

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja Maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geoinformaatikas ja kartograafias

**Joostavuse määramise kaudsed meetodid
orienteerumiskaardi näitel**

Marta Olvet

Juhendaja: dots. Jüri Roosaare

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2014

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teoreetiline ülevaade	6
1.1. Orienteerumiskaart	6
1.2. LiDAR	7
1.2.1. LiDAR-tehnoloogia võimalused aluspinna iseloomustamiseks	7
1.3. Joostavuse kajastamine orienteerumiskaardil.....	8
1.4. Orienteerumiskaardi valmistamine	9
1.4.1. Kaardistamise meetodid.....	9
1.4.2. Infotehnoloogia kasutamine orienteerumiskaardi valmistamisel.....	10
1.4.3. Joostavuse kaardistamine.....	12
2. Andmed ja meetodika	14
2.1. Uurimisala	14
2.2. Koitjärve geoandmebaas.....	15
2.2.1. Orienteerumiskaart.....	15
2.2.2. LiDARi andmed ja nende kasutus	16
2.2.3. Mullakaart	18
2.3. Andmete analüüsimine	18
3. Tulemused ja arutelu	20
3.1. Karttapullautini kaart.....	20
3.2. Puukõrguse mudel	21
3.3. Metsa tiheduse mudel	24
3.4. Mullakaart.....	27
4. Järeldused.....	29
Kokkuvõte	31
Summary	32

Tänuõnad	33
Kasutatud allikad.....	34
Lisad	36

Sissejuhatus

Maastiku läbitavus on oluline nendes valdkondades, kus tuleb tegeleda looduses liikumise ja võimalikult optimaalse teekonna leidmisega, näiteks militaarvaldkond, päästeteenistus ja mõned spordialad. Läbitavus on optimaalse teevaliku oluline parameeter. Tundmatu maastiku puhul ei saa läbitavust ette teada ning seetõttu oleks abiks kaardid, kuhu on see peale märgitud. Läbitavuse kaardistamine omakorda on aeganõudev tegevus, sest nõuab suures osas välitöid (Zentai 2009).

Üks maastiku läbitavust iseloomustav näitaja on joostavus, mis on olulisel kohal orienteerumisspordis. Orienteerumine on ala, kus võistleja peab läbima kontrollpunktidest koosneva raja, kasutades selleks kaarti ja kompassi. Orienteerumisvõistluse õnnestumise oluliseks faktoriks on ajakohane ja korrektne kaart, millele peab olema märgitud kõik, mida võistleja suudab märgata jooksmiskiirusel liikudes, ning mis mõjutab sportlase teevalikuid maastikul (IOF kaardikomitee 2000). Üheks subjektiivsemaks näitajaks on joostavus, mis võib sõltuvalt kaardistajast suuresti erineda: läbitavusklasse kaardistatakse vastavalt maastiku üldpildile ja kaardi autori nägemusele. Samal ajal on joostavuse õige kajastamine üks olulisemaid eeldusi võistleja sooritusel õnnestumiseks ja sportlastele võimalikult võrdsete tingimuste tagamiseks. Erinevuste ja kaardistaja käekirjast tuleneva omapära vähendamiseks on üle maailma kehtestatud orienteerumiskaartidele ühised nõuded.

Orienteerumiskaardil kajastatud läbitavus on seotud taimestikuga, kuid jooksuikiirust mõjutab ka maastiku reljeef. Seda mõju on uurinud A. Kay (2012). Kiireima tee leidmine künklikul maastikul sõltub nõlva kaldest ja algus- ning lõpp-punkti vahelise teekonna ristumisnurgast nõlvaga. Siinkohal pole oluline ainult tõusu-, vaid ka langusnurk. Nimelt nõuab tõusudel jooksmine küll head füüsilist vormi, kuid kiireks laskumiseks on vajalikud osavus ning sageli ka julgus. Tõusu ja laskumist mõjutavad ka alustaimestik ning maapinnal olev oksarisu. Teatud kaldenurgast alates on mõistlikum võtta tõuse ja laskuda mitte otse, vaid siksakis. See küll pikendab läbitavat vahemaad, kuid on optimaalsem kulutatava energia ja aja mõistes. Kuna künklik maastik on selle läbija suhtes ka nõudlikum, siis on parem joostavus tasase reljeefiga metsades. Vaheldusrikkama reljeefi puhul tuleks vältida järskusid nõlvasid. Ka pehme pinnas ning soode esinemine on maastikul liikumisel takistuseks.

Maastik muutub ajas pidevalt. Tekivad uued raiesmikud, vanad kasvavad kinni, kujunevad uued teed ja rajad. Eesti Orienteerumisliidu (EOL) arengukava järgi on eesmärgiks kvaliteetsete kaartide olemasolu, mille saavutamiseks on oluline olemasolevate uuendamine

võimalikult operatiivselt (Eesti Orienteerumislüü 2013). Kuna orienteerumiskaart on väga detailne ja selle korrektsus tähtis võistluse õnnestumiseks, siis mõjutab maastike pidev muutumine seda spordiala oluliselt. Kaardi paikapidavuses on vaja veenduda enne võistlusi ning vajadusel viia sisse muudatused. Kuna kaarti tuleb uuendada üpris tihti ning välitööd on ajakulukad, siis on oluline leida erinevaid võimalusi, kuidas teha osa tööd ära maastikule minemata või kaardistusala lausaliselt läbi käimata.

Kuna orienteerumiskaardil kajastatakse läbitavust väga täpselt, siis keskendubki käesolev uurimus orienteerumisspordi näitel võimalike kaudsete meetodite analüüsimisele, mille abil oleks võimalik määrata joostavust ning lühendada ja lihtsustada kaardi valmimisprotsessi. Erinevad kaudsed meetodid on küll kasutusel, kuid neil leidub mitmeid puudusi (Zentai 2009), mistõttu on oluline katsetada ja arendada vähemlevinud meetodeid ning leida võimalikke uusi lahendusi.

Bakalaureusetöös analüüsitakse orienteerumiskaardil kajastatud läbitavuse seoseid kaudsetel meetoditel saadud andmetega. Nendeks, töös kasutatavateks andmeteks on: 1) mullakaart ning LiDARi andmete põhjal saadud standardsed: 2) puude kõrguse ja 3) metsa tiheduse mudelid ning 4) kaart, mis on valminud soomlase Jarkko Ryyppö (*s.a.*) loodud rakendusega Karttapullautin.

Eesmärgiks on uurida, kuivõrd selle andmestiku põhjal saab teha järeldusi joostavuse kohta ning kas orienteerumiskaardil kajastatud erinevate joostavustüüpide korral esineb seaduspärasusi, mis kajastuvad ka muudes andmetes. Tööhüpoteesideks on:

- töös kasutatavad andmed sobivad joostavuse määramiseks välitööd sooritamata;
- joostavusklasside ja töös kasutatud andmete vahel esineb seaduspärasusi.

Uurimustöö koosneb neljast osast. Esmalt antakse teoreetiline ülevaade orienteerumiskaardist ja selle koostamise meetoditest, täpsemalt keskendutakse ka joostavusele. Lisaks kirjeldatakse LiDAR tehnoloogiat ja selle võimalusi aluspinna iseloomustamiseks. Töö teises osas tuuakse välja olulised aspektid uurimisala valikul ning kirjeldatakse andmete töötlust ja analüüsimise meetodeid. Kolmandas, tulemuste ja arutelu peatükis esitatakse analüüsitud andmete kaupa olulisemad tulemused ja antakse hinnang neile. Viimaseks peatükiks on järeldused, kus vaadeldakse tulemuste vastavust eesmärkidele ja püstitatud hüpoteesidele ning antakse ülevaade kaudsete meetodite sobivusest joostavuse määramiseks.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1. Orienteerumiskaart

Orienteerumine on spordiala, kus võistleja eesmärgiks on läbida etteantud rada võimalikult kiiresti, kasutades abivahendina vaid kaarti ja kompassi. See on maastikul liikumine eelkõige kaardi abil, millest tulenevalt on korrektse kaardi olemasolu kogu mõtestatud liikumise aluseks. Ideaaljuhul ei tohiks võistleja edasiliikumisel saada kaardi ebatäpsustest ei kasu ega kahju, vaid oluline on võrdsete tingimuste tagamine kõigile võistlejatele. Seetõttu on loodud dokument „Rahvusvahelised nõuded orienteerumiskaartide koostamiseks“ ehk ISOM2000 (IOF kaardikomitee 2000).

Orienteerumiskaart on detailne topograafiline kaart, kuhu peavad olema kantud kõik objektid, mida võistleja suudab maastikul liikudes märgata. Kaart peab kajastama kõiki iseärasusi, mis mõjutavad selle kasutamist ning võistleja teevalikut: pinnavorme, maapinda, joostavust (läbitavust), põhilist maakasutusviisi, hüdrograafiat, asustust, ehitisi, teede ja radade võrgustikku jt. maastikul orienteerumist abistavaid objekte. Orienteerumisjooksus kasutatava kaardi standardmõõtkava on 1:15 000, kuid teatud juhtudel (nt kõige vanemate ja kõige nooremate vanuseklasside võistlustel või lühirajaorienteerumisel) kasutatakse ka mõõtkava 1:10 000. Kaardil kasutatav horisontaalide löikevahe on 5 meetrit. Lamedal maastikul on lubatud ka löikevahe 2,5 m (IOF kaardikomitee 2000).

Leppemärkidega kujutatakse kaardil seda, milline näeb välja maastik, milline on läbitavus, kus asuvad rajatised jne. Rahvusvaheliselt on kokku lepitud ühised leppemärgid ja seetõttu on kaart arusaadav kõigile orienteerujatele. Orienteerumiskaartidel kasutatakse 5 põhivärvi: musta, kollast, rohelist, pruuni ja sinist. Kuna orienteerumine toimub valdavalt metsas, siis hästi joostav mets on kaardil valge. See on kõige suurem erinevus võrreldes topograafilise kaardiga. Rohelisega kantakse kaardile aeglasemalt joostavad alad. Mida tumedam on roheline värv kaardil, seda raskemini on mets läbitav. Rohelisega tähistatakse ka taimestiku pisiobjektid. Kollase värviga tähistatakse avatud ala ning sinise värviga – vetevõrk, veekogud ja sood. Siin kehtib reegel, et mida sinisem on kaardil, seda vesisem on maastikul. Pruuniga on kaardile märgitud reljeef, mis näitab maastiku pinnavorme. Mustaga tähistatakse kaardil kivid, ehitised, rajatised, teed ja rajad. Lisaks eespool kirjeldatud märkidele on kaardile kantud magnetilise põhjasauna jooned musta või sinise vertikaaljoonega. Violetse värviga kantakse kaardile orienteerumiserada ja rajaga seotud märgid (keelualad, joogipunktid jne) (Klaar 2010).

1.2. LiDAR

LiDAR (*Light Detection And Ranging*) on kaugseiretehnika, mis töötab laserimpulsi levimisaja mõõtmise põhimõttel. Seade levitab laserimpulsse sagedusega 50–200 kHz ning mõõdab aega, mis kulub signaali sensorisse tagasi peegeldumiseks (Hollaus *et al.* 2009). LiDARiga on võimalik koguda täpseid andmeid suure maa-ala kohta suhteliselt lühikese aja jooksul (Heritage & Large 2009). Sensori täpne asukoht ja asend peab olema salvestatud igal ajahetkel – selleks kasutatakse GPSi ja IMU-nimelist (*Inertial Measurement Unit*) seadet. Asukoha, asendi, impulsi lähetusnurga ja kestuse ning atmosfääriandmete põhjal saab arvutada punkti asukoha maapinnal. LiDARiga kogutud andmete kasutusalaudeks on muuhulgas näiteks pinnamudelite ja planeeringute koostamine, üleujutusalaude modelleerimine, erinevad metsanduslikud uuringud ja teede, reljeefi ning muude objektide kaardistamine (Metsur 2012).

