

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja Maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geoinformaatikas ja kartograafias (12 EAP)

Kvantitatiivsetel meetoditel põhinev maastiku klassifitseerimine

Andres Kasekamp

Juhendaja: PhD Evelyn Uuema

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2018

Infoleht

Kvantitatiivsetel meetoditel põhinev maastiku klassifitseerimine

Lühikokkuvõte: Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli klassifitseerida maastikku kvantitatiivsete meetoditega. Eestis on maastikuüksuste klassifitseerimine pikaajalise traditsiooniga, kuid senised tööd põhinevad subjektiivsetel teooriatel, mis teeb nende peegelduse looduskeskkonnast ebatäpseks. Töös on defineeritud ja iseloomustatud klassifikatsiooni jaoks vajalikke indekseid, katsetatud nende võimekust maastiku klassifitseerimisel ja loodud kaks statistilisel analüüsil põhinevat maastikukaarti. Selle tulemusel on loodud raamistik ja põhimõtted tulevastele uuringutele GIS andmetöötluskeskkonnas.

Märksõnad: maastiku klassifikatsioon, GIS, kõrgusmudel, reljeefi indeksid, peakomponentanalüüs, klasteranalüüs

CERCS: P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Landscape classification based on quantitative methods

Abstract: The purpose of this bachelor's thesis was to classify landscapes with quantitative methods. The classification of landscape units has a long tradition for studies made in Estonia, but they are based on subjective theories, which makes their reflection of the natural environment inaccurate. This thesis defines and characterises the indices that are considered necessary for the classification of landscapes. The capabilities of indices have been tested and two maps based on statistical analysis have been generated. As a result, the basic framework and principles have been implemented for future studies in GIS data processing environment.

Keywords: landscape classification, GIS, digital elevation model, relief indices, principal component analysis, cluster analysis

CERCS: P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 TEOREETILINE ÜLEVAADE.....	7
1.1 Maastiku klassifitseerimine	7
1.1.1 Alusandmestiku valik.....	9
1.1.2 Maastiku klassifitseerimine GIS-ga.....	10
1.2 Eesti maastik ja selle liigestamine	11
2 ANDMED	13
2.1 Kõrgusmudel	13
2.2 Maakate	14
2.3 Muld.....	14
3 METOODIKA.....	15
3.1 Reljeefi indeksid	15
3.1.1 Nõlvakalle, nõlva ekspositsioon ja kõverused	15
3.1.2 Reljeefi keerukuse indeks	17
3.1.3 Kõveruste klassifikatsioon	17
3.1.4 Morfomeetrilised elemendid	18
3.1.5 Hägusate reljeefielementide klassifikatsioon.....	19
3.1.6 Maastiku pinna klassifikatsioon.....	20
3.2 Andmete ümberklassifitseerimine	21
3.2.1 Mullakaart	22
3.2.2 Maakate	22
3.3 Statistiline andmetöötlus.....	24
3.3.1 Peakomponentanalüüs.....	25
3.3.2 ISODATA klasterdamine.....	25
4 TULEMUSED JA ARUTELU.....	27
4.1 Automatiseeritud reljeefielementide klassifikatsioonid	27
4.1.1 Kõveruste klassifikatsioon	27
4.1.2 Morfomeetrilised elemendid	28
4.1.3 Hägusate reljeefielementide klassifikatsioon.....	30
4.1.4 Maastiku pinna klassifikatsioon.....	31
4.2 Statistilise andmetöötluse tulemused.....	35
4.2.1 Peakomponentanalüüs.....	35
4.2.1.1 Reljeefi indeksid.....	35
4.2.1.2 Reljeefi indeksid, muld ja maakate	37

4.2.2 Klasterdamine	39
4.2.2.1 Reljeefi indekseid maastikukaart	40
4.2.2.2 Reljeefi indekseid, mulla ja maakatte maastikukaart	42
4.3 Ettepanekud edaspidisteks uurimusteks	45
KOKKUVÕTE	46
SUMMARY	47
KASUTATUD KIRJANDUS	48
LISAD	53

SISSEJUHATUS

Maastik on looduskeskkonna osa, mille seismised komponendid on üksteisega ruumiliselt ja aineringete kaudu seotud. Maastike mõiste on ajas muutunud ja avardunud ning seda uuritakse samaaegselt kui ökoloogilist ja kultuurilist nähtust (Arold 2005). Soovälja ja Palangu (2001) koostatud koguteosest Eesti maastikukäsitluste kohta ilmneb, et maastik on uurimustes olulisel kohal. Ühtlasi selgub, et maastike kirjeldamine ja määratlemine on väga omavoliline, lähtudes ajast, ruumist ja uurimisvaldkonnast. Näiteks uuritakse maastikke erinevate meetoditega geograafias, maastikuökoloogias, keskkonnakaitstes ja arheoloogias (Sooväli ja Palang 2001).

Euroopas on inimõju maastikele olnud eriti tugev, mistõttu peaks maastike klassifitseerimisel kasutama looduslikke ja kultuurilisi keskkonnategureid (Wascher 2005). Seejuures on olulisel kohal ka inimeste taju, mis muudab maa-alast maastiku, mida väärtustatakse esteetilisuse, looduslikkuse, kultuuri ja majanduse pärast (Swanwick 2002). Sellel põhjusel esineb ka palju erinevaid lähenemisi maastike kirjeldamisele. Osad maastikud on suurema kultuurse väärtusega kui teised (Mitchell *et al.* 2009). Loodusturismi vaatepunktist nähakse Eestis maastikku kui majanduslikku ressursi, mida peaks säästma ja mille kohta peaks leiduma asjakohast infot (Eesti riiklik turismiarengukava 2013).

Keskkonna kirjeldamisel mõistega „maastik“ soovitakse väljendada inimese suhet loodusega (Mitchell *et al.* 2009; Tudor 2014). Keskkonnapoliitilises kontekstis ehk Euroopa maastikukonventsiooni järgi peetakse maastikuks ala, mis on kujunenud looduse ja inimese koosmõjul. Eesti liitus konventsiooniga 2017. aastal, mistõttu on riigil kohustus identifitseerida ja analüüsida oma territooriumi maastikke (Keskkonnaministeerium... 2018). Maastikke mõjutavad mitmed keskkonnategurid, nagu näiteks muld, topograafia, kliima ja maakasutus. Nende tunnuste kombinatsioon ja vastastikune suhe eristab ühte maastikku teisest (Tudor 2014). Maastikel toimub korruga palju erinevaid protsesse, mis teeb nende analüüsimise keeruliseks (Burnett ja Blaschke 2003). Sellegipoolest peetakse üheks parimaks maastiku hindamise viisiks maastiku klassifikatsiooni koostamist, mis kirjeldab erinevate alade iseloomu ja põhilisi tunnuseid. Enamik maastike klassifikatsioone põhinevad eksperthinnangutel ning alles suhteliselt hiljuti on hakatud kasutama geoinformaatilisi võimalusi maastike kvantitatiivseks klassifitseerimiseks. Geoinfosüsteemide (GIS) abil on võimalik korruga töödelda erineva iseloomuga ruumilisi andmeid ning anda maastikule objektiivseid hinnanguid (Tudor 2014). Eestis pole autorile teadaolevalt sellist lähenemist veel kasutatud ning sellest lähtuvalt on antud bakalaureusetöös püstitatud kolm eesmärki:

(1) kontrollida GIS meetoditel väljaarvutatud muutujate ja automatiseeritud klassifitseerimise meetodite sobivust Eesti maastikel; (2) luua maastiku klassifitseerimiseks põhimõtteline raamistik ja korratav meetodika; (3) töötada välja kvantitatiivsetel meetoditel põhinev maastiku klassifikatsioon.

Esimeses peatükis antakse ülevaade maastiku klassifitseerimise teoreetilisest taustast, tuuakse välja peamised GIS-põhised uurimused ja nende aluspõhimõtted, selgitatakse alusandmestiku valiku loogikat ning kirjeldatakse Eesti maastiku omadusi ja seniseid töid. Teises peatükis antakse ülevaade töös kasutatud andmetest. Kolmandas peatükis kirjeldatakse meetodikat: leitud kõrgusmudeli tuletisi ehk reljeefi indekseid, ümberklassifitseeritud alusandmeid ning statistilist andmetöötlust. Neljandas peatükis arutletakse tulemuste üle ning pakutakse lahendusi tulevastele klassifikatsioonidele. Kuna kõige ülevaatlikuma maastiku klassifikatsiooni Eestis on koostanud Arold (2005), on see töö suuresti mõjutatud tema maastiku definitsioonist ja liigestamise põhitõdedest.

1 TEOREETILINE ÜLEVAADE

1.1 Maastiku klassifitseerimine

Maastiku klassifitseerimist defineeritakse kui maa-alade grupeerimist, millel on samad või sarnased tunnused (Haines-Young 1992). Maastiku klassifitseerimise puhul eristatakse maastikualade ja -tüüpide põhiste liigestamist. Maastikualad (Eestis kasutatakse mõistet „maastikurajoonid“) on kordumatud ja ainulaadsete nimedega üksused maastikus, mille analüüsid on enamasti detailsed. Maastikutüübid on põhiliste, enamasti looduslike tunnuste poolest sarnased üksused, mida esineb erinevates kohtades uurimisalal. Maastikualade grupp moodustab maastikutüübi, milleks on näiteks orud, tasandikud ja kõrgustikud. Maastiku hindamisel eelistatakse enamasti maastikutüüpide põhiste klassifikatsiooni (Swanwick 2002; Tudor 2014).

Haines-Young tõi oma 1992. aasta uurimuses välja, et senimaani puudub maastiku klassifitseerimisele kokkulepitud lähenemine. Samas Brabyn väitis oma 1996. aasta doktoritöös, et GIS meetodid võiksid luua klassifitseerimisele teoreetilise aluspõhja. Romportl ja Chuman (2012) on eristanud kolme maastiku klassifitseerimise meetodilist lähenemist: holistlik, eksperdiarvamus ja kvantitatiivne. Nendest esimest kahte saab pidada intuiitivseteks ja viimast objektiivseks meetodiks.

Intuiitivsete meetodite puhul annab autor maastikuklassidele definitsioonid lähtudes oma nägemusest. Näiteks alad kaardil, mis paistavad mägised või metsased, defineeritaksegi vastavalt kas mägiseks või metsaseks. Selline lähenemine pole samas korratav ega võrreldav teiste uurimustega. Uurijal on võimalik küll reljeefimudelite piksleid kaardilt käsitsi uurida, kuid see on aeganõudev ning samuti ebatäpne, kuna arvestama peab suhtelise reljeefi ja skaalaga (Brabyn 1996). Samas Garcia-Quintana *et al.* (2005) on arutlenud, et visuaalselt klassifitseeritud maastikuüksused on tavakasutuses kergemini mõistetavad ja meelde jäävamad.

Üldjuhul eelistatakse kvantitatiivseid ja objektiivseid lahendusi, kui välja arvata inimeste poolt tajutava maastiku klassifitseerimine (Brabyn 2009). Mücher *et al.* (2003) tõi oma uurimuses välja, et kommunikatsiooni parandamiseks riikide vahel peaks maastiku klassifitseerimine liikuma objektiivsete ja standardiseeritud süsteemide poole. Teisest küljest sõltuvad paljud tänapäevased maapinna klassifitseerimise standardid erinevatest riiklikest ja rahvusvahelistest huvidest, mis teeb sarnaselt intuiitivsetele meetoditele andmevahetuse keeruliseks (Di Gregorio 2016).

Marušič (1999) rõhutab, et maastiku klassifikatsioon peaks olema ühtaegu unikaalne, kergesti rakendatav ja eesmärgile orienteeritud. Maastiku klassifitseerimise peamisteks eesmärkideks on parandada maastikuplaneerimist, -juhtimist ja -kaitset. Täpsemini väljendub see näiteks planeerimispoliitikas, roheline infrastruktuuri loomises ja looduskaitsealade juhtimises (Tudor 2014). Lisaks võib sellel olla ka hariduslikke eesmärke, kuna see parandab territooriumi mõistmist (Garcia-Quintana 2005). Näiteks Tšehhis on olnud üks peamisi eesmärke tõhusama maastikuplaneerimise väljatöötamine. Kuigi viimasel ajal on meetodid muutunud aina kvantitatiivsemaks ja objektiivsemaks, liigestati seal varasemalt maastikke paljude erinevate lähenemistega, mis tegi nende kasutamise keeruliseks (Romportl ja Chuman 2012). Bastian (2000) on välja toonud, et regionaalplaneerimisel peaks eelistama ökoloogilisi maastiku klassifikatsioone haldusüksustele.

Maastiku mõistel on mitmeid definitsioone ning ühe lähenemise puhul on see hierarhiliselt vaadeldav üksus geosüsteemide reas (Arold 2005). Sellegipoolest on uurimuste rohkuse tõttu keeruline välja tuua selle kindel mõõtkava. Maastikke aetakse sageli segamini regiooniga, kuid hierarhiliselt on maastik väiksem kui regioon või tsoon. Maastik on väike geograafiline üksus, mis suudab siiski esinduslikult näidata maapinda (Förster *et al.* 2012). Ökosüsteemide klassifikatsioone, mis arvestavad eelkõige keskkonna looduslikku osa, eristatakse mitmetel tasanditel, olenevalt uurija väljaselgitatud ala sisemiste komponentide homogeensusest. Ida-Euroopast pärinevad maastikukaardid on mõõtkava poolest võrreldavad ökopiirkonna (*ecodistrict*) ja ökosektsiooniga (*ecosection*), mis jäävad vahemikku 1: 100 000–1: 2 000 000 (Frans ja de Haes 1994). Sellegipoolest on maastikke võimalik klassifitseerida igas skaalas, kuid väikse mõõtkavaga uurimisalade klassifitseerimist on parem teha GIS meetoditega ja lokaalse taseme puhul peaks olema eelistatud variandiks ekspert hinnang (Swanwick 2002).

Maastikuüksuste kirjeldamiseks ja võrdlemiseks antakse neile nimi või kood. Nimi peaks olema 2–3-sõnaline ja tooma välja põhitunnused ning koodi peaks kasutama juhul, kui klassifitseerimise süsteem on väga detailne. Hea maastikukirjeldus koosneb 3–4-st lausest ja toob välja maastiku põhilised sisulised omadused (Swanwick 2002). Näiteks maakatte kaardistamise juures peetakse probleemiks, et sageli ei defineeri autorid klasside sisu kasutajate jaoks arusaadavalt, mistõttu on neid raske kasutada (Di Gregorio 2016).

1.1.1 Alusandmestiku valik

Maastiku hindamise protsess algab alusandmestiku väljaselgitamisest (Swanwick 2002; Tudor 2014). Maastiku klassifitseerimise andmeid jaotatakse kolmeks: biofüüsikalised, antropogeensed ja visuaalsed. Esimesse kategooriasse kuuluvad loodusmaastikku kujundavad tegurid, nagu muld, geomorfoloogia ja maakate. Teise kategooriasse kuuluvad inimõju selgitavad tegurid, nagu maakasutus ja infrastruktuur. Kolmandasse kategooriasse kuuluvad tegurid, mis selgitavad inimeste taju ja kogemust, näiteks maastiku avatus ja atraktiivsus (Tisma *et al.* 2013). Enamasti kasutavad klassifikatsioonid kombinatsiooni esimesest kahest kategooriast või ainult looduslike tegureid (Brabyn 1996; Tudor 2014). Antropogeensete ja visuaalsete andmete kasutamine koos looduslike faktoritega võib osutuda ka raskeks, kuna andmeid on keeruline kvantifitseerida (Brabyn 2009; Li ja Zhang 2017).

Brabyn (1996) soovib valida klassifitseerimiseks tunnused, mis maastikku oluliselt mõjutavad ning on kaugelt tajutavad ja ülevaatlikud. Nendeks tunnusteks peaksid olema reljeefivormid, vegetatsioon, looduslikkus ja hüdroloogia. Näiteks andmed vegetatsiooni kohta peaksid andma üldise ülevaate piirkonna taimestikust, mitte hõlmama kindlaid taimeliike (Brabyn 2009). Ühtlasi suudavad kergemini kättesaadavad andmed (enamasti topograafia, muld ja hüdroloogia) edukalt peegeldada ka teisi loodusmaastiku tegureid, mille töötlemine võib osutuda keeruliseks ja ajamahukaks, näiteks kliima või geoloogia (Mücher *et al.* 2003). Topograafia põhjal on võimalik tuletada ka muid reljeefi parameetreid, nagu nõlvakalle ja kõverused (Li ja Zhang 2017; Hogg *et al.* 2016). Kuigi kliima rolli maastiku kujundamisel võib pidada võrdväärseks geoloogia ja geomorfoloogiaga (Mücher *et al.* 2003), peaks nende andmete lisamine klassifikatsioonile vajalik olema siis, kui on varasemate uuringute põhjal leitud, et sellel on märkimisväärne mõju ökosüsteemile või on märgata tugevaid erinevusi piirkondade vahel (Mücher *et al.* 2003; Fairbanks ja Benn 2000).

Siiski on oluline rõhutada, et andmete valik sõltub suuresti eesmärgist, mida uuringuga saavutada üritatakse (Tudor 2014). Seetõttu on erinevad riigid pööranud traditsiooniliselt tähelepanu ka erinevatele aspektidele: Skandinaavia riigid biogeograafiale ja kliimale, Kesk-Euroopa riigid geomorfoloogiale ja reljeefile ning Suurbritannia maakasutusele (Wascher 2005).

1.1.2 Maastiku klassifitseerimine GIS-ga

Kaugseire ja GIS meetodite arenguga on tänapäeval paranenud maapinna kaardistamine, mis on andmekogudega ühtaegu integreeritud ja statistilisem ning sõltub vähem uurija subjektiivsusest. Selline lähenemine on loonud objektiivsema ülevaate uuritavatest piirkondadest (Di Gregorio 2016). Brabyn (2009) on toonud välja, et tema 2009. aasta GIS-põhine Uus-Meremaa maastiku klassifikatsioon on suur edasimineku võrreldes 1996. ja 2005. aasta versioonidega.

Lisaks riigile on objektiivset maastiku klassifitseerimist tehtud erineva ulatusega aladel, nii terves maailmajaos (Mücher *et al.* 2003) kui ka riigisisises regioonis (Li ja Zhang 2017). Uurimustes on olulisel kohal andmetöötlus. Sisendmuutujate sobivust kontrollitakse mitmemõõtmelise statistilise analüüsiga, nagu trendivaba korrespondentanalüüs (*detrended correspondence analysis*) või peakomponentanalüüs (*principal component analysis* ehk PCA). Seejärel moodustakse maastikuklassid klasteranalüüsiga, mis aitab näha maastikuüksuste vahelisi suhteid. Sellele võib järgneda ka järeltöötlus homogeensemata maastikuüksuste väljatoomiseks (Manzanas ja Alvarez 2014; Li ja Zhang 2017; Hogg *et al.* 2016; Mücher *et al.* 2003). Moodustatud klasside arv sõltub eesmärgist, näiteks Hogg *et al.* (2016) merekaitsealade uuring pidas optimaalseks arvuks seitset, kuid Li ja Zhang (2017) uurimus etniliste rahvusgruppide integreerumisest maastikul tõi välja 22.

