

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

Ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid ja nende täpsus Eestis

Kermo Kaio

Juhendaja: PhD Evelyn Uuema

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2019

Annotatsioon

Ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid ja nende täpsus Eestis

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli anda maailmas ja Eestis tehtud ajaloolise maakatte rekonstruktsioonidest ülevaade ning analüüsida HILDA kui ühe detailseima rekonstruktsiooni täpsust Eesti alal. HILDA suure resolutsiooni tõttu (1 km) ei leidu sarnast rekonstruktsiooni, millega oleks võimalik ka Eesti maakatte muutusi täpsemalt vaadelda. HILDA täpsuse vaatlemisel uurisin andmestiku trende teadaolevate Eesti maakatte muutuste trendidega. Lisaks sellele võrdlesin HILDA rekonstruktsiooni CORINE andmestikuga, tegin detailse analüüsi Saaremaa ja Muhu territooriumil ning analüüsisin metsamaa andmestikku. Analüüsist selgus, et HILDA rekonstruktsiooni kõige ebatäpsem klass oli põllumaa ja kõige täpsem mets. Samuti oli võimalik järeldada ebatäpsuse suurenemist ajas tagasi minemisel.

Märksõnad: HILDA, ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid, maakatte muutused

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

Abstract

Historic land cover/use reconstruction and their accuracy in Estonia

The aim of the thesis was to give an overview of available historic land cover/use reconstructions and to observe the accuracy of HILDA, one of the most detailed historic Europe land cover/use reconstructions, in Estonia. HILDA's 1 km spatial resolution gives the most information about Estonia's land cover changes. To understand the accuracy of HILDA, I analysed the data with known trends of historical land cover/use change in Estonia, compared the data with CORINE data set, did a detailed analysis of a smaller region in Estonia and compared forest data to digitalized forest data from Soviet topographic maps. According to the study, the main weakness of HILDA was inaccurate cropland data, main strength was accurate forest data and HILDA's accuracy worsened the more further back in time the data set went.

Keywords: HILDA, historic land cover/use reconstructions, land cover/use changes

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

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teooria	5
1.1 Maastik	5
1.1.1 Maastiku muutused	6
1.1.2 Eesti maastike muutused 20. sajandil.....	7
1.2 Muutuste hindamine ja modelleerimine	8
1.2.1 Ajaloolise maakatte rekonstrueerimine	11
2. Eesti ajaloolise maakatte rekonstruktsioon HILDA näitel	24
2.1 Meetodid ja andmed	24
2.2. Tulemused ja arutelu	25
2.2.1 Eesti ajalooline maakatte rekonstruktsioon HILDA põhjal	25
2.2.2 HILDA versus CORINE	28
2.2.3 Detailne analüüs	33
2.2.4 Metsamaa analüüs	40
Kokkuvõte	44
Summary	45
Tänuavaldused.....	47
Kasutatud kirjandus.....	48
Lisad 1-3.....	53

Sissejuhatus

Maakasutuse mineviku rekonstrueerimine või tuleviku prognoosimine võimaldab meil teha edasisi uuringuid mitmetes erinevates teemades nagu näiteks keskkonna ja ökoloogia hindamistes. Üleüldiselt on maakasutuse muutus üks põhilisemaid tegureid, millega keskkonda mõjutatakse, mistõttu selle uurimine ja analüüs on oluline ja aktuaalne. Meil on olemas väga täpne informatsioon maakasutuse muutustest, kuid seda ainult viimaste dekaadide kohta. Probleemiks on aga täpse ja adekvaatse maakasutuse muutuste andmestiku puudumine ajaloo kohta, mistõttu ei ole võimalik hinnata selle täpset mõju kliima muutustele ja ka näiteks kasvuhoonegaasidele (Fuchs *et al.* 2013). Ajaloolist maakatet on püütud mitmel moel rekonstrueerida. Põhilisemad neist on näiteks mustripõhised rekonstruktsioonid, mille eesmärk on eelkõige kasvuhoonegaaside ja keskkonna uurimine (Houghton, 1999; Goldewijk *et al.* 2007), agendipõhised rekonstruktsioonid, mille eesmärgiks on eelkõige aru saada maakasutuse seosest sotsiaal-majanduslike protsessidega (Kohler *et al.* 2005; Macmillan ja Huang, 2008) ja hübriidsed rekonstruktsioonid, mille tegemisel on kasutatud erinevaid meetodeid ja mille eesmärgiks on eelkõige maastiku muutuste mustri uurimine (Etter *et al.*, 2008; Yu *et al.* 2012). Üks kõige parema resolutsiooniga ajaloolistest maakatte rekonstruktsioonidest on HILDA (The Historic Land Dynamics Assessment), mis on uudsem käsitlus maakasutusest ja selle muutustest läbi ajaloo (Fuchs *et al.* 2013). Andmekogumis on rekonstrueeritud Euroopa ajalooline maakate ühtse metoodika abil. Selle tulemuseks on ühtlasi adekvaatsem ja täpsem informatsioon Euroopa maakasutuse muutustest läbi ajaloo, mida saaks kasutada erinevatel vajalikel keskkonna uuringutel.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on anda ülevaade maailmas ja Eestis tehtud ajaloolise maakatte rekonstruktsioonidest ning vaadelda täpsemalt ühe detailseima andmestiku HILDA täpsust Eesti alal.

1. Teooria

Maakasutuse uurimisega käib käsi-käes mõiste maastik. Kuna maastiku käsitlusi ja mõistelisi selgitusi on väga palju, siis teooria esimeses osas annan ülevaate maastiku käsitlusest. Lisaks maastiku käsitlusele annan ka üldise ülevaate, kuidas on maastiku muutusi uuritud ning milline on Eesti maastike muutuste ajalugu 20. sajandil. Viimane on ühtlasi abiks HILDA põhjal Eesti ajaloolise maakatte muutuste trendide uurimisel. Teooria teine osa annab ülevaate maakatte rekonstruktsioonidest ja meetoditest, kuidas on maakatte rekonstruktsioone modelleeritud.

1.1 Maastik

Maastik on geograafias väga oluline mõiste, mida defineeritakse vastavalt erialadele erinevalt. Alapeatükk annab lühikese, kuid täpse ülevaate, kuidas maastiku mõistet on kirjeldatud ja milline kirjeldus sobiks kõige paremini minu töö konteksti.

Alustades kõige üldistavamalt, siis maastikku on defineeritud kui teatud ala vaateväljas olevat välisilme, värvide ja vormide laadi (Arold, 1991). Maastikku võib mõista ka kui kindla suurusega territooriumi, mida iseloomustavad erinevad tunnused (Aleksand, 1995). Olenevalt teemast või valdkonnast, on maastike liigitamisel erinevate tunnustega palju erinevaid viise. Maastike on käsitletud ka ruumina, näiteks M. Lendi ja H. Elsasser (1991) on defineerinud maastikku maa ruumiosana, mida eristatakse ümbrusest ja millel on spetsiifiline struktuur, elemendid ja areng, mis määravad maastiku olemuse (Aleksand, 1995). Edgar Kant (1931) nägi aga maastikku kultuurilise, poliitilise ja sotsiaalse struktuuri osana, mistõttu näeb igauks seda erineval ideoloogilisel viisil.