LiDAR-mõõdistuse tulemusena saadakse aluspinna punktid, millel on olemas nii x-, y- kui z-koordinaadid ja ka signaali peegeldumise intensiivsus. Punktide hulk võib olla väga suur: näiteks Riegl LMS420i skanner suudab registreerida kuni 12000 punkti sekundis (Heritage & Large 2009), uuemate seadmete puhul salvestatakse neid veelgi enam. Punktide puhul on oluline nende paiknemine ja tihedus, mis sõltub ka mõõdistamise eesmärgist. Ülelennukõrguse, mis on samuti sõltuv mõõdistamise eesmärgist, vähenemise korral suureneb punktitiheus. Samuti paiknevad punktid üksteisele lähemal lennutrajektoori keskmises osas ning on servaaladel hõredamalt (*ibid.*). Andmete suurema eraldusvõimet võimaldab saada multi-impulss režiimi kasutamine. Vastupidiselt üksikimpulssrežiimile ei oodata selle puhul ära eelneva peegelduse registreerimist enne uue impulsi väljasaatmist (Metsur 2012). Punktid klassifitseeritakse vastavalt sellele, milliselt objektilt on peegeldus tulnud: maapind, taimestik, hooned jm. Peegeldumine võib toimuda mitmelt objektilt maapinnal esinevate takistuste tõttu. Skanner on võimeline registreerima mitu erinevat peegeldust, mida saab nende olemuse järgi klassifitseerida: esimesed peegeldused tulevad kõrgematelt objektidelt (Maa-amet *s.a.* a 2014).

1.2.1. LiDAR-tehnoloogia võimalused aluspinna iseloomustamiseks

LiDARi andmetel on mitmeid kasutusalasid. Kuna tulemusena on saadud erinevalt klassifitseeritud LiDARi punktid, siis on võimalik kasutada neid erinevates valdkondades. Pinnamudeli kasutamise võimalused ulatuvad hüdroloogiarakendustest keskkonnakaitseni.

Eesti andmeid on kasutatud isegi merevee kalde ja lendoravate elupaikade leidmiseks (Grüno 2012). Olemas on kogu Eestit kattev digitaalne kõrgusmudel.

Joostavuse kujunemisel on oluline osa metsa struktuuril. Selles valdkonnas on üks olulisemaid uurimisobjekte puude kõrguste määramine. LiDARi täpsuse hindamiseks on oluline kontrollida tulemusi ka välitööde käigus. Selle juures on probleemiks LiDARi alade kokkuviiimine konkreetsete välitööaladega. LiDARi andmete põhjal saadud võra kõrgustest saab luua vastavaid kõrgusi kujutava mudeli. Sellest on võimalik ka eraldada üksikute puude andmeid. Kuna tavaliselt põhineb mudel esimestel peegeldustel, siis ei kajasta see alumiste rinnete puud. Üksikute puude kõrguste määramise juures on täheldatud, et LiDAR alahindab kõrgusi võrreldes välitöö tulemustega (Leeuwen & Nieuwenhuis 2010). Lehestiku struktuuri hindamisel saab kasutada lehepinna indeksit (LAI), mis kujutab endast lehestiku pindala suhet sama maa-ala pindalasse. Iseäranis tähtis on see metsa juurdekasvu ja tulekahju riski hindamiseks. Ka võrastiku kõrguse profiil, mis kirjeldab lehtede jaotust võra vertikaalses ulatuses sobib metsa lehestiku struktuuri iseloomustamiseks. Selle meetodiga on võimalik vahet teha metsa rindelisusel, sest kõrgemate väärtuste korral on tegu metsaga, kus esineb mitu puurinnet (*ibid.*). Aina rohkem kasutatakse LiDARi andmeid ka puuliikide väljaselgitamiseks. Selle aluseks on signaali intensiivsus, mille põhjal on võimalik eristada puuliike 95 % täpsusega (*ibid.*). Kuna LiDAR võimaldab kaardistada kiiresti suuri maa-alasid, siis on sellel tehnoloogia edasise arengu korral tulevikus palju potentsiaali.

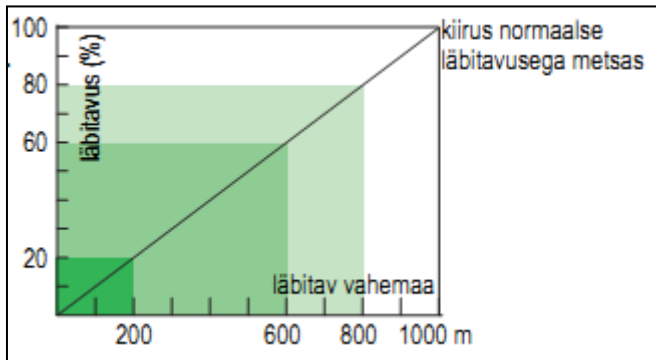
1.3. Joostavuse kajastamine orienteerumiskaardil

Joostavusklasse on orienteerumiskaardil eristatud alates 1960. aastatest (Zentai 2001). Rahvusvahelise Orienteerumisföderatsiooni (IOF) kehtestatud kaardistusnõuetes (ehk ISOM 2000) on selleks defineeritud erinevad leppemärgid (lisa 1).

Orienteerumiskaardil kajastatakse joostavust sõltuvalt alustaimestiku või alusmetsa tihedusest. Arvesse ei võeta pinnase soostumist, kivisust ja muud sellist, mille jaoks on olemas eraldi leppemärgid. Valgega kajastatakse kaardil hästijoostav mets, kollasega lagedamad alad ning rohelisega metsa või alusmetsa tihedus, mis mõjutab joostavust. Suhtelise joostavuse kajastamiseks kasutatakse veel ka erinevaid klasse (joonis 1). Kui antud piirkonna tüüpilise metsa joostavus on näiteks 5 min/km, oleksid suhtarvud järgmised:

- hästijoostav mets (jooksukiirus 80-100 % normaalsest) – jooksukiirus 5 kuni 6:15 minutit kilomeetri kohta;

- aeglaselt joostav (60-80 %) – 6:15–8:20 min/km;
- raskesti joostav (20-60 %) – 8:20–25:00 min/km;
- väga raskesti joostav mets (0-20 %) – >25 min/km.



Joonis 1. Metsa jagunemine joostavusklassidesse (IOF kaardikomitee 2000)

1.4. Orienteerumiskaardi valmistamine

Orienteerumiskaardi valmistamisel on põhieesmärgiks kaart, millel võistleja, kes kasutab objektide asukoha määramiseks orienteerumiskaardil kompassi ja sammumõõdulist mõõdistamist, ei tohiks tunnetada ühtegi ebatäpsust. Kaardi täpsus on sõltuvuses nii välitöödest kui kameraaltööde täpsusest. Kaardi loetavuse seisukohalt on oluline maastiku kujutamine detailselt ja liialdusteta (IOF kaardikomitee 2000).

1.4.1. Kaardistamise meetodid

Orienteerumiskaardi valmistamine algab aluskaardi valikust. Orienteerumiskaardi valmistamisel on läbi aegade kasutatud erinevaid aluskaarte: nendeks on olnud tsaariaegsed verstane ja pooleverstane kaart, Eesti Vabariigi ja Nõukogude Liidu sõjaväe 1:25 000 ja 1:50 000 kaardid, Nõukogude Liidu 1:10 000 topograafilised kaardid, Eestis 1990. aastatel tehtud uued 1:10 000 ja 1:20 000 kaardid; põllumajanduslikud kaardid ja metsakorraldusmaterjalid 1:10 000 ja 1:25 000, linnaplaanid 1:2 000 ja 1:5 000; aerofotod ja fotoplaanid, digitaalsed ortofotod, Eesti põhikaart vektorkujul ja stereoalus.

Kui korralik aluskaart puudus, siis tehti maastikutöid ise erinevatel meetoditel (Viirsalu 2000):

- nn valge lehe joonistamine, kus puhtale lehele joonistati kaart sammude ja kompassi abil;
- mensulmõõdistamine;

- nn vene meetod, kus nõlvade kalle määrati spetsiaalriistaga ja kaugusi mõõdeti 50-60 m pikkuse telefonikaabliga.

Käsitsi joonistatud kaartide ajastul oli vajalik ka kilomeetruudustiku joonistamine kalkale või kilele, kuid alates 1990. aastate teisest poolest on enamikul kaartidest kasutusel digiversioonid põhikaardi ristkoordinaatides ning kaardid tänu sellele ühendatavad nii omavahel kui ka teiste samas süsteemis kaartidega (Remm & Raid 2012). Alates 2008. aastast on aluskaardi valmistamisel kasutatud ka Maa-ameti poolt kogutud ja töödeldud LiDARi andmeid. Lisaks kasutatakse ortofotosid, Eesti põhikaarti ning sprindikaardistamise puhul linnaplaane. Kui tegu on maastiku taaskaardistamisega, siis on oluliseks infoallikaks ka vanad orienteerumiskaardid (Orienteerumiskaartide valmistamine *s.a.*).

Järgmiseks etapiks kaardi valmimisel on välitööd, milleks on sobivaim aeg hilissügis või varakevad, kui maastiku nähtavus ja läbitavus on kõige paremad. Aluskaardilt võetakse usaldusväärsed andmed (kraavid, teed, sillad, sihid jms) ning joonistatakse kilele. Välitööd teostatakse mõõtkavas 1:5000. Kaardistatav pind jagatakse mööda looduslikke piire väiksemateks osadeks, mille kaupa hakkab toimuma info kandmine joonisele (Kivistik & Raid 1986). Kõik looduses esinevad objektid kaardistatakse võimalikult üksikasjalikult ja objektide omavahelised seosed võimalikult adekvaatselt. Täpsuskõikumised on lubatud reljeefi, soopiiri ja läbitavuse kaardistamisel. Kaardi täpsusnormid on reglementeeritud: plaaniline viga kahe visuaalselt seotud punkti vahel tohib olla maksimaalselt 0,3 mm, kahe visuaalselt sidumata punkti vahel kuni 1,5 mm. Välikaardistamise viimaseks osaks on läbitavuse kaardistamine, mille piire pole alati võimalik looduses täpselt määrata. Orienteerumiskaartide puhul peab arvestama, et erinevate kaardistajate kaardid sama maastiku kohta on erinevad, sest objekte ja nendevahelisi seoseid tajutakse erinevalt (Viirsalu 2000). Välitööd võivad võtta aega sõltuvalt alusmaterjali kvaliteedist, koostatava kaardi tüübist (jooksu, suusa- või rattaorienteerumiskaart) ja maastiku keerukusest 20-30 tundi ruutkilomeetri kohta (Zentai 2009).

1.4.2. Infotehnoloogia kasutamine orienteerumiskaardi valmistamisel

Tänapäeval valmivad orienteerumiskaardid lõplikult arvutis, kus on selleks spetsiaalne programm OCAD (OCAD *s.a.*). Välitööde käigus valminud mustand skaneeritakse sisse ning viimistletakse arvutis. See muudab lihtsamaks nii muudatuste siseseviimise kui ka üldise töökorralduse, sest tööde järjekord pole enam nii oluline, erinevat tüüpi ruumiinfot on

võimalik kombineerida, väljatrükki ja välitöid on võimalik teha suvalises mõõtkavas (Viirsalu 2000).

Orienteerumiskaartide koostamise tehnoloogia on viimastel aastatel palju muutunud. Välitööde lihtsustamiseks saab kasutada GPS-seadmeid, millega kaardistamine on täpsem ja kiirem, kui traditsiooniline sammude lugemine ja kompassi abil suuna hoidmine. Erinevate joon- ja punktobjektide asukohad saab märkida kaardile väga täpselt. Samuti on lihtsam avastada aluskaardil esinevaid vigu ning välitöödele kuluv aeg kahaneb vähemalt 25 % võrra. Kuigi GPS annab välitöödel eeliseid, nõuab see siiski ka kaardistajalt rohkem tehnilisi teadmisi ning ka mõningaid kulutusi (Zentai 2009).

Orienteerumiskaartide valmistamisel on järjest levinum LiDAR-i andmete kasutamine. Seda tänu nende järjest paranevale kvaliteedile, odavamale hinnale ning paremale kättesaadavusele (Ditz & Gartner 2009). Nende andmete laiem levimine on võimaldanud luua programme, mis genereerivad LiDAR-i punktide põhjal automaatselt orienteerumiskaardi aluse. Üheks selliseks on soomlase Jarkko Ryyppö loodud Karttapullautin (Ryyppö *s.a.*). Tegemist on tasuta rakendusega, mis loob orienteerumiskaardi LiDAR-i punktifailide põhjal, alusmaterjaliks saab lisada ka Soome Maastotietokanta. Uuel arvutil kasutades kulub rakendusel 6 km² suuruse maa-ala „kaardistamiseks“ umbes 30 minutit (*ibid.*). Tulemuseks on reljeefi, joostavust ja kaljusid kujutav kaart (joonis 2). Mõningate orienteerumiskaardi elementide – nt teede- ja vetevõrgu, soode ja ehitiste – puudumise tõttu on kaart hetkel sobiv treeninguteks või alusmaterjaliks võistluskaartide valmistamisel.



