

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogia teaduskond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö

Orienteerumiskaardi tootmise optimeerimine LiDAR-i ja topograafilisi andmeid kasutades

Marek Karm

Juhendaja: PhD Raivo Aunap

Kaitsmisele lubatud:
Juhendaja:
Osakonna juhataja:

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Orienteerumiskaart	6
1.1. Orienteerumiskaardi standardid.....	6
1.2. Orienteerumiskaartide ajalugu.....	7
1.3. Orienteerumiskaardi alusmaterjalid.....	9
1.4. Orienteerumiskaardi välitööd	11
1.5. Välikaardistamise subjektiivsus	13
1.6. Orienteerumiskaardi kameraaltööd.....	15
1.7. Automatiserimine orienteerumiskartograafias.....	16
2. LiDAR-i tehnoloogia.....	18
2.1. LiDAR-i töö põhimõte.....	18
2.2. LiDAR-i andmete täpsus	20
3. Metoodika	23
3.1. Uurimisalad	23
3.2. Andmed ja andmetöötlus	25
3.3. Karttapullautin’i ja ETAK-i kaandid.....	28
3.4. Orienteerumiskaardi optimeeritud tootmise testtöö	30
4. Tulemused ja arutelu	31
4.1. Reljeef.....	31
4.2. Kivid, kaljud ja liivikud.....	36
4.3. Veekogud ja sood	38
4.4. Taimkate	40
4.5. Teed ja rajad	43
4.6. Muud inimtekkelised objektid.....	46
4.7. Maardu karjääri testkaardistus.....	48

5. Järeldused	50
Kokkuvõte	53
Summary.....	55
Tänuavalused.....	56
Viidatud allikad	57
Kirjalikud artiklid ja teosed	57
Käsikirjad.....	59
Internetiviited.....	60
Lisad	62

Sissejuhatus

Kaart on reaalsuse kujutamise üks viisidest, mis hõlmab endas nähtuste leppemärkidega visualiseerimist ja üldistamist kahemõõtmelisele tasapinnale. Kaartide koostamisel arvestatakse mitmete kartograafiliste printsiipidega, et tagada inimestele selle arusaadavus ning üheselt tõlgendatavas. Seeläbi võib kaarti pidada ka maaстiku või mistahes muu nähtuse kirjeldamise suhtlusvahendiks kaardi koostaja ja kaardi kasutajate vahel. See kehtib täielikult ka orienteerumiskaartide puhul, mis on üks vähesed erikaarte, millel on üks rahvusvaheline kaardi koostamise spetsifikatsioon, mida järgitakse kõikjal. Antud spetsifikatsiooni järgi kaardistatakse maailma kõikvõimalikke erinevaid maaстikutüpe, et tagada ausad tingimused orienteerumises kui spordialas, kus kaardi ja kompassi abil võidaksee, kes läbib etteantud raja kõige kiiremini.

Orienteerumise alaliidud on nüüdseks olemas maailma 79 riigis ning spordialaga tegelevate riikide arv on kasvamas (*International Orienteering Federation*). Orienteerumine on rahvaspordina olnud väga populaarne spordiala arengu algusaastatest saadik Skandinaavia riikides, kus peetakse väga palju võistlusi ja igaõhtuseid päevakuid. Iga spordiüritus tähendab kindla maaстikuosa kohta käiva orienteerumiskaardi kasutamist. Tihti valitakse tähtsamate võistluste tarbeks võistluste toimumiskohaks maaстikuosa, mida pole varem orienteerumiseks kasutatud, et tagada võimalikult võrdsed tingimused võistlejatele. See tähendab, et järjest enam kaardistatakse juurde uusi maaстikke, mille tulemusena orienteerumiskaartidega kaetud maaстike hulk kasvab. Iga orienteerumiskaardi tegemine nõub aga tööjõukulutusi, sest keegi peab mingil meetodil orienteerumiskaardi koostama. Tööjõukulud tähendavad aga kulutusi kaardi valmistamiseks ning mida väiksemad need on, seda parem ürituste korraldajatele ja kaardistajatele vastavalt materiaalset või ajalist kokkuhoidu arvestades.

Orienteerumiskaardi koostamisel on välitöödel olnud üheks kõige aeganõudvamaks ja raskemini kaardistatavaks nähtuseks olnud reljeef. Sama kehtib ka riiklike topograafiliste kaartide puhul, sest kaandid valmivad aastate jooksul. Mistahes tehnoloogiate arenemisel, otsiti ka antud valdkonnas uusi meetodeid, et tööd läbi viia kiiremini ja vähemate ressurssidega. Lennukite, laserite ja navigatsioonitehnika leiutamisega vastavalt 20. saj alguses, keskpaigas ja lõpus jõuti sajandi viimasel kümnendil uue reljeefi kaardistamise meetodi väljatöötamiseni, milleks on aerolaserskaneerimine.

Aerolaserskaneerimine ehk LiDAR võimaldab automaatika abil kaardistada suuri maa-alasid lühikese ajavahemiku jooksul. LiDAR-i tehnoloogia abil on andmeid kogutud paljudes

riiklikeks maa-ametites, sh Eestis. Mõnes riigis, nt Soomes ja Taanis on riiklikud ruumiandmed kodanikele tasuta allalaetavad, mis on suurendanud nendes riikides andmete kasutamist kodanike poolt erinevatel eesmärkidel. Samuti on Skandinaavia riigid eesrindlikud LiDAR-i andmete kasutamisel orienteerumiskaartide koostamiseks eelkõige tööjõukulude kokkuhoidmise eesmärgil, sest tööjõud nendes riikides on kallis. Andmete efektiivseks kasutamiseks on loodud Soomes tasuta andmete kättesaadavuse tingimustes nt Karttapullautin tarkvara, mis püüab LiDAR-i andmetest koostada automaatsel viisil orienteerumiskaardile sarnaneva kaardi. Samuti püütakse järjest enam kasutada teiste andmekogude andmeid, et lihtsustada orienteerumiskaardi tootmist eelkõige välitööde tegemise etapis.

Uurimuse üks eesmärk on teada saada, kui kvaliteetsed ja sobilikud on avalikud ruumiandmed ja Maa-ameti ETAK-i (Eesti topograafilise andmekogu) andmed ja mil määral neid on võimalik kasutada rohkemate nähtuste aluskaardina orienteerumiskaardi välitöödeks. Põhirõhk uurimuses on enam LiDAR-i andmetel ja nende kasutusvõimalustel orienteerumiskaardi tegemisel. Siinkohal luuakse Karttapullautin'i tarkvaraga orienteerumiskaardilaadsed kaandid, millel on kujutatud reljeef ehk samakõrgusjooned, taimestik ehk metsa läbitavus ja kaljujärsakud, kui neid leidub. Lisaks võrreldakse nii LiDAR-i „punktipilve“ andmetest kui Maa-ameti poolt valmistatud kõrgusmudelist genereeritud samakõrgusjooni, et välja selgitada piisav andmehulk ja sobilik tarkvara, mida ja millega on võimalik välitöödel reljeefi kaardile kanda. Kokkuvõttes püütakse anda hinnang uurimuses käsitlevatele andmetele, kui sobivad ja vajalikud need on orienteerumiskaartide välitöödel ja kameraaltöödel, et vähendada kaardi tootmiseks kuluvat aega nii maaistikul välitööde etapis kui arvutijoonise tegemisel.

Uurimistöö käigus püstitati järgmised uurimisküsimused: 1) Kas LiDAR-i andmed on praktiliselt asendamatud välitööde ajalise mahu vähendamiseks?; 2) Kas orienteerumiskaardi reljeefi kaardistamiseks piisab ka Maa-ameti viemeetrise resolutsiooniga kõrgusmudelist?; 3) Kas Karttapullautin tarkvara annab objktiivse pildi metsa läbitavusest?; 4) Kas OSM-i andmed on liiga üldised ja seeläbi praktiliselt kasutuskõlbmatud?; 5) Kas LiDAR-i intensiivsuspilt annab välitöödel eelise ortofotode kasutamise ees?; 6) Kas mitme andmeallika kooskasutamisel saab koostada orienteerumiskaardile väga sarnase kaardi, mis võiks olla kvaliteedilt ligilähedane välitöödega tehtud orienteerumiskaardile?

1. Orienteerumiskaart

1.1. Orienteerumiskaardi standardid

Rahvusvaheline Orienteerumisföderatsioon ehk IOF (*International Orienteering Federation*) defineerib orienteerumist kui spordiala, kus võistleja eesmärgiks on läbida kontrollpunktidest koosnev rada lühima võimaliku aja jooksul, kasutades abivahenditena ainult kaarti ja kompassi. Võistlejate vördsed osalemistingimuse tagab korrektse ja loetava kaardi olemasolu, millel on kindlad kokkulepitud nõuded. Rahvusvaheliste orienteerumiskaartide koostamise nõuetekohased (International Specification for Orienteering Maps) kehtestamise eesmärgiks on ühtlustada maailma erinevates regioonides paiknevate maastike kujutamist kaardil. Kaart peab looma maaistikust täiusliku, täpsse ja detailse pildi, kus igasugune info liikumist takistavate objektide kohta on väga olulise tähtsusega. Piisavalt klassifitseeritud liikumist takistavad või hõlbustavad leppemärgid aitavad võistlejatel vastu võtta õigeid otsuseid.

IOF defineerib orienteerumiskaarti kui detailset topograafilist kaarti, millele peavad olema kantud kõik objektid, milliseid võistleja suudab maaistikul liikudes märgata. Kaart peab kajastama kõiki iseärasusi, mis mõjutavad kaardi kasutamist ning võistleja teevalikut. Maastikupildi kaardistamisel ja üldistamisel ei tohi unustada ka objektide kaardil kujutamiseks kehtestatud miinimummõõte. Kaardile peab olema kantud magnetilise põhja suund vastavate joontega. Võistleja ei tohi kaardil tunnetada ühtegi ebatäpsust. Kaardi kui terviku täpsus on sõltuvuses nii välitööde (objekti asukoht, kõrgus, kuju) kui ka kameraaltööde (joonestamise) täpsusest. Kaardistamisel on vajalik saavutada selline täpsus, et võistleja kompassi ja sammumõõtu kasutades ei märkaks erinevusi kaardipildi ja maastiku vahel. Naaberobjektide omavahelises kauguses on lubatud kõrvalekalle kuni 5%. Üldistamiseks võib kasutada kahte erinevat meetodit: valikuline üldistamine looduslike või hilisem graafiline üldistamine, mis peaks tagama kaardi terviklikkuse, mis on orienteerumiskaardi üks olulisemaid kvaliteedinäitajaid. Kokkuvõtvalt peab olema hea orienteerumiskaart täpne, detailne ja usaldatav ning samal ajal ka selge, jooksul loetav ja hästi vormistatud (Viirsalu 2000).

Üldjuhul on orienteerumisjooksuks kasutatava kaardi mõõtkava 1:15 000. Suuremamõõtkavalist kaarti mõõtkavas 1:10 000 kasutatakse lühemate distantside puhul või kasutamiseks noortele ja veteranidele. Orienteerumisjooksu sprindidistantsil kasutatakse kaarte mõõtkavas 1:5 000 või 1:4 000 ning need joonistatakse sprindikaardi leppemärkidega, mis erinevad vähesel määral tavakaardi leppemärkidest. Samakõrgusjoonte vahe on üldjuhul

5,0 m, lamedama reljeefiga maastikel 2,5 m või sprindikaartidel 2,0 m (Eesti Orienteerumisliit 2015). Orienteerumiskaardi leppemärgid jagunevad seitsmesse kategooriasse (Klaar 2010): reljeef (pruun), kivid ja kaljud (must ja hall), vetevõrk ja sood (sinine), taimestik (roheline ja kollane), rajatised (must), tehnilised leppemärgid (must ja sinine), rajamärgid (violetne).

1.2. Orienteerumiskaartide ajalugu

Orienteerumise kui spordiala arengu algusaastatel ei kasutatud spetsiaalselt koostatud kaarte, vaid kasutati avalikus käibes olevaid turismi- ja topograafilisi kaarte või tehti ise kättesaadavate vahenditega. Topograafilised kaandid olid erinevates riikides erineva mõõtkava ning kvaliteediga või olid sootuks salastatud. Esimene spetsiaalne värviline orienteerumisvõistluseks välitööde põhjal koostatud kaart valmis 1950. aastal Norras. Kui 1961. aastal loodi IOF, siis kulus neli aastat, kui organisatsiooni struktuuriüksusena moodustati kaardikomitee, mille liikmed olid pärit Norrast, Rootsist, Taanist, Soomest ja Šveitsist. Selle eesmärk oli välja töötada orienteerumiskaardi spetsifikatsioon maailmameistrivõistlusteks. Orienteerumiskaartide põhinõueteks peeti: 1) kaart peab olema hiljutiste välitöödega; 2) kaart peab kajastama kõiki detaile, mis mõjutavad võistleja teeavalikuid; 3) kaart peab olema üldistatud ja loetav; 4) rahvusvaheliste võistluste kaandid peavad olema tehtud sama spetsifikatsiooni järgi (Zentai 2001).

Esimene rahvusvaheline orienteerumiskaartide spetsifikatsioon (ISOM), mis oli sisult pigem juhised kaardi koostamiseks, koostati 1969. aastal. Teine spetsifikatsiooni versioon loodi 1975. aastal, mis oli sisuliselt esimene reaalne spetsifikatsioon, milles leppemärgid jagunesid kategooriatesse ja pärinesid peamiselt Skandinaaviamaa topograafilistelt kaartidelt. Kolmas spetsifikatsiooni versioon loodi 1982. aastal, et parandada eelmise spetsifikatsiooni nõrgad kohad. Neljas spetsifikatsiooni versioon loodi 1990. aastal juba üle paarkümne aastase orienteerumiskaartide koostamise kogemuste põhjal. Viies ehk hetkel kehtiv spetsifikatsioon loodi 2000. aastal ning sisaldas lisaks orienteerumisjooksu leppemärkidele ja suusa- ja rattaorienteerumise leppemärke. Läbi erinevate spetsifikatsioonide versioonide, on soovitatav orienteerumismõõtkava suurenenud 1:25 000-lt 1:15 000-le. Maailmameistrivõistlustel kasutati viimast korda 1:25 000 mõõtkavalist kaarti 1970. aastal ning 1:20 000 mõõtkavalist kaarti 1979. aastal. 1:15 000 mõõtkavaline kaart oli maailmameistrivõistlustel esimest korda kasutusel 1976. aastal ning 1:10 000 mõõtkavaline kaart 1993. aastal (Zentai 2011; 2014). Suurema mõõtkavaga orienteerumiskaandid on aja jooksul lubanud kasutusele võtta suurema

detailsusega maastikke, mida polnud võimalik kujutada nt 1:25 000 või väiksema mõõtkavaga (Petrovic 2009).

Laias laastus jagatakse Eesti orienteerumiskaartide varasemat (kuni Eesti Vabariigi taasiseseisvumiseni) ajalugu kolme osa, milles esimene osa hõlmab perioodi kuni Teise maailmasõjani. Sellel perioodil kasutati peamiselt pooleverstaseid tsaariaegseid kaarte mõõtkavas 1:21 000 või tolle aja uusi Eesti topograafilisi kaarte mõõtkavas 1:25 000. Näiteks Eesti esimesel orienteerumisvõistlusel Pirital Kloostrimetsas 19.06.1926 oli kasutusel kahevärvine pooleverstane kaart (Viirsalu 2000).

Teine osa varasemast perioodist hõlmab 1950. ja 1960. aastaid, mil kasutusel oli väga erineva päritolu ja tasemega kaarte: 1:25 000 mõõtkavas ilma reljeefita põllu- ja metsamajanduslike kaartide lillat värvilist valguskoopiad, 1:25 000 kuni 1:50 000 mõõtkavas must-valged fotokaardid (pildistatud Eesti Wabariigi ja Vene topograafilistelt kaartidel) ning muud mitmesugused kaartide ümber- või kokkujuonistused. Sellel perioodil hangiti tihti aluskaarte tutvuste kaudu, sest tavaelus olid topograafilised kaandid Nõukogude Liidus rangelt salastatud ning kasutajate ring karmilt reglementeeritud, mis pidi välistama tavakodaniku kokkupuute topograafiliste kaartidega. Selle tõttu oli võistluste tarbeks kaartide hankimine sisuliselt riigivastane tegevus. Avalikud kaandid ja linnaplaanid olid aga moonutatud ning orienteerumisvõistlusteks kõlbmatud (Viirsalu 2000).

Kolmas osa varasemast perioodist algas 1960. aastate keskel, kui hakati tegema kaarte spetsiaalselt orienteerumise tarbeks nii, et hakati käima maastikul kaarte korrigeerimas, mida nimetab Viirsalu ka kaardirevolutsiooniks Eestis. Esimesed katsed kättesaadavaid kaarte korrigeerida tehti 1962. aastal. Ulatuslikumalt hakati kaarte täpsustama 1966. aastast, kuid reljeefi nähtuseklassi täpsustamisega alustati aegsamini. Hävitav lüüasaamine Eesti-Soome maavõistluselt 1968. aastal viis järgmisel aastal nn kaardirevolutsioonile, sest võistlejad ja rajameistrid löid kontakte sealsete rajameistritega ning saadi hulgaliselt õpetussõnu. Sellekohaselt kaartide kvaliteet aasta-aastalt tõusis ning kaardivalmistamise meetodid täienesid. Alates 1973. aastast mindi Eestis üle korralikult parandatud värvikaartidele, mis olid peamiselt mõõtkavas 1:20 000. Esimene 1:15 000 mõõtkavas orienteerumiskaart loodi 1973. aastal Vääna-Jõesuu kohta ning esimene 1:10 000 orienteerumiskaart valmis sellest vaid kaks aastat hiljem Nelijärve kohta. Seejärel saigi valdavaks orienteerumiskaartide tegemise meetodiks olemasolevate alusmaterjalide põhjal spetsiaalse võistluskaardi tegemine, mille jaoks tehti välitöid ning kaardijoonis (Viirsalu 2000). Nõnda toimitakse ka tänapäeval, kuid meetodid on oluliselt paremad tänu üldisele tehnoloogia arengule. Kaardirevolutsiooni

silti taheti peale panna ka 2000. aastate keskpaigast tehtud kaartidele, millest paljud ei vastanud loetavuse suhtes rahvusvahelistele orienteerumiskaardi nõuetele (Viirsalu 2006).

1.3. Orienteerumiskaardi alusmaterjalid

Oienteerumiskaardi tegemise esimene etapp on sobilike alusmaterjalide kokkusaamine, mille põhjal täpsustavaid välitöid teha, mille järel valmib kaardijoonis. Üks põhilisemaid aluskaarte Eesti orienteerumiskaartide puhul on olnud erinevad topograafilised kaandid: tsaariaegsed verstased (1:42 000) ja poolverstased (1:21 000) kaandid, Eesti Vabariigi ja Nõukogude Liidu sõjaväe topograafilised kaandid (1:50 000 ja 1:25 000), Nõukogude Liidu suure täpsusega topograafilised kaandid (1:10 000), uus Eesti Vabariigi põhikaart (1:20 000). Kasutatud on ka põllumajanduslikke ja metsakorralduse kaarte (1:25 000 ja 1:10 000) ning erinevaid linnaplaane (Viirsalu 2001). Kaardistaja Kalle Kalmule on olnud viimasel kümnendil tähtsaimaks alusmaterjaliks Eesti põhikaart, mille juures on kasutuses ka ortofotod. Varemkaardistatud maa-alade uesti kaardistamisel on tähtsal kohal ka eelmised orienteerumiskaandid (Sild 2011). Ka kommertskaardiserverite aerofotosid (nt Google Earth) kasutatakse alusmaterjalina, kui need on piisava resolutsiooniga objektide tuvastamiseks (Zentai 2009).

Stereoalus on stereoskoopiline aluskaart aerofoto paaridest, mis annab hõreda taimestiku korral hea aluskaardi, kui operaator suudab ruumilises stereokujutises näha selgelt maapinda ning konstrueerida samakõrgusjooni piisava usaldusväärusega. Tiheda taimestiku ning aerofotode väikse mõõtkava juures on võimalik mõõdistada palju joon- ja punktobjekte ning kõrguspunkte. Näiteks „Suunto Games“ võistlusteks 2000. aastal valmistati stereoalusmaterjal, mis vähendas välitööde ajalist mahtu hinnanguliselt kuni 30%. Väitööde mahtu saab vähendada velgi, kui tellitakse spetsiaalne madallend (Viirsalu 2001).

OpenStreetMap (OSM) on sisuliselt „maakaardi Vikipeedia“, mida inimesed ja kogukonnad vabatahtlikult täiendavad ja täpsustavad erinevatel viisidel, nt GPS-seadmetega andmete kogumine või täiendamine vabalt kasutatavatelt aerofotodelt ja kaartidel. OSM-i eesmärk on luua ja jagada vaba kasutusega geograafilist infot. Eestis koordineerib OSM-i erialast tegevust MTÜ Avatud Maakaardi Selts. OSM-i kaardiandmeid on võimalik mitmes erinevad failiformaadis alla laadida nt abiprogrammi JOSM kaudu (OpenStreetMap Wiki). OSM-i kaardiandmeid on kasutatud nn tänavoorienteerumisvõistluste tarbeks, kus kasutavale kaardile on kantud vaid kõige olulisemad nähtused (tänavad, rajad, veekogud). Sellist tüüpi

võistlustest inspireerituna, on loodud ka OpenOrienteeringMap (OOM) (joonis 1), mis kasutab OSM-i andmeid, kuid mis on kujutatud orienteerumiskaardi leppemärkidega (<http://oomap.co.uk/global.php>). OSM-i kaart on paljudes linnalistes piirkondades, saavutanud sellise detailsuse, et seda on võimalik kasutada alusmaterjalina orienteerumiskaartide tegemisel (O'Brien 2009).

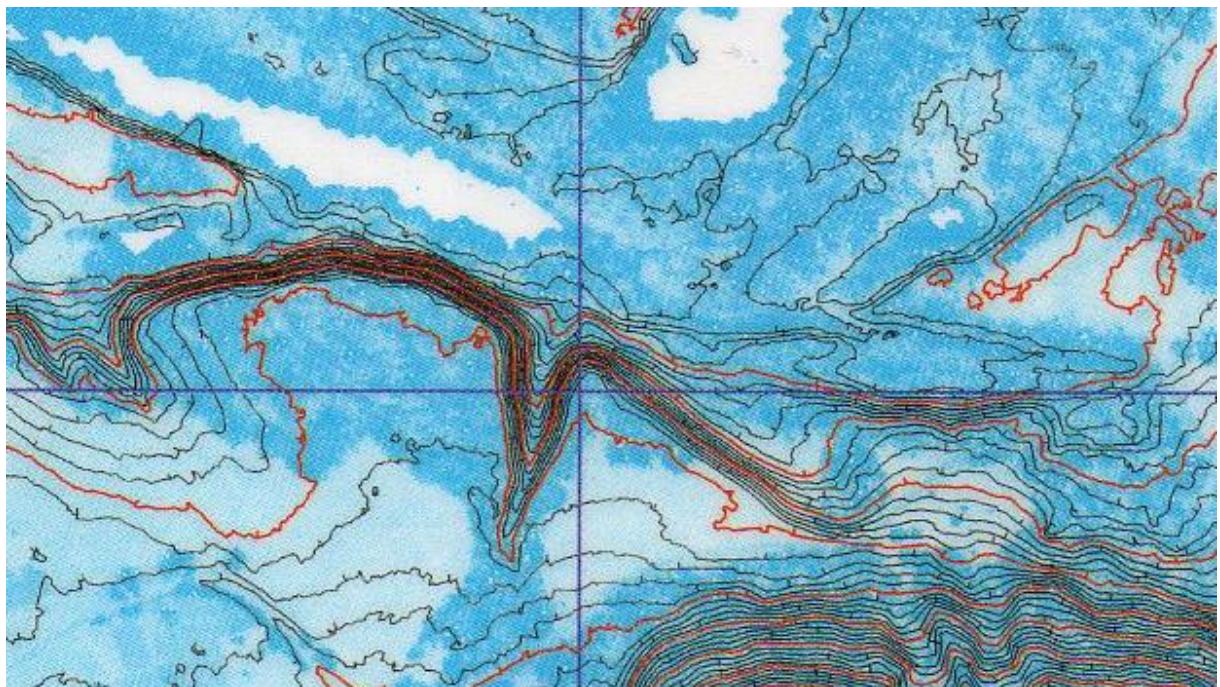


Joonis 1. OpenOrienteeringMap'i väljavõte Tartu Uus-Ihaste piirkonna kohta

Laserskaneerimise käigus toodetud andmetest on saanud tänapäeval üheks olulisemaks orienteerumiskaardi tegemise alusmaterjaliks. LiDAR-i andmete kasulikkus ei peitu ainult maapinna reljeefimodelis (DTM – *digital terrain model*), vaid ka kogu punktipilves, milles on võimalik tuletada taimestiku iseärasusi. Maapinna reljeefimodelist on võimalik tuletada samakõrgusjooni (viide). Näiteks 0,5 m lõikevahega samakõrgusjoonte kaardi tekitamine on lihtne, kuid selle mõttelikus on küsitarv. Nende andmete põhjal tehtud liiga detailse alusmaterjali üheks ohuks on ka liigsete objektide kujutamine orienteerumiskaardil. Nt võib reljeefimodel näidata selget ühemeetrise diameetriga lohku, kuid loodus ei pruugi inimene seda pinnavormi tajuda (Otstavel 2009). Kui reljeefimodelist teha kõrgusvarjutuspilt või pideva värviskaalaga kõrguskaart, siis nendelt on inimene võimeline interpreteerida nii punktobjekte (nt tipud, lohukesed, augud) kui lineaarseid reljeefiobjekte (vallid, väikesed uhtorud, kaljujärsakud) või kraave. Kogu punktipilve pinnamudel (DSM – *digital surface model*) võimaldab näha metsa muutusi ruumis. Näiteks on võimalik eristada erineva

kõrgusega metsa alasid, teha vahet metsal ja lagedal alal ning leida kõlvikupiire (Gartner & Ditz 2009).

Lätis kasutatakse tihti ortofotode asemel punktipilve nn intensiivsuspiilti, mille peal on 0,5 m lõikevahega samakõrgusjooned. LiDAR-i laserkiire impulsside intensiivsustest saadud intensiivsuspiilt on sisult võrreldav ortofotoga, mille eeliseks on varjude puudumise tõttu tekkivad võimalikud vead, kuid puuduseks on nt hoonete ja muude rajatiste eristamise raskus. Liigestatud reljeefiga maastikel on sellise aluskaardi (joonis 2) järgi orienteerumine lihtne ning võimaldab teha välitöid väga täpselt ilma tehnoloogiliste abivahenditeta (Karm 2010).



Joonis 2. Lätis kasutatav aluskaart Siguldst läänepoole jääva piirkonna kohta, millel on kujutatud intensiivsuspiilt ja samakõrgusjooned (SIA Metrum)

1.4. Orienteerumiskaardi välitööd

Parim aeg välitöödeks on hilissügis ja kevad, sest siis on maastiku nähtavus ja läbitavus kõige parem. Tavaliste orienteerumiskaartide välitööd tehakse üldjuhul mõõtkavas 1:5 000. Kauguste mõõtmiseks kasutatakse nt sammupaari pikkust teisendatult sammupaaride arvuni 100 m kohta. Maastiku erineva läbitavuse juures sammu pikkust vastavalt veidi vähendatakse ja võimendatakse. Kui teed, sihid ja kõlvikupiirid antakse aluskaardil edasi täpselt ja neid võib usaldada, siis reljeefi, soo piire ja läbitavust ei ole võimalik absoluutse täpsusega kaardile kanda, mille puhul on lubatud väikesed täpsuskõikumised. Üldjuhul kaardistatakse maastikul

viimasena läbitavus, mille piire ei ole võimalik täpselt määrata (Viirsalu 2001). Näiteks Kalle Kalmu traditsioonilisel viisil tehtavatel välitöödel on kindel järjekord. Esimesena toimub põhikaardi situatsiooni täpsustamine, mille järel toimub puuduvate radade, kõlvikupiiride, soopiiride ja üksikobjektide lisamine. Kolmandaks tehakse reljeefi silmamõõduline mõõdistamine, toetudes kindlatele kõrguspunktidele ja põhikaardi samakõrgusjoonetele. Viimasena kaardistatakse läbitavus plaanilise ja reljeefisituatsiooni järgi. Sarnane tööetappide järjekord on ka Madis Orasel (Sild 2011).

