt joonist 7 ja lisa 3). Siin saadi sidumatuseks -7,70 mm. Kuna koos vahepunktidega oli tasandatavaid kõrguskasve 35, saadi iga üksiku kõrguskasvu parandiks +0,22 mm.

Antud juhul selline tasandus ka tänu väikestele sidumatustele toimis – kuna parandid jäid kummaski käiguosas alla millimeetri, ei tekkinud ka suuri erinevusi sõlmpunktide tasandatud kõrgustes. Esimeses käigus, st PP359...SM390 saadi sõlmpunktidele järgmised väärtused:

- P1MAST 53,084 m
- P9APOLT 58,144 m

Teistpidises käigus SM390...PP359 olid väärtused vastavalt järgmised:

- P1MAST 53,083 m
- P9APOLT 58,145 m

Seega tulid erinevused kummagi sõlmpunkti korral 1 mm. Edasistes mõõtmistes kasutati esimeses tasanduspooles saadud tulemusi.

Kui aga sidumatus oleks tulnud suurem, ei oleks selline lähenemine andnud kahes käigupooles omavahel kokkusobivaid tulemusi ning tegelikult oleks tulnud tasandada lähtuvalt sõlmpunktidest. Sõlmpunktide abil tasandamine sai hiljem võrdluseks ka läbi tehtud. Selleks kasutati arvutiprogrammi Starnet Micro Survey V8.

Nagu eeldada võib, siis antud olukorras programm väga erinevaid tulemusi ei andnud. Järgmisel lehel (Tabel 7) on toodud ära lihtsustatult arvutatud kõrgused (veerus „Esialgseid“), programmi Starnet Micro Survey V8 abil tasandatud kõrgused (veerus „Starnet“) ning nende kahe suuruse vahe. Punktide loetelus V0, V1, V2 jne on vahepunktid.

Vastavalt MKM määrusele on kõrguslikule mõõdistamisvõrgule sätestatud järgnev täpsuslik nõue: nivelleerimiskäikude ja suletud polügoonide lubatav sulgemisviga f_{hlub} [mm] arvutatakse valemiga (1) [16]:

$$f_{hlub} = \pm 50\sqrt{L}, \quad (1)$$

kus L – käigu pikkus km.

Joonobjektidel leitakse lubatav sulgemisviga $f_{h\text{lub}}$ [mm] aga valemiga (2) [16]:

$$f_{h\text{lub}} = \pm 30\sqrt{L} . \quad (2)$$

Tabel 7

Erinevate tasandusmeetoditega saadud nivelleerimistulemuste erinevused (m)

Punkt	Esialgne	Starnet	Vahe	Punkt	Esialgne	Starnet	Vahe
SM390	60,94	60,94	0	V16	55,686	55,6863	-0,0003
PP359	51,345	51,345	0	V17	56,2651	56,2654	-0,0003
V0	52,388	52,3879	0,0001	V18	55,6968	55,6973	-0,0005
V1	51,7223	51,722	0,0003	V19	56,8539	56,8544	-0,0005
V2	51,5489	51,5485	0,0004	V20	58,1846	58,1852	-0,0006
P1MAST	53,0838	53,0833	0,0005	V21	59,4788	59,4794	-0,0006
V3	51,5561	51,5556	0,0005	P8NAEL	60,2154	60,216	-0,0006
V4	51,2376	51,2372	0,0004	V22	60,1819	60,1825	-0,0006
P2NAEL	51,3981	51,3977	0,0004	V23	59,7044	59,7052	-0,0008
V5	51,4741	51,4737	0,0004	V24	59,5353	59,536	-0,0007
V6	51,9063	51,906	0,0003	P9NAEL	59,4201	59,4208	-0,0007
P3PUMPLA	52,811	52,8107	0,0003	V25	58,868	58,8689	-0,0009
V7	52,2586	52,2584	0,0002	V26	57,6344	57,6353	-0,0009
V8	52,8792	52,8791	0,0001	V27	57,991	57,992	-0,001
P4KAEV	53,4565	53,4564	0,0001	V28	58,5876	58,5886	-0,001
V9	53,715	53,7149	0,0001	P9APOLT	58,1442	58,1453	-0,0011
V10	54,1919	54,1918	0,0001	V29	58,8791	58,88	-0,0009
P5NAEL	53,8655	53,8654	0,0001	V30	59,4077	59,4085	-0,0008
V11	54,5156	54,5156	0	V31	59,4634	59,4642	-0,0008
V12	54,8049	54,8049	0	V32	59,4686	59,4693	-0,0007
V13	54,9607	54,9608	-0,0001	V33	60,0906	60,0911	-0,0005
P6KAEV	54,9331	54,9332	-0,0001	V34	60,4296	60,43	-0,0004
V14	55,0437	55,0439	-0,0002	V35	60,4864	60,4868	-0,0004
V15	55,1148	55,115	-0,0002	V36	60,6091	60,6094	-0,0003
P7AK	55,5704	55,5706	-0,0002	V37	60,2951	60,2953	-0,0002

Punkt	Esialgne	Starnet	Vahe	Punkt	Esialgne	Starnet	Vahe
V38	57,7546	57,7549	-0,0003	V48	53,8204	53,8204	0
V39	57,2711	57,2713	-0,0002	V49	53,7319	53,7318	0,0001
P10TORU	57,0304	57,0306	-0,0003	V50	53,3436	53,3435	0,0001
V40	56,8401	56,8403	-0,0002	V51	53,0975	53,0974	0,0001
V41	56,0641	56,0643	-0,0002	P14ASF	52,8906	52,8905	0,0001
P11NAEL	55,2525	55,2527	-0,0002	V52	52,0309	52,0308	0,0001
V42	55,5174	55,5175	-0,0001	V53	51,9179	51,9177	0,0002
V43	55,2339	55,234	-0,0001	V54	51,6507	51,6505	0,0002
V44	54,7753	54,7753	-0,0001	V55	51,5859	51,5857	0,0002
P12AK	54,9874	54,9875	-0,0001	V56	50,3495	50,3493	0,0002
V45	54,1527	54,1528	-0,0001	P15BETPL	50,667	50,6667	0,0003
V46	54,0661	54,0661	0	V57	51,4624	51,4622	0,0002
V47	54,1338	54,1338	0	V58	51,6779	51,6775	0,0004
P13BETVUND	54,7998	54,7998	0	V59	52,4179	52,4176	0,0003

Esimese käigupoolle pikkus oli umbes 2,52 km, teise pikkus umbes 2,41 km. Kasutades valemit (2) joonobjektide kohta, saame esimeses käigupooles lubatud sulgemisveaks 48 mm ning teises pooles 47 mm. Seega vastab rajatud käik antud nõuetele, kuna reaalsed sulgemisvead olid vastavalt 4,7 mm ning 7,7 mm. Suletud polügoonis saadi sidumatuseks 3,0 mm.

3.2.6. Tulemuste koondtabel

Alljärgnevas tabelis (Tabel 8) on välja toodud eelnevalt kirjeldatud mõõdistusmeetodite (satelliitpositsioneerimine ja nivelleerimine) kasutamisel saadud koordinaadid ja kõrgused looduses tähistatud punktidele. Tabelisse on kantud kõrgused, mis saadi esialgsel tasandamisel ning mida hiljem kasutati territooriumi mõõdistamiseks.

Tabel 8

Alusvõrgu koordinaadid L-Est97 süsteemis ja kõrgused BK77 süsteemis (m)

Punkti nimi	X	Y	h
P1MAST	6 587 147,838	683 601,639	53,084
P2NAEL	6 587 262,505	683 642,814	51,398
P3PUMPLA	6 587 373,068	683 731,976	52,810

Punkti nimi	X	Y	h
P4KAEV	6 587 570,406	683 798,964	53,457
P5NAEL	6 587 709,288	683 844,311	53,866
P6KAEV	6 587 923,515	684 026,715	54,933
P7AK	6 588 063,915	684 084,137	55,570
P8NAEL	6 588 234,177	684 194,268	60,215
P9NAEL	6 588 441,521	684 318,023	59,420
P9APOLT	6 588 521,413	684 227,779	58,144
P10TORU	6 588 376,333	684 144,173	57,030
P11NAEL	6 588 282,118	684 049,306	55,253
P12AK	6 588 080,355	683 987,117	54,987
P13BETVUND	6 587 871,770	683 891,457	54,800
P14ASF	6 587 604,142	683 735,889	52,890
P15BETPL	6 587 317,622	683 554,550	50,667

3.2.7. Hinnang

Nivelleerimisel saadi väga head tulemused. GNSS-seadmetega koordineerimisel kontrollivõimalus täpsuse osas puudub, kuid edasise mõõdistuse käigus ei ilmnunud orienteerimisel kordagi suuri vigu, mis näitaksid koordineeritud alusvõrgupunktide ebatäpsust. Vead jäid kõigil juhtudel alla sentimeetri ning enamikul juhtudest ligi poole sentimeetri ulatusse. Ka ei ilmnunud ebakõlasid piiripealsetes seisupunktides, kus orienteerimisel nurgalis-joonelise lõike meetodil kasutati ühe punktina polügonomeetriapunkti ning teise punktina GNSS-meetodil rajatud alusvõrgu punkti.

Sellele tuginedes võib väita, et võrgu rajamine täitis oma eesmärgi.

3.3. Üksikpunktide koordineerimine GNSS-meetodil

Lisaks eelkirjeldatud kindelpunktide loomise viisidele koordineeriti vajadusel ka üksikpunkte GNSS-meetodil. Koordineerimine toimus analoogiliselt peatükis 3.2 kirjeldatule. Küll aga tuli erinevus sisse mõõdistamisel. Nimelt neid üksikpunkte ei nivelleeritud, mistõttu nende kõrgusväärtus ei olnud usaldusväärne ega kasutatav. Üksikpunkte kasutati aga orienteerimisel alati koos mõne polügonomeetriapunktiga ning see võimaldas kõrgust arvestada polügonomeetriapunkti järgi.

Punktid kindlustati vastavalt vajadusele ja võimalustele kas värviga (veekindel marker vms), asfaldinaelaga või metalltoruga. Värviga tähistamisel tehti märk mõne kohtkindla eseme peale, nt betoonplaadile, raudteeliiprile või muule sobivale kohale. Rohkem üritati kasutada aga asfaldinaelu ja metalltorusid kui püsivama loomuga kindlustamisviise.

4. RAUDTEE MÕÕDISTAMINE

Raudteede mõõdistamiseks võib olla mitmeid põhjusi. See, mida soovitakse mõõdistamistulemuste põhjal teha, määrab ära, milliseid andmeid on vaja mõõdistamise käigus koguda ning see omakorda seab kriteeriumid kasutatavale tehnikale ja meetodile.

Raudteede mõõdistamist võidakse tellida mõne raudtee lähedal asuva objekti topograafilise mõõdistamise osana, uue raudteeosa projekteerimiseks, olemasoleva raudtee renoveerimiseks või selle seisukorra hindamiseks, teede ülesõitude projekteerimiseks, tehnovõrkude ning rajatiste projekteerimiseks raudtee vahetusse lähedusse jms.