Joonis 2. Karttapullautini (vasakul) ja kaardistaja (paremal) poolt valminud orienteerumiskaardi võrdlus (Björklund 2013 järgi)

1.4.3. Joostavuse kaardistamine

Joostavuse kaardistamise puhul on eelkõige oluline kaardistaja varasem kokkupuude ja kogemus orienteerumisega, ainult kaardistusnõuete teadmised ei piisa (Kivistik & Raid 1986). Orienteerumiskaart on väga spetsiifilise suunitlusega. Sellel kajastatud joostavus on oluline eelkõige orienteerumisspordiga tegelevatele inimestele. Seetõttu on ka võimalikke häid kaardistajaid üpris vähe.

Paljuaastase kaardistamise ja rajameistri kogemusega Jaan Olveti (2014 suulised andmed) sõnul toimub läbitavuse kaardistamine praegusel ajal välitööde põhjal. Ortofotolt võib küll eristada lagedaid alasid ning ka tormimurdu, kuid täpsemalt hinnatakse joostavust siiski maastikul. Kaardistaja peab olema varasemalt tuttav kaardistatava metsaga või sellega tutvuma välitööde ühe osana. Teades maastiku üldist läbitavust, hinnatakse visuaalselt, milline võiks olla oletatav jooksukiirus antud metsaosas. ISOM2000 põhjal määratakse leppemärk ning märgitakse see välitöö joonisele. Oluline on jälgida, et maastikul sarnase taimestikuga alad oleksid kaardistatud sama joostavusega. Läbitavuse hindamisel toetutakse kogemusele ning teatud traditsioonidele. Mõningal juhul on välja kujunenud kindlad joostavusklassid kindlat tüüpi taimestikule. Näiteks kuusetihnik on raskesti joostav ja toomingavõsa aeglaselt joostav (Olvet 2014).

Joostavus on üks viimaseid asju, mis märgitakse välijoonele siis, kui paigas on konkreetsemad objektid (teed, lagedapiirid, reljeef jm) ning objektide omavahelised suhted. Need objektid on abiks joostavusalade piiritlemisel. Joonis digitaliseeritakse programmiga OCAD. Joostavusklassid kui pindobjektid on jällegi ühed viimastest, mis kaardile saavad.

Kuigi kaardistamisjuhend on ülemaailmselt kehtiv kõigile orienteerumiskaartidele, võib siiski sisse tulla riigiti väiksemaid erinevusi (Zentai 2009). Läbitavuse puhul tulenevad need sellest, et taimestik pole looduses ühtlane (Kivistik & Raid 1986) ning samuti mõjutab seda kaardistaja varasem kogemus ning kokkupuude erinevate metsatüüpidega. Kui ollakse harjunud kiirestijoostavate metsadega, võib juhtuda, et määratakse näiteks raskestijoostavat metsa kergekäelisemalt (Olvet 2014). Ka kaardistajate erinev maastiku tajumine on põhjuseks, mis muudab läbitavuse subjektiivsemaks näitajaks. Seda olukorda iseloomustab ütlus, et halb kaart on autori nägu, kuid hea kaart – maastiku nägu (Kivistik & Raid 1986).

LiDAR-i andmeid kasutatakse eeskätt reljeefi kaardistamiseks ning läbitavuse määramine nende alusel on veel üsna algusjärgus. Varasemalt on seda uurinud Ditz & Gartner (2009). Kasutati digitaalset pinnamudelit (DSM) ja maastikumudelit (DTM), mille põhjal saadi mudel

puude kõrgustest. Selle baasil sai järeldada piiratud läbitavusega alade asukohta, mille üheks põhjuseks võis olla puude erinev kõrgus erineva joostavusega metsaosades.

Orienteerumiskaardil kajastatud joostavus on määratud vaid taimestiku põhjal. Seetõttu võiksid joostavuse määramisel abiks olla erinevad taimestikku kajastavad või taimestikuga hästi korreleeruvad ruumiandmed. Näiteks mullastikuomadused on pinnakatte ja –vormide kõrval olulisemaid maastike omaduste määrajaid (Arold 2005). Eesti digitaalne mullakaart valmis 1997.–2001. aastal ning sinna on muu hulgas koondatud andmed mulla lõimise, huumus- ja turbahorisoni ning kivisuse kohta (Maa-amet *s.a.* c). Erinevate tunnuste põhjal, mille hulka kuuluvad ka taimestik ja muld, määratakse metsakasvukohatüüpe (Lõhmus 2004). Metsakasvukohatüüp kannab endas olulisel määral infot ka metsa joostavuse kohta. Nii on, lähtudes kasvukohatüüpide kirjeldusist (Valk & Eilart 1974), sambliku, karusambla ja pohla kasvukohatüübid reeglina hästi joostavad, mustika ja jänese kapsa kasvukohatüübid erinevail põhjusil halvemini joostavad; angervaksa kasvukohatüüp on reeglina halvasti joostav ning osja kasvukohatüübi piires varieerub joostavus sõltuvalt mikroreljeefist.

2. Andmed ja metoodika

Uurimuse läbiviimist alustati uurimisala valimisest. Edasiseks sammuks oli Koitjärve geoandmebaasi koostamine tarkvaraga ArcGIS 10.2. Vajalike andmekihtide loomisele järgnes nende analüüs tarkvaradega ArcGIS 10.2 ja IDRISI Andes. Illustreerivate kaartide loomiseks kasutati ArcMap 10.2 tarkvara ning jooniste viimistlemiseks Adobe Illustrator 10 programmi. Graafikud tehti programmiga Microsoft Office Excel 2007.

2.1. Uurimisala

Uurimisala valikul on esimeseks ja tähtsaimaks faktoriks orienteerumiskaardi olemasolu. Oluline on võimalikult mitmekesine maastik, eeskätt joostavuse seisukohalt. Maastiku muutumise mõjude vähendamiseks võiks kaart olla valminud viimase paari aasta jooksul. Võimalusel tuleks valida ala ka asukoha järgi, et vajadusel oleks võimalik käia maastikul kontrollimas küsimusi tekitavaid olusid.

Eelnevalt nimetatud faktoreid arvesse võttes sai uurimisalaks valitud Harjumaal Anija vallas asuv (joonis 3) Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaardi alla jääv maastik (edaspidi Koitjärve). Uurimisala pindala oli 14,83 km² (Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaardi andmed *s.a.*). Kaart valmis aastatel 2011–2013, esimene võistlus sellel peeti 2013. aasta sügisel, mis tähendab, et tegu on kaasaegse ja hetkeolukorda piisavalt täpselt kajastava kaardiga. Koitjärve asub Kõrvemaa maastikurajoonis (Arold 2005) ning jääb Põhja-Kõrvemaa looduskaitseala piiridesse. Maastiku ilmestab Kulli-Koitjärve servamoodustiste vöönd, esineb mõhnasid, järsunõlvalisi oosisid ja tasaseid lavasid. Tänu eriilmelisele reljeefile on mullastik ning seeläbi ka taimestik ja joostavus mitmekesine. Oosidel ja nende nõlvadel esineb sinilille kasvukohatüüp (Metsaregister *s.a.*), laugematel aladel pohla, mustika ja kanarbiku kasvukohatüübid. Suure osa maastikust katavad sood ning esineb ka raba ja kõdusoo kasvukohatüüpi. Maastikule jäävad Koitjärve raba kaardi lääneosas ning Püüsaare raba kaardi lõunaosas. Uurimisalal on joostavus mitmekesine ning metsa läbitavus on väga heast kuni väga halvani, mis teeb selle sobivaks antud uurimuse jaoks.



Joonis 3. Koitjärve uurimisala asukoht (aluskaart: Maa-amet)

Maastikul teostati välitöid 22. märtsil, kui käidi kontrollimas, mida kujutab orienteerumiskaardil esinev valge-rohelise täpiline leppemärk maastikul. Välitööde tulemusel määrati sellega kujutatud alad hea joostavusega metsaks. Kevadine aeg ei mõjutanud välitöö tulemusi, sest antud aladel oli tegu okaspuumetsaga ning lumi oli maastikul sulanud.

2.2. Koitjärve geoandmebaas

2.2.1. Orienteerumiskaart

Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaart valmis aastatel 2011-2013. Kaardi autoriks on Margus Klementsov ning varalised autoriõigused kuuluvad OK Kooperaatorile. Töös kasutatud GIF formaadis kaart saadi Eesti Orienteerumisliidu kaartide andmebaasist, selle koodiks on 2011006 (Orienteerumiskaartide andmebaas *s.a.*). Orienteerumiskaart on mõõtkavas 1: 10 000 kõrgusjoonte vahega 2,5 m (Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaardi andmed *s.a.*). Alusmaterjalina kasutati ortofotot, 1: 10 000 põhikaarti ning LiDARi andmeid. Välitööd teostati 1: 5000 mõõtkavas ajavahemikus 2011. aasta sügis kuni 2013. aasta suvi. Kaardi joonis valmis OCAD 8.0 programmiga.

Kuna orienteerumiskaardi omanik ei olnud nõus jagama vektorfaili, oli andmebaasi loomisel esimeseks sammuks orienteerumiskaardil kajastatud joostavuse digimine vektorkujule. Selle aluseks oli GIF-formaadis Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaart (lisa 2). Esmalt oli vaja kaart viia L-EST97 koordinaadistikku. Seda tehti tarkvaraga ArcGIS 10.2, lisades georeferentseerimata rasterfailile Maa-ameti ortofoto põhjal kontrollpunkte (*Add Control Points*). Läbitavuse digimiseks loodi ArcCatalogis uus geoandmebaas (*Geodatabase*) ning objektiklassid (*Feature Class*) vastavalt orienteerumiskaartide kaardistusjuhendile ISOM2000 (tabel 1). Vastavalt maastiku läbitavusele digiti igasse klassi pindobjektid. Kuna läbitavusklassi „avatud ala üksikute puudega“ Koitjärve kaardil ei esinenud, võis ka ArcCatalogis vastava nähtuseklassi kustutada. Orienteerumiskaardil esines ka leppemärki, mida ISOM2000 ei sisalda- need määrati hästi joostavaks. Kaardil asunud autoparkla digiti avatud ala klassi, kuna on oma joostavusomadustelt sama.

Tabel 1. Läbitavuse kaardistamise leppemärgid (ISOM2000 järgi)

Sümboli nr kaardistusjuhendis	Sümboli kirjeldus
401	Avatud ala
402	Avatud ala üksikute puudega
403	Poollage ala
404	Poollage ala üksikute puudega
405	Mets: hästi joostav
406	Mets: aeglaselt joostav
408	Mets: raskelt joostav
410	Taimkate: väga raskesti joostav mets, läbipääsmatu ala

2.2.2. LiDARi andmed ja nende kasutus

Maa-ametist telliti uurimuse tarbeks LAS formaadis LiDARi andmed. Andmed on kogutud 2013. aastal. Ülelend toimus 2400 m kõrgusel ning mõõdistused teostati LiDAR seadmega ALS50-II. LAS failid saadi 1:2000 põhikaardi lehtede kaupa. Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaart kattub 13 lehega: 585593, 585594, 584593, 584594, 583593, 583594, 582593, 582594, 581594, 581595, 581596, 580594 ja 580595.

Saadud andmed olid klassifitseeritud järgmiselt:

- 1 – klassifitseerimata
- 2 – maapind, mis ei sisaldu klassis 8
- 5 – esimesed ja keskmised peegeldused (valdavalt puistud)
- 6 – Eesti topograafia andmekogu (ETAK) hoonete sisse langevad punktid

7 – müra

8 – maapinna hõrendatud punktid (plaaniline kaugus >20 või kõrgusvahemik +/-0.3)

14 – Eesti topograafia andmekogu (ETAK) veekogude sisse langevad punktid

(Maa-amet *s.a.* a)

LAS failidest valmis esmalt puude kõrgusi kajastav rasterfail tarkvaraga ArcGIS 10.2. Selleks loodi LAS andmekogu (*LAS Dataset*), millest filtreeriti esmalt maapinnapunktid klassidest 2 ja 8 ning kasutades tööriista *LAS dataset to raster* tehti digitaalne kõrgusmudel (DEM). Järgmise sammuna filtreeriti taimestikupunktid klassidest 1 ja 5 ning loodi digitaalne pinnamudel (DSM), kasutades jällegi *LAS dataset to raster* tööriista. Saamaks mudelit puude kõrgusest, kasutati tööriista *Minus*, kus väärtuseks 1 oli DSM ja väärtus 2 DEM. Tulemus klassifitseeriti ümber: eemaldati kõrgused, mis olid esitatud negatiivsena. Alles jäänud kõrgused jagati seitsmesse klassi võrdsete vahemike alusel.