Lisaks peatükis 1.1 mainitud eesmärkidele on nende tööde puhul olulisel kohal ka meetodika loomine, mida oleks hiljem kerge arvutuslikult korrata. Näiteks Hogg *et al.* (2016) rõhutavad, et merekaitsealade kaardistamine on praegu väga problemaatiline, kuna need põhinevad kohapealsetel vaatlustel. Seepärast on Hogg *et al.* (2016) uurijaterühm välja töötanud objektiivse kaardistamisprotokolli, mis aitab vähendada võrreldes kohapealsete andmete kogumisele kulutusi ja uurida alasid suuremal skaalal. Johanson *et al.* (2016) juhib tähelepanu ka sellele, et tähtis on erinevate andmekogude integreerimine. Näiteks võib olemas olla ülevaade taimede kogukonna kohta, kuid puudub informatsioon, mis seoks seda piirkonna mulla ja topograafiliste omadustega. GIS meetoditel andmete sidumine ja seejärel ökoloogiliselt piirkonna liigestamine annab uurijatele parema võimaluse maastiku dünaamikat tõlgendada (Johanson *et al.* 2016).

Maastiku iseloomu hindamine on seda täpsem, mida suurem on andmekogu ja muutujate arv (Li ja Zhang 2017). Teisest küljest võib paljude andmete kasutamine tekitada probleeme. Näiteks on GIS võimeline näitama, et iga piksel on erineva maastikuga, mis tekitab probleeme

üldistamisega (Brabyn 2009). Lisaks võib andmete statistiline analüüs eelistada suurema arvukusega tunnuste komplekti teisele, mis võib muuta väljundi liialt samade tunnuste keskseks, mistõttu peaks muutujate valik olema tasakaalustatud (Hogg *et al.* 2016). Lisaks sellele kaasneb ka objektiivse klassifitseerimisega teatud subjektiivsus, kuna selle käigus grupeeritakse nähtused kunstlikesse kategooriatesse ja antakse neile seekaudu tähendus (Di Gregorio 2016). Seehulgas võib uurija ka omavoliliselt eemaldada sisendmuutujaid, mis moodustavad näiliselt tähtsusetuid klastreid (Hogg *et al.* 2016).

Ka kvantitatiivne maapinna klassifikatsioon ei suuda täielikult peegeldada päriselu ja nende tulemuste paikapidavuse hindamine võib sageli olla keeruline (Di Gregorio 2016). Eelkõige seetõttu, et puuduvad kokkulepitud standardid, millega oleks võimalik tulemusi võrrelda (Haines-Young 1992). Üheks võimaluseks on võrrelda tulemusi varasemate uurimustega, mis võivad samas erineda meetodika poolest (Mücher *et al.* 2003). Teiseks lahenduseks võib pidada mitmemõõtmelise statistilise analüüsi tegemist nagu diskriminantanalüüs, mis mõõdab muutujate kuulumise tõenäosust klassidesse (Manzanares ja Alvarez 2014), või kontrollida klastrite määramatust veaindeksi kaardilt (Hogg *et al.* 2016). Maastikuüksused ei muutu looduses järsku, mistõttu pole soovituslik neid eristada ka kindla piirjoonega (Swanwick 2002). Selle probleemi lahendamiseks saab rakendada hägusloogikat piirivõõtmete vahel (Brabyn 1996). Lõpetuseks saab väljaselgitatud klasside definitsiooni toetada välivaatluste ja intervjuudega, mis aitavad välja tuua kohaliku eripära (Brabyn 2009; Li ja Zhang 2017).

1.2 Eesti maastik ja selle liigestamine

Eesti asub loodusgeograafiliselt Ida-Euroopa lauskmaal. Üldiselt on pinnamood madal ja tasane, kuid selles vahelduvad pealiskorra settekivimidest moodustunud reljeefi suurvormid. Mandrijääatumisel, mis on tasandanud, kulutanud ja kuhjanud reljeefivorme, on olnud oluline roll maastike kujundamisel (Ahas ja Albre 2001a). Nüüdismaastikud hakkasid välja kujunema pärast viimase mandrijääatumise lõppemist ligikaudu 12 000 aastat tagasi (Arold 2005).

Vahelduva pinnamoe tõttu on mullad Eestis mitmekesised ja neid eristatakse mitut tüüpi. Enamasti on muldadele iseloomulik suur kivisus ning liigniiskete muldade suur osatähtsus. (Ahas ja Albre 2001b)

Inimmõju maastikule on suurim rahvarohketes linnapiirkondades, Läänemere ranniku ääres ja teedevõrgustike läheduses (Servinski *et al.* 2013). Inimtegevus on märkimisväärne ka maardlates ja tööstuspiirkondades, millest suur osa asuvad Ida-Virumaal. Väiksem inimõju

avaldub seevastu looduskaitsealadel ja kohtades, kus inimestel on loodustegurite tõttu keeruline ligi pääseda.

Eesti maastiku-uuringuid on traditsiooniliselt olnud tugevalt mõjutatud Saksa koolkonnast ning neid iseloomustab interdistsiplinaarsus (Peil *et al.* 2004). Eestis on koostatud mitmeid maastiku klassifikatsioone, mille maastikuüksusteks on olnud nii valdkonnad, tüübid kui rajoonid. Kõige üldisem liigestus on siiski Eesti jaotamine Kõrg- ja Madal-Eestiks, mida eristatakse vete all olemise ulatuse järgi pärast mandrijää taganemist. Tunnuste poolest on olnud põhirõhk looduslikel faktoritel, aga on esinenud ka kultuuriliste faktorite sissetoomist. Eesti maastiku klassifikatsioonide juures saab välja tuua, et iga järgnev töö on tugevasti mõjutatud eelnevate tööde põhitunnustest, aga andnud sellele ka omapära ja parandanud visuaalset esitlust. Esimese teadusliku klassifikatsiooni autoriks oli Granö 1922. aastal, kes kasutas kaarti koostades nii looduslikke kui kultuurilisi faktoreid, andis maastikuüksustele nimed ja eristas põhilisi piirivõetmeid. Sellest klassifikatsioonist on lähtunud ka edasised maastikukaardid, neist enim Tammekannu 1932. aasta ja Kanti 1935. aasta töö. Nõukogude ajal ilmunud tööde (Varep 1961. aastal ja Kildema 1969. aastal) juures on märkimisväärne, et kaardid on koostatud väikse mõõtkava alusel. Varepi maastikurajoonide kaart kujunes avaldamisele järgnenud aastatel ka väga populaarseks. Tänapäevasteks töödeks on Järvet 1998. aastal ja Arold 2001. aastal. (Pae 2018)

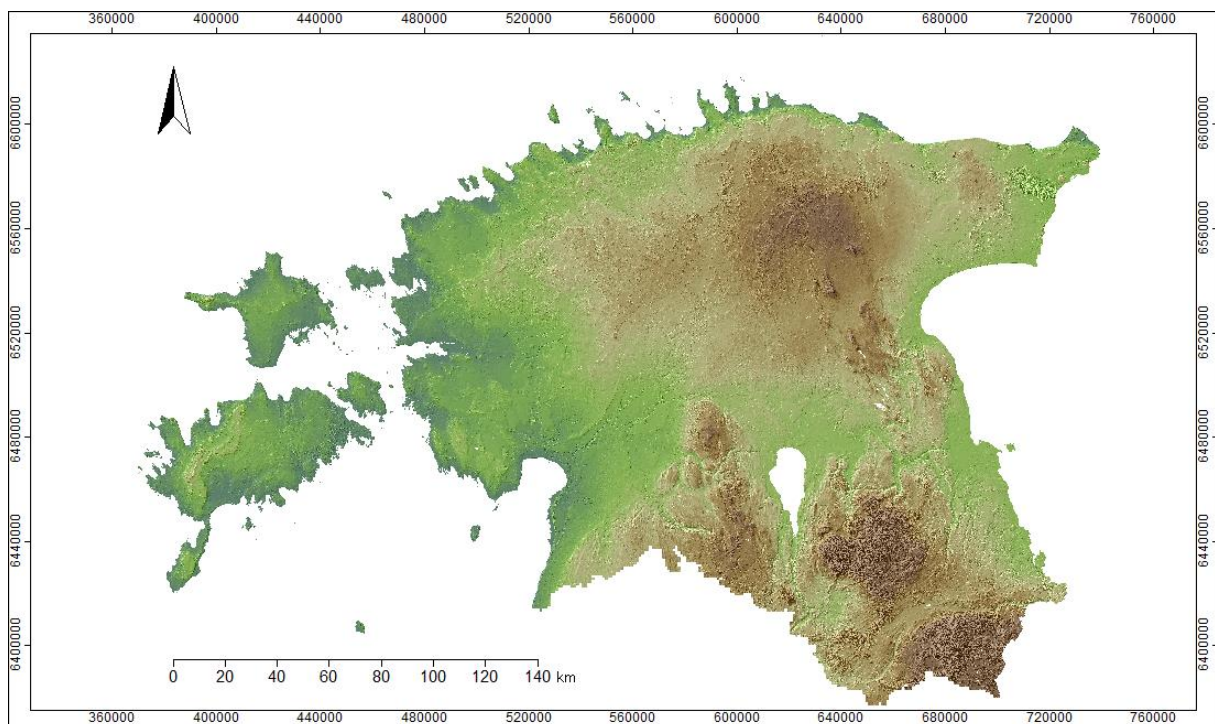
Aroldi (2005) maastikukaart on sünteeskaart, mis on koostatud maastikukomponentide varasemate uurimistulemuste ja topokaartide põhjal. Teoses esinevad lisaks maastikurajoonidele ja -tüüpidele ka hierarhiliselt väiksemad maastikuüksused, nagu paikkonnad, paigastikud, paigased ja paigad, mida on veel omakorda jaotatud allüksusteks. Arold on maastikurajooni defineerinud kui reljeefi suurvormil kujunenud geokompleksi, mis eristub oma naaberpiirkondadest reljeefi ja aluspinna tunnuste alusel. Peamisteks topograafilisteks erinevusteks on kõrgusvahed ja maastiku keerukus. Tema klassifikatsiooni 25 maastikurajooni jagunevad kuueks tüpoloogiliseks rühmaks: kulutus- ja kuhjekõrgustikud, kõrgustikevahelised nõod, lavamaad ja lavatasandikud, meresaared ja rannikumadalikud ning sisemaised soostunud madalikud. (Arold 2005)

2 ANDMED

Sarnaselt peatükis 1.1.1 kirjeldatud uurimustele, kasutati ka selles töös alusandmeid kõrguse, maakatte ja mulla kohta. Uurimisalaks oli kogu maakattega Eesti, mistõttu oli vajalik kasutada tervet Eestimaad hõlmavaid alusandmeid, mis samaaegselt ka ühilduksid. Seega kujunesid andmeteks kõrgusmudel, CORINE maakatte kaart ja Eesti mullastiku kaart.

2.1 Kõrgusmudel

Kõrgusandmetena on töös kasutatud Maa-ametist saadud LiDARi (*Light Detection and Ranging*) andmetel põhinevat 25-meetrise pikslisuurusega võrgustiktüüpi maapinna kõrgusmudelit ehk DEM-i (*Digital Elevation Model*) (joonis 1). Kõrgusmudel on loodud aerolaserskaneerimise abil varustatud lennukilt lennukõrgusega 2400 m, millest leitud kõrguspunkte on automaatselt klassifitseeritud. Võrgustiktüüpi mudelite puhul edastab iga piksel asukoha interpoleeritud kõrgusväärtust. Mudeli minimaalne kõrgus on 14,46 m ja maksimaalne kõrgus 317,42 m. Aerolaserskaneeritud Eestimaa geograafiline ulatus on järgmine: lääne pikkuskraad (21.77), ida pikkuskraad (28.21), põhja laiuskraad (59.68) ja lõuna laiuskraad (57.47). (Maa-amet... 2018) Antud kõrgusmudel ei vajanud eeltöötlemist ning kasutatavaks failiformaadiks oli 32-bit GeoTIFF.



Joonis 1. Reljeefivarjutusega kõrgusmudel, loodud tarkvaraga SAGA GIS (Conrad *et al.* 2015).

2.2 Maakate

Maakatte kaardina kasutati avaandmetena kättesaadavat ruumiandmete kogu Euroopa kohta ehk CORINE'i (*COoRdination of INformation on the Environment*), mis sisaldab endas andmeid maapinna biofüüsikaliste omaduste kohta. Andmebaas on loodud peamiselt satelliidipiltidega, mida toetavad vajadusel välitööd. See koosneb 5-st maakattetüübi põhiklassist (kunstlikud pinnad, põllumajanduslikud alad, metsad ja poollooduslikud alad, märgalad ja veekogud), 15-st alamklassist ja 44-st klassist kolmandal tasandil (Copernicus... 2018). Eestis on andmebaasi kohandatud niivõrd, et metsade ja poollooduslike alade ning märgalade põhiklassis on kasutusel ka neljas tasand. Seetõttu on Eestis esindatud 35 maakatte tüüpi. (Keskkonnaagentuur... 2014). Enamasti leiab kaart kasutust põllumajanduses, transpordis ja ruumilises planeerimises (Copernicus... 2018), aga seda on kasutatud ka maastikukaardi koostamisel (Mücher *et al.* 2003).

Kaardi temaatiline täpsus on üle 85%. CORINE'i projekti koordineerib Euroopa Keskkonnaagentuur Kopernikuse programmi raames (Copernicus... 2018). Käesolevas töös kasutati projekti uusimat, järjekorras neljandat, 2012. aasta kaardistusel põhinevat versiooni. Alusandmetena kasutati vektorformaati, kust lõigati välja Eestimaa osa.

2.3 Muld

Mullastiku kaardiks oli digitaalne Eesti mullastiku kaart mõõtkavas 1:10 000. Kaardilt puuduvad mulla andmed linnade kohta. Kaart on loodud aastatel 1997-2001 suurmajandite ja metskondade mullastiku kaartide alusel. Kaardile on märgitud mitmeid mulla omadusi, nagu näiteks šiffer, lõimis ja huumus. Mullastiku kaart on kasutust leidnud näiteks maade tootlikkuse hindamisel ja haritava maa andmebaasi koostamisel. (Maa-amet... 2017) Sarnaselt maakatte kaardile kasutati vektorformaati.

3 METOODIKA

Brabyn (1996) toob välja, et maastiku klassifikatsioonid koosnevad enamasti kolmest peamisest etapist: atribuutide valik, nende defineerimine ja nende põhjal klasside moodustamine. Ka antud töö järgib sellist lähenemist.

3.1 Reljeefi indeksid

Kõrgusmudeli pealt tuletati reljeefielementide indeksid ja klassifikatsioonid vabavaraga SAGA GIS (versioon 5.0) (*System for Automated Geoscientific Analyses*), mis on sobilik töövahend vektor- ja rasterandmete töötlemiseks, geostatistika tegemiseks ja maastikuanalüüsiks (Conrad *et al.* 2015). Peatükkides 3.1.1 ja 3.1.2 on antud ülevaade statistilises andmetöötluses kasutatud reljeefi indeksitest ning peatükkides 3.1.3–3.1.6 kirjeldatakse automatiseeritud reljeefielementide klassifikatsioone.

3.1.1 Nõlvakalle, nõlva ekspositsioon ja kõverused

Esmalt leitavateks indeksiteks olid nõlvakalle (*slope*) ja nõlva ekspositsioon (*aspect*). Töös kasutatud kõverusteks olid üldine (*general*), profiili (*profile*), kontuuri (*plan*), tangentsiaalne (*tangential*), pikisuunaline (*longitudinal*), ristlõikega (*cross-sectional*), minimaalne (*minimal*), maksimaalne (*maximal*) ja koondkõverus (*total*) (lisa 1).

Indeksid põhinevad Zevenbergeni ja Thorne'i (1987) valemil, mis täiendab Evansi (1980) kõveruste algoritmi. Täiendus võimaldas põhjalikumalt analüüsida hüdroloogilisi protsesse jõgede ülemjooksul. Zevenbergen ja Thorne (1987) löid klassifikatsiooni pidades silmas selle potentsiaali evapotranspiratsiooni kaardistamisel ja jäärakute tekke ennustamisel põllumaadel.

Indeksid leitakse liikuva akna meetodil, kus aken koosneb üheksast pikslist 3x3 alammaatriksil. See tähendab, et otsitav indeks leitakse alammaatriksi kesksele pikslile, mis sõltub teda ümbritseva kaheksa naaberpikslil kõrgusväärtustest (Zevenbergen ja Thorne 1987; Jenness 2013). Nõlvakalle ja nõlva ekspositsioon on alammaatriksi pinna valemi diferentseerimise esimese järgu tuletised ning erinevad kõverused teise järgu tuletised (Jenness 2013). Seega järeldub valemitest, et kõverused on nõlvakalde ja nõlva ekspositsiooni tuletised.

Nõlvakalde ühikuteks on kraadid, radiaanid või protsendid ning nõlva ekspositsiooni ühikuteks kraadid või radiaanid. Kõveruste mõõtühikuks on radiaan/100LU, kus LU tähistab lineaarset ühikut, siinkohal meetrit. (Jenness 2013)

Järgnevalt on esitatud indekse definiitsioonid, mida on defineeritud hüdroloogiliste protsesside alusel (Zevenbergen ja Thorne 1987; Jenness 2013; Wood 1996).

