



GEOLOOGILISE BAASKAARDI VÕRU (5422) LEHE GEOFÜÜSIKALISED UURINGUD

EGK Geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond

> Tellija: Maa-amet Detsember, 2008



EESTI GEOLOOGIAKESKUS

Geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond

KINNITAN Eesti Geoloogiakeskuse direktor Vello Klein2008.a.

Tarmo All, Oleg Gromov, Mark Karimov

GEOLOOGILISE BAASKAARDI VÕRU (5422) LEHE GEOFÜÜSIKALISED UURINGUD



Teadusdirektor

Jaan Kivisilla

Tallinn, 2008

ANNOTATSIOON

Tarmo All, Oleg Gromov, Mark Karimov. "Geoloogilise baaskaardi Võru (5422) lehe geofüüsikalised uuringud". Eesti Geoloogiakeskus, geofüüsika, mere- ja keskkonnageoloogia osakond, Tallinn, 2008. Tekst 33 lk., 1 tekstilisa, 1 graafiline lisa (EGF, Maa-amet).

Töös on esitatud ülevaade 2008. aastal kaardilehe 5422 piires teostatud geofüüsikalistest uuringutest aluspõhja reljeefi ning mattunud orgude kaardistamiseks (mõõtkavas 1:50 000). Peamiseks uurimismeetodiks oli raskuskiirendusanomaaliate kaardistamine, mida täiendati vertikaalse elektrilise sondeerimisega. Uuringumarsruutide planeerimisel lähtuti olemasolevast faktilisest materjalist, eelkõige varasemast 1:200 000 aluspõhja geoloogilisest kaardist. Kontrolliti kõiki 1:200 000 kaardistamise käigus väljaeraldatud mattunud orge ning ka kaasaegses reljeefis jälgitavaid ürgorge. Avastatud raskuskiirendusanomaaliaid püüti jälgida kas varem väljaeraldatud mattunud orgude piires või siis eeldatavas kulgemissuunas. Kokku rajati raskuskiirenduse mõõdistamise marsruute ligikaudu 215 jooksva kilomeetri ulatuses, mõõtepunktide vahemaaga peamiselt 100 m. Väljaeraldatud raskuskiirendusanomaaliate kontrolliks ja geoloogilise läbilõike täpsustamiseks rajati 48 vertikaalse elektrilise sondeerimise punkti. Raskuskiirenduse mõõdistamistel lähtuti riiklikust gravimeetrilisest tasemest GV-EST95.

Kogu raskuskiirenduse andmestik sisestati olemasolevasse raskuskiirendusmõõdistamise geoandmebaasi ArcGis formaadis, ning edastati Maa-ametile. Vertikaalse elektrilise sondeerimise tärkandmestik edastati Maa-ametile xls-formaadis tabelandmestikuna. Töös on esitatud ka lühike ülevaade raskusjõuvälja anomaaliate geoloogilistest põhjustest ja tõlgendamisest.

Märksõnad:

Raskuskiirendus, Bouguer´ anomaalia, vertikaalne elektriline sondeerimine, mattunud org, ürgorg, takistusanomaalia.

Projektijuht Tarmo All

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. GRAVIMEETRILINE UURITUS	5
2. GEOFÜÜSIKALINE MÕÕDISTAMINE	7
2.1 GRAVIMEETRILINE TASE	7
2.2 GRAVIMEETRILISED MÕÕDISTAMISED	7
2.3 ELEKTROMEETRILISED MÕÕDISTAMISED	10
3. TÄRKANDMED	12
4. RASKUSJÕUVÄLJA ANOMAALIATE GEOLOOGILINE TÕLGENDAMINE	15
4.1. KRISTALNE ALUSKORD	15
KOKKUVÕTE	32
KIRJANDUS	33

TEKSTILISAD

Lisa1. Bouguer´ anomaaliad vahekihi tihedusele 2,08 g/cm ³	
ja VES andmete esialgne tõlgendamine	35 lehte

GRAAFILISED LISAD

Graafiline lisa 1. Faktilise materjali ja geofüüsikaliste anomaaliate esialgse tõlgendamise skeem, 1 : 50 000......1 leht

SISSEJUHATUS

Vastavalt Maa-ameti ja Eesti Geoloogiakeskuse vahel sõlmitud töövõtulepingule teostati geofüüsikalised uuringud Eesti Baaskaardi Võru (5422) lehel (joonis 1). Töö eesmärgiks oli mõõtkavas 1 : 200 000 teostatud kaardistamistööde käigus väljaselgitatud mattunud orgude kontroll ning täpsustamine geofüüsikaliste meetoditega lepingus ettenähtud töömahtude piires. Töö teostamisel lähtuti olemasolevast geoloogilisest faktilisest materjalist ning varasematest samasuunaliste uuringute kogemustest, samuti kaardistamisjuhendist (Juhend..., 2008), Maa-ameti ja Eesti Geoloogiakeskuse vahel sõlmitud töövõtulepingust ning riigihanke pakkumises esitatud tööde teostamise tehnoloogilisest skeemist.

Aruandes käsitletakse Eesti geoloogilise baaskaardi, mõõtkavas 1 : 50 000, Võru (5422) lehe valikulise gravimeetrilise uuringu tulemusi, olemasoleva andmestiku kontrolli ja täpsustamist ning väljaselgitatud geofüüsikaliste anomaaliate geoloogilisi põhjusi. Uuringuala jääb Võrumaa piiresse (joonis 1).



Joonis 1. Uuringuala paiknemise skeem.

Töödel osalesid:

Tarmo All (osakonnajuhataja, juhtivgeofüüsik, projektijuht) – projekti ettevalmistamine, tööde organiseerimine, välitööd, andmetöötlus, andmeanalüüs, aruande koostamine;

Oleg Gromov (vanemgeofüüsik) – projekti ettevalmistamine, välitööde organiseerimine, välitööd, andmetöötlus, andmeanalüüs, aruande koostamine;

Tuuli Kalberg (juhtivgeoloog) – tärkandmete tehnilise kvaliteedi kontroll;

Mark Karimov (geoloog) - välitööd, andmetöötlus;

Elena Eresko (tehnik) - andmetöötlus.

1. GRAVIMEETRILINE UURITUS

Samalaadsed raskuskiirendusanomaaliate uuringud teostati kaardilehe piires aastatel 1987-1989 Võru linna veevarustuse geoloogiliste uuringute käigus (Kuptsov jt., 1989). Nimetatud tööde käigus rajati 7 gravimeetrilist uuringumarsruuti (joonis 2), kogupikkusega ligikaudu 40 jooksvat km, mõõtepunktide sammuga 100 m Võru linna ning selle lähiümbrusesse. Tööde eesmärgiks olid vesivarustuse seisukohalt olulised geoloogilised struktuurid, eelkõige mattunud orgude uurimine. Bouguer' anomaalia määramise täpsuseks hinnati toona ±0,06 mGal. Vahekihi parand arvutati tihedusele 1,84 g/cm³. Tulemuste analüüs osutas, et enamiku kaasaegsete voolusängide ning järvedega seotud reljeefi alanemistega kaasnes ka raskuskiirenduse väärtuste alanemine vahemikus 0,2 – 0,5 mGal. Sellised miinimumid seostati ennekõike pärastjääaegsete kvaternaarisetetega. Samas leiti ka, et osaliselt seostusid nad ka mattunud orgudega, mida kaasaegsed vooluteed üldises plaanis jälgisid, kuid esimesed olid reeglina selgelt laiemad ning sügavamad. Tööde tulemused osutasid, et puurimistega tõestatud paksud kvaternaarisetete lademed nii mattunud-, ürg- kui kaasaegsete orgude piires (üle 30 m) põhjustasid erineva intensiivsusega raskuskiirenduse miinimume, mistõttu ei olnud üheselt määratav aluspõhjakivimite ja kvaternaarisetete eristamiseks vajalik tiheduste kontrast. See väärtus jäi reeglina vahemikku 0,25–0,09 g/cm³ ning kohati osutusid aluspõhjakivimite ja kvaternaarisetete tihedused eristamatuteks. Sarnased tööd Tartu ning Valga piirkonnas osutavad ka võimalusele, et Devoni avamusalal võib kvaternaarisetete tihedus kohati olla ka suurem kui aluspõhja kivimite oma, mistõttu mattunud orud ei ole ühemõtteliselt seostatavad raskuskiirenduse lokaalsete miinimumidega, vaid pigem raskuskiirenduse lokaalsete mosaiiksete mustritega regionaalse fooni taustal.