Sama tarkvaraga loodi ka LiDARi andmetel põhinev metsa tihedust kajastav rasterfail. See põhines taimestikupunktide arvu suhtel maapinna- ja taimestikupunktide kogusummaga. Ka siin oli vajalik LAS andmekogu olemasolu, millest filtreeriti esmalt taimestiku- ning seejärel maapinnapunktid. Kasutades järjest tööriistu *LAS Point Statistics as Raster, IsNull* ja *Con*, saadi maapinna ja taimestikurastrid, millel piksli suurus 10 ning LiDARi punktideta pikslite väärtuseks määratud 0. Saamaks maapinna- ja taimestikupunktide summat, liideti tulemused tööriistaga *Plus*. Metsa tiheduse mudeli saamiseks jagati taimestikupunktide arv samas pikslis olevate kogupunktide arvuga kasutades tööriista *Divide*.

Soomlase Jarkko Ryyppö loodud rakendusega Karttapullautin saadi otse LAS failidest joostavust ja reljeefi kajastav orienteerumiskaart. Kaardi tegemiseks tuli esmalt kopeerida Koitjärve kaardiga kattuvad LAS failid rakendusega samasse kausta. Karttapullautin aktsepteerib xyz faile. Et rakendus oskaks lugeda LAS faile, on vajalik ka samas kaustas *las2txt.exe* rakenduse olemasolu. Seejärel käivitati Karttapullautin, mis genereeris LiDARi punktide põhjal igast LAS failist 2 kaardifragmenti: esimesel olid lilla värviga lohud välja toodud, teisel mitte. Antud töös ei mängi rolli, kumba varianti kasutada. Eraldiseisvad osad liideti programmis Adobe Illustrator 10 ning tulemusena saadi georeferentseerimata orienteerumiskaart (lisa 3).

2.2.3. Mullakaart

Uurimuses kasutati ka mullakaarti. Koitjärve orienteerumiskaart jääb mullakaardi lehtedele nr 63891, 63892 ja 63893. Vajalikud *shape*-failid pärinevad Tartu Ülikooli geograafia osakonna digiarhiivist (Digiarhiiv *s.a.*). Mullakaart on mõõtkavas 1: 10 000. Koostamise aeg oli aastatel 1997-2001. Mullakaardi aluseks on 1: 5000 mõõtkavas olnud metskondade ja suurmajandite mullastiku kaardid, mis uuendamisel generaliseeriti ja viidi väiksemasse mõõtkavva (Maaamet *s.a.* b). Mullakaart ei vajanud uurimuse jaoks enamat töötlust, kui uurimisalale jäävate muldade jagamine klassidesse IDRISI mooduliga *Reclass* järgnevalt:

1. gleimullad
2. rähkmullad
3. leostunud muld
4. leedemullad
5. leetunud mullad
6. madalsoo mullad
7. siirdesoo mullad
8. rabamullad

2.3. Andmete analüüsimine

Karttapullautini joostavuse analüüsimiseks asetati programmis ArcMap 10.2 kohakuti digitud joostavusalad ning Karttapullautini kaart. Neid hinnati visuaalsel vaatlusel. Esmalt hinnati roheliste, seejärel lagedate alade kattuvusi. Vaadati, kas ja kui palju loob Karttapullautin ise juurde võrreldes tegelikkusega ning milline on alade paiknemine võrreldes orienteerumiskaardiga.

Metsa tiheduse ning puude kõrguse mudeleid hinnati kõigepealt samuti visuaalsel vaatlusel. Pöörati tähelepanu samadele aspektidele nagu Karttapullautini kaardi analüüsimisel. Puude kõrguste mudeli puhul vaadati, kas eristuvad mingite joostavusalade piirid, sama toimus ka metsa tiheduse mudeliga. Seejärel viidi rasterfailid tarkvarasse IDRISI Andes, kus toimus edasine analüüsimine. Võrdluseks kasutati IDRISIsse imporditud orienteerumiskaardi joostavusklasside. Mudeleid analüüsiti kumbagi eraldi, kasutades mooduleid *Extract* ja *Crosstab*. Esimese abil leiti puude kõrguse ja metsa tiheduse väärtused iga joostavusklassi kohta. Puude kõrguste analüüsimise puhul oli oluline eelnevalt eemaldada negatiivsed väärtused, kasutades moodulit *Reclass*. Kasutamaks funktsiooni *Crosstab*, jagati eelnevalt

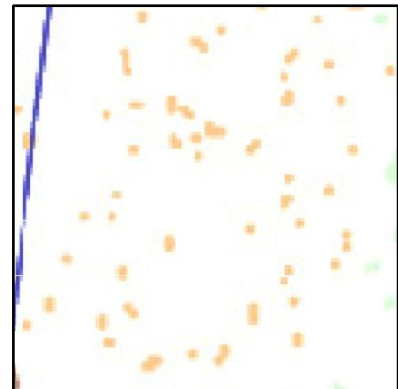
kummagi mudeli väärtused mooduliga *Reclass* seitsmesse klassi võrdsete vahemike põhjal. Klasside arv on võrdne Koitjärve orienteerumiskaardil esinevate joostavusklasside arvuga. Mooduli *Crosstab* puhul kasutati valikut, millal iga piksel kuulub ühte kindlasse klassi (*hard classification*). Selle rakendamise tulemusena saadi jaotustabel mudeli ja joostavuse suhet iseloomustavatest näitajatest, arutati ka Kapa indeks.

Ka mullakaardi hindamine algas visuaalse vaatlusega. Uuriti seda, kas mingi mullatüübi puhul võib välja tuua enamesineva joostavusklassi ja ka vastupidi. Lisaks kasutati veel IDRISI moodulit *Crosstab* hindamaks mullatüüpide osakaalu joostavusklassides.

3. Tulemused ja arutelu

3.1. Karttapullautini kaart

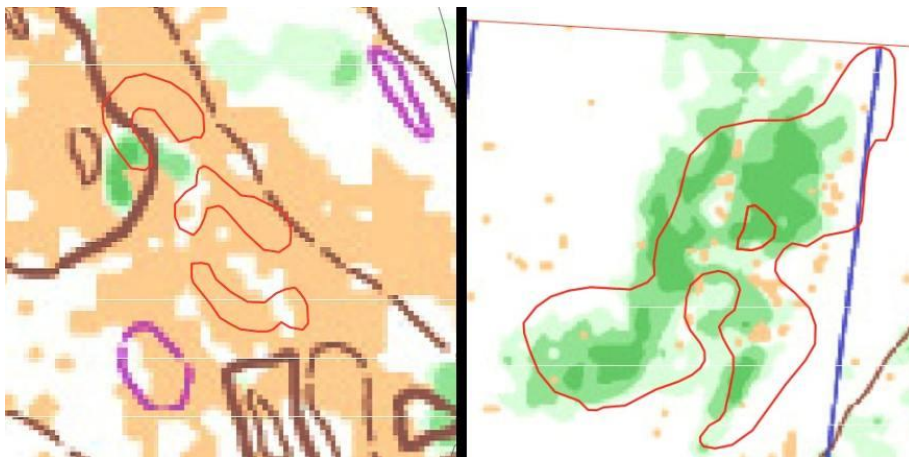
Silmapaistvaimaks erinevuseks oli Karttapullautini kaardil esinevad rohelised alad rabades, mis orienteerumiskaardil olid kajastatud hästi joostava metsana. Seda esines nii Koitjärve kui Püüsaare raba puhul. Teiseks märgatavaks erinevuseks oli Karttapullautini kaardi detailsus, mis oli oluliselt suurem kui orienteerumiskaardil. Esines oluliselt rohkem väikeseid ümbritsevast erineva joostavusega alasid, kaart oli väga infotihe. Esines nii lagedaid alasid valge (hästi joostav) metsa sees (joonis 4), kui ka teiste joostavusklasside väiksemaid alasid. Lage ala hästi joostava metsa laikudega kattus sageli orienteerumiskaardil oleva sümboliga lage ala üksikute puudega. Erinevate astmete rohelised metsad (aeglaselt, raskelt ja väga raskesti joostav) esinesid väikeste aladena harvem. Olukorras, kui orienteerumiskaardi hästi joostava metsa asemel oli märgitud kehvema läbitavusega mets, oli tegu enamasti aeglaselt joostava metsaga. Erandiks siinkohal olid rabaservad, kus esines palju ka raskesti ja väga raskesti joostavat metsa. Ooside peal oli see-eest rohelist märgitud vähem, kui seda tegelikult oli. Alasid oli vähem, need olid väiksemad ja paiknesid hõredamalt.



Joonis 4. Karttapullautini kaardil kujutatud lagedad alad hästi joostavas metsas

Suurimad vead olid seotud veekogude kujutamisega. Kuna Karttapullautin ei tuvastanud veekogusid, siis oli näiteks Koitjärv kajastatud lageda alana. Sellest suurem eksimus oli aga paljude laugaste kujutamine hästi joostava metsana. See võib olla üpris eksitav, sest samasuguseid hästi joostava metsa alasid esines rabades ka seal, kus laukaid polnud, mistõttu pole arusaadav, kas tegu on veekogu või metsaga. Vigadest võib veel välja tuua väga raskesti joostava metsa kajastamise hästi joostavana.

Hästi tulevad Karttapullautini kaardil välja suuremad lagedad ja rohelised piirkonnad. Nende piirid on siiski üpris hägused ja halvasti määratletavad. Põhjuseks ilmselt sujuvad üleminekud looduses, mida rakendus kaardistabki sellistena. Samuti sisaldavad ka need suuremad alad teiste joostavusklasside väikeseid alasid. Karttapullautin suutis tuvastada ka eripärase kujuga alasid, mis olid nihkes võrreldes orienteerumiskaardiga (joonis 5). Lisaks tulid pikkade kitsaste lagedaribadena välja teed.

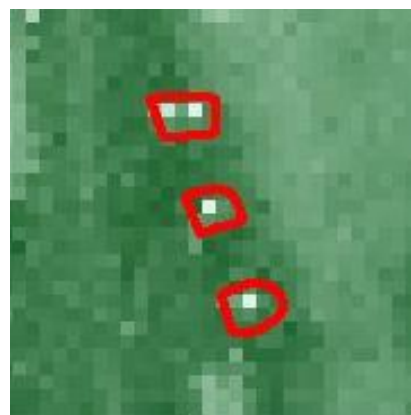


Joonis 5. Karttappullautinil kujutatud eristatavad joostavusalad ning samade alade asukoht orienteerumiskaardil (tumepunase joonega)

Karttappullautin leidis rohelisega märgitud alasid kaardi põhjaosas üles rohkem, kui neid tegelikult seal on. Samas lõunaosas on neid enam-vähem sama palju kui orienteerumiskaardil.

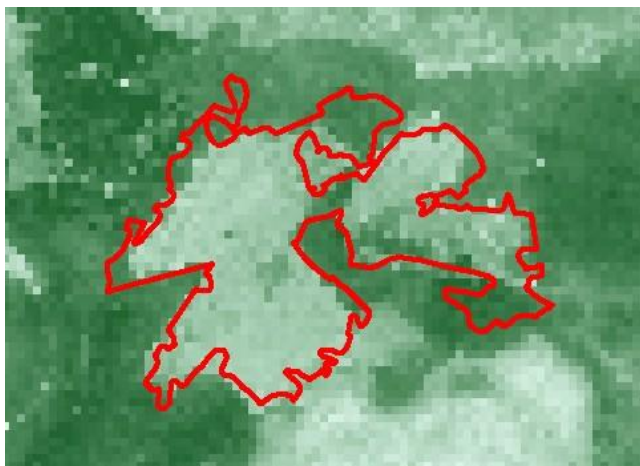
3.2. Puukõrguse mudel

Kõige paremini tulevad puude kõrguste järgi välja poollagedad ja avatud alad. Ka poollage ala üksikute puudega eristub hästi. Rohkem kehtib see suuremate alade puhul, väiksemad võivad olla puude kõrguste järgi ka eristamatud. Kuna avatud ja poollagedatel aladel ei esine kõrget taimestikku, siis kõige parem on just nende eristumine. Arusaadavad on ka väiksemad objektid (joonis 6). Kaardi põhjaosas on tuvastatav lagendike piirkond. Eristuvad alad asuvad orienteerumiskaardi suhtes üpris täpselt, kui esineb ka mõningaid nihkeid, mis tulevad orienteerumiskaardi ebatäpsustest.



Joonis 6. Poollagedate alade eristumine puude kõrguste järgi ja nende asukoht orienteerumiskaardil.