Tänapäeval kasutatakse raudteede mõõdistamiseks erinevaid meetodeid ning instrumente. Traditsioonilise tahhümeetrilise mõõdistamise kõrval on levinud ka laserskaneerimine, mida saab võimaluse ja vajaduse korral kombineerida spetsiaalse raudteede mõõdistamise tehnikaga. [22]

Üheks mõõdistamistulemuseks võib olla tavaline topograafiline maa-ala plaan. Seejuures määrab tellija, millises mõõtkavas plaani soovitakse. Eestis on erinevate mõõtkavadega plaanidele seatud ka erinevad mõõdistamise ja joonestamise nõuded. Näiteks annab MKM määruse „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ lisa 1 punkt 3.3 (rööbasteed) ette, et mõõtkavade M 1:500 ja 1:1000 puhul joonestatakse raudtee plaanil välja mõõtkavalise objektina õige laiusega. Samas kui mõõtkavas M 1:2000 kumbagi rööbast eraldi ei kujutata, vaid joonestatakse ainult raudtee telg. Lisaks sellele esineb erinevusi ka plaanil kujutatavates raudtee elementides. Eelmainitud määruse lisa 1 sama punkt sätestab, et mastfoorid kantakse joonisele kõigis mõõtkavades, kuid kääbusfoore mõõtkava M 1:2000 korral ei kujutata, sarnaselt kujutatakse plaanil kõigis mõõtkavades vastava leppemärgiga näiteks tsentraliseeritud pöörde asukoht rööpal, kuid tsentraliseeritud pöörme ajamit M 1:2000 mõõtkavas plaanil ei näidata. Analoogilisi näiteid on veel: kaablikarpide, gabariitväravate, isoleerlukkude, maanduse, signaalmärkide ning ballastprismaga raudtee lõpu korral. Ka raudteed ümbritseva situatsiooni mõõdistamisel kehtivad sarnased ettekirjutused, mis on välja toodud kõnealuses määruses teiste alajaotuste all. [23]

Lõppkokkuvõttes on aga taaskord otsustav sõna töö tellijal. Teatud juhtudel tuleb töös juhendada lisaks MKM määrusele ka tellijapoolsetest erinõuetest. Vastavalt sellele, mille jaoks tellitavat tööd hiljem vaja läheb, võib tellija lisada nõudeid või mittevajalikke punkte välja jätta, et optimeerida aja- ning ressursikulu ning vältida mittevajalikku infot (antud kontekstis müra) valmivatel joonistel ja dokumentides. Nii on oma spetsiifilised ettekirjutused teiste seas näiteks Maanteeametil ja Eesti Raudteel.

Sageli tellitakse harilikule topograafilisele plaanile lisaks ka teisi jooniseid ja dokumente. Näiteks võib raudteede puhul osutada vajalikuks ka rööbaste pikiprofiilide või teatud kohtade põikprofiilide koostamine, ringikaarte, siirdekõverate ning sirgete raudteelõikude määramine, kurvide raadiuste, siirdekõverate atribuutide jt andmete leidmine. Ka sellised ülesanded ja nõuded määratletakse tellijapoolses lähteülesandes või hankedokumentides.

Raudtee pasportiseerimine on töö, millega Eestis tänapäeval selle nime all enam väga palju kokku ei puutu, nimi pärineb Nõukogude Liidu ajast ning venekeelsest sõnast „*паспортизация*“. Küll aga võib pasportiseerimist leida pakutavate teenuste loetelust mitmete Venemaa geodeesiaettevõtete kodulehtedelt.

Kui näiteks Venemaal on vastavate seadustega ette nähtud, et raudteeohutuse tagamiseks peavad kõik raudteeomanikud (sh eraettevõtted) kindlustama, et kõigil nende raudteedel oleks kehtiv tehniline pass (vene keeles *технический паспорт*), siis Eestis on tehniline pass on nõutav avalikel raudteedel ning avalike raudteedega otseselt või teiste teede kaudu seotud raudteedel. [24], [25]

Tehnilises passis tuuakse välja raudtee tehnilised näitajad, relsside, liiprite, ballasti, muldkeha, rajatiste, kaalumisseadmete, laadimis- ja puhastus mehhanismide, vagunita pesemismehhanismide, manööverdamisseadmete ning vintside jms seisukord, samuti signalisatsiooni-, pöörangute ja signaalide tsentralisatsiooni-, blokeeringu- ja sideseadmed, mida kasutatakse rongiliikluse ning manööverdamise haldamiseks. Passi koostamine kuulub vastavate raudteespetsialistide vastutusalasse. [24], [26]

Tehnilist passi ning muid dokumente raudtee teemajanduse rajatiste ja seadmete kohta, sh rööbasteede pikiprofiilide ja jaamade nii skemaatilisi kui mõõtkavalisi plaane ning raudtee asukohta kujutavat kaardimaterjali läheb Eestis tarvis eelkõige raudtee registreerimisel. Avalikuks kasutamiseks mõeldud või nendega seotud raudteed tuleb kanda enne nende kasutusse võtmist riiklikusse raudteeliiklusregistrisse. Registrit haldab Tehnilise Järelevalve Amet. [25]

Eestis reguleerivad raudteedega seonduvat raudteeseadus ning selle juurde kuuluvad eeskirjad ja määrused. Neile lisanduvad ettevõtete endi juhendid ja normid.

Raudteede korrashoidu, ohutust jms käsitleb põhjalikumalt teede- ja sideministri poolt kinnitatud „Raudtee tehnokasutuseeskiri“, selle täitmise üle teostab riiklikku järelvalvet Tehnilise Järelevalve Amet. Raudtee tehnokasutuseeskirja 2. peatükk (raudtee ehitised ja seadmed) toob välja järgnevad punktid, mis puudutavad ka antud töös käsitletud kontrollmõõdistamise tagamaid:

- ehitised ja seadmed peavad vastama ehitusprojektidele ja tehnilistele tingimustele ning neil peavad olema tehnilised passid, kusjuures ehitiste ja seadmete liigituse, nende hoiu eeskirjad ja tehnilised normid kehtestab raudtee valdaja;
- rööbastee peab vastama ehitusprojektis ettenähtud plaanile ja profiilile;
- raudteede eksploatatsiooni käigus tuleb teede plaani ja pikiprofiili perioodiliselt geodeetiliselt kontrollida, lisaks sellele peab valdaja kontrollima ehitiste ja seadmete vastavust nõuetele, korraldama vastava tehnilise dokumentatsiooni valmistamise ning jaamade mõõtkavaliste ja skemaatiliste plaanide koostamise;
- sorteerimismägede ja mäealuste teede ning väljatõmbeteede pikiprofiile kontrollitakse vastavalt vajadusele, kuid mitte harvemini kui üks kord viie aasta jooksul, kõikide teiste teede pikiprofiili kontrollitakse vähemalt üks kord kümne aasta jooksul; kontrolli tulemuste põhjal määrab raudtee valdaja kindlaks profiiliparandamise tähtaja;
- kui tehakse ehitustöid, mis muudavad tee plaani või profiili, siis kontrollivad ehitustööde tegijad pärast töö lõpetamist tee plaani ja pikiprofiili ning esitavad raudtee valdajale dokumentatsiooni muutuste kohta. [27]

Pasportiseerimise käigus valmivad raudteest ja selle vahetust ümbrusest topograafiline plaan, kus erilist tähelepanu pööratakse raudtee elementidele ja rööbastele, ning rööbaste pikiprofiilid. Nii profiilidele kui ka plaanile kantakse piketaaž. Alati ei nõua tellija pikiprofiilide koostamist kõigile raudteeharudele – on üpris tavapärane, et profiile soovitakse vaid peateedele või vaid teatud osale teedest.

Sisuliselt võib pasportiseerimist võrrelda teostusmõõdistamisega ehituses. Erinevus seisneb selles, et igale pasportiseerimisele ei pea tingimata eelnema ehitustööd. Pasportiseerimise abil hallatakse raudteed, dokumenteeritakse uusi või rekonstrueeritud raudteeosi, hinnatakse raudtee seisukorda, korrigeeritakse rongide kiirusepiiranguid, vajadusel märgitakse uuesti loodusesse maha piketaažimärgid kilomeetri- ja piketipostide jaoks jne. Suheldes VKG transpordiosakonna spetsialistiga sai selgeks, et pasportiseerimise mõõdistustulemusi kasutatakse muuhulgas:

- raudteede, pöörangute, ülesõitute ja rajatiste tehniliste passide koostamiseks;
- mittegabariitsete kohtade ja kehva profiiliga teede olemasolu kohta andmete fikseerimiseks;
- teede profiiliparandustööde planeerimiseks;
- jaamade teede kasulikust pikkusest tulenevalt nende mahutavuse määramiseks;
- vagunite rööbastele fikseerimise korra määramiseks;
- juhendmaterjalide väljatöötamisel tehnokasutuseeskirja, signalisatsioonijuhendi ning rongiliikluse ja manöövritöö juhendi kohta;
- teenindusjärjekorra ja liikluse organiseerimise juhendi koostamisel.

Üldjuhul määratleb tellija lähteülesandes muuhulgas ka täpsusnõuded mõõdistamisele. Antud pasportiseerimise puhul oli ainsaks orientiiriks mõõtmistäpsuse osas tellija soov saada topograafiline maa-ala plaan mõõtkavas M 1:1000. Eestis ei ole olemas kehtivat määrust vm üldkehtivat seadusandlikku dokumenti, millest pasportiseerimisel mõõtmistäpsuse või -metoodika osas juhendada. Seetõttu lähtutakse uute tööde tegemisel tavaliselt kogemusest ja varasematest töödest ning vajadusel konsulteeritakse esilekerkinud küsimustes tellijaga. Antud juhul võeti töö tegemisel aluseks M. Lembergi poolt 1988. aastal VKG-le tehtud samasisuline töö numbriga 4238X ja AS Eesti Põlevkivi markšeiderite poolt AS-ile Põlevkivi Raudtee 2003. aastal tehtud töö nr 39-20.

4.1. Ettevalmistus

Tööde ettevalmistuse hulka kuulusid objekti ning selle materjalidega tutvumine arvutis, töö käigu kavandamine ning selle põhjal vajaminevate geodeetiliste instrumentide väljaajamine. Kuna mõõdistatav ala oli väga suur, siis eelnes sarnane tegevuste käik pea igale objektile sõitmisele.

Suuremat planeerimist nõudis alusvõrgu rajamine VKG territooriumile. Läbi tuli töötada rajatavate kindelpunktide soovitud asukohad ning kooskõlastada töö teostamise aeg brigaadide vahel, sest seda osa tööst tehti ühiselt kõigi töötajatega.

4.1.1. Tööohutusalane instruktaaz

Kuna töötamine raudteedel ning nende vahetus läheduses on ohtlik, tuli projekti kaasatud töötajatel enne reaalselt mõõdistama asumist läbida tööohutusalane instruktaaz. See eeldas VKG peakontoris kohalesõitu ning tööohutuse juhenditega põhjalikult tutvumist. Juhendeid oli mitu, kuid peamised punktid olid läbivad neis kõigis.

Olulisemad punktid ohutusnõuetest, mis ka otseselt raudteel töötavaid geodeete puudutasid, olid järgnevad:

- raudteel ja selle läheduses peab töötaja kandma oranži helkurvesti;
- igapäevaselt tuleb enne mõõdistamise alustamist teavitada transpordiosakonda oma umbkaudsest töötamise kohast raudteel;
- tuleb olla tähelepanelik ning jälgida ümbruses toimuvat, sh hoida silm peal fooritulede muutustel;
- esemete jätmine raudteele on keelatud;
- rööbastel, liipritel ja ballastil on keelatud istuda;
- keelatud on viibida seisvate vagunite all või ronida üle vagunite ühenduste;
- keelatud on minna kahe ühel rajal seisva vaguni vahelt läbi, kui nende vahekaugus on vähem kui 10 meetrit;
- keelatud on töötada rööbastel suitsu või tugeva auru sees;
- rööbastel on keelatud seista lähemal kui 5 meetrit vedurile või lähimale vagunile, kuna need võivad ootamatult liikuma hakata.