Kahjuks ei seotud nimetatud uuringu raames raskuskiirenduse mõõtmisi ühegi riikliku referentvõrguga, vaid kasutati iga marsruudi puhul lokaalset nullväärtust. Seetõttu ei ole võimalik kõnealust andmestikku integreerida kaasaegsesse andmebaasi, küll aga on see tänuväärne võrdlusandmestik ning annab ettekujutuse raskusjõuvälja mustrist vahetult Võru linna ümbruses ning mattunud orgude võimalikust väljendusvormist selles mustris.



Joonis 2. 1987–1989 Võru piirkonnas teostatud raskuskiirenduse mõõdistamiste uuringumarsruutide asendi skeem. Marsruutide ligikaudsed asukohad on määratud uuringuaruande (Kuptsov jt., 1989) graafiliselt lisalt.

Aastal 2004 kehtestati Eesti Vabariigi geodeetilise süsteemi osana ka gravimeetriline süsteem (Geodeetiliste..., 2004). Gravimeetrilise süsteemi realisatsiooniks on I, II ja III klassi jagunev gravimeetriline võrk **GV-EST95**. Uuringu alale jääb GV-EST95 võrgu Kose II klassi punkt, mida kasutati ka uuringute lähtepunktina.

Elektromeetrilisi uuringuid mattunud orgude selgitamiseks tööpiirkonnas varem tehtud ei ole. Devoni avamusalal on selliseid uuringuid läbi viidud Valga linna vesivarustuse projekti käigus (Liibert jt., 1987). Nende tööde käigus jõuti VESi ja elektrikarotaaži abil järeldusele, et seal avanevate Kesk-Devoni Burtnieki lademe liivakivide eritakistus jääb reeglina tasemele 70–90 Ω m. Paraku tuleb nentida, et Võru lehe piires avanevad enamasti Kesk-Devoni Gauja ja Amata lademete terrigeensed kivimid ning kaardilehe lõuna- ja kaguosas ka Ülem-Devoni karbonaatsed kivimid. Seetõttu ei ole see väärtus siin üheselt kasutatav.

2. GEOFÜÜSIKALINE MÕÕDISTAMINE

2.1 GRAVIMEETRILINE TASE

Nagu eelpool mainitud, on Eesti Vabariigis kehtivaks gravimeetriliseks tasemeks GV-EST95 (Geodeetiliste..., 2004). Kogu projekti käigus toodetud gravimeetriline andmestik seoti nimetatud referentvõrgu tasemega. Selleks kasutati Võru linna lähistel Kose alevis paiknevat II klassi referentpunkti nr. 80064, g=981725,590. Lähtepunkti geograafilised koordinaadid on 57,815567 ja 26,995967.

2.2 GRAVIMEETRILISED MÕÕDISTAMISED

Uuringumarsruudid rajati anisotroopse võrguna, mõõtepunktide sammuga 100 m. Seejuures püüti valida marsruudid selliselt, et need ristuksid ka varasemate keskmisemõõtkavaliste kaardistamistööde (1:200 000) käigus väljaeraldatud mattunud- ja ürgorgudega. Samuti püüti rajada marsruudid risti kaasaegsete vooluteedega, eeldusel, et viimased võivad järgida varasemaid struktuure ja/või on nende piires toimunud kaasaegsete jõe- ja lammisetete ulatuslikum kuhjumine.

Mõõtmised teostati täisautomaatse termosteeritud kalibreerimata diapasooniga Burrise gravimeetriga nr. B-30 (Joonis 3). Gravimeeter võimaldab raskuskiirenduse juurdekasvu mõõtmist 7000 mGal ulatuses, lugemi täpsusega 0,001 mGal. Gravimeetri nullpunkti triiv on alla 0,5 mGal kuus ning elastne süsteem põhineb arreteeritaval metallvedrul. Gravimeetri tööd kontrollib tootja poolt arendatud programm UltraGravTM, mis võimaldab jooksvalt kontrollida vajalikke statistilisi näitajaid ning arvutada iga mõõtepunkti jaoks maa loodelistest variatsioonidest tingitud parandid.

Kuivõrd otsitavate anomaaliate intensiivsus ületab 0,1 mGal, siis otsustati mõõtmised teostada ilma kordamiseta, null-punkti triivi kontrolliga vähemalt 2 korda päevas ning kontrollmõõtmistega 2–5 % ulatuses. Null-punkti triiv ajavahemikus 8. september kuni 1. detsember oli keskmiselt 0,02 mGal, varieerudes vahemikus 0–0,04 mGal. Uuringumarsruudid valiti selliselt, et minimeerida reljeefi muutuste mõju tulemustele ning seeläbi vältida reljeefiparandi arvutamist (puudus reljeefiparandi arvutamiseks piisavalt täpne kõrgusmudel).



Joonis 3. Burrise gravimeeter nr B-30 ning gravimeetri tööd juhtiv väliarvuti (sinine) uuringumarsruudil m1 mõõtepunktil 6.

Mõõtepunktide kõrgused ja koordinaadid määrati satelliitsidel põhineva positsioneerimissüsteemi GPS (*Global Positioning System*) abil, täpsusega vastavalt ± 5 cm ja ± 2 cm. Kasutati geodeetilise klassi GPS aparatuuri Trimble 5800 (Joonis 4). GPS-ga määrati kõrgused GRS80 ellipsoidi suhtes, mis hiljem arvutati ümber 1977. a Balti kõrguste süsteemi (BK 77). Selleks kasutati Eesti Maaülikooli geodeesiaprofessori Harli Jürgensoni poolt väljatöötatud transformatsioonitasapinda EstGeoid2003 (Jürgenson, 2004). Kõrguse transformeerimise täpsuseks on hinnatud ± 5 cm, seega on lõplik kõrguste määramise täpsus \pm 10 cm. Geograafiliste koordinaatide ja kõrguse määramise veast tulenev raskuskiirenduse määramise viga on vastavalt $\pm 0,01$ ja $\pm 0,02$ mGal.

Juhul, kui looduslikud tingimused ei võimaldanud määrata punkti kõrgust GPS süsteemiga (näiteks tiheda metsa tõttu), määrati GPSi abil vaid punkti horisontaalkoordinaadid, kõrgus aga mõõdeti tehnilise nivelleerimisega, kasutades reeperitena lähimaid GPS-ga määratud mõõtepunkte või geodeetilise võrgu kindelpunkte.

Kokku teostati raskuskiirenduse mõõdistamine 2175-l reamarsruudi punktil (joonis 5). Kaardistamistööde täpsuse hindamiseks teostati kontrollmõõtmised 3% reamarsruudi punktide ulatuses. Raskuskiirendusanomaaliate Δg_a määramise täpsus oli ±0,028 mGal, üksikmõõtmise täpsus 0,004 mGal.



Joonis 4. Mõõtepunkti kõrguse ja koordinaatide määramine Trimble 5800 RTK GPSi abil.



Joonis 5. Raskusjõuvälja anomaaliate kaardistamise mõõtepunktid (täpsem kaart gr. lisa 1, topograafiline alus "Eesti baaskaart 1 : 50 000").