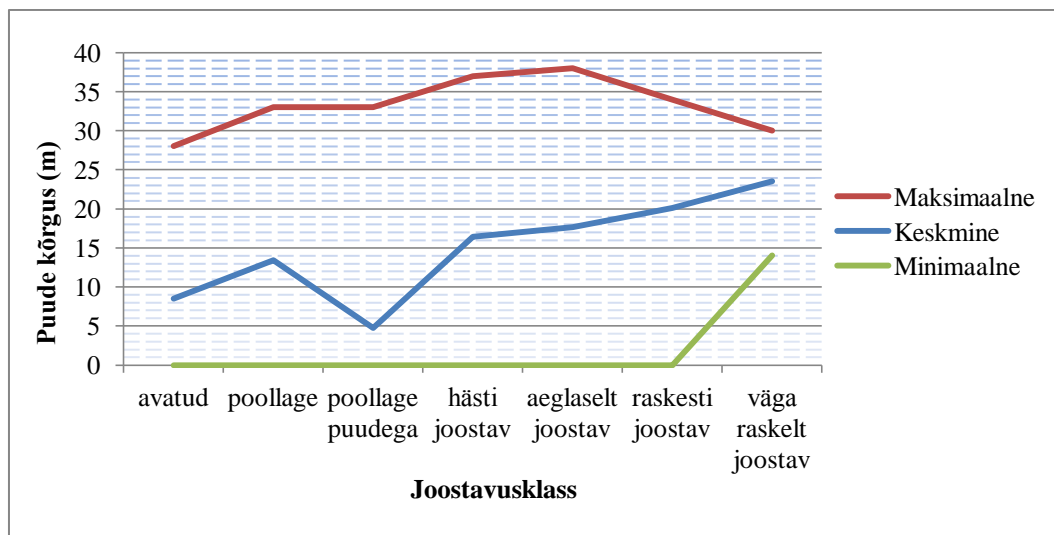
Aeglaselt joostava metsa puhul võib välja tuua selle, et seal on madalamad puud, kui ümbritsevas hästi joostavas metsas. Tihtipeale on tegu lehtpuudega, mis on hästijoostava metsa okaspuudest madalamad. Väga selgelt tuleb välja kaardi lõunaosas paiknev aeglaselt joostav mets (joonis 7). Samas on umbes sama puude kõrgus ka poollagedal üksikute puudega alal, mis tähendab, et neid kahte on ainult puude kõrguse põhjal keeruline eristada. Madalam on taimestik ka rabades, kuid antud uurimisalal eristuvad need oma ümara kuju järgi. Kuju järgi on eristatavad ka piklikud oosid, kus on ümbritsevast kõrgemad puud.



Joonis 7. Maastiku lõunaosas asuv aeglaselt joostav mets ja selle piirid orienteerumiskaardil

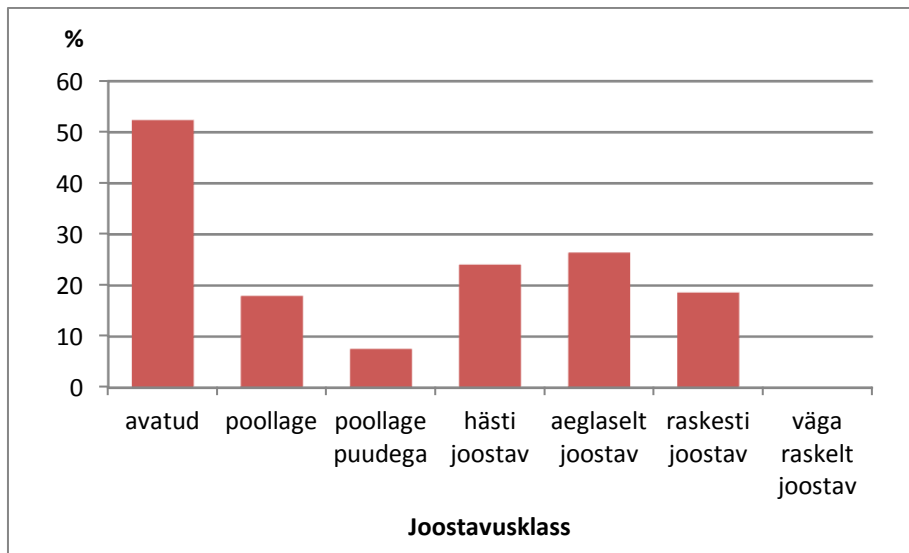
Erineva läbitavusega metsade puude kõrgustes on küll erinevusi, kuid samas esineb ka seda, kui kahel joostavusalal on sama kõrged puud ning vastupidi: puude kõrgus erineb, kuid joostavusklass ei muutu. Lisaks tasub veel välja tuua, et lagedate aladena tulevad välja laiemad teed ja nende ristumised ning ka järved.

IDRISI mooduli *Extract* kasutamisel saadi puude kõrguste andmed joostavusklasside kaupa (joonis 8). Selgus, et keskmine puude kõrgus üldiselt suureneb joostavuse halvenedes, olles 8,47 m avatud alal puhul ning 23,5 m väga raskesti joostava metsa korral. Antud reast eristub väga selgelt poollage üksikute puudega ala, kus on keskmine kõrgus väikseim – 4,74 m. Nende alade puhul võib tegu olla noorendikega, kus puud on veel madalad. Poollagedal ja avatud alal asuvad üksikud puud võivad aga anda sellest suurema keskmise kõrguse. Maksimaalne puude kõrgus on suurim aeglaselt joostava metsa puhul, kus see ulatub 38 meetrini. Joostavuse halvenedes toimub puude maksimaalse kõrguse kasv kuni aeglaselt joostava metsani ning hakkab seejärel vähenema, olles raskesti joostava metsa puhul 34 m ja väga raskesti joostavatel aladel 30 m. Minimaalsest puude kõrgusest selgub, et vaid ühes joostavusklassis on see suurem nullist – raskesti joostavas metsas 14 m. See tuleneb sellest, et vastavas klassis pole LiDARi punkte, mille puhul oleks maapinna- ja taimestikupeegeldus loetud samalt kõrguselt. Teistes klassides seda esineb ning seetõttu on ka puude kõrguseks saadud 0.



Joonis 8. Puude maksimaalsed, keskmised ja minimaalsed kõrgused joostavusklasside kaupa

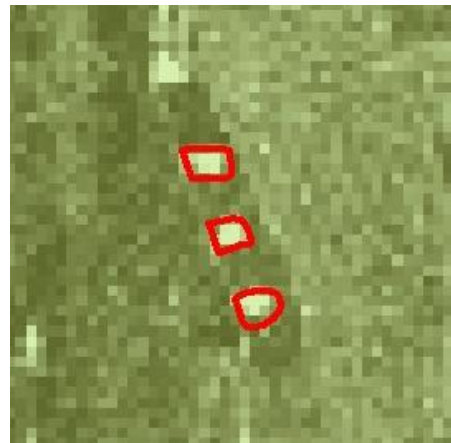
Tuginedes orienteerumiskaardi ja puude kõrguse risttabelile (lisa 4), oli orienteerumiskaardi järgi enimesinenud joostavusklass hästi joostav mets, mida oli 61,58 % kogu maastikust. Selle puhul oli ka kahe kaardi kattuvusprotsent kogu maastiku suhtes suurim – 14,83. Põhjuseks on ilmselt selle suur osakaal kaardist. Umbes 25 % heast joostavusest määrati õigesti (joonis 9). Väikseim oli kattumine väga raskelt joostava metsa puhul, mis puude kõrguse järgi klassifitseeriti hoopis hästi, aeglaselt või raskesti joostavaks metsaks. Määramata alad ehk need, mida orienteerumiskaardilt ei digitud (nt veekogud), kuid millelt andmed puude kõrguste kohta siiski olemas on, olid selle põhjal kõige sagedamini avatud ala klassis. Avatud aladest määrati puude kõrguse järgi 52 % õigesti klassi (joonis 9), mis tähendab, et selle klassi määramine oli puude kõrguse järgi täpsem. Poollagedat liigitati kõige rohkem poollagedaks üksikute puudega alaks, samas kui seda omakorda ülekaalukalt avatud alaks määrati. Aeglaselt joostava metsa puhul oli sagedaseim õigesti klassi määramine, kuid tihti esines ka mõlemat poollagedat ala ning hästi joostavat metsa. Raskesti joostav mets määrati enamusest aeglaselt joostavaks, õigesti klassifitseeriti 18 %. Kapa indeks oli antud võrdluse puhul 0,0314, mis näitab suhteliselt suurt juhuslikkust.



Joonis 9. Puude kõrguste järgi õigesti määratud metsa osakaal kogu joostavusklassist

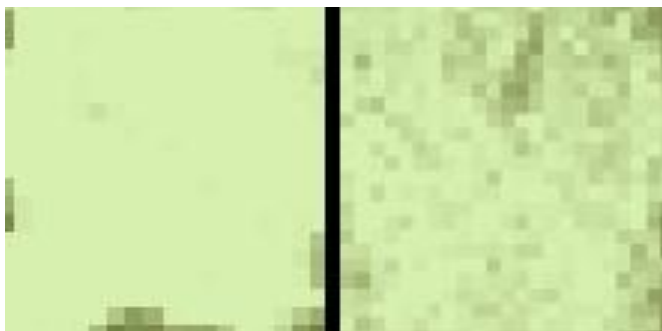
3.3. Metsa tiheduse mudel

Ka metsa tiheduse järgi eristuvad visuaalsel hindamisel kõige paremini avatud ja poollagedad alad. Kuigi leidub erandeid, on ka väiksemate objektide puhul hästi arusaadav nende olemus (joonis 10). Kõik orienteerumiskaardil olevad avatud ja poollagedad alad metsa tiheduse järgi välja ei tule, kuid kui mets on väga hõre, siis võib eeldada, et tegu on avatud või poollageda alaga.



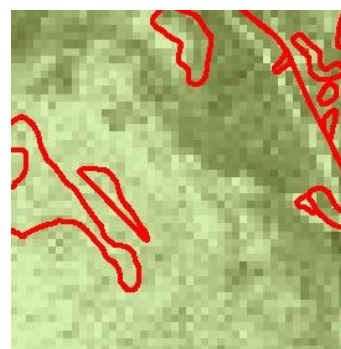
Joonis 10. Metsa tiheduse järgi eristatavad poollagedad alad ja nende asukoht orienteerumiskaardil

Üleminekul lagedatelt aladelt metsale on üpris selged ning piiride hägusus tuleneb rasterandmete resolutsioonist. Poollage ala tuleb metsa tiheduse järgi paremini välja kui poollage ala üksikute puudega, mille puhul eristuvad vaid suuremad objektid. Väiksemad piirkonnad sulanduvad ümbritseva joostavusklassiga kokku. Poollagedat ja üksikute puudega poollagedat ala saab eristada selle põhjal, et üksikute puudega alal on metsa tihedus kohati natuke suurem ümbritsevast (joonis 11).



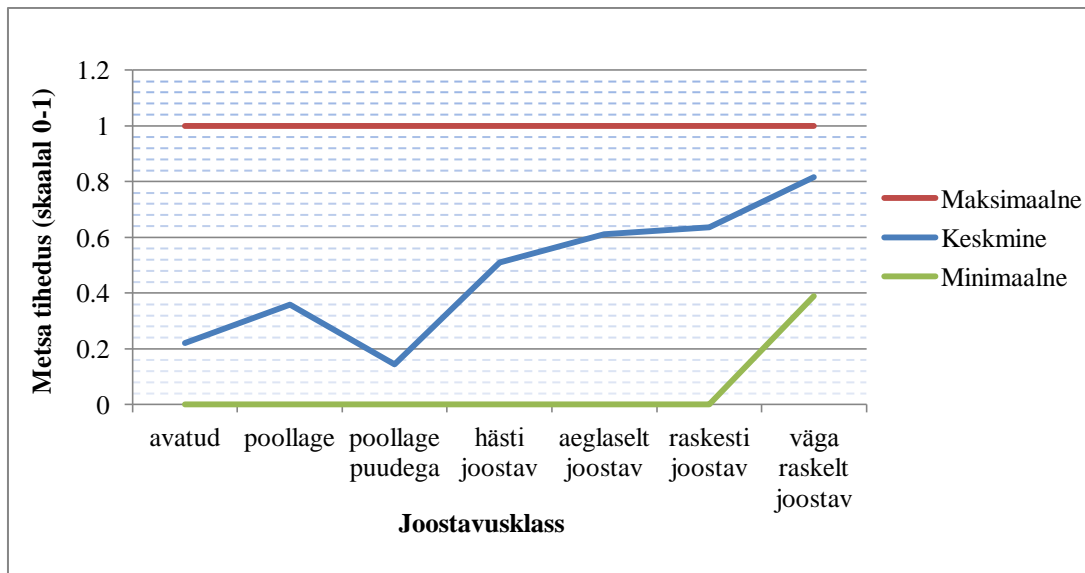
Joonis 11. Poollage ala (vasakul) ja poollage ala üksikute puudega (paremal) metsa tiheduse mudelil Aeglaselt joostava metsa puhul ei ole märgata läbivaid tunnuseid, et seda eristada ümbritsevast metsast. Sama kehtib ka raskesti ning väga raskelt joostava metsa puhul. Üksikuid erandeid on, kuid läbivat joont märgata pole. Kindlalt on eristatavad vaid lagedad ja metsaalad.