Lisaks eelmainitud punktidele oli nõuete all lahti kirjutatud, kui lähedal tohib üldjuhul viibida raudteele, kuidas toimida, kui raudteel on juhtunud õnnetus jne. Aga oli ka üldisemaid nõudeid VKG territooriumil töötamise kohta, näiteks:

- VKG territooriumil on lubatud autoga sõita kiirusega kuni 20 km/h;
- lähenedes autoga teel töötajaile, tuleb neile sõiduki lähenemisest signaali kasutades märku anda, kuna müra on territooriumil enamasti väga vali ning töötajad ei pruugi muidu lähenevat autot märgata;
- territooriumile tohib siseneda vaid peaväravast, kui ei ole vormistatud eraldi lube teiste väravate (nt raudteeväravate) kasutamiseks;
- vaid juht võib siseneda territooriumile autoga – kaassõitja peab minema läbi väravahoone ning registreerima sisenemise ja väljumise magnetkaardiga jalgväravas;
- kõik autos olevad esemed tuleb väravas deklareerida nii valdusele sisenedes kui sealt väljudes.

4.2. Mõõdistamisprotsess objektil

Töösse kaasatud kolmest töötajast üks töötas üksi ning ülejäänud kaks brigaadina. Kuna mõõdistusala oli jagatud kaheks, siis töötati kummagi ala peal eraldiseisvalt ning vajadust tööd koordineerida palju ei esinenud.

Brigaadis toimus töö ligi nädalaste tsüklitena: 3-5 päeva mõõdistati objektil ning seejärel 1-2 päeva vormistati kontoris kogutud andmetest joonist. Tööpäevad objektil olid tihti pikemad kui kaheksa tundi, vahel isegi kaksteist, kuna maksimaalselt tuli ära kasutada valget aega ja hetki, mil rööpad vabad olid.

Mõõdistatav ala oli suur ning laialivalgus, mitmete haru- ja paralleelteedega, mis tähendab, et ei olnud võimalik liikuda sujuvalt ja järjest teatud algpunktist lõpp-punkti. Sageli ei olnud objektil võimalik kinni pidada ettevalmistatud plaanist mõõdistusala valiku kohta – sõltuvalt rongiliiklusest tuli palju ette “jooksvalt” plaanide muutmist ja mõõdistuskoha vahetusi. Korduvalt juhtus, et mõõdistamise ajal sõitis teesale ette pikk vagunite kolonn, mis jäi paigale mitmeks tunniks. Kui kuskil vabanes teeosa, mis oli olnud pikalt vagunitega kaetud, tuli kiirelt sinna liikuda teeosa maksimaalselt ära mõõdistada enne, kui uued vagunid peale toodi. Töö lõppfaasis, kui enamik alast oli mõõdistatud, ent mõned raudteeharud olid pidevalt vagunite all kinni, tuli hakata VKG transpordiosakonnaga tegevusi kooskõlastama. Nii vabastati veel mõõdistamata raudteeharud kokkulepitud ajal vagunitest vaid mõõdistamise ajaks, misjärel asetati vagunid kohe oma endisele kohale tagasi.

Üldjoontes üritati siiski järgida põhimõtet, et üks rööpapaar mõõdetakse ära pöörangust pööranguni täies ulatuses koos selle juurde kuuluvate raudtee-elementidega, et vältida segadusi ning olukordi, kus midagi n-ö kahe silma vahele jääb.

Võimalusel mõõdistati kontrolli eesmärgil üle rööpapunktid, kus eelmisel mõõdistuskorral või seisus mõõtmise pooleli jäi. See võimaldab avastada jämedaid vigu, mis võivad tekkida näiteks orienteerimise käigus.

Situatsioon tuli mõõdistada mõõtkavale M 1:1000 vastava täpsusega, kuid mõnevõrra üldistatult ning vaid paari meetri kauguseni rööpast või raudteerajatisest. Maa-ala plaan on sisuliselt antud töö juures oluline vaid sel määral, et oleks võimalik tuvastada plaanile vaadates, millise raudteekohaga on tegemist.

Situatsiooni mõõdistamisel tuli palju ette olukordi, kus ei olnud võimalik otse prismale mõõta mõne ettejääva takistuse või objekti eripära tõttu. Seega kasutati vajadusel nurgalise või kauguse nihke abil mõõtmist.

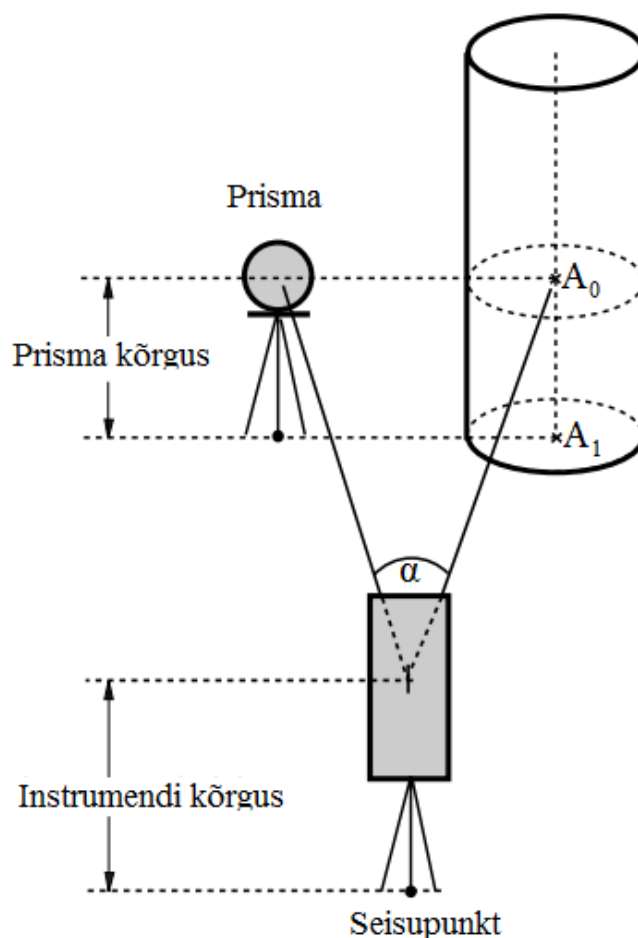
Nurgalise nihkega mõõtmisel (Joonis 9) asetatakse prisma nähtava koha peale mõõdistatavale objektile võimalikult lähedale, jälgides, et prisma asuks mõõdistatava objektiga instrumendi suhtes ühel joonel, st horisontaalkaugus instrumendist prisma oleks võrdne horisontaalkaugusega instrumendist objektini. Mõõtmine toimub kahes etapis: esimese sammuna suunatakse viseerimiskiir prismale ja mõõdetakse kaugus prisma ning teise sammuna fikseeritakse objektile suunates õige horisontaalnurk. Kui tahhümeetriga töötaja ei ole võimeline mõõdistatava objekti õiget suunda ise tuvastama, näitab prismaga töötaja talle õige suuna kätte.

Tehnilises mõttes toimub nurgalise nihkega mõõtmisel kõrgus- ja kaugusandmete salvestamine prisma asukoha järgi, misjärel instrument fikseerib horisontaalnurga muutuse (Joonis 9, nurk α) prisma asukoha ja objekti õige asukoha (joonisel A_1 või A_0) vahel ning kalkuleerib seisupunkti koordinaatide suhtes sihtpunkti koordinaadid. Sõltuvalt sellest, kas kõrgust soovitakse saada punktile A_0 (prisma kõrgusel) või maapinnapunktile A_1 , tuleb vastavalt arvestada prisma ja instrumendi kõrgusi: esimesel juhul tuleb mõõtmisel seadistada instrumendi õige kõrgus, kuid prisma kõrguseks sisestada null; teisel juhul tuleb seadistada nii prisma kui instrumendi õige kõrgus. [2]

Analoogiliselt eelkirjeldatule on võimalik nurgalise nihkega mõõta ka nt rajatiste, õhuliinide jms kõrgusi, kuhu prismaga osutama kas ei ulatu või ei ole see ohutu. Instrumendi seadetes tuleb sel juhul määrata, et pärast prismale mõõtmist arvestataks ka vertikaalnurga muutust. Mõõdistamine toimub samamoodi: esmalt tuleb mõõta prismale ning seejärel suunata viseerimiskiir objektile ja salvestada punkt. [2]

Kauguse nihkega mõõtmisel fikseeritakse esialgu prismapunkti koordinaadid, millele arvestatakse juurde sisse-välja-suunaline nihe instrumendi ja prisma vahelisel viseerimissuunal ja/või paremale-vasakule-suunaline nihe viseerimissuunaga ristuvalt.

Nurgalise nihke meetodil mõõdistati postid, millel tuleb teatavasti mõõdistada tsentri asukoht, hoonete ja rajatiste nurgad jms, mille puhul ei olnud võimalik prismat kohe õigesse kohta asetada. Ühtlasi kasutati seda ka raudteed ületavate õhuliinide, torude ja rajatiste kõrguste mõõtmiseks. Kauguse nihet kasutati mõõdistamisel vähem, kuid näiteks võsa alla ulatuva killustiku serva kujutamiseks.



Joonis 9. Nurgalise nihke meetodil punkti koordinaatide mõõtmine [2, pp. 4-7]

Mõõdistamisel kasutati koodisüsteemi, et lihtsustada hilisemat maa-ala plaani joonestamist.

4.2.1. Instrumendi orienteerimine

Peamiseks instrumendi orienteerimise meetodiks oli planeeritud n-ö vaba jaama meetod ehk nurgalis-jooneline vastulõige. Selle meetodi puhul seatakse elektrontahhümeeter statiivile soovitud seisupunkti ning mõõdetakse vähemalt kahele tuntud koordinaatide ja kõrgustega punktile nurgad ja kaugused. Nende andmete põhjal arvutab elektrontahhümeeter seisupunkti koordinaadid ja kõrguse. Kusjuures koordinaatide arvutamiseks on tarvis horisontaalnurki ning horisontaalkaugusi, viimased leitakse mõõdetud kaldkauguse ning vertikaalnurga kaudu. Kõrguse arvutamine toimub trigonomeetrilise nivelleerimise meetodil, kus kõrguskasv arvutatakse mõõdetud kaldkauguse ja vertikaalnurga kaudu.

Nurgalis-joonelise vastulõikega koordineeritud seisupunktidest sai vajadusel „edasi visatud“ kuni kaks rippuvat punkti, kui ei olnud võimalik või otstarbekas situatsiooni arvestades uut vastulõiget

teostada. Seejuures arvestati MKM määruse „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ paragrahvi 7 lõigete 10 ja 11 nõuetega, mis ütleavad, et rippuva teodoliitkäigu maksimaalne pikkus võib olla M 1:1000 plaani korral hajaasustuses 400 meetrit ning käigus võib olla jooni maksimaalselt kaks [6].

Teise orienteerimisviisina oli kasutusel meetod, mille puhul instrumendi seisupunktiks valitakse üks tuntud koordinaatidega kindelpunkt ning orienteerimine toimub teise kindelpunkti järgi. Sel juhul tsentreeritakse tahhümeeter seisupunktiks valitud kindelpunkti kohale, teist kindelpunkti kasutatakse suunapunktina. Instrument lahendab kindelpunktide koordinaatide põhjal vastuülesande, leides kindelpunktide vahelise suuna õige direktsiooninurga. Enne orienteerimist on instrument n-õ suvalises süsteemis ning tema x-telg ei ühti tõenäoliselt õige x-telje suunaga ja ka kindelpunktide vahelise suuna direktsiooninurk on samas ulatuses pööratud. Arvutatud õige direktsiooninurga ning selle direktsiooninurga suunale (suunapunktile) viseerimise abil orienteerib tahhümeeter oma x-telje õige x-telje suunda.

Selle meetodi kasutamisel tuleks kindlasti pärast orienteerimist kontrollida orienteerimise korrektsust, mõõtes üle mõne tuntud punkti (nt kasutatud suunapunkti) koordinaadid või vähemalt kauguse. Seda põhjusel, et orienteerimise käigus kasutab tahhümeeter suunapunkti vaid suuna arvestamiseks. Seetõttu ei paista orienteerimise käigus välja, kui suunapunktiks sisestatakse ühe punkti number, aga suunatakse ekslikult teisele.