Nõlvakalle on nõlva maksimaalse kaldesuuna gradient. See iseloomustab maapinna tõusu ja langust, mistõttu leiab see kasutust vee voolukiiruse ja maalihke protsesside analüüsis. Nõlva ekspositsioon on maksimaalse kalde suund ühe piksli asukohas ja määrab seekaudu vee voolusuuna ja mõjutab mäekülje temperatuuri. Väärtused esitatakse kraadides, mis vastavad ilmakaartele. (Zevenbergen ja Thorne 1987; Jenness 2013)

Profiili kõverus ehk vertikaalne kõverus iseloomustab nõlvakalde muutumise määra. See on paralleelne maksimaalse kalde suunaga. Positiivsed väärtused viitavad piksli kumerusele ning negatiivsed väärtused piksli nõgususele. Kui kalle on 0, on väärtus defineerimata. Selle järgi saab hinnata voolukiirust ja seekaudu ka erosiooniprotsesse. Pikisuunaline kõverus on põhimõtteliselt sama mis profiili kõverus, kuid autorid peavad seda suuna tuletiseks, mis ei suuda õigesti maapinna kõverust näidata. Teised uurijad on pikisuunalise kõveruse valemit nimetanud ka profiili kõveruseks. (Zevenbergen ja Thorne 1987; Jenness 2013)

Kontuuri kõverus ehk horisontaalne kõverus asetseb perpendikulaarselt maksimaalse kalde suunaga. See näitab nõlva ekspositsiooni muutuse määra piki kontuurjoont. Positiivsed väärtused viitavad piksli kumerusele ning negatiivsed väärtused piksli nõgususele. Kui kalle on 0, on väärtus defineerimata. See kõverus näitab veevoolu konvergenti ja divergenti. Ristlõike kõverus sarnaneb kontuuri kõverusele. Samas arvavad uurijad, et see ei suuda õigesti maapinna kõverust näidata. Teised uurijad on Zevenbergeni ja Thorne'i kontuuri kõveruse valemit nimetanud ka ristlõike kõveruseks. Kontuuri kõverusele sarnaneb ka tangentsiaalne kõverus, mis lõikub kontuurjoonega tangentsiaalselt. Viimast kahte kõverust peetakse kontuuri kõveruse heaks alternatiiviks, kuna see võib tasase pinnamoe puhul näidata väga suuri väärtusi, mis võib analüüsi keeruliseks muuta. (Zevenbergen ja Thorne 1987; Jenness 2013)

Koondkõverus on maapinna üldise kõveruse mõõt, mille ühikuteks on radiaanid ruutmeetris. Väärtused on alati üle 0 ning selle põhjal saab hinnata maapinna keerukust. Kui väärtused on nullilähedased, on maapind kas tasane või esineb seal sadul. Üldine kõverus on seevastu maapinna üldise kumeruse mõõt. Negatiivsed pinnavormid on negatiivsete väärtustega ning positiivsed pinnavormid positiivsete väärtustega. Kui väärtus on 0, on maapind kas tasane või saduljas. (Jenness 2013)

Maksimaalne kõverus ja minimaalne kõverus on ainsad kõverused, mis ei sõltu nõlvakaldest ega nõlva ekspositsioonist. Need indeksid määravad kõveruste ekstreemsused. Maksimaalne

kõverus on suurim absoluutne kõverus kõveruste seast, mis läbivad kindlat punkti pinnal. Minimaalne kõverus on selle vastand. Kuna neil kõverustel puudub suund, kasutatakse neid tasandikuliste alade kirjeldamiseks. (Jenness 2013; Wood 1996; Roberts 2001)

3.1.2 Reljeefi keerukuse indeks

Reljeefi keerukuse indeks (*Terrain Ruggedness Index*) ehk TRI on Riley *et al.* (1999) poolt loodud indeks, mille abil saab hinnata maastiku heterogeensust (lisa 2). Indeksit saab kasutada igasugusel ruumilisel lahutusel koostatud kõrgusmudeliga ning Riley *et al.* (1999) arvates on see sobilik töövahend maastikuplaneerimises. TRI leitakse samuti liikuva akna meetodil pikslite kõrgusväärtuste võrdlemisel. (Riley *et al.* 1999)

TRI valem:

$$TRI = Y[\sum(x_{ij} - x_{00})^2]^{1/2} , \quad (1)$$

kus x_{ij} on keskse piksli (x_{00}) naaberpiksli kõrgusväärtus selle suhtes.

TRI-d on võimalik jaotada keerukuse taseme põhjal seitsmeks kategooriaks. Väärtused 0–0,8 viitavad ühtlasele (tasandikule), 0,81–1,16 peaaegu ühtlasele, 1,17–1,61 natuke keerukale, 1,62–2,39 keskmiselt keerukale, 2,40–4,97 mõõdukalt keerukale, 4,98–9,58 väga keerukale ja 9,59–43,67 äärmiselt keerukale pinnale. Kõrgematel väärtustel on maastik heterogeensem ehk esineb rohkem kõrgendikke ja süvendeid. (Riley *et al.* 1999)

3.1.3 Kõveruste klassifikatsioon

Dikau (1988) kvalitatiivne kõveruste klassifikatsioon (*Curvature Classification*) on jaotatud üheksaks elemendiks profiili ja kontuuri kõveruste põhjal (joonis 2). Mõlemad kõverused koosnevad kolmest kallaku jaotusest: kumer, sirge ja nõgus. Jaotusi kombineerides leitakse maapinna vertikaalset ja horisontaalset kõverust kirjeldavad pinnavormid (Dikau 1988, *cit.* Hengl ja Reuter 2009). Kõveruste klassifikatsiooni kasutatakse ka hängusate reljeefielementide klassifitseerimisel. Seal on kasutatud kontuuri kõveruse asemel tangentsiaalset kõverust, kuna selle väärtused sobivad paremini kokku profiili kõverusega (Schmidt ja Hewitt 2004). Schmidt ja Hewitt (2004) on andnud kõverustele tähistused X (kumer), V (nõgus) ja S (sirge). Seevastu Dikau (1988) klassifikatsioonis tähistab SF sirget profiili kõverust ja SL sirget horisontaalset kõverust.

		Horisontaalne kõverus		
		kumerad	sirged	nõgusad
Profili kõverus	kumerad	X/X kumer nina	X/S kumer nõlv	X/V kumer orvand
	sirged	S/X sirge nina	S/S sirge nõlv	S/V sirge orvand
	nõgusad	V/X nõgus nina	V/S nõgus nõlv	V/V nõgus orvand

Joonis 2. Kõveruste klassifikatsioon (Dikau 1988, *cit.* Schmidt ja Hewitt 2004).

3.1.4 Morfomeetrilised elemendid










Morfomeetriliste elementide (*Morphometric Features*) klassifikatsioon on Woodi (1996) poolt välja töötatud maastiku morfomeetria kirjeldus (joonis 3). Seda on tehtud kuue elemendi abil: tasandik (*plane*), org (*channel*), hari (*ridge*), sadul (*pass*), tipp (*peak*) ja süvend (*pit*). Woodi (1996) arvates on klassifikatsioon sobilik hüdroloogiliste protsesside ja selle põhjustatud pinnavormide hindamisel. Elemendid jaotatakse ka ruumilise ulatuse poolest punkt-, joon- ja pindelementideks. (Wood 1996)

Sarnaselt Zevenbergeni ja Thorne (1987) kõverustele leitakse elemendid kõrgusmodelilt liikuva akna meetodil. Klassifikatsioon on loodud töötamaks erinevate piksli suurustega kõrgusmodelitel. Elementide klassifitseerimiseks kasutakse Evansi (1980) valemi tuletistest saadud nõlvakallet, ristlõike kõverust, maksimaalset ja minimaalset kõverust. (Wood 1996)

Morfomeetrilised elemendid:

- 1) Tipp on punktelement. Selle keskse piksli suhtes on kõik teda ümbritsevad naaberpikslid madalamad, mis tähendab, et igas suunas keskse piksli poolt vaadatuna on kumerus.
- 2) Hari on joonelement, mille keskne piksel asetseb kumeruspiirkonnas, mis on ortogonaalne piirkonnaga, kus pole nõgusust ega kumerust.

- 3) Sadul on punktelement, mille keskne piksel asetseb nõgususpierkonnas, mis on ortogonaalne kumeruspierkonnaga.
- 4) Tasandik on pindelement, mille keskse piksli suhtes ei ole ühtegi kumerus- ega nõgususpierkonda.
- 5) Org on joonelement, mille keskne piksel asetseb nõgususpierkonnas, mis on ortogonaalne pierkonnaga, kus pole nõgusust ega kumerust.
- 6) Süvend on punktelement. See on vastandiks tipule, asetsedes nõgususpierkonnas, mis tähendab, et kõik ümbritsevad pikslid on sellest kõrgemal. Woodi (1996)

		Maksimaalne kõverus		
		kumerad	sirged	nõgusad
Minimaalne kõverus	kumerad			
	sirged			
	nõgusad			

Joonis 3. Morfomeetriliste elementide klassifikatsioon (Wood 1996, *cit.* Schmidt ja Hewitt 2004).

3.1.5 Hägusate reljeefielementide klassifikatsioon

Hägusate reljeefielementide klassifikatsiooni (*Fuzzy Landform Element Classification*) kuulub 15 pinnavormi elementi, millest 9 pärinevad Dikau (1988) ja 6 Woodi (1996) klassifikatsioonist. Sisendindeksite hulka ei kuulu kõrgusmudel, vaid eelnevalt leitud Zevenbergeni ja Thorne'i (1987) nõlvakalle ning profiili, tangentsiaalne, minimaalne ja maksimaalne kõverus, mida autorid peavad kõige olulisemateks indeksiteks reljeefi kirjeldamisel. Lisaks sellele arvutatakse välja ka maksimaalne kuuluvusväärtus (*Maximum Membership*), entroopia (*Entropy*) ja veaindeks (*Confusion Index*), mis toob välja

väljundmudeli määramatuse. Klassifikatsiooni eesmärgiks peeti eelkõige abivahendit mulla protsesside modelleerimiseks maastikul. (Schmidt ja Hewitt 2004)

Schmidt ja Hewitt (2004) põhjendasid uue klassifikatsiooni loomist asjaoluga, et Dikau (1988) ja Woodi (1996) klassifikatsioonide põhjal loodud pinnavormide piiritlemine käis kohati ebatäpsete ja rangete lävendite alusel, mis sõltuvad konkreetse maastiku iseloomust. Sellel põhjusel arvestab klassifikatsioon maastiku kontekstiga, kuna reljeef võib eriti keerukates piirkondades, kus on palju kõrgendikke ja orgusid, hakata tulemusi mõjutama, mistõttu näiteks tasandilised pinnavormid võidakse valesti klassifitseerida kõrgendikeks. Klassifitseerimine käib algoritmide alusel, mis võtab arvesse maastikuelementide ruumilist ulatust, suhtelist kõrgust ja määramatust. Algoritmi põhjal arvutatakse välja iga elemendi kuuluvusväärtus piksli asukohas, millest kõrgeimat näidatakse ka kaardil. (Schmidt ja Hewitt 2004)

Valikuliselt oli võimalik muuta nõlvakalde ja kõveruste lävendeid, mis eristab vastavalt tasandilisi ja kaldega ning sirgeid ja kurvilisi piksleid. Antud töös kasutati programmi vaikeväärtuseid, mis tähendas, et tasandiline piksel on nõlvakaldega alla 5 kraadi ja kallakuga piksel üle 15 kraadi. Vahepealsete väärtustega pikslid omasid seega vastavalt tõenäosust olla kas tasandilised või kallakuga.

3.1.6 Maastiku pinna klassifikatsioon

Maastiku pinna klassifikatsioon (*Terrain Surface Classification*) on loodud Iwahashi ja Pike (2007) poolt välja töötatud algoritmi järgi, mis kasutab maastiku nõlvakalde, kumeruse (*convexity*) ja tekstuuri (*texture*) parameetreid (joonis 4). Klassifikatsioon võib Iwahashi ja Pike'i (2007) arvates olla kasulik maastikuplaneerimises. Klassid moodustatakse otsustuspuuga, mis arvestab parameetritele eelnevalt määratud statistilisi lävendeid. Parameetrite kombinatsioonid moodustavad 16 topograafilise tüübiga klassi. (Iwahashi ja Pike 2007)

Nõlvakalle on leitud liikuva akna meetodil 3x3 alammaatriksil, kasutades Horni (1981) algoritmi. See on jagatud neljaks: väga järsk, järsk, mõõdukas ja tasane. (Iwahashi ja Pike 2007)

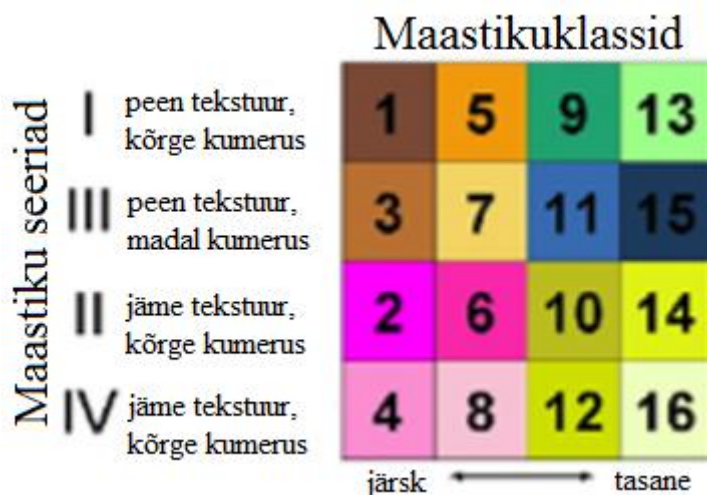
Maastiku tekstuur on defineeritud reljeefi ja topograafilise vahekauguse abil. Tekstuur näitab maastiku ruumilist keerukust ning sellel on kaks klassi: peen ja jäme. Peen tekstuur iseloomustab kohti, kus on palju tippe ja süvendeid. Jäme tekstuur iseloomustab tasandikke.

Vastava klassiga pikslid on leitud ruumilise müra eemaldamisega kõrgusmodelilt ning seejärel müraga ja mürata kõrgusmodelite võrdlemisel. (Iwahashi ja Pike 2007)

Kumerused leitakse 3x3 alammaatriksil Laplaciani filtriga. Sellel on kaks klassi: kõrge ja madal. Kumeruse parameetrit kasutatakse, et kaardil paremini eristada madalal asuvaid reljeefielemente, näiteks jõeterrasse. Kõrge klass on kumeratel aladel ja madal klass nõgusatel aladel. (Iwahashi ja Pike 2007)

Klassifikatsioon võib koosneda ka 8-st ja 12-st klassist, mille eristamiseks on seatud samuti lävendid. 16-ne klassi valikul on kaks põhjendust. Esiteks suudab see paremini iseloomustada madalamates maastikupiirkondades asetsevaid reljeefielemente. Teiseks on see sobilik analüüsidel, mis põhinevad kõrge punktihedusega kõrgusmodelitel. Klassifikatsioonist puuduvad otseselt kõrgusväärtused, kuid need siiski kajastuvad topograafilistes klassides. Nimelt esinevad klassid 1–4 kõrgemates piirkondades ning klassid 5–16 iseloomustavad aina madalamaid alasid. (Iwahashi ja Pike 2007)

Selle indeksi puhul oli võimalik määrata kumeruse ja tekstuuri parameetrite piksli otsimisraadiuse, mis annavad erineva üldistusastmega väljundeid. Seetõttu on antud töös ka välja toodud otsimisraadiused 10, 500 ja 5000 piksli puhul.



Joonis 4. Maastiku pinna klassifikatsioon (Iwahashi ja Pike 2007).

3.2 Andmete ümberklassifitseerimine

Antud töös klassifitseeriti nii mullastiku kui ka maakatte kaardi algandmed ümber kvantitatiivsele kontrastsus-skaalale, et lihtsustada andmeanalüüsi.

3.2.1 Mullakaart

Mullakaardi ümberklassifitseerimist peeti vajalikuks, et välja tuua kvalitatiivsed erinevused mullalappide vahel. Ümberklassifitseerimise meetodika põhines Uuema *et al.* (2008) uurimusel, millega uuriti mullakatte korrelatsiooni maastikurajoonidega, et tuvastada selle heterogeensust (tabel 1). Kontrastsus-skaala loodi muldade karbonaatsuse, veesisalduse ja põhjaveetaseme põhjal. Selle põhjal olid tehnogeensed mullad madalaima ja siirde- ja rabasoomullad kõrgeima koodiga. Ümberklassifitseeritud mullakaart koosnes 17-st erinevast mullastikutüübist, millele omistatud koodide vahe näitab nende kontrastsust.

Tabel 1. Mullastiku andmete ümberklassifitseerimine (Uuema *et al.* 2008).

Mullatüüp	Vana kood	Uus kood
Tehisjad	20	1
Kr K Kk	2	2
Kh' Kh"	3	
L(k)I L(k)II L(k)III LI LII LIII Ls	5	3
Kog KIg Krg Kg Kkg Korg	12	4
Kor Ko KI	4	5
Kh'g Kh" g Gh' Gh" Gh1	13	6
LP	6	7
LPg	7	8
LkG LPG LG	9	9
E	1	10
LkI LkII LkIII	18	
Llg LIlg LIIlg LIIIg Lsg L(k)Ilg L(k)IIg L(k)IIIg LkIlg LkIIg LkIIIg	8	11
Gkr Gk Gor Go GI Gr	14	12
GoI GI1 Gr1	16	13
Ar ArG ArG1 Ag AG AG1	15	14
D Dg DG	19	
M AM Mr	17	15
LG1	10	16
S R	11	17

3.2.2 Maakate

Maakate klassifitseeriti ümber sarnaselt Aunap *et al.* (2006) meetodikale, kus uuriti maakasutuse muutust maastikurajoonides. Vanale klassifikatsioonile anti uued koodid lähtuvalt inimõjusest (tabel 2). Uus klassifikatsioon koosnes kümnest maakatteklassist, kus suurima inimõjuga klass („asula”) kannab indeksit 10 ja madalaima inimõjuga klass („veekogu”) on indeksiga 1. Seega oli uute maakatte tüüpide, näiteks „karjäär” ja „haritav maa” indeksite vahe (vastavalt 9 ja 7) ka nende kontrastsus, milleks siinkohal oleks 2. Antud klassifikatsioon

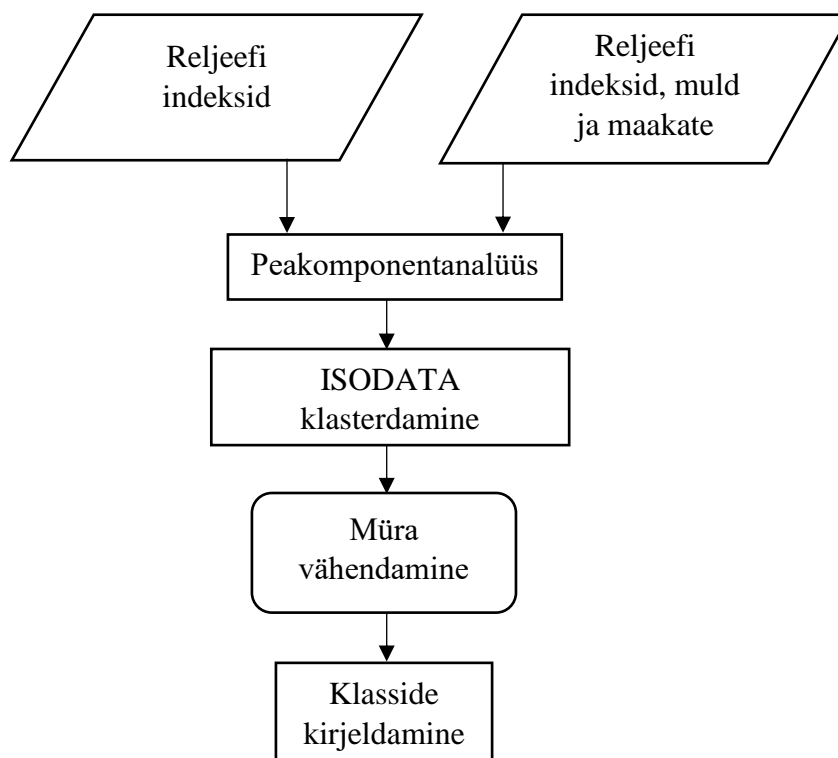
puudub indeks 5, mis Aunap *et al.* (2006) artiklis on klassifitseeritud „põõsastikuks“, kuid antud töös on see grupeeritud kokku „metsaga“.