2.3 ELEKTROMEETRILISED MÕÕDISTAMISED

Väljaselgitatud raskuskiirendusanomaaliatel ja anomaalsetes piirkondades kontrolliti takistuste vertikaalsuunalist jaotumust vertikaalse elektrilise sondeerimise (VES) meetodil. Kuivõrd tiheduste jaotus uuritavate komplekside vahel on uuringuala piires küllaltki ebaselge, siis oli vaja täiendavat meetodit, mis võimaldaks fikseeritud anomaaliaid omavahel usaldusväärsemalt korreleerida. Selleks teostati sondeerimine kokku 47-1 sondeerimispunktil (joonis 6), mis valiti raskuskiirenduse graafikute tõlgendamistulemuste põhjal. Sondeerimistulemuste põhjal sondeerimiskõverad (lisa millede koostati 1), interpreteerimiseks kasutati numbrilist modelleerimist, püüdes leida kõverat rahuldav vähima võimalike kihtide arvuga geoelektriline läbilõige. Modelleerimistulemused annavad läbilõike tegeliku eritakistuste jaotumuse.

Mõõtmistel kasutati madalsageduslikku mõõteaparatuuri ANZ3. Toitevooluna kasutati madalasageduslikku (4,8 Hz) voolu, voolutugevusega 10–100 mA (sõltuvalt maandustingimustest valiti suurim võimalik voolutugevus – peamiselt 100 mA).



Joonis 6. VES sondeerimispunktid (täpsem kaart gr. lisa 1, topograafiline alus "Eesti baaskaart 1 : 50 000").

3. TÄRKANDMED

Kõik projekti raames loodud raskusjõuvälja tärkandmed koondati ArcGis andmebaasi, mis on vormistatud vastavalt kaardistamisjuhendi (Juhend..., 2008) nõuetele. Andmebaasi täiendused on edastatud Maa-ameti geoloogia osakonda.

Gravimeetriline and mebaas sisaldab alljärgnevat informatsiooni:

- marsruudi number (m reamarsruut, TP tugipunkt, GP geodeetiline punkt);
- mõõtepunkti number;
- mõõtepunkti X koordinaat L-Est97, m;
- mõõtepunkti Y koordinaat, L-Est97, m;
- mõõtepunkti kõrgus (H), BK77, m;
- kõrguse parand, mGal;
- raskuskiirenduse (g) väärtus, mGal;
- Bouguer' anomaalia, mGal, vahekihi parandile 2,67 g/cm³, arvutatud Helmerti 1901– 1909. a raskuskiirenduse normaalvälja valemi alusel, parandiga –14 mGal (Potsdami süsteem);
- Bouguer' anomaalia, mGal, vahekihi parandile 2,3 g/cm³, arvutatud Helmerti 1901– 1909. a raskuskiirenduse normaalvälja valemi alusel, parandiga –14 mGal (Potsdami süsteem);
- Bouguer' anomaalia, mGal, vahekihi parandile 2,67 g/cm³, arvutatud GRS80 raskuskiirenduse normaalvälja valemi alusel (IGSN71 gravimeetriline süsteem);
- Bouguer' anomaalia, mGal, vahekihi parandile 2,3 g/cm³, arvutatud GRS80 raskuskiirenduse normaalvälja valemi alusel (IGSN71 gravimeetriline süsteem);
- tööde teostamise periood või tööde piirkonna koodnimi.

Kuigi andmebaasis on esitatud Bouguer` anomaaliate väärtused vahekihi tihedustele 2,67 ja 2,3 g/cm³, tuleb silmas pidada, et lisas 1 esitatud graafikutel on toodud Bouguer´ anomaaliad vahekihi tihedusele 2,08 g/cm³. See erinevus on tingitud asjaolust, et andmebaas koondab endas kogu olemasolevat gravimeetrilist andmestikku ja seetõttu on otstarbekas kasutada kas maakoore keskmist tihedust 2,67 g/cm³ või paksu settekattega alade maakoore keskmist tihedust 2,3 g/cm³ kui globaalset koefitsienti. Antud konkreetse uuringu puhul on aga püstitatud ülesanne uurida kvaternaarisetete, mille tihedus jääb reeglina alla 2,0 g/cm³, paksust Devoni terrigeensete kivimite taustal. Devoni kivimite tiheduse kohta uuringualal täpsed andmed puuduvad, kuid teadaolevalt võib see varieeruda laiades piirides (1,8–2,4

g/cm³). Seepärast määrati antud ülesande jaoks sobilikem vahekihi tihedus välimeetodil. Üle prominentse reljeefivormi (Kütiorg), amplituudiga ~60 m, rajati uuringumarsruut, mille jaoks leiti selline vahekihi tihedus, et reljeefi mõju oleks minimaalne (joonis 7). Antud uuringupiirkonna puhul leiti sobilik vahekihi tihedus olevat 2,08 g/cm³. Sellest tihedusest madalamad tihedused põhjustavad selgelt negatiivse anomaalia ning suuremad lokaalse maksimumi.



Joonis 7. Sobiliku vahekihi tiheduse määramine uuringumarsruudi abil.

VES meetodil toodetud tärkandmestiku kui episoodilise andmekihi jaoks ei ole ArcGis andmebaasi loodud. See andmestik edastati Maa-ameti geoloogia osakonnale XLS formaadis tabelandmete failina. Kogu andmestik koondati faili "5422VES.xls" (joonis 8) ning tema tulpade sisu on järgmine:

- VES sondeerimispunkti number
- AB/2 toiteahela poolpikkus
- ρn (oom*m) mõõdetud näiveritakistus
- X ja Y sondeerimispunkti L-Est 97 koordinaadid;

VES	AB/2 (m)	pn (oom*m)	X (Est_L m)	Y (Est_L m)
1	1,5	393	698380,37	6402329,04
1	3	330	698380,37	6402329,04
1	5	221	698380,37	6402329,04
1	9	156	698380,37	6402329,04
1	9	165	698380,37	6402329,04
1	15	123	698380,37	6402329,04
1	15	129	698380,37	6402329,04
1	25	80	698380,37	6402329,04
1	40	63	698380,37	6402329,04
1	40	65	698380,37	6402329,04
1	65	63	698380,37	6402329,04
1	65	71	698380,37	6402329,04
1	100	61	698380,37	6402329,04
1	150	81	698380,37	6402329,04
1	220	88	698380,37	6402329,04
2	1,5	265	698057,97	6402090,05
2	3	193	698057,97	6402090,05
2	5	140	698057,97	6402090,05
2	9	96	698057,97	6402090,05
2	9	106	698057,97	6402090,05
2	15	85	698057,97	6402090,05
2	15	86	698057,97	6402090,05
2	25	95	698057,97	6402090,05
2	40	116	698057,97	6402090,05
2	40	108	698057,97	6402090,05

Joonis 8. Väljavõte tärkandmete failist 5422.xls.

4. RASKUSJÕUVÄLJA ANOMAALIATE GEOLOOGILINE TÕLGENDAMINE

4.1. KRISTALNE ALUSKORD.

Regionaalsel Bouguer anomaaliate kaardil (joonis 9) asub uuringuala Eesti territooriumit kagu–loode suunaliselt läbiva struktuuri, Paldiski–Pihkva vööndi (Puura jt., 1983), edelapoolsel maksimumide ahelikul, mis just uuringuala kohalt on häiritud ida–läänesuunalise miinimumiga. Viimane seostub Lõuna-Eesti struktuurivööndi kivimite, Lõuna-Eesti metamorfses kivimkompleksis arenenud sünorogeense graniidistumise vööndiga (Koppelmaa, 2002). See vöönd omab tõenäoliselt ka tektoonilist kontrolli, ning arvestades tema regionaalset ulatust võib oodata tema avaldumist ka pealiskorra kivimites ning võimalik, et isegi kaasaegses reljeefis.



Joonis 9. Bouguer anomaaliad Eesti territooriumil, vahekihi tihedusele 2,67 g/cm³, IGSN 71 gravimeetrilises süsteemis. Uuringuala on tähistatud punase kontuuriga.