4.2.2. Mõõdistatavad punktid ja elemendid raudteel

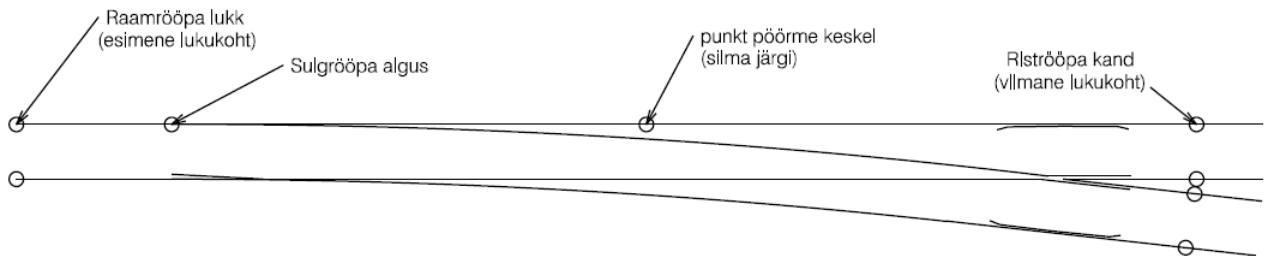
Nagu eelpool mainitud, kuulusid mõõdistatavate objektide alla raudteerelsid, -rajatised, -elemendid ning väikeses ulatuses nende ümber paiknev situatsioon: hooned, rajatised, teed, teekatted, kõlvikud, veekogud, reljeef ning tehnovõrgud. Tehnovõrkude plaanile kandmist sooviti käsitletavas töös ainult selles mahus, mis mõõdistatava ala sisse jäi ja silmaga tuvastatav oli – kaevude uurimist jms ei soovitud.

Mõõdistamisel juhinduti eelkõige MKM määruse „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ lisast 1.

Rööbast mõõdistades asetati prisma teravik visuaalselt rööpa pealispinna keskele ning prismale suunamine toimus teraviku järgi. Tavapäraselt mõõtkava M 1:1000 puhul raudteed nii väikese sammuga ei mõõdetata, kuid arvestades, et hiljem tuli rööbastele raadiused leida ja pikiprofiilid

koostada, mõõdeti rööbastel kõik liitekohad. Mõõtes rohkem punkte, joonistuvad kurvide kumerused paremini välja ning raadiused saavad õigemad.

Mõõdistatavate rööbapunktide alla kuulusid ka pöörangute iseloomulikud punktid (Joonis 10).



Joonis 10. Pöörme iseloomulikud punktid [28]

Mõõdistatavateks raudtee-elementideks olid kaablikarbid, tsentraliseeritud- ja käsipöörete asukohad, tsentraliseeritud pöörete ajamid, liiklusmärgid, mastsemaforid ja kääbusfoorid, ülesõidufoorid, tõkkepuud, erinevat liiki raudtee lõpud, isoleerlukud. Raudtee-elementidest tehtud fotodega on võimalik tutvuda töö lisade all (Lisa 1). Enamikul raudtee-elementidest mõõdistati tsentri asukoht (liiklusmärgid, foorid, kaablikarbid jms).

Mõnede raudtee-elementide puhul tuli plaanile kanda lisaks leppemärgile ka muu info. Sellised lisamärkused kirjutati välitööl jooksvalt välja märkmikusse koos selle punkti numbri ja koodiga, et need saaks tööd vormistades plaanile märkida. Numbri ja koodi koos kasutamine märkmete juures oli vajalik selleks, et mitte kirjutada infot joonises ekslikult vale punkti juurde: punktinumbrid kordusid pika mõõdistamisperioodi jooksul ning ainult numbri alusel oleks olnud punktide segi ajamine võrdlemisi kerge. Oluliseks ülesmärgitud lisainfoks olid näiteks semaforide, kääbusfooride ning elektritsentraliseeritud pöörangseadmete numbrid, semaforide ja kääbusfooride vaatesuunad, tõkkepuude avanemissuunad jms.

4.2.3. Ettetulnud probleemid

Mõõdistamisperiood oli küllaltki pikk ning selle aja jooksul puututi kokku erinevate probleemidega.

Suureks mureks oli mõõdistamise juures asjaolu, et juhendmaterjal pasportiseerimismõõdistuste jaoks praktiliselt puudub. Ka raudteede mõõdistamise kohta üldiselt väga palju materjali ei ole. Kui paljudes asjades on edukalt võimalik juhendada MKM määrusest, siis oli teemasid, mida määrus ei

kajasta. Siinkohal mängis olulist rolli aktiivne suhtlemine tellijaga ning ettevõtte varasemate raudteemöödistuste tellijapoolsete juhendmaterjalide eeskujuks võtmine.

Teise probleemina võib välja tuua asjaolu, et möödistamise ajal olid möödistatavad raudteelõigud aktiivselt kasutusel, st rööbastel toimus pidev rongiliiklus. See tingis rongide möödumisel maapinna kohati üpris tugevat vibratsiooni. Paljudes kohtades ei olnud aga võimalik asetada instrumenti raudteest nii kaugemale, et vibratsioon seda ei mõjutaks – territooriumist väljaspool oli palju raudteelõike, kus paari meetri kauguselt välimisest rööpas algas juba tihe võsa. Seega tuli sageli ette olukordi, kus pärast rongi möödumist tuli instrument uuesti loodida ja orienteerida või väga tiheda edasi-tagasi suunalise liikluse ja manööverdamise korral selles asukohas möödistamine katsetada ning võtta ette mõni teine raudteelõik.

Lisaks vibratsioonile tingis möödistuskoha vahetusi ka vagunite seismine raudteedel. Näiteks olid üpris tülikad olukorrad, mil parasjagu möödistatavale raudteelõigule jäi edasisõitmist ootama või paigutatigi sinna seisma pikk vagunitekolonn. Sellised olukorrad tekkisid n-ö üllatusena, möödistajaid rongide liikumise graafikust ei teavitatud.

Möödistamisel suvel ja sügise alguses esines ka päikesest ja temperatuuride erinevusest tingitud refraktsiooni. Lisaks sellele tuli suve lõpus ja sügisel päris palju ette möötmist lausvihma käes ning madalatel õhutemperatuuridel.

5. SISETÖÖD

Kameraaltööde hulka antud objektil kuulusid topograafilise maa-ala plaani joonestamine, kõvera elementide leidmine, pikiprofiilide koostamine kõigile mõõdistusala teedele ning viimasena teede, pöörangute, signaalide ja hoonete andmike vormistamine. Kõigist sisetööetappidest on käesoleva peatüki alapeatükkides lähemalt kirjutatud.

5.1. Topograafilise maa-ala plaani joonestamine

Välitööl kogutud mõõdistusandmete põhjal tuli esialgu joonestada topograafiline maa-ala plaan. Plaani joonestamine toimus suuresti paralleelselt mõõdistamistöödega – pärast iga mõõdistustükli joonestati ka vastav plaaniosa valmis, kuni situatsioon värskelt meeles oli.

Joonestamisel olid abiks ka mõõdistamise käigus keerulisematest situatsioonidest tehtud fotod ja visandid, samuti märkmikusse üles kirjutatud täpsustused punktide kohta.

Joonestamisel juhinduti MKM määruse nõuetest M 1:1000 mõõtkavas plaanile.

Plaani valmimise järel joonestati välja raudtee telg parempoolse rööpa järgi. Selleks kasutati *offset* käsku ning nihutamise vahekauguseks määrati pool standardse rööpavahe laiuusest. Raudtee telg jagati teede lõikes osadeks nii, et ühe tee raames oleks tegemist ühe joonega. Tee alguseks loeti pöörangu tsenter.

Edasine andmetöötlus (kõvera elementide leidmine, profiili elementide lisamine joonisele, pikiprofiilide koostamine) toimus tekitatud raudtee telje järgi.

5.2. Kõvera elementide arvutamine

Plaanil tuli fikseerida ringi- ja siirdekõverate algused ning lõpud ning leida kõverate parameetrid, raudteetrassi pöördenukad ja tangensid. Ringikõveral on otsitavaks parameetriks raadius, siirdekõvera näol on tegemist komplekssema objektiga, mistõttu on ka otsitavaid parameetreid rohkem (siirdekõvera lõpp-punkti raadius ning raadiuse muutumise kiirus). Visuaalselt on siirdekõverat ringikõverast üsna keeruline eristada.

Kõverate käsitlemisel ongi kõige raskemaks ülesandeks siirdekõvera olemasolu väljaselgitamine ning selle alg- ja lõpp-punkti määramine, seda eriti juhul, kui tegemist on lühikese siirdekõveraga. Siirdekõverate probleemi lahendamisel on abi projektdokumentatsioonist. Kui aga seda ei ole või ei saa seda mingil põhjusel kasutada, siis toimitakse kogu kõvera ulatuses analoogiliselt ringikõveraga. Siirdekõverate olemasolu tuleb sel juhul välja raadiuste leidmise käigus – kui kõvera otspunktide lähedal esineb raadiustes suuri anomaaliaid võrreldes keskmise raadiusega. Mõnevõrra võivad probleemi lahendamist lihtsustada raudteede projekteerimismid. Ringikaare raadiuse ja antud tee passijärgse suurima liikumiskiiruse põhjal on võimalik hinnata siirdekõvera olemasolu ja selle umbkaudset pikkust (Tabel 9). [29, p. 103]

Tabel 9

Siirdekõvera pikkus ringikõvera raadiuse ja passijärgse maksimaalse liikumiskiiruse põhjal [29, p. 104]

Ringikõvera raadius	Siirdekõvera pikkus (m) maksimaalsel kiirusel		
	üle 40 kuni 65	25-40	alla 25
2000-1500	20-00	0	0
1400-1000	40-20	20-00	0
900-700	60-40	20-00	0
600-400	80-60	20-20	0
350-200	80-60	40-20	20-00
200-180	-	60-40	20-00
150-100	-	80-60	40-20
80	-	80-60	60-40
60	-	-	60-40

Kitsastes tingimustes, tehaste territooriumidel või kaevandustesse suunduvatel teedel võivad aga siirdekõverad üldse puududa. Kuna sellistes kohtades ei kasutata ka suuri sõidukiirusi, siis ei ole siirdekõverate olemasolu esmase tähtsusega. [29, p. 103]

Pöördenurga tipu leidmiseks on lihtsaim viis pikendada joonisel kurvile eelnevat ja järgnevat sirget osa kurvi poole kuni joonte lõikumiseni (Joonis 11) [29, p. 103]. Nurk, mis moodustub trassi eelmise suuna pikenduse ja järgmise suuna vahele, on pöördenurk [30, p. 131].

Kui kurv koosneb kahe sirge vahel paiknevast ringikaarest, st siirdekõverad puuduvad, siis on kurvi raadius R [m] arvutatav valemist (3) [29, p. 105]:

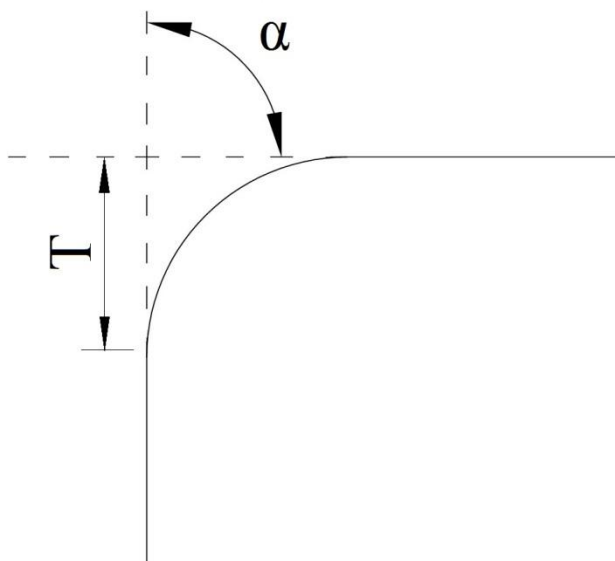
$$R = \frac{T}{\tan \frac{\alpha}{2}}, \quad (3)$$

kus T – tangensi pikkus m;

α – pöördenuk $^{\circ}$.