Tabel 2. Maakatte andmete ümberklassifitseerimine (Aunap *et al.* 2006).

CORINE ID	CORINE klassifikatsioon	Uus klassifikatsioon	Uus kood
511	veejuhtmed	veekogu	1
512	järv, tiik		
521	rannajärv		
523	meri		
4111	märgalad	lagesoo	2
4112	madalsoo		
4121	raba		
4122	turbavõtuaugud		
421	mere mõjutatav märgala		
3242	mets-soo	soostunud mets	3
311	lehtmets	mets	4
312	okasmets		
313	segamets		
322	põõsastik		
334	põlenguala		
231	karjamaa	rohumaa	6
321	looduslik rohumaa		
331	rand, lited, liivikud		
333	hõre taimestik		
211	põld	haritav maa	7
222	puuviljaaed		
242	kompleksviljelus		
243	haritav looduslik maa		
3241	mets-põõsastik	raiesmik	8
131	maardla	karjäär	9
111	tihehoonestus	asula	10
112	hõrehoonestus		
121	tööstus		
122	teed		
123	sadam		
124	lennujaam		
132	prügimägi		
133	ehitusplats		
141	haljasala		
142	park		

3.3 Statistiline andmetöötlus

Enne statistilist andmetöötlust konverteeriti kõik muutujad Esri Grid failiformaati. Andmetöötlus tehti GIS-tarkvaraga ArcGIS 10.5 (joonis 5). Statistilise analüüsi meetoditeks olid peakomponentanalüüs ja klasteranalüüs, millega töötati välja kaks erinevat maastikukaarti. Esimene maastikukaart koosnes ainult reljeefi indeksitest, kuna reljeef on maastiku kujundamisel üks peamisi tegureid, mis on samaaegselt ka kergesti mõistetav ja annab seekaudu ülevaate indeksite kvaliteedist. Teine maastikukaart koosnes reljeefi, mulla ja maakatte indeksitest, mis annavad maastikule laiahaardelisema mõõtme. Reljeefi indeksiteks olid kõrgus, nõlvakalle, nõlva ekspositsioon, TRI, maastiku pinna klassifikatsioon, hägusad reljeefielemendid ning koondkõverus, ristlõike, üldine, pikisuunaline, maksimaalne, minimaalne, profiili, tangentsiaalne ja kontuuri kõverused. Esmase andmetöötluse käigus eemaldati analüüsist nõlva ekspositsioon, maastiku pinna ja hägusate reljeefielementide klassifikatsioon, kuna need on kvalitatiivsed hinnangud reljeefile, mida on raske kvantifitseerida. Näiteks nõlva ekspositsioon eemaldati andmeanalüüsist ka Hogg *et al.* (2016) uurimuses.



Joonis 5. Vookeem andmetöötluse peamistest etappidest.

3.3.1 Peakomponentanalüüs

Peakomponentanalüüsi eel soovitatakse teha muutujate standardiseerimist, et vähendada ühikutevahelist erinevust ja suuremate väärtustega muutujate osakaalu (Demšar *et al.* 2013; Klinger *et al.* 2011). Seetõttu kõik indeksid standardiseeriti enne peakomponentanalüüsi rasterkalkulaatoriga.

PCA on maastiku klassifitseerimise uurimustes leidnud laialdast kasutust (Klinger *et al.* 2011; Hogg *et al.* 2016). Samuti kasutatakse seda ka muude analüüside tegemiseks paljudes teistes loodusteadustes peale geograafia, nagu näiteks geoloogia ja klimatoloogia (Demšar *et al.* 2013).

PCA on objektiivne andmete paljumõõtmelisuse vähendamise meetod. See on sobilik siis, kui sisendmuutujaid on palju ja ei olda kindlad, millistel andmetel peaks analüüs põhinema. PCA eesmärgiks on asendada suur hulk korreleerunud muutujaid väiksema arvu sõltumatute muutujatega. Sõltumata muutujad on lineaarkombinatsioon algsetest muutujatest ning neid kutsutakse peakomponentideks (*Principal Component* ehk PC). Esimene peakomponent kirjeldab ära alg tunnuste maksimaalse hajuvuse ning iga järgnev peakomponent allesjäänud hajuvuse (Kabacoff 2011). Antud uurimuses oli tegu rasterandmete peakomponentanalüüsiga, milles leitakse peakomponendid rasterpinna pikslitest. Analüüsiga omistatakse igale pikslile uus väärtus, mille põhjal luuakse rasterkaardid. Arvutused tehakse atribuutide ruumis ning ei arvestata geograafiliste mõjudega. Sageli luuakse rasterkaartide põhjal valikuliselt mõnede esimeste peakomponentide abil segatud indeksid, mis kirjeldavad muutujatevahelisi seoseid (Demšar *et al.* 2013).

Kaiseri (1960) reegli kohaselt loeti sobivaks kõik komponendid, mille omaväärtus on suurem ühest.

3.3.2 ISODATA klasterdamine

Klasterdamisega jagatakse sarnaste omadustega elemendid tähendusega gruppidesse ehk klastritesse. Klasteranalüüsis eristatakse kahte peamist klassifikatsiooni tehnikat: näidistega ja näidisteta (Tan *et al.* 2005). Antud töös kasutati ArcGIS-is kasutusel olevat iteratiivse iseorganiseeruva andmeanalüüsi tehnika (*Iterative Self-Organising Data Analysis Technique* ehk ISODATA) klasterdamist, mis on näidisteta algoritm. Selle algoritmiga jagatakse iteratsioonidega pikslid klastritesse lähima spektraalse kauguse alusel. Protsessi käigus võib algoritm eemaldada klastrid, kuhu kuulub vähem kui kasutaja määratud minimaalne arv

pikslid (Memarsadeghi *et al.* 2007). ISODATA klasterdamine on ka varasemalt leidnud kasutust maastiku klassifitseerimises (Mücher *et al.* 2003).

Reljeefi indeksite põhjal loodud kolme esimese peakomponendiga loodi viis klastrit. Reljeefi indeksite, mulla ja maakatte esimese nelja peakomponendi põhjal loodi kaheksa klastrit. Väljundkaartide generaliseerimiseks vähendati müra hulka lokaalstatistikuga, mis määras 5x5 otsimisaknas naabruskondadele klassi, mida esines seal olevate pikslite seas kõige rohkem (*majority rule*).

4 TULEMUSED JA ARUTELU

4.1 Automatiseeritud reljeefelementide klassifikatsioonid

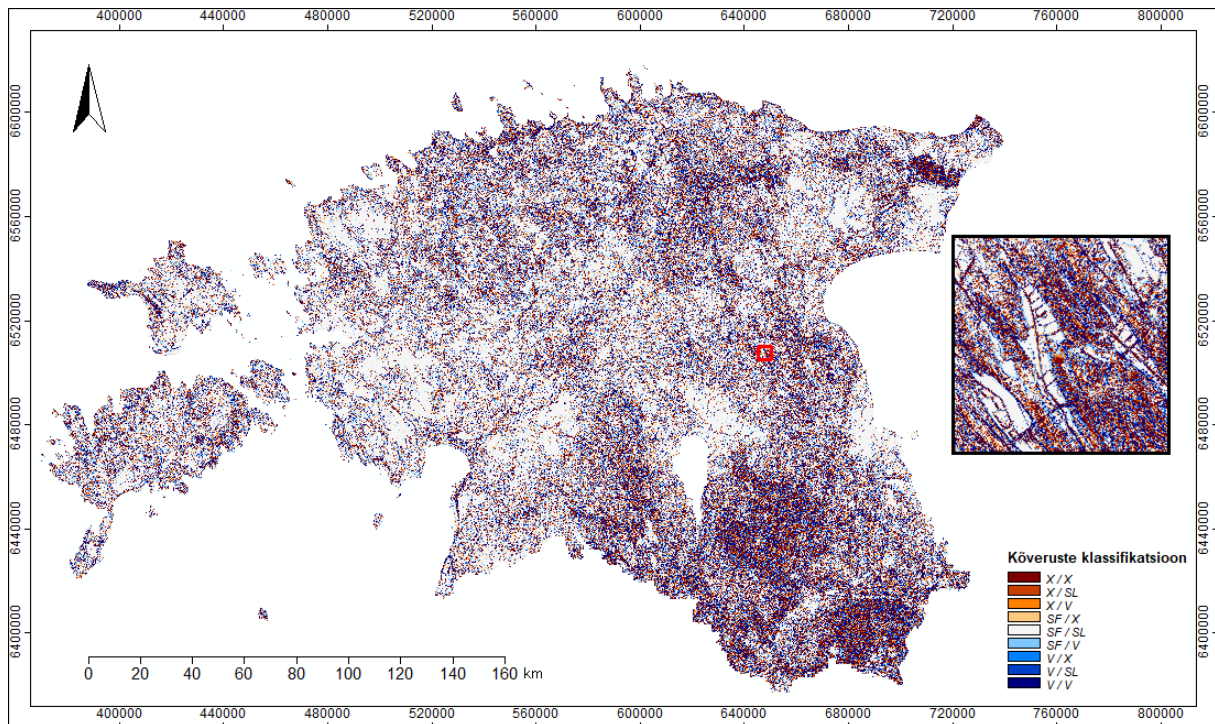
Järgnevalt antakse ülevaade peatükkides 3.1.3–3.1.6 loodud automatiseeritud reljeefelementide klassifikatsiooni tulemustest.

4.1.1 Kõveruste klassifikatsioon

Dikau (1988) kõveruste klassifikatsioon ei loo terve uurimisala tasandil eristatavaid klastreid (joonis 6). Kõige rohkem esines selle klassifikatsiooni järgi sirget nõlva (SF/SL); kõrgemate gradientidega pikslite poole pealt esineb enim kumerat nina (X/X) ja nõgusat orvandit (V/V). Muutlikuma reljeefiga eristuvad küll ümbritsevast Kagu-Eesti kõrgustikud ja Ida-Virumaa karjäärid. Ühtlasi on Võrtsjärve ja Peipsi madalikel märgata selgesti sirget nõlva, mida võib pidada tasandikuks. Üldiselt eristub Põhja-Eesti Lääne-Eestist keerukamate kõveruste poolest, kuid piirid on väga hägused ja selgeid klastreid moodustada on raske.

Selgelt annab tunnistust Brabyn (2009) tõdemus, et statistiline analüüs määrab igale pikslile erineva maastiku, mis tekitab probleeme üldistamisega. Seega leiti, et klassifikatsioon on sobilikum mikroreljeefi või väiksemate maastikuüksuste kirjeldamiseks, nagu paik või paigastik. Näitena on seega välja toodud joonisel 6 Vooremaal asuv Eesti põhikaardi kaardileht 64044.

Antud klassifikatsioonis jäeti programmi pakutud vaikeväärtus tasapinnaliste ja kõverate pinnavormide eristamiseks (0.0005), kuid katsetamine erinevate lävenditega annab erinevaid tulemusi. Brabyn (1996) on arutlenud, et nõlvakalde lävendite muutmised maastiku klassifitseerimises võivad anda küll väga erinevaid tulemusi, kuid selle arvelt muutub ka nende võime peegeldada tegelikku loodust. Näiteks võib veelgi väiksematel väärtustel tulemused muutuda eriti häguseks mikroreljeefi tõttu. Samas suurematel väärtustel klassifitseeritakse suurem osa alast tasandikuks. Seega sõltub lävendväärtuste muutmine suuresti eesmärgist ja eeltööst, et leida väärtus, mis suudaks ka täpselt looduskeskkonda peegeldada.

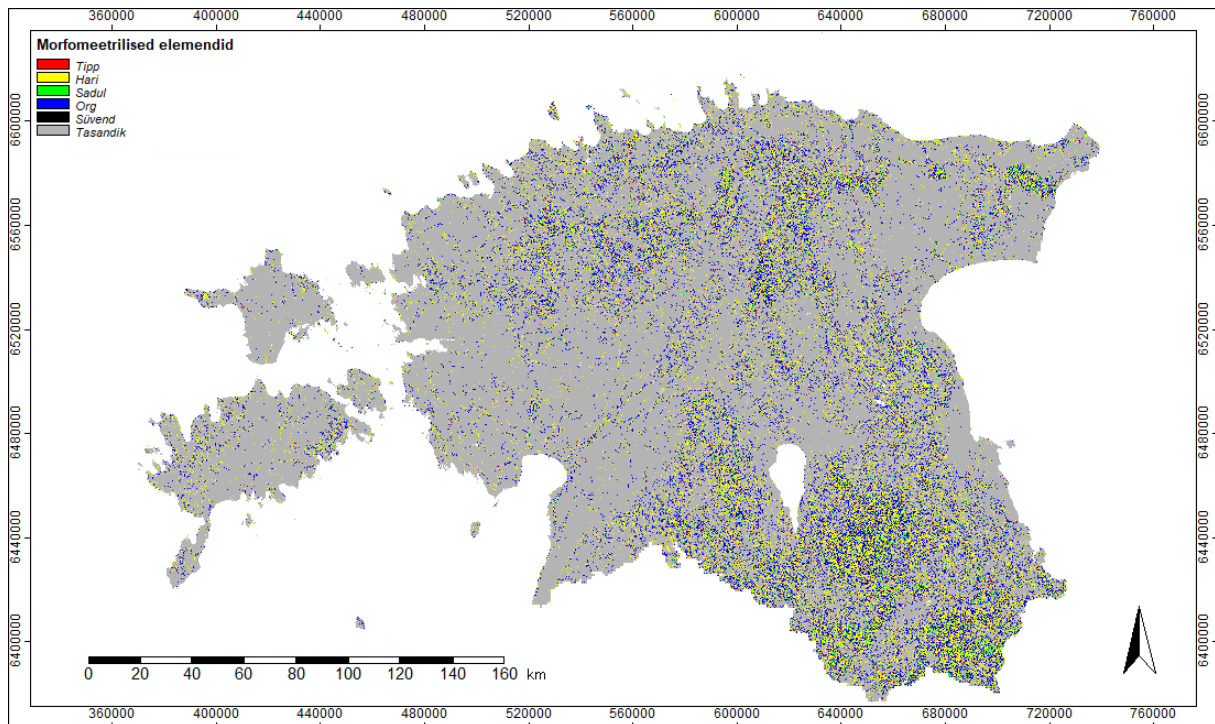


Joonis 6. Kõveruste klassifikatsioon Dikau (1988) meetodika järgi kogu Eesti kohta ning suurendatult välja toodud põhikaardi (1: 10 000) kaardileht 64044 (5x5 km).

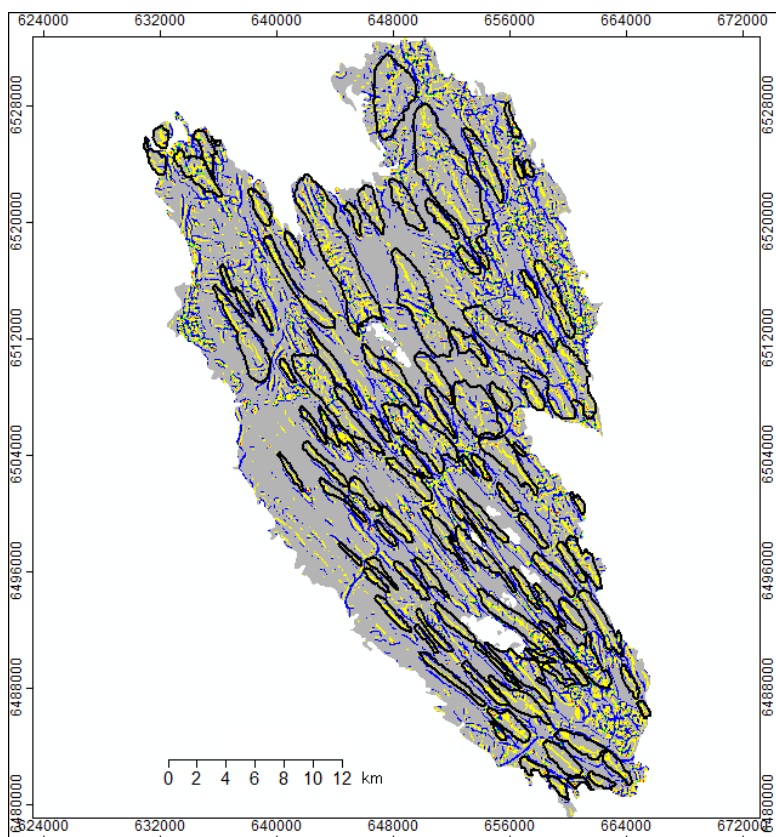
4.1.2 Morfomeetriselised elemendid

Woodi (1996) klassifikatsioonis esineb vähem ja väiksemal skaalal defineeritud klasse kui Dikau (1988) klassifikatsioonis, tänu millele eristub Lääne-Eesti Põhja- ja Kagu-Eestist (joonis 7). Lisaks eristuvad ümbritsevast ka künklik-nõolised alad, kus vahelduvad tihedamini harjad, sadulad ja orud. Samas pole tippe ja süvendeid ehk punktelemente kaardil üldse märgata. Lisaks sellele esineb võrreldes Dikau (1988) klassifikatsiooniga tasandikku iseloomustavat pikslit maastikul laiemalt ja selgemalt. Klassifikatsioon võiks seega sobilik olla maastikurajooni sisemiste komponentide kirjeldamiseks või mesoreljeefi tuvastamiseks.

Näitena on seetõttu välja toodud joonisel 8 Aroldi klassifikatsiooni Vooremaa. Selgub, et klassifikatsiooni harjad aitavad üsna täpselt vööri välja joonistada.