Mensulmõõdistus on olnud üks traditsiooniline võimalus vajalike välitööde läbiviimiseks peamiselt reljeefi kaardistamisel sobilike alusmaterjalide puudumisel. Selle mõõdistusepuhul kasutatakse mensullaada, mille peale kinnitatakse paber. Objektide või mõõtepunktide vahekauguste mõõtmiseks ja kaardile märkimiseks kasutatakse visiirjoonlauda ja kippreeglit (OÜ Rakvere Invent). Näiteks esimese Oore orienteerumiskaardi tegemisel 1988. aastal kaardistati reljeefi mensulmõõdistusega mööda sihte ja teid. Mensulmõõdistus toimus kinniste 1–2 km pikkuste ringidena ja vead tasandati. Asukohaveana polnud üle 10 m nihkeid ja need tasandati kogu ringi peale või kõige tõenäolisemasse tekkepiirkonda. Asukoht on täpne mensulpunktide läheduses ja kahaneb sellest kaugenedes, sest mõõtmise toimus kompassi ja sammude abil (Karm 2012).

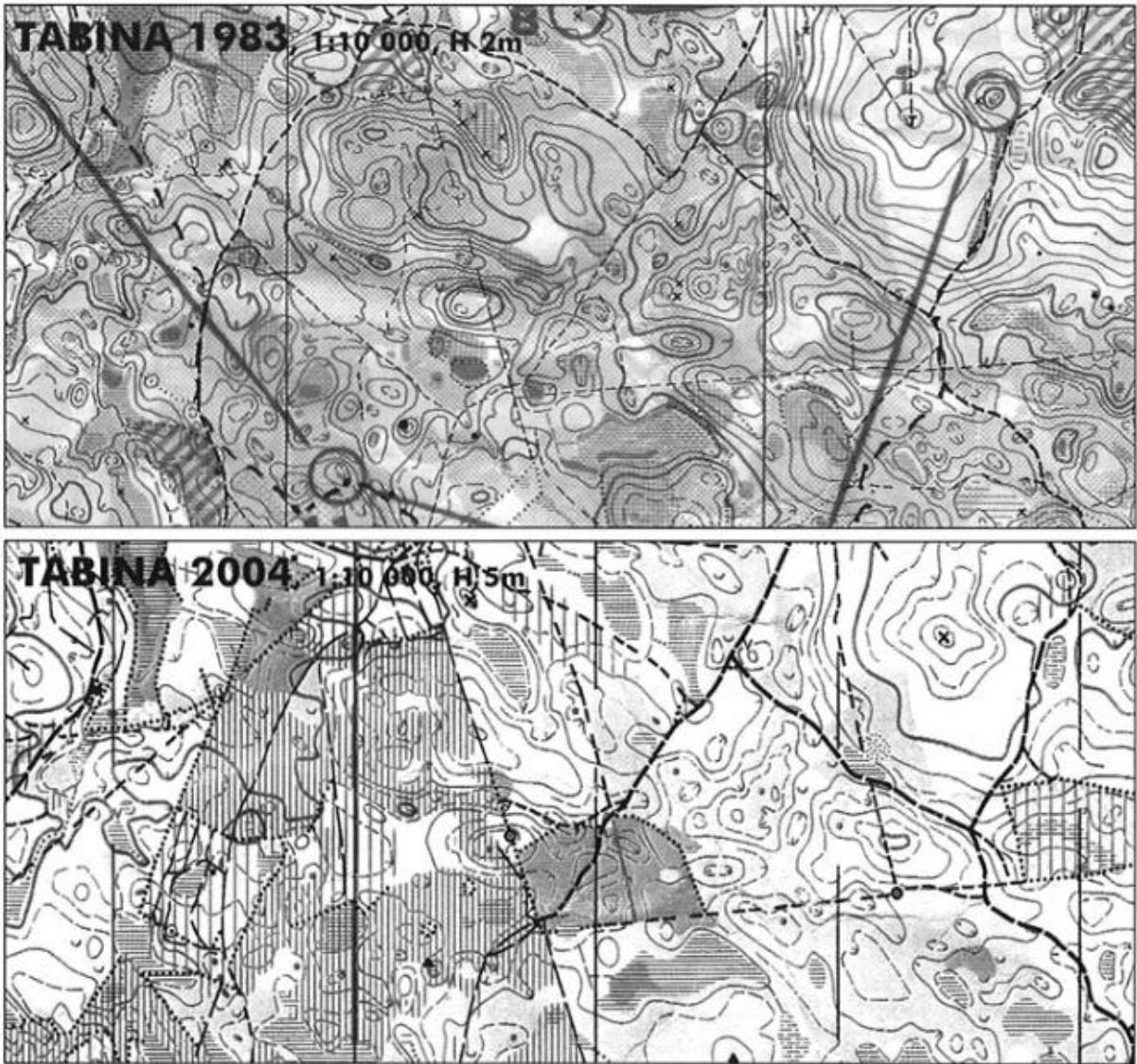
LiDAR-i andmete põhjal tehtud alusmaterjaliga välitöödel puudub vajadus alustada situatsiooni täpsustamisest, sest õige situatsioon on kaardistamise alustamisel juba olemas. Kalmu hinnangul oli näiteks Lilli orienteerumiskaardi tegemine vähemalt poole võrra kiirem, kui seda oleks pidanud tegema traditsioonilistel meetoditel. Suur ajaline kokkuhoid oli tingitud sellest, et maastik oli halva läbitavuse ja nähtavusega ning teeradu oli väga vähe. Oras tõi välja LiDAR-i andmete kasutamise eelisena selle, et samas kohas ei pea kaardistaja viibima mitu korda, millega tuleb suur ajaline kokkuhoid. Lilli orienteerumiskaardi välitööde ajaline maht oli 2011. aastal LiDAR-i andmetel põhinevat aluskaarti kasutades $\sim 24 \text{ h/km}^2$, mis on oluliselt vähem kui traditsioonilisel viisil 1993. aastal tehtud välitööde puhul Põlulas, kus maht oli $\sim 50 \text{ h/km}^2$. Veelgi keerulisemate maastike välitööde maht on olnud suuremgi, nt Vitipalus $\sim 80 \text{ h/km}^2$ (Sild 2011).

GPS-põhine välikaardistus hoiab aega kokku eelkõige asukoha määramise ja objektide mõõdistamise pealt (Boström 2011). Tahvelarvutiga on võimalik suur osa valmivast orienteerumiskaardist väljas ära joonistada. Seda toetab GPS-seade, mis on tahvelarvutiga ühenduses *bluetooth*-ühendusega. GPS-seadme tuleva koordinaatide info järgi kuvab tarkvara valmivale kaardile hetke asukoha. Nii saab kaardistaja täielikult keskenduda kõige

olulisemale ehk tõlgendada maaistikku kaardiks. Kvaliteetne GPS-seade tagab piisava täpsuse kaardi joonistamisel, mis võib olla parimal juhul ± 1 m. Ka mõnemeetrine absoluutne täpsus on orienteerumiskaardi puhul piisav, sest üldjuhul ei taju orienteerujad võistluskiiruse juures objektide vahelisi mõnemeetriseid lokse. GPS-kaardistusel on toimiv riistvara lahendus esmase täpsusega. Selle tagab nt tahvelarvuti isoleerimine kilega, et see niiskust ega tolmu ei saaks. Kaardistustöö pikkust reguleerib tahvelarvuti kestvus, mida mõjutab ekraani heledus ja protsessori töökoormus (Joensuu 2010). GPS-seadmete kasutamine koos LiDAR-i andmetel põhineva aluskaardiga tagab orienteerumiskaardi absoluutse täpsuse ja sellisel viisil tehtud kaart on georeferentseeritud, mille tõttu on võimalik hiljem kaardile parandusi samuti GPS-seadet kasutades või näiteks ainult georeferentseeritud ortofotot kasutades (Zentai 2014). GPS-seadmost saadud kõrgusinfo on tavaliselt kasutu suure ebatäpsuse tõttu ka juhul, kui horisontaalne asukohatäpsus on väga hea (Zentai 2009). Tavalisi käsi-GPS-seadmed, mille täpsus on väiksem, on kasutatud aluskaartide tegemisel, mida hiljem välitöödel korrigeeritakse. Näiteks jalgradade kaardistamisel mõõdab käsi-GPS-seade selle ligikaudse trajektoori, mida traditsioonilisel viisil tehtavate välitööde käigus kompassi ja sammupaaridega korrigeeritakse (Zentai 2014).

1.5. Välikaardistamise subjektiivsus

Kaardistaja püüab määrata iga objekti asukoha võimalikult väikse veaga. Kui mistahes objekti täpset asukohta ei ole võimalik määrata, siis märgitakse see selle kõige tõenäolisemasse kohta. Seega tegeleb kaardistaja kaardiversiooni loomisega, mis on absoluutse tõe suurima tõepära hinnang. Kaardistaja valib ise maastikul tema meelest kõige sobivama võimaliku üldistava kujutamisviisi. Kaardistaja püüab igat kohta ette kujutada selles aastaajas, mil tema kaarti kasutatakse. Kaardistaja hinnang on subjektiivne ning ta võib silmapaistvaid objekte mõnevõrra võimendada, nt lohke ja künkaid, mille absoluutkõrguse poolest ei paks kaardile kandma, kuid mis on maastikul selgelt olemas (joonis 3). Suurimad subjektiivsuse allikad on juhtumid, mil: 1) nõlval olev kivi on ülalt vaadates madalam kui alt vaadates; 2) samakõrgusjoon läbib oma absoluutkõrgusel sood, kuid soo servas on selge aste, mis jäab horisontaalide vahel; 3) tuleb teha vahet ületataval ja ületamatul sool, kehva ja väga kehva läbitavuse vahel jne (Remm & Raid 2012).



Joonis 3. Tabina orienteerumiskaardid 1983. aastal (ülemine) ja 2004. aastal (alumine) toovad esile reljeefi kaardistamise subjektiivsuse erineva horisontaalide lõikevahe puhul (OK Ilves)

Erinevate kaardimeistrite kaardid sama maaстiku kohta on erinevad, sest igaüks tajub kaardistatavaid objekte ja nendevahelisi seoseid erinevalt. Orienteerumiskaart on ühe inimese subjektiivne nägemus maastikust, milles tuleb, et mitme erineva autori kaandid on erineva käekirjaga, kuigi joosta saab iga kaardi järgi. Iga kaardistaja stiil mõjutab üldist käekirja, nt kas eelistatakse suurt üldistatust või pannakse röhku detailidele. Kaardistaja käekirja mõjutavad tema poolt kasutatavad meetodid ja kogemused (Viirsalu 2001).

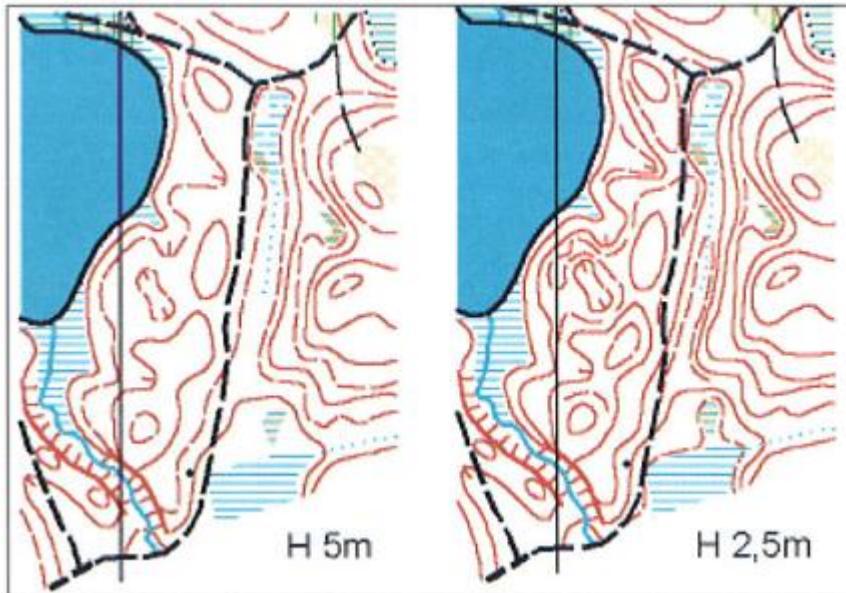
1.6. Orienteerumiskaardi kameraaltööd

Kaardijoonise tegemise võib jagada kaheks täiesti erinevaks ajastuks: 1) sisetööd enne arvutiajastut; 2) kaartide joonistamine arvuti abil. Enne arvutikaartide ajastut tuli kõik maaistikul tehtud välitööd kokku joonistada ühele alusele, mida nimetatakse välioriginaaliks või koondkileks, mis pidi kajastama kogu kaardistatud maaстиkuosa kõigis detailides ja õigete leppemärkidega, trükkimise kontrollriste ja kõiki kaardikirju. Värvikaartide trükiks ettevalmistamisel oli vaja iga värvit eraldi lahkujoonistamine. Selline meetod oli kasutusel kuni arvutikaartide tulekuni. Arvutikaartidele mindi Eestis üle 1990. aastate alguses, millega antud töö lihtsusust oluliselt. Kaardijoonise tegemiseks skaneeritakse välitöö ning OCAD-i tarkvaras joonistatakse välitöö üle vastavate leppemärkidega. Arvutijoonise tegemisel pole joonistatavate nähtuste järvrekord oluline vörreldes käsitsi joonistatava kaardi puhul. Esimene digitaalne orienteerumiskaart Eestis joonistati arvuti abil Pangodi Palumägede kohta 1992. aastal (Viirsalu 2011).

Ei ole täpselt teada, kes ja millal joonistas esimese orienteerumiskaardi arvuti abiga, kuid see toimus kindlasti 1980. aastate lõpus. See oli periood, millal alustati sobiva tarkvara ja riistvara koostoime otsinguid orienteerumiskaartide joonistamiseks. 1989. aastal loodi Šveitsis OCAD-nimeline tarkvara, mis saavutas suure populaarsuse, sest see oli kasutajasõbralik ning nõuded arvutile polnud väga suured. Ka tänapäeval on OCAD peamine tarkvara, millega joonistatakse orienteerumiskaarte (Zentai 2011). Hetke uusim tarkvara versioon on nr 11, mille võimalused on vörreldes eelmiste versioonidega oluliselt avardunud. Tarkvara võimaldab importida erinevaid geograafilisi andmeid, neid disainida ja seejärel publitseerida mistahes kaarte mitmes erinevas formaadis. Oluline funktsioon on alates 10. versioonist DEM-i loomine ning alates 11. versioonist metsa kõrguse kaardi loomine LiDAR-i andmete põhjal (OCAD AG).

Valmis orienteerumiskaart peab olema täpne, üksikasjalik ja objektiivne, kuid samas ka võistlustingimustes selgelt arusaadav ja kergesti loetav. Kaardi loetavuse seisukohast on oluline üldistamise aste, mida kaardistaja otsustab välitöö käigus. Oluline on leida tasakaal kahe lähtekoha vahel: 1) kui suurt tähtsust omab objekt orienteerumisraja läbimisel ja 2) kui suurt tähtsust omab objekt kaardi loetavuse seisukohast. Siinkohal tõi Tasa (2003) välja Eesti orienteerumiskaartide probleemi, mis on seotud kaardi loetavuse vähenemisega 2000. aastatel, mille on põhjustanud suuremamõõtkavalisele kaardile (1:10 000) rohkemate objektide kandmine, kui realselt vaja oleks. Näiteprobleemina toodi esile 2,5 m lõikevahega samakõrgusjoontega reljeefi kajastamist maaстikel, mis on piisavalt suurte kõrguse erinevuse

ja järskude nõlvadega, et seda kujutada 5,0 meetrise lõikevahega samakõrgusjoontega (joonis 4).



Joonis 4. 5,0 m (vasakul) ja 2,5 m (paremal) lõikevahega kujutatud reljeofi võrdlus, mis mõjutab kaardi loetavust (Madis Oras)

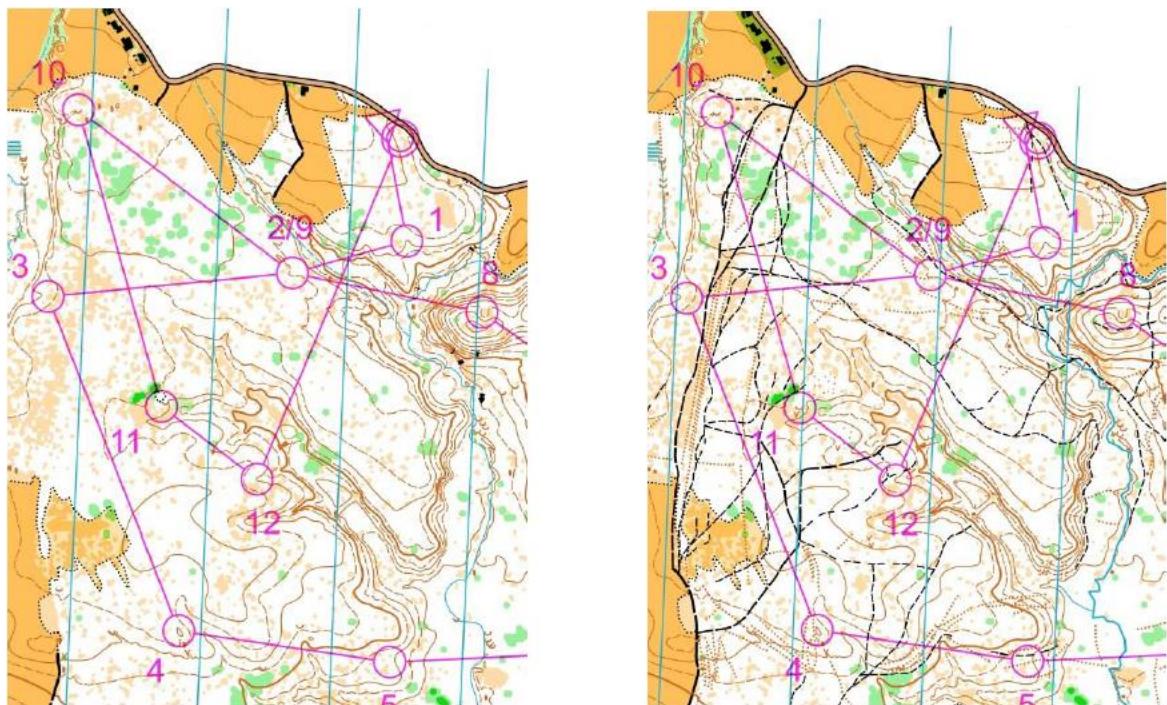
Orienteerumiskaart võib olla joonistatud kindlas projektsioonis, kui on kasutatud alusmaterjale, GPS-mõõdistust jms, mille andmestik on projektsioonis. Eestis on 1990. aastate teistest pooltest tehtud enamus orienteerumiskaarte vastavale Eesti põhiakaardi koordinaatsüsteemile, sest see oli enamlevinud aluskaart. Orienteerumiskaart on ilma kindla projektsioonita siis, kui see on tehtud muutunud aluskaardi järgi, puhta lehe peale või joonis on ise muundunud (Remm & Raid 2012).

1.7. Automatiserimine orienteerumiskartograafias

Uued meetodid orienteerumiskaardi tegemisel on kasulikud vaid siis, kui paraneb kaartide kvaliteet ning tööprotsess on efektiivsem ja vähemaks ajakuluga (Zentai 2009). Välitöödele kuluvat aega kahandab oluliselt LiDAR-i andmete kasutamine, mille tagajärvel on võimalik enne välitöödele minekut teha orienteerumiskaart, mis sarnaneb lõpliku orienteerumiskaardiga, mille tõttu suureneb natuke ettevalmistuste ajakulu, sest kaardi autor püüab andmetest tehtud väljundpiltidelt (nt reljeefivarjutus, taimestiku kõrgus jms) leida ja kaardile kanda võimalikult palju objekte, mida on võimalik tuvastada (Petrovic 2011). LiDAR-i andmete olemasolu ja vastavad tarkvarad võimaldavad luua poolautomaatsel või

koguni automaatsel viisil orienteerumiskaardile väga lähedase kaardi. Selle eelduseks on objektide automaatne tuvastamine andmetest, mida võimaldavad nt tarkvarad O-Laser (looja rootslane Jarker Borman) ja Karttapullautin (looja soomlane Jarkko Ryynpo). Mõlemad nimetatud tarkvarad suudavad teha kaardi, millel on samakõrgusjooned, kaljujärsakud ja taimestik (lagedad ja metsa erinevad klassid vastavalt läbitavusele). Nt Karttapullautin'i tarkvara poolt tehtud taimestiku kaart on küll detailne, kuid selle pilt võib olla kirju ka seal, kus kasvab ühtlane hästiläbitav männimets (Olvet 2014).

Siiski on metsa läbitavuse määramine jäamas välitööde kõige ekstensiivsemaks tööetapiks, sest puudub piisavalt usaldusväärne automaatne läbitavuse määramise meetod, mistõttu saab tulevikus olema välitööde töömahukaim osa just metsa läbitavuse määramine (OCAD AG 2012). Petrovic (2014) siiski väidab oma uurimuses, et automaatsel viisil saadud orienteerumiskaardid ei kõlba võistlustel kasutamiseks, kuid nendega saab läbi viia treeninguid seal, kus puudub orienteerumiskaart ning mille piirkonna kohta on olemas vajalikud andmed. Poolautomaatsel viisil saadud orienteerumiskaarti peeti selle uurimuse põhjal üsna usaldusväärseks (joonis 5). Mistahes tehnoloogiaid kasutades, tuleb alati läbi viia välitööd ning kaandid trükkida paberile (Zentai 2014).



Joonis 5. Prevoje (Sloveenia) orienteerumiskaandid treeningrajaga. Vasakul automaatsel viisil saadud kaart Karttapullautin tarkvara väljundist ja rahvusliku topograafilise andmekogu andmetest, paremal poolautomaatsel viisil saadud kaart, mis lisaks automaatselt saadud kaardile sisaldab ka manuaalse interpretatsiooni teel lisatud objekte (Petrovic 2014)

2. LiDAR-i tehnoloogia

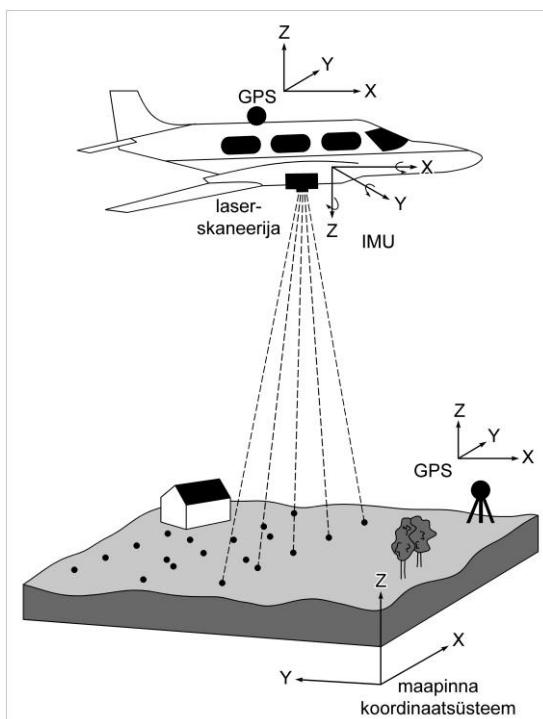
2.1. LiDAR-i töö põhimõte

LiDAR (ingl k *Light Detection And Ranging*) on aktiivne kaugseiretehnika, mis põhineb ajavahemike mõõtmisel, mille jooksul laserkiurguse impulss levib maapinnani ja peegeldub sellelt tagasi sensorisse (Lillesand & Kiefer 2009). Ajavahemike (t) mõõtmistel on võimalik arvutada sensori ja pinna vahelist kaugust (d) valemiga, sest valguse levimise kiirus (c) on teada ($c = 299792458 \text{ m s}^{-1}$) (Heritage & Large 2009).

$$d = \frac{c t}{2}$$

Valem 1. Distantsi d arvutamine, kus c on valguse kiiruse konstant ja t on ajavahemik.

Tänapäevane mõõdistustööde lennuk on varustatud GPS-seadmega (ingl k *Global Positioning System*) x-, y- ja z-koordinaatide saamiseks, IMU-seadmega (ingl k *Inertial Measurement Unit*) sensori nurga mõõtmiseks maapinna suhtes, laserit (sagedusega 15 000 impulsi sekundis), kõrgtäpsusega kella, arvutit, andmeserverit jm kaasnevat elektronikat (joonis 6) (Lillesand & Kiefer 2009). Mõõtetööde käigus on vaja ka mitut maapealset väljamõõdetud referentspunktia ning GPS-signaali ühendust 5–6 satelliidiga (Baltsavias 1999a).

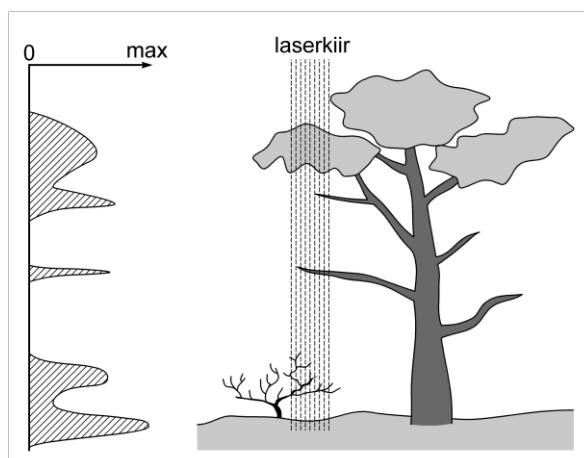


Joonis 6. Aerolaserskaneerimise põhimõte ja mõõdistussüsteemi osad (Lillesand & Kiefer 2009 järgi)

Maa-ameti kasutuses on laserskaneerimise seade Leica ALS50-II, mille laserkiire skaneerimismuster on sinusoidaalne (Metsur 2009). Eestis on laserpunktide asukoht arvutatud L-EST97 süsteemis. Punkt kõrgused on BK77 süsteemi arvutatud, kasutades geoidi mudelit EST-GEOID2003 (Maa-ameti geoportaal).

Aerolaserskaneerimisel on tähis planeerida lennutrajektoor nii, et ei jäeks uuritavasse maa-alasse auke ega vahesid. Lennu kõrgusest ja kiirusest ning laserskaneerimise nurgast ja sagedusest sõltub saadav punktipilve tihedus (Lillesand & Kiefer 2009). Punktipilve tihedus on suurem lennutrajektoori keskmises osas ning väiksem lennutrajektoori äärealadel. Sõltuvalt laserskaneerimise instrumendi tüübist, skaneerib sensor kas küljelt küljele Z-tähе kujuliselt küljelt küljele (joonis 6) või elliptiliste ringidena (Heritage & Large 2009). Eestis teostati aerolaserskaneerimise lennud kolmel kõrgusel: tiheasustusega aladel 1500 m kõrguselt, kaardistusotstarbel 2400 m kõrguselt ning põllumajanduse ja metsanduse otstarbel 3800 m kõrguselt (Maa-ameti geoportaal).

Modernne laserskaneerija suudab ühelt laserkiire impulsilt registreerida kuni 5 tagasipeegeldunud impulssi, mida on võimalik nende iseloomu järgi klassifitseerida (joonis 7). Esimene tagasipeegeldus (*first*) on objektide ülemistelt pindadelt, nt puuladvad, ning viimane tagasipeegeldus (*last*) on kõige alumiselt pinnalt, nt maapind. Esineb ka vahepealseid peegeldusi (*intermediate*), nt puuvõra sisemus. On võimalik, et ühelt laserkiire impulsilt peegeldub tagasi vaid 1 tugev impuls (*only*), nt avatud maapind või hoone katus (Lillesand & Kiefer 2009). Tagasipeegeldunud impulssidest genereerib arvuti punktipilve, mille igal punktil on x-, y- ja z-koordinaat, mida on võimalik visualiseerida 3D-mudelina (Medvedev 2004).