Maastikuelemendid saab kõige üldisemalt jaotada looduslikeks ja inimtekkelisteks. Ürgses loodusmaastikus puudusid inimtekkelised maastikuelemendid. Sellist maastikut võib defineerida geokompleksina, kus geosfääride (litosfäär, biosfäär, hüdrofäär ja atmosfäär) osavõtul, nende vastastikutel seostel ja mõjutustel on kujunenud muutlik süsteem ja struktuur (Arold, 1991). Käsitletav kirjeldus maastikust kui geokompleksist ei määra maastikku ruumiliselt ja territoriaalselt, mistõttu mõiste maastik võib olla erinevates suurusjärgudes – maastik võib olla nii taimestik kui ka mets (Aleksand, 1995). Samas võime maastiku kui geokompleksi piiritleda territoriaalselt, mistõttu maastik oleks kindla suurusjärguga maastikuline üksus, mis eelkõige vastaks paikkonna tähendusele (Mander, 2001).

Maastiku saab vaadelda ka kui hierarhilist jada, mis koosneb maastikulistest üksustest. Kõige tavalisem jada koosneb paigasest, paigastikust ja loodusgeograafilisest rajoonist (Mander,

2001). Hierarhilises jadas võib maastikku iseloomustada ka mõiste paik ehk faatsies. Antud mõisted tähendavad järgmist:

- Paik ehk faatsies – maastikuüksus, mis on kujunenud ühe reljeefielemendi piires (näiteks mäe jalamil). Seal esineb sarnane pinnas, taimekooslus, kliima ja veerežiim. Tegemist on kõige väiksema territoriaalse üksusega. (Alekan, 1995)
- Paigas – maastikuüksus, mis on kujunenud ühel pinnavormil (näiteks mäel, nõos) paikade süsteemina. Paigas koosneb mitmest faatsiesest (faatsies ehk paik). (Alekan, 1995)
- Paigastik ehk paikkond – maastikuüksus, mis on kujunenud loodusliku teguri poolt. See ühendab paigased ja selle paigad ühtseks paikkonnaks. (Alekan, 1995)
- Loodusgeograafiline rajoon – maastikuüksus, mis on kujunenud reljeefi suurvormil, näiteks kõrgustik, madalik. (Arold, 2005)

Hierarhiliste jadade alusel saab Eesti territooriumi jagada maastikuüksuste poolt rajoonidesse, mida on teinud näiteks J. G. Granö (1922) ja E. Varep (1975) (Alekan, 1995).

Tänapäeval saame mõista maastikku kõige paremini inimese eluruumina. Sellise käsitluse kohaselt oleks maastik koherentne piirkond, mis on tekkinud looduslike ja inimtekkeliste tegurite koosmõjul (Washer, 2000).

Maastikud muutuvad pidevalt ja nad on dünaamilised (Sinijärv, 2001). Kui aastatuhandeid tagasi muutsid maastikke peamiselt loodustegurid, siis tänapäeval on selleks inimtegurid. On isegi väidetud, et ei ole enam ühtegi maastiku, mida ei mõjutaks inimene (Jones, 1991). Inimtegevuse tõttu on aga tekkinud mõiste kasutusmaastik, mida mõistetakse kui inimese poolt muudetud maastikku kasutamise eesmärgil (Alekan, 1995). Kasutusmaastik sarnaneb käsitlusele maastikust kui inimeste eluruumist. Geoinfosüsteemide seisukohalt on erinevad arusaamad maastikust väljakutseks maastike modeleerimisele, kuna peab täpselt mõtestama, kuidas andmeid struktureeritakse ja käsitletakse (Aunap, 2007). Minu bakalaureusetöö kontekstist lähtuvalt saame klassifitseerida HILDA andmestiku maastikke kasutusviiside järgi, näiteks asulamaastikud, põllumajandusmaastikud ja metsamaastikud. Maastik oleks lähtuvalt töö kontekstist ala, mida iseloomustavad spetsiifilised tunnused ja iseloomujooned ja mida kasutatakse erinevalt.

1.1.1 Maastiku muutused

Teadmine põhilistest teguritest mis mõjutavad maastiku protsesse ja muutusi, võimaldavad meil seirata maastike hetkeolukorda, taastada mineviku olukorda ja ennustada tuleviku muutusi ning

arengut (Aunap, 2007). Samas põhijõudude eristamine on üsna raske, kuna igat maastikku võivad peamiselt mõjutada erinevad tegurid– ühe lüli (vegetatsiooni, veerežiimi jne) muutus võib mõjutada tervet maastikku (Roose et al. 2007). Muutuste seiramisel on tähtis muutuste tuvastamine, muutuste pindala arvutamine ja muutuste ruumianalüüs (Macleod ja Congalton, 1998). Maastike muutusi uurides on oluline valida piisavalt pikk ajavahemik, kuna ilma selleta on raske või isegi võimatu muutust tuvastada. Maastike muutuste uurimine on oluline, kuna selle muutused inimtegevuse mõjul on tänapäeval üks suurimaid atmosfääri süsihappegaasi suurendajaid (Van der Werf *et al.* 2009).

1.1.2 Eesti maastike muutused 20. sajandil

Eesti peamised maastiku muutuste sektorid on mets ja põllumaa, mistõttu Eesti maastiku väljanägemine sõltub just nende kahe arengust (Palang, 1998).

19. sajandi lõpuks oli Eesti aladel metsasus langenud 19,8%-ni, mistõttu hakati metsastamisega parandama halba olukorda. Metsamaastike taastamiseks hakati metsastama isegi mõisapõlde. Esimese maailmasõja ajal toimus aga metsade röövmajandamine, mistõttu 19. sajandi lõpus plaanitud metsade taastamine sai suure tagasilöögi. (Alekan, 1995)

Peale asulate osakaalu suurenemisele kavandati esimese Eesti riigi ajal (1918-1940) hulgaliselt töid, mis mõjutasid Eesti maastike. Rohumaad, mis Eesti puhul asuvad märjematel aladel, kuivendati ning nende pinda tasandati. Lisaks sellele süvendati jõgesid ja rajati magistraalkraave. Metsamaastikke endiselt raiuti rohkem kui neid taastati, seda eelkõige 1919. aastal loodud maareformi tõttu, mille tulemusel ehitati ligi 56 000 talu. (Alekan, 1995)

1930ndatel aga asuti metsamaastikku taastama eelkõige uute metsade rajamise ja metsade kuivendamisega. 1930ndate lõpuks pandi alus üle 16 000 ha suuruse uue metsamaastiku arengule. 1939. aastaks oli maakatastri andmetele tuginedes Eestis ligi 1627 tuhat ha karja- ja heinamaad, 900 tuhat ha metsa, 1118 tuhat ha põllu- ja aiamaad ning 350 tuhat ha kuivendatud põllumajandusmaad. (Alekan, 1995)

Pärast teist maailmasõda kasvas metsamaa, kuna toimus looduslik metsastumine ja mahajäetud põllumaad metsastati (Fuchs *et al.* 2013). 1941. ja 1949. aastal toimunud küüditamised panid aluse põllumajanduse allakäigule, kuna jäeti maha mitmed tuhanded põllumaad (Palang, 1998). Kiiret põllumajanduse allakäiku üritati takistada maaparandusega, mille eesmärgiks oli haritava pinna laiendamine. Mahajäetud põllumaad võõrandati või need metsastati, millega omakorda pandi alus metsamaa kasvule (Alekan, 1995).