Käesoleva uuringu käigus kogutud andmestik ei ole kahjuks anomaaliate kaardi mõõtkavas 1 : 50 000 koostamiseks piisav. Siiski, kui koostada anomaalne väljapilt olemasolevate uuringumarsruutide lõikes (joonis 10), näeme, et kõik varasemate regionaalsete tööde käigus väljaeraldatud anomaaliad leiavad kinnitust. Lisaks on uuringumarsruudil M17 (lisa 1) fikseeritud positiivne regionaalne anomaalia, amplituudiga 2 mGal, mis varasematel ülevaate-kaartidel puudub. Kuivõrd anomaalia on fikseeritud vaid ühel marsruudil ning tema täpne amplituud, ulatus, konfiguratsioon ega ka suhted üldise väljapildiga ei ole seetõttu selge, ei saa siinkohal hakata spekuleerima anomaalia põhjuste üle. On vaid selge, et tegemist on üldisest metamorfsest kompleksist selgelt tihedama kivimkehaga, mille ulatus kirdest edelasse on ca. 6 km. Sarnane, kuid väiksema intensiivsusega (1 mGal) ning levikuga anomaalia on

ilmselt fikseeritud ka marsruudi M8 lääneosas ning osaliselt marsruudi M15 lääneservas. Kahjuks on ka siin andmestik liiga hõre järelduste tegemiseks. Tuleb ka silmas pidada, et aluskorra struktuuri uuring ei ole antud projekti ülesanne.



Joonis 10. Bouguer anomaaliad Võru lehe geofüüsikalisel uuringul rajatud uuringumarsruutidel.

4.2 ALUSPÕHI JA KVATERNAAR.

Varasemad kogemused mattunud orgude uurimisel Devoni avamusel Tartu (Gromov jt., 1981), Viljandi (Halliste jt., 1983) ja Valga (Liibert jt., 1987) piirkonnas on näidanud, et muutlike kvaternaarisetete poolt põhjustatud anomaaliate spekter võib siin ulatuda positiivsest negatiivseni ning kohati sootuks puududa. Seetõttu ei ole siin kõnealuste orgude väljaselgitamine ilma piisava hulga kontrollpuurimisteta võimalik. Seda väidet kinnitavad ka Võru linna vesivarustuse eesmärgil teostatud varasemad gravimeetrilised uuringud (Kuptsov jt., 1989). Uuringumarsruutide M6 ja M7 (joonis 2) ristumiskohas, nelja 250 m raadiuses asuva puurkaevu andmetel on kvaternaarisetete paksus 80–85 m (tuleb muidugi silmas pidada, et tegemist on puurkaevudega, mis on puuritud ilma puursüdamikuta ning seega ei pruugi Devoni ja Kvaternaari piiri määramine olla piisavalt usaldusväärne. Olemasoleva faktilise materjali analüüs osutab puurkaevudes Kvaternaari paksuse süstemaatilisele erinevusele paksenemise suunas, võrreldes puuraukude andmestikuga), täheldati vaid Δg_a välja mustris nõrku miinimume, mis korreleerusid maastikul madalate soostunud aladega ning oleksid tõlgendatavad 4-5 m paksuse turba kihiga. Vaid uuringumarsruutidel 2 ja 3 on fikseeritud selge Δg_a anomaalia, intensiivsusega -0,4 mGal ja laiusega ~1km, mis viitab mattunud oru esinemisele. Kõnealune org on Eesti aluspõhja geoloogilisel kaardil 1: 400 000

(Suuroja, 1997) kujutatud Tamula järvest Tabina järveni ning Piusa ürgoruni ulatuva idaläänesuunalise laia mattunud oruna ning ta on tuntud Võru-Hargla mattunud oruna. Seda orgu kontrolliti ka antud uuringu raames kuue põhja–lõunasuunalise marsruudiga (M5, M7, M10, M16, M11 ja M12, joonis 5, graafiline lisa 1). Objekt on jälgitav kaasaegses reljeefis soostunud alanguna (absoluutsed kõrgused alla 70 m) ning fikseerub Δg_a väljas miinimumidena intensiivsusega –0,17 – –0,54 mGal. See struktuur jagab kaardilehe sisuliselt kaheks osaks, millest lõunapoolsel ületavad absoluutsed kõrgused enamasti 100 m piiri, kuid põhjapoolsel jäävad need reeglina vahemikku 80–90 m.



Joonis 11. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Võhandu jõe ülemjooksul. Täiendused: 1. Vanad uuringumarsruudid koos uuringumarsruudi numbriga (Kuptsov jt., 1989) – punane sirgjoon koos punase kirjega, 2. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 3. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Põhja poolsele uuringuala osale on iseloomulik, et siia rajatud uuringumarsruutide piires avastati suhteliselt vähe lokaalseid anomaaliaid, mida võiks seostada kvaternaarisetete

paksenemise ja/või mattunud orgudega. Enamus avastatud lokaalsetest anomaaliatest on siin negatiivsed, amplituudiga –0,2 – –0,3 mGal, harvem –0,5 – –0,8 mGal. Valdavalt langevad need kokku lineaarselt väljavenitatud järvede süsteemidega, jõgedega ning madalate soostunud aladega kõrgemate reljeefiosade vahel. Mõned neist moodustuvad huvipakkuvaid anomaaliate ahelikke, mis kulgevad lehe põhjaservast kuni Võru–Hargla mattunud oruni. Neist selgemini väljendunud on piki Võhandu jõe põhja–lõunasuunalist osa Paidrast Lasva järveni ning sealt edasi lõuna poole kuni Noodasjärveni kulgev anomaaliate ahelik (joonis 12). Sellele liitub kaardilehe põhjaservas veel Pikkjärve–Kärnjärve joonel kulgev samalaadne anomaaliate vöönd.



Joonis 12. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Lasva asula piirkonnas. Täiendused: 1. Vanad uuringumarsruudid koos uuringumarsruudi numbriga (Kuptsov jt., 1989) – punane sirgjoon koos punase kirjega, 2. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 3. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Meie esialgse tõlgenduse kohaselt võib Võru-Hargla oru näol olla tegemist ennejääaegse mattunud oruga ning ülejäänud külgnevad harud võivad suure tõenäosusega kujutada

hilisemaid vagumusi, mis on täitunud nooremate kvaternaarsete setetega. Paraku puudub Võru–Hargla vagumuses siiani usaldusväärne kvaternaarisetete paksuse kontroll puurimise abil. Enamus puurauke, mis läbistavad Kvaternaari, on rajatud kruusa-liiva otsingu eesmärgil, mistõttu nad on väikese vertikaalse ulatusega ning lokaliseerunud vagumuse servadel. Vagumuse piiresse rajatud puuraugud on enamuses puuritud samal eesmärgil, nende sügavus jääb alla 20 m ning nad vaid konstateerivad fakti, et kvaternaarisetted jäid sellisel sügavusel läbimata. Saamaks paremat ettekujutust kvaternaarisetete võimalikust paksusest nii selle kui ka teiste vagumuste piires, rajati hulk VES sondeerimispunkte. Paraku tuleb tõdeda, et ka siin saab takistuseks usaldusväärse võrdlusandmestiku puudumine. Ilma tugipuuraukude ning markeerivate horisontideta jääb selle materjali interpreteerimise usaldusväärsus kahjuks küsitavaks. Pole ka mujalt Eesti territooriumilt võtta uuringutulemusi, mida saaks rakendada kui tõlgenduste etalone või analooge. Siiski on suur osa avastatud raskuskiirenduse anomaaliatest kontrollitud sondeerimisega ning tehtud ka sondeerimistulemuste esmane kvantitatiivne analüüs. Seeläbi on antud esialgne hinnang kihtide eritakistusele ning seejärel, arvestades Δg_a intensiivsust ja iseloomu, olemaolevat faktilist materjali, eeldatavat tiheduste kontrasti ($\Delta\delta$) ning oletatavat settekomplekside takistuste jaotumust hinnatud ka erinevate komplekside paksusi (lisa 1). Siinkohal tuleb aga silmas pidada, et see interpretatsioon ei ole ilma täiendavate puurimisandmeteta piisavalt usaldatav.