Ühe joostavusega kaardistatud ala võib olla tiheduse poolest ka väga mitmekesine (joonis 12). Ka metsa tiheduse puhul on eristatavad alad veidi nihkes võrreldes orienteerumiskaardiga. Maastikul olevad teed tulevad välja jällegi hästi, on arusaadavad isegi väiksemad metsateed.



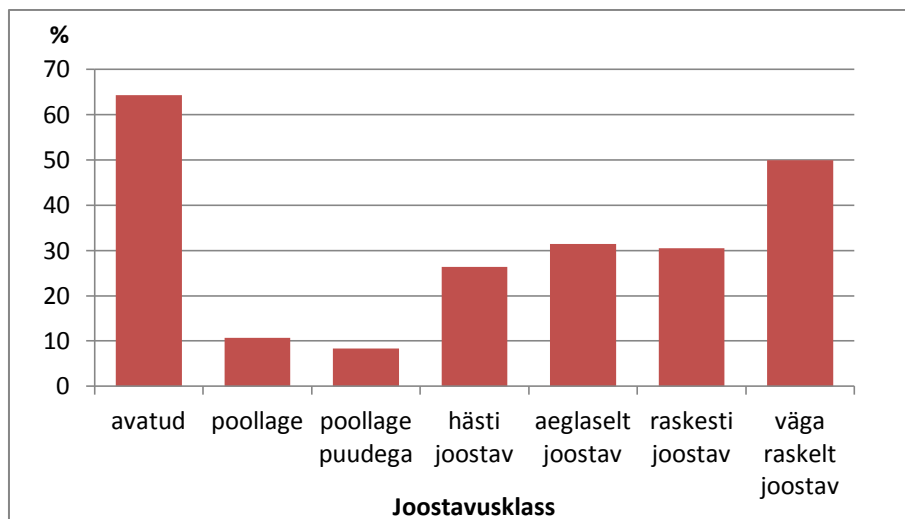
Joonis 12. Erinev metsa tihedus, mis on kaardistatud ühte joostavusklassi (klassid on punase joonega piiritletud)

Metsa tihedus varieerub skaalal 0-1, kus 0 tähistab minimaalset tihedust ja 1 väga tihedat metsa. Koitjärve maastikul esineb erineva tihedusega metsa kogu skaala ulatuses (joonis 13). Keskmiste väärtuste graafiku puhul on märgata sarnasusi keskmise puude kõrguse graafikuga. Ka siin eristub üksikute puudega poollage ala, kus keskmine metsa tihedus on 0,14 ja seega madalaim joostavusklassi kohta. Ülejäänud graafiku osas on tõus avatud ala metsa tihedusest 0,22 kuni väga raskelt joostava metsa tiheduseni 0,81. Kui see on loogiline, et mida raskemini joostav on mets, seda tihedam ta ka on, siis üksikute puudega poollageda ala eristumine jääb segaseks. Põhjus võib olla orienteerumiskaardi valmistamises, kui selleks alaks võidi klassifitseerida hõreda taimestikuga alasid. Igasse joostavusklassi jääb ka maksimaalse tihedusega alasid. Minimaalset tihedust esineb kõigis klassides peale väga raskesti joostava metsa, kus kõige väiksem tihedus on 0,38, mis on suurem lausa kolme joostavusklassi keskmistest.



Joonis 13. Maksimaalne, keskmine ja minimaalne metsa tihedus joostavusklasside kaupa

Metsa tiheduse põhjal on joostavusklasside kattuvus suurem kui puude kõrgusel põhineva meetodiga määrates. Avatud alad kattuvad mõlemal kaardil 64 % ulatuses (joonis 14), mis on suurim täpsus. Poollagedate ja üksikute puudega poollagedate alade korral olid need protsendid palju väiksemad: vastavalt 11 ja 8. Õige joostavuse asemel paiknesid need metsa tiheduse järgi kõige sagedamini avatud ala klassis. Hästi joostavast metsast kattus orienteerumiskaardil kujutatuga 26 %, kuid peaaegu sama palju kattus ka aeglaselt joostava metsaga. Raskesti joostava metsa asukoht oli täpsuselt üpris sarnane – 30 %. Kõige suurem erinevus võrreldes puude kõrguse järgi joostavuse määramise täpsusega oli väga raskelt joostava metsa puhul. Esimese meetodi korral ei kattunud alad üldse, kuid metsa tiheduse järgi on täpselt määratud 50 % aladest. Lisaks ala heale eristatavusele võis seda tulemust mõjutada ka see, et väga raskelt joostavat metsa oli uurimisalal vähe ning tegu võib olla juhusega. Peale väga raskelt joostava metsa määrati kõiki orienteerumiskaardi joostavusklasside metsa tiheduse järgi kõikideks aladeks (lisa 5). Metsa tiheduse võrdluse puhul oli Kapa indeks 0.0556, mis tähendab, et juhuslikkus on selle meetodi puhul on praktiliselt sama suur kui puude kõrguse puhul.



Joonis 14. Metsa tiheduse järgi õigesti määratud metsa osakaal kogu joostavusklassist

3.4. Mullakaart

Mullakaardi puhul saab juba esmasel visuaalsel vaatlusel selgeks, et mullatüübi ja joostavusklassi piirid üldiselt ei kattu. Kaardi lõunaosas oli üks suurem aeglaselt joostava metsa ala, kus selges enamuses oli siirdesoo muld ning piirid olid väga sarnased, kuid see on pigem ainulaadne nähtus antud uurimisalal.

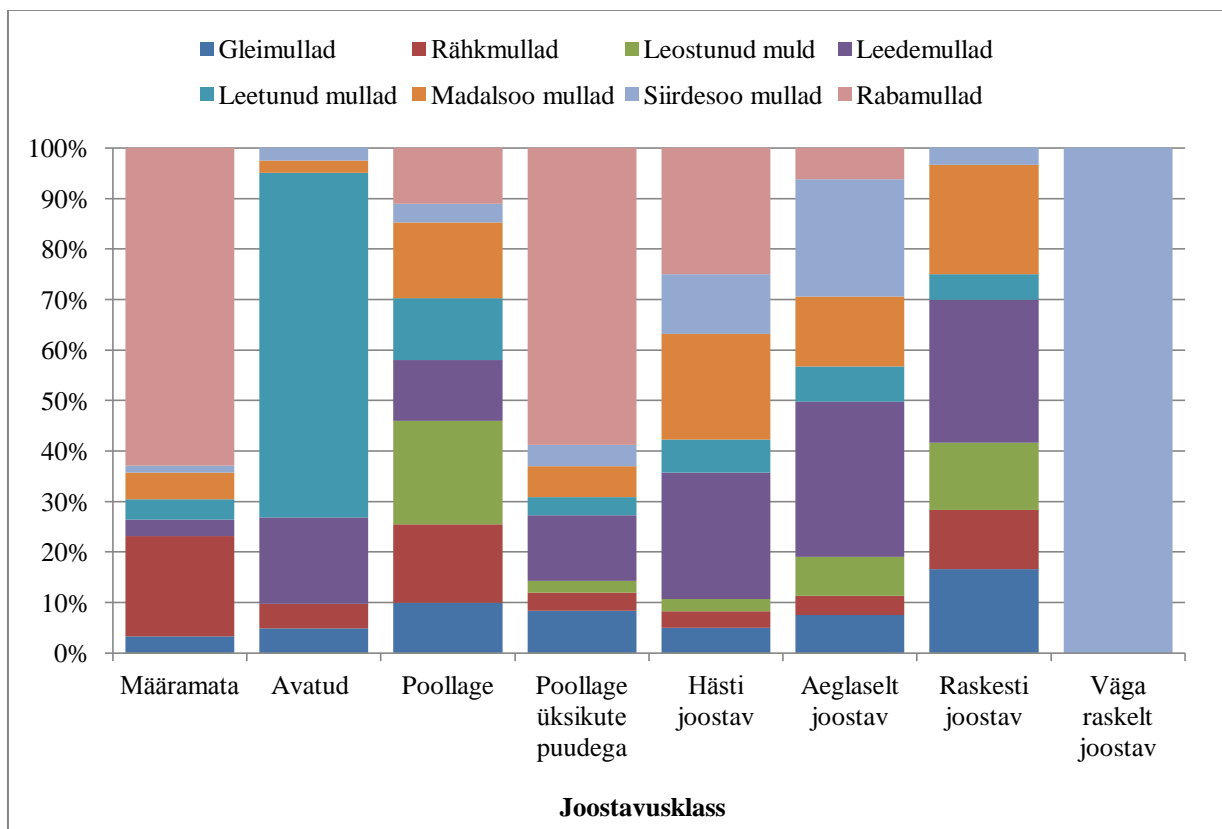
Gleimuldade esinemine maastikul igas joostavustüübis alates avatud alast kuni väga raskesti joostava metsani. Märkata on seda, et leedegleimulla korral esineb palju üksikute puudega poollagedaid alasid. Levinuim on see mullatüüp hästi joostavate metsade puhul, kuid läbitavuse varieeruvus on siiski suur. Sarnane olukord esineb ka leetunud muldade puhul, kui esineb pigem head joostavust, kuid välistatud pole ka halvemad läbitavused ning seaduspära pole näha. Ülekaalu on näha vaid leedemuldade puhul, millel asuvad suuremas osas hästi joostavad metsad.

Leostunud ja rähkmuldade esinemisel on seos reljeefiga: neid mõlemat esineb oosil ja selle nõlvadel. Läbitavusega korrapäraseid seoseid ei esine. Leidub nii hästi, aeglaselt kui raskesti joostavat metsa. Vanade talukohtade piirkonnas kaardi põhjaosas on ka lagedaid alasid, seega pole sealne joostavus mulla mõjutustega.

Soomuldadest on kõige rohkem läbitavusega seotud rabamullad, millel esineb eelkõige poollagedaid üksikute puudega alasid või hästi joostavat metsa. Madalsoo mulla puhul on samuti hästi joostavat metsa, kuid esineb piisavalt ka teisi tüüpe, et mitte nimetada seda

domineerivaks. Soomuldadest on joostavusega vähim seotud madal soo muld, mille puhul ükski esinevatest tüüpidest ei tõuse esile.

Mullatüüpide ja joostavuse risttabelist (lisa 6) sai kinnitust visuaalsel vaatlusel märgatud seos hästi joostavate metsade ja leedemuldade vahel. Ka raba- ja madal soomullad esinevad rohkem hästi joostavates metsades. Alad, millel orienteerumiskaardil joostavust ei olnud määratud, asuvad suuremas osas rabamuldadel (joonis 15). Selle põhjuseks võib olla see, et määramata alade puhul oli enamjaolt tegu rabalaukastega. Koitjärve maastikul leidis kolm joostavusklassi, millel domineeris mõni mullatüüp. Suurim on ülekaal väga raskelt joostava metsa puhul, kus esinebki ainult siirdesoo mulda, põhjuseks ilmselt joostavustüübi väike osakaal maastikul. Avatud aladel on ülekaalus leetunud mullad, mida on seal 67 % kogu kõigist muldadest. Üksikute puudega poollagedad alad asuvad 59 % osas rabamuldadel. Ülejäänud joostavusklasside puhul esineb erinevaid muldasid võrdsemalt ning ei saa välja tuua ühte enimesinevat. Leedemuldade esineb protsentuaalselt rohkem hästi, aeglaselt ja raskelt joostavates metsades. Madal soo mullad on samuti samades joostavustüüpides esinevad ning lisaks ka poollagedatel aladel.



Joonis 15. Mullatüüpide suhteline esinemine joostavusklasside kaupa

4. Järeldused

Võimalike joostavuse määramist abistavate andmete analüüsimise tulemusel võib väita, et kõigil neil oli nii vigu kui ka positiivseid külgi. Parimateks joostavuse määramise võimalusteks hindas autor metsa tiheduse mudeli ja Karttapullautini kaardi. Ka puude kõrguse mudeli puhul oli võimalik joostavust kohati järeldada. Kõige vähem oli joostavuse määramisel abi mullakaardist.