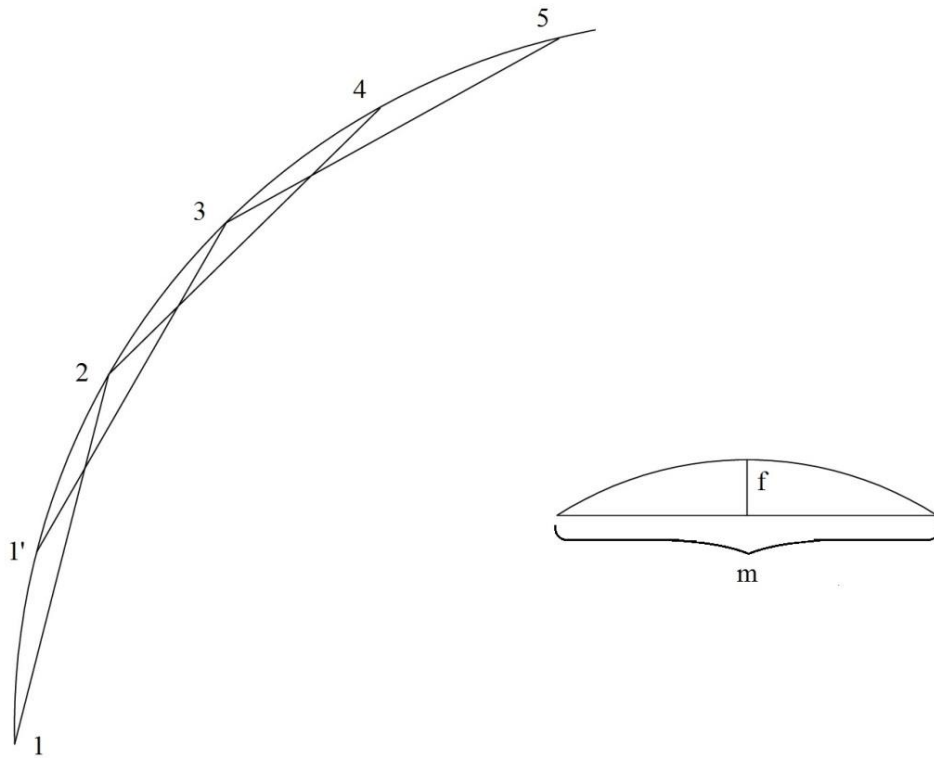
Kui raadius on teada, on vajadusel võimalik arvutada tangensi pikkus (T) samuti valemi (3) põhjal, avaldades sealt eelnevalt T .

Pöördenuka ja tangensi asukoht on ära näidatud järgneval joonisel (Joonis 11).



Joonis 11. Pöördenuk α ja tangens T

Samuti on kõvera raadiust võimalik määrata kõõlude meetodil välitööde käigus. Toimitakse alltoodud skeemi alusel (Joonis 12). Kõõlu (jõhv, pikkusega $m=20\ldots30$ m) üks ots asetatakse vastu rööpa siseserva näilises kõvera algpunktis (joonisel punkt 1), misjärel jõhv pingutatakse ning selle teine ots asetatakse samuti rööpa siseserva vastu (joonisel punkt 2). Jõhvi keskpunktis (joonisel punktis 1') mõõdetakse rööpa serva ja jõhvi vaheline kaugus f (paineordinaat). Sama korratakse jõhvi algpunkti järjest punktidesse 1', 2, ..., 5 edasi tõstes. [29, pp. 105-106]



Joonis 12. Kõõlude meetod [29, p. 106]

Raadiused R [m] leitakse kõõlude meetodi puhul valemist (4) [29, p. 106]:

$$R = \frac{m^2}{8f}, \quad (4)$$

kus m – kõõlu pikkus m;

f – sirglõigu pikkus kõõlu keskpunktist mõõdistuspunkte ühendava jooneni m.

Kui kummaski kõvera otstest esineb teistest raadiustest tunduvalt suuremaid raadiusi, on seal tõenäoliselt tegemist siirdekõvera(te)ga. Sellises olukorras jäetakse need kõõlud arvestusest välja ning leitakse keskmine raadiuse väärtus allesjäänud raadiuste aritmeetilise keskmisena. [29, p. 106]

Analoogiat saab rakendada ka raadiuse leidmisel arvutis mõõdistuspunktide alusel. Alustatakse oletatavast kõvera algusest ning tõmmatakse sirgjoon ülejäägmisesse mõõdistuspunkti. Sirgjoone keskpunktis tõmmatakse joonega risti sirglõik mõõdistuspunkte ühendava jooneni ning mõõdetakse selle sirglõigu pikkus. Edasi korratakse sama tegevust, asetades kõõlu alguse järgmisesse mõõdistuspunkti jne.

Käesoleva töö raames kasutati ringikaarte raadiuste leidmiseks spetsiaalset AutoCAD-i programmilisa. Esiteks hinnati visuaalselt, kus asuvad kõvera algus ja lõpp, seejärel käivitati programm ning selekteeriti mõõdistuspunktid, mis hinnangule tuginedes paiknesid ringikaarel. Programm arvutas nende punktide põhjal välja keskmise raadiuse ning üksikpunktide anomaaliad võrreldes keskmisega. Kui otsmistes punktides esines suuri erinevusi, tuli need vaatluse alt välja jätta ning sama protsessi korrata. Väljajäetud punktid võisid kas olla siirdekõvera punktid või võis tegemist olla ühe raadiusega kurvilt otse teise raadiusega kurvile üleminekuga. Lõplik tulemus saavutati katsetamise teel.

Sarnane tööriist oli kasutusel ka siirdekõverate parameetrite leidmisel. See eeldas siirdekõvera elementide (kõvera lõpu raadius ning raadiuse muutumise kiirus) sisestamist programmi, misjärel joonistus välja nende parameetritega siirdekõver. See tuli pöörata õigesse asendisse ja paigutada eeldatava siirdekõvera peale joonisel. Kui selle kuju või pikkus ei ühtinud joonisel oleva siirdekõvera vastajate näitajatega, tuli katsetada parameetrite muutmist programmis.

See osa tööst oli ajamahukas, kuna väga palju tuli katsetada ja läbi proovida erinevaid variante. Antud juhul ei olnud võimalik kasutada ka projektdokumentatsiooni, mis oleks tõenäoliselt tööd tunduvalt hõlbustanud ja kiirendanud.

5.3. Pikiprofiilide koostamine

Raudtee pikiprofiil on joonis, millel näidatakse raudtee rööbast ja selle kõrval asuvat maapinda vertikaallõikes rööpa sihiliselt. Rööpa ja maapinna murdjooned kujutatakse mõõdistusandmete põhjal, kusjuures joonepikkused kantakse profiilile horisontaal- ehk pikimõõtkavas, kõrgused vertikaal- ehk kõrgusmõõtkavas. [31, p. 21]

Tavapäraselt valitakse pikiprofiili kõrgusmõõtkava pikimõõtkavast 10 korda suurem, st kui pikimõõtkava on 1:1000, siis kõrgusmõõtkava oleks vastavalt 1:100 [16]. Kuid tegemist ei ole range ettekirjutusega ning otsuse mõõtkava valiku osas langetab tellija oma vajaduste põhjal. Käsitletavas töös koostati pikiprofiilid vastavalt tellija lähteülesandele pikimõõtkavaga 1:1000 ja kõrgusmõõtkavaga 1:50.

Raudtee pikiprofiilil kajastati järgmised andmed (Joonis 13):

- rööpa pikikallet kujutav joon,
- maapinna pikikallet kujutav joon,
- situatsioon (tee väljavõtte plaanilt),

- õgvendatud andmed (rööpapea kõrgus, pikkus, pikikalle),
- tegelikud andmed (rööpapea kõrgus, pikkus, pikikalle, muldkeha serva kõrgusmärk, kaugus teljest muldkeha servani, maapinna kõrgusmärgid, piketeeritud elementide vahekaugused),
- piketid,
- sirged ja kõverad (koos pikkuste jt parameetritega, sh trassi pöördenuurk, kõvera raadius, pikkus ja tangens),
- tee number.

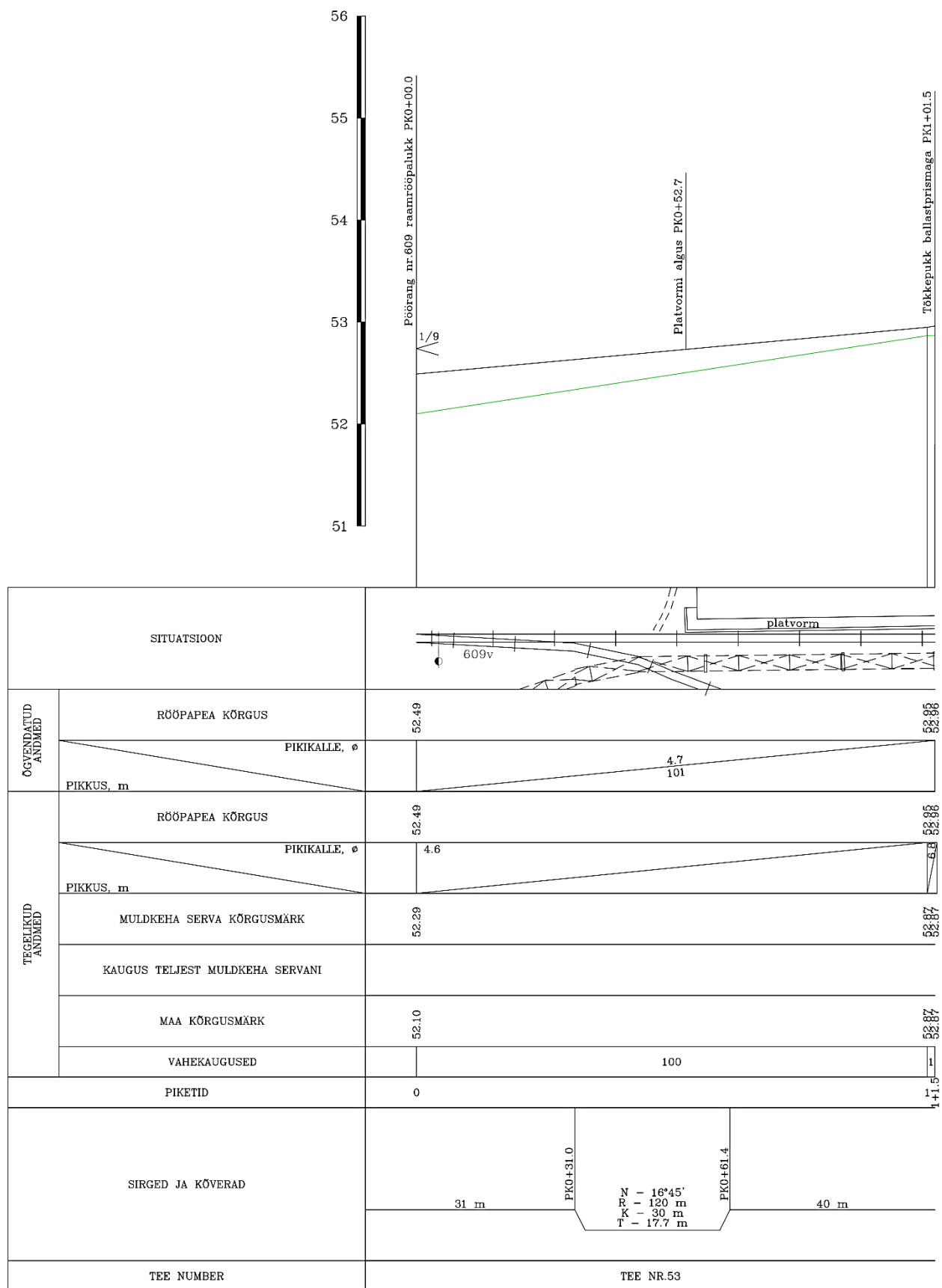
Kui liikuda profiilil real „sirged ja kõverad“ vasakult paremale, on ülespoole suunatud kaartega kujutatud pöörded paremale ning allapoole suunatud kaartega vastavalt pöörded vasakule. [31, p. 22]