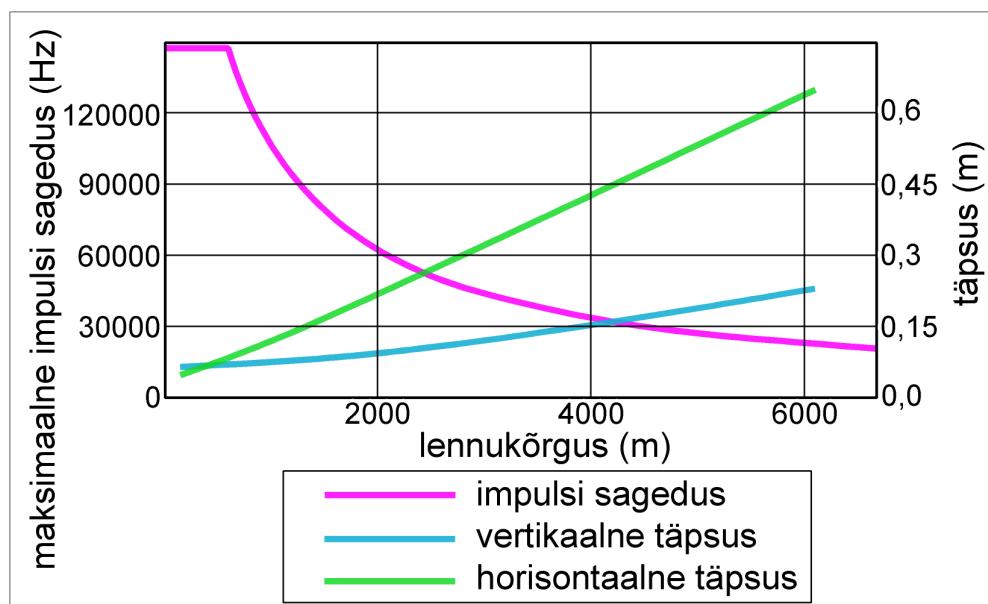


Joonis 7. Tagasipeegeldunud valguskiire impulsi tugevuse varieeruvus läbi keskkonna (Lillesand & Kiefer 2009 järgi)

2.2. LiDAR-i andmete täpsus

LiDAR-i süsteemi poolt kogutud andmete täpsust mõjutavad mitmed tegurid (Nayegandhi 2007): laserskaneerija täpsus, lennuki trajektoori ja asendi õigsus, GPS-positioneerimise koos erinevate seadmete kellaageade sünkroniseerimisega ning maaistikulised iseärasused. Kogutud andmete täpsust mõjutab ka andmetöötlus: asukoha andmete teisendus ühest koordinaadisüsteemist teise või andmekogu struktureerimine, nt rasterdamine.

Laserskaneerija poolt mõõdetud kolmemõõtmeliste koordinaatide täpsus sõltub peamiselt kolmest tegurist: kauguse määramine, laserkiire positsioneerimine ja laserkiire suunamine. Sõltuvalt laseri spetsiifikast, mõjutavad kauguse mõõtmise täpsust peamiselt laine sagedus, faaside vahe mõõtmise täpsus (sõltub signaali tugevusest), modulatsiooni ostsillaatori stabiilsus, tsüklite arv ühe mõõtmise kohta ja murdumisnäitajate variatsioonid (Baltsavias 1999b). Laserkiirte kulgu atmosfääris mõjutab ka ilm. Vihm vähendab mõõtmistäpsust ning vähendab ka võimalikku maksimaalset lennukõrgust. Kui atmosfääris leidub palju lenduvat liiva või tolmu, on mõõtmistäpsus häiritud horisontaalne nähtavuse korral, mis jäab alla 10 km. Lubatud maksimaalne tuulekiirus on 200 sõlme (Leica Geosystems AG). Iga mõõdetud punkti koordinaatide täpsus (joonis 8) ning punktipilve tihedus sõltub ka lennuki kiirusest ning kõrgusest uuritava maapinna suhtes (Wehr & Lohr 1999).



Joonis 8. Punkti asukoha vertikaalne ja horisontaalne täpsus ning maksimaalne impulsi sagedus kõrguse muutudes 40-kraadise vaatenurga juures (Metsur 2009 järgi)

Maa-ameti kasutuses olev laserskaneerija Leica ALS50-II mõõdab keskmiselt nt 1440 m kõrgusel 1,56 punkti/m², 2400 m kõrgusel 0,45 punkti/m² ja 3900 m kõrgusel 0,14 punkti/m² ning suudab madala lennu puhul saavutada nii horisontaalse kui ka vertikaalse täpsuse alla 10 cm (joonis 8) (Metsur 2009). Läti erafirma SIA Metrum kasutuses olev laserskaneerija Leica ADS40 on mõõtnud 1500 m kõrgusel kiiruse 140 km/h juures punkte tihedusega 1,14 punkti/m² ning horisontaalse täpsusega 18 cm ja vertikaalse täpsusega 5–15 cm) (Rugelis 2010).

Kui laserskaneerija poolt mõõdetud z-koordinaadi potentsiaalne täpsus ulatub alla 1 dm, peab ka punkti asukoha horisontaalne täpsus olema sama täpsusega madalate lendude puhul (joonis 3). Seda võimaldab positsioneerimissüsteem, millel on ühendatud IMU-seade GPS-seadmega (Wehr & Lohr 1999). GPS-seadmeks on antud täpsuse saavutamisel DGPS süsteem, mille puhul oma tegelikku asukohta teadev statsionaarne vastuvõtja arvutab erinevuse (diferentsi) oma tegeliku ja positsioneeritud asukoha vahel ning edastab arvutatud parandi liikuvalle ehk positsioneerivale GPS-vastuvõtjale (Roots).

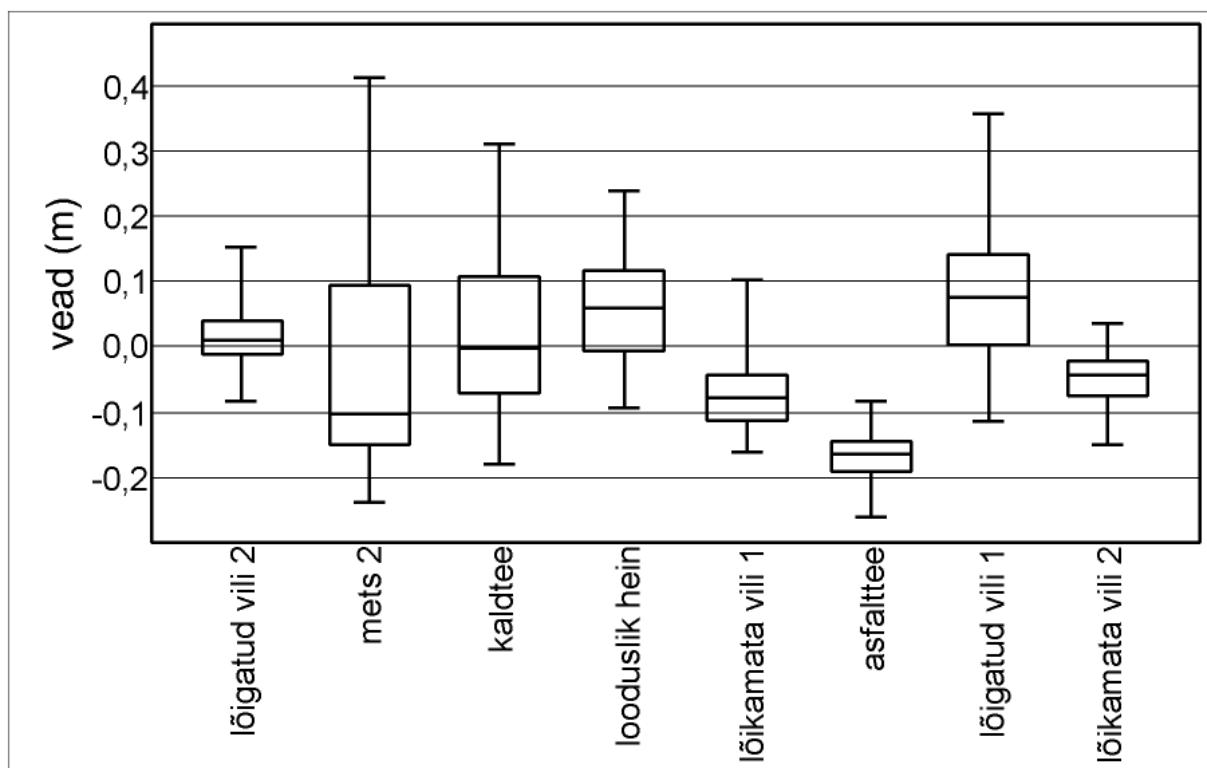
Laserskaneerimise tööprotsess eeldab, et kõik süsteemi osad (IMU, DGPS ja laserskaneerija) on väga täpselt sünkroniseeritud kellaaja suhtes. Üldjuhul salvestatakse positsioneerimise andmed ning laserskaneerija kogutud andmed eraldi arvutitesse, mis tähendab seda, et mõlema arvuti kellaajad tuleb sünkroniseerida ning selle täpsus mõjutab lõppandmete täpsust (Wehr & Lohr 1999). Kogu süsteemi poolt kogutud andmetest on GPS-andmed ainsad, mida saab kasutaja töödelda, võttes välja „halvad“ satelliidid ning kasutades sobivamat horisondinurka, mis parandab punkti horisontaalset täpsust (Vain 2011).

Andmete kvaliteeti alandab taimestik, sest taimestik segab laserimpulsi jõudmist maapinnani. Tihti on väga raske eristada maapinna punkte nendest punktidest, mis on tagasi peegeldunud nt madalalt tihedalt taimestikult. Maapinna punktide klassifitseerimisel tuleb erilise tähelepanuga kontrollida üle kohad, kus esineb palju „müra“, nt roostik või põõsastik. Üldiselt eemaldavad automaatsed algoritmid kuni 95% mittemaapinnapunkte, kuid ülejäänud kuni 5% põhjustab ligi 90% kogu maapinna reljeefimudeli vigadest (Nayegandhi 2007). Maa-ameti poolt jagatav LiDAR andmestik on automaatselt klassifitseeritud ja paljudes kohtades võib esineda vigu, nt järsud nõlvad pole klassifitseeritud maapinnaks (Vain 2011).

Automaatse klassifitseerimise läbinud toorandmed tähendavad seda, et seadme poolt salvestatud kõrguspunktile on automaatselt omistatud väärthus, mis näitab, kas tegemist on maapinna või mõne muu nähtusega. Lennukõrgustel 2400 m ja 3800 m on Maa-ameti poolt

laserpunktid automaatselt välja klassifitseeritud järgmiselt: 1 – klassifitseerimata, 2 – maapind, 7 – müra, 14 – meri. Tiheasustusega aladel kasutakse lisaks klassi 6 – ehitised, ei kasutata klassi 14 – meri. Klassifitseerimata on kõik punktid, mis jäavat maapinnast kõrgemale ja võivad iseloomustada näiteks taimestiku, hoonete või automaatse maapinna klassifitseerimise puudustest tulenevaid tegeliku reljeofi punkte (Maa-ameti geoportaal).

Tahhümeetriga väljamõõdetud ning LiDAR-i kõrgusandmeid võrdles Solnask (2009) ning väitis, et nendes andmetes oli vähem erinevusi kuusikus ja männikus ning rohkem erinevusi kaasikus. Sarnase metoodika alusel on antud teemat uurinud põhjalikult Vain (2008, 2011). Väiksemad erinevused andmetes olid niidetud heinamaal ja õuemaal ning suuremad erinevused olid tiheda vősaga metsas ja looduslikul heinamaal (kuni 100 cm) (Vain 2008). LiDAR-i andmeid ei tohi usaldada pimesi ning andmeid tuleb kontrollida seal, kus on tihe alustaimestik, nt vősane mets (joonis 9). Heaks indikaatoriks LiDAR-i andmete üldise täpsuse üle otsustamisel on asfalttee (Vain 2011).



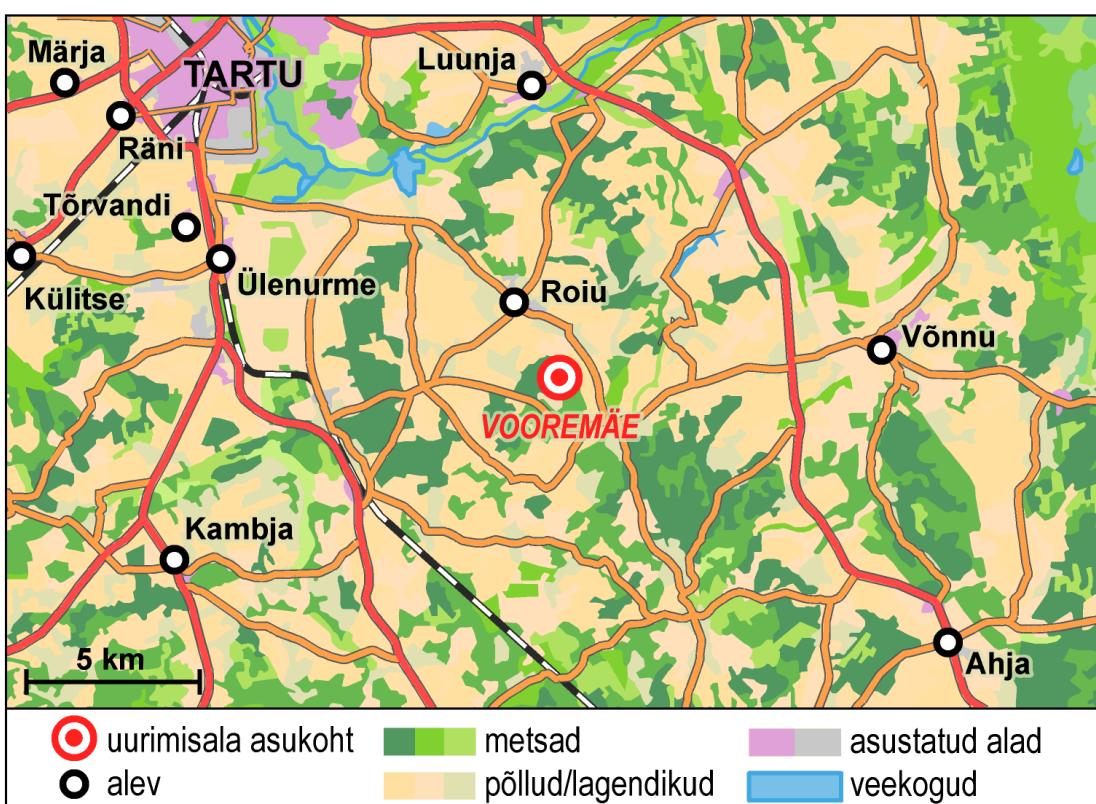
Joonis 9. Tahhümeetriliste mõõdistuste võrdlus LiDAR-i andmetega erinevates mõõdistuspiirkondades Emumäe piirkonnas 2010. aastal (Vain 2011 järgi)

LiDAR-i andmete kahemõõtmeliste koordinaatide ja geodi teisendamine ühest koordinaatsüsteemist ja/või geodist teise suurendab andmete ebatäpsust 1–5 cm iga teisenduse kohta (Nayegandhi 2007).

3. Metoodika

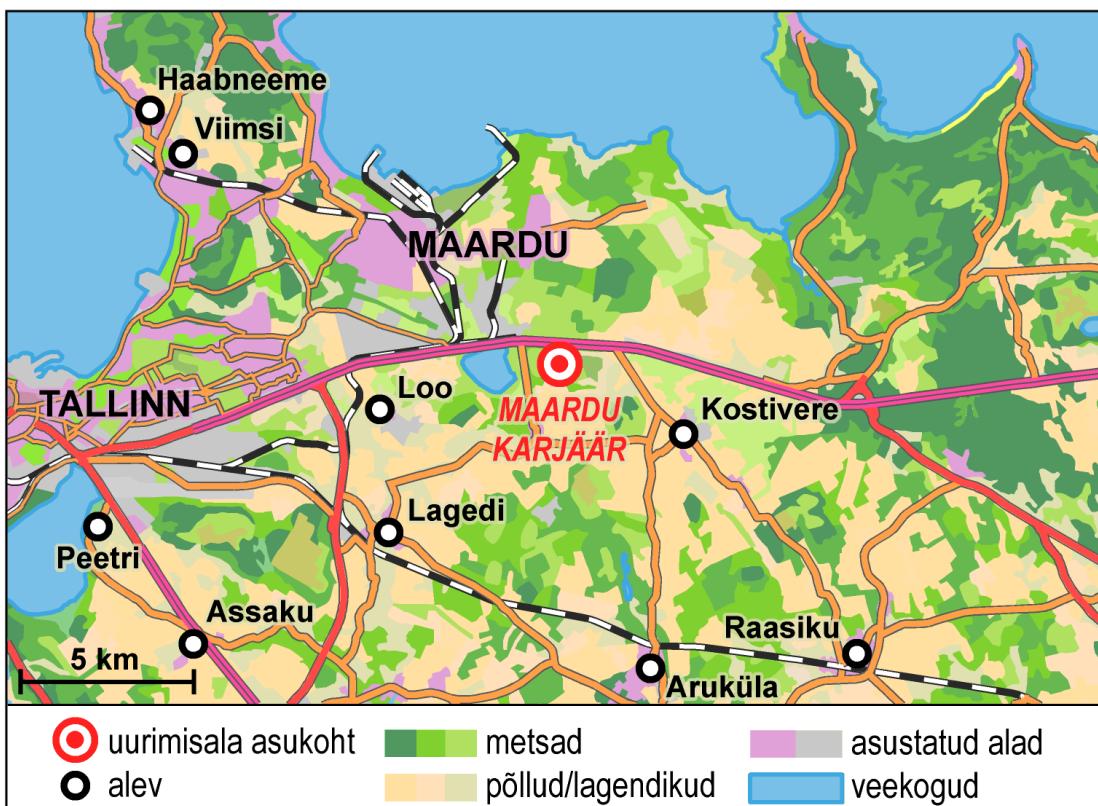
3.1. Uurimisalad

Vooremäe uurimisala kohta käivate orienteerumiskaartide põhjal leiti parim aluskaardi variant, mida on võimalik kasutada välitöödel orienteerumiskaartide tegemiseks. Uurimisala valikul sai otsustavaks maaстиku reljeefi liigestatus, muutlik taimestik, inimmõjud maaстиkule ning õuealade ja paljude teeradade olemasolu. Haaslava Vooremägi paikneb Tartust ~15 km kagus Ugandi lavamaal (joonis 10), olles selle maaстikurajooni kõrgeim tipp (123 m). Ugandi lavamaad kujundab peaaegu rõhtpindsest liivakividest ja aleurolitsne aluspõhjaline plato, mida liigendavad ürgorud ja mõned mõhnastikud (Arold 2005). Vooremägi on tekkeliselt osa sealsest glatsiofluviaalsest mõhnastikust (Maa-amet 2007). Vooremäl paiknevad osaliselt valgustatud terviserajad koos suusasildadega, mille lähedal on autoparkla (Haaslava vald 2011). Vooremäe lõunanõlval paikneb liivakarjäär, mille jäakvaru ammendamine ja korrastamistööd pole veel lõpule viidud (OÜ Viru Mäebüroo 2013). Haaslava Vooremäe kohta on tehtud kokku kuus orienteerumiskaarti aastatel 1976; 1986; 1995; 1998; 2005 ja 2013. Esimese kaardi autor on Arne Kivistik, nelja uuema kaardi autor on Madis Oras (Eesti Orienteerumisliit).



Joonis 10. Vooremäe orienteerumismaastiku asukoht

Maardu uurimisalal viidi läbi väljatöötatud aluskaartide põhjal proovikaardistus Maardu lõunakarjääris. Uurimisala paikneb Maardu lõunaosas Harju lavamaal (joonis 11), mille maastikuline eripära seisneb rõhtkihilise karbonaatkivimeist aluspõhja maapinnaläheduses, mille tõttu leidub palju lootaimkattega paetasandikke, mis vahelduvad moreentasandikega. Maardus on kaevandatud fosforiidimaaki aastatel 1954–1993 ning tekitatud aherainepuistangutega tehnogeenne reljeef (Arold 2005). Lõunakarjääri tranšeed on veetaseme tõusu tõttu täitunud veega (sügavus kuni 8 m). Lõunakarjääri alasid on osaliselt kultiveeritud kase- ja männiistikutega. Puistute seisukorda on hinnatud heaks. Osa korraastustöid pole lõpule viidud, nt tranšeede nõlvade tasandamine ja maa-ala täielik kultiveerimine, kus on hakanud kasvama võsa (TTÜ Mäeinstituut 2007). Praegu kaevandatakse paekivi Maardu V paekarjäärist, mis paikneb Peterburi maantee ja kaardistusala vahel. Maanteeäärses rikastusvabrikus purustatakse-sõelutakse paekivi ehituskilustikuks (Kink 2000). Maardu lõunakarjäärialala kohta poldud enne käesolevat uurimistööd tehtud ühtegi orienteerumiskaarti (Eesti Orienteerumisliit), mis oli otsustavaks faktoriks kaardistuse testala valikul, et välikaardistust ei mõjutaks varasemad orienteerumiskaardid.



Joonis 11. Maardu välitööde asukoht

3.2. Andmed ja andmetöötlus

Uurimistööks vajalikud andmed saadi erinevatel viisidel. Maa-ametist telliti LiDAR-i andmed nii las-formaadis kui ka xyz-formaadis (lisa 1), mis sisaldavad andmeid kogu mõõdetud punktipilve kohta. Amet väljastas vajalike alade kohta ka 5-meetrise rastri resolutsiooniga maapinna kõrgusmudeli geotiff-formaadis, ortofotod ecw-formaadis ja ETAK-i andmed shp-formaadis. Autor laadis Internetis rakenduva programmi „WMS Client“ (*WMS – web map service*) kaudu ortofotod ka ruutkilomeetrise tükkide kaupa jpg-formaadis nende lihtsamaks kasutamiseks tarkvaras OCAD. Vooremäe orienteerumiskaardid saadi ocd-formaadis otse autorilt Madis Oraselt uurimistööga seonduvaks kasutuseks. Vanem Vooremäe orienteerumiskaart valmis 2005. aastal traditsioonilistel kaardistusmeetoditel, mida korrigeeriti jooksvalt 2010. aastani. Uuem Vooremäe orienteerumiskaart valmistati LiDAR-i andmeid kasutades 2013. aastal ning seda kaarti on korrigeeritud ka käesoleval aastal orienteerumisvõistluse „Ilves3“ tarbeks.

Vooremäe vanema orienteerumiskaart tuli georeferentseerida ehk viia L-EST97 koordinaadistikku. Georeferentseerimine viidi läbi tarkvaras OCAD ning selle tarbeks viidi tarkvara tööväljale taustaks (*template image*) uue georeferentseeritud Vooremäe orienteerumiskaardi piltfail sobiva resolutsiooniga (200 DPI ehk *dots per inch*). Seejärel valiti kaardi nurkade lähedalt sobivad ankurpunktid, mille abil orienteerumiskaarti koolutada (*affine transformation*) koordinaatvõrgustikku. Georeferentseerimata orienteerumiskaardi georeferentseerimise teeb keerukaks asjaolu, et kaartidel esineb asukohatäpsuses moonutusi. Seetõttu ei ole antud tööprotsessi juures võimalik saavutada absoluutset täpsust. Orienteerumiskaardi reljeefiandmete võrdlusesse viimiseks korrastati orienteerumiskaartide reljeefjoonis, mis hõlmas ennast sama kõrgusväärtsusega samakõrgusjoonte juppide kokkuliitmist ning järsaku leppemärkide teisendamist samakõrgusjoonteks. Seejärel eksorditi kõik samakõrgusjooned tarkvarast OCAD shp-formaatti, mille järel tarkvaras ArcGIS igale samakõrgusjoonele omistada kõrgusväärthus. Selleks lisati andmete atribuutabelisse kõrgusvääruste veerg, kuhu sai redigeerimisel sisestada iga samakõrgusjoone kohta sellele vastava kõrgusväärtsuse. Ka muude nähtuste geometriat orienteerumiskaartidelt shp-formaadis eksorditi tarkvarast OCAD vastava töökäsu abil.

Väljastatud xyz-formaadis LiDAR-i andmefail sisaldab järgmisi andmeveerge iga mõõdetud punkti kohta: punkti klass, x-koordinaat, y-koordinaat, kõrgus merepinnast, laserimpulsi intensiivsus, punkti tüüp. Andmetöötluse antud etapi käigus filtreeriti välja vaid vajalikud

andmed, mis hõlmasid vaid maapinna punkte – klass 2. Veergudest eemaldati andmed punkti klassi, laserimpulsi intensiivsuse ja punkti tüübi kohta. Antud andmetööluse etappi lihtsustas selleks ettenähtud Internetis rakenduv programm „LiDARi faili filter“, mis väljastas ASCII formaadis txt-faili, mille iga rida sisaldab punkti x- ja y-koordinaati ning kõrgust. Iga rea andmekirjeid eraldab tühik ning kümnendmurumärk on punkt. Nii Vooremäe kui Maardu karjääri alade kohta said liidetud saadud txt-failid kokku, et ühes failis oleks kogu uurimisala andmed maapinna kõrgust kohta. Väljastatud fail on sobilik tarkvarale OCAD samakõrgusjoonte genereerimiseks. Antud formaadiga failist saab teha faili, mis sobib ilma tõrgeteta kasutamaks tarkvaras ArcGIS. Selleks tuli muuta vaid faili formaat, mille käigus ümbertöödeldud fail avati tarkvaraga MS Excel ning salvestati xlsx-failina.

Kõik reljeefimodelid ning joonised reljeefimodelite ja reljeefjooniste erisuse kohta teostati tarkvaraga ArcGIS. LiDAR-i andmetest reljeefimodeli loomisel tuli andmestik viia kõigepealt ArcGIS-i käsuga *Add XY Data*, pärast mida eksporditi punktiaadressid eraldi punktobjektide failidesse shp-formaadis, mis liideti üheks failiks tööriistaga *Merge*. Orienteerumiskaardi reljeefjoonisest ja LiDAR-i andmete maapinna punktidest saadi reljeefimodelid tööriistaga *Topo to Raster*, mis võtab arvesse samakõrgusjoonte kõrgusväärtusi. Rastri külje pikkuseks valiti seitse meetrit, sest ligilähedast tulemust pakkust tarkvara tööriist kõikide reljeefimodelite loomisel. Sama parameetritega loodi kõrgusmudelid ka ETAK-i põhiakaardi samakõrgusjoontest ja Maa-ameti poolt väljastatud viimeetrise resolutsiooniga maapinna kõrgusmudelist, et kõik kõikidest andmetest loodud kõrgusmudelid oleksid võrreldavad. Maa-ameti geotiff-formaadis maapinna kõrgusmudelist konstrueeriti samakõrgusjooned tööriistaga *Contour*, mille järel loodi saadud samakõrgusjoontest ArcGIS-i vaikimisi formaadis reljeefimodel.