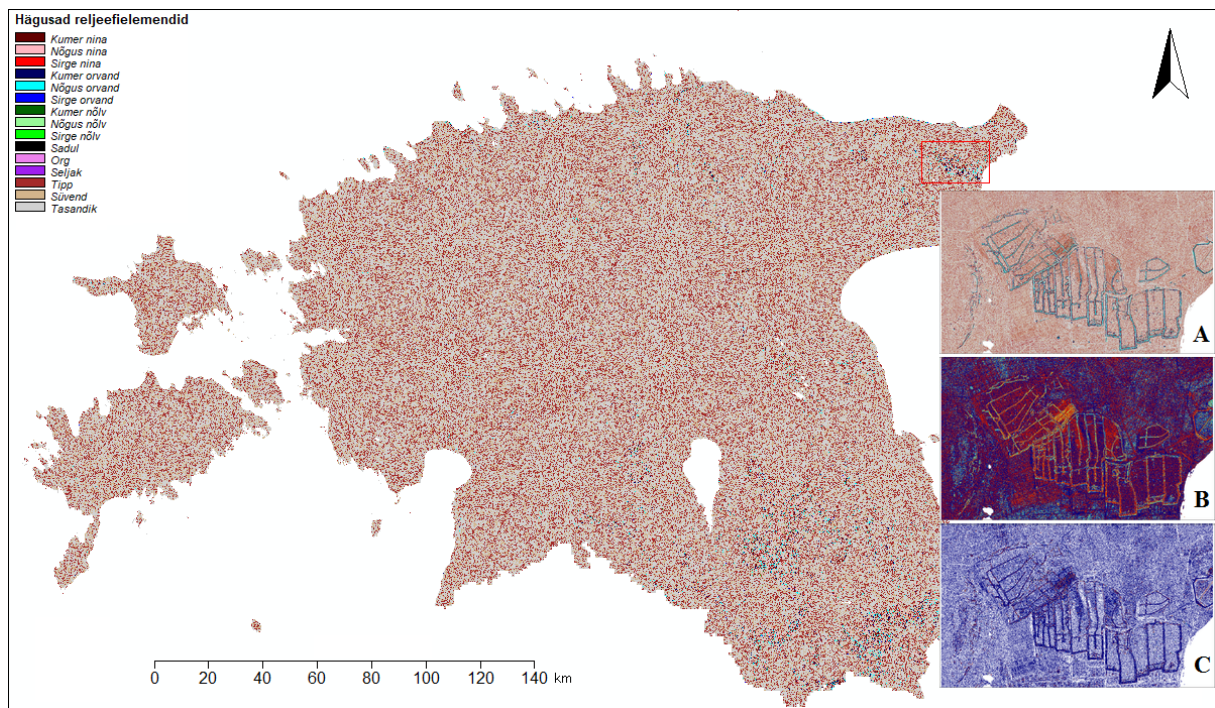
Joonis 7. Morfomeetriliste elementide klassifikatsioon Woodi (1996) meetodika järgi.



Joonis 8. Wood (1996) morfomeetriliste elementide klassifikatsioon Vooremaal, mille peale on loetud vektorkihina voored, mis pärinevad Eesti geograafia CD-lt (2000).

4.1.3 Hägusate reljefielementide klassifikatsioon

Schmidti ja Hewitti (2004) klassifikatsioon ei too terve uurimisala tasandil välja ühtegi eristatavat klastrit ning tulemus jätab juhusliku mulje (joonis 8). Künklik-nõolisema pinnamoega aladel on küll reljefielementide vahel rohkem varieeruvust. Peamiseks elementideks on tasandik, milles vahelduvad süvend ja tipud, mida esines Woodi (1996) originaalses klassifikatsioonis kõige vähem (joonis 7). Reljefi kallakust selgitavad elemendid puuduvad väiksel skaalal. Kuna klassifikatsiooni eesmärgiks on tuua välja maastikus keeruliste ja kontekstist sõltuvate reljefielementide eristamine, siis uuriti kaarti suuremal skaalal. Selleks on joonisel 9 välja toodud Ida-Virumaa kaevandusala, kus on tehnogeensete pinnavormide tõttu suurim oht, et elemendid klassifitseeritakse valesti.



Joonis 9. Schmidti ja Hewitti (2004) hägusate reljefielementide klassifikatsiooni kaart. (A) klassifikatsiooni suurendus, (B) maksimaalne kuuluvusväärtus, kus mida punasem on piksel, seda suurema tõenäosusega on klassifitseeritud reljefielement õigesti. (C) on veaindeks, kus mida sinisem on piksel, seda väiksem on viga piksli määramisel.

Jooniselt 9 nähtub, et kaevanduse-äärsed astangud ja järsakud on väga suure tõenäosusega ja väikese veatõenäosusega klassifitseeritud nõgusaks orvandiks, mistõttu eristuvad nad väga selgelt ümbritsevast.

Sarnaselt Dikau klassifikatsioonile annaks lävendväärtuste muutmine erinevaid tulemusi, kuid selle klassifikatsiooni puhul polegi otseselt eesmärgiks reljefielementide klassifitseerimine,

vaid nende paikapidavuse kontrollimine. Seetõttu peaks igasugune väärtuste muutmine olema ettevaatlikkusega ja sõltuma eesmärgist.

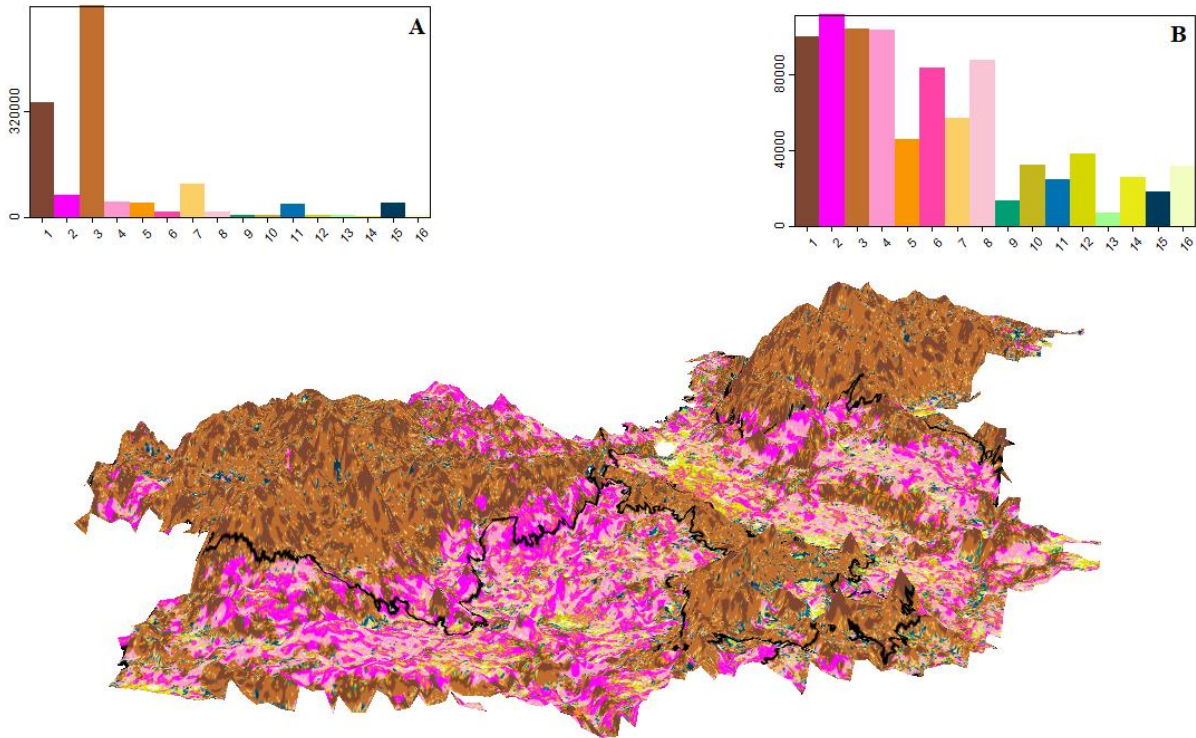
Klassifikatsioon võiks seega abiks olla maastikurajooni siseste üksuste kirjeldamiseks, mikroreljeefi elementide paikapidavuse kontrollimiseks ning ka hägusloogika rakendamiseks piirivõotmete väljatoomisel, kasutades maksimaalse kuuluvusväärtuse ja veaindeksi kaarte.

4.1.4 Maastiku pinna klassifikatsioon

Iwahashi ja Pike'i (2007) klassifikatsiooni järgi joonistuvad Eestis välja juba selgemad maastikurajoonid (joonis 10). Klassifikatsioonis esineb enim 6. ja 8. klassi, mis on mõlemad järsu nõlvakalde ja jämeda tekstuuriga. Samas on 6. klass kõrge kumerusega ja 8. klass madala kumerusega. Üldiselt on klassid siiski jämeda tekstuuriga, mis on iseloomulik tasandikele. Seega võib klassifikatsioon olla sobilik näiteks reljeefi-põhise maastikuüksuste klassifikatsiooni loomiseks, klasterdades sarnaste parameetritega klasse.

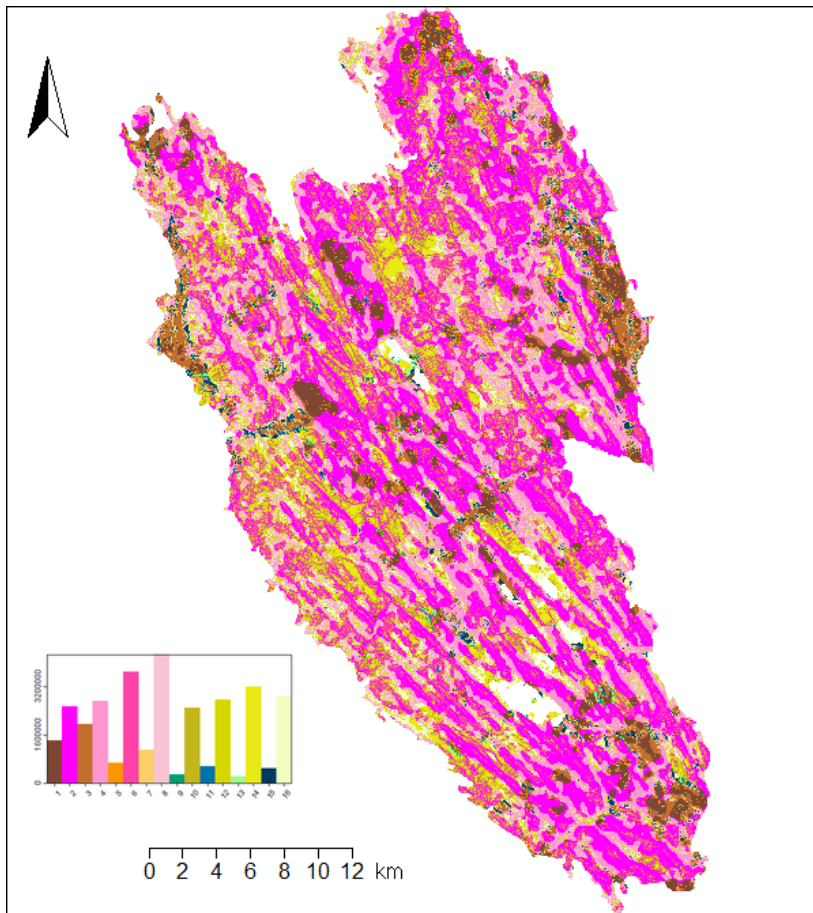
Nagu jooniselt 10 ilmneb, on madalike ja lavamaade piirid hägusamad kui kõrgustikel. Klasside selget muutust pole näha Viru lavamaa ja teda ümbritsevate rajoonide vahel. Ühtlasi puudub tuvastatav piir Lääne-Eesti madalike ja sisemaiste madalike vahel. Kesk-Eesti lavamaal, millel Aroldi (2005) kohaselt puuduvad astangud, ei ole ka ümbruskonnast eristatav. Lisaks sarnanevad kõrgustikevaheliste nõgude klassid lavamaade ja Sakala kõrgustikuga. Saaremaal eristub keskosa ida- ja lääneosast. Üldistatult joonistuvad hästi välja klassidega 1 ja 3 Kagu-Eesti kõrgustikud ja Ida-Virumaa karjääriala, mis eristub tugevalt Alutaguse madalikust. Lavamaid ja kulutuskõrgustikke iseloomustavad klassid 2, 4, 6 ja 8 ning madalikke ja meresaari iseloomustavad klassid 10, 12, 14 ja 16. Siiski pole Aroldi (2005) klassifikatsiooni ja Iwahashi ja Pike'i (2007) klassifikatsiooni üks ühele võrdlust läbi viia võimalik, sest Aroldi liigestuses mängivad lisaks topograafiale rolli ka aineringed, veekogud ja maakasutus. Seetõttu võivad maastikutüüpide piirivõotmed olla raskesti määratavad ja ka rajooni erinevad osad võivad suuresti eristuda üksteisest looduslike iseärasuste poolest.

Kagu-Eesti rajoonide lokaalseks võrdluseks on toodud välja joonis 11, kust selgub, et kuhjekõrgustikel on klasse vähem ning need on keerukama iseloomuga. Seevastu nõgudes on topograafia heterogeensem: esineb erineva iseloomuga klasse, mis on tasasema nõlvakaldega. Väga selgesti lähevad klassid keerukamaks Karula kõrgustiku ja Haanja kõrgustiku loodekülgedel.



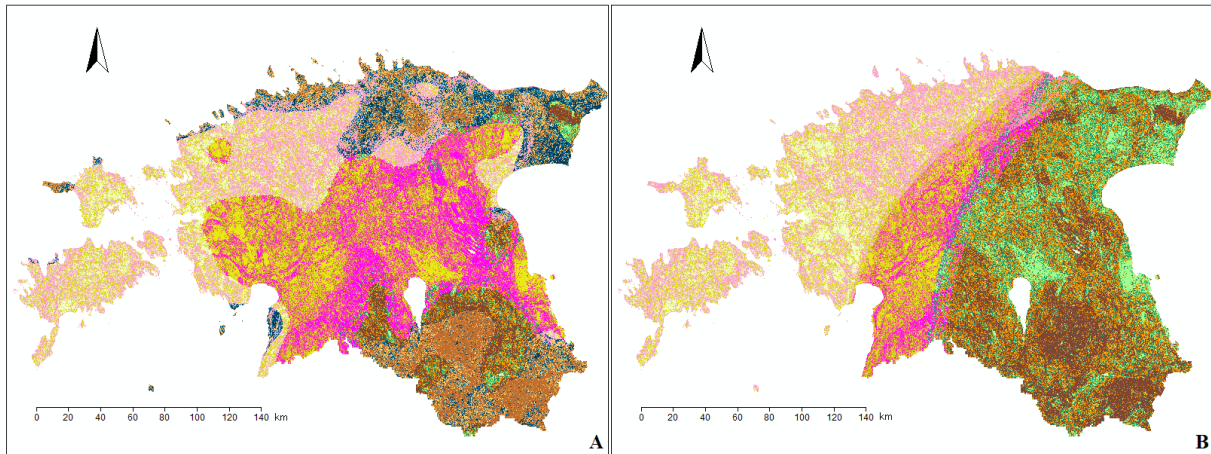
Joonis 11. Kagu-Eesti maastikurajoonide SW-NE suunaline 3D vaade koos kõrgusmodeliga, kus (A) on kõrgustike klasside histogramm ja (B) nõgude klasside histogramm Iwahashi ja Pike'i (2007) klassifikatsiooni järgi.

Ühtlasi on joonisel 12 välja toodud Aroldi (2005) klassifikatsiooni Vooremaa. Sealne pinnamood on selgesti klassifitseeritud järsu nõlvakalde, jämeda tekstuuri ja kõrge kumerusega, moodustades seekaudu arusaadavaid klastreid. See eristab teda väga selgesti teiste kõrgustike kuplitest, eriti seejuures kuhjekõrgustikest.



Joonis 12. Iwahashi ja Pike'i (2007) klassifikatsioon Vooremaal.

Selle klassifikatsiooni puhul katsetati ka erinevaid piksli otsimisraadiuseid ning selle mõju klassifitseerimise tulemustele (joonis 13). Jooniselt võib näha, et paremad kokkulangemised teatud maastikutüüpide puhul võivad ilmned erineva otsimisraadiuse korral. Kuigi Iwahashi ja Pike (2007) toovad välja, et klassifikatsiooni on võimalik kasutada erinevate piksli suurusega koostatud kõrgusmudelitel, on nad seda testinud suure piksliiga mudelitel, mille otsimisraadiuseks oli 10 pikslit. Selle põhjal on nad rõhutanud, et otsimisraadiuse valik sõltub eesmärgist, uurimisalast ning väga suure detailsusega kõrgusmudelitel võib anda tähendusega tulemusi otsimisraadiustega katsetamine.



Joonis 13. Iwahashi ja Pike'i (2007) maastiku pinna klassifikatsiooni piksli otsimisraadiused 500 (A) ja 5000 (B).

Jooniselt 13 on näha, et ehkki suuremad otsimisraadiused suudavad küll paremini eristada teoreetilisi maastikurajoonide piire, üldistavad nad selle arvelt kaarti liiga palju, mille tõttu kaob ära autorite koostatud 16-ne topograafilise klassi eripära. Otsimisraadius 500 (A) toob välja klasside klasterdumisel tajutavad maastikurajoonid ning 5000 (B) hakkavad eristuma teoreetiline Madal- ja Kõrg-Eesti.

4.2 Statistilise andmetöötluse tulemused

4.2.1 Peakomponentanalüüs

Selles peatükis antakse ülevaade kahe loodud maastikukaardi peakomponentanalüüsi tulemustest.