Pikiprofiili vormistamine ja piketaaži arvestamine toimub iga tee puhul eraldi, erandina kanti teatud juhtudel ühe pikiprofiili peale paralleelteede andmed. Üldjuhul algab piketaaž pöörangu tsentrist, kuid esineb ka erandeid. Käesoleva töö puhul oli üheks selliseks erandiks Vaheküla jaam, mille kesktelge (elektritsentralisatsioonihoonetelg) loeti piketaaži nullpunktiks. [29, p. 103]

Piketaažiga seoti antud töös järgnevad raudtee põhielemendid: pöörangute tsentrid, raamrööpa lukud ja riströöpa kannad, ringikaarte ja siirdekõverate algus- ja lõpp-punktid, teede lõpud, semaforid, samuti väravad, ülesõidu- ja ülekäigukohad, sillad, viaduktid, truubid, tunnelid, estakaadid, õhuliinid jt raudteega ristuvad objektid, tsehhide sisse- ja väljasõidud, katusealuste algused ja lõpud, piirdetulbad, prožektorimastid, vagunikaalud jms.

Pikiprofiilide koostamine toimus programmilise abil. Selleks tuli aga eelnevalt plaanile raudtee teljejoonele sisestada vajalikud atribuudiriivulid. Nende riivulitega anti programmile ette vajalikud andmed, mille põhjal profiili koostada. Selguse huvides loodi iga tee jaoks uus originaalfaili koopia, kuhu sisestati korraga vaid ühe tee atribuudiriivulid. Nendes eraldi failides koostati ka pikiprofiilid, mis seejärel koos vajalike piketaažimärkidega originaaljoonisesse tagasi tõsteti. Atribuudiredeleid originaaljoonisesse üle ei toodud.

Kõnealuseid atribuudiriivuleid kasutati siirdekõvera, ringikaare alguse ja lõpu, pöörangute ning muude elementide (nt truup, ristuv tee, raudtee kohalt üle minev tehnoloogiline torustik vms) jaoks. Eri liiki riivulite puhul tuli sisestada ettenähtud väljadele erinevad andmed.



Joonis 13. Pikiprofiili näide antud töö põhjal

Ringikaare algust ja lõppu osutaval riiulil olid järgmised väljad (Joonis 14):

- raadius,
- vasakule või paremale (V/P),
- pöördenurk.

Ringikaar	Ringikaar
255	0
P	
9d37'27"	0d0'0"

Joonis 14. Ringikaare algust (vasakul) ja lõppu (paremal) tähistav atribuudiriiul

Ringikaare alguspunkti lisatud riiulil tuli raadiuse väljale tuli sisestada selle kaare raadius, keskmisele väljale kurvi suund lähtudes piketaaži kasvamise suunast teel (vastavalt kas V ehk vasakule või P ehk paremale) ning viimasele väljale raudteetrassi pöördenurk. Kui ringikaar lõppes sirgega, siis sisestati lõpuriilil raadiuseks ja pöördenurgaks null ning keskmist välja „vasakule või paremale“ ei täidetud. Erinevus tuli sisse juhul, kui ringikaar läks üle siirdekõveraks või teise raadiuse või suunaga ringikaareks – sel juhul sisestati ühe ringikaare lõppu kohe uue ringikaare algusriiul.

Siirdekõvera puhul sisaldas atribuudiriiul selliseid välju (Joonis 15):

- raadius,
- kiirus,
- suund (V/P).

Siirdekõver	Ringikaar
225	225
80	V
V	45d51'51"

Joonis 15. Siirdekõvera ning talle järgneva ringikaare atribuudiriiulid

Siirdekõvera üleminekul ringikaareks sisestati siirdekõvera atribuudiriiuli raadiuse väljale tema lõppraadius ehk talle järgneva ringikaare raadius.

Pöörangute algused ja lõpud tähistati järgmiste andmetega atribuudiriiulitega (Joonis 16):

- pöörangu algus või lõpp (A/L),

- pöörangu suund (V/P),
- edasi või tagasi (E/T).

Pöörang	Pöörang
A	L
V	
E	

Joonis 16. Pöörangu algust ja lõppu tähistav atribuudiriil

Keskmine väli (pöörangu suund) ja viimane väli (edasi või tagasi) täideti vaid pöörangu alguses. Väli „edasi või tagasi“ näitas, kas tegemist on liituva või hargneva juhuga.

Teiste pikiprofiilile kantavate oluliste punktide tähistamiseks kasutati atribuudiredelit „RDT muu“, millel oli vaid üks täidetav väli (Joonis 17): selgitav tekst.

RDT muu	RISTUMINE TEHNOLOOGILISE TORUSTIKUGA	
RDT muu	RDT muu	RDT muu
TEE LÕPP	ÜLESÖIT	KATUSEALUSE LÕPP

Joonis 17. Muid olulisi punkte tähistavate atribuudiriilite näiteid

Iga tee algusesse sisestati riil „KM post“ (Joonis 18), mille väärtuseks sisestati null – selle põhjal alustas programm tee algusest uue profiiliga.

KM post
PK0+0.0

Joonis 18. Atribuudiriil KM post

Lisaks eelnevale kanti tellija soovil joonisele piketaaž iga 100 meetri järel. Selleks lisati nendesse punktidesse atribuudiriilid „RDT Kõrgus“ (Joonis 19), kuhu kanti prisma, rööpa ning maapinna kõrgused. Kuna välitööde käigus kogutud mõõdistuspunktid ei ühtinud üldjuhul täispikettide asukohtadega, siis nendel kohtadel mõõdetud kõrgusi ei olnud. Rööpa ja maapinna kõrgused interpoleeriti vajadusel olemasolevate mõõdistusandmete põhjal.

Pärast atribuutide sisestamist kasutati pikiprofiilide koostamise programmi. Programmi käivitamise järel tuli osutada soovitava tee teljele ja järgmisena ära näidata piketaaži nullpunkt sellel joonel,

seepeale joonestas programm pikiprofiili tabeli. Koostatud tabelis sisaldus juba suurem osa olulisest informatsioonist, kuid mõned elemendid tuli käsitsi juurde lisada.

RDT Kõrgus
50.76
50.60
50.40
0

Joonis 19. Atribuudiriinul RDT Kõrgus

Näiteks tekitas programm pikiprofiilile rööpa kõrgust kajastava joone, aga maapinda kujutav joon tuli käsitsi välja joonestada tabelisse koondatud kõrgusandmete põhjal. Samuti tuli jooniselt mõõta ja tabelisse sisestada kaugus teljest muldkeha servani. Profilil välja toodud kõvera andmetest N, R, P ja T (vastavalt pöördenurk, raadius, pikkus ja tangens) tuli tangens kas mõõta plaanilt või leida arvutuslikult, käesolevas töös kasutati viimast varianti valemi (3) põhjal. Ülejäänud andmed luges programm atribuudiriinult.

5.4. Andmike koostamine

Töö viimase etapina vormistati teede, pöörangute, signaalide, hoonete ja rajatiste andmiktabelid. Teede andmiku (Joonis 20) kanti kõigi teede numbrid, otstarve (nt pea-, seisu-, väljatõmbe-, ühendus-, laadimis- depoo- vm tee) ning pikkus (sh täispikkus ja kasulik pikkus).

TEEDE ANDMIK

Tee nr.	Tee otstarve	Tee pikkus						
		Täispikkus				Kasulik pikkus		
		Pöörangud, signaalid		m		Pöörangud, signaalid		m
		Algus	Läbitavad			Algus	Lõpp	
1	Vastuvõtu-ärasaate	6	10	21	539,4	A1	B1	361,8
2	Vastuvõtu-ärasaate	10	21	19	519,2	A2	B2	358,3
2A	Ühendustee	19	–	7	219,4			
III	Peatee	2	6,8,13,11	9	738,8	A3	B3	461,3
4	Vastuvõtu-ärasaate	8	17	15	567,7	A4	B4	418,8
5	Mahalaadimistee	17	23	tp	244,0	M25	BP	122,5
6	Ekipeerimistee	23	–	tl	174,5	M27	tee lõpp	117,9
7	Väljatõmbetee	4	–	tp	272,6	M4	tõkkepukk	260,4
8	Kaalutee	14	–	16	375,7			
9	Ühendustee	502	–	510	925,1			
9A	Väljatõmbetee	510	–	tp	46,5			
30A	Laadimis-mahalaadimistee	730	–	tl	152,6	730	tee lõpp	97,8
31	Seisutee	728	730	tp	303,3	730	tõkkepukk	167,6
32	Seisutee	728	–	tl	130,4	728	tee lõpp	73,5
33	Seisutee	428	–	tl	267,3	M33	tee lõpp	212,0
33A	Laadimis-mahalaadimistee	420	422,426,428	tl	412,5	M31	tee lõpp	182,0
34	Laadimistee	422	424	tl	386,7	M37	tee lõpp	277,9

Joonis 20. Väljavõte teede andmikust

Pöörangute andmikku (Joonis 21) kanti pöörangute numbrid, margid, pöörangu pool, juhtimisviis (käsitsi või tsentraalselt juhitud) ning kaugused pöörangu tsentrist raamrööpa põkkumise ja riströöpa sabani.

PÖÖRANGUTE ANDMIK

Pöörangu number	Pöörangu mark	Pöörangu pool	Juhtimisviis	Kaugus pöörangu keskelt	
				raamrööpa põkkumiseni	riströöpa sabani
1	1/9	vasak	tsentraal	12,39	15,64
2	1/9	parem	tsentraal	14,29	15,64
4	1/9	parem	tsentraal	15,42	15,64
5	1/9	vasak	tsentraal	15,42	15,64
6	1/9	parem	tsentraal	15,42	15,64
7	1/9	vasak	tsentraal	15,42	15,64

Joonis 21. Väljavõte pöörangute andmikust

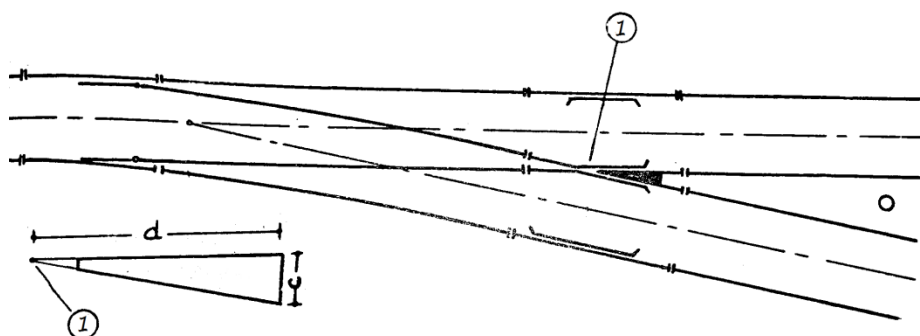
Antud juhul saadi andmed pöörangute markide kohta tellijalt, kuid pöörme marki M on võimalik ka arvutuslikult leida, kasutades valemit (5) [29, p. 101]:

$$M = \frac{c}{d}, \quad (5)$$

kus c – riströöpa saba laius m;

d – riströöpa pikkus (matemaatiline) m.