1965-1991 ajavahemikul hakati korda tegema allesolevad põllumaad, mis eeldas maade kuivendamist, jõgede reguleerimist ja magistraalkraavide kaevamist. Probleemiks oli aga keskendumine aladele, kus on parem infrastruktuur. Selle tagajärjel jäeti unarusse ääremaad ning need võsastusid, paremates piirkondades aga toimus põllumaade massiivistumine. Perioodi jooksul suurenes metsamaastiku pindala ning metsakorraldus muutus paremaks. Üleüldiselt 20. sajandi algusega võrreldes ei toimunud väga ulatuslikke muutusi põllumajandus- ja metsamaa sektorites. (Aleksand, 1995)

Maaparandustööde käigus küll parandati looduslikke rohumaid, kuid samal ajal vähenes põllumajandusmaastik. Põllumaadele keskendumine nõukogude ajal mõjutas Eesti maastikupilti üpris palju – eelnevad väikesed vahelduvad maastikud asendusid suurejooneliste ühtemoodi maastikega. (Palang, 1998)

Viimased uuringud on näidanud, et 20. sajandil on Eesti maastiku peamised muutused metsade kasv ning põllumaa ja poolloodusliku rohumaa vähenemine (Mander ja Palang 1994). Selliste trendide peamised sotsiaal-majanduslikud põhitegurid on olnud eelnevalt mainitud 1940ndatel toimunud küüditamised ning 1919, 1940, 1947 ja 1989. aastal loodud maareformid (Kaasik, 2014). Põhilisemad trendid 20. sajandil oli põllumajandusmaastiku langus 1918. aastal 65%-lt 1994. aastaks 30%-le ja metsamaastiku kasv vastavalt 21%-lt 43%-le. See vaheldus maakonniti, näiteks Saaremaal ulatus põllumajandusmaa osakaal 88%-ni. Pärast teist maailmasõda toimus aga suur põllumajandusmaa langus, mida iseloomustas näiteks rannikualadel kõigest 20%-ne põllumajandusmaa osakaal. 1980ndateks aga suudeti stabiliseerida muutused põllumaa sektoris. (Palang, 1998)

1.2 Muutuste hindamine ja modelleerimine

Ajaloolise maakatte rekonstrueerimisel kasutatakse kolme põhilist andmeallikat – statistilised andmed, vanad kaardid ja kaugseire andmed. Probleem seisneb selles, et ükski meetod ei ole piisavalt täpne. Nõukogudeaegsed statistilised andmed võivad Eesti puhul olla poliitilistel põhjustel moonutatud. Ka vanad kaardid võivad olla generaliseerimise tõttu ebatäpsed ja kaugseire andmed on ainult viimaste dekaadide kohta. (Palang, 1998).

Ajalooliste maakatte rekonstruktsioonide meetodid on võimalik jagada andmeallikate abil viieks – 1) ajaloolistele dokumentidele, 2) ajaloolistele kaartidele ning piltidele, 3) arhiividele, 4) mudelitele ja 5) mitmete meetodite ning andmeallikate tuginevad rekonstruktsioonid. (Yang *et al.* 2014)

Ajaloolised dokumendid annavad informatsiooni maakatte ja maakasutuse muutuste trajektooridest ja trendidest. Maakatte rekonstruktsiooni meetodeid, mis tuginevad ajaloolistele andmetele, on põhiliselt 2, millest ühe puhul tehakse kasulikust informatsioonist ühtlustatud andmestik ning teise puhul luuakse seos vajalike dokumentide ja mõjutavate tegurite vahel, näiteks seos karjamaa ja loomade arvu vahel. (Yang *et al.* 2014)

Ajaloolistele kaartidele ja piltidele tuginevad maakatte rekonstruktsioonid kajastavad maakatte muutuste mustreid ja muutust ajas. Maakatte rekonstruktsioone tehes võrreldakse näiteks ajaloolisi kaarte tänapäeva kaartidega, mille kaudu saadakse teada põhilised maakatte muutused ja selle trendid. Ajaloolised pildid, antud kontekstis eelkõige aerofotod on detailsemad kui kaardilt tulenev informatsioon. Maakatte muutuste uurimiseks on vaja ajaloolised kaardid ja pildid kõigepealt digitaliseerida. (Yang *et al.* 2014)

Arhiividele tuginevad maakatte rekonstruktsioonid kasutavad rekonstrueerimisel looduslike andmeid. Kasutatakse arhiive, mis sisaldavad loodusest tulenevaid andmeid nagu näiteks õietolmu, fütoliidi, süsi ja muu sellise kohta. Sellistele andmetele tuginevad maakatte rekonstruktsioonid võimaldavad teha mitme tuhande aasta taguseid analüüse. (Yang *et al.* 2014)

Mudelitele tuginevad maakatte rekonstruktsioonid olid algselt eelkõige seotud kliimaga. Alates 90ndatest on mudelid dünaamilisemad, kus muutused ajas on kombineeritud mustrite ruumianalüüsiga ning on kasutatud üha rohkem kaugseire andmeid. Lisaks sellele on hakatud muutusi seostama majanduslike, sotsiaalsete ja kultuuriliste elementidega. Mudelitele tuginevad maakatte rekonstruktsioonid koosnevad kahest osast – iga maakattetüübi kohta käivatest kvantitatiivsetest andmetest ning rekonstruktsioonist, mis kajastab kvantitatiivsetest andmetest tuleneva muutuste mustrit. (Yang *et al.* 2014)

Mitmetele meetoditele ja andmeallikatele tuginevad rekonstruktsioonid võimaldavad dünaamilisemat, suuremat ja täpsemat pilti maakatte ja maakasutuse muutustest. Enamik rekonstruktsioonidest saavad kasu mitmete meetodite ja andmeallikate kasutamisest. (Foster *et al.* 1996)

National Research Council (2014) on jaganud maastike ja maakasutuse muutuste modelleerimise meetodid vastavalt lähenemisviisile kuueks:

- Masinõppe ja statistilised meetodid – masinõppe meetodi puhul tarkvara tunneb ära ja kajastab maakatte muutuste mustri. Antud meetodid loovad seoseid erinevate andmeallikate vahel, millega kajastatakse maakatte muutus. Statistiliste meetodite puhul seostatakse eelkõige ruum ja aeg muutustega. Masinõppe ja statistilisi meetodeid

kasutatakse üldjuhul siis, kui on andmestikus näha selget muutuste mustrit, kuid on vähene teadmine selle muutuse põhjustajatest.

- Rakk-automaat (*Cellular automata*) – erinevate maakatte kaartide omavaheline kombineerimine arvestades põhilisi tegureid (näiteks arvestatakse muutuste sihtkohas kõrvalolevate maakattetiüüpide mõju), mis muutusi põhjustavad ning informatsiooni muutuste suuruse kohta. Rakk-automaat mudeleid kasutatakse eelkõige nende lihtsuse ja kättesaadavuse tõttu.
- Ruumiliselt jaotatud majanduslikud mudelid (*Spatially-Disaggregated Economic Models*) – ökonomeetriliste mudelite abil tuvastatakse muutuste põhjustajad. Mudelid kajastavad inimeste otsuste ja käitumise (näiteks poliitika, hinnad ja seadused) mõju maakasutusele. Selle abil on võimalik uurida näiteks põllumajandusmaa muutusi.
- Sektoripõhised majanduslikud mudelid (*Sector-Based Economic Models*) – mudelid, mis uurivad majandussektorite mõju maakasutusele. Mudelid eelkõige kajastavad tööjõu- ja kaubavoolude mõju maakasutusele. Selle abil on võimalik uurida näiteks põllumajandusmaa muutusi.
- Agendipõhine (*agent-based*) modelleerimine – inimtegevuse mõjul põhjustatud maakatte muutuste simuleerimine. Antud meetodis võivad agendid olla näiteks maaomanikud, farmerid ja immigrandid. Agentide otsused mõjutavad maakasutust ja otsustest tulenevaid protsesse võetakse arvesse muutuste kirjeldamisel, mistõttu muutuste ja selle põhjustajaid on kajastatud väga üksikasjalikult. Agendipõhist modelleerimist kasutatakse näiteks asulate maakasutuse muutuste analüüsimiseks.
- Hübriidne lähenemisviis – erinevate eeltoodud lähenemisviiside kombineerimine. Näiteks mõnel juhul ei ole masinõppe meetodi kasutamine piisav, mistõttu maakatte muutuste põhjustajate kirjeldamisel kasutatakse ka rakk-automaat meetodit.