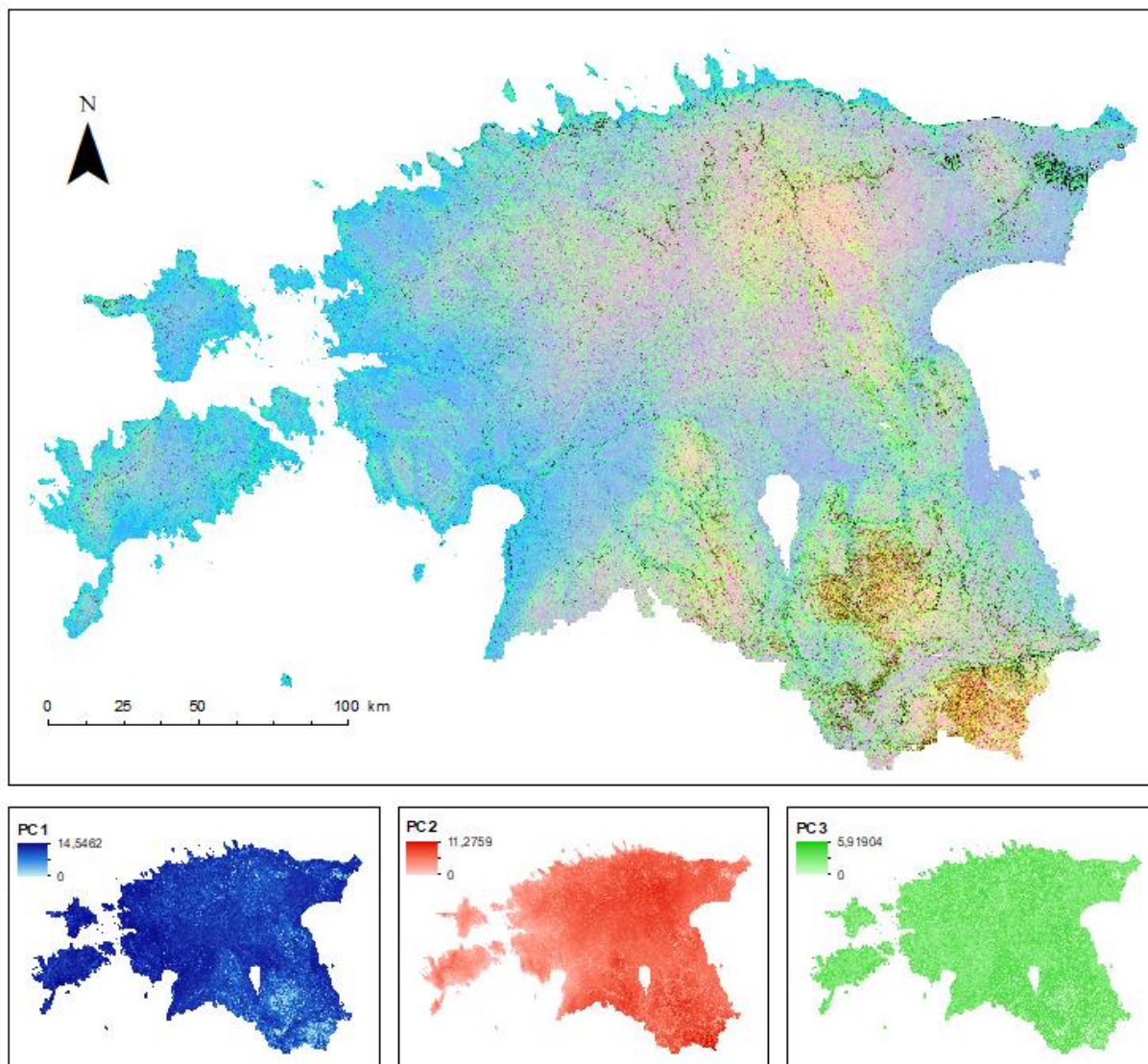
4.2.1.1 Reljeefi indeksid

Reljeefi indeksite peakomponentidest on kolmel omaväärtus üle ühe (tabel 3 ja lisa 3). Neist esimesed kaks peakomponenti kirjeldavad kumulatiivselt ära 98,57% variatsioonist, mistõttu RGB kaardil avaldub ka kõige selgemini esimese kahe komponendi mõju (joonis 14). Esimese peakomponendiga (PC1) omavad tugevat negatiivset korrelatsiooni reljeefi keerukuse indeks ja nõlvakalle, mistõttu avaldub see madala keerukuse ja nõlvakaldega rannikuäärsetel ja madalamatel aladel. Teise peakomponendiga (PC2) omab tugevat positiivset korrelatsiooni vaid kõrgus ning teiste muutujate laadungid on väiksemad. Seetõttu on selle mõju suurim kõrgustikel ja kõrgematel pindadel. Kolmanda peakomponendiga (PC3) omab tugevat

positiivset korrelatsiooni nõlvakalle ja negatiivset korrelatsiooni TRI. Sellel põhjusel avaldub see jõeorgudes ja kõrgustike jalamil. Kõigi kõveruste laadungid peakomponentidesse on väga väikesed, mis võis olla tingitud kvantifitseerimise keerukusest. See tähendab, et piksli kõverus muutub maastikul väga sagedasti kumerast nõgusaks, omamata selleks kindlat seaduspärasust.

Tabel 3. Reljeefi muutujate omaväärtuste maatriks.

Muutuja	PC1	PC2	PC3
Reljeefi keerukuse indeks	-0,6426	-0,2683	-0,7177
Nõlvakalle	-0,6675	-0,2637	0,6963
Kõrgus	-0,3761	0,9265	-0,0097
Ristlõike kõverus	-0,0001	0	-0,0005
Üldine kõverus	-0,0001	0	-0,0008
Pikisuunaline kõverus	0	0	-0,0003
Maksimaalne kõverus	-0,0004	-0,0001	-0,0017
Minimaalne kõverus	0,0003	0,0001	0,0013
Profili kõverus	0	0	-0,0001
Tangentsiaalne kõverus	-0,0001	0	-0,0003
Koondkõverus	0	0	0
Kontuuri kõverus	0	0	0
<i>Omaväärtus (%)</i>	<i>71,10</i>	<i>27,47</i>	<i>1,43</i>
<i>Kumulatiivne omaväärtus (%)</i>	<i>71,10</i>	<i>98,57</i>	<i>100,00</i>



Joonis 14. Reljeefi indeksite peakomponentanalüüsi tulemusel valminud kolme esimese peakomponendi RGB kaart (ülemine suur kaart) ja kõik peakomponendid eraldi kaartidel.

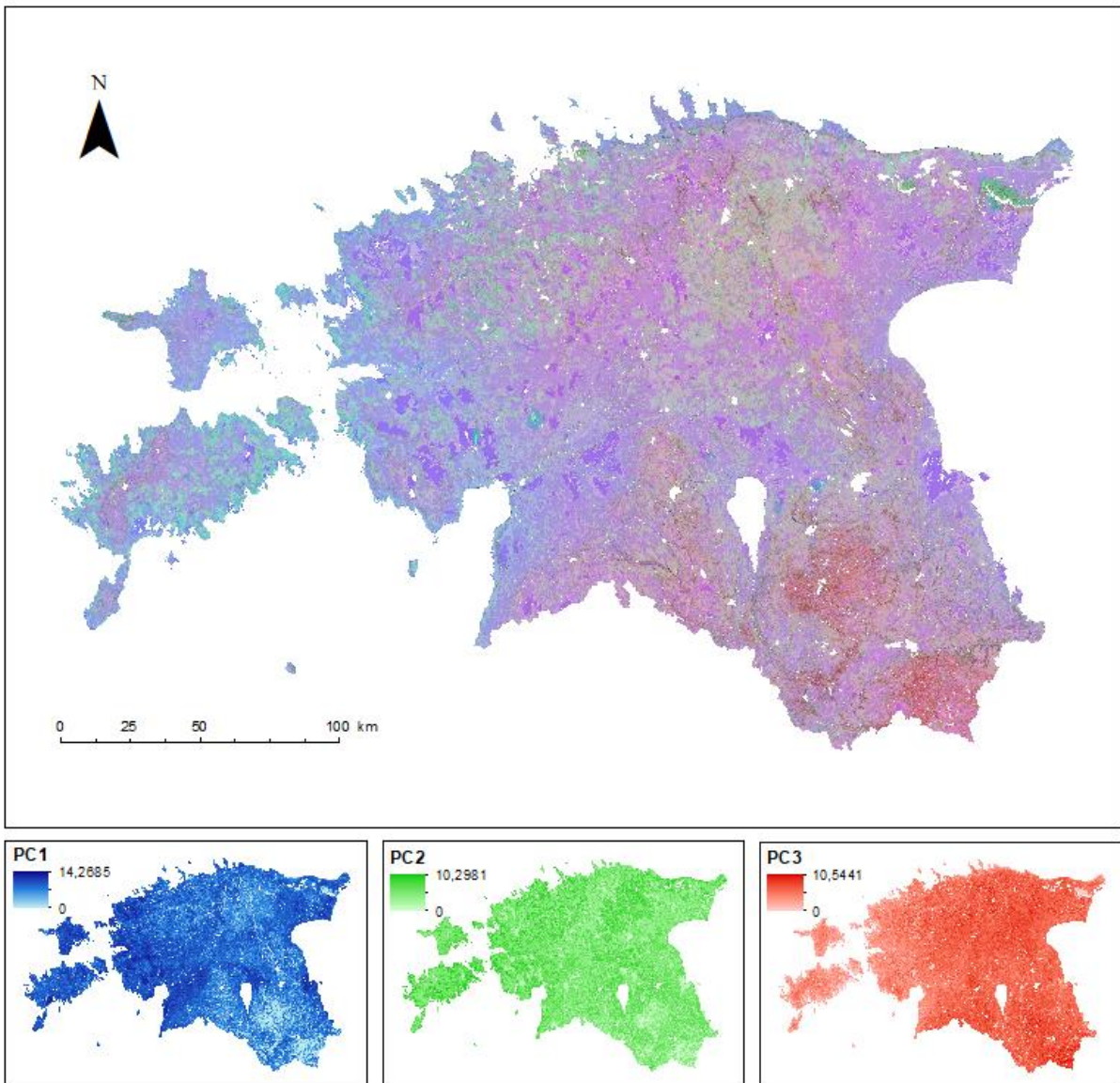
4.2.1.2 Reljeefi indeksid, muld ja maakate

Tähendusega peakomponentideks on esimesed neli, mis seletavad kumulatiivselt ära 99,16% hajuvusest (tabel 4 ja lisa 4). Esimese peakomponendiga (PC1) on tugevas negatiivses korrelatsioonis nõlvakalle ja reljeefi keerukuse indeks, mistõttu avaldub see madala keerukuse ja nõlvakaldega rannikuäärsetel ja madalamatel aladel (joonis 15). Kokku kirjeldab see peakomponent peaaegu poole ehk 46,32% hajuvusest. Teise peakomponendiga (PC2) on tugevas positiivses korrelatsioonis maakate ja negatiivses korrelatsioonis muld. See peakomponent avaldub hajusalt üle Eesti tugeva inimõju ja madalate mullakoodidega aladel, eriti seejuures Pandivere kõrgustikul. Kolmanda peakomponendi (PC3) faktorlaadungid on

suurimad kõrgusel ning vähemal määral ka maakattel ja mullal, avaldades kõigil kõrgustikel. Neljanda peakomponendiga (PC4) on tugevas negatiivses korrelatsioonis muld ja positiivses korrelatsioonis kõrgus. Sarnaselt reljeefi muutujate maatriksile on kõigi kõveruste laadungid peakomponentidesse väga väikesed.

Tabel 4. Reljeefi, mulla ja maakatte muutujate omaväärtuste maatriks.

Muutuja	PC1	PC2	PC3	PC4
Kõrgus	-0,3388	-0,2354	0,7014	0,5812
Reljeefi keerukuse indeks	-0,5952	-0,2231	-0,1694	-0,2437
Nõlvakalle	-0,6255	-0,1920	-0,1675	-0,2297
Muld	0,3073	-0,5848	0,4500	-0,6004
Maakate	-0,2129	0,7183	0,4988	-0,4355
Ristlõike kõverus	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
Üldine kõverus	-0,0001	0,0001	-0,0001	0,0001
Pikisuunaline kõverus	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
Maksimaalne kõverus	-0,0003	-0,0001	-0,0001	-0,0001
Minimaalne kõverus	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002
Profiili kõverus	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
Tangentsiaalne kõverus	-0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
Koondkõverus	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Kontuuri kõverus	0,0000	-0,0002	0,0001	0,0003
<i>Omaväärtus (%)</i>	<i>46,32</i>	<i>20,34</i>	<i>17,82</i>	<i>14,68</i>
<i>Kumulatiivne omaväärtus (%)</i>	<i>46,32</i>	<i>66,66</i>	<i>84,49</i>	<i>99,16</i>



Joonis 15. Reljeefi indeksite, mulla ja maakatte peakomponentanalüüsi tulemusel valminud kolme esimese peakomponendi RGB kaart (ülemine suur kaart) ja peakomponendid eraldi kaartidel.

4.2.2 Klasterdamine

Selles peatükis antakse ülevaade peakomponentanalüüsile järgnenud maastikukaartide klasteranalüüsi tulemustest. Klasside regionaalse paiknemise kirjeldamisel on kasutatud Aroldi (2005) maastikurajoonide klassifikatsiooni.

4.2.2.1 Reljeefi indeksite maastikukaart

Kuna reljeefi indeksite peakomponentide üheks peamiseks kirjeldajaks oli kõrgus ja nõlvakalle, mis on enamasti kõrgusega seotud, siis kajastub kõrgus nähtavalt ka klastrites (joonis 16). Peamised klassid joonistuvad välja selgelt kõrgusmudeli järgi. Erinevus tuleneb vaid keerukamate pinnavormide väljatoomisel.

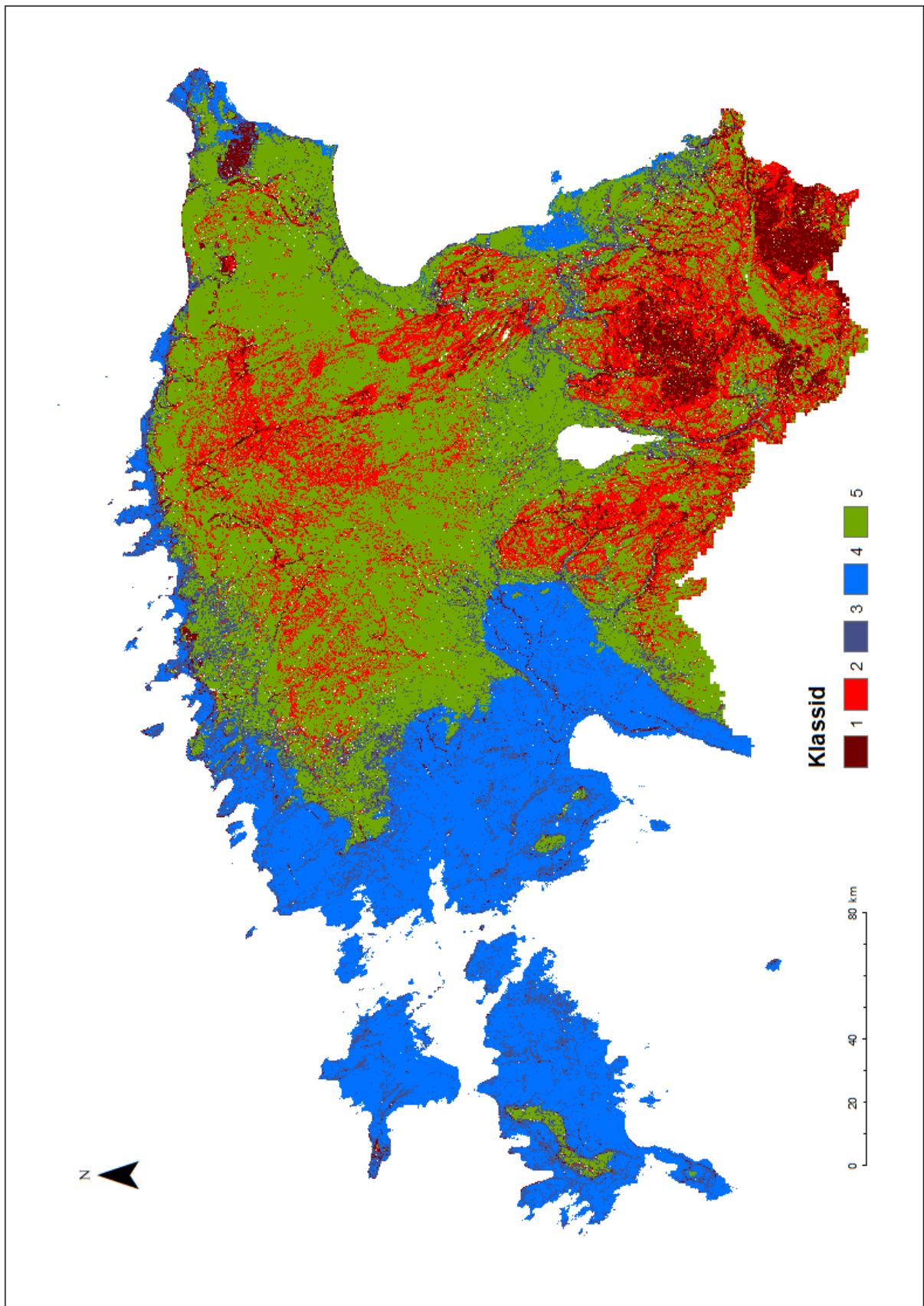
Esimese klassi moodustavad suure suhtelise kõrgusega, keeruka maastiku ja suure nõlvakaldega alad. See avaldub kõigi selgemini Kagu-Eesti kuhjekõrgustikel ja Ida-Virumaa karjäärides.

Teise klassi kuuluvad kuhjekõrgustikud ja Vooremaa, kuid piksleid on märgata ka teiste kõrgustike jalamil ja lavamaadel. Need alad on suhteliselt kõrged, mööduka nõlvakalde ja madala keerukusega.

Kolmandat klassi võib pidada mürapikslikeks, mille selget iseloomu on seepärast keeruline välja tuua. Arvatavasti on tegu aladega, kus on kõrge nõlvakalle ja madal maastiku keerukus, esinedes seetõttu astangutel ja ürgorgudes.

Neljandasse klassi kuuluvad rannikuäärsed madalikud ja meresaared, võttes seejuures enda alla üsna suure ja homogeense iseloomuga maastikuüksuse. Iseloomult on see klass tasane ehk madala kõrguse, keerukuse ja nõlvakaldega.

Viies klass katab maastikukaardil suurimat ala. See esineb sisemaistel madalikel, nõgudes, lavamaadel ning joonistab hästi välja ka Lääne-Saaremaa kõrgendiku. Iseloomu poolest on klass kõrgem kui neljas klass, kuid samuti madala keerukuse ja nõlvakaldega.



Joonis 16. Reljeefi indeksite klasteranalüüsi tulemusel valminud kaart.

4.2.2.2 Reljeefi indeksite, mulla ja maakatte maastikukaart

Kuna analüüs arvestas juba rohkem erinevaid maastikku kirjeldavaid faktoreid, on tegu ka heterogeensema kaardiga kui reljeefipõhiste indeksite klassifikatsioon (joonis 17). Üldpildis on kaart siiski tugevalt mõjutatud kõrgusest, mis tähendab, et ümbritsevast eristuvad kõrgustikud ja madalikud. Samas on piiritlemine märksa hägusem kui eelneval kaardil ning märgatavalt avalduvad ka mulla ja maakatte tunnused.