Reljeefimodelite võrdlusesse võeti ala (lisa 2), mis hõlmab karjäärist põhjapoole jäävat kõige liigestatuma reljeefiga ala, sest kasutuses olev karjääriala on kaardistatud liiga üldiselt. Samuti tuli arvestada orienteerumiskaartide katvuse ulatust, mis pole ristikülikukujuline. Antud reljeefimodelite võrdlusala külgede koordinaadid on: $X_{\min} = 6463339,4$; $X_{\max} = 6463986,4$; $Y_{\min} = 668527,3$; $Y_{\max} = 669675,5$. Selleks kasutati tööriista *Clip*. Omavahelises võrdlusnes loodi tööriistaga *Minus* kaandid, mis kujutavad mudelite kõrgusväärtuse erinevusi LiDAR-i andmestiku suhtes ehk teistest kõrgusmudelitest lahutati LiDAR-i maapinna punktidest koostatud kõrgusmudel. Kahe mudeli erisuste kaardi kohta loodi tabelid reljeefimodelite erinevuste väärtusvahemike kohta. Selleks tuli rasterformaadis reljeefimodel konverteerida vektorformaadis punktobjektide failiks tööriistaga *Raster to Point*. Seejärel oli võimalik

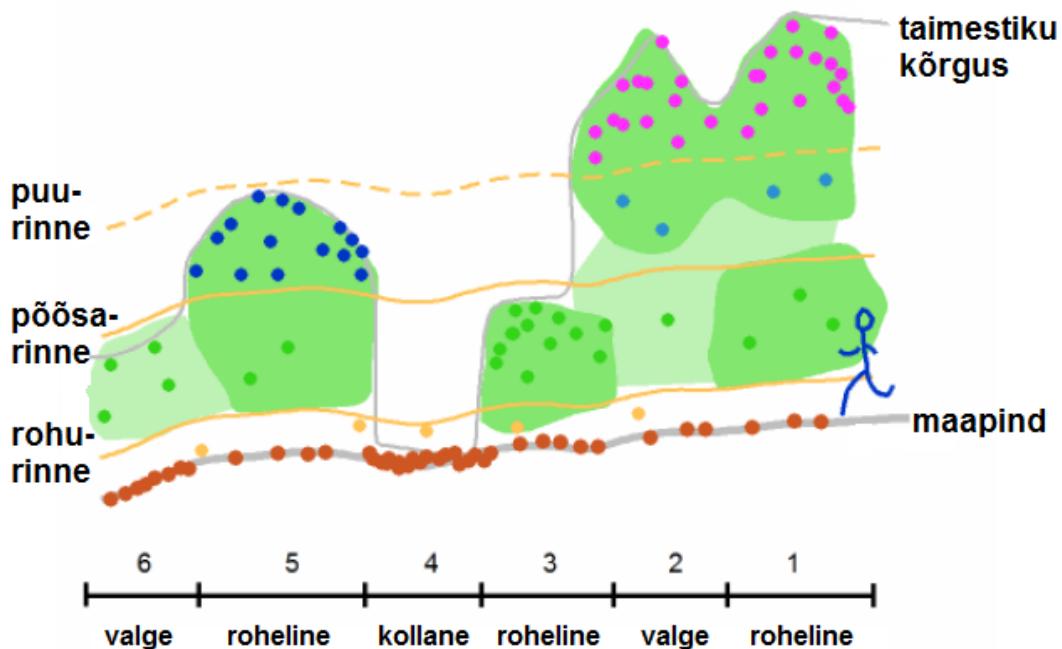
vektorfaili atribuutabelist eksportida väärustega andmetabel txt-formaadis, mida oli võimalik edasi kasutada tarkvaras MS Excel. Teine võimalus sellist protsessi läbi viia oleks olnud tööriista *Zonal Histogram* kasutamine, aga uurimistöö käigus tekkis antu juhul tarkvaraga tõrkeid.

Kivide, kaljude, liivikute jm antud nähtuste rühma andmete kirjeldamiseks loodi joonis, millele kanti orienterumiskaardilt kõik selle nähtuste rühma objektid ning ETAK-i andmetest lisati andmekiht „101_kivid_p“. Antud andmekihi atribuutandmetes on olemas veerg „kirjeldus“, kus leidus kahte eritüüpi kirjeid – „üksik kivi“ ja „kivihunnik“. ETAK-i andmetes pole andmekihil „304_lagedad_a“ atribuutandmete veerus „kirjeldus“ eraldi välja toodud liivaseid alasid või liivikuid. Sarnaselt eelnevale loodi joonis hüdroloogiliste nähtuste (sh sood) kohta. ETAK-i andmetest lisati andmekihid „202_seisuveed_a“, „203_vooluveed_j“ ja „306_margalad_a“. Kirjelduslik analüs viidi läbi visuaalselt mõlema rühma nähtuste kohta. Orienteerumiskaardi ja ETAK-i taimestiku kaardil kujutatut võrreldi hinnanguliselt kirjeldavalt joonise põhjal, millele oli kantud orienterumiskaardi taimestik, ETAK-i andmekihid „303_haritavad_a“ ja 304_lagealad_a ning OSM-i alade piiride andmekiht. ETAK-i ja OSM-i teede ja radade andmete analüüsimeks koostati joonised, millele kanti orienterumiskaardi teede- ja radadevõrk ning ühele joonisele ETAK-i teed ja rajad vastavalt kattetüübile ja sihid (andmekihid „501_teed_a“, „501_teed_j“, „503_sihid_j“ ning teisele joonisele OSM-i teed ja rajad vastavalt kategooriale. Muude inimtekkelite objektide kajastamist ETAK-i ja OSM-i kaartidel võrreldi orienterumiskaardiga samuti joonise alusel, kuhu lisati ETAK-i andmekihid „302_oued_a“, „401_hooned_a“, „405_piirded_j“, „601_eliniid_j“ ning „602_seadmed_p“ andmekihist kirjelduse põhjal ainult mahutid ning OSM-i andmetest hooned, sest muid inimtekkelisi nähtusi polnud uurimisalal antud kaardil olemas, kuigi OSM-i kaardile on võimalik kanda mitmeid antud kategooria nähtuseid, nt tõkkepuud, müürid jms.

LiDAR-i andmete põhjal tehti laserimpulssi tagasipeegeldamise intensiivsuse kaart, mis näitab must-valgel värviskaalal intensiivsust (mida tumedam, seda suurem intensiivsus). Kaarti on võimalik genereerida Fugro Viewer vabavaras, avades las-formaadis andmefail ning valida õige nupp intensiivsuspildi kuvamiseks. Teine võimalus intensiivsuspilti on teha tarkvaras ArcGIS, kui importida x- ja y-koordinaandid koos intensiivsusnäitajaga iga mõõtepunkti kohta ning seejärel kuvada punktid ning omistada neile sobiv must-valge skaala.

3.3. Karttapullautin'i ja ETAK-i kaardid

Karttapullautin on tarkvara automaatsel viisil loodud orienteerumiskaartide tegemiseks LiDAR-i andmete põhjal. Üldjuhul lisatakse tarkvara poolt loodud orienteerumiskaardile veel topograafilisi andmeid, et suur osa orienteerumiskaartidel kajastatavatest nähtustest saaks kaartidele kantud. Antud tarkvara töötab ilma spetsiaalse installeerimiseta ja on pärast alla laadimist kohe kasutusvalmis. Enne kasutamist tuleb LiDAR-i andmetel viia sisse andmetöötlus vabavaralise tarkvara paketi LASTools tööriistaga „las2txt“. Antud tööriista imporditakse LiDAR-i las-formaadis andmefail, mis konverteeritakse xyz-formaadis failiks, mis sisaldab veerge järgmiste andmete kohta: x-koordinaat, y-koordinaat, z-koordinaat, klassifikatsioon, laserimpulsi tagasipeegelduste arv, tagasipeegeldumise number, tagasipeegeldunud laserimpulsi intensiivsus. Antud failist teeb tarkvara Karttapullautin kaardi, millel on kujutatud reljeef (täishorisontaalid viiemeetrise lõikevahega, mille vahel veel abihorisontaalid) ja taimestik (joonis 12) (mistahes lagedad alad, hästi joostav mets, raskemini joostavad metsatüübhid) (lisa 4). Kaardile märgitakse automaatselt peale ka magnetilise põhjasuuna jooned. Saadud kaart on png-formaadis, millega on kaasas pgw-fail, milles on asukohainfo.



Joonis 12. Karttapullautin tarkvara taimestiku kaardistamise põhimõte LiDAR-i punktipilve järgi, mille puhul kogu ala jaguneb lagendikeks (kaardil helekollane), hästi joostavaks metsaks (kaardil valge) ja raskemini joostavaks metsaks (kaardil rohelised värvid) (Karttapullautin)

ETAK-i andmete põhjal on võimalik luua välitöödeks aluskaart (lisa 5), millele on kantud kõik nähtused, mis orienteerumiskaardi koostamisel võib vajalikuks osutuda ja mis on Vooremäe uurimisalal esindatud. Osa nähtusi on üks-ühele konventeeritavad, osa nähtusi tuleb aga atribuutandmete järgi jagada mitmeeks orienteerumiskaardi nähtuseks ning osa andmeid võivad olla mittevajalikud (tabel 1). Tihti kasutatakse aluskaarti, millel on Karttapullautin'i väljund, mille peale on lisatud topograafilisest andmekogust andmekihid erinevate nähtuste kohta (lisa 6).

Tabel 1. ETAK-i andmete konverteerimine orienteerumiskaardi leppemärkideks vastavalt ETAK-i andmekihtidele ja orienteerumiskaardi leppemärgi numbritele ISOM-i põhjal

ETAK-i andmekiht	ISOM-i leppemärgi number
101_kivid_p; kirjeldus: kivihunnik	209
101_kivid_p; kirjeldus: üksik kivi	206
102_nolvad_j	106
103_pinnavormid_j; kirjeldus: vall	107
103_pinnavormid_j; kirjeldus: kaitsekraav	109
103_pinnavormid_p; kirjeldus: auk	116
202_seisuved_a	302
203_vooluveed_j; laius: 10	306
203_vooluveed_j; laius: 20; 30; 40	305
301_inimalad_a; kirjeldus: haljasala	401
301_inimalad_a; kirjeldus: jäätmaa	403
302_oued_a	527
303_haritavad_a	415
304_lagealad_a	403
305_puistud_a; kirjeldus: mets	405
305_puistud_a; kirjeldus: põõsastik	406
306_margalad_a	310
401_hooned_a	526
403 Rajatised_a	526
405_piirded_j; kirjeldus: tehissein	522
405_piirded_j; kirjeldus: kiviaed	519
501_teed_a	529
501_teed_j; teekate: 10	503
501_teed_j; teekate: 20	504
501_teed_j; teekate: 30	505
501_teed_j; teekate: 997	506
503_sihid_j	509
601_eluinid_j	516
602_seadmed_p	540
Korgusjoon_j	101

3.4. Orienteerumiskaardi optimeeritud tootmise testtöö

Testkaardistus sooritati endise Maardu karjääri lääneosas. Esmane maaстiku tutvus toimus 14.05.2015, et tutvuda maaстiku ja selle iseärasustega. Selleks jalutati maaстikul kolm tundi, et näha erinevaid metsatüüpe ning läbi möelda metsa läbitavuse üldistusaste, millega kaardistamisel arvestada. Testkaardistuse välitööd viidi läbi 22.05.2015, et taimestik oleks saavutanud enamvähem suvise väljanägemise. Nii on võimalik tagada metsa läbitavuse objektiivsem kaardistamine, sest raagus puudega hindab kaardistaja tavaliselt metsa läbitavust reaalsusest paremaks. Välitöosid ei tehtud traditsiooniliselt, mille puhul on kaasas üks aluskaart, mille peal kalkapaberil, millele kaardistaja joonistab orienteerumiskaarti. Maaстikul oli kaasas kolm aluskaarti, mis kõik olid väljaprinditud mõõtkavas 1:5 000, sest see mõõtkava on tavaliselt kasutatav mõõtkava välitööde puhul:

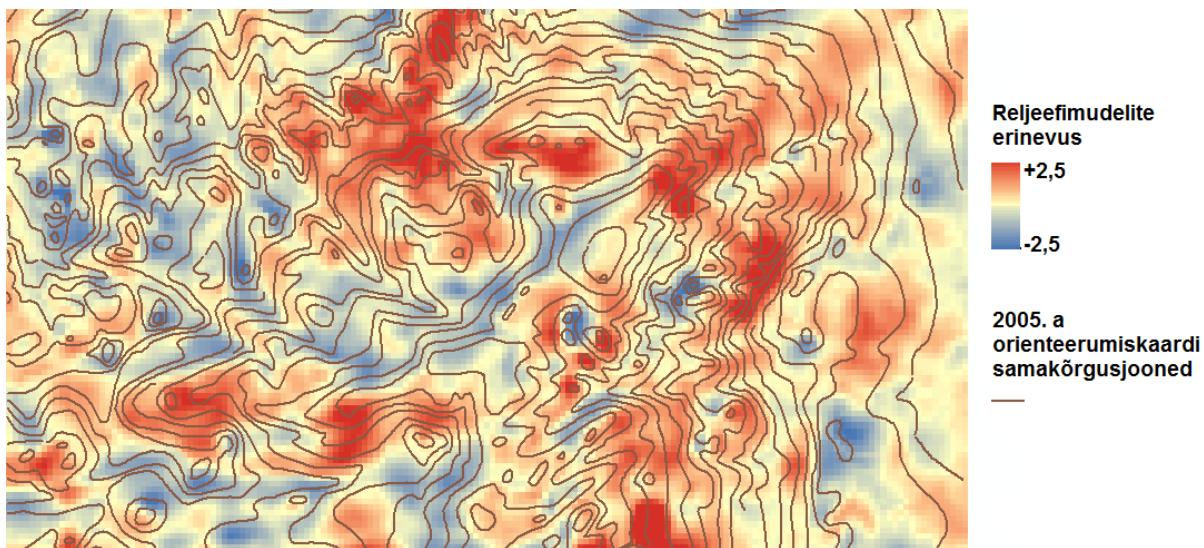
- ortofoto koos 1,25 m lõikevahega samakõrgusjooned LiDAR-i andmetest (lisa 7);
- LiDAR-i mõõtmispunktide intensiivsuskaart koos 1,25 m lõikevahega samakõrgusjooned LiDAR-i andmetest (lisa 8);
- Karttapullautin'i väljund, millel tavahorisontaalide lõikevahe on 5,0 m, poolhorisontaalide lõikevahe 2,5 m koos ETAK-i nähtustega vastavalt tabelile 1 (lisa 9).

Erinevatele aluskaartidele tehti märkmeid ja joonistusi vastavalt sellele, millises situatsioonis oli vastavat aluskaarti kõige parem kasutada. Reljeefi kaardistamisel tehti vajalikud märkmed aluskaardile, kus reljeefi tuli täpsustada. 35 m samakõrgusjoont polnud välitöodel võimalik eristada, sest järskude veekogu kallaste tõttu langes joon kokku kaldajoonega, mistõttu jäeti see samahorisontaal kaardil kujutamata. Üksikute kivide jm punktobjektide asukohti määratati aluskaartide põhjal ning vajadusel mõõdeti välja ligikaudne asukoht sammupaaridega mõõdistades aluskaardilt selgesti eristatavatest asukohtadest. Kivide kaardistamise valiku tsensuseks valiti pool meetrit, millest kõrgemad kivid kanti kaardile. Selliste objektide kaardistamist kiirendaks oluliselt veel GPS-seadme kasutamine, mida välitöodel uurimistöö käigus ei kasutatud. Taimestiku kaardistamisel püüti detailsemalt kaardistada kõlviku piire ja lagedate alade vaheldumist metsaga. Metsa läbitavuse osas võeti suurem üldistusaste, sest üldjoontes on kogu maaстik hea või väga hea joostavusega. Testkaardistamisel tuli jälgida mitmeid kartograafilisi printsiipe, nt stiiliühtsusprintsiip, täituvusprintsiip ja loetavusprintsiip. Järgiti ka mitmeid üldistamisprintsiipe, nt lihtsustamine, silumine, liialdamine, röhutamine, nihutamine ja kõdumine. Magnetiliseks deklinatsiooniks määratati keskmiselt 8 kraadi itta.

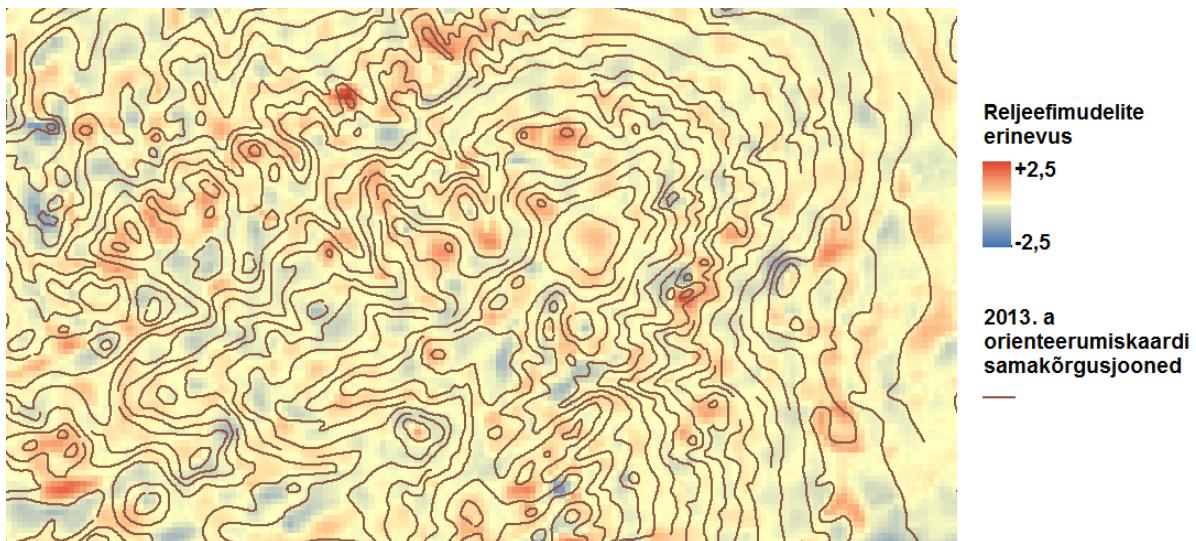
4. Tulemused ja arutelu

4.1. Reljeef

Mõlema Vooremäe orienteerumiskaardi reljeefiandmeid võrreldi LiDAR-i kõrgusandmetega. Väga selgelt tuleb esile vanema 2005. aasta orienteerumiskaardi reljeefi ebatäpsem kujutamine kaardil võrreldes uue 2013. aastal valminud orienteerumiskaardiga. Vanema orienteerumiskaardi reljeefi ebatäpsust suurendasid tõenäoliselt veel asukohalised nihked, sest orienteerumiskaart valmis traditsioonilisemaid meetodeid kasutades. Maksimaalne erinevus positiivses suunas vana orienteerumiskaardi ja LiDAR-i reljeefimodelite vahel oli ligi üheksa meetrit ning negatiivses suunas ligi neli meetrit. Kuni ühemeetrise erinevusega LiDAR-i kõrgusmudelist oli ~70% vanema orienteerumiskaardi reljeefimudelist (lisa 3). Jooniselt 13 on näha, et mitmel juhul on vanemal orienteerumiskaardil võimendatud reljeefivorme vastavalt kõrgemana või sügavamana, kui need reaalselt maaistikul on. Mitmed suure erinevusega alad tähistavad ka kohti, kus vana orienteerumiskaardi reljeef oli väiksema asukohatäpsusega. Uue orienteerumiskaardi ja LiDAR-i kõrgusandmete reljeefimodelite erinevus on oluliselt väiksem. Kõikumised ei ületanud kolme meetrit mõlemas suunas ning koguni ~98% ulatuses oli uuema orienteerumiskaardi erinevus LiDAR-i kõrgusandmete reljeefimodeli suhtes oli alla ühe meetri (lisa 3). Uus 2013. aastal valminu orienteerumiskaart on valmistatud LiDAR-i andmeid kasutades, mis seletab ära oluliselt väiksema kõrguste erinevuse antud reljeefimodelite vahel (joonis 14). See tähendab, et LiDAR-i andmete kasutamine on vähendanud oluliselt kaardistaja subjektiivsust reljeefivormide orienteerumiskaardil kujutamisel ning sellega on kaasnened ka parem asukohatäpsus.



Joonis 13. LiDAR-i reljeefimudeli võrdlus 2005. aasta orienteerumiskaardi reljeefimudeliga (tehe: orienteerumiskaart – LiDAR) koos sama orienteerumiskaardi samakõrgusjoontega

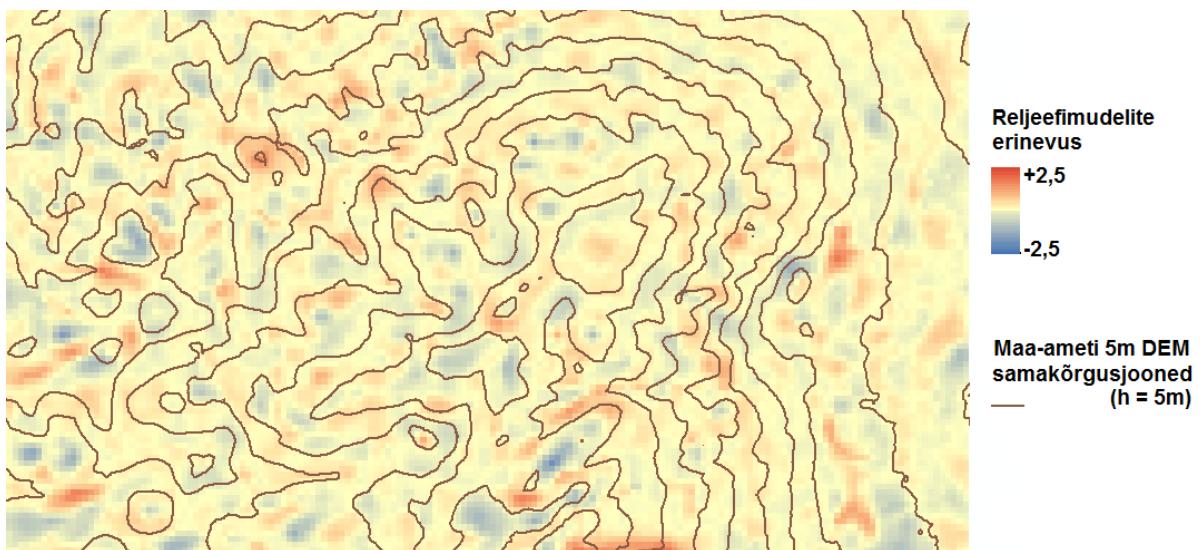


Joonis 14. LiDAR-i reljeefimudeli võrdlus 2013. aasta orienteerumiskaardi reljeefimudeliga (tehe: orienteerumiskaart – LiDAR) koos sama orienteerumiskaardi samakõrgusjoontega

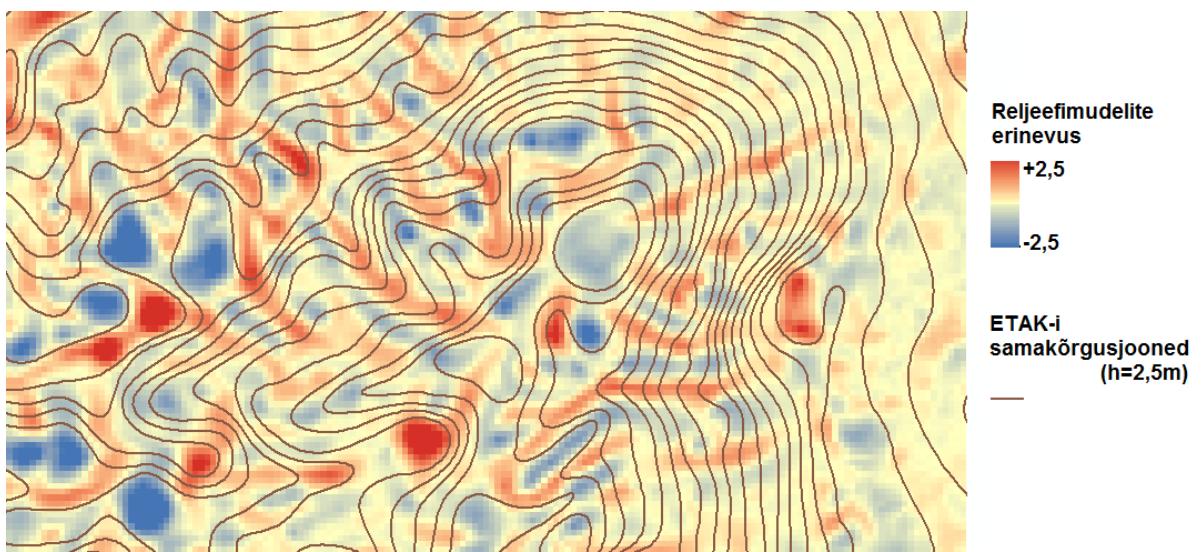
Uuriti ka Maa-ameti viimeetrise resolutsiooniga maapinna kõrgusmudeli ja ETAK-i samakõrgusjoonte kasutatavust orienteerumiskaardi tegemisel. Analüüsimal selgus, et Maa-ameti kõrgusmudelist genereeritud samakõrgusjooned on piisavalt usaldusväärse täpsusega (joonis 15). Võrreldes LiDAR-i andmete kõikidest maapinnapunktidest koostatud reljeefimudeliga oli viimeetrise resolutsiooniga kõrgusmudel ~99% ulatuses kuni ühemeetrise erinevusega (lisa 3). Võib väita, et see kõrgusmudel on piisavalt detailne ja täpne,

mistõttu see sobib orienteerumiskaartide tegemisel alusmaterjaliks reljeefi joonistamiseks väga hästi. Selle andmestiku materalne eelis on odavam maksumus, mille tõttu on selle andmestiku kasutamine õigustatud juhul, kui ei soovita kasutada kogu LiDAR-i andmestiku punktipilve alusmaterjalina, mille põhjal saab ka taimestiku kohta olulist infot ning mille reljeefimudelil on mikroreljeefi väikseimad detailid paremini esiletoodud. Selle andmestiku kasutamine eeldab GIS-tarkvara olemasolu (nt ArcGIS või QGIS), mis genereeriks kõrgusmudelist samakõrgusjooned.

ETAK-i samakõrgusjoontest genereeritud kõrgusmudel näitab selgelt selle andmestiku suuremat üldistatust, sest antud reljeefimudeli võrdlemisel LiDAR-i maapinnapunktide reljeefimudeliga on selgelt näha, et ETAK-i samakõrgusjooned ei kujuta piisavalt nõlvadel paiknevaid orvandeid ja ninasid ning mitmed lohupõhjad ja künkalaed on üldistatud laugemateks. Seda ilmestavad joonisel 16 paiknevad künka nõlvaga risti paiknevad piklikud suurema kõrguserinevusega alad. Antud kahe reljeefimudelite erinevused ulatusid positiivses suunas ligi kuue meetrini ja negatiivses suunas samuti ligi kuue meetrini. Samas üldine ETAK-i samakõrgusjoonte sobivus orienteerumiskaardi alusmaterjaliks on rahuldav, sest kuni ühemeetrine erinevus on ~85% selle andmestiku reljeefimudelil (lisa 3). ETAK-i samakõrgusjoonte alusmaterjalina kasutamisel reljeefi kaardistamisel, saab kaardistaja arvestada üldise õige geomeetria ja kõrgussuhetega, kuid peab oluliselt joonistama reljeefi detaile juurde.