Karttapullautini suurimaks eeliseks oli see, et erinevad läbitavused olid rakenduse väljundina paika pandud. Kaart sobib suuremate piirkondade tuvastamiseks hästi. Kuna kaardipilt oli üldistamata, siis väiksemate alade määramist selle põhjal teha ei saa ning samal põhjusel ei saa määrata ka joostavusalade täpseid piire. Kaardipilt oli vaheldusrikas ning esines joostavuse mõttes kirjused alasid – eriti hästi joostavas metsas. Ilmselt tuleneb see sellest, et enamuses on tegu hõreda männimetsaga, kus LiDARi maapinnapunkte salvestatakse rohkem kui tihedas metsas. Karttapullautini kaardi puhul on tegu ainsa analüüsitud meetodiga, mis sobiks ka aeglaselt, raskesti ja väga raskelt joostava metsa piirkonna eristamiseks ülejäänud metsast.

Puude kõrguse ja metsa tiheduse mudelite tulemused olid üpriski sarnased. Mõlemad sobivad eristamiseks lagedaid alasid metsast. Selles osas olid tulemused väikeste alade puhul isegi paremad kui Karttapullautini kaardil. Samuti on hästi äratuntavad rabad, millest saab kaardistaja kogemuste põhjal järeldada sealse joostavuse. Visuaalsel hindamisel saadud tulemused said kinnitust kvantitatiivsete andmetega. Kuigi on kohati seoseid joostavusklasside vahel, siis esineb piisavalt palju ka erandeid, et mitte täielikult usaldada sellisel moodusel määratud läbitavust.

Kasutatud andmetest kõige vähem joostavuse hindamisel kasutoovaks osutus mullakaart. Kuigi kvantitatiivsete tulemuste puhul oli osades joostavusklassides küll kindlate muldade ülekaal, siis tänu nende alade piiride mittekattumisele pole sellest eriti palju kasu. Eripärase kujuga mullaalad oosil ja selle nõlvadel lubavad järeldada pinnavormi olemasolu ja selle põhjal ja kogemustele toetudes läbitavust, mis on tihtipeale halvemapoolne. Joostavuse määramisel mullakaardi järgi on segavaks faktoriks inimtegevus: raiesmike rajamisel ei muutu mullastik, kuid muutub oluliselt joostavus. Mullakaardi rakendamiseks joostavuse hindamisel oleks vajalik palju põhjalikum ja rohkematel uurimisaladel läbiviidav töö. Antud uurimuses oli tegu pigem katsetusega, kas leidub seoseid. Võib väita, et mingil määral neid ka esines.

Tulemustest said osaliselt kinnitust mõlemad hüpoteesid. Kasutatud andmed sobivad küll joostavuse määramiseks, kuid nendest üksi ei piisa ning välitööde vajalikkus jääb ilmselt veel oluliseks osaks joostavuse kaardistamisel. Rohkem sai kinnitust hüpotees seoste esinemisest joostavusklasside ja kasutatud andmete vahel. Neid esines ka mullakaardi puhul, kuid tegu polnud seostega, mida saaks kasutada joostavuse järeldamiseks, sest mullatüüpide piirid ei kattunud joostavusalade piiridega. Puude kõrguste ja metsa tiheduse tulemuste puhul mängis rolli nende andmete klassifitseerimine. Ei saa välistada, et teistsuguse klassifitseerimise korral võivad kokkulangevused ja seosed joostavusega suuremad olla. Järgnevate uurimuste puhul oleks vajalik katsetada erinevaid meetodeid leidmaks joostavusklassidele täpsemalt vastavaid vahemikke.

Töös esinenud olukord, kui orienteerumiskaardi joostavusalad olid nihkes võrreldes kasutatud andmetes eristuvate aladega, tulenes ilmselt pigem orienteerumiskaardi ebatäpsusest, mille puhul on geograafilisest täpsusest olulisem objektide omavaheliste paiknemissuhete korrektsus. Asukohta aitaks täpsemalt paika panna LiDARi andmete põhjal saadud mudelid ja kaart. Kuna orienteerumiskaardi valmistamine on suuresti ka kaardistaja nägemus, siis ei saa teha üldistusi kõigi kaartide osas autori kaardistamiskäekirja arvesse võtmata.

Kokkuvõte

Käesolevas bakalaureusetöös uuriti orienteerumiskaardil kajastatud joostavuse määramise võimalikkust erinevate kaudsete meetodite kaudu. Kasutatud andmeteks olid mullakaart, LiDARi andmetel põhinevad puude kõrguse ja metsa tiheduse mudelid ning kaardiloomisrakenduse Karttapullautin kasutamise tulemusel saadud kaart. Uurimistöö hindab seoseid andmete ja joostavusklasside vahel ning võrdleb nende kasutamispotentsiaali joostavuse kaardistamise lihtsustamiseks.

Uurimus viidi läbi Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaardi põhjal. Uurimisala kohta loodi tarkvaraga ArcGIS 10.2 puude kõrguse ja metsa tiheduse mudelid ja rakendusega Karttapullautin LiDAR punktidel põhinev läbitavust ja reljeefi kajastav kaart. Kõiki eelpool nimetatud andmeid ja mullakaarti võrreldi orienteerumiskaardi joostavusega visuaalsel vaatlusel. Lisaks kasutati kõigi puhul peale Karttapullautini kaardi ka risttabulatsiooni ning LiDARi andmetel põhinevate mudelite puhul ka IDRISI moodulit *Extract*, millega saadi joostavusklasside omadused.

Tulemused kinnitasid hüpoteese osaliselt, mis tähendab, et uuritud andmed sobivad joostavuse kaardistamise lihtsustamiseks, kuid välitöid nendega täielikult asendada ei saa. Metsa joostavusklasside eristamiseks hinnati parimaks allikaks Karttapullautini kaart. Lagedaid alasid on kõige mõistlikum eristada metsa tiheduse mudeli järgi, oluliselt kehvem ei olnud ka puude kõrguste mudel. Mullakaardi puhul esines küll seoseid erinevate joostavusklassidega, kuid alade piiride mittekattumise tõttu ei saa seda praeguste teadmiste juures kasutada joostavuse määramiseks.

Karttapullautini kaardi tugevuseks oli võimalus eristada hästi joostavat metsa halvematest joostavusklassidest. Samuti tulid sellel kaardil hästi välja suuremad halva läbitavusega alad ning lagedad piirkonnad. Kirju kaardipildi tõttu väiksemaid alasid kindlalt määrata ei saa. Lagedate alade puhul sobis selleks hoopis metsa tiheduse mudel ning ka puude kõrguste järgi võis eristada väiksemaid lagendikke. Samas olid nende mudelite puhul tulemused kehvemad aeglaselt, raskesti ja väga raskelt joostava metsa eristamisel ülejäänud metsast. Mullakaardi puhul võis tähtsaima tulemusena välja tuua rabamuldadel üldiselt esinevad joostavusklassid poollage ala üksikute puudega ning hästi joostav mets. Valdkonna edasisel uurimisel on oluline laiendada uurimisalade hulka, et saaks täiendavat kinnitust käesoleva bakalaureusetöö tulemustele ning oleks võimalik üldistada tulemusi võimalikult paljudele maastikele.

Summary

Remote sensing methods for mapping runnability on orienteering maps

Marta Olvet

In this bachelor thesis the possibility of using remote sensing methods for mapping runnability was investigated. The used data included Estonian soil map, LiDAR-data based tree height estimation and canopy density models and a map created by the Karttapullautin toolbox. The aim of this research was to evaluate the potential of using the previously named data in runnability mapping and find correlation between runnability and data.

This research based on Koitjärve-Pikapõllu study area. Tree height estimation and canopy density models were created with ArcGIS 10.2 software. The previously named models were used alongside with the soil map and Karttapullautin-created map in visual evaluation process. In addition to that crosstabulation was used when evaluating the two models and soil map and IDRISI's module Extract gave information about tree height estimation model and canopy density model.

The hypothesis were confirmed partly by the results. The remote sensing methods were suitable to simplify the process of runnability mapping, but fieldwork will still be an important part of mapping. According to the results the Karttapullautin map was most suitable to identify different runnability areas in forest. When it comes to clearings the best ways to detect them was by canopy density model, also tree height estimation could be helpful here. In the case of soil map there were some correlations between soil type and runnability, but since the contours of those areas did not match, the possibility of using it in runnability mapping is not great.

The strength of the Karttapullautin map was its possible usage in distinguishing areas of restricted runnability from areas of good runnability. Also larger clearings were detectable. The toolbox created many smaller objects on the map which made it difficult to distinguish smaller areas of different runnability. When it comes to smaller clearings the best data to use for detecting them was canopy density model, but using tree height estimation model gave also quite good results. At the same time using this data gave more insufficient results in detecting areas of restricted runnability. Using soil map also gave some results. It appeared that with bog soil the most common runnability types are open land with scattered trees and easy running forest. In further research it is important to widen the range of study areas in order to generalise the results on different terrains.

Tänuõnad

Avaldan tänu oma juhendajale Jüri Roosaarele suunamise ja asjalike nõuannete eest ning Jaan Olvetile, kes jagas teadmisi joostavuse kaardistamise kohta ning aitas tarkvara ArcGIS kasutamisel tekkinud probleemide korral.

Kasutatud allikad

Arold, I., 2005. Eesti maastikud. Tartu Ülikooli Kirjastus, 453 lk.

Björklund, A., 2013. Jämförelse mellan flygburen laserskanning och GNSS-mätta punkter. Yrkehögskolan Novia. [Eksamitöö]

Ditz, R., Gartner, G., 2009. Laserscanning data as basis for deriving orienteering maps – A survey of the potential and further research. Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Chile.

Grüno, A., 2012. Üks pilt ütleb rohkem kui tuhat sõna ehk aerolaserskaneerimine Eestimaal. Horisont 4/2012

Heritage, G.L., Large, A.R.G. (Eds.), 2009. Laser Scanning for the Environmental Sciences. Wiley-Blackwell, 288 p.

Hollaus, M., Hyypä, H., Hyypä, J., Wagner, W., 2009. Airborne Laser Scanning. In: Warner, T.A., Foody, G.M., Nellis, M.D. The SAGE Handbook of Remote Sensing, SAGE Publications, p. 199–213.

Kay, A. 2012. Route choice in hilly terrain. Geographical Analysis, 44, p. 87–108.

Kivistik, A., Raid, T., 1986. Orienteeruja käsiraamat. Eesti Raamat, 256 lk.

Klaar, T., 2010. Orienteerumisest iseõppijatele. Kulna, 111 lk.

Leeuwen, M., Nieuwenhuis, M., 2010. Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. European Journal of Forest Research, 129, p. 749-770.

Lõhmus, E., 2004. Eesti metsakasvukohatüübid. Eesti Loodusfoto, 80 lk.

Remm, K., Raid, T., 2012. Orienteerumiskaardi joonistamine ja usaldusväärsus. Orienteeruja, 127, lk 45–47.

Zentai, L., 2001. Development of orienteering maps' standardization. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference – Mapping the 21st Century, p. 2753–2759.

Zentai, L., 2009. The use of new technologies in making orienteering maps. Scientific Journal of Orienteering, 17, p. 56–64.

Valk, U., Eilart, J. (koost.), 1974. Eesti metsad. Valgus, 307 lk.

Viirsalu, V., 2000. Kaasaegsete orienteerumiskaartide tegemine. Orienteeruja, 54, lk 18–21.

Internetiviited

Digiarihiiv s.a. <http://digiarihiiv.loom.ut.ee/Avaleht.aspx> [Vaadatud 19.05.2014]

Eesti Orienteerumislit, 2013. Arengukava 2013-2017.

http://www.orienteerumine.ee/eol/failid/dok/EOL_arengukava_2013-2017.pdf [Vaadatud 25.04.2014]

IOF kaardikomitee 2000. Rahvusvahelised nõuded orienteerumiskaartide koostamiseks.

<http://orienteeing.org/wp-content/uploads/2010/12/ISOM-Estonian.pdf> [Vaadatud 4.04.2014]

Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaardi andmed s.a.