Valga piirkonnas teostatud uuringud (Liibert, 1987) osutavad, et Devoni terrigeense kompleksi eritakistus jääb seal vahemikku 70–80 Ωm. Kuivõrd Valga piirkonnas avanevad aga Kesk-Devoni Burtnieki ja Aruküla lademete kivimid, mis on nõrgalt tsementeerunud ning peaksid olema väiksema eritakistusega kui Võru piirkonnas avanevad Gauja ja Amata kivimid, siis võib siin eeldada aluspõhja terrigeense kompleksi eritakistuseks vähemalt 100 Ωm. Kaardilehe lõunaosas, kus levivad Ülem-Devoni tugevalt dolomiidistunud ning karstunud karbonaatkivimid, võib aluspõhja eritakistus ulatuda 200-300 Ωm. Kvaternaarisetete eritakistused peaksid jääma allapoole seda väärtust, kuid kuivade liivade levikualal on kvaternaarisetete eritakistused kindlasti kõrgemad (500–3000 Ω m).

Võru–Hargla vagumuses on intensiivsed Δg_a miinimumid (–0,4 mGal) fikseeritud uuringumarsruutidel M5 ja M10 (lisa 1 lk. 6 ja lk. 11, graafiline lisa 1). Kvaternaari setete paksus on siin hinnanguliselt 32 m, raskuskiirenduse anomaalia tõlgendamiseks vajalik $\Delta \delta$ on sellisel juhul –0,3 g/cm³, mis on suhteliselt usutav.

Marsruudil M27 on fikseeritud negatiivne raskuskiirendusanomaalia intensiivsusega -0,8 mGal. See anomaalia korreleerub Võru-Hargla vagumusse põhja poolt suubuva väiksema,

juba eelpool mainitud, Lasva järve piirkonnast siiani kulgeva vagumusega (joonis 13, lisa 1 lk. 28, graafiline lisa 1). VES 31 interpretatsiooni põhjal lasub 9 m paksuse madalatakistuselise kvaternaarisetete kihi all tüse, homogeenne kompleks eritakistusega 70 Ω m. Juhul kui arvestada, et see tüse homogeenne kiht on Devoni terrigeenne kompleks, millel lasub 9 m paksune Q kompleks, peab avastatud anomaalia tõlgendamiseks vajalik D ja Q vaheline $\Delta\delta$ olema vähemalt –2,08 g/cm³, mis ei ole reaalne! Seega tuleb järeldada, et tüse homogeenne kompleks kuulub Kvaternaari ning VES meetodil ei õnnestunud seda kompleksi aluspõhja kivimiteni läbida. Kui arvestada $\Delta\delta$ väärtuseks ~0,3 g/cm³, siis peab Q paksus siin olema vähemalt 60 m või enam. Kahjuks ei ole lähipiirkonnas ühtegi puurauku, mis seda oletust kinnitaks või ümber lükkaks (joonis 13).



Joonis 13. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 uuringumarsruut M27 piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Uuringumarsruudil M4 (lisa 1, graafiline lisa 3) fikseeritud negatiivse raskuskiirendusanomaalia, intensiivsusega –0,38 mGal, piires annab VES 38 kvantitatiivne analüüs Kvaternaari paksuseks 40,2 m, $\Delta\delta$ väärtuseks saame sellisel juhul –0,23 mGal. Kui rakendada seda sama tiheduskontrasti ka marsruudil M2 idaosas (lisa 1 lk 3), Tsolgo küla piirkonnas (graafiline lisa 1) avastatud intensiivse raskuskiirendusmiinimumi, amplituudiga –0,72 mGal, tõlgendamiseks, siis saame kvaternaarisetete hinnanguliseks paksuseks 75 m, mis on heas kooskõlas läheduses asuva puurkaevu andmestikuga (joonis 14).



Joonis 14. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Tsolgo ja Kannu küla piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Võimalik, et umbusk kvaternaarisetete paksuse määrangute osas ekspulatatsioonilistes puurkaevudes on õigustatud vaid osaliselt. Näiteks Kääpa asula piirkonnas, Võhandu jõe orus, uuringumarsruudil M1, mõõtepunkti 46 piirkonda rajatud VES 34 põhjal (joonis 11, lisa 1 lk 35) hindasime me kvaternaarisetete paksuseks 19,9 m. $\Delta\delta$ väärtuse –0,3 mGal puhul ei tohiks kvaternaarisetete paksus jõeorus ületada 25 m, mis on küllaltki heas kooskõlas lähikonda rajatud tarbepuurkaevude andmetega.

Väiksemõõtkavalise kaardistamise käigus väljapakutud mattunud org, mis kulgeb Navilt kirdesse Väimela poole (joonis 15, graafiline lisa 1) on kontrollitud kolme, üksteisest suhteliselt kaugel asetseva marsruudiga M2, M3 ja M30. Kõnealuse suunaga assotsieerub pigem positiivsete (+0,15 - +0,42 mGal) anomaaliate ahelik, mis kuuluvad keerulise konfiguratsiooniga valdavalt negatiivse anomaalia mustrisse. Sondeerimine uuringumarsruudi M30 50ndal mõõtepunktil (VES 40) (lisa 1 lk 31) lubab Q paksuseks tõlgendada vaid 9 m, mis peaks olema esindatud madalatakistuselise saviliivaga (50 Ω m), mille all lasuvad Devoni terrigeensed kivimid eritakistusega 105 Ωm. VES 38 marsruudi M3 mõõtepunktil 23 (lisa 1 lk 4) on rajatud suhtelisele raskuskiirenduse maksimumile, mis liigestab ulatuslikumat miinimumi (mõõtepunktid 9-37). Siin annab kvantitatiivne analüüs meile 66 m paksuse madalatakistuselise (73 Ωm) kompleksi, mida võib lugeda Kvaternaari savikateks aleuriitideks ning aluspõhja kivimid peaksid siin lasuma ~67 m sügavusel. Sama marsruudi raskuskiirenduse miinimumile (mõõtepunkt 34) rajatud VES 37 fikseerib aga eeldatavasti Devoni kompleksi tähistavad eritakistused (112–108 Ω m) juba sügavusel 4,7 m. Sellise Q paksuse juures oleks aga raskuskiirendus anomaalia tõlgendamiseks vaja $\Delta\delta$ väärtust 2,13 g/cm³, mis ei ole reaalne. Kui eeldada, et ka kõrgetakistuseline kompleks osutab siin veidi tihedamale ning kõrgema takistusega Q kompleksile (moreen), siis saame Q paksuseks ~79m ning $\Delta\delta$ –0,12 g/cm³. Selline tõlgendus on geoloogiliselt hoopis tõenäolisem.

Sarnane keerukas raskuskiirenduse miinimum on registreeritud ka marsruudi M30 idaosas (lisa 1 lk 31). VES 39 alusel võib siin Q paksuseks tõlgendada 34 m. Kõnealune miinimum on jälgitav ka kaardilehe loodenurgas marsruudil M2 (lisa 1 lk 3, graafiline lisa 1). Sarnased miinimumid, mis on ka eelpoolmainitutega korreleeruvad, avastati ka Võru linna vesivarustuse uuringute käigus (Kuptsov jt., 1989) uuringumarsruutidel 1, 6 ja 7. Tundub, et kõik need miinimumid markeerivad küllaltki paksu Kvaternaari setete kompleksiga loode–kagu suunalist vagumust, mis suubub Nõnova piirkonnas Võru–Hargla mattunud orgu. Siiski on olemasolev andmestik selle struktuuri usaldusväärseks kontuurimiseks napp ning võimaldab hetkeseisuga teda kujutada vaid fragmenditi. Struktuuri on vaja täiendavalt uurida nii gravimeetria kui ka VES meetodiga ning kontrollida puurimisega.



Joonis 15. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Navi ja Väimela piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Võru–Hargla mattunud org ühineb kaardilehe idaosas Piusa ürgoruga, mis on selgelt jälgitav tänapäeva reljeefis (joonis 16). Piusa org on fikseeritud marsruudil M11 ulatusliku miinimumiga, mille amplituud on –0,5 mGal (lisa 1 lk 12, graafiline lisa 1). Selle anomaalia laius (3 km) on aga oluliselt suurem kui Piusa ürgoru ning ka temaga assotsieeruva väiksemõõtkavalise kaardistamise käigus väljaeraldatud mattunud oru laius. Kuivõrd Bouguer´ anomaalia puhul ei ole arvestatud reljeefi parandit, siis on anomaalia laienemine osaliselt seotud kaasaegse jõeoru järskude ja kõrgete kallaste mõjuga, kuid see ei ole piisav seletus. Ka VES punktid kinnitavad, et siin võib olla tegemist hoopis laiema mattunud oruga.