Joonis 15. LiDAR-i reljeefimudeli võrdlus Maa-ameti viiemeetrise resolutsiooniga maapinna reljeefimudeliga (tehe: viiemeetrise resolutsiooniga reljeefimudel – LiDAR) koos Maa-ameti reljeefimudelist tuletatud samakõrgusjoontega



Joonis 16. LiDAR-i reljeefimudeli võrdlus ETAK-i samakõrgusjoontest tuletatud reljeefimudeliga (tehe: „ETAK“ – „LiDAR“) koos ETAK-i reljeefiandmete samakõrgusjoontega

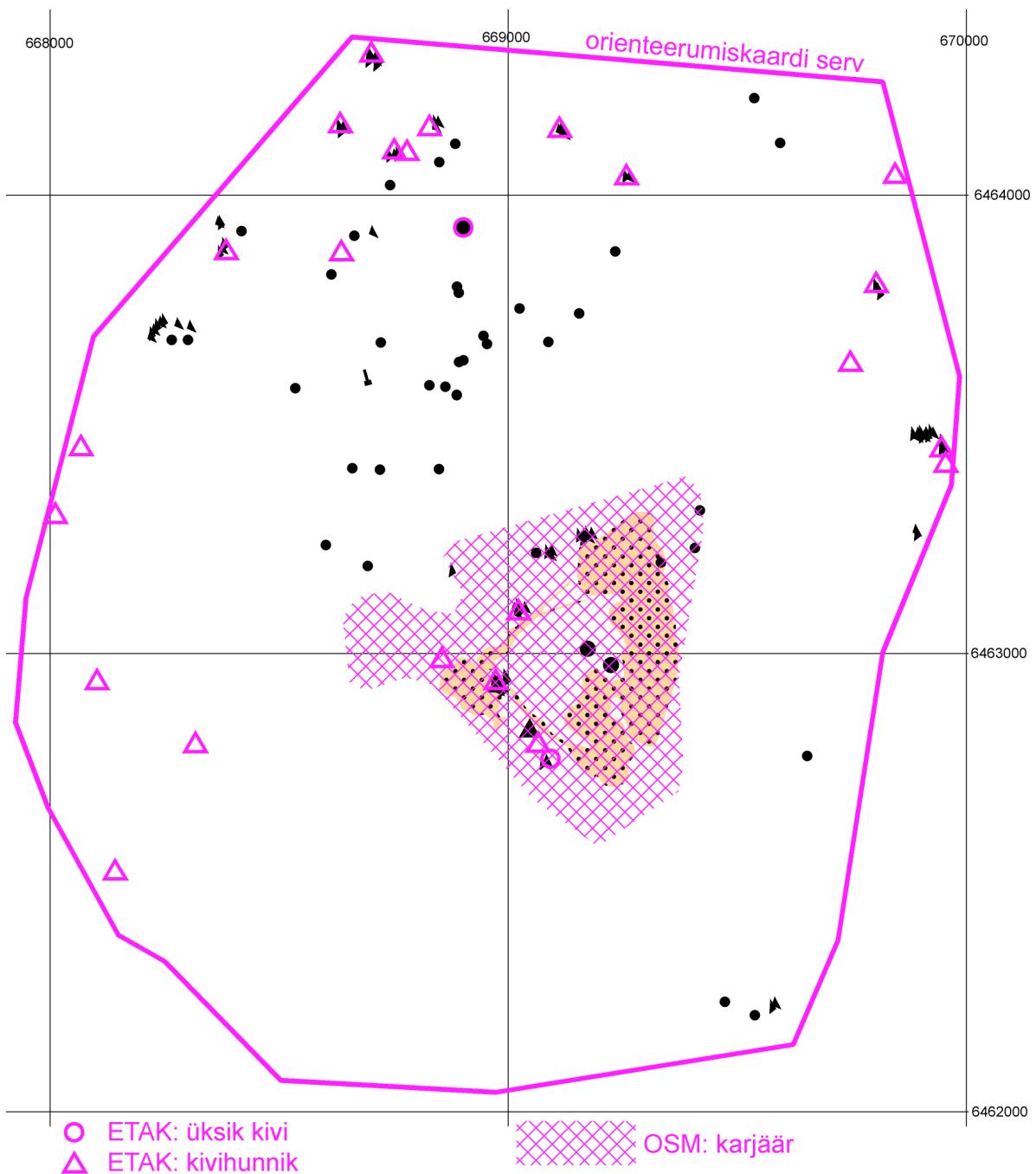
LiDAR-i andmete maapinnapunktidest loodavad samakõrgusjooned erinevates tarkvarades annavad väga sarnase tulemuse (joonis 17), mille tõttu ei ole siinkohal vajalik eelistada ühte või teist tarkvara, vaid võib kasutada tarkvara, mida on orienteerumiskaardi tootmisel ja andmete kasutamisel kõige lihtsam kasutada. Karttapullautin'i tarkvara väljundi puhul on näha mõned samakõrgusjooned rohkem, mis näitab, et see arvestab rohkem traditsioonilisemat reljeefi kujutamist orienteerumiskaardil ning on mõningaid pisivorme või künkalagesid võimendanud. Kuna orienteerumiskaardi tootmine toimub eeskätt tarkvaraga OCAD, siis on kaardi tootmisel kõige mõttetekam kasutada selle tarkvara võimalusi, mis võimaldab samakõrgusjoonte genereerimisel valida sobivad samakõrgusjoonte lõikevahed.



Joonis 17. 2,5 meetrise lõikevahega genereeritud samakõrgusjooned kolme erineva tarkvara poolt. Väikeste erinevuste tõttu jooned oluliselt kattuvad üksteisega.

4.2. Kivid, kaljud ja liivikud

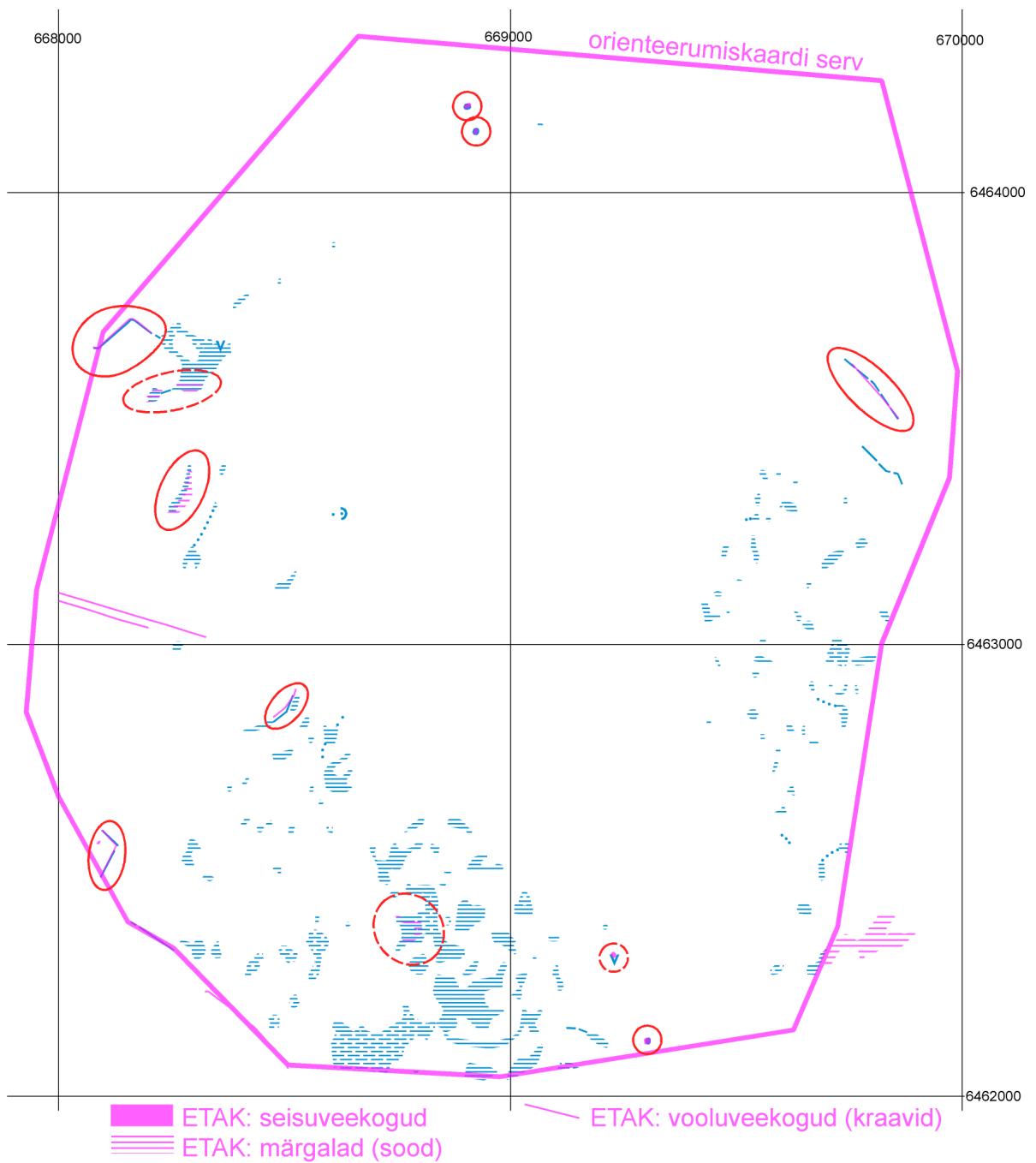
Joonise 18 põhjal on 2013. aastal valminud Vooremäe orienterumiskaardil kujutatud kolm suurt kivi ning mitmeid väikeseid kive (ISOM-i leppemärgid vastavalt nr 207 ja 206). ETAK-i andmetes on antud piirkonna kohta andmeid vaid kahe üksiku kivi kohta, millest üks langes kokku orienterumiskaardile märgitud suure kiviga ning teine paikneb orienterumiskaardile märgitud kivikülvi lähedal. Kaks suurt kivi, mis olid orienterumiskaardile kantud, aga polnud ETAK-i andmetes kajastatud, paiknevad mõlemad karjääris, mistõttu ei pruugi see ETAK-i andmetes olla kajastatud põhjusel, et need kivid võivad olla kaevandamise käigus maa seest tulnud. Väga väikese ühisosa põhjustab ilmselt asjaolu, et orienterumiskaardi ja ETAK-i realsusmudelid on erinevad. Orienterumiskaardile kantakse ka üsna väikeseid kive (üldjuhul alates kõrgusega 0,5 m), mida Eesti põhikaardile ei kanta. Selle tõttu polegi ühtegi orienterumiskaardile kantud väikest kivi ETAK-i andmetes kajastatud. Orienterumiskaardile kivihunnikuid üldjuhul eraldi leppemärgiga kaardile ei kanta, mistõttu pole ETAK-i andmetes olevatest kivihunnikutest orienterumiskaardi tegemisel alusmaterjalile kandmisest suurt kasu, vaid mõni (kaheksal juhul) ETAK-i kivihunnik langeb kokku orienterumiskaardile märgitud kivikülgiga (leppemärk nr 208). Siinkohal sõltub nii Eesti põhikaardi kui orienterumiskaardi kaardistaja subjektiivsusest, kust läheb piir kivihunniku ja kivikülvi vahel. Kuna ETAK-i andmete kihis „304_lagedad_a“ ei ole eraldi kirjelduste all märgitud liivaseid alasid või liivikuid, siis antud juhul ETAK-i andmetest avatud liivase pinnasega alasid (leppemärk nr 211) orienterumiskaardi alusmaterjalile kanda ei saaks. OpenStreetMap'i andmetes on liivikute nähtus kirjeldatud, kuid Vooremäe piirkonnas on kaardile kantud karjääär, mille sisse jääb orienterumiskaardil paiknev liivaneala. Vooremäe orienterumiskaardil on üks 15-meetrine kivijärsaku lõik suusaraja ääres, mida Karttapullautin'i kaart (joonis 17) ei kajasta. Selle töenäoline põhjus võib olla seotud sellega, et see järsak ei pruugi olla piisavalt kõrge või suure kallakusega, aga kaardistaja on selle siiski nii kaardile kandnud. Karttapullautin tarkvara suudab eristada järsakuid ning neid väljundkaardile kanda. Selle võimaluse kasutegur avaldub maastikel, kus leidub järsakuid, nt Soome kaljumaastikel.



Joonis 18. Kivide, kaljude ja liivikute rühma nähtuste levik Vooremäe uurimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-ile) kui ETAK-il ning karjääri paiknemine OpenStreetMap’i andmete põhjal

4.3. Veekogud ja sood

Nii orienteerumiskaardil kui ETAK-i andmete põhjal paiknevaid veekogusid ja soosid on kujutatud joonisel 19 punaste ellipsitega kas täisjoonega (täielik kattuvus) või kriipsjoonega (osaline kattuvus). Vooremäe orienteerumiskaardi alal paikneb kolm väikest veekogu ning üks veeauk, mis kõik olid ETAK-i andmetes olemas seisuveekoguna kattuvates asukohtades. Selle nähtusklassi leviku kattuvus mõlema andmeallika suhtes on täielik, mistõttu võib pidada ETAK-i seisuveekogude andmestikku väga usaldusväärseks. Vooremäe orienteerumiskaardil paiknevad vähesed kraavid olid enamjaolt ETAK-i andmetes õigetes asukohtades kajastatud. Vaid üks väike kraav (ISOM-i leppemärk nr 307) puudus. Märkimisväärne on see, et kahte paralleelset kraavi, mis on ETAK-i andmetes olemas, pole orienteerumiskaardile kantud, mistõttu võib andmetesse vooluveekogude suhtes kriitilisem olla, aga tegu võib olla ka juhusega, mil need kraavid pole enam veega täidetud. Kattuvate kraavide geomeetria oli kõikidel kattuvatel juhtudel väga sarnane. Soodel ja soostuvatel aladel tehakse orienteerumiskaartidel vahet ning neid kaardistatakse orienteerumiskaartidele väga täpselt, mille tõttu on orienteerumiskaartidel soid ja soostuvaid alasid väga palju võrreldes ETAK-i andmetega. Tihtipeale ei pruugi soostuva pinnasega ala tajuda kuival aastaajal pinnase niiskuse tõttu, vaid soostuvale pinnasele viitab spetsiifiline taimestik. Samas on andmetest joonisele kantud kõik sood orienteerumiskaardil soo või soise alana ka peale kantud. Seega on need andmed märgalade kohta tõesed, kuid puudulikud orienteerumiskaardiks vajalikus mahus. Märgalade puhul põhjustab kaardistatud objektide arvukuse erinevust mõlema kaardi realsusmudeli ja kaardistajate tõlgenduste erinevus. Orienteerumiskaardil on kaardilekantava objekti miinimummõõtmed reeglina väiksemad kui Eesti põhikaardil, mistõttu põhikaardil puuduvad pisisood.

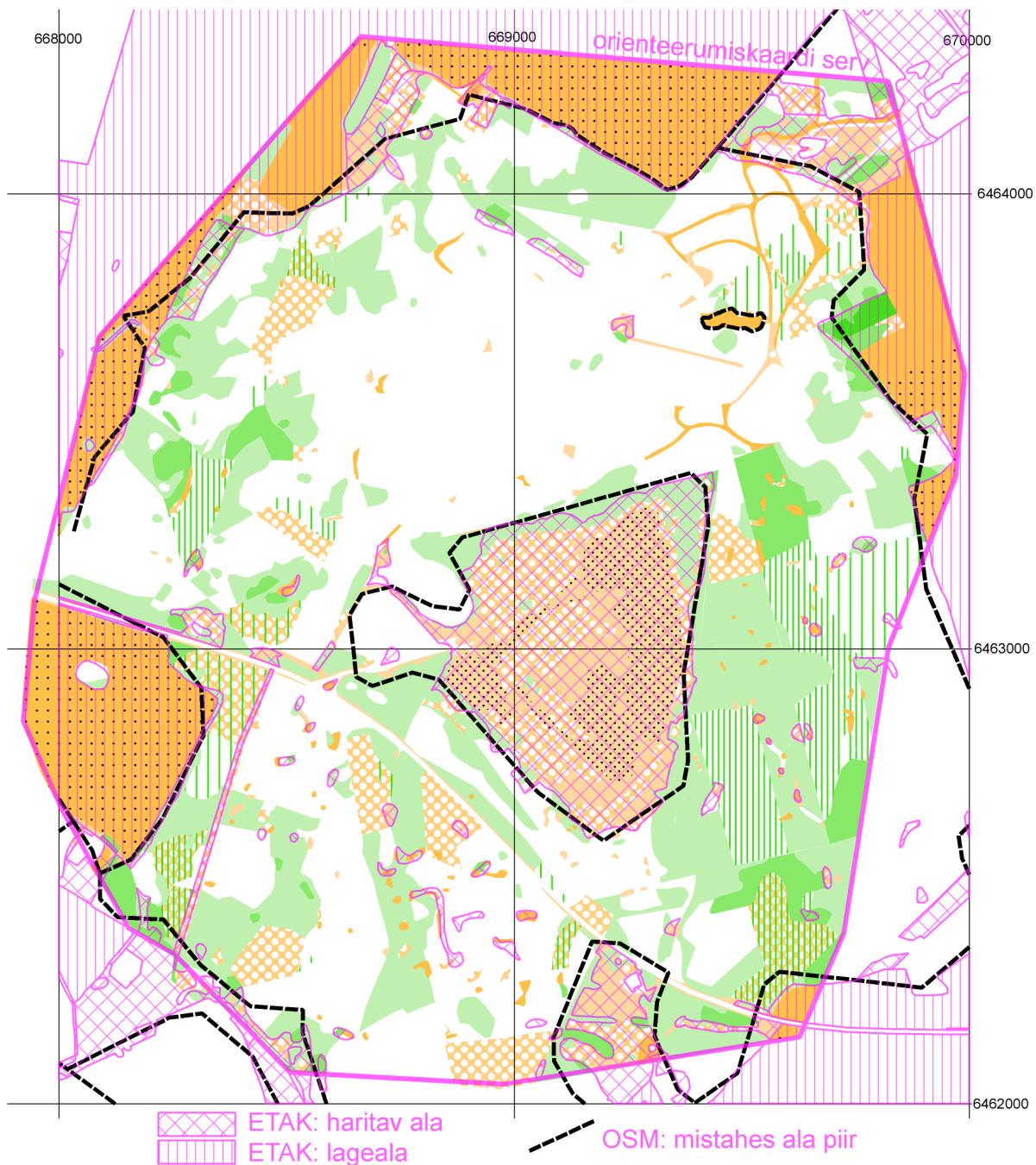


Joonis 19. Vee kogude ja soode levik Vooremäe uurimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-ile) kui ETAK-il

4.4. Taimkate

Orienteerumiskaartidel eristatakse kolme tüüpi lagendikke – avatud ala, poollage ala ja haritav maa (ISOM-i leppemärgid vastavalt nr 401; 403 ja 415). Neljandaks lagendikutüübiks võib veel pidada liivaseid alasid, millel puudub taimestik (leppemärk nr 211). Oluline erinevus orienteerumiskaardi ja Eesti põhikaardi vahel on see, et lagedaid alasid üksikute puudega kujutatakse orienteerumiskaardil vastavate pindleppemärkidega (leppemärgid nr 402 ja 404), kuid Eesti põhikaardil on sellised alad kujutatud lagedat ala kujutava pindleppemärgiga, mille peale on märgitud metsasalu või üksikuid puid tähistavad punktleppemärgid. Seetõttu pole ETAK-i andmed lagendike kohta alati orienteerumiskaardi joonistamiseks sobivaks alusmaterjaliks. ETAK-i ajakohasus antud piirkonna kohta mõjutab kaardi täpsust, sest taimestik aja jooksul muutub, nt lagedad alad metsastuvad. Seda ilmestab joonis 20, millelt on näha, et orienteerumiskaardi kirdeosas on ETAK-il haritava alana märgitud kohas orienteerumiskaardi kohaselt kasvamas hoopis tihe halva joostavusega võsa. Mõned põhikaardil näidatud haritavad alad on orienteerumiskaardi kohaselt tavaliised madala rohuga või hooldatavad avatud alad. Need alad, mis on ETAK-i kohaselt lagealad, on orienteerumiskaardile kantud väga erinevate leppemärkidega – poollagedad, üksikute puudega poollagedad alad ja ka raskesti joostav mets, mis näitab, et mitmed juhud viitavad sellele, et ETAK-i andmed on mitteajakohased, mistõttu pole sellest väga kasu orienteerumiskaardi tegemisel. Samas paljudel juhtudel langevad ETAK-i lagedate alade piirid kokku orienteerumiskaardil taimestiku muutuse piiridega, mistõttu on ETAK-i kõlvikupiirid siiski kasulik alusmaterjal orienteerumiskaardi koostamisel, sest see näitab ette paljusid kõlviku piire või ka ebaselgeid taimestiku muutusi, mida orienteerumiskaardile kanda. ETAK-i andmebaasi ega sealäbi põhikaardile ei kanda eraldi raiesmikke ning need alad on kui metsad. Seda tõestab ka joonis 20, mille orienteerumiskaardi taimestikul on näha mitmeid üksikute puudega poollagedaid alasid, mille vaste orienteerumiskaardil on tihti raiesmik ja mida ei kata ETAK-i lagedad alad. Mitmed väikesed põhikaardile kantud lagedad alad on oma kujult ka orienteerumiskaardil olemas. Mitmel juhul on tõepoolest tegemist lageda alaga, aga mitmel juhul ka väikese võsatukaga. Mõnel juhul on orienteerumiskaardile märgitud mitu väikest üksteise kõrval olevad lagendikku ETAK-ile läbi üldistusi üheks lagendikuks, mis põhikaardi kontekstis on aktsepteeritav, kuid orienteerumiskaardi alusmaterjalina aitab see vaid ümbruskaudsest metsast erineva taimestikuga koha asukohta määrrata. Taimestikuüksuse kuju tuleb sealäbi kaardistajal välja selgitada. OSM-i alade piirid, mis mitmel juhul näitab lageda ala ja metsa piiri, on väga üldise geomeetriaga ning langed enam-vähem täpselt kokku

orienteerumiskaardiga võid mõnel üksikul lõigul, mistõttu on OSM-i alade piirid orienteerumiskaardi alusmaterjalina praktiliselt kasutuskõlbmatud. OSM-i kaardile on märgitud orienteerumiskaardi kirdeosasse üks väiksem lagendik, mille kuju sarnaneb orienteerumiskaardile kantud avatud ala kuuga ning mille asukoht on korrektne. Seega võib OSM-i andmete usaldusväärsus sõltuda sellest, kes milliste andmetega või kuidas on seda kaarti täiendanud.



Joonis 20. Taimestik (lagendikud ja metsad) Vooremäe uurimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-il) kui ETAK-il ning OSM-i alade piirid

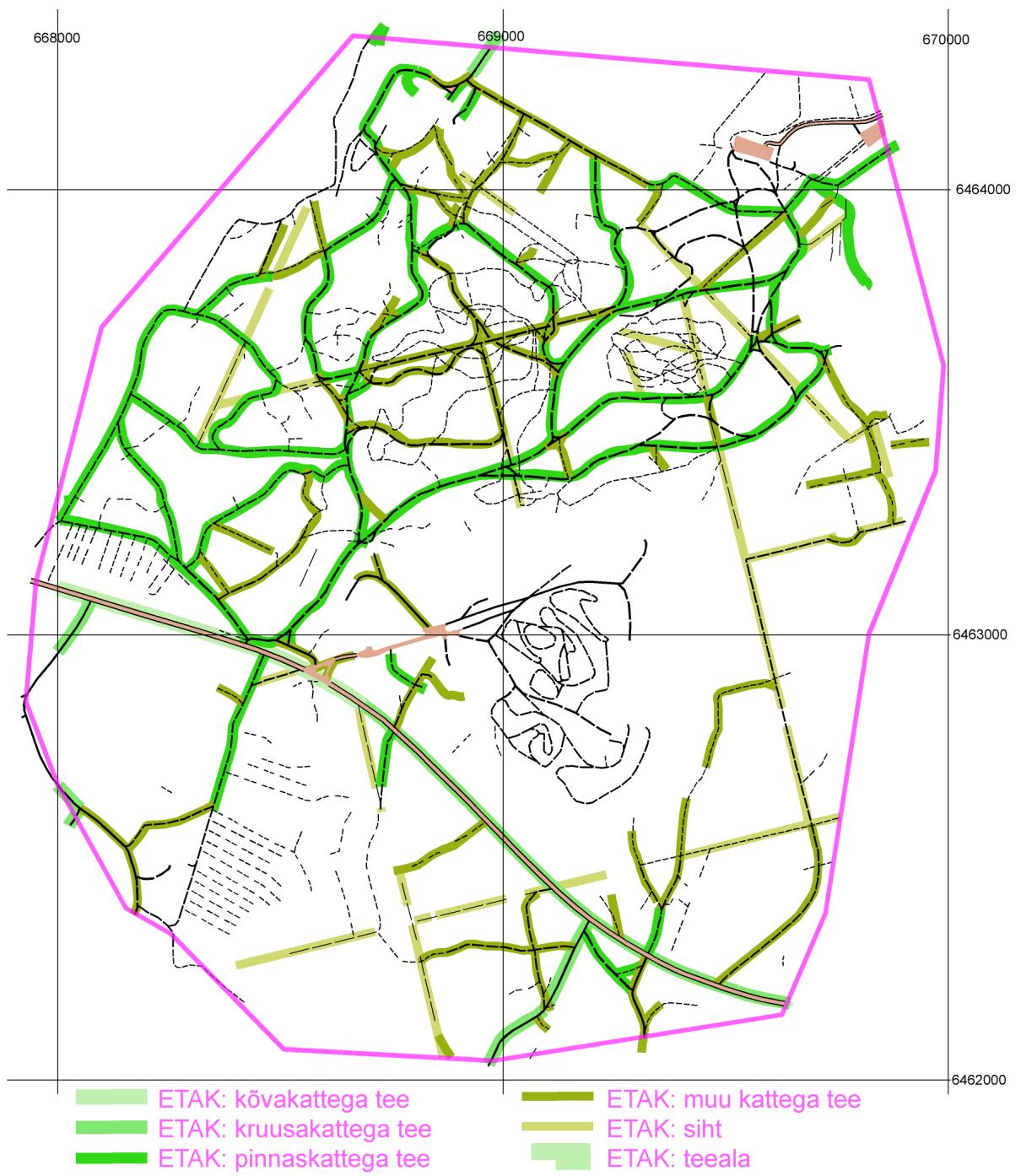
Lisades 10.–13. on toodud Karttapullautin'i väljundkaardid võrdlusena orienteerumiskaardi taimestiku kaardipildiga. Antud joonistelt on näha, et selle tarkvara poolt tehtud kaart on orienteerumiskaardi tegemisel oluliseks abistavaks ja informatiivseks aluskaardiks, kuid millel on omad vead. Helekollasena kujutatud lagedad alad võivad orienteerumiskaardi põhjal olla lisaks avatud lagedatele aladele ka asfalteeritud platsid, maanteed ning ka raiesmikud või madala taimestikuga tihnikud. Selged piirid helekollase ja muude värvide vahel tähistavad üldjoontes selget kõlvikupiiri erineva ilmega taimestiku või metsa ja lageda ala vahel. Lineaarset geomeetriat meenutavad helekollased alad tähistavad maanteesid ja suuremaid radasid, mille kohal puude võrad ei liitu. Vooremäel on nõnda võimalik määratada paljude terviseradade kulgemist. Helekollasega on kaetud ka mitmed üksikute puudega poollagedad alad orienteerumiskaardil, mis tähendab, et Kartapullautin'i väljundkaardi järgi ei saa alati olla kindel, et helekollasena tähistatud ala on puudeta lagendik, vaid sellel alal võib olla nii harvik kui võsa. See tähendab, et välitöödel peab siiski kontrollima kogu maastikku ning väljundkaarti pimesi usaldada ei tasu.

Väljundkaartidele on võrreldes orienteerumiskaardiga kantud oluliselt vähem erinevate roheliste värvidega raskemini joostavamaid alasid, mis üldjuhul tähendab tihendama taimestikuga metsatüüpe. Roheliste värvidega alasid on väljundkaardilt raske piiritleda ning määratada üheseid alasid, millel oleks konkreetne piir. Küll aga on mitmes kohas näha, et piirkonnad, kus väljundkaardil on rohelist, on ka orienteerumiskaardil näidatud kehvema joostavusega metsana. Praktiliselt alati saab aga väita, et kus väljundkaardil on rohelist, seal tegemist ei ole lageda alaga. Vastasel juhul oleks tegu ka loogikavastasusega, sest LiDAR-i laserimpulsi tagasipeegeldumine oluliselt kõrgemalt kui maapinnalt, saab tähendada mistahes objekti (puu, hoone jm) paiknemist antud kohas. Paljud alad, mis on orienteerumiskaardil märgitud helerohelisega, on väljundkaardilt sama märgistusega puudu.