Pöörangu mark on matemaatilises mõttes pöörme nurga tangens ning seda väljendatakse lihtmurrulise suhtega. Käesolevas töös oli kahte liiki pöörmeid: 1/9 ja 1/11, millele vastavad pöörme nurgad on 6°20'25'' ja 5°11'40''. Alloleval illustratsioonil (Joonis 22) on valemi (5) muutujad graafiliselt välja toodud. [29, p. 102]



Joonis 22. Pöörangu margi leidmiseks vajalikud muutujad [29, p. 101]

Signaalide andmik (Joonis 23) koondas endasse signaalide tähised, otstarbed ja konstruktsiooni (mast- või kääbusfoor).

SIGNAALIDE ANDMIK

Märgistus	Nimetus	Konstruktsioon
AV	väljasõidufoor	mastifoor
A1	väljasõidufoor	mastifoor
A1	väljasõidufoor	kääbusfoor
A2	väljasõidufoor	kääbusfoor
A3	väljasõidufoor	mastifoor
A4	väljasõidufoor	kääbusfoor
A	väljasõidufoor	mastifoor
B	sissesõidufoor	mastifoor
B1	sissesõidufoor	kääbusfoor
BM	sissesõidufoor	mastifoor
B1	väljasõidufoor	kääbusfoor
B2	väljasõidufoor	kääbusfoor
B3	väljasõidufoor	mastifoor
B4	väljasõidufoor	kääbusfoor
BV	sissesõidufoor	mastifoor
HB	kattefoor	mastifoor
M3	manöövrifoor	mastifoor

Joonis 23. Väljavõtte signaalide andmikust

Hoonete ja rajatiste andmikku (Joonis 24) kanti hoone number ja nimetus, samuti ehitusmaterjal ning hoone valdaja.

HOONETE JA RAJATISTE ANDMIK

Number	Nimetus	Materjal	Valdaja
1	el. tsentralisatsioonihoon	tellis	VKG Transport
2	tööliste olmehoone	tellis	VKG Transport
3	ekipeerimishoone	tellis	VKG Transport
4	kaalumaja	tellis	VKG Transport
5	depoo	tellis	VKG Transport

Joonis 24. Väljavõtte hoonete ja rajatiste andmikust

KOKKUVÕTE

Raudteid mõõdistatakse erinevatel eesmärkidel. Käesolevas lõputöös on antud lühike ülevaade, millistel põhjustel ja milliste instrumentidega toimub raudteede mõõdistamine. Täpsemalt on kirjeldatud tahhümeetrilist mõõdistamisviisi raudteede pasportiseerimismõõdistustel.

Antud töö koostamisel on aluseks võetud VKG Transport AS-i poolt tellitud Viru Keemia Grupp AS-ile kuuluvate Kohtla-Järve linnas paiknevate raudteede mõõdistamine ning selle põhjal vajalike jooniste ja dokumentide vormistamine. Lahti on kirjutatud erinevad tööde etapid, näiteks ettevalmistus mõõdistustöödeks, mõõdistuspõhise tihendamine vajalikul määral, reaalne mõõdistamisprotsess ning erinevad sisetööd.

Töö praktilise poole kirjelduse vahele on põimitud seadustest ja määrustest tulenevad nõuded mõõdistamisele, seejuures on käsitletud Raudtee tehnokasutuseeskirja ning Majandus- ja kommunikatsiooniministri määruse „Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord“ nõudeid.

Töö esimeses kahes peatükis on antud ülevaade mõõdistusobjektist, tellija korraldatud hankest, töö lähteülesandest ja kasutatud geodeetiliste instrumentide spetsifikatsioonidest.

Kolmandas peatükis on käsitletud objektil olemasolevat mõõdistamispõhist ning selle tihendamise meetodeid. Mõõdistamisel kasutati maksimaalselt Kohtla-Järve linna polügonomeetriapunkte, kuid objekti paiknemine ja teised objekti eripärad tingisid vajaduse täiendavate kindelpunktide loomise järele. Mõõdistuspõhist tihendati objektil mitmes jaos ning vastavalt vajadusele, kasutades selleks traditsioonilist tahhümeetriat polügonomeetriakäigu näol, aga ka satelliitgeodeesia meetodeid, mida osaliselt kombineeriti nivelleerimisega. Töösse on lisatud lisaks meetodite kirjeldustele illustreerivad skeemid ja tulemuste tabelid ning hinnang tulemuste osas.

Tööde ettevalmistuse all on eraldi kirjeldatud tellija poolt läbiviidud tööohutuse alast instruktaazi. Mõõdistamise käiku selgitavas peatükis on antud ülevaade, mida ja kuidas objektil mõõdeti, ning räägitud elektrontahhümeetri orienteerimiseks kasutatud meetoditest: nurgalis-joonelise lõike meetodil ja kindelpunkti kohale orienteerimisest. Välja on toodud, milliste probleemidega

(juhendmaterjalide vähesus, ilmastikulised ning raudteeliiklusest tingitud probleemid) mõõdistajad tööde käigus kokku puutusid.

Kameraaltööde peatükki on koondatud info maa-ala plaani joonestamisest, kõvera elementide arvutamisest, pikiprofiilide koostamisest koos sellele eelnenud tegevustega ning teede, pöörangute, signaalide, hoonete ja rajatiste andmike koostamisest.

SUMMARY

The current thesis is titled as “Certification of railroads based on the example of VKG“.

There are a number of possible reasons for railroad surveying, ranging from simple topographic surveys of areas including railroads all the way to detailed rail track specific surveys. For instance, one might order a railroad survey in order to examine the condition of existing railroad tracks, to certify tracks or rail facilities, to design new railroad associated equipment and facilities or additional paths to an existing railway network, but also to design and construct buildings or other objects in the close vicinity of a railroad, etc. Each of the survey types has its nuances and differences.

Despite the fact that general principles of measuring railroads have remained relatively unchanged over time, there has been a remarkable development of the instruments used for surveying. Before the introduction of total stations railroads (as all other objects) were measured in two stages – positional data was collected using a theodolite and height data was obtained via levelling. These two stages can be combined when working with a total station. By now even more complex instruments have been developed for measuring track geometry, which provide extremely high precision results and can be combined with laser scanning. However, classic tachymetric surveying is still the most common means of geodetic measurements and therefore total stations are involved in a constant process of development.

The main purpose of this thesis is to give a general overview of tachymetric railroad surveying, as well as a specific description of the different stages of geodetic works carried out while certifying VKG’s railroads located in Kohtla-Järve, Ida-Viru County. The writing provides information about the preparation of works, establishing a network of geodetic base points, also about the process of surveying and the indoor works. Furthermore, an overview of requirements applicable to railroad surveying is provided.

The thesis begins with a brief introduction of the work site and the procurement for finding a suitable contractor, followed by the initial assignment issued by the client. Additionally, a listing of

geodetic instruments used on site is given, accompanied by the technical specifications of each instrument.

The surveying on site was planned out to be, as much as possible, based on the network of polygonometric points of Kohtla-Järve. However, the placement and other circumstances of the work site caused the need to densify the existing network of geodetic points which are used to set up the total station. The densifying took place in various places when necessary; traditional polygonometry and GNSS methods were used, the latter being combined with digital levelling. The thesis explains the different methods and provides illustrative figures and tables of results.

The current thesis contains in full extent an earlier project report published by the author on establishing a network of geodetic base points to be used on the VKG's closed territory. This report was initially written to be a part of the thesis; in the current writing additional referencing to the report has not been done.

The paragraph about railroad surveying covers the general aspect of the topic, but also explains what exactly, where and how was measured, which methods were used to set up the total station (resection based on two geodetic points with known coordinates, and setting the instrument up over a known point), and what kind of problems occurred while surveying. In addition, the mentioned paragraph provides a summary of the most important points of VKG's safety regulations for working on or close to railroads.

The last part of the thesis speaks about indoor works, more specifically about drawing up a topographic plan, calculating the elements of curves, composing longitudinal profiles of railroad tracks and preparing specification tables for railroad paths, rail switches, signals, buildings and facilities. The mentioned works were carried out using the AutoCAD software.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Rakendusgeodeesia ja Ehitusgeoloogia Inseneribüroo OÜ siseveeb.
- [2] Topcon, „INSTRUCTION MANUAL. PULSE TOTAL STATION. GPT-3000 SERIES,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hayeshelp.com/manuals/tps/GPT-3000ENG.PDF>. [Kasutatud 16. aprill, 2015].
- [3] ПРИН, „Тахеометры серии GPT-3000N,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.prin.ru/upload/information_system_17/1/6/5/item_165/information_items_1224492380.jpg. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [4] Topcon, „Pulse Total Station GPT-3000series,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.topcon.com.sg/survey/gpt30.html>. [Kasutatud 16. aprill, 2015].
- [5] „TOPCON TAHHÜMEETRID,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.tiigi.ee/mm/tm_topco.htm. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [6] Paducah Blueprint and Supply Co., Inc., „Electronic Total Stations by Topcon. GTS-210 Series,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.padblueprint.com/tstat.htm>. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [7] Surveying Engineers Syndicate, „GTS-211D,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://gsseg.com/mg/wp-content/uploads/2014/05/GTS.jpg>. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [8] FLT Geosystems & LSR, „Used Topcon GTS-211D Total Station (ea),“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.fltgeosystems.com/used-surveying-equipment/manual-total-stations/used-topcon-gts-211d-total-station-gts-211d-c2/>. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [9] GEOSOFT OÜ, „TRIMBLE S6 tahhümeeter,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.geosoft.ee/uploads/userfiles/file/TRIMBLE_S6_AL.pdf. [Kasutatud 17. aprill, 2015].
- [10] Trimble, „Trimble S6 Total Station,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.trimble.com/Survey/trimbles6.aspx>. [Kasutatud 6. aprill, 2015].
- [11] TOPCON, „FC-250,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.topconpositioning.com/products/hand-held-devices/field-controllers/fc-250>.

- [Kasutatud 25. oktoober, 2014].
- [12] TOPCON, „Hiper+. Wireless, integrated GPS+ receiver system,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://ibed.uva.nl/binaries/content/assets/subsites/institute-for-biodiversity-and-ecosystem-dynamics/facilities/fnwi_ibed_dgps.pdf?1391604816458. [Kasutatud 23. oktoober, 2014].
 - [13] pribory-si.ru, „Цифровой нивелир Topcon DL-101C,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://pribory-si.ru/catalog/4502-02/2525/>. [Kasutatud 4. november, 2014].
 - [14] TOPCON, „Electronic Digital Level DL-101C / 102C,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.topcon.com.sg/survey/dl.html>. [Kasutatud 23. oktoober, 2014].
 - [15] Maa-amet, „Maa-ameti geoportaal. Kaardirakendus X-GIS. Geodeetiliste punktide andmebaas,“ Maa-amet, [Võrgumaterjal]. Available: <http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis>. [Kasutatud 5. aprill, 2015].
 - [16] Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord, 2007.
 - [17] Topcon, „Topcon DL-101C/102C Manual,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.scribd.com/doc/28259403/Topcon-DL-101C-102C-Manual>. [Kasutatud 29. oktoober, 2014].
 - [18] R. Ranne, „Nivelleerimine. Geodeesia I osa. Õppematerjal,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.scribd.com/doc/236381381/Nivelleerimine>. [Kasutatud 4. november, 2014].
 - [19] USGS, „Real-Time Network (RTN) Surveying,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://water.usgs.gov/osw/gps/real-time_network.html. [Kasutatud 14. aprill, 2015].
 - [20] Topcon, „Hades Invest OÜ GNSS püsijaamade võrk,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://topcon.ee/uploads/images/GNSS\(1\).png](http://topcon.ee/uploads/images/GNSS(1).png). [Kasutatud 14. aprill, 2015].
 - [21] Topcon, „Hades Invest OÜ GNSS püsijaamade võrk,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://topcon.ee/>. [Kasutatud 14. aprill, 2015].
 - [22] H. A. Crouch, „Railroad Surveys, Profiles and Topographic Surveys,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://forums.unfiction.com/forums/files/108content.pdf>. [Kasutatud 19. veebruar, 2015].
 - [23] Majandus- ja kommunikatsiooniministri 27.08. 2007. a määruse nr 70 « Ehitusgeodeetiliste uurimistööde tegemise kord » Lisa 1, 2007.
 - [24] СЖД-Проект, „Паспортизация железнодорожных путей необщего пользования,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://xn----gtbebxwgies.xn--p1ai/uslugi/pasportizaciya-zheleznodorozhnyh-putej-ne-obshhego-polzovaniya.html>. [Kasutatud 29. märts, 2015].