Joonis 16. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Tabina piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

VES 22 (lisa 1 lk 12), mis asub anomaalia idanõlval, esialgne interpretatsioon annab Q paksuseks vaid 4,5 m ning eritakistuseks 14–25 Ω m, mis vastaks savidele või väga savikatele setetele. Selle lamamiks on aga tüse kompleks eritakistusega 377 Ω m, mis võiks vastata D₃ karbonaatsele kompleksile. Pole aga andmeid, et Ülem-Devoni levila ulatuks nii kaugele põhja. Kui VES kõvera tõlgendamisel valida maksimaalselt väike alumise kihi (Devoni) eritakistus, mis antud juhul oleks 300 Ω m (võimalik, kui Kesk-Devoni terrigeensed kivimid on tugevalt tsementeerunud), siis suureneb nii Q paksus kui ka eritakistus. Q paksus ulatuks sellisel juhul 34 m-ni, millest alumised 27,4 m moodustaks kõrgetakistuseline (718 Ω m) kompleks. Viimane võiks geoloogiliselt kujutada kuiva ja hästisorteeritud liiva kihti. See seletaks ka hästi tugevat raskuskiirenduse miinimumi. Kuivõrd puuduvad otsesed puurimisandmed, siis on vaatamata nii erinevatele tõlgendustele raske üheselt öelda, kumb on usutavam. VES 23, mis asub raskuskiirendusanomaalia intensiivses osas, kuid väljaspool

ürgoru piire, on võimalik Q paksuseks interpreteerida 38–87 m. Seejuures varieerub kõrgetakistuselise liivakompleksi eritakistus vastavalt 1810–1248 Ωm ning lamamiks oleva Devoni kivimite eritakistus 435–340 Ωm. VES 25 asetseb ürgoru põhjas, siin on fikseeritud kõrgetakistuseline liiva kiht vaid läbilõike kõige ülemise 3,3 m piires. Vahetult maapinnale avanevate liivade takistus on väga kõrge (üle 3000 Ωm), mis on hästisorteeritud liivade puhul täiesti arusaadav. Selline kõrge pindmise kihi takistus põhjustas ka mõõtmiste teostamisel tõsiseid maandusprobleeme. Sügavamal, kus niiskuse osakaal mõnevõrra suureneb, on ilmselt samasuguste liivade eritakistus 1700 Ωm. Kui arvestada VES 22, 23 ja 24 absoluutkõrguste vahet (viimane on esimestest ca 40 m madalamal), siis tundub, et interpretatsioon, mis toetab tüseda kõrgetakistuselise liivakihi esinemist väljaspool ürgorgu, on küllaltki tõenäoline. Ka ürgoru läänekaldale, uuringumarsruudile M12 rajatud VES 25 fikseerib kõrgetakistuselise (627 Ωm) kvaternaarisetete kihi (lisa 1 lk 13). Võib järeldada, et mattunud org on siin kaetud tüseda liiva-kruusa kompleksiga, millest ürgoru piires on säilinud vaid jäänused ning vahetult ürgoru nõlvadele on kuhjunud paksem moreeni kompleks. See võib seletada ka Võru–Hargla oru nõrga efekti uuringumarsruutidel M12 ja M16 (lisa 1 lk 13 ja 17).

Kaardilehe lõunaosas on gravimeetrilised marsruudid rajatud hõreda võrguna Haanja kõrgendiku nõlvadele, vahekaugusega 2–4 km. Esialgu püüti regoknostseerivad marsruudid rajada nii, et saaks maksimaalselt ära kasutada olemasolevat teedevõrku nii, et saaks projektijärgsete mahtudega uuritud mattunud orgude esinemisvõimalused suuremal osal kaardialast. Kuivõrd puudus vajalik eelteave, siis püüti marsruutide rajamisel jälgida, et need ristuksid eelkõige kas kõrgustiku nõlva ja/või olemasolevate vooluteedega. Hilisema tõlgendamise käigus selgus, et mitte kõik marsruudid ei osutunud projekti eesmärke arvestades kõige õnnestunumalt planeerituks. See puudutab eelkõige kõrgustiku põhjanõlva, kus on lokaliseeritud mitu põhja–lõunasuunalist uuringumarsruuti. On alust arvata, et mitmed erosioonilised vagumused võivad siin olla uuringumarsruutidega samasuunalised ning seetõttu ei õnnestunud neid sellesuunaliste uuringumarsruutidega usaldusväärselt fikseerida. Selle teooria kontrolliks oleks siia vaja mõned täiendavad ida–lääne suunalised marsruudid.

Üks taolistest vagumustest võib olla fikseeritud uuringumarsruudil M31 mõõtepunktide vahemikus 25–34 (lisa 1 lk 32, graafiline lisa 1). See struktuur on ilmselt fragmentaarselt fikseeritud ka marsruudil M5 (joonis 17) mõõtepunktide 45–57 ja 62–74 vahemikus (lisa 1 lk 6). VES 43, marsruudil M31, annab kvaternaarisetete paksuseks vaid 16,5 m (liiv, kruus). Marsruudil 5 annab aga VES 44 sama kompleksi paksuseks juba 60 m.



Joonis 17. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Verijärve piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Uuringumarsruudil 7 (lisa 1 lk 8) on fikseeritud terve rida nõrku miinimume. Noodasküla asula lähistel on siin praeguseks tegutseva kruusakarjääri uuringul puuritud terve rida puurauke, mis avavad aluspõhja kivimeid (joonis 17). Kvaternaarisetete paksus on siin küllaltki muutlik, kuid ei ületa reeglina 10 m. Võru–Hargla mattunud oru piir ei ole selles lõigus antud materjalide alusel üheselt tõlgendatav ning vajaks samuti täiendavaid uuringuid. Tööde planeerimisel pöörati peamine tähelepanu siiski juba eelnevalt väikesemõõtkavalise kaardistamise käigus väljaeraldatud orgudele. Seetõttu kontrolliti ka seeria suhteliselt lähestikku asetsevate marsruutidega Noodasjärve järvest piki Kütiorgu lõunasse ning Vana-Saluse kandist piki Piusa jõe orgu itta ning hiljem kirdesse pöörduvat mattunud orgu (graafiline lisa 1, marsruudid M23, M13, M24, M16, M21, M14, M15, M8, M26 ja M9). Kõige intensiivsem (–0,8 mGal)ja selgem anomaalia on siin fikseeritud piki Võru–Vastseliina maanteed kulgevat marsruuti M8, mõõtepunktid 21–48 (lisa 1 lk 9). Mõõtepunktil 30 asuva

VES 19 kvantitatiivne tõlgendamine osutab, et läbilõike ülemise otsa moodustavad kõrge takistusega liivad (1373 Ω m, 9 m), mille all lamavad oluliselt savikamad setted (44 Ω m, 19 m). Siin tuleb muidugi tõdeda, et läbilõike ülemises osas esinev väga järsk omaduste kontrast teeb paraku interpreteerimise väga keeruliseks, millele viitab ka väga halb korrelatsioonikoefitsient K (lisa 1). Uuringumarsruudil M9 paraku aga sellist selget anomaaliat fikseerida ei õnnestunud, mõõtepunktide vahemikus 8–35 on fikseeritud lai ebakontrastne ning keeruka mustriga anomaalia, mille maksimaalne amplituud on -0.25 mGal. Miinimumi komplitseerib omakorda mõõtepunktide vahemikus 19–22 asuv suhteline maksimum. Lähedal asuv puurkaev annab siin Q paksuseks siiski 55 m (joonis 17). Vastseliina piirkonnas, kus org muudab järsult oma suunda, on fikseeritud terve rida selliste maksimumide ja miinimumide vaheldumist oletatava oru piires (joonis 18), mis annab tunnistust, et antud juhul tuleks orgu seostada eelkõige mosaiikse väljamustriga.