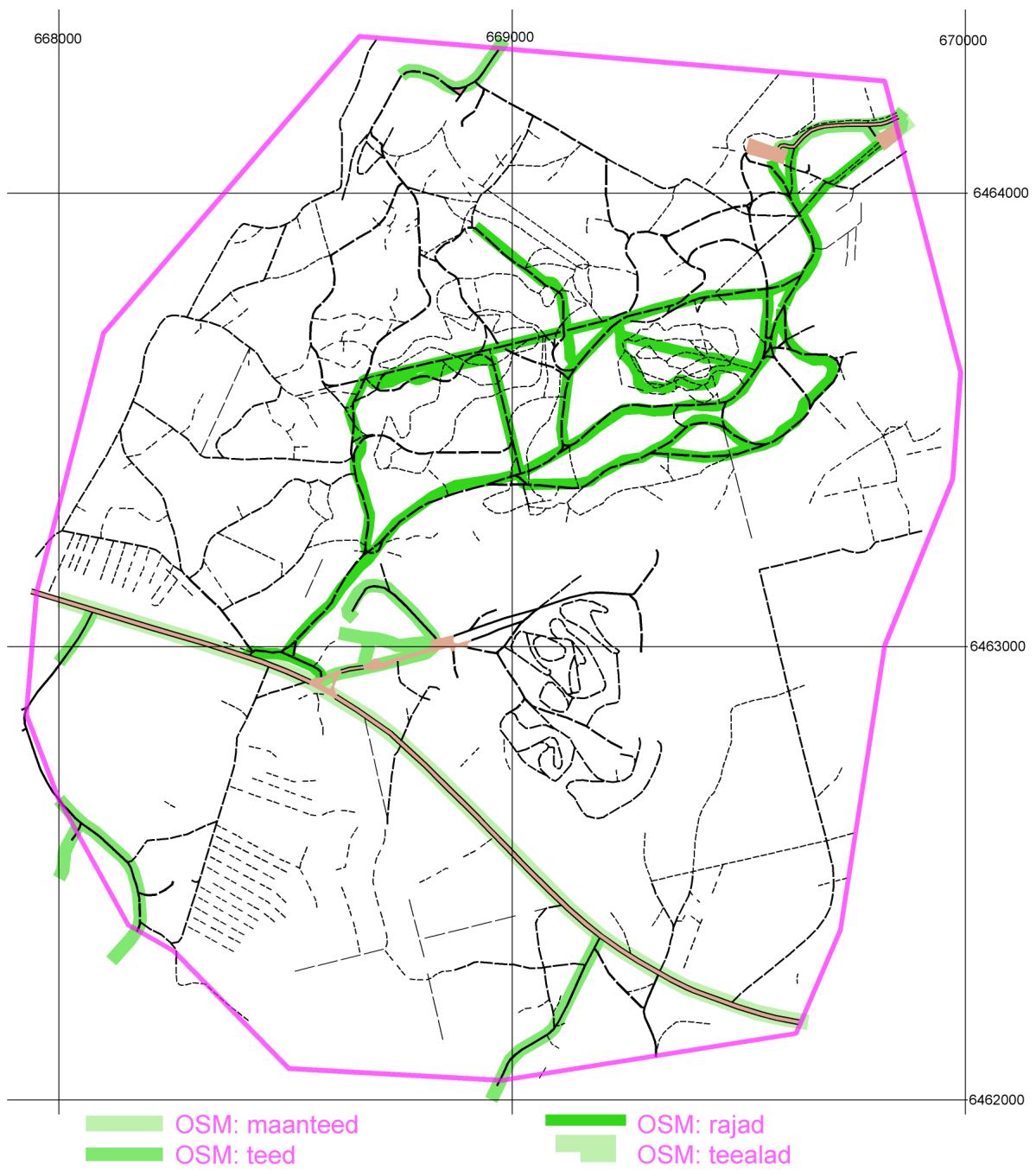
Taimestiku kaardistamisel Karttapullautin'i tarkvara väljundkaardiga tuleb välikaardistajal olla ettevaatlik ning mitte usaldada väljundpilti ning tuleb kontrollida kogu maastiku taimestikku hoolikalt, sest väljundkaardi värvid ei pruugi näidata reaalset olukorda maaistikul ning kuidas seda orienteerumiskaardil kujutada. Küll aga tasub väljundkaardilt selgete helekollaste või mõnel juhul ka roheliste alade piire märkida aluskaardile kui väga tõenäoliselt kõlvikupiire või ka ebaselgemaid taimestiku piire, sest mitmed helekollaste või roheliste alade kogumikud reedavad ära erinevate taimestikuüksuste geomeetria.

4.5. Teed ja rajad

Kui võrrelda üldjoontes ETAK-i (joonis 21) ja OSM-i (joonis 22) andmemahte antud nähtuste kategorias, siis selgelt erinevad need andmeallikad omavahel – ETAK-i andmed on ühtlase katvusega kogu maaстiku ulatuses ning OSM-i andmed on tihedamalt olemas vaid maaстiku teatud piirkonnas. OSM-i andmete tihedam paiknemine on tõenäoliselt seotud suurema inimtegevusega selles maaстikuosas, sest kaardile on kantud osa terviseradade võrgustikust, kuid muud samaliigilised rajad teistes maaстikuosades pole OSM-i kaardile kantud. Tõenäoliselt on seega OSM-i andmete hulk suurem piirkondades, kus inimesed rohkem liiguvald ja mille läbi nendes piirkondades on OSM-i kaarti rohkem vabatahtlike poolt täiendatud. OSM-i kaardile on kantud maanteed, pea aegu kõik kruusateed, mitmed laiad rajad ja Vooremäe nõlval ka mõni jalgrada. Mõnede radade geomeetria on võrreldes orienterumiskaardiga veidi ebatäpne. Samas tuleb tunnistada, et OSM-i andmed võivad olla ajakohasemad, sest Vooremäest lõunas olev ida-lääne-suunaline maantee on selle andmestiku põhjal täielikult kõvakattega, mis on tõene. ETAK-i põhjal on aga osa sellest maanteest kruusakattega, mida see ka oli mõned aastad tagasi. ETAK-i põhjal on põhikaardile kantud oluliselt rohkem teid ja radu. Praktilliselt kõik suuremad metsarajad on andmetes olemas, v.a mõni terviseraja lõik. ETAK-i andmetes on selgelt näha, et väikeseid jalgradu ei kaardistata ning praktilliselt kõik orienterumiskaardile kantud jalgrajad (ISOM-i leppemärgid nr 507 ja 508) on ETAK-i andmetes puudu. Mitmed ETAK-isse kantud sihid on orienterumiskaardil märgitud metsarajana, mis tähendab, et siht on aktiivselt kasutatav nt väiksemate liiklusvahendite poolt. Karjääri territooriumil paiknevaid teeradu pole ETAK-i andmebaasis olemas, mis on õigustatud, sest nende kuju võib ajas muutuda. Üldine ETAK-i teede ja radade geomeetria on võrreldes orienterumiskaaril olevate teede ja radadega üsna täpne ning suures osas on erinevused väga väikesed. Nt Vooremäe piirkonna põhjal võib pidada ETAK-i andmeid teede ja radade kohta oluliseks alusmaterjaliks orienterumiskaartide joonistamisel, sest tõenäoliselt aitaks andmestik teid ja radu tuvastada paremini ortofotolt. Üsna täpse geomeetriaga teeradu on kaardistajal lihtsam korridgeerida. Siinkohal ei maksa alahinnata OSM-i andmete kasutatavust, sest mõnel juhul on sellele kaardile kantud väiksemaid või väiksema olulisusega objekte, mida põhikaardile pole kantud.



Joonis 21. Teed ja rajad Vooremaa urimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-il) kui ETAK-il



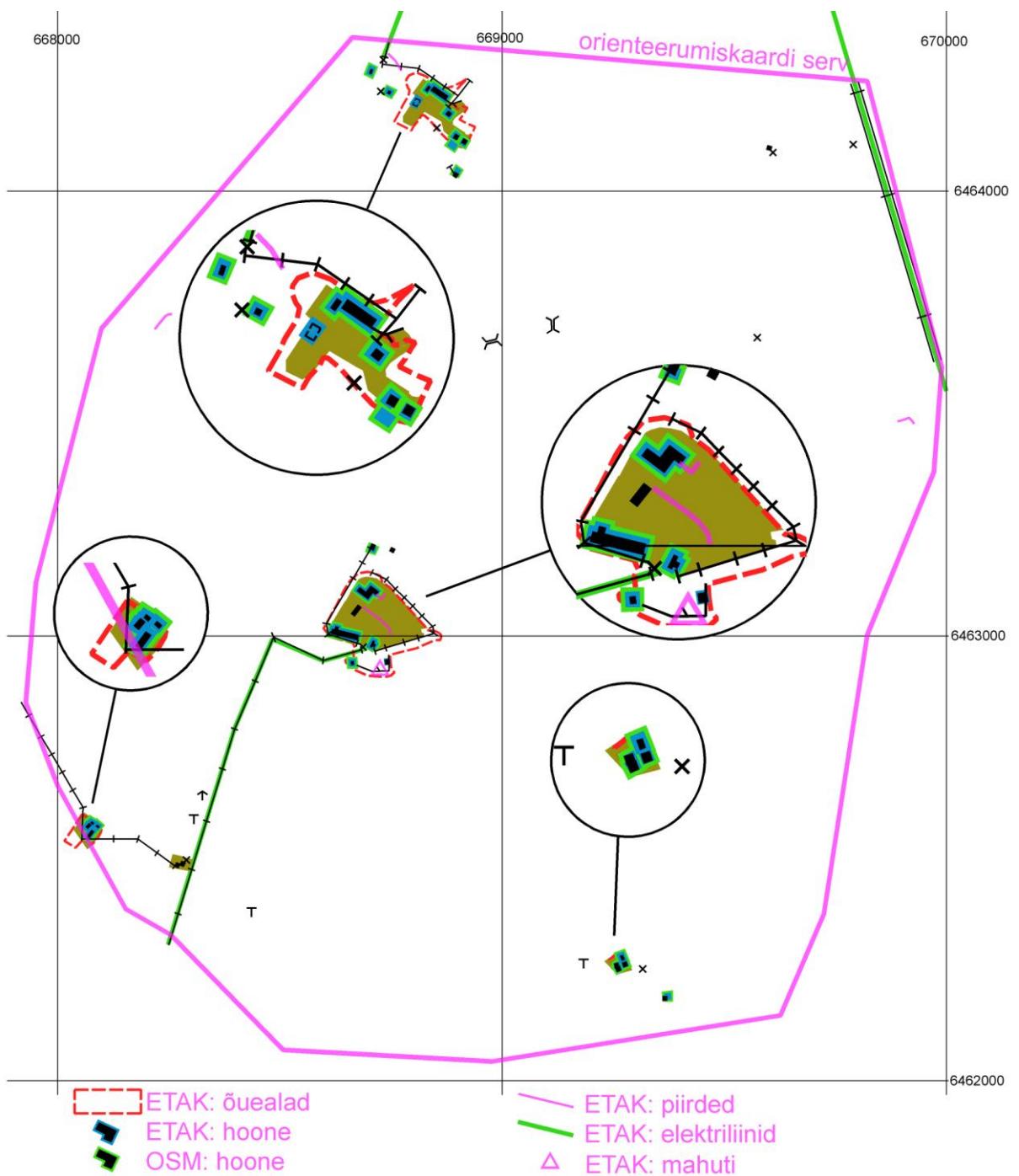
Joonis 22. Teed ja rajad Vooremäe uurimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-il) kui OSM-il

4.6. Muud inimtekkelised objektid

OSM-i ja ETAK-i realsusmuodelis pole nii palju erineaid nähtusi kirjeldatud võrreldes orienteerumiskaardi spetsifikatsiooniga. Seetõttu on muude inimtekkeliste objektide seas hooned sisuliselt ainuke nähtus, mille kohta on andmeid nii ETAK-is kui OSM-is, nii ka antud uurimisala puhul. Andmete põhjal (joonis 23) võib väita, et suur enamus hoonetest, mis orienteerumiskaardile on kantud, on olemas ka põhikaardil ja OSM-i kaardil. Puudu oli näiteks üks hoone karjäärilähedasest õuealast ning üleliia oli üks hoone uurimus ala põhjaosas paiknevad õuealas. Samas õuealas on üks vare ETAK-is hoonena olemas, kuid OSM-i kaardil mitte, mis on juhus, mil OSM on sisuliselt täpsem kui ETAK. Antud uurimisala puhul on hoonete nähtus mõlemas andmestikus hästi kaetud, kuid uurimisalast väljapoole jäänud õuealadel oli ETAK-i andmete täielikkus märkimisväärselt parem kui OSM-i andmestik.

Õuealade piirid ETAK-i ja orienteerumiskaardi vahel ei kattu geomeetria poolest mitmel juhul, kuid üldjoontes võib kujusid pidada enam-vähem sarnasteks. Siinkohal võib olla põhjuseks kaardistamise tava, sest orienteerumiskaartidel märgitakse õuealaga kohad, kuhu võistlejatel ei lubata minna. Huvitaval kombel on uurimisalal ETAK-i andmete põhjal mitmeid piirdeid, mida orienteerumiskaardile pole vastavate leppemärkidega kantud. See tähendab, et need piirded võivad olla hävinenud või piirded pole orienteerumiskaardile kandmiseks kaardistaja nägemuse põhjal sobilikud. Mitmed nähtused, nt madalad tornid, söödasõimed, tuleb aga kaardistajal alati ise kaardile kanda, sest neid nähtusi üldjuhul teistele kaartidele (sh topograafilised kaandid) ei kanta.

Orienteerumiskaardile märgitud kõikidest elektriliinidest on ETAK-is olemas tähtsamad ehk suurema võimsusega elektriliinid, mille asukoht langeb orienteerumiskaardile märgitud elektriliinidega väga hästi kokku. Orienteerumiskaardile kantakse ka erineaid kategoriseerimata objekte, mida näidatakse musta värti ringide või kaldristidega. Need objektid võivad olla nt kiiged, mänguväljakud, suured infotahvlid või reklaampostid jne. Ka sellised objektid tuleb kaardistajal praktiliselt alati ise kaardistada. ETAK-i andmekihis „seadmed“ leidus kirjelduse alusel üks mahuti, mis aga pole orienteerumiskaardile kantud.



Joonis 23. Muud inimtekkelised objektid Vooremäe uurimisalal nii orienteerumiskaardil (leppemärgid vastavalt ISOM-ile) kui ETAK-il ja OSM-il. Hoonestatud alade piirkondi on suurendatult kujutatud musta ringi sees.

4.7. Maardu karjääri testkaardistus

Testkaardistamise tulemusena valmis orienteerumiskaart endise Maardu karjääri lääneosa kohta kogupindalaga ~0,7 km², mille välitöödeks kulus ~9,5 tundi, mis teeb välitööde ajakuluks 13,6 h/km², mida annab veel vähendada GPS-seadet kasutades. Maaстiku hea läbitavus ja suhteliselt hea nähtavus võimaldab välitöid teha suhteliselt kiiresti, arvestades ka asjaolu, et antud kaardistus on autorile esimene metsamaastiku kaardistus. Sellega kaasnes oluline kogemus metsamaastike kaardistamisel ning erinevate aluskaartide kasutamisel.

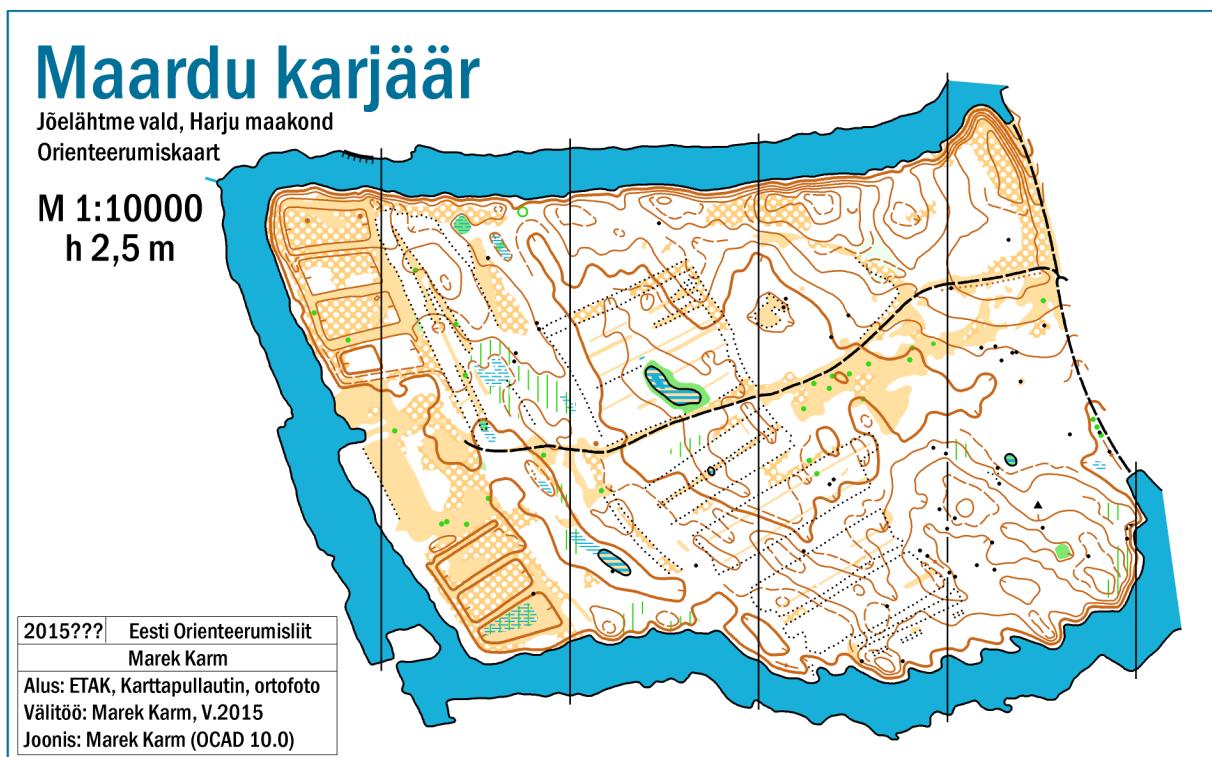
Üldise reljeefisituatsiooni kaardistamine LiDAR-i andmetest genereeritud samakõrgusjooni kasutades, on üsna lihtne, sest nähtavus oli enamjaolt väga hea või hea, mis võimaldas reljeefi hoomata kaugustesse. Karttapullautin'i väljundi eelis seisneb selles, et annab olulised vihjad, kus reljeefivorme võimendada. Need on kohad, kus nt küngas (künkalagi) või lohk (lohpõhi) ei ületa samakõrgusjoonele vastavat kõrgust, kuid on pinnavormina maastikul eristatav või olulise kõrgusvahega. Reljeefi pisivorme (vallid, tipukedes, augud) oli maastikul väga vähe, mida võis eeldada reljeefivarjutuspildi läbivaatusel, mida välitöödel ei kasutatud. Nende asukohtade määramine aluskaartidel muude nähtuste põhjal oli võimalik.

Üksikute kivide kaardistamisel ei andnud ükski aluskaart otsest vihjet selle asukoha kohta. Mitme kivi puhul oli asukohta võimalik määrrata sellise puistuga kohtades, kus üksikud puud või puude grupid olid ortofotolt ja intensiivsuspidilt eristatavad, kusjuures siinkohal oli ortofoto asukoha määramiseks parem. Mitmed kivide asukohad pidi välja mõõtma, mis oli välitöö kõige aeganõudvam protseduur ühe objekti kohta. Vesiste ületamatute soode kaardistamisel oli kasu nii ortofotost kui intensiivsuspidist. Ortofoto oli mitme soo asukoht tuvastatav täna loogilisele arusaamale ortofotol kujutatust. Intensiivsuspilt oli nendes kohtades tumedama värviga kaetud. Ühe vesise soo asukohta, mis paikneb kaardi idaosas, oli võimalik määrrata ainult intensiivsuspidi põhjal. See tõestas asjaolu, et ortofotol võivad puude varjud katta olulisi objekte. Soise pinnasega ala on nähtus, mida pole võimalik aluskaartidel tuletada, v.a juhul, kui seda ümbritsevad eristatavad nõlvad.

Taimestiku ehk metsa, üksikute puudega alade ja lagedate ning kõlvikupiiride kaardistamisel oli samuti kasu nii ortofotost kui intensiivsuspidist. Ortofoto eelis seisneb selle paremad arusaamas ja selle järgi on lihtsam kokkupanna reaalsust ja fotot, mille tõttu on selle järgi lihtsam maastikul orienteeruda. Ortofoto puudustena ilmnes asjaolu, et varjud katavad ära üksikud väikesed lagendikud. Välitöö käigus selgus, et intensiivsuspilt toob hästi esile kontrastid ehk kõlvikupiirid, taimestikumuutused ja üksikud puud. Ka ortofotolt on võimalik

eristada üksikuid puid, kuid see sõltub foto omadustest, millal see on tehtud ning välitöö jaoks väljaprinditud trükise kvaliteedist. Intensiivsuspildi üheks eeliseks on ka parem asukohatäpsus, sest pilt näitab täpset asukohta ning ortofotole omast varjude „müra“ ei ole. Üldjoontes võib väita, et välitööd saab läbi viia ainult ühte neist kasutades, aga mõlema aluskaardi olemasolu täiendavad üksteist. Ka Karttapullautin'i aluskaardi kasutamine tuli kasuks mitmel juhul lagendike piiride määramisel. Metsa läbitavuse osal selle aluskaardi kasutegur polnud kuigi suur, sest sellel väljundil kujutatud helerohelised alad olid pea aega alati väga hästi läbitavad.

Teede ja radade kaardistamisel on oluliseks aluskaardiks ortofoto, sest sellel on näha lineaarseid objekte, mida saab tuvastada radadena. Intensiivsuspildil reetis radade asukohta taimestiku muutused ja lineaarsed valged lagendikku kujutavad alad, millest jookseb läbi veidi tumedam rida, mis kujutab raja mullast pinda. Radu oli maastikul võid mõned, mis on kinni kasvamas. Antud juhul oli selge, et ETAK-i andmed antud piirkonna kohta on veidi vananenud, sest lõunapoolsete suurt rada ei saa pidada enam kruusakattega elevat. Sellel maastikuosal rohkem inimtekkeli rajatisi ega ehitisi polnud.



Joonis 24. Maardu karjäari läänepoolse osa testkaardistuse tulemus mõõtkavas 1:10 000

5. Järeldused

Orienteerumiskaartide tegemisel on tähtis osa välitöödel, mille mahtu on tänapäeval võimalik oluliselt vähendada sobivaid aluskaarte kasutades. Suur ajaline kokkuhoid eeldab aga sobivate andmete olemasolu, mis võivad olla märkimisväärse tasuga, mistõttu tuleb orienteerumiskaardi tegemisel läbi kaaluda alusmaterjalide valik, mida kasutada orienteerumiskaardi tegemisel. Otsuste tegemisel peab kaardi tegija arvestama, milliseid tarkvarasid ja vahendeid on tal võimalik kasutada ning seejärel leida otstarbekas lahendus. Siinkohal tuleb arvestada sellega, et osa tarkvarasid on tasulised ning nende litsentsi ostmine ei tasu majanduslikult ära ka paljude aastate jooksul. Osa tarkvarasid on aga vabavarad ning selliste tarkvaraade kasutamine võimaldab saada soovitud tulemuse ilma otseseid kulusid tegemata. LiDAR-i andmete kasutamine reljeefi kaardistamisel on möödapääsmatu välitööde mahu vähendamiseks, sest selle nähtuse kaardistamine on kõige ajakulukam osa, kui seda läbi viia traditsioonilistel meetoditel.

LiDAR-i andmed hõlmavad endas infot reljeefi ja taimestiku kohta, millega saab aluskaardi, kus on nii samakõrgusjooned ja taimestiku pilt läbi laserimpulsside intensiivsuse. Teine Eesti oludes odavam variant kõrgusandmeid saada, on võimalus kasutada Maa-ameti poolt valmistatud 5-meetrise rastriga kõrgusmuodelit, mis sisaldab andmeid ainult reljeefi kohta, kuid annab orienteerumiskaardi tegemiseks sama hea aluskaardi nagu seda saab kõikide LiDAR-i mõõtmispunktide kasutamisel. See on oluline koht kaardistajal otsustamaks, millise variandi kasuks ta otsustab, kas soetada täielikud LiDAR-i andmed, millega saab nii reljeefi kui taimestiku kohta infot või soetada maapinna kõrgusmuodel. Täielikke LiDAR-i andmeid las-formaadis on võimalik töödelda vabavaraga LASTools ning seejärel kasutada vabavaras Karttapullautin, mis loob annab väljundi reljeefi ja metsa läbitavusega. Töödeldud LiDAR-i andmeid on võimalik kasutada veel tarkvaras OCAD, mis genereerib samakõrgusjooned kohe kaardijoonisele aluseks. Lisaks on LiDAR-i andmetest võimalik luua erinevaid reljeefi ja taimestiku pilte ja kaarte GIS-tarkvaradega, nt ArcGIS või MapInfo (koos VerticalMapper'iga) ning vabavara QGIS. Märkimisväärne oli see, et mitme tarkvara poolt genereeritud samakõrgusjoonte geomeetria oli praktiliselt identne, mis tähendab, et tarkvara valik pole selle ülesande lahendamiseks oluline kriteerium.

Täielikud LiDAR-i andmed võimaldavad veel genereerida intensiivsuspilti, mis teatud olukordades on kasulik kasutada lisaks ortofotole oma mõningate iseärasuste tõttu. Samas võivad kõikvõimalikud LiDAR-i andmetest tehtud alusmaterjalid hakata kaardistajat segama

liigsete andmetega ning kaardistajal võib tekkida raskusi situatsiooni üldistamisel. Samuti võib kaardistaja liigselt hakata usaldama aluskaarte, mis võib tekitada orienteerujatele arusaamatuid kaardipilte. Siiski võib väita, et LiDAR-i andmed on asendamatud välitööde mahu vähendamiseks, sest need annavad kaardistajale väga palju erinevaid võimalusi aluskaartide tegemisel.

LiDAR-i andmete kasutamisel on jõutud nii kaugele, et suudetakse topograafilisi andmeid lisaks kasutades, luua orienterumiskaardile ligilähedane kaart. Seda võimaldab nt Karttapullautin'i väljundkaardile topograafiliste andmete lisamine. Ka selline kaart võib olla oluline aluskaart välitöödel. Topograafilisteks andmeteks võivad siinkohal olla nii ETAK-i andmed või mõne muu kaardikogu andmed, nt OSM. Uurimistöö käigus siiski selgus, et OSM-i andmete kasutamine ei anna oluliselt midagi juurde, v.a üksikud juhtumid, kus kaardil kujutatu võib olla ajakohasema infoga. OSM-i andmete puuduseks on väga suur üldistatus, mis orienterumiskaartide puhul tähendab tavaliselt andmete kasutuskõlbmatust. ETAK-i andmed võivad teatud juhtudel olla heaks lisaks aluskaardile, kui maastikul on palju inimtekkelisi objekte ning teid ja radu, mille asukohtade määramine ja geomeetria kaardistamine on ajakulukas ja mida ei pruugi kätte saada ortofotolt jm LiDAR-i väljunditelt. ETAK-i andmete kasutamisel tuleb arvestada andmete ajakohasusega. Uurimuse käigus aga selgus, et vähese inimmõjuga maastike kaardistamisel pole ETAK-i andmeid vaja kasutada.

Optimaalsem ja vähemkulukam viis teha väga hea aluskaart, on kasutada Maa-ameti kõrgusmudelit ja ortofotot. Nende kahe alusmaterjali liitmisel saab aluskaardi, millel on väga hea kulukuse ja kasutamise efektiivsuse suhe. Geotiff-formaadis kõrgusmudelit saab avada vabavaraga QGIS, mis võimaldab genereerida piisavalt detailiselt samakõrgusjooned ning vajadusel ka muid reljeefiga seotud pilte. Piisavat detailsust tõestab olukord, mil Vooremäe orienterumiskaardi ja kõrgusmudelist saadud samakõrgusjoonte geomeetria oli väga sarnane. Samuti on ortofoto piisavalt hea alusmaterjal, kui see on pildistatud suhteliselt madalalt kõrguselt ning õigel ajal, võimalikult vara pärast lume sulamist. Sellise ortofotoga saab ära määräta suurema osa taimestikust ja kõlvikupiiridest, võrreldes sellega, mida suudaks teha intensiivsuspilti kasutades. Kõrgusmudelist ja ortofotost saadud aluskaardiga võib siiski ajakulu olla välitööde natuke suurem kui kogu LiDAR-i andmestikku kasutades, sest pole nii palju väljundeid, millele välitöödel toetuda ehk kui ühelt aluskaardilt ei saa määräta nähtuse asukohta, saaks seda teiselt aluskaardilt. Ortofotode puhul tuleb veel arvestada seda, et neid on võimalik alla laadid läbi WMS-teenuse, kuid oluliselt parema resolutsiooniga pilte saab tellida Maa-ametist.