Esimest klassi iseloomustab suur suhteline kõrgus, kõrge reljeefi keerukus, metsade esinemine ja varieeruvad mullatüübid. Seda esineb kaardil kõige vähem, kuid selgelt eristub see Kagu-Eesti kuhjekõrgustikul ja Ida-Virumaa karjäärides. Kõrgustikel esinevat mullatüüpi võib pidada ka erodeeritud muldadeks.

Teine klass asub natuke madalamal kui esimene klass, reljeefi keerukus on samuti kõrge ja mullatüübid varieeruvad, kuid inimõju on kõrgem, mis tähendab, et lisaks metsale on rohkem haritavat maad ja rohumaad. See klass on valdavalt koondunud Kagu-Eesti kuhjekõrgustike jalamitele, Sakala kõrgustiku keskossa, Vooremaale ja hajusalt lavamaadele, moodustamata seal selgeid klastreid.

Kolmas klass võtab pärast kuuendat klassi enda alla maastikukaardil suurima ala. Iseloomu poolest on see üsna kõrge, keskpärase keerukusega, mullad on kõrge toitainete sisaldusega ja esineb palju põllumajandusmaad. Kõige paremini eristub see klass Pandivere kõrgustikul, Harju lavamaal ja Kesk-Eestis. Vähemal määral ka muudel lavamaadel, Sakala kõrgustikul, kõrgustikevahelistes nõgudes ja Põhja-Eesti rannikul.

Neljas klass asub kõrgemal kui viies klass. Lisaks on see madala keerukusega, madala ja keskmise inimõjuga ning enamasti karbonaatmuldadega. Kõige selgemini eristuvad klastrid on moodustunud Saaremaal, Lääne-Eesti madalikul ja väikesaartel.

Viies klass on kaardi madalaima kõrgusväärtusega klass. Sarnaselt neljandale klassile on maastik madala keerukusega ning madala kuni keskpärase inimõjuga, kuid mullad on enamasti liigniisked. Klass eristub kõige paremini Hiiumaal, Saaremaa keskosas, Lääne-Eesti madalikul ja Põhja-Eesti rannikul.

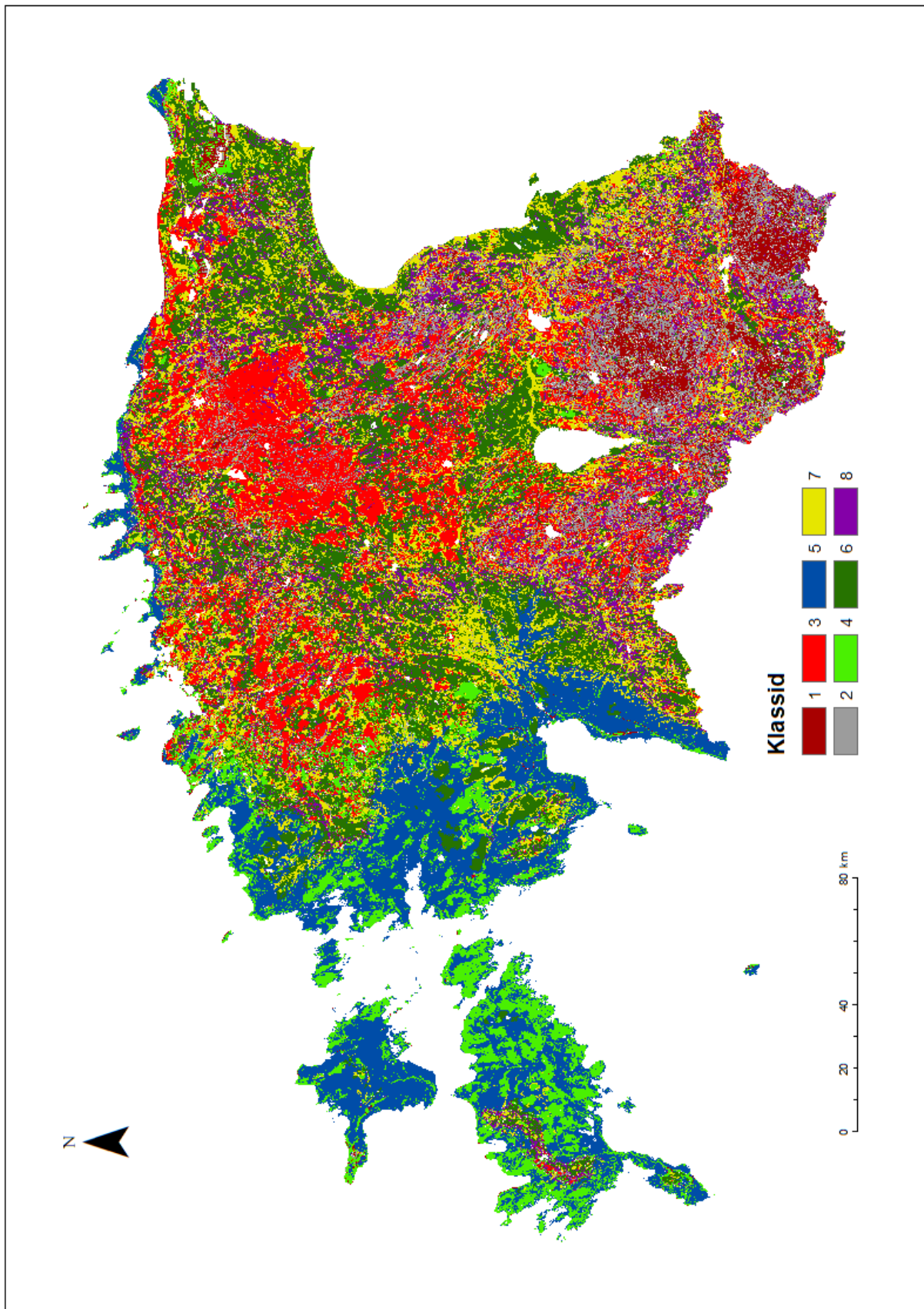
Kuues klass võtab enda alla kõige suurema osa kaardist. Pinnamoelt on klass tasane: kõrgused on keskpärased (madalam kui esimesel kolmel klassil, kuid kõrgem neljandast ja viiendast klassist) ja reljeefi keerukus on madal. Mullatüübid varieeruvad, kuid enamasti on tegemist liigniiskete muldadega, ja inimõju on madal, mis tähendab, et lisaks metsale on märgatavalt

ka soid. Klass esineb hajusalt üle Eesti, omades väga palju mürapiksleid. Samas kõige paremini eristuvad klastrid avalduvad sisemaistel madalikel.

Seitsmes klass on kõrguse poolest natuke madalamal kui kuues klass, kuid nii muld kui ka reljeefi keerukus on sarnased. Maakattes on märgata haritava maa esinemist. Klass asub hajusalt üle Eesti, valdavalt kuuenda klassi naabruses, mistõttu väga selgesti eristuvaid alasid ei moodustu. Sellegipoolest ilmneb klass kõige märgatavamalt Peipsi idarannikul ja Soomaal.

Kaheksas klass sarnaneb seitsmendale ja kuuendale klassile mulla ja reljeefi keerukuse poolest, kuid asetseb natuke kõrgemal. Maakattes esineb ka võrreldes nende klassidega rohkem metsa. Sarnaselt seitsmendale klassile asub see hajusalt üle Eesti, moodustamata selgeid klastreid. Kõige paremini joonistuvad küll välja klastrid Sakala kõrgustikul, Lääne-Saaremaa kõrgendikul ja Alutaguse madaliku põhjaosas.

Kaardi pealt puuduvad väga kõrge inimõjuga alad (linnad), millele klasterdamise algoritm pole väärtust andnud. Kuna mullakaardilt puuduvad andmed linnade kohta, võiks luua probleemi lahendamiseks eraldi mullaklassi linnade kohta, mis määraks klasterdamise käigus ka neile klassi. Antud juhul valiti optimaalseks variandiks kaheksa klassi, kuid valides rohkem sisendklasse, on eeldatavasti võimalik moodustada ka klastreid, mis toovad välja täpsemini mulla ja maakatte iseloomu. Teisest küljest tekib sellega ka rohkem mürapiksleid, mida on keeruline võrreldes naabruskonnaga iseloomustada.



Joonis 17. Reljeefi indekse, mulla ja maakatte klasteranalüüsi tulemusel valminud kaart.

4.3 Ettepanekud edaspidisteks uurimusteks

Maastiku klassifitseerimisel GIS-ga on väga tähtsal kohal kõrgusmodeli valik. Antud töös kasutati küll 25-meetrise pikslisuurusega kõrgusmodelit, aga Maa-amet pakub veel täpsema lahutusega (5 ja 10 m) ja väiksema lahutusega (50 ja 100 m) kõrgusmudeleid. Lisaks on olemas veel maakatte ja taimkatte kõrgusmodelid. Peatükis 1.1.2 mainitud uuringud on tehtud enamasti kõrgusmodelitega, millel on käesolevas töös kasutatud mudelist väiksem ruumiline lahtus. Seega võiks DEM-ga katsetamine luua huvitavaid ja erineva iseloomuga tulemusi.

Lisaks leidub Maa-ametil mahukas ja põhjalik geoloogiline andmekogu, mida antud töös ei kasutatud. Samuti puudusid tööst andmed kliima ja hüdroloogia kohta, kuid Eesti Keskkonnaagentuur pakub hulgaliselt ajaloolisi ja tänapäevaseid andmeid ning kaarte Eesti sisevete ja kliima kohta (Riigi Ilmateenistus... (i.a)). Hüdroloogilisi indekseid (nt niiskuse indeks ja voolujoone kõverus) on võimalik tuletada ka GIS-tarkvaradega.

Käesolevas töös valiti alusandmestik, mida on lihtne töödelda, kuid suurimaks probleemiks võib pidada andmete kvantifitseerimist ja ühildamist, kuna need on sageli fragmenteeritud. Eriti ilmne on see sotsiaal-kultuuriliste andmetega, mis ülevaatlilikult Eesti kohta puuduvad ja mis on enamasti seotud kindla kohaga. Kõige ülevaatlikumaks saab pidada Maa-ameti pärandkultuuri kaardirakendust, kus on erinevate programmide raames loodud andmed kultuuriväärtuste kohta. Samuti on tehtud uurimistöid tajutavate andmete kvantifitseerimiseks (nt Haugas 2010). Maa-ameti ja Statistikaameti andmebaasis leidub ka hulgaliselt antropogeenseid andmeid rahvastikunäitajate, kuid ka keskkonna kohta.

Andmete kvantitatiivsele kontrastsus-skaalale viimiseks on erinevaid lahendusi (nt Brabyn 2009), mis annaksid erinevalt tõlgendatavaid tulemusi. Rohkem eeltööd ja analüüsi nõuaks ka kvalitatiivsete andmete põhine analüüs, kuid mis võiks anda see-eest mõistetavamaid tulemusi. GIS-id pakuvad hulgaliselt lahendusi homogeensemata maastikuüksuste loomiseks, kuid sellega lisandub aina rohkem subjektiivsust nende piiritlemisel. Samas on maastiku klassifitseerimine oma olemuselt juba vägagi subjektiivne tegevus, mille täitmiseks peaks GIS olema pigem abivahend.

Käesolevas töös ei pööratud niivõrd tähelepanu moodustunud klasside põhjalikumale kirjeldusele, mis võiks olla koostöös maastikuteadlastega edaspidiste uurimuste üheks eesmärgiks. Näiteks, kui jaotada erinevad klasteranalüüsi klassid maastikurajoonideks, on võimalik anda juba üksikasjalikum ülevaade nende sisust, arvestades maastikul vägagi varieeruvat maakatte ja mulla iseloomu.

KOKKUVÕTE

Maastiku klassifitseerimine on Eestis pikaajalise traditsiooniga. Samas põhinevad senised tööd subjektiivsel lähenemisel, mis võivad seetõttu olla ebatäpsed. Maastiku klassifitseerimine võib kasulik olla mitmel põhjusel, nagu näiteks maastikuplaneerimine, keskkonnaprotsesside hindamine ja haridus. Viimastel aastatel on maailmas aina enam kasutust leidnud geoinfosüsteemide-põhine ja seekaudu kvantitatiivsem maastiku klassifitseerimine, mistõttu on antud töös kasutatud kvantitatiivset lähenemist. Töö eesmärgiks oli analüüsiks vajaminevate andmete töötlemine ja kontrollimine ning maastiku klassifikatsiooniks meetodika väljatöötamine.

Käesolevas töös kombineeriti kahe geoinfosüsteemi (SAGA GIS ja ArcGIS) andmetöötluskeskkonna võimalused. SAGA GIS-ga töötati välja klassifikatsiooni jaoks vajalikud reljeefi indeksid ja automatiseeritud maastiku klassifikatsioonid. ArcGIS-ga viidi läbi põhjalikum analüüs kahe maastikukaardi koostamiseks: esimene neist oli reljeefi-põhine ning teisele lisati kontrastsus-skaalale viidud mulla ja maakatte andmed.

Automatiseeritud maastiku klassifikatsioonid osutusid sobivamaks väiksemate maastikuüksuste ja mikroreljeefi kirjeldamiseks ja tuvastamiseks. Samas leiti, et Iwahashi ja Pike'i (2007) klassifikatsioon suudab suhteliselt hästi eristada maastikutüüpe ning parameetrite valikuga katsetamine võib aidata kaasa ka arusaadava maastikukaardi loomisele. Statistilise analüüsi (peakomponent- ja klasteranalüüsi) käigus valminud maastikukaardid olid märgatavalt mõjutatud kõrgusest, eristades seetõttu nähtavalt madalikke ja kõrgustikke. Samas olid kõveruste faktorlaadungid peakomponentide kirjeldamisel peaaegu olematud. Kui analüüsi lisati mulla ja maakatte andmed, ilmnisid ka juba mitmekülgsemad maastikuüksused, mis tõi välja regionaalseid maastikumustreid. Samas võiks maastikuüksuste põhjalikum tõlgendamine ja tulemuste valideerimine olla juba edaspidiste uurimuste ülesanne.

Lõpetuseks on antud töö vaid üks vaatenurk geograafia teadusteamale. Ühtlasi tuleb ka rõhutada, et ka kvantitatiivse ja objektiivsust taotleva klassifikatsiooni tulemused sõltuvad väga palju alusandmete valikust, GIS-i töövahenditest ja selle parameetrite konfiguratsioonist. Sellegipoolest peaks antud töö statistilise andmetötluse käigus loodud meetodika olema kergesti korratav.

Landscape classification based on quantitative methods

Andres Kasekamp

SUMMARY

Landscape classification in Estonia has a long tradition. However, the studies are based on subjective approaches, which makes them inaccurate. The landscape classification may be useful for many reasons, e.g. landscape planning, evaluation of environmental processes, and education. During recent years, GIS-based quantitative classifications have grown in popularity, which is why the following thesis is based on a quantitative approach. The aim of this thesis was to process and examine data considered necessary for the analysis, and to develop the methodology for the generation of landscape maps.

In this thesis, the capabilities of two GIS softwares (SAGA GIS and ArcGIS) data processing environments have been combined. SAGA GIS was used to generate the relief indices and the automated landscape classifications. ArcGIS was used to generate two landscape maps, with first of them being based only on relief, while the second included reclassified soil and land cover data.

Automatic landscape classifications were found to be more suitable for the delineation and identification of smaller landscape units and microrelief. However, the Terrain Surface Classification (Iwahashi and Pike 2007) was found to have been relatively good at distinguishing landscape types, and experimentation with different configurations may lead to a creation of a coherent landscape classification. The landscape maps that were generated with principal component analysis and cluster analysis were found to have been noticeably influenced by elevation, which therefore made the lowlands and heights visibly distinguishable. However, the factor loadings of curvatures were almost non-existent. When soil and land cover data was added to the analysis, multifaceted landscape units became more evident, which brought out certain regional landscape patterns. However, the comprehensive interpretation of landscape units and the validation of results should be the purpose of future studies.

The ideas presented in the following thesis are only one of several ways to approach the topic. In addition, it has to be emphasized that even with quantitative and objective classifications the results are strongly influenced by the primary data, the selected GIS software and the configuration of its parameters. However, the methodology which was created during the statistical analysis chapters of the present thesis should be readily repeatable.

KASUTATUD KIRJANDUS

Arold, I. 2005. Eesti maastikud. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Aunap, R., Uuemaa, E., Roosaare, J., Mander, Ü. 2006. Spatial correlograms and landscape metrics as indicators of land use changes. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 89, 1-9.

Bastian, O. 2000. Landscape classification in Saxony (Germany) – a tool for holistic regional planning. *Landscape and Urban Planning*, 50(1-3), 145-155.

Burnett, C., Blaschke, T. 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168(3), 234-235.

Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991-2007.

Demšar, U., Harris, P., Brunson, C., Fotheringham, S. A., McLoone, S. 2012. Principal Component Analysis on Spatial Data: An Overview. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(1), 7-9.

Di Gregorio, A. 2016. Land Cover Classification System: Software version 3. Rooma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp 3-6.

Dikau, R. 1988. Entwurf einer geomorphographisch-analytischen Systematik von Reliefeinheiten. *Geographisches Inst. der Univ.*

Evans I. S. 1980 An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 36, 274-295.

Fairbanks, D. H. K., Benn, G. A. 2000. Identifying regional landscapes for conservation planning: a case study from KwaZulu-Natal, South Africa. *Landscape and Urban Planning*, 50(4), 237-257.

Förster F., Großmann R., Iwe K., Kinkel H., Larsen A., Lungershausen U., Matarese C., Meurer P., Nelle O., Robin V., Teichmann, M. 2012. What is Landscape? Towards a Common Concept within an Interdisciplinary Research Environment, *eTopoi. Journal for Ancient Studies*, 3, 173.

- Garcia-Quintana, A., Martin-Duque, J. F., Gonzalez-Martin, J. A., Garcia-Hidalgo, J. F., Pedraza, J., Herranz, P., Rincon, R. 2005. Geology and rural landscapes in central Spain (Guadalajara, Castilla—La Mancha). *Environmental geology*, 47(6), 782-794.
- Haines-Young, R. H. 1992. The use of remotely-sensed satellite imagery for landscape classification in Wales (U.K.). *Landscape Ecology*, 7(4), 254, 268.
- Haugas, M. 2010. Maastiku visuaalsuse hindamine maastikumeetrika ja fotode abil. Magistritöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.
- Hengl, T., Reuter, H. I. 2009. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. *Developments in Soil Science*, 33, 229-247.
- Hogg, T. O., Huvenne, A. I. V., Griffiths, J. H., Dorschel, B., Linse, K. 2016. Landscape mapping at sub-Antarctic South Georgia provides a protocol for underpinning largescale marine protected areas. *Scientific Reports*, 6, 1-14.
- Horn, B. K. 1981. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, 69(1), 14-47.
- Jenness, J. 2013. DEM Surface Tools for ArcGIS. Flagstaff, AZ: Jenness Enterprises, pp 42-43, 49, 75-92.
- Johanson, J. K., Butler, N. R., Bickford, C. I. 2016. Classifying Northern New England Landscapes for Improved Conservation. *Rangelands*, 38(6), 357-359.
- Kabacoff, R. I. 2011. *R in Action*. Sheleter Island, NY: Manning Publications Co., pp 331-335.
- Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and psychological measurement*, 20(1), 141-151.
- Klinger, R., Schwanghart, W., Schütt, B. 2011. Landscape Classification using Principal Component Analysis and Fuzzy Classification: Archaeological Sites and their Natural Surroundings in Central Mongolia. *DIE ERDE—Journal of the Geographical Society of Berlin*, 142(3), 213-233.
- Klijn, F., de Haes, H. A. U. 1994. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification. *Landscape Ecology*, 9(2), 93-97.