Joonis 18. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Vastseliina piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Nii on näiteks marsruudil M13 (lisa 1 lk 14) avastatud terve seeria järjestikuseid maksimume ja miinimume, millest üks maksimum on väga kontrastne, amplituudiga +0,4 mGal. Sarnaste tööde kogemusest Tartu ja Valga piirkonnas võib eeldada, et tegemist võiks olla mattunud oru keskosas ladestunud tihedama moreenist "tuumaga". Kõnealusele maksimumile rajatud sondeerimispunktis VES 1 on interpreteeritud Q paksuseks 57,6 m, millest 49,5 m on madalatakistuselised (58 Ω m). See kompleks võiks olla savikas moreen. 400 m edelas asuv VES 2 võimaldab Q paksuseks arvestada vaid 18,4 m ning aluspõhja pealispinna tase tõuseb siin sellisel juhul absoluutkõrgusele 120 m (VES 3 puhul oleks see näitaja 80 m). Vahetult VES 1 lähipiirkonnas asuvad puurkaevud annavad Q paksuseks 61 ja 72 m (joonis 18).

Vastseliina asula piirkonda rajatud marsruutidel M16 (lisa 1 lk 17), 21 (lisa 1 lk 22) ja M24 (lisa 1 lk 25) ilmneb eelpoolmainitud maksimum veelgi kontrastsemalt, kuigi marsruudil 21 on tema ulatus oluliselt väiksem kui kahel eelneval mainitud marsruudil. Maksimaalne amplituud on +0,75 mGal. Marsruudil 24 rajasime anomaalia tsooni sondeerimispunktide marsruudi (lisa 1, lk 25, VES 3-8). See võimaldas anomaalia piires koostada ka vastava isooomilise läbilõike. Kvaternaarisetete paksus on esialgse interpretatsiooni alusel hinnatud 37-43 m ning aluspõhja pealispind lasub ligikaudu absoluutkõrgusel 100 m. Raskuskiirenduse maksimumi piires on hinnatud suurim madalatakistuseliste (50-90 Ωm) setete paksus, mis võiks vastata savika moreeni esinemisele. Sondeerimispunktil VES 8 (maksimumi ja miinimumi piiril) moodustab Q alumise 22,6 m kõrgetakistuseline kompleks (750 Ωm), mis võiks esindada liivakat moreeni või liiva/kruusa lasundit. Samas annab aga uuringumarsruudil M16 asuv VES 9, mis asub raskuskiirenduse maksimumil, väga sarnase tulemuse VES 8-ga. Nimelt 30,4 m Q paksuseks, millest 24 m moodustab kõrgetakistuseline (450 Ωm) kompleks. Erinevuseks on siin vaid aluspõhjakivimite selgelt madalam takistus (93 Ω m). Samal marsruudil annab VES 10 aga jälle suure Q paksuse (42 m) ning oluliselt kõrgema aluspõhja eritakistuse (213 Ωm). Veelgi lääne pool, marsruudil M21 (lisa 1 lk 22) annab VES 12 raskuskiirenduse miinimumil Q paksuseks 27,6 m ning aluspõhja eritakistuseks 165 Ωm. Kohe kõrval asuv VES 13 aga Q paksuseks vaid 8,2 m ning aluspõhja eritakistuseks 335 Ω m. Marsruudil 14 on Piusa jõe orus fikseeritud terve erimärgiliste anomaaliate süsteem. VES 14 ja VES 16, mis on rajatud raskuskiirenduse maksimumidele, osutavad läbilõike ülemises osas kõrgetakistuselise kompleksi (1816–2167 Ωm) esinemisele (liivad vastavalt paksusega 2 ja 4,8 m). Raskuskiirenduse miinimumile rajatud VES 15 lubab aga Q paksuseks arvestada 41,8 m, juhul kui aluspõhja eritakistus on kõrge (285 Ω m).

Selgub, et lokaalsed raskuskiirenduse maksimumid, mis on fikseeritud suhteliselt kõrgetel reljeefi punktidel, peegeldavad peamiselt kvaternaarisetete koostist, kuid samas võivad anda tunnistust ka nende paksuse muutustest. Kui arvestada, et aluspõhja ja Kvaternaari tiheduste kontrast jääb enamaltjaolt 0,3 g/cm³ piirkonda, siis vastab 0,4 mGal amplituudiga anomaaliale Q paksus ligikaudu 30 m, väiksema kontrasti puhul see paksus aga suureneb.

Uuringumarsruudist M14 lääne pool org jaguneb ilmselt kaheks (joonis 18). Üks haru järgib edasi Piusa jõe orgu, teine pöördub aga põhja, järgides Surja oja.

Uuringumarsruut M25 kulgeb risti Piusa jõe oruga tema ülemjooksul (joonis 18, lisa 1 lk 26). Siin on fikseeritud lai raskuskiirenduse miinimum, mis on suhtelise maksimumiga jagatud kaheks. VES 17 alusel on siin Q paksuseks hinnatud 25 m, ning aluspõhjakivimite eritakistus 304 Ω m, mis võib viidata Devoni karbonaatse kompleksi laiemale levikule kui see on kujutatud väiksemõõtkavalisel kaardil (Suuroja, 1997).

Surja ojaga ristub marsruut M15, kuid kontrastset anomaaliat siin ei avastatud. On fikseeritud vaid suhteliselt lauge miinimum, amplituudiga –0,25 mGal. Huvipakkuv on, et siin on fikseeritud ka hästi lokaliseeritud raskuskiirenduse maksimum, mis korreleerub hästi marsruudil M8 avastatud sarnase maksimumiga (joonis 18). Kahjuks ei võimaldanud keerukas reljeef ja tugevalt võsastunud ning metsaga kaetud maastik teostada siin elektrilist sondeerimist.

Palju ilmekam raskuskiirenduse miinimum on fikseeritud aga põhja pool uuringumarsruudil M26, Kütioru suusabaasi piirkonnas. Anomaalia amplituud on siin –0,8 mGal. Anomaali laius on siin mõnevõrra suurem kui kaasaegse oru oma. Tuleb märkida, et Δg miinimum on kõige ilmekam just anomaalia servaaladel, kuid keskosas, kaasaegse oru kõige sügavamas osas, ei ole see nii selge ning on täheldatav isegi mõningane Δg väärtuste tõus. Tõenäoline seletus võib siin olla kristalsete veeriste ja rahnude kontsentreerumine oru keskosas. Samalaadne situatsioon on tegelikult jälgitav peaaegu kõigi Haanja kõrgustiku nõlvadel asetsevate orgude puhul. Anomaalia puudumine uuringumarsruudil M9 võib viidata mattunud oru edasisele kulgemisele hoopis lääne või loode suunas piki Verijärve poole suunduvat järvede ja orgude süsteemi, mille piires on anomaaliad fikseeritud marsruutidel M7 ja M5.

Haanja kõrgustiku läänenõlva uurimiseks rajati esmalt uuringumarsruut M17 (joonis19, lisa 1 lk 18), mille alusel planeeriti siin edasised tööd. Tulemuseks oli uuringute kontsentreerimine Kubija järvest lõunasse suunduva oletatava mattunud oru uurimisele.

Uuringumarsruudil M17 mõõtepunktide vahemikus 18–36 (±0,25 mGal) fikseeritud raskuskiirenduse miinimumide süsteemi on võimalik mingil määral seostada Kubija ja Üra

ojade sängide suunaga. Marsruudil M18 mõõtepunktide vahemikus 10–27 on jälgitav aga juba hoopis intensiivsem anomaalia –0,7 mGal. Viimane on keerulise ehitusega ning liigestatud kahe suhtelise maksimumiga, mis on üldiselt Lõuna-Eesti mattunud orgude anomaaliatele tüüpiline. See anomaalia peaks korreleeruma marsruutidel M17 ja M19 avastatud anomaaliatega, kuid anomaaliate keerulise ehituse ja hõreda uuringuvõrgu tõttu on seda korrelatsiooni raske näha.