- [25] Tehnilise Järelevalve Amet, „Raudtee registreerimine,“ Tehnilise Järelevalve Amet, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tja.ee/raudtee-registreerimine/>. [Kasutatud 10. aprill, 2015].
- [26] Tehnilise Järelevalve Amet, „Tehniline Pass,“ [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 10. aprill, 2015].
- [27] Raudtee tehnokasutuseeskirja kinnitamine, 1999.
- [28] Eesti Raudtee, Hanke 157171 lisa 7. Iseloomulikes kohtades teostatavate mõõdistuste skeem..
- [29] V. Kala, Rakendusgeodeesia alused, Tallinn: TTÜ rotaprint, 1990, p. 124.
- [30] E. Laikask, Geodeesia I, Tallinn: TPI rotaprint, 1977, p. 164.
- [31] E. Laikask, Geodeesia II, Tallinn: TPI rotaprint, 1977, p. 104.

LISAD

Lisa 1. Fotosid mõõdistatud raudtee-elementidest

Lisa 2. Nivelleerimise 1. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused

Lisa 3. Nivelleerimise 2. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused

Lisa 1. Fotosid mõõdistatud raudtee-elementidest



Mastsemafor (autori foto)



Maasemafor (autori foto)



Elektritsentraliseeritud pöörangseade (autori foto)



Käsi pöörangseade (autori foto)



Kaablikarp (autori foto)



Isoleerlukk (autori foto)

Lisa 2. Nivelleerimise 1. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
T	199350	39720	PP359					51,345	PP359
E	95035	32050	V0	104315	104303		1,0430	52,388	
T	78865	36205							
E	145430	36590	V1	-66565	-66577		-0,6658	51,722	
T	118860	36505							
E	136185	35840	V2	-17325	-17337		-0,1734	51,549	
T	261520	26185							
E	108015	32240	P1MAST	153505	153493		1,5349	53,084	P1MAST
T	19780	15310							
E	172540	16520	V3	-152760	-152772		-1,5277	51,556	
T	121580	42630							
E	153415	46440	V4	-31835	-31847		-0,3185	51,238	
T	162195	36730							
V	146150	11900	P2NAEL			16045	0,1605	51,398	P2NAEL
E	138540	37960	V5	23655	23643		0,2364	51,474	
T	166465	41025							
E	123225	41515	V6	43240	43228		0,4323	51,906	
T	162900	41860							
V	72430	35330	P3PUMPLA			90470	0,9047	52,811	P3PUMPLA
E	127660	44650	V7	35240	35228		0,3523	52,259	
T	167165	41660							
E	105090	46405	V8	62075	62063		0,6206	52,879	
T	178460	34900							
V	120730	13250	P4KAEV			57730	0,5773	53,457	P4KAEV
E	94870	44870	V9	83590	83578		0,8358	53,715	
T	150430	41110							
E	102730	44275	V10	47700	47688		0,4769	54,192	
T	113790	38685							
V	146430	9850	P5NAEL			-32640	-0,3264	53,866	P5NAEL
E	81410	45430	V11	32380	32368		0,3237	54,516	
T	141860	40710							
E	112920	44410	V12	28940	28928		0,2893	54,805	
T	149215	41820							
E	133620	44210	V13	15595	15583		0,1558	54,961	

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
T	136205	40500							
V	138965	51460	P6KAEV			-2760	-0,0276	54,933	P6KAEV
E	127890	42545	V14	8315	8303		0,0830	55,044	
T	147260	32780							
E	140140	39860	V15	7120	7108		0,0711	55,115	
T	145610	35780							
V	100055	16080	P7AK			45555	0,4556	55,570	P7AK
E	88480	38660	V16	57130	57118		0,5712	55,686	
T	118590	23770							
E	60670	24610	V17	57920	57908		0,5791	56,265	
T	91710	41980							
E	148520	41980	V18	-56810	-56822		-0,5682	55,697	
T	166055	19485							
E	50335	20395	V19	115720	115708		1,1571	56,854	
T	174665	5420							
E	41580	8470	V20	133085	133073		1,3307	58,185	
T	187580	3310							
E	58150	5560	V21	129430	129418		1,2942	59,479	
T	150420	40880							
V	76765	21810	P8NAEL			73655	0,7366	60,215	P8NAEL
E	80105	43520	V22	70315	70303		0,7030	60,182	
T	105330	40350							
E	153060	43095	V23	-47730	-47742		-0,4774	59,704	
T	89345	41130							
E	106250	41920	V24	-16905	-16917		-0,1692	59,535	
T	107790	15890							
V	119310	16230	P9NAEL			-11520	-0,1152	59,420	P9NAEL
E	174500	15980	V25	-66710	-66722		-0,6672	58,868	
T	54770	8005							
E	178120	7410	V26	-123350	-123362		-1,2336	57,634	
T	93750	24030							
E	58080	31535	V27	35670	35658		0,3566	57,991	
T	179770	15540							
E	120100	6980	V28	59670	59658		0,5966	58,588	
T	64655	20025							

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
E	108980	19840	P9APOLT	-44325	-44337		-0,4434	58,144	P9APOLT
T	161990	37550							
E	88490	37100	V29	73500	73488		0,7349	58,879	
T	157210	36150							
E	104340	35090	V30	52870	52858		0,5286	59,408	
T	135990	38675							
V	130420	34190	V31			5570	0,0557	59,463	
E	129885	33680	V32	6105	6093		0,0609	59,469	
T	175850	31850							
E	113640	32370	V33	62210	62198		0,6220	60,091	
T	135210	34880							
E	101300	33830	V34	33910	33898		0,3390	60,430	
T	139310	35010							
V	133630	25430	V35			5680	0,0568	60,486	
E	121340	36640	V36	17970	17958		0,1796	60,609	
T	112810	35055							
E	144200	34195	V37	-31390	-31402		-0,3140	60,295	
T	133490	19240							
E	68990	21730	SM390	64500	64488		0,6449	60,940	SM390
								60,940	
			praktiline	959970	959500				
			teoreetiline	959500					
			sidumatus	470	0				
			kõrguskasve	39					
			parand	-12					

Lisa 3. Nivelleerimise 2. käiguosa välitöö mõõteandmed ning arvutustulemused

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
T	68990	21730	SM390					60,940	SM390
E	133490	19240	V37	-64500	-64478		-0,645	60,295	
T	144200	34195							
E	112810	35055	V36	31390	31412		0,314	60,609	
T	121340	36640							
V	133630	25430	V35			-12290	-0,123	60,486	
E	139310	35010	V34	-17970	-17948		-0,179	60,430	
T	101300	33830							
E	135210	34880	V33	-33910	-33888		-0,339	60,091	
T	113640	32370							
E	175850	31850	V32	-62210	-62188		-0,622	59,469	
T	129885	33680							
V	130420	34190	V31			-535	-0,005	59,464	
E	135990	38675	V30	-6105	-6083		-0,061	59,408	
T	104340	35090							
E	157210	36150	V29	-52870	-52848		-0,528	58,880	
T	88490	37100							
E	161990	37550	P9APOLT	-73500	-73478		-0,735	58,145	P9APOLT
T	108980	19840							
E	148040	16610	V38	-39060	-39038		-0,390	57,755	
T	98105	39605							
E	146480	39440	V39	-48375	-48353		-0,484	57,271	
T	121485	35590							
V	145560	19405	P10TORU			-24075	-0,241	57,030	P10TORU
E	164610	32925	V40	-43125	-43103		-0,431	56,840	
T	94065	35925							
E	171680	37745	V41	-77615	-77593		-0,776	56,064	
T	82290	36060							
V	163450	38810	P11NAEL			-81160	-0,812	55,253	P11NAEL
E	136990	38400	V42	-54700	-54678		-0,547	55,517	
T	129305	35425							
E	157675	36845	V43	-28370	-28348		-0,283	55,234	
T	118495	36160							
E	164380	39020	V44	-45885	-45863		-0,459	54,775	

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
T	131525	37775							
V	110330	11200	P12AK	21195	21217		0,212	54,987	P12AK
T	70690	37395							
E	154180	36865	V45	-83490	-83468		-0,835	54,153	
T	127860	35960							
E	136545	36845	V46	-8685	-8663		-0,087	54,066	
T	147630	37275							
E	140880	37965	V47	6750	6772		0,068	54,134	
T	121400	35435							
V	54805	27760	P13BETVUND			66595	0,666	54,800	P13BETVUND
E	152765	36790	V48	-31365	-31343		-0,313	53,820	
T	127275	37035							
E	136150	38250	V49	-8875	-8853		-0,089	53,732	
T	116430	37295							
E	155280	37605	V50	-38850	-38828		-0,388	53,344	
T	122650	40690							
E	147280	40920	V51	-24630	-24608		-0,246	53,098	
T	92990	36540							
V	113680	20320	P14ASF			-20690	-0,207	52,891	P14ASF
E	199670	36795	V52	-106680	-106658		-1,067	52,031	
T	118090	36020							
E	129415	35530	V53	-11325	-11303		-0,113	51,918	
T	137590	34800							
E	164330	35905	V54	-26740	-26718		-0,267	51,651	
T	117135	35940							
E	123640	35900	V55	-6505	-6483		-0,065	51,586	
T	130320	35565							
E	253980	29930	V56	-123660	-123638		-1,236	50,350	
T	201235	27580							
V	169490	15440	P15BETPL			31745	0,317	50,667	P15BETPL
E	89965	35160	V57	111270	111292		1,113	51,462	
T	117030	36920							
E	95510	32210	V58	21520	21542		0,215	51,678	
T	153050	25600							
E	79065	31990	V59	73985	74007		0,740	52,418	

suund	lugem 0,01 mm	kaugus mm	edasivaate suund	kõrguskasv 0,01 mm	parandatud kõrguskasv 0,01 mm	kõrguskasv vahepunktilt 0,01 mm	parandatud kõrguskasv m	kõrgus m	punkt
T	174565	32015							
V	108015	32240	P1MAST			66550	0,666	53,083	P1MAST
E	261520	26185	V60	-86955	-86933		-0,869	51,549	
T	136185	35840							
E	118860	36505	V2	17325	17347		0,173	51,722	
T	145430	36590							
E	78865	36205	V1	66565	66587		0,666	52,388	
T	95035	32050	V0						
E	199350	39720	PP359	-104315	-104293		-1,043	51,345	PP359
								51,345	
			praktiline	-960270	-959500				
			teoreetiline	-959500					
			sidumatus	-770	0				
			kõrguskasve	35					
			parand	22					