- Li, G., Zhang, B. 2017. Identification of landscape character types for trans-regional integration in the Wuling Mountain multi-ethnic area of southwest China. *Landscape and Urban Planning*, 162, 25-35.
- Marušič, J. 1999. Landscape Typology as the Basis for Landscape Protection and Development. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 64(4), 271.
- Manzanares, J. A., Alvarez, J. M. M. 2014. Landscape classification of Huelva (Spain): An objective method of identification and characterization, 76(279), 447-471.
- Memarsadeghi, N., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Le Moigne, J. 2007. A Fast Implementation of the ISODATA Clustering Algorithm. *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 17(1), 2-4.
- Mitchell, N., Rossler, M., Tricaud, P. M. 2009. World Heritage papers 26. köide. World Heritage Cultural Landscapes: A Handbook for Conservation and Management. Pariis: UNESCO.
- Mücher, C. A., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Klijn, J. A., Koomen, A. J. M., Metzger, M. J., Wascher, D. M. 2003. Identification and Characterisation of Environments and Landscapes in Europe. *Alterra*, 9-88.
- Pae, T. 2018. Maastikukaardid. Eesti rahvusatlas (avaldamata). Autorile antud.
- Palang, H., Sooväli, H. 2001. Maastik: loodus ja kultuur. Maastikukäsitlusi Eestis. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Peil, T., Sooväli, H., Palang, H., Oja, T., Mander, Ü. 2004. Estonian landscape study: contextual history. *Belgeo, Revue belge de géographie*, 2-3, 231-244.
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., Elliot, R. 1999. A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. *International Journal of Sciences*, 5(1-4), 23-26.
- Roberts, A. 2001. Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons. *First break*, 19(2), 85-100.
- Romportl, D., Chuman, T. 2012. Present Approaches to Landscape Typology in the Czech Republic. *Journal of Landscape Ecology*, 5(3), 24-25.
- Schmidt, J., Hewitt, A. E. 2004. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 121(3-4), 243-256.

- Servinski, M., Valgma, Ü., Hänilane, B., Otsing, M-L. 2013. Rahvastiku paiknemine ja rahvaarv. Pilte rahvaloendusest. Census Snapshots, 9-22.
- Swanwick, C. 2002. Landscape Character Assessment Guidance for England and Scotland. London: The Countryside Agency and Scottish Natural Heritage.
- Zevenbergen, L. W., Thorne, C. R. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), 47-56.
- Tan, P. N., Steinbach, M., Kumar, V. 2005. Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms. *Introduction to Data Mining*, 490-491.
- Tisma, A., van der Velde, R., Nijhuis, S., Pouderoijen, M. 2013 A method for metropolitan landscape characterization; case study Rotterdam. *Landscape metropolis*, 1(1), 204.
- Tudor, C. 2014. An Approach to Landscape Character Assessment. London: Natural England.
- Uemaa, E., Roosaare, J., Kanal, A., Mander, Ü. 2008. Spatial correlograms of soil cover as an indicator of landscape heterogeneity. *Ecological Indicators*, 8(6), 783-794.
- Wascher, D. M. 2005. European Landscape Character Areas: typologies, cartography and indicators for the assessment of sustainable landscapes. *Landscape Europe*, 1-121.
- Wood, J. 1996. The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models. Dissertatsioon. University of Leicester, Department of Geography, 112-130.

Internetiallikad:

- Ahas, R., Albre, N. 2001a. Pinnamood. [http://www.estonica.org/et/Loodus/Asend ja looduslikud tingimused/Pinnamood/](http://www.estonica.org/et/Loodus/Asend_ja_looduslikud_tingimused/Pinnamood/) (viimati vaadatud 03.05.2018).
- Ahas, R., Albre, N. 2001b. Pinnakate ja mullad. [http://www.estonica.org/et/Loodus/Asend ja looduslikud tingimused/Pinnakate ja mullad/](http://www.estonica.org/et/Loodus/Asend_ja_looduslikud_tingimused/Pinnakate_ja_mullad/) (viimati vaadatud 03.05.2018).
- Copernicuse kodulehekül. 2018. CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (viimati vaadatud 02.05.2018).
- Eesti geograafia CD. 2000. <http://www.geo.ut.ee/kooligeo/EGCD/opik/juts/juts.html> (viimati vaadatud 21.05.2018). Autorile antud.
- Eesti Riiklik Turismiarengukava. 2013. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. <https://www.riigiteataja.ee/akt/319112013015> (viimati vaadatud 03.05.2018).

Keskkonnaagentuuri kodulehekül. 2014. Image & CORINE Land Cover 2000.
<http://www.keskkonnainfo.ee/main/index.php/et/meist/projektid/corine-land-cover> (viimati vaadatud 03.05.2018).

Keskkonnaministeeriumi kodulehekül. 2018. Euroopa maastikukonventsioon.
<http://www.envir.ee/et/euroopa-maastikukonventsioon> (viimati vaadatud 06.04.2018).

Maa-ameti kodulehekül. 2017. Mullastiku kaart. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Mullastiku-kaart-p33.html> (viimati vaadatud 02.05.2018).

Maa-ameti kodulehekül. 2018. Kõrgusmodelid. <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed/Korgusmodelid-p508.html> (viimati vaadatud 02.05.2018).

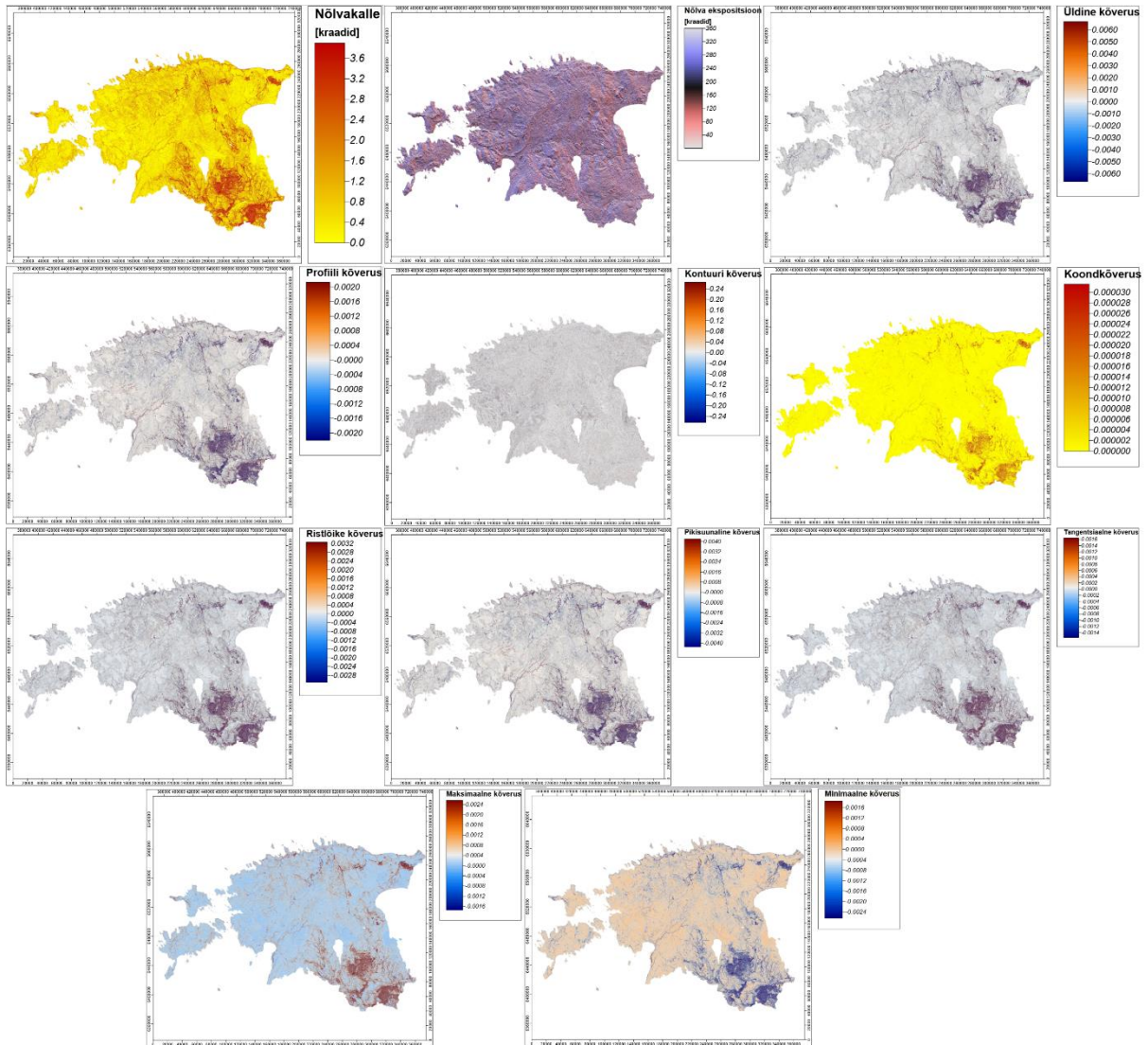
Maa-ameti kodulehekül. (i.a). Andmed ja kaardid.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid-p1.html> (viimati vaadatud 06.05.2018).

Riigi Ilmateenistuse kodulehekül. (i.a). <https://www.ilmateenistus.ee/> (viimati vaadatud 03.05.2018).

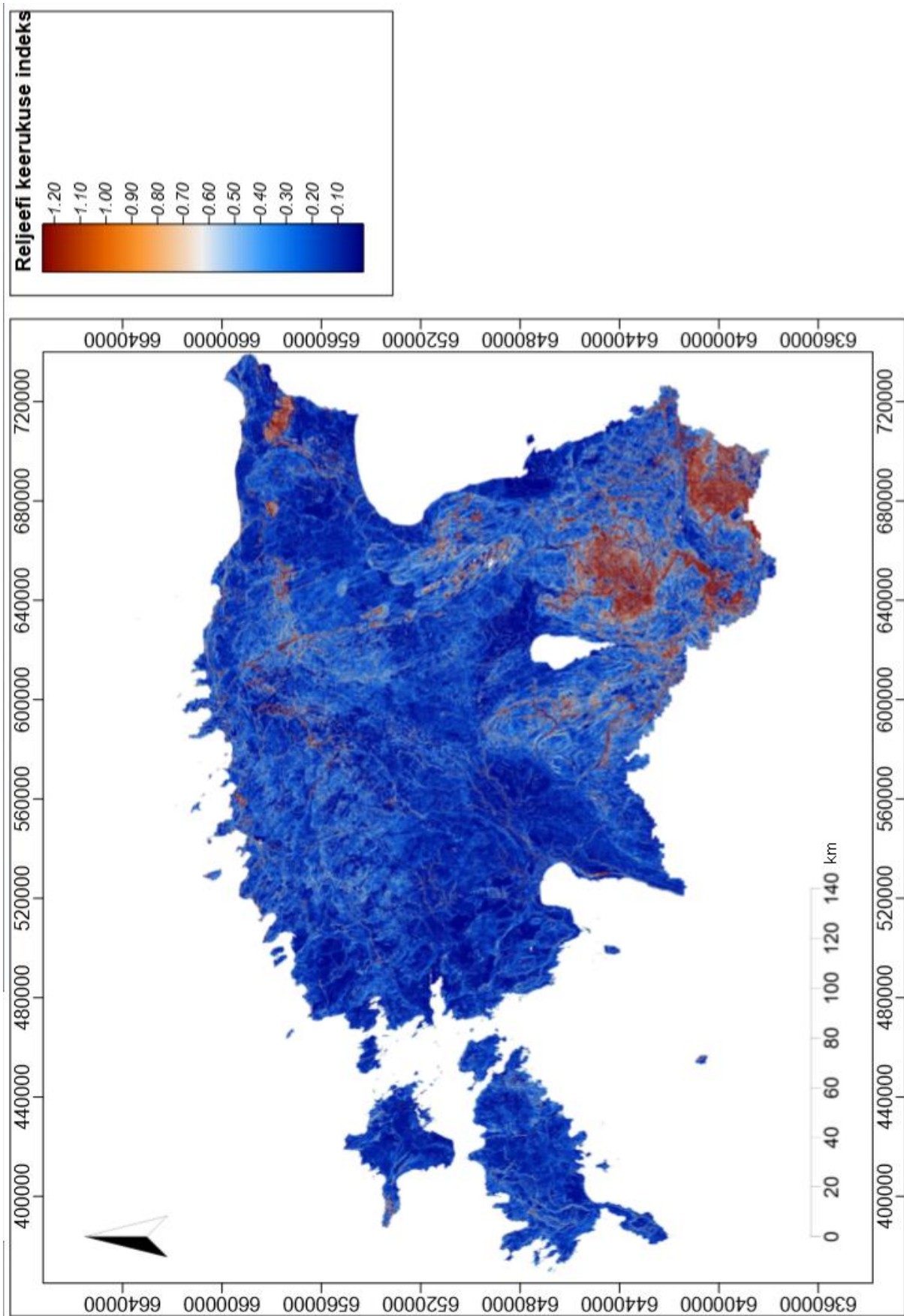
Statistika andmebaas. (i.a). <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp> (viimati vaadatud 23.05.2018).

LISAD

LISA 1. Zevenbergeni ja Thorne'i (1987) nõlvakalde, nõlva ekspositsiooni ja kõveruste klassifikatsioonid.



LISA 2. Riley *et al.* (1999) reljeefi keerukuse indeks.



Lisa 3. Reljeefi indekseite korrelatsioonimaatriks.

Muutuja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Reljeefi keerukuse indeks (1)	1	0.96	0.32	0.10	0.04	-0.02	0.52	-0.46	-0.03	0.11	0.50	0.00
Nõlvakalle (2)	0.96	1	0.33	0.08	0.02	-0.02	0.43	-0.39	-0.03	0.09	0.36	0.00
Kõrgus (3)	0.32	0.33	1	0.04	0.02	0.00	0.16	-0.13	-0.01	0.04	0.09	0.00
Ristiõike kõverus (4)	0.10	0.08	0.04	1	0.86	0.59	0.69	0.60	0.57	0.99	0.10	0.02
Üldine kõverus (5)	0.04	0.02	0.02	0.86	1	0.92	0.75	0.76	0.91	0.81	0.07	0.01
Pikisuunaline kõverus. (6)	-0.02	-0.02	0.00	0.59	0.92	1	0.65	0.74	0.99	0.53	0.03	0.01
Maksimaalne kõverus (7)	0.52	0.43	0.16	0.69	0.75	0.65	1	0.14	0.64	0.66	0.51	0.01
Minimaalne kõverus (8)	-0.46	-0.39	-0.13	0.60	0.76	0.74	0.14	1	0.73	0.56	-0.41	0.01
Profili kõverus (9)	-0.03	-0.03	-0.01	0.57	0.91	0.99	0.64	0.73	1	0.49	0.02	0.01
Tangentsiaalne kõverus (10)	0.11	0.09	0.04	0.99	0.81	0.53	0.66	0.56	0.49	1	0.10	0.02
Koondkõverus (11)	0.50	0.36	0.09	0.10	0.07	0.03	0.51	-0.41	0.02	0.10	1	0.00
Kontuuri kõverus (12)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	1

Lisa 4. Reljeefi indeksite, mulla ja maakatte korrelatsioonimatriks.

Muutuja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ristlõike kõverus (1)	1	0.86	0.59	0.69	0.6	0.57	0.99	0.1	-0.05	0	0.02	0.08	0.1	0.04
Üldine kõverus (2)	0.86	1	0.92	0.75	0.76	0.91	0.81	0.07	-0.06	0.01	-0.08	0.02	0.04	0.02
Pikisuunaline kõverus (3)	0.59	0.92	1	0.65	0.74	0.99	0.53	0.03	-0.05	0.01	-0.14	-0.02	-0.02	0
Maksimaalne kõverus (4)	0.69	0.75	0.65	1	0.14	0.64	0.66	0.51	-0.15	0.05	-0.38	0.43	0.52	0.16
Minimaalne kõverus (5)	0.6	0.76	0.74	0.14	1	0.73	0.56	-0.41	0.06	-0.04	0.26	-0.39	-0.46	-0.13
Profili kõverus (6)	0.57	0.91	0.99	0.64	0.73	1	0.49	0.02	-0.05	0.01	-0.14	-0.03	-0.03	-0.01
Tangentsiaalne kõverus (7)	0.99	0.81	0.53	0.66	0.56	0.49	1	0.1	-0.05	0	0.04	0.09	0.11	0.04
Koondkõverus (8)	0.1	0.07	0.03	0.51	-0.41	0.02	0.1	1	-0.07	0.02	-0.42	0.36	0.5	0.09
Muld (9)	-0.05	-0.06	-0.05	-0.15	0.06	-0.05	-0.05	-0.07	1	-0.19	0	-0.29	-0.26	-0.08
Maakate (10)	0	0.01	0.01	0.05	-0.04	0.01	0	0.02	-0.19	1	-0.13	0.17	0.14	0.12
Kontuuri kõverus (11)	0.02	-0.08	-0.14	-0.38	0.26	-0.14	0.04	-0.42	0	-0.13	1	-0.4	-0.46	0.11
Nõlvakalle (12)	0.08	0.02	-0.02	0.43	-0.39	-0.03	0.09	0.36	-0.29	0.17	-0.4	1	0.96	0.33
Maastiku keerukuse indeks (13)	0.1	0.04	-0.02	0.52	-0.46	-0.03	0.11	0.5	-0.26	0.14	-0.46	0.96	1	0.32
Kõrgus (14)	0.04	0.02	0	0.16	-0.13	-0.01	0.04	0.09	-0.08	0.12	0.11	0.33	0.32	1

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Andres Kasekamp,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kvantitatiivsetel meetoditel põhinev maastiku klassifitseerimine“,

mille juhendaja on Evelyn Uuemaa,

- 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.

Tartus, **25.05.2018**