<http://www.orienteerumine.ee/kaart/kaartshow.php?Kood=2011006> [Vaadatud 5.05.2014]

Maa-amet s.a. a. Kõrgusandmed. [http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html)

[kaartid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html) [Vaadatud 4.04.2014]

Maa-amet s.a. b. Mullakaardi taustast. [http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Mullakaart/Mullakaardi-taustast-p87.html)

[kaartid/Mullakaart/Mullakaardi-taustast-p87.html](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Mullakaart/Mullakaardi-taustast-p87.html) [Vaadatud 5.05.2014]

Maa-amet, s.a. c Mullakaart. [http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Mullakaart-p33.html)

[kaartid/Mullakaart-p33.html](http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaartid/Mullakaart-p33.html) [Vaadatud 9.05.2014]

Metsaregister s.a. <http://register.metsad.ee/avalik/> [Vaadatud 5.05.2014]

Metsur, M., 2012. LIDAR Leica ASL50-II.

http://geoportaal.maaamet.ee/docs/2012_LIDAR.pdf [Vaadatud 20.04.2014]

OCAD s.a. <https://www.ocad.com/en/products/ocad-for-orienteeing> [Vaadatud 19.05.2014]

Orienteerumiskaartide andmebaas s.a. <http://www.orienteerumine.ee/kaart/kaartid.php>

[Vaadatud 4.04.2014]


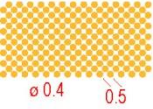






Orienteerumiskaartide valmistamine s.a.

<http://orienteerumine.ee/kaart/kaardistamine/index.php> [Vaadatud 10.04.2014]

Ryppö, J., s.a. <http://routegadget.net/karttapullautin/> [Vaadatud 8.05.2014]

Lisad

Lisa 1. Leppemärgid läbitavuse kaardistamiseks (IOF kaardikomitee 2000)

	100%	401 Avatud ala Haritav maa, põld, niit, muru jne. hea joostavusega ilma puudeta ala. Kollase värviga alade domineerides võib täiskollase asemel kasutada 75% rasterpinda. Värv : kollane
	50%	402 Avatud ala üksikute puudega Üksikute puude ja põõsastega niidud, millised on hästi joostavad. Pinnad, mis kaardi mõõtkavas jäävad väiksemaks kui 10 mm ² kujutatakse tingmärgiga nr. 401. Üksikud puud lisatakse tingmärkidega nr. 418, 419, 420. Kollase värviga alade domineerides võib tingmärgis kasutusel oleva täiskollase asemel kasutada 75% rasterpinda. Värv : kollane (20 joont / cm).
	50%	403 Poollage ala Kanarbik, nõmm, raiesmik, istandik puude kõrgusega kuni 1m või mõni muu peamiselt avatud ala osalise taimestiku või kõrge rohuga. Tingmärki nr. 403 võib joostavuse näitamiseks kombineerida koos tingmärkidega nr. 407 ja nr.409. Värv : kollane 50% (60 joont / cm).
	(36%)	404 Poollage ala üksikute puudega Alad, kus poollagedal on üksikuid puid näidatakse vastavalt kas valgena või rohelisena, kuid neid võib ka üldistada kasutades suurte valgete täppidega kollast rastrit. Pinnad, mis kaardi mõõtkavas jäävad väiksemaks kui 16 mm ² kujutatakse tingmärgiga nr. 403. Üksikud puud lisatakse tingmärkidega nr.418, 419 ja 420. Värv : kollane 70% (60 joont / cm) ja valge 48,5% (14,3 joont / cm)
		405 Mets : hästi joostav Antud maastikutüübile omane normaalne metsa läbitavus. Kui normaalse läbitavusega metsa maastikul ei leidu, ei kasutata ka kaardil valget värvi. Värv : valge.
	30%	406 Mets : aeglaselt joostav Tihedate puudega ala (halb nähtavus), mis vähendab jooksu kiirust kuni 60 – 80 % normaalsest. Värv : roheline 30% (60 joont / cm).
	60%	408 Mets : raskelt joostav Tihedate puudega ala (halb nähtavus), mis vähendab jooksu kiirust 20 – 60 % normaalsest. Värv : roheline 60% (60 joont / cm).
	min. 0.25	410 Taimkate : väga raskesti joostav mets, läbipääsmatu ala Tiheda taimkatte või metsaga ala, mida on raske läbida. Jooksu kiirus väheneb 0 – 20%-ni normaalsest. Värv : roheline 100%.

Lisa 2. Koitjärve-Pikapõllu orienteerumiskaart (mõõtkava vähendatud). OK Kooperaator, Margus Klementsov

KOITJÄRVE-PIKAPÕLLU

HARJUMAA
ORIENTEERUMISKAART

1: 10 000 h 2,5 m

25. SUUNTO GAMES EESTIS
28.- 29. 09. 2013

ÕÜ SKVAIER
Orienteerumis- ja vabaaja varustus

ISC

1: 10 000 h 2,5 m

TALLINNA SADAM
Heade sõnumite sadam

SPORTLAND KÕRVEMAA
MATA- JA WOODSTOCK - GIEGAND SPORTS

SRD

ANIA VALD

DUNCAN.fi

EESTI ORIENTEERUMISLIIT

PRINTCENTER

CRAFT

SUUNTO

OK KOOPERAATOR

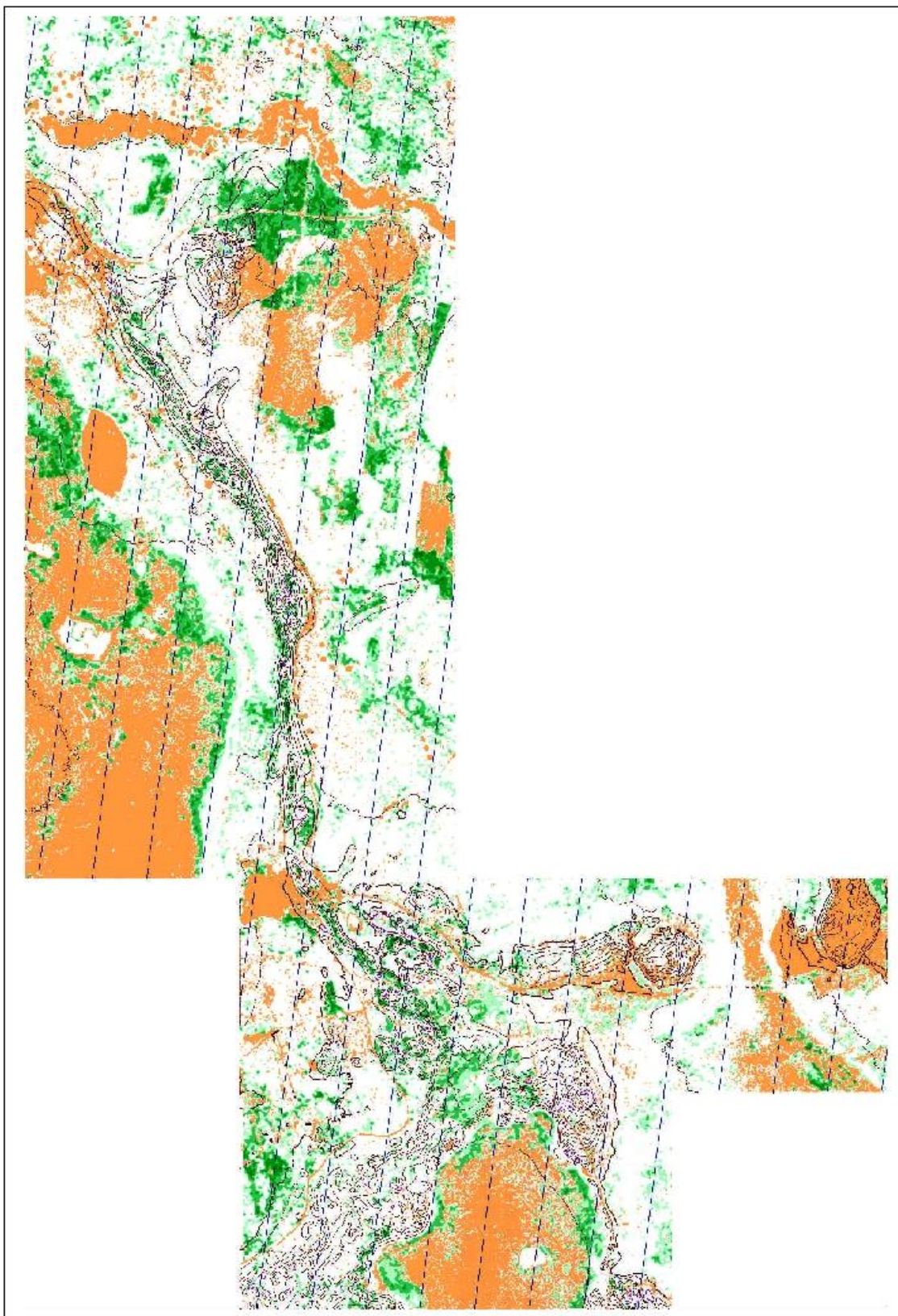
RMK

endomondo

OCAD
the smart software for cartography

2011006	EESTI ORIENTEERUMISLIIT
	OK Kooperaator
Välkko: Margus Klementsov	
1: 5000; sügis 2011 - suvi 2013	
Joonis: Margus Klementsov, OCAD 8.0	
Alusmaterjal: ortofoto, põhikaart 1:10 000, LIDAR- andmed	

Lisa 3. Rakendusega Karttapullautin valminud kaart (mõõtkava vähendatud)



Lisa 4. Orienteerumiskaardi (veerud) ja puude kõrguse (read) põhjal määratud läbitavuse risttabel

	Määramata	Avatud	Poollage	Poollage üksikute puudega	Hästi joostav	Aeglaselt joostav	Raskesti joostav	Väga raskelt joostav	KOKKU
Avatud	1.2	0.22	0.82	9.71	10.07	1.33	0.01	0	23.35
Poollage	0.07	0.05	0.72	1.32	6.26	3.15	0.05	0	11.62
Poollage üksikute puudega	0.07	0.06	0.96	0.98	9.83	3.75	0.15	0	15.79
Hästi joostav	0.04	0.05	0.69	0.57	14.83	3.76	0.07	0.01	20.01
Aeglaselt joostav	0.11	0.04	0.66	0.25	16.83	5.02	0.21	0.02	23.13
Raskesti joostav	0.01	0	0.15	0.06	3.67	1.9	0.11	0.01	5.91
Väga raskelt joostav	0	0	0	0	0.09	0.07	0	0	0.17
KOKKU	1.51	0.42	4.01	12.88	61.58	18.97	0.59	0.04	100

Lisa 5. Orienteerumiskaardi ja metsa tiheduse põhjal määratud läbitavuse risttabel

	Määramata	Avatud	Poollage	Poollage üksikute puudega	Hästi joostav	Aeglaselt joostav	Raskesti joostav	Väga raskelt joostav	KOKKU
Avatud	0.84	0.27	1.22	8.29	5.03	0.33	0.02	0	16.01
Poollage	0.19	0.01	0.43	2.35	5.01	0.72	0.02	0	8.73
Poollage üksikute puudega	0.12	0.03	0.54	1.07	8.11	1.86	0.06	0	11.8
Hästi joostav	0.12	0.03	0.74	0.66	16.27	3.97	0.1	0	21.89
Aeglaselt joostav	0.08	0.05	0.59	0.36	15.07	5.96	0.11	0	22.22
Raskesti joostav	0.08	0.03	0.39	0.11	10.24	4.97	0.18	0.01	16
Väga raskelt joostav	0.08	0.01	0.1	0.04	1.84	1.15	0.1	0.02	3.35
KOKKU	1.51	0.42	4.01	12.88	61.58	18.97	0.59	0.04	100

Lisa 6. Mullatüüpide ja joostavuse risttabel

	Määramata	Avatud	Poollage	Poollage üksikute puudega	Hästi joostav	Aeglaselt joostav	Raskesti joostav	Väga raskelt joostav	KOKKU
Gleimullad	0.05	0.02	0.4	1.08	3.09	1.42	0.1	0	6.16
Rähkmullad	0.3	0.02	0.62	0.46	2	0.74	0.07	0	4.21
Leostunud muld	0	0	0.82	0.3	1.52	1.45	0.08	0	4.17
Leedemullad	0.05	0.07	0.48	1.68	15.37	5.83	0.17	0	23.67
Leetunud mullad	0.06	0.28	0.49	0.46	4.05	1.33	0.03	0	6.7
Madalsoo mullad	0.08	0.01	0.6	0.78	12.88	2.61	0.13	0	17.09
Siirdesoo mullad	0.02	0.01	0.15	0.55	7.3	4.4	0.02	0.04	12.48
Rabamullad	0.95	0	0.44	7.57	15.38	1.18	0	0	25.53
KOKKU	1.51	0.42	4.01	12.88	61.58	18.97	0.59	0.04	100

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marta Olvet (sünnikuupäev 04.08.1992)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Joostavuse määramise kaudsed meetodid orienteerumiskaardi näitel“ ,

mille juhendaja on Jüri Roosaare,

1.1.reprodutseerimiseks 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 jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartu, **19.05.2014**