Lähenemisviisid, mis põhinevad maakatte muutuste mustrite tuvastamisele, kirjeldavad maastiku muutuste ja muutuste tunnuste omavahelist seost (masinõppe meetod ja statistilised mudelid, *cellular*, hübriidsed mudelid). Agendipõhiseid mudeleid ja majanduslikke mudeleid kasutatakse rohkem sotsiaalteadustes ja need on keskendunud maakasutuse muutuste protsesside kirjeldamisele. (Chang-Martínez *et al.* 2015)

Majanduslikud mudelid nagu sektoripõhised (*sector-based*) ja ruumiliselt jaotatud (*spatially-disaggregated*) on abiks just inimese ja majanduse ning maakasutuse muutuste omavahelise seose uurimisele. (National Research Council, 2014)

Vastavalt eeltoodud lähenemisviisidele on võimalik ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid jaotada kolmeks (Chang-Martínez *et al.* 2015): mustripõhised (Houghton, 1999; Goldewijk *et al.* 2007; Chini *et al.* 2014), agendipõhised (Kohler *et al.* 2005; Macmillan ja Huang, 2008; Griffin ja Stanish, 2007) ja hübriidsed rekonstruktsioonid (Etter *et al.* 2008; Yu *et al.* 2012). Mustripõhised rekonstruktsioonid võivad kasutada masinõppe ja statistilisi, rakk-automaat või hübriidseid meetodeid.

Mustripõhised rekonstruktsioonid on tüüpiliselt tehtud erinevate maakatte kaartide kombineerimisel. Mustripõhiste rekonstruktsioonide eesmärk on maakatte muutuste mõju hindamine kliimamuutustele ja globaalsele soojenemisele. Selliste rekonstruktsioonide tegemisel on läbi töötatud mitme ajajärgu kaardid, mis käsitlevad kasvuhoonegaaside emissiooni ja selle mustrit. Kasvuhoonegaaside heidet on võimalik hinnata rahvastikutiheduse ja vegetatsiooni kaartidelt, mis võimaldavad hinnata ka näiteks metsaraiet. (Chang-Martínez *et al.* 2015)

Agendipõhiste rekonstruktsioonide eesmärk on maakasutuse muutuste ja sotsiaal-majanduslike protsesside omavahelise seose kirjeldamine ja uurimine. Üldjuhul on sellised rekonstruktsioonid tehtud väikese ala kohta – mõned kuni sajad ruutkilomeetrid. Suurem osa sellistest rekonstruktsioonidest kasutavad arheoloogilisi andmeid ja üritavad rekonstrueerida vanu tsivilisatsioone. (Chang-Martínez *et al.* 2015)

Hübriidsed rekonstruktsioonid võimaldavad leida maakatte muutuste mustreid kasutades erinevate meetodite kombinatsioone. Rekonstruktsiooni eesmärgiks on saavutada võimalikult täpne ja realistlik simulatsioon maastiku muutustest. (Chang-Martínez *et al.* 2015)

1.2.1 Ajaloolise maakatte rekonstrueerimine

Ajaloolise maakatte rekonstrueerimisel on 3 peamist motivaatorit: aru saamine, et inimene on üks osa maastiku ajaloost, suurenev huvi ajaloolisele maastiku muutustele ning soov taastada varasemad ökosüsteemid, mis olid varem paremas olukorras (Hayashida, 2005). Üleüldine ajaloolise maakatte rekonstruktsiooni eesmärk on suurte ajavahemike kaudu näha maastiku muutuste trende. See aitab minevikust aru saada, mis omakorda on vajalik, et saada täpset informatsiooni edasiste keskkonna muutuste kohta (Goldewijk *et al.* 2007). Ajaloolisi andmeid kajastavaid maakatte rekonstruktsioone on üpriski vähe: peamiselt Euroopas (Kaplan *et al.* 2009; Zanon *et al.* 2018), Hiinas (Li *et al.* 2009; Yu *et al.* 2012), Põhja- ja Lõuna-Ameerikas (Etter *et al.* 2008; Kumar *et al.* 2013; Sohl *et al.* 2016) (Chang-Martínez *et al.* 2015).

Enamik ajaloolisi maakatte rekonstruktsioone on seadnud eesmärgiks taastada pilt maastiku olukorrast kindlatel aastatel, mistõttu ei teki simulatsiooni muutustest läbi aja. See on ühtlasi vanemate rekonstruktsioonide probleemiks, kuna puudub dünaamilisus, mida viimased maakatte rekonstruktsioonid on üritanud parandada, et saavutada realistlikumad tulemused. (Chang-Martínez *et al.* 2015)

Paljud maakatte rekonstruktsioonid on liiga väikese resolutsiooniga, et Eestit vaadelda. Enamus rekonstruktsioone on suunatud laiemale piirkonnale, mistõttu Eestit kataks vaid mõni piksel või oleks ülevaade liiga üldine ja ebatäpne. Ainult kogu Eesti territooriumi kajastavat ajaloolist maakatte rekonstruktsiooni hetkel ei eksisteeri.

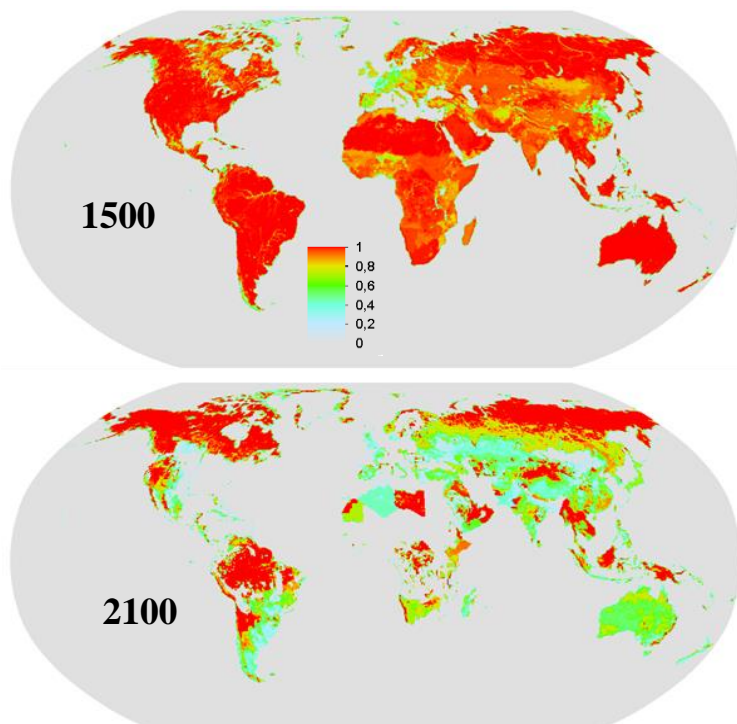
Antud peatükk jaotab olemasolevad ajaloolise maakatte rekonstruktsioonid globaalseks, Euroopa, riigi ja Eesti tasandiks.