Ilma välitöödeta pole võimalik siiski orienteerumiskaarti teha, sest mitmed pisinähtused nõuavad nende objektide asukohtade välja mõõtmist. Sellisteks objektideks on nt kivid või augud, kui need paiknevad metsa all, sest ortofotolt on võimalik tuvastada väiksemaid objekte ainult lagendikelt või hõreda puistuga aladelt. Selliste objektide välja mõõtmine on üks ajakulukas osa välitööst, mida saab sobiva GPS-seadme kasutamisel veelgi vähendada. LiDAR-i andmetest tehtud mitmete aluskaartide kasutamisel koos GPS-seadmega ning joonise mustandi tegemine tahvelarvutiga juba välitöödel, on tõenäoliselt üks kiiremaid viise orienteerumiskaardi tegemiseks, kuid tehnoloogilised abivahendid on kulukad ning sama võib väita ka LiDAR-i andmete kohta, kui mõõtmispunktide arv on ülisuur.

Siinkohal võibki teha üldisema järeltõuse, et kasutatavad vahendid (tehnoloogia ja andmed) ning maastiku iseärasus määradavad ära, kas soovitakse saadavatest tasulistest andmetest saada maksimum võimalikult vähese välitööde mahuga või püütakse säastlikumalt toimida, mis toob kaasa tõenäoliselt suurema ajakulu. Üheks sellise otsuse sõltuvaks teguriks võib pidada maastiku keerukust, sest kuskilt läheb piir, mil ei ole mõtet säastlikku aluskaardi varianti kasutada, sest lisanduv välitööde aeg tuleb liiga suur ning nullib andmete soetamiselt saadud kokkuhoiu. Teiseks sõltuvaks teguriks on kaardistaja kogemused ja oskused. Vähesemate kogemustega kaardistajale tuleb suureks kasuks kogu LiDAR-i andmestiku ja selle väljundite kasutamine. Kogenud kaardistaja võib seega pigem eelistada „kõrgusmudel+ortofoto“ varianti ka keskmise või natuke üle selle keerukusega maastiku puhul. Kolmandaks sõltuvaks teguriks on riigi majanduslikud olud. Eestis, kus andmed on tasulised ja töötasud madalamapoolsed, kaldutakse sel juhul rohkem säastlikumate variantide poole. Riikides, kus ruumiandmed on kodanikele tasuta allalaetavad ning kõrged töötasud, on igal juhul kasulik kasutada nii palju erinevaid andmeid kui võimalik.

Kuid siinkohal peab andmeid kasutama mõistlikul tasemel ning ära ei tohi ununeda orienteerumiskaardi normid, mis viimati koostati 2000. aastal. See oli periood, kus kaartide tegemine käis traditsioonilistel viisidel ning kõiki olemasolevaid alusmaterjale täpsustati ja täiendati, millest saadi kokku orienteerumiskaart. LiDAR-i andmete kasutamisel on seega jõutud täiesti uude ajajärku, mil andmed ise annavad täpsema ja detailsemata tulemi, kui orienteerumiskaart ise on. Seega tänapäeval tegeleb kaardistaja täpsustamise asemel pigem üldistamisega, mille tõttu on hea üldistusvõime oluliseks kriteeriumiks orienteerumiskaardi tegemisel, mistahes parimaid aluskaarte kasutades.

Kokkuvõte

Käesolev uurimistöö leidis orienteerumiskaardi tootmiseks sobivad variandid välitöödeks vajaminevate aluskaartide kohta. Orienteerumiskaart on sisult detailne topograafiline kaart, millel on kindlaksmääratud nõuded ja millel tootmisel on olulisteks etappideks sobivate alusmaterjalide valik ning välitööd. Välitööde ajalise mahu vähendamiseks tuleb kasutada aluskaarte, millel on kujutatud võimalikult palju erinevaid nähtusi võimalikult suure täpsusega. Üheks oluliseks aluskaardi allikaks on LiDAR-i andmed, mis on saadud aerolaserskaneerimise teel. Need andmed võimaldavad genereerida kõrgusmudeleid ja samakõrgusjooni, saada laserimpulsside intensiivsuspiilt jne.

Uurimuse läbiviimiseks võrreldi Vooremäe orienteerumiskaardi põhjal mitmete andmeallikate ja andmeformaatide sobivust välitöödele aluskaardiks, mis hõlmas kõiki orienteerumiskaardile kantavaid nähtuseklassi. Seejärel tehti testkaardistus erinevate aluskaartidega endise Maardu karjääri territooriumil, et hinnata aluskaarte välitöö käigus. Nii LiDAR-i mõõtmispunktidest kui Maa-ameti poolt eelloodud kõrgusmudeli samakõrgusjoonte geomeetria sarnaseid väga üksteisele, mille tõttu võib ainult reljeefi kaardistamiseks kasutada ka viiemeetrise resolutsiooniga kõrgusmudelist, mis on kaardistajale soodsam. Seetõttu kasutati testkaardistusel kolme aluskaarti, millel kõigil oli samakõrgusjooned ning lisaks vastavalt ortofoto, intensiivsuspiilt ja Karttapullautin'i taimestikupilt koos ETAK-i topograafiliste andmetega.

Uurimuse käigus selgus, et intensiivsuspildi kasutamise eelised avalduvad vaid üksikutel juhtudel. Seega on ortofoto piisav alusmaterjal paljude nähtuste kaardistamisel, mida on võimalik sellelt identifitseerida. Karttapullautin'i väljund metsa läbitavuse kohta polnud ideaalne, kuigi lagendike kaardistamisel on sellest pildist suur abi. Nendel kahel põhjusel saab väita, et kogu LiDAR-i andmestiku kasutamise mõttokus ei pruugi olla piisav, kui kaardistaja on suurte kogemustega ja/või kaardistava maastik on väiksem poolse keerukusega. Nii on võimalik kasutada optimaalsemat aluskaardi varianti, milleks on ortofoto koos reljeefimudelist genereeritud samakõrgusjoontega, mis on oluliselt vähemkulukam variant, kui ruumiandmed on tasulised. Tasuta ruumiandmete kasutamise võimaluse korral on aga soovitatav kasutada kogu LiDAR-i andmestikust saadavat väljundit, sest välitöödel saab aega hoida kokku juhtudel, kus üks aluskaart ei näita objekti, mida on võimalik aga teiselt aluskaardilt tuvastada. Muude topograafiliste andmete kasutamine on mõttetas juhul, kui

maastikul on palju teid, radu ja muid rajatisi, kuid need andmed võivad olla ebatäpsed erinevatel põhjustel, nt ETAK-i puhul ajakohasus ja OSM-i puhul liiga suur üldistatus.

LiDAR-i andmed on asendamatud reljeefi kaardistamisel, kui soovitakse välitöödel saavutada ajalise mahu kokkuhoid. Muud nähtuste klassid on võimalik ajalise kokkuhoiuga kaardistada ka muude alusmaterjalide põhjal, nt ortofoto eeskōige taimestiku kaardistamisel ja topograafilised andmed eeskōige teede, radaid, rajatiste ja hoonete kaardistamisel.

Orienteering map production optimization using topographical and LiDAR data

Marek Karm

Summary

This paper introduces different types of base maps for making orienteering maps and compares them to find out the best base map for mapping fieldworks. Orienteering map is detailed topographic map with specific requirements. One important part in making orienteering maps is mapping fieldwork which usually takes the longest time of map production. To decrease amount of fieldworks it is necessary to have as much as possible reliable data on the base map. One important data source is LiDAR data which can provide terrain models, contour lines, intensity images of laser impulses etc.

The research consists of two parts. First part compared base maps from different data sources with Vooremäe orienteering map. The second part was test mapping near Maardu with different base maps to evaluate them while mapping. Both raw LiDAR data and terrain model from that data gave very similar contours to orienteering map. So it is recommended to use terrain model from LiDAR-sourced data for only terrain mapping because it costs less. For base map comparison all three base maps contained contours and each of them respectively ortophoto, intensity image and Karttapullautin image with national topographical data.

Intensity image gave advantage over ortophoto only in some particular situations. Ortophoto is better for interpretation of diffenret kind of objects and for navigating on terrain. Karttapullautin image of forest passability was not enough exact and was mostly useless. So it is possible to say that optimal variant of base map is using ortophoto with contour lines from terrain model. This kind of base map costs less and is enough useful for experienced mapper of when terrain is less detailed. If national geodata is free of charge it is better to use all kind of base maps if possible because it is possible to save some additional hours of fieldworks when “cheap” optimal base map is not so useable in some kind of situations.

Using other topographical data is useful when there are a lot of roads, tracks and buildings on terrain. This data may be inaccurate because of different reasons, for example national topographic data may be updated long time ago or OSM data is too general. All in all, LiDAR data is indispensable for terrain mapping when you want to save time from that. Other different objects can be mapped using other sources of data, for example ortophoto for mapping vegetation and topographical data for roads, tracks and buildings.

Tänuavalused

Autor tänab järgmisi isikuid:

- Tõnu Oja, kes väljastas Geograafia osakonnast uurimistöö tarbeks vajalikud ruumiandmed (ETAK, kõrgusmudelid, LiDAR-i punktandmed)
- Madis Oras, kes lubas uurimistöö tarbeks kasutada Vooremäe vektorformaadis orienteerumiskaarti

Viidatud allikad

Kirjalikud artiklid ja teosed

1. Arold, I., 2005. *Eesti maastikud*. Tartu Ülikooli Kirjastus.
2. Baltsavias, E. P., 1999a. *A comparison between photogrammetry and laser scanning*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 (1999), lk 83–94.
3. Baltsavias, E. P., 1999b. *Airborne laser scanning: basic relations and formulas*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 (1999), lk 199–215.
4. Heritage, G. L. & Large, A. R. G., 2009. *Laser Scanning for the Environmental Sciences*.
5. Joensuu, T., 2010. *Müüdimurdjad: GPS-kaardistus*. Orienteeruja 120, lk 28–30.
6. Karm, M., 2010. *Kaardistajate seminar Siguldas*. Orienteeruja 120, lk 4–5.
7. Kink, H., 2000. *Loodusmälestised 6. Harjumaa – Viimsi, Maardu, Jõelähtme*. Teaduste Akadeemia Kirjastus.
8. Klaar, T., 2010. *Orienteerumisest iseõppijatele*.
9. Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W., 2009. *Remote sensing and image interpretation*. lk 700–705.
10. Otstavel, P., 2009. *Kaardistajate elu muutub lihtsamaks*. Orienteeruja 113, lk 32–33.
11. Petrovic, D., 2014. *Reducing Field Work with Automation in Orienteering Map Production*. Scientific Journal of Orienteering 19, lk 3–12.
12. Remm, R., Raid, T., 2012. *Orienteerumiskaardi joonistamine ja usaldusväärus*. Orienteeruja 127, lk 45–47.
13. Sild, S., 2011. LI-LLI nagu LI-DAR. Orienteeruja 125, lk 32–34.
14. Zentai, L., 2009. *The use of new technologies in making orienteering maps*. Scientific Journal of Orienteering 17, lk 56–64.
15. Zentai, L., 2011. *Legibility of Orienteering Maps: Evolution and Influences*. The Cartographic Journal 48-2 (2011), lk 1–9.
16. Zentai, L., 2014. *Cartography and Orienteering: the Implementation of New Cartographic Techniques in Making Orienteering Maps*. Scientific Journal of Orienteering 19, lk 29–37.
17. Tasa, J., 2003. *Kas meie kaandid on hästi loetavad?* Orienteeruja 76, lk 25–27.
18. Vain, A., 2008. *Aerolaserskaneerimisest saadud maapinna kõrgusmudeli täpsuse hindamine*. Geodeet 36 (60), lk 38–41.

19. Vain, A., 2011. *Aerolaserskaneerimise tööprintsiip ja vigade päritolu – lühike kokkuvõte*. Geodeet 41 (65), lk 77–80.
20. Viirsalu, V., 2000. *Eesti orienteerumiskaartidest*. Orienteeruja 53, lk 13–15; 18.
21. Viirsalu, V., 2001. *Kaasaegsete orienteerumiskaartide tegemine*. Orienteeruja 54, lk 18–21.
22. Viirsalu, V., 2006. *Kaardirevolutsioon – kas oli või ei olnudki?* Orienteeruja 95, lk 29–32.
23. Wehr, A. & Lohr, U., 1999. *Airborne laser scanning – an introduction and overview*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 (1999), lk 68–82.

Käsikirjad

1. Boström, M., 2011. *The utilization of GPS in orienteering mapping in urban Helsinki and rural Kenya*. Kättesaadav:
http://www.martenbostrom.com/docs/Bostrom_ProGradu.pdf [21.04.2015.]
2. Gartner, G., Ditz, R., 2009. *Laserscanning data as basemaps for deriving orienteering maps – A survey the potential and further research*. Kättesaadav:
http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/6_11.pdf
[16.04.2015]
3. Karm, M., 2012. *LiDAR-i mõõdistuste ja orienteerumiskaardi reljeefimudelite analüüs ja võrdlus*. Kättesaadav: TÜ raamatukogu.
4. Medvedev, E., 2004. *Towards the full automation of laser scanning and aerial photography data processing*. Kättesaadav:
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/119.pdf>
[16.03.2015]
5. O'Brien, O.. 2009. *Creating and Maintaining Street Orienteering Maps using OpenStreetMap*. Kättesaadav: http://www.oobrien.com/wp-content/uploads/2009/04/streeto_extabr3_gisruk09.pdf [16.04.2015]
6. Olvet, M., 2014. *Joostavuse määramise kaudsed meetodid orienteerumiskaardi näitel*. Kättesaadav: TÜ raamatukogu.
7. Petrovic, D., 2009. *Criteria for selecting areas for orienteering maps*. Kättesaadav:
<http://lazarus.elte.hu/cet/o/2009/petrovic.pdf> [16.04.2015]
8. Petrovic, D., 2011. *Some Experiences in Making Orienteering Maps in Slovenia from Airborne Laser Scanning Data*. Kättesaadav:
http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/A3-Thematic%20maps,%20orienteering%20map/CO-011.pdf [22.04.2015]
9. Solnask, S., 2009. *LiDARi kasutamine metsaaluse maapinna reljeefi kirjeldamisel*. Kättesaadav: TÜ raamatukogu.
10. Zentai, L., 2001. *Maps for different forms of orienteering*. Kättesaadav:
http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/refer/23_1.pdf
[31.03.2015]

Internetviited

1. Eesti Orienteerumisliit. *Kaartide andmebaas*. Kättesaadav:
<http://www.orienteerumine.ee/kaart/kaardid.php> [22.04.2015]
2. Eesti Orienteerumisliit, 2015. *EOL võistlusreeglid*. Kättesaadav:
http://www.orienteerumine.ee/eol/failid/dok/EOLvoistlusreeglid_2015.pdf
[20.05.2015]
3. Haaslava vald, 2011. Haaslava valla arengukava 2011–2018. Kättesaadav:
<https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4200/7201/2006/nr%2022%20lisa.pdf> [22.04.2015]
4. International Orienteering Federation. *Federations*. Kättesaadav:
<http://eventor.orienteering.org/Federations> [22.04.2015]
5. Leica Geosystems AG. *Leica ALS50-II Airborne Laser Scanner Product Specifications*. Kättesaadav: <http://www.nts-info.com/inventory/images/ALS50-II.Ref.703.pdf> [16.03.2015]
6. Maa-amet 2007. *Eesti geoloogiline baaskaart 5441 Tartu. Seletuskiri*. Kättesaadav:
http://geoportaal.maaamet.ee/docs/geoloogia/Seletuskiri_Tartu.pdf?t=20091211092206 [22.04.2015]
7. Maa-ameti geoportaal. *Kõrgusandmed*. Kättesaadav:
<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html> [16.03.2015]
8. Metsur, M., 2009. *LIDAR Leica ASL50-II*. Kättesaadav:
http://geoportaal.maaamet.ee/docs/fotogrammmeetria/2009_LIDAR_2.pdf
[16.03.2015]
9. Nayegandhi, A., 2007. *Lidar Technology Overview*. Kättesaadav:
http://lidar.cr.usgs.gov/downloadfile2.php?file=Nayegandhi_Lidar_Technology_Overview.pdf [16.03.2015]
10. OCAD AG. Kättesaadav: <http://www.ocad.com/en/> [16.04.2015]
11. OCAD AG, 2012. *Vegetation Height Maps from Digital Elevation Models – the Next Innovation in Producing Orienteering Maps*. Kättesaadav:
https://www.ocad.com/downloads/ocad11/presseberichte/2012-07-10_VegetationHeightMaps_Web_en.pdf [22.04.2015]
12. OpenStreetMap Wiki. *Et: Beginners' guide*. Kättesaadav:
http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Et:Beginners%27_guide [16.04.2015]

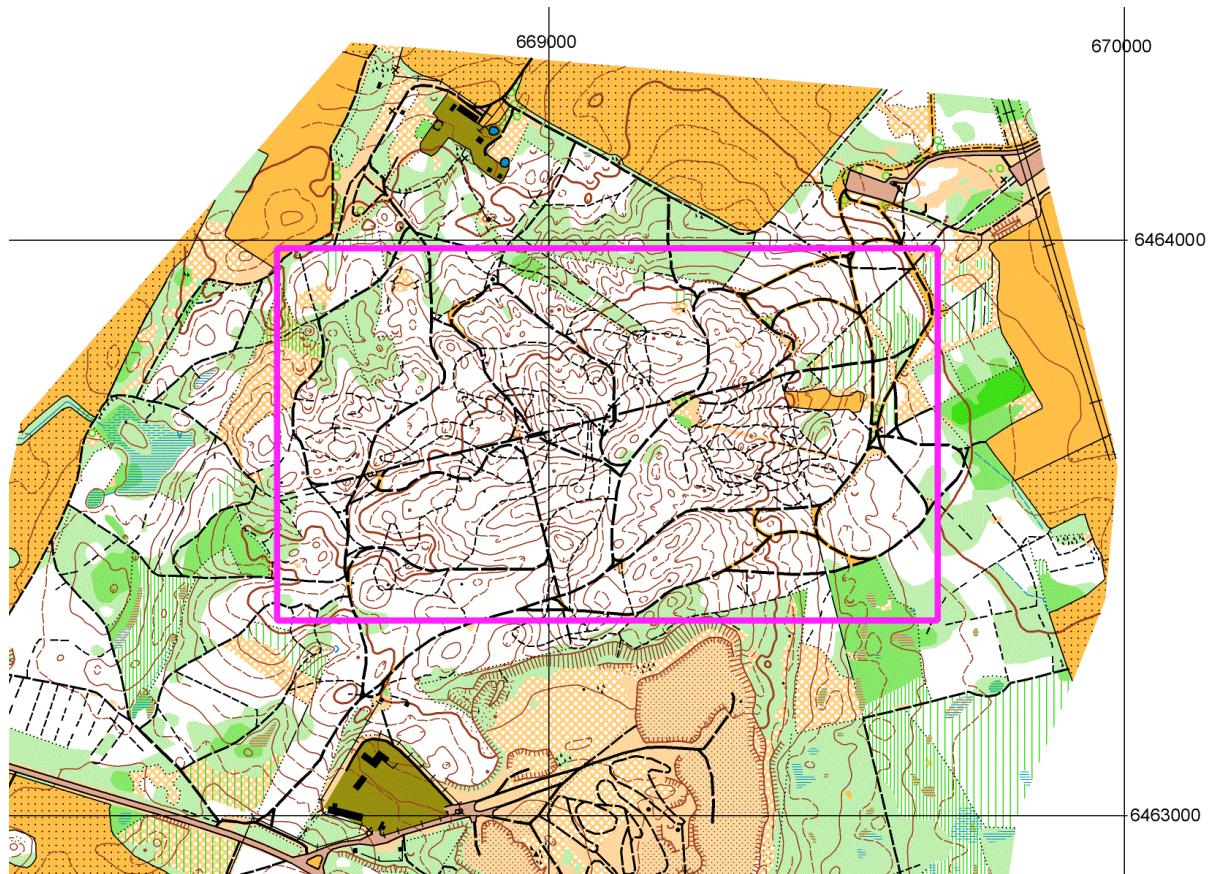
13. OÜ Rakvere Invent. *Maamõõtmine*. Kättesaadav:
<http://www.invent.net16.net/ajalugu/html/ajal.html> [31.03.2015]
14. OÜ Viru Mäebüroo 2013. *Taotletavas Vooremäe karjääris kavandatava tegevusega kaasneva keskkonnamõju hindamise aruanne*. Kättesaadav:
http://keskkonnaamet.ee/public/KMH/JT_regioon/dokid/Vooremae_KMH_aruanne.pdf [22.04.2015]
15. Rahvusvaheline Orienteerumisföderatsioon. *Rahvusvahelised nõuded orienteerumiskaartide koostamiseks*. (eestikeelne tõlge) Kättesaadav:
<http://www.orienteerumine.ee/kaart/isomEST.pdf> [31.05.2015]
16. Roots, L. *Satelliitnavigeerimise täpsuse parandamine*. Kättesaadav:
<http://www.eava.ee/opiobjektid/sidenav/4/materjal.html> [16.03.2015]
17. Ruželis, M., 2010. “*Metrum*” izejmateriāli OS karšu zīmēšanai. Kättesaadav:
<http://www.slideshare.net/estlat/metrum-orient-lidar1> [16.03.2015]
18. TTÜ Mäeinstituut, 2007. Hinnang Maardu lõunakarjääri korraustöödele. Praktika aruanne. Kättesaadav:
http://www.ene.ttu.ee/Maeinstituut/labor/teadusklubi/aastaaruanne/2_3_maardu4.pdf [22.04.2015]

Lisad

Lisa 1. Xyz-formaadis LiDAR-i andmete mõõtmispunktide arv Eesti põhikaardi 1:2000 kaardilehtede jaotuse põhjal

Kaardiruudu nr	Asukoha nimi	LiDAR-i mõõtmispunkte (kokku)	LiDAR-i mõõtmispunkte (maapind)
462668	Vooremäe	495837	167004
462669	Vooremäe	466739	175634
463668	Vooremäe	586406	168548
463669	Vooremäe	560534	183124
464668	Vooremäe	326128	258353
464669	Vooremäe	333437	209448
589557	Maardu	477662	292552
589558	Maardu	496598	345875
589559	Maardu	334996	195592
590557	Maardu	441508	254435
590558	Maardu	404555	265291
590559	Maardu	378374	241706

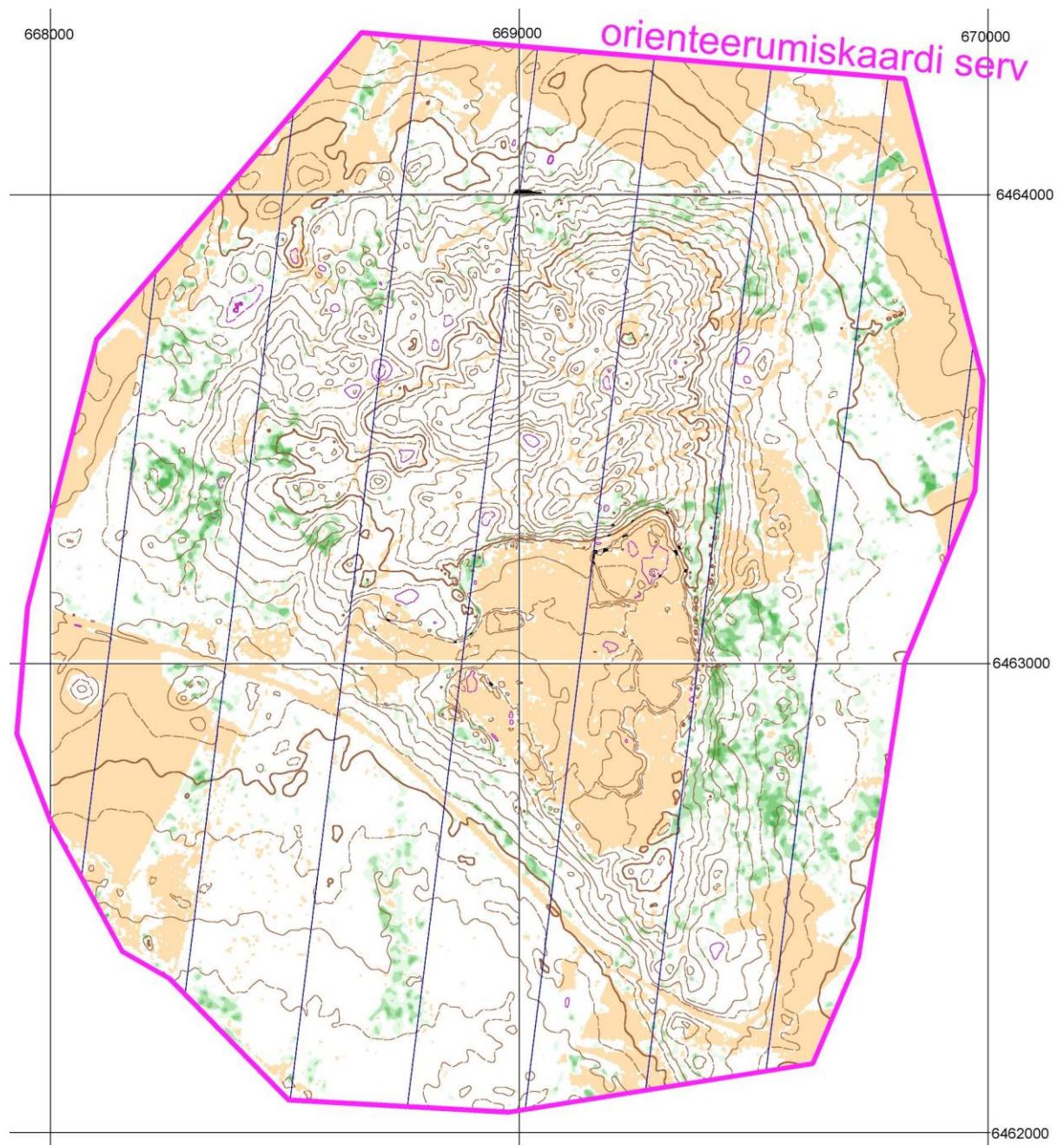
Lisa 2. Reljeefimodelite võrdlusala paiknemine (violetne ristkülik) Vooremäe orienteerumiskaardil (Madis Oras)



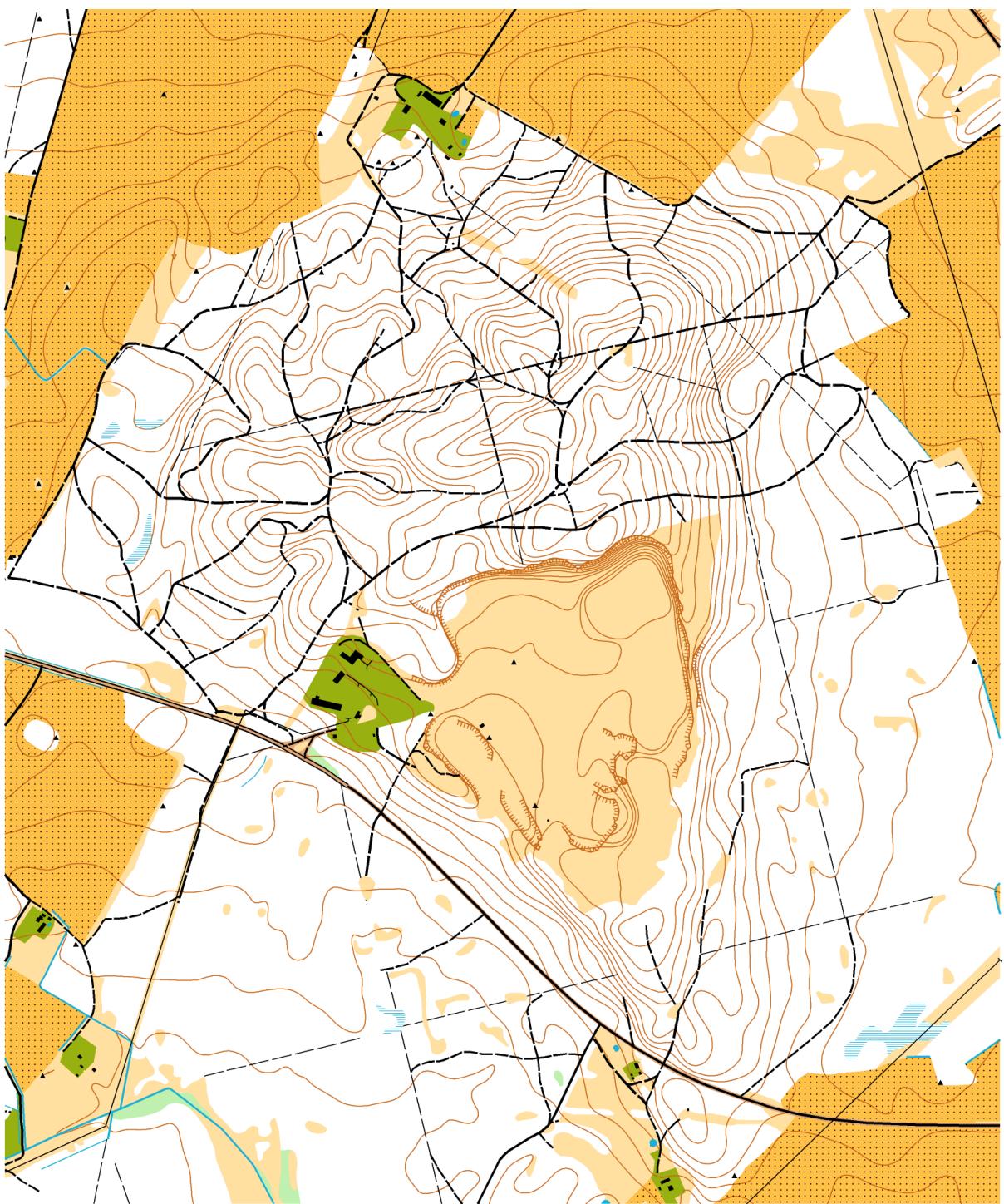
Lisa 3. Reljeefimudelite erinevuste arvväärtused 1,0 m vahemike kaupa