Joonis 19. Täiendatud väljavõte graafilisest lisast 1 Kasaritsa piirkonnas. Täiendused: 1. puurkaev ja selles määratud Q paksus – sinine punkt valgel taustal ning sinine kirje valgel taustal, 2. puurauk ja selles määratud Q paksus – oranž punkt valgel taustal ning oranž kirje valgel taustal. Mõõtkava suvaline, mõõtepunktide vahemaa gravimeetrilistel marsruutidel 100 m.

Marsruudil M32 mõõtepunktide vahemikus 6–19 avastatud intensiivne raskuskiirenduse miinimum (–0,75 mGal) (lisa 1 lk 33) seostub otseselt Kubija järvest lähtuva orgude

süsteemiga. Samas on aga marsruudil 34 (joonis 19) mõõtepunktide vahemikus 41–48 (vahetult järve lõunaotsas asetsevas orundis) fikseeritud vaid nõrk (–0,25 mGal) anomaalia. Järve põhjaotsaga ristuval marsruudil M22 on siin aga jälgitav sootuks lauge, nõrk maksimum. Võib arvata, et raskuskiirendusanomaaliate intensiivsus väheneb kõrgustikust põhja suunas, mis võib olla seotud Q paksuse vähenemisega selles suunas. Enamus eelpoolmainitud raskuskiirendusanomaaliaid amplituudiga –0,5 – –0,75 mGal seonduvad vähemal või rohkemal määral küngastega, mille piires ilmselt levivad väiksema tihedusega liivakas-kruusakad setted. Nii näiteks on marsruudil M17 mõõtepunktis –1 asuva VES 45 andmetel siin Q paksus 84,6 m, millest 70,4 m moodustavad ilmselt kõrgetakistuselised liivad (1470 Ω m). Mõõtepunktil 70 asuv VES 47 lubab Q paksuseks 65,5 m, millest 42 m on samuti tugevalt liivakad setted (630 Ω m).

VES 46 M17 mõõtepunktil 6 võib osutada aluspõhjakivimite pinnalähedasele lasumusele (1,9 m), kui arvestada, et meie interpretatsioonis (lisa 1 lk 18) esitatud 18 m paksune kvaternaarisetete kiht, eritakistusega 92 Ω m, on tegelikult aluspõhja (98 Ω m) ülemine kompleks.

Huvitava tulemuse andis VES 41 (marsruut M22, mõõtepunkt 9, lisa 1 lk 23) tõlgendamine. Kuni sügavuseni 53 m valdavad setted eritakistusega 62–66 Ω m, nende all on aga oluliselt savikam kompleks eritakistusega 46 Ω m. Tundub, et siin ei õnnestunud sondeerimisega Kvaternaari kompleksi läbida. Lähedalasuvas puurkaevus on Q paksuseks antud 68 m.

Huvitav on märkida ka, et läbi Rõuge ürgoru rajatud marsruudi M17 lõpuosas fikseeriti küll oruga korreleeruv anomaalia, kuid selle intensiivsus (–0,25 mGal) osutus oluliselt väiksemaks kui me ootasime. Lähedal asuv puurauk nr. 349 annab Q paksuseks 180 m. Sellise settekihi paksuse ja anomaalia intensiivsuse puhul on tõlgendamiseks vajalik tiheduste kontrast vaid –0,03 g/cm³. Marsruudil M20 on aga sama anomaalia intensiivsus juba –0,42 mGal ning ta on laiem kui kaasaegses reljeefis jälgitav kitsas org (joonis 19).

KOKKUVÕTE

Vastavalt Eesti Geoloogiakeskuse ning Maa-ameti vahel sõlmitud töövõtulepingule teostati geofüüsikalised uuringud Võru (5422) lehel. Uuringute käigus püüti kontrollida väiksemõõtkavalise kaardistamise käigus väljaeraldatud mattunud orge ning selgitada ka seni avastamata orgude esinemisvõimalust.

Varasemate tööde käigus väljaeraldatud mattunud orud leidsid valdavalt tööde käigus osaliselt kinnitust, kuid nende täpse konfiguratsiooni ja ulatuse selgitamiseks on vajalikud veel täiendavad uuringud. Seni teadmata oletatav mattunud org avastati kaardilehe põhjaosas, kus ta kulgeb Lasva asulast põhja suunas.

Selgus, et gravimeetrilise ja elektromeetrilise meetodi kombinatsioon töötab püstitatud ülesande lahendamisel hästi kaardilehe põhja- ja kaguosas, kus reljeef on suhteliselt tasasem ning kvaternaarisetete üldine paksus suhteliselt väike. Kaardilehe edelaosas, keerulise reljeefi ja paksu settekattega aladel, on tulemuse interpreteerimine komplitseeritud.

Uuringute tulemustesse tuleb suhtuda teatava reservatsiooniga, kuivõrd tööde piirkonnas puuduvad usaldusväärsete intepretatsioonide tegemiseks vajalikud võrdlus- ning puurimisandmed. Käesolevat aruannet tuleks eelkõige käsitleda kui alusmaterjali Eesti Geoloogilise Baaskaardi Võru lehe aluspõhja reljeefi ja kvaternaarisetete teemakihtide koostamiseks vajalike edasiste uuringute planeerimise lähtematerjali. Enamus aruandes esitatud tõlgendusi tuleks uute puurimisandmete ilmumisel kriitiliselt üle vaadata ning vajadusel ümber interpreteerida.

KIRJANDUS

TRÜKISED:

- Geodeetiliste süsteemide kehtestamine. Keskkonnaministri 5. veebruari 2004. a määrus nr 4. RTL, 18.02.2004, 17, 267.
- Jürgenson, H., 2004. Eesti täppisgeoidi arvutus. Eesti Põllumajandusülikooli maainseneriteaduskonna maamõõduinstituut. Tehnikateaduste doktoriväitekiri geodeesia erialal. Tartu, 157 lk.
- Koppelmaa, H., 2002. Eesti kristalse aluskorra geoloogiline kaart. 1: 400 000. Tallinn.
- Puura, V., Vaher, R., Klein, V., Koppelmaa, H., Niin, M., Vanamb, V., Kirs, J., 1983. Kristalličeskij fundament Éstonii. Moskva, Nauka, 208 s.
- Suuroja, K., 1997. Eesti aluspõhja geoloogiline kaart. 1: 400 000. Tallinn.

KÄSIKIRJALISED:

- Gromov, O., Kajak, K., Grünberg, R., Kajak, H., Tassa, V., 1981. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil Tartu objektil. Keila, 162 lk., 5 kd., 284 tekstilisa, 117 graafilist lisa. EGF 3796.
- Halliste, A., Gromov, O., Kajak, H., Liibert, S., Perens H., 1983. Aruanne põhjavee detailuuringust Viljandi linna veevarustuseks. Keila, 285 lk., 9 kd., 364 tekstilisa, 111 graafilist lisa. EGF 4009.
- Juhend Eesti geoloogiliseks digitaalkaardistamiseks mõõtkavas 1 : 50 000. Versioon 1.2. Maaamet 2008, Tartu, 136 lk.
- Kuptsov, A., Filatov, V, Ploom, K., 1989. Põhjavee otsingud ja eeluuring Võru linna veevarustuseks (vene keeles). Keila, 200 lk., 4 kd., 22 tekstilisa, 26 graafilist lisa. EGF 4361.
- Liibert, S., Gromov, O., Välkmann, S., Kuptsov, A., Perens, H., Širokov V., 1987. Aruanne põhjavee otsingutest ja eeluuringust Valga linna veevarustuseks (varu arvutus seisuga 01.01.1987.a.). Keila, 170 lk., 10 kd., 566 tekstilisa, 79 graafilist lisa. EGF 4221.

LISA 1

Bouguer anomaaliad vahekihi tihedusele 2,08 g/cm³ ja VES andmete esialgne tõlgendamine

































| Geoloogilise baaskaardi Võru (5422) lehe geofüüsikalised uuringud | 17







































Graafiline lisa 1: Faktilise materjali ja esialgse geofüüsikaliste anomaaliate tõlgendamise skeem, 1: 50 000 (topograafiline alus Eesti Baaskaart 1 : 50 000)