1.2.1.1 Globaalsed maakatte rekonstruktsioonid

Mitmed globaalsed maakatte rekonstruktsioonid, nagu näiteks LUH2 (2014), ISLSCP II Historical Land Cover and Land Use (2007) ja paljud teised rekonstruktsioonid (Pongratz *et al.* 2008; Lemmen, 2010), on oma andmestike rekonstrueerimisel kasutanud algandmetena andmebaasi HYDE (*History Database of the Global Environmen*) (Goldewijk, 2001), mida on aastate jooksul uuendatud ja parandatud. Antud andmebaas on ühtlasi põhiline ajalooline globaalne maakatte rekonstruktsioon. Kõige rohkem on kasutatud versiooni HYDE 3.1 (Goldewijk *et al.* 2011), mis kajastab andmeid põllumaa ja karjamaa kohta. HYDE 3.1 resolutsiooniks on 10 km ning andmed on kättesaadavad alates 10 000 eKr aastani 2005. Rekonstruktsiooni tegemisel on kasutatud rahvastiku, põllu- ja karjamaa andmeid ning satelliitpilte. Põllu- ja karjamaa andmed on saadud andmebaasist FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), kust on võimalik saada andmeid aastast 1961 tänapäevani. 1961. aastast varasemad põllu- ja karjamaa andmed on aga arvatud arvestades ajaloolist rahvastiku arvu. Ajaloolise põllumaa alade eristamiseks on tehtud 6 eeldust, näiteks eeldati, et ranniku- ja jõeäärsed alad on soodsamad esimestele inimasulatele – eelduste põhjal loodi ajalooline kaart. Ajaloolise põllumaa rekonstruktsiooni loomisel kombineeriti omavahel erinevad statistilised andmed, satelliidi pildid ning eelduste põhjal loodud ajalooline kaart. Karjamaa on saadud sarnaselt põllumaale, kuid rekonstrueerimisel kasutati BIOME mudelit (*BIOME model*) (Prentice *et al.* 1992), et eristada rohhtaime alad, kuna need on karjamaa jaoks atraktiivsemad. BIOME mudel on tööriist, mille abil on võimalik globaalsel mastaabil eristada ja ennustada taimkatte tüüpe vastavalt erinevatele teguritele nagu näiteks temperatuur (Prentice *et al.* 1992).

Globaalsel tasandil on maakatte rekonstruktsioone tehtud kõige rohkem. Üks nendest on näiteks LUH2 (Chini *et al.* 2014), mis on teinud nii ajaloo maakatte rekonstruktsiooni kui ka tuleviku prognoosi. Ajalooline maakatte rekonstruktsioon ja tuleviku prognoos on tehtud aastate 1500–2100 kohta, 10-aastase sammuga ning resolutsiooniga 50 km. Andmestiku mineviku rekonstruktsioon põhineb HYDE 3.1 andmebaasist saadud 1500–2005 ajavahemiku põllumaa, karjamaa, vee/jää ja asulate andmetele. Lisaks sellele kasutati ka FAO andmebaasi 1961–2005 aastate metsaraie andmeid. 1961. aastast varasemad metsaraie andmed saadi arvutustega, mis arvestasid metsaraie suhet rahvastiku arvuga. Tuleviku projektsiooni andmed tuletati IAM mudeli (*Integrated Assessment Model*) abil, arvestades 4. erinevat kiirusjõudu. IAM mudel on tööriist, mis võimaldab teha integreeritud hindamisi ja ennustusi arvestades mitmeid tegureid. Mineviku rekonstruktsiooni ja tuleviku prognoosi algandmed harmoneeriti kasutades mudelit GLM (*Global Land-Use Model*) (Hurtt *et al.* 2006). GLM mudel arvutab maakasutuse muustrid ja selle üleminekud kasutades raamatupidamispõhist meetodit (*account-based method*), mis jälgib maapinna seisuga ja muutust vastavalt ajalisele sammule.

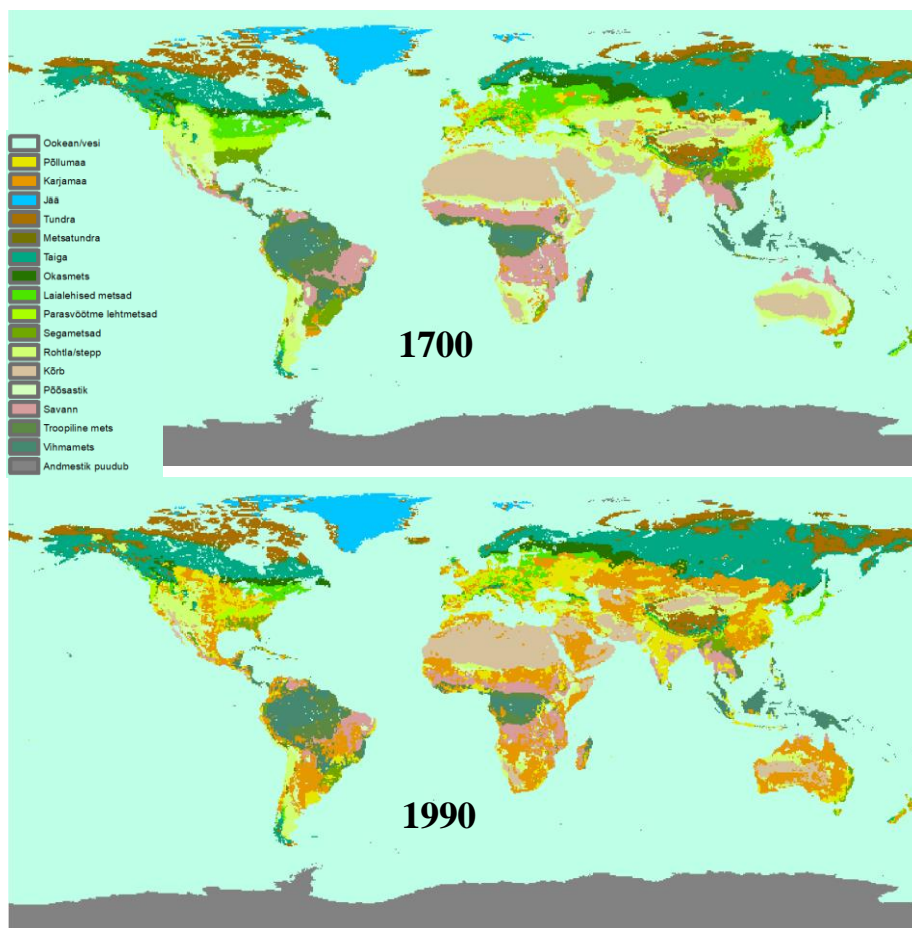
Andmed on klassifitseeritud põllumaaks, primaarseks maaks (ala, mida ei mõjuta inimesed), karjamaaks, sekundaarseks maaks (ala, mis taastub inimtegevuse mõjutustest, näiteks raiesmikud) ja asulateks. Lisaks sellele on andmestikus kajastatud ka maastike üleminekuid, näiteks põllumaa muutumine karjamaaks või vastupidi. LUH2 prognoosi kohaselt väheneb inimese poolt mõjutamata maa ehk primaarne maa aastaks 2100 drastiliselt (joonis 1).



Joonis 1. Primaarse maakatte osakaal maailmas aastatel 1500 ja 2100 LUH2 maakatte rekonstruktsiooni järgi. (Chini *et al.* 2014)

ISLSCP II *Historical Land Cover and Land Use* (Goldewijk *et al.* 2007) ajaloolise maakatte rekonstruktsioon on tehtud ajavahemiku 1700–1990 kohta, 50-aastase sammuga ning resolutsiooniga 50 km. Antud ajalooline maakatte rekonstruktsioon tugineb andmebaasile HYDE ja vähemal määral ka FAO andmebaasile. Üleüldiselt kasutas maakatte rekonstruktsioon erinevaid rahvaloendus, ajaloolisi statistilisi ning kaugseire andmeid ja ka topograafilisi kaarte. Puuduvad andmed leiti interpoleerimise abil. Rekonstrueerimisel kasutati BIOME mudelit. Lisaks eristati põllumaa ja karjamaa erinevate referentsandmete ja riiklike statistiliste maakasutuse andmete kombineerimisel.

Ajalooline maakatte rekonstruktsioon on klassifitseeritud 18. klassi (joonis 2). 1700 ja 1990. aastate võrdlemisel on võimalik selgelt näha, et karjamaade ja põllumajandusliku maa osakaal oli 20. sajandiks tunduvalt suurenenud ja põõsastike ning metsade osakaal vähenenud.



Joonis 2. 1700 ja 1990. aasta maailma ajalooline maakatte rekonstruktsioon ISLSCP II järgi. (Goldewijk *et al.* 2007)

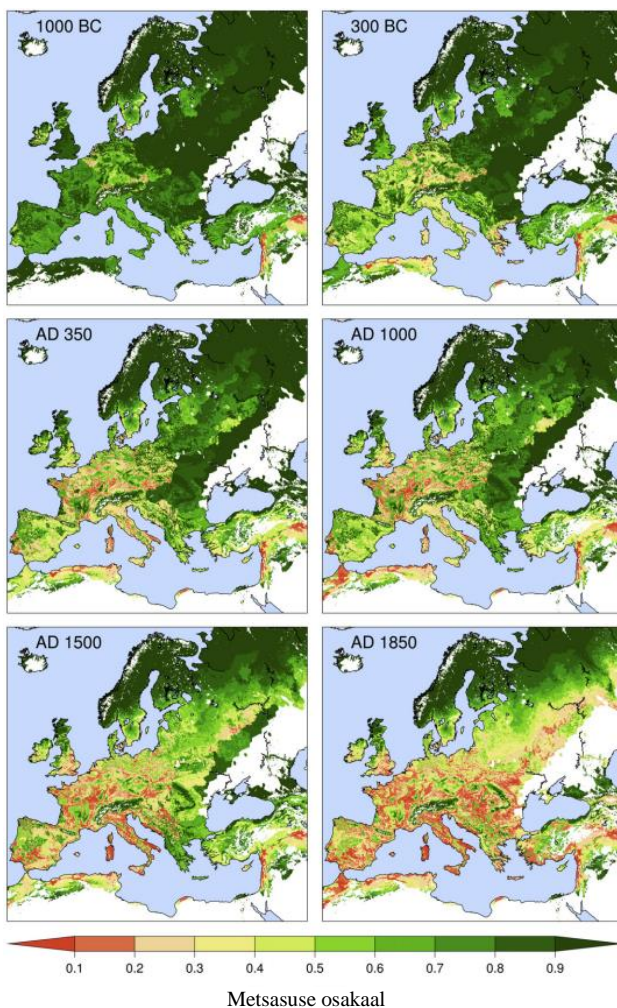
Lisaks eelnevalt käsitletud rekonstruktsioonidele on globaalseid veelgi, näiteks Pongratz *et al* (2008) poolt tehtud globaalne maakatte rekonstruktsioon viimase aastatuhande põllumajanduslikumaa muutuste kohta ning Lemmeni (2010) poolt tehtud maakatte rekonstruktsioon, mis uurib 8000 eKr – 2000 eKr vahemiku maakatte muutusi. Ka need maakatte rekonstruktsioonid tuginesid HYDE andmebaasile.

1.2.1.2 Euroopa maakatte rekonstruktsioonid

Euroopa kohta on Kaplan *et al* (2009) koostanud ajaloolise maakatte muutuste stsenaariumid KK09 (*KK09 Anthropogenic Land Cover Change Scenarios*), mis käsitleb metsatustumist (metsade raie) inimtegevuse tõttu enne industrialiseerimise ajastut. KK09 ajaloolise maakatte rekonstruktsioon on ajavahemikus 1000 eKr – 1850 pKr, 10-aastase sammuga ning resolutsiooniga 10 km. Maakatte rekonstruktsioonis kasutati laialdaselt erinevaid ajaloolisi rahvastiku andmeid. Rahvastiku andmed enne 400 eKr saadi interpoleerimisega. Lisaks sellele kasutati ka andmestikke kliima, mulla ja metsasuse kohta. Metsatustumise arvutamisel on

kasutatud autorite poolt loodud mudelit, mis näeb ette rahvastikutiheduse ja tühjendatud ala suhet, mille põhjal on võimalik arvutada palju metsa raiutakse.

1000 eKr oli KK09 maakatte rekonstruktsiooni järgi enamus Euroopat 70%-liselt kaetud metsaga, kuid ajas edasi metsasus langes märgatavalt (joonis 3). Aastaks 1750 oli suur osa Euroopa metsadest vähenenud inimtegevuse tõttu, ainult Põhja-Euroopas on säilinud mitme aastatuhandetagune metsasus. Maakatte rekonstruktsioonilt on võimalik selgelt näha, et kõige vähem on mõjutatud Põhja-Euroopa ning kõige rohkem Kesk- ja Lääne-Euroopa. Valgega on märgitud alad, mida ei loeta metsaks (näiteks savann, rohumaa, tundra jms).



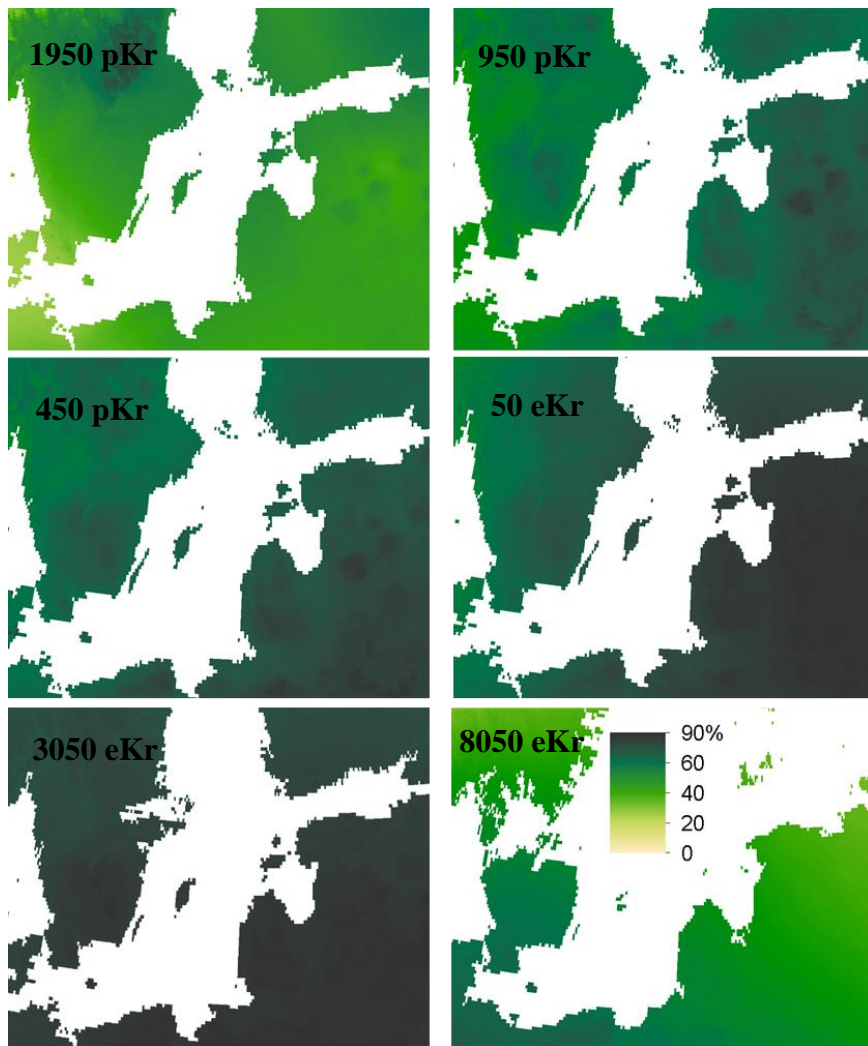
Joonis 3. Metsasuse osakaal Euroopas aastatel 1000 eKr – 1850 pKr KK09 maakatte rekonstruktsiooni järgi (Kaplan *et al.* 2009). Valged alad ei ole metsadena arvesse võetud.

Ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid on tehtud isegi fossiilidest pärit õietolmu andmestiku põhjal. Euroopa-siseste rekonstruktsioonide tegemisel on kasutatud Euroopa Õietolmu Andmebaasi EPD (*European Pollen Database*, <http://www.europeanpollendatabase.net>), kus

on olemas kättesaadavad andmed fossiilse õietolmu kohta Euroopas. EPD (*European Pollen Database*) andmebaasi eesmärk on koguda ja luua andmestik nii fossiilsete kui ka kaasaegsete õietolmu andmetest. Igal teadlasel on võimalus lisada oma andmeid andmebaasi ning anda teada võimalikest vigadest, mis leitakse teiste lisatud andmetes (Fyfe *et al.* 2009). Andmebaasi andmeid kasutatakse taimkatte rekonstrueerimisel. Neid on just kasutatud viimaste aastate maakatte rekonstruktsioonides (Kaplan *et al.* 2017; Roberts *et al.* 2018; Zanon *et al.* 2018).

Üks selline on näiteks Zanoni *et al* (2018) poolt loodud maakatte rekonstruktsioon, mis kajastab informatsiooni Euroopa metsasusest viimase 12 000 aasta kohta. Maakatte rekonstruktsioon on koostatud ajavahemiku 10 050 eKr – 1950 pKr kohta, 250-aastase sammuga ning resolutsiooniga 10 km. Zanoni *et al* (2018) maakatte rekonstruktsioon on loodud kasutades fossiilse õietolmu andmestikku põhiliselt andmebaasist EPD (*European Pollen Database*) ja vähemal määral teadusandmete andmearhiivist PANGEA. Lisaks sellele oli kasutuses kaugseire andmestik. Rekonstruktsiooni tegemisel kasutati MAT tehnikat (*Modern Analogue Technique*) – kalibreerimise andmestik loodi tänapäevaste õietolmuandmete ühildamisel kaugseirel põhineva metsade katvuse andmetega. Seejärel omistati igale ajaloolisele õietolmu proovile tänapäevasele proovile võimalikult sarnane vaste koos metsakatvusega.

Zanoni *et al* (2018) maakatte rekonstruktsiooni kohaselt oli 3050 eKr Eesti alade metsasus ligi 80% (joonis 4). 50 eKr oli metsasus langenud, kuid siiski säilitanud kõrge 60–70%-lise taseme. Aastaks 1950 on juba näha drastilisemat langust kui Eesti aladele on määratud ligi 40–50%-line metsasuse osakaal.



Joonis 4. Metsasuse osakaal Läänemere ümbruses aastatel 8050 eKr – 1950 pKr Zanoni *et al* (2018) maakatte rekonstruktsiooni järgi.

HILDA (Historic Land Dynamics Assessment) (Fuchs *et al.* 2013) on Euroopa ajaloolise maakatte rekonstruktsioon aastate 1900–2010 kohta, dekaadi sammuga ning resolutsiooniga 1 km. HILDA maakatte rekonstruktsioon on saadud erinevate algandmete kombineermisel – kaugseire andmed, aerofotod, riiklikud andmed, maastike statistika, vanad maastike kaardid ja entsüklopeediad. Viimaste dekaadide (1990–2010) andmed on palju täpsemad kui varasemad, mistõttu ajavahemiku 1990–2010 andmed interkalibreeriti ning selle abil ekstrapoleeriti varasemad muutuste trendid. HILDA on kasutanud lähenemisviisi, kus leitakse maakatte muutuste suurus ja selle asukoht. Selline meetod leiab võimalikud maakatte muutused vastavalt statistilistele andmetele ning selle abil leitakse kohad, kus sellised muutused võivad kõige suurema tõenäosusega esineda.

HILDA ajalooline maakatte rekonstruktsioon on parema resolutsiooniga (1km), kui teised Euroopa maakatte rekonstruktsioonid, mistõttu saab informatsiooni ka riigi tasandil.

Andmestiku võrdlemisel teiste maakatte rekonstruktsioonidega nagu joonisel 2 (Goldewijk *et al.* 2007) ja joonisel 3 (Kaplan *et al.* 2009) selgus, et tulemused on sarnased (Fuchs *et al.* 2013). HILDA maakatte rekonstruktsiooni tulemusi võrreldi ka 1950–1990. aastate aerofotodega. Olgugi et maakatte rekonstruktsioon on suurema resolutsiooniga, ei ole teada, kui täpne see oleks riigi tasandil. See on ühtlasi ka töö eesmärk anda ülevaade HILDA täpsusest.

HILDA andmestik on jagatud 6. klassi, milleks on:

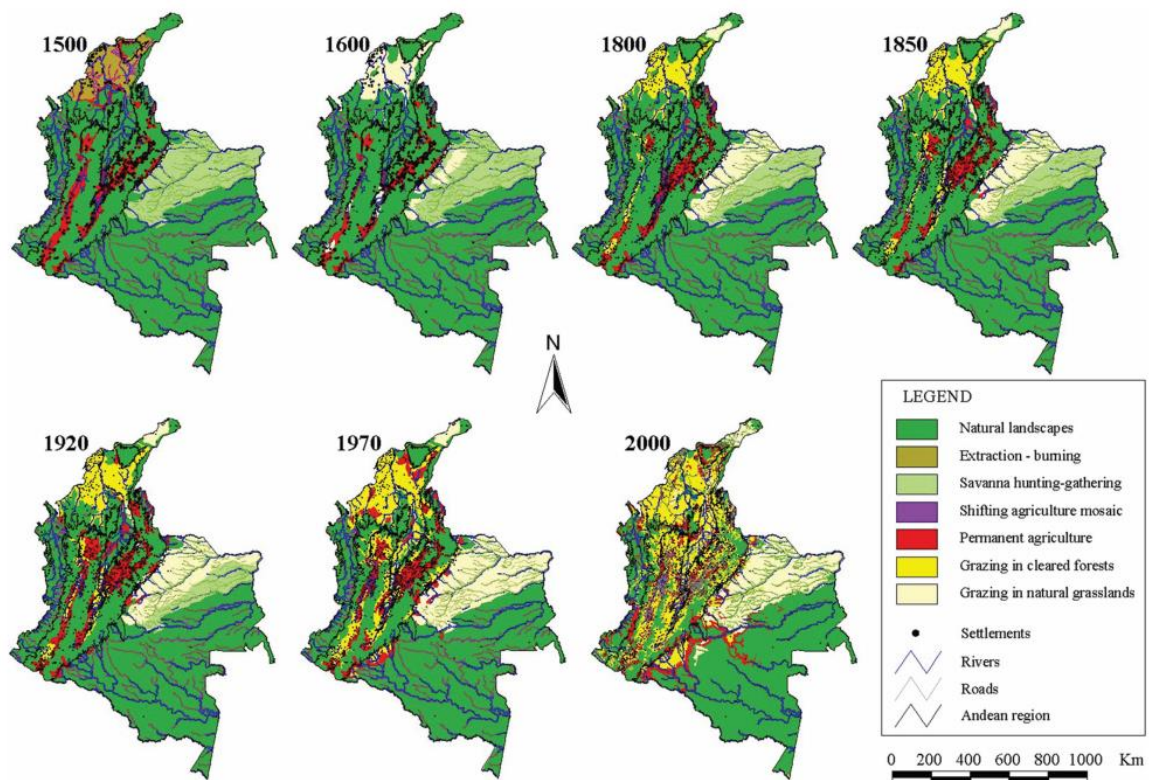
- Asulad, sealhulgas haljasala
- Põllumaa, sealhulgas viljapuuaiad ja agrometsandus
- Mets, sealhulgas üleminekulised põõsastikud ja metsad, puukoolid ja metsastamise eesmärgiga metsastatud alad
- Rohumaa, sealhulgas looduslik rohumaa, märgalad, karjamaa ja Vahemereline põõsastik
- Muu ala, sealhulgas liustikud, hõredalt taimestunud ala, rannad ja alad, kus on ainult muld
- Veekogu, sealhulgas erinevad veekogud

Märgalade klass on määratud rohumaa kategooria alla, kuna puudub piisavalt täpne informatsioon viimase 60 aasta märgalade kohta.

1.2.1.3 Riiklikud rekonstruktsioonid

Riiklikul tasandil on rekonstruktsioone tehtud peamiselt Hiina ja Ameerika Ühendriikide kohta. Küllaga näiteks Etter *et al.* (2008) poolt tehtud maakatte rekonstruktsioon käsitleb hoopiski Kolumbia ajaloolisi maakasutuse muutusi ja selle põhitegureid (joonis 5). Maakatte rekonstruktsioon käsitleb ajavahemikku 1500–2000, mis on jagatud erinevateks ajaperioodideks. Maakatte rekonstruktsiooni resolutsioon on 2 km. Andmestiku rekonstruktsioonis kasutati erinevaid kättesaadavaid andmeid, mis hõlmasid erinevaid ajaloolisi kaarte, statistilisi andmeid ja ajaloolisi raamatuid. Maakatte rekonstrueerimisel jaotati ajavahemik 1500–2000 vastavalt olemasolevatele andmetele erinevateks ajaperioodideks ning seejärel kombineeriti andmed ühtseks maakatte rekonstruktsiooniks.

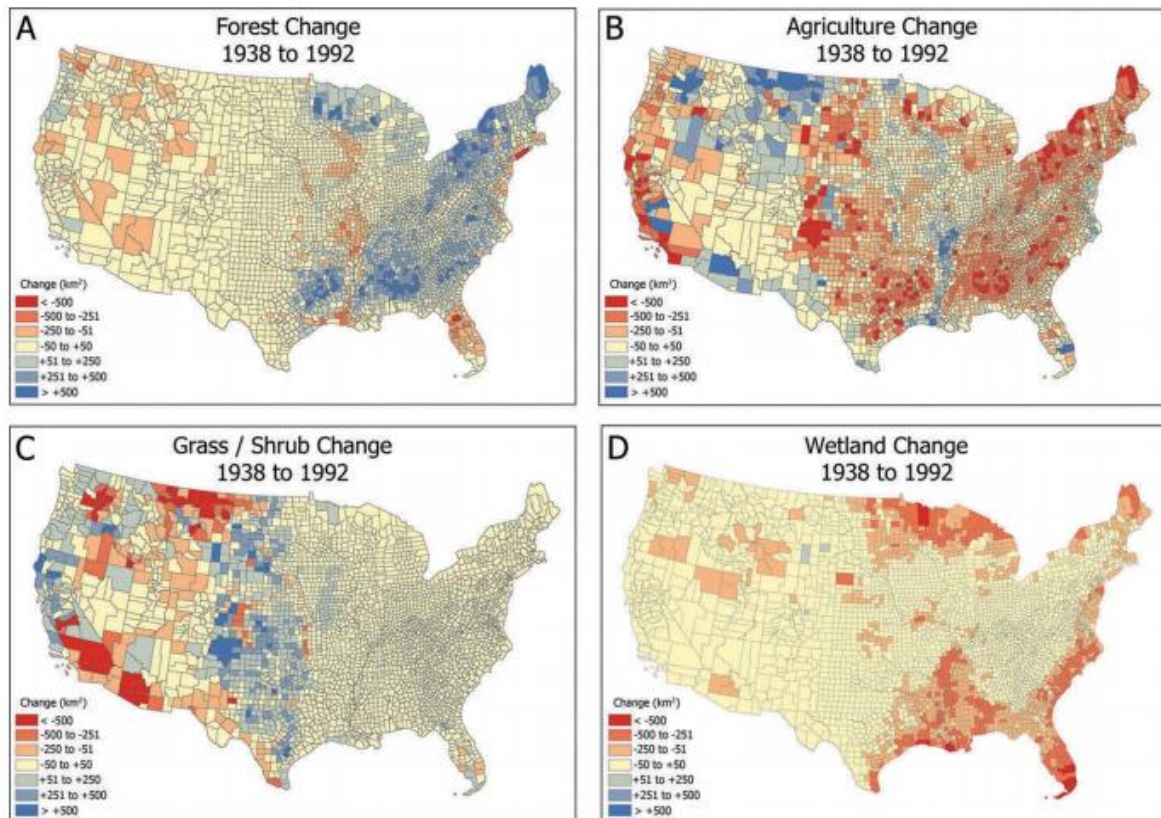
Maakatte rekonstruktsioonilt on võimalik eristada näiteks looduslike maastike vähenemist ja loomade karjatamise suurenemist avatud väljadel, kust on mets maha raiutud (joonis 5).



Joonis 5. Kolumbia maakasutuse muutused aastatel 1500-2000 Etteri *et al* (2008) maakatte rekonstruktsiooni järgi.

Ameerika Ühendriikide kohta on teinud ajaloolise maakatte rekonstruktsiooni ja tuleviku prognoosi Sohl *et al* (2016). Ajalooline maakatte rekonstruktsioon käsitleb ajavahemikku 1938–1992 ning tuleviku prognoos ulatub aastasse 2100, resolutsiooniks on 250 m. Maakatte rekonstruktsioonis kasutati erinevaid ajaloolisi andmeid ja ajaloolisi kaugseire andmebaase, mis omavahel kombineeriti. Maakatte rekonstrueerimisel kasutati FORE-SCE mudelit (*Forecasting Scenarios of Land use Change*) (Sohl *et al* 2014). FORE-SCE mudel koosneb kahest komponendist – nõudlus ja eraldamine. Nõudluse komponent rekonstrueerib maakatte muutused ning eraldamise komponent kasutab nõudluse komponenti kui ettekirjutust, mille põhjal luuakse ruumiliselt detailsed maakatte muutuste kaardid.

Maakatte rekonstruktsioonist selgub, et kõige rohkem on ajavahemiku jooksul muutunud põllumajandusmaastik ning kõige vähem märgalad (joonis 6).