Võrdlus	2005. a orienteerumis- kaart – LiDAR	2013. a orienteerumis- kaart – LiDAR	Maa-ameti 5m DEM – LiDAR	ETAK samakõrgusjooned – LiDAR
+8,0...+9,0	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
+7,0...+8,0	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
+6,0...+7,0	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%
+5,0...+6,0	0,04%	0,00%	0,00%	0,01%
+4,0...+5,0	0,10%	0,00%	0,00%	0,08%
+3,0...+4,0	0,43%	0,00%	0,00%	0,19%
+2,0...+3,0	3,55%	0,03%	0,00%	0,65%
+1,0...+2,0	14,05%	1,04%	0,58%	5,88%
0,0...+1,0	37,17%	49,90%	50,02%	40,03%
-1,0...0,0	32,92%	48,42%	48,88%	44,98%
-2,0...-1,0	10,86%	0,61%	0,52%	6,71%
-3,0...-2,0	0,75%	0,00%	0,00%	1,13%
-4,0...-3,0	0,04%	0,00%	0,00%	0,25%
-5,0...-4,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,06%
-6,0...-5,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%

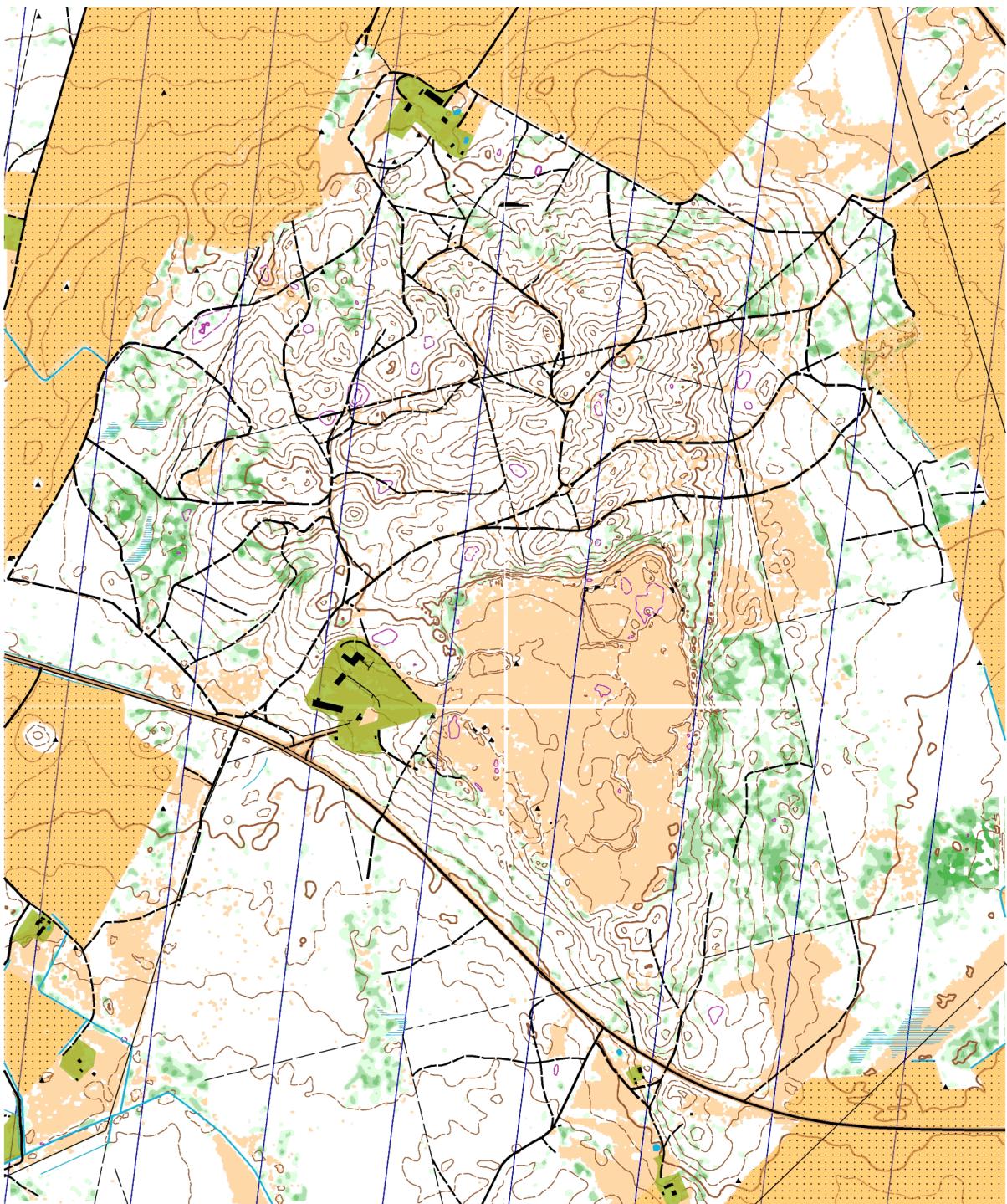
Lisa 4. Karttapullautin tarkvara poolt genereeritud kaart Vooremäe orienteerumiskaardiga kattuva ala kohta



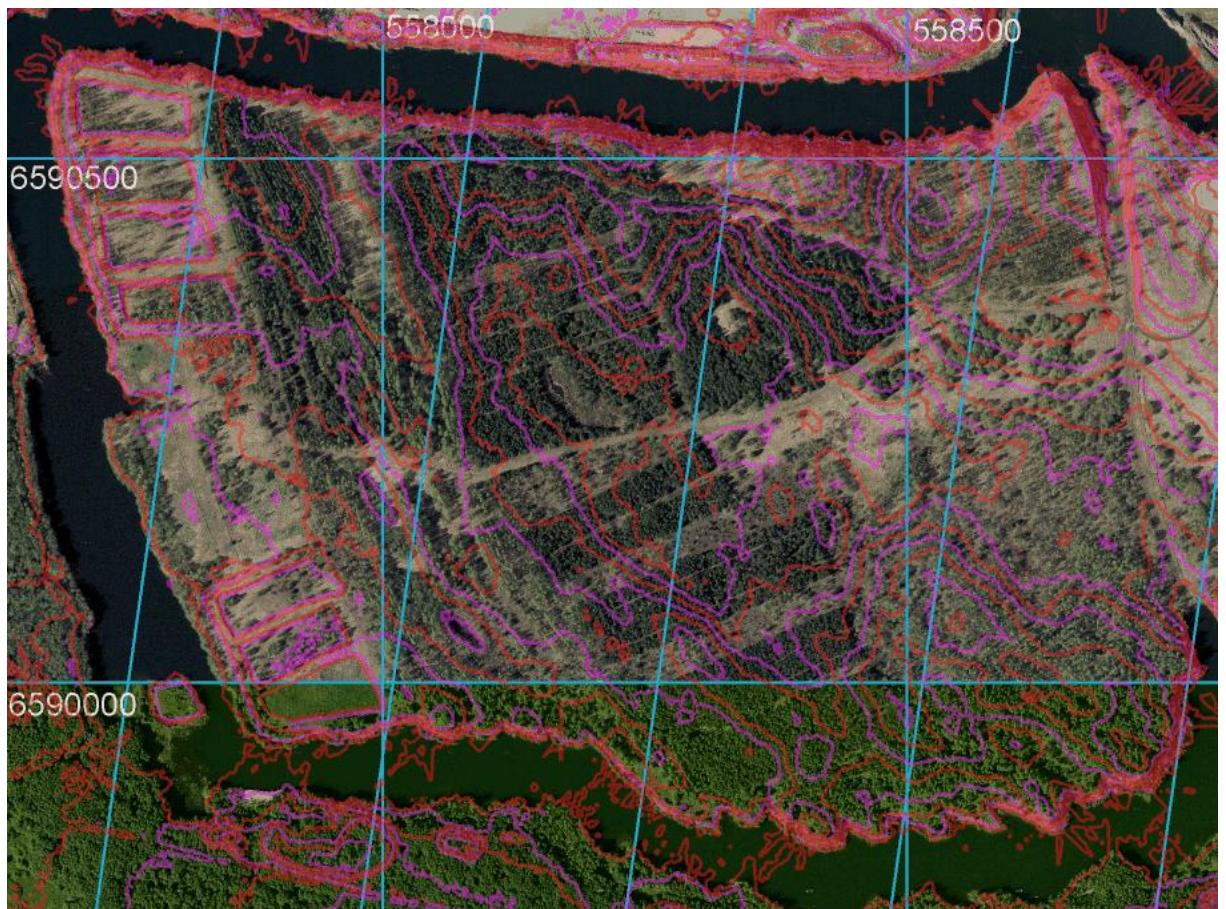
Lisa 5. ETAK-i andmetest genereeritud orienteerumiskaardi leppemärkidega kaart



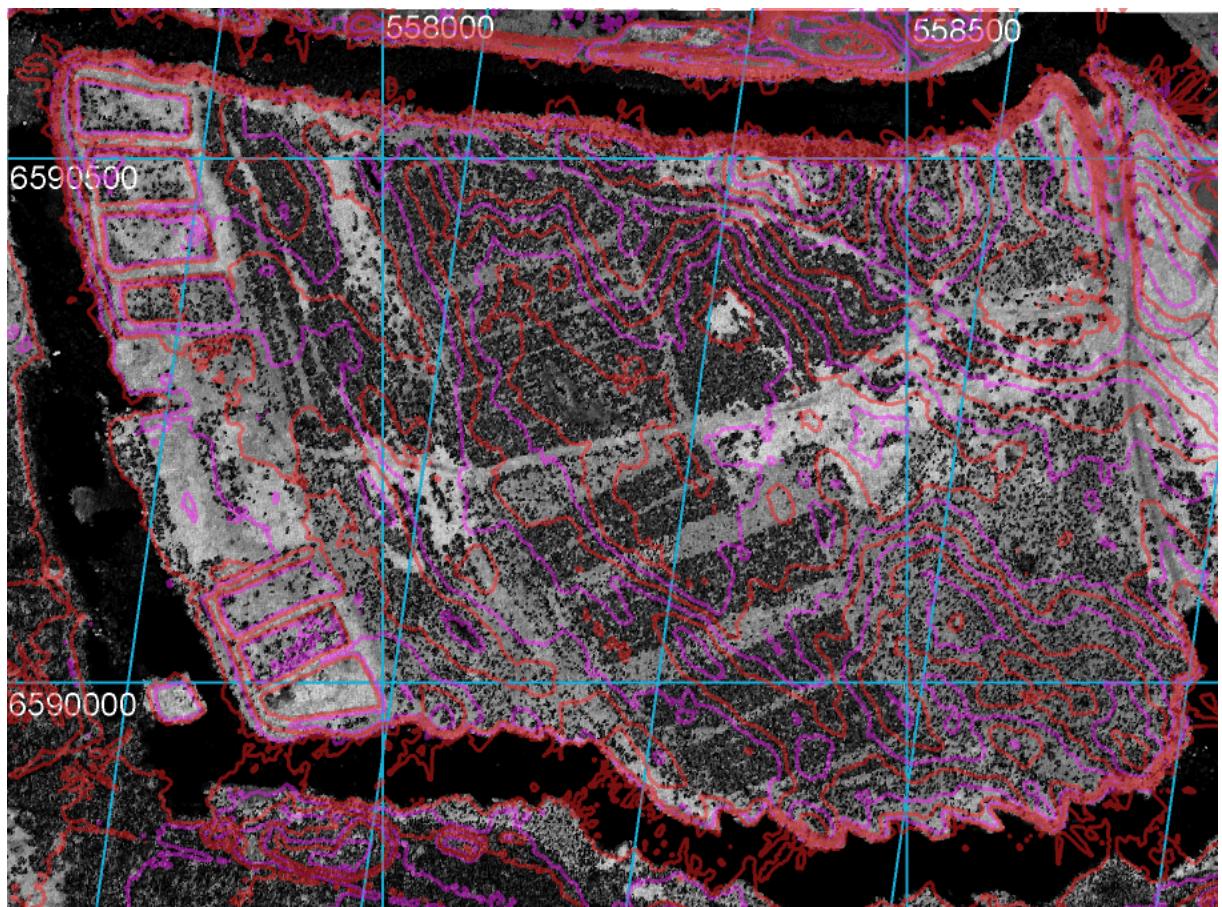
Lisa 6. ETAK-i andmetest genereeritud orienteeringiskaardi leppemärkidega kaardi kombinatsioon Karttapullautin'i väljundiga



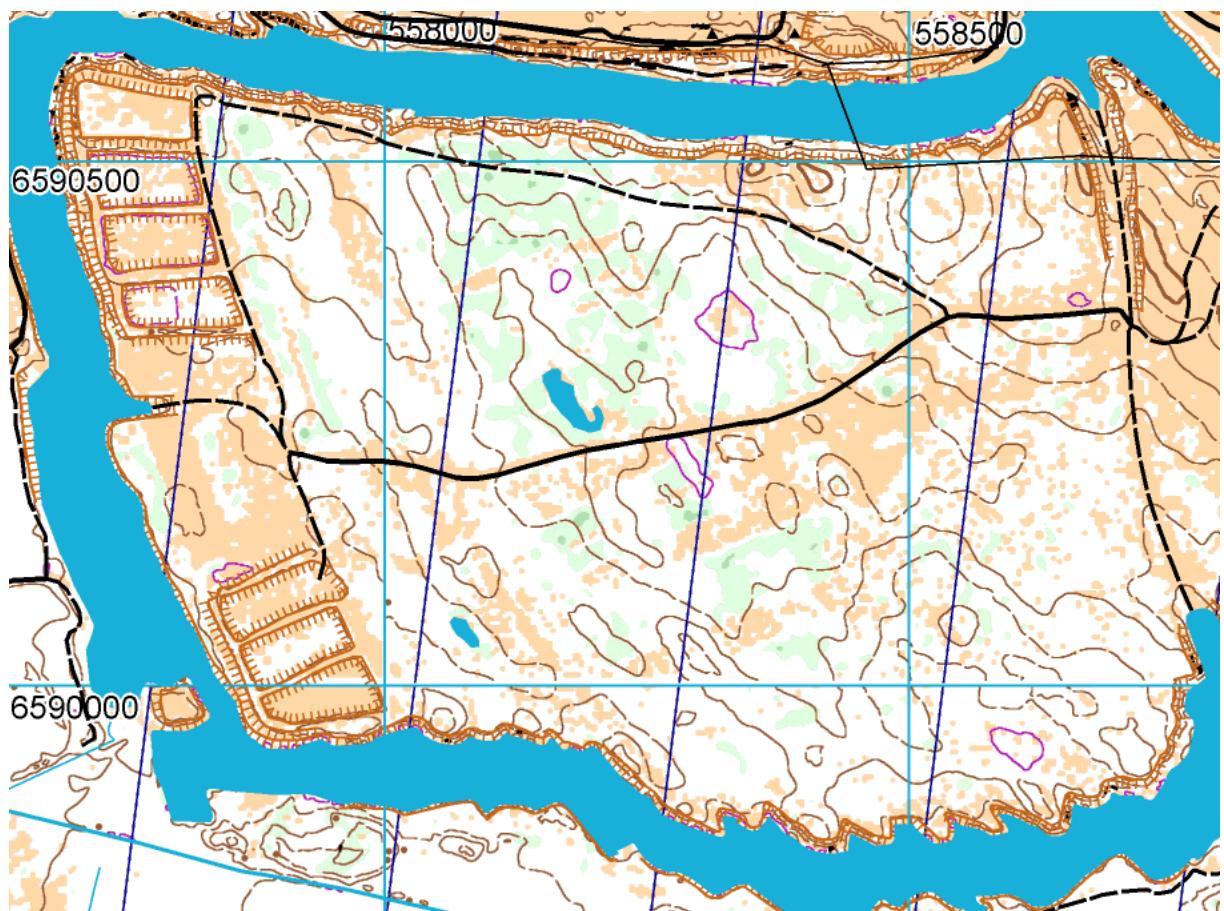
Lisa 7. Maardu aluskaart, millel on kujutatud ortofoto koos 1,25 m lõikevahega samakõrgusjoonede LiDAR-i andmetest



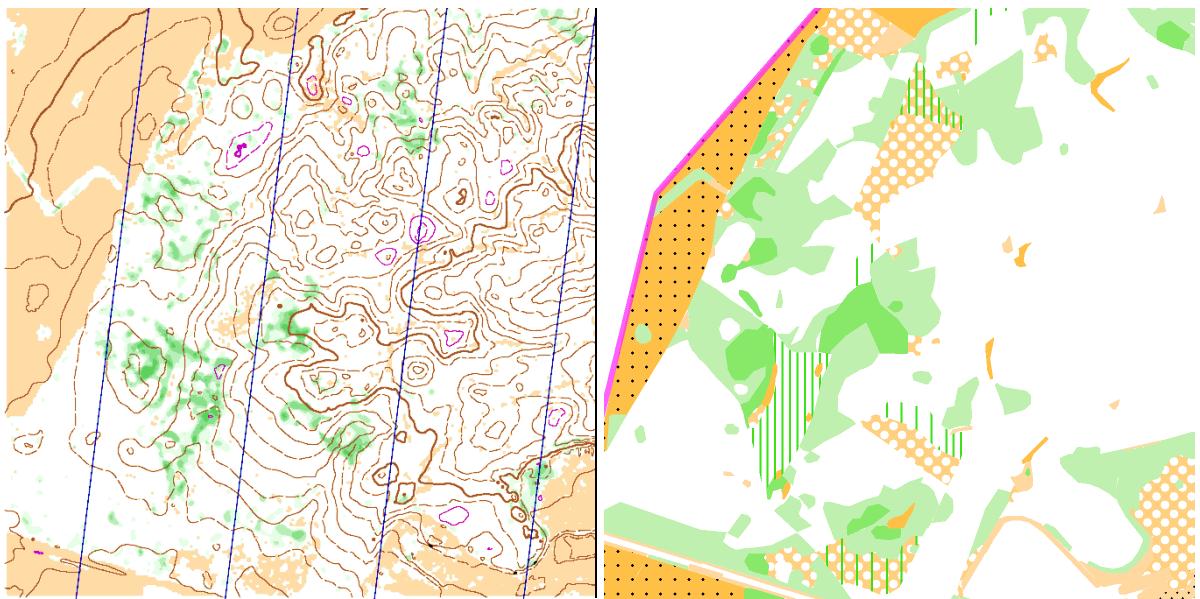
Lisa 8. Maardu aluskaart, millel on kujutatud LiDAR-i mõõtmispunktide intensiivsuskaart koos 1,25 m lõikevahega samakõrgusjoonede LiDAR-i andmetest



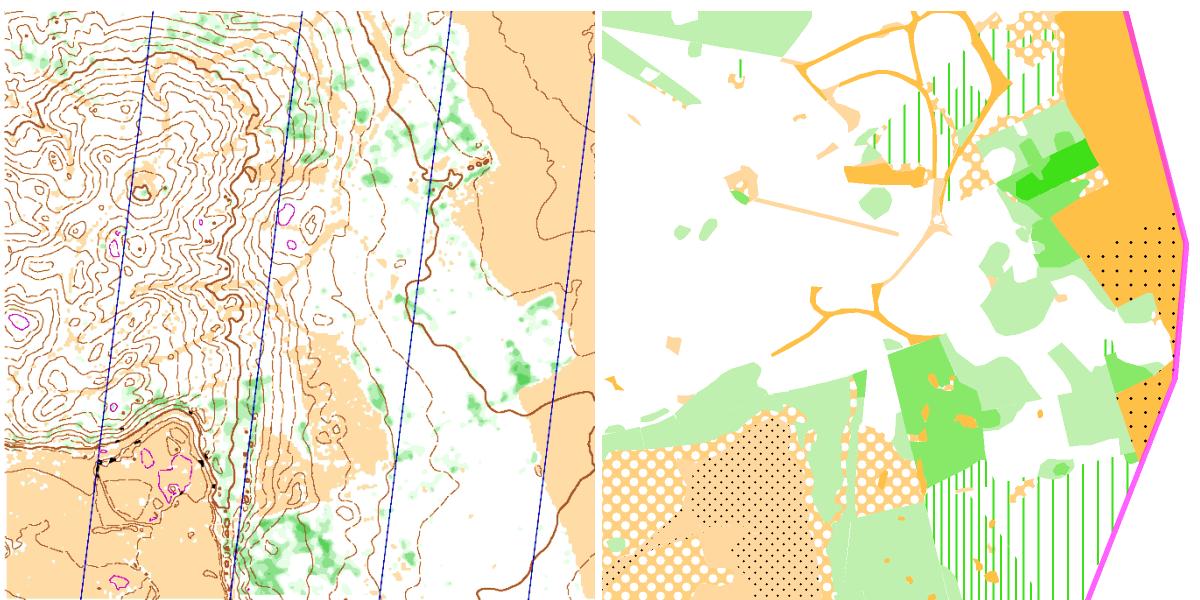
Lisa 9. Maardu aluskaart, millel on kujutatud Karttapullautin'i väljund, millel tavahorisontaalide lõikevahe on 5,0 m, poolhorisontaalide lõikevahe 2,5 m koos ETAK-i nähtustega vastavalt tabelile 1



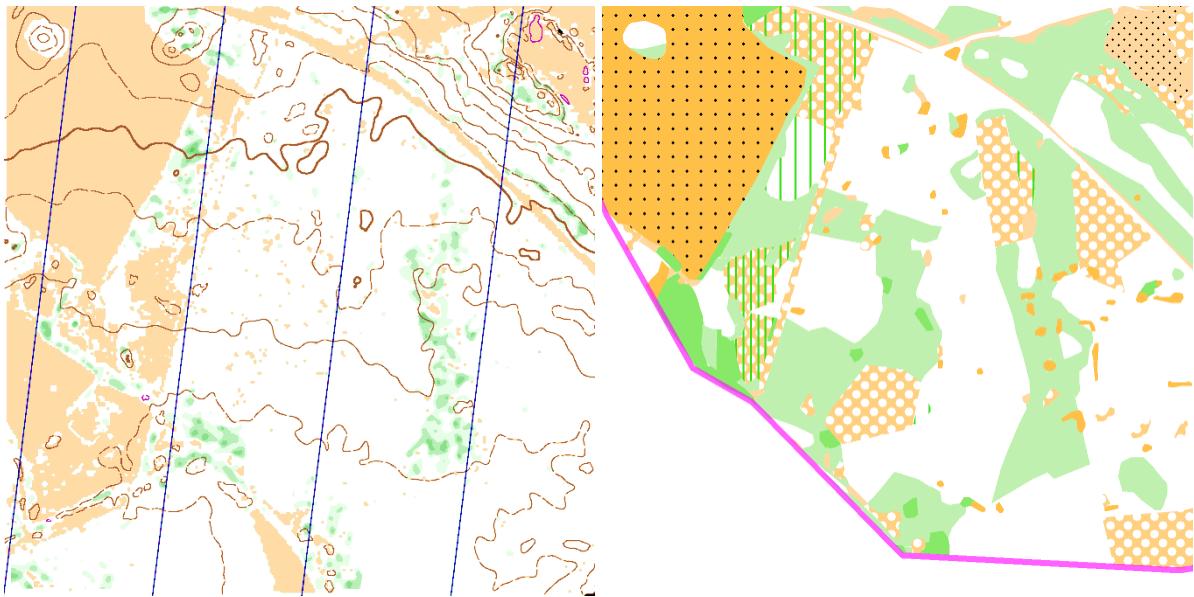
Lisa 10. Eesti põhikaardi 1:2000 kaardilehtede jaotuse ruudu nr 463668 orienteerumiskaardi taimestiku ja Karttapullautin väljundkaardi võrdlus. Ruudu külje pikkus on 1,00 km.



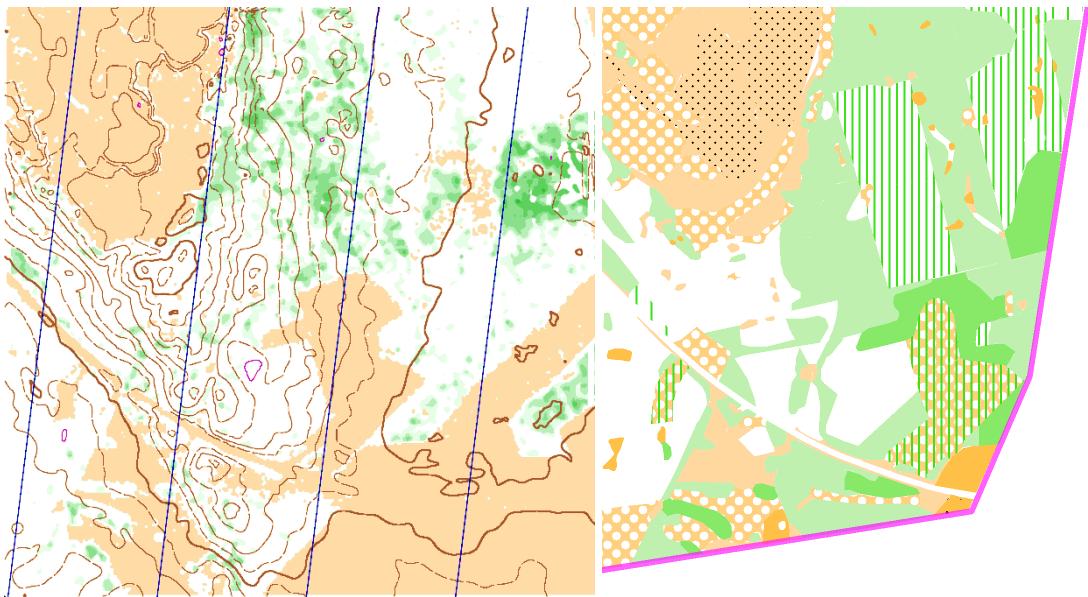
Lisa 11. Eesti põhikaardi 1:2000 kaardilehtede jaotuse ruudu nr 463669 orienteerumiskaardi taimestiku ja Karttapullautin väljundkaardi võrdlus. Ruudu külje pikkus on 1,00 km.



Lisa 12. Eesti põhikaardi 1:2000 kaardilehtede jaotuse ruudu nr 462668 orienteerumiskaardi taimestiku ja Karttapullautin väljundkaardi võrdlus. Ruudu külje pikkus on 1,00 km.



Lisa 13. Eesti põhikaardi 1:2000 kaardilehtede jaotuse ruudu nr 462669 orienteerumiskaardi taimestiku ja Karttapullautin väljundkaardi võrdlus. Ruudu külje pikkus on 1,00 km.



Lihtlitsents lõputöö reproduutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marek Karm,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Orienteerumiskaardi tootmise optimeerimine LiDAR-i ja topograafilisi andmeid kasutades“,

mille juhendaja on Raivo Aunap,

- 1.1. reproduutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäavad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **25.05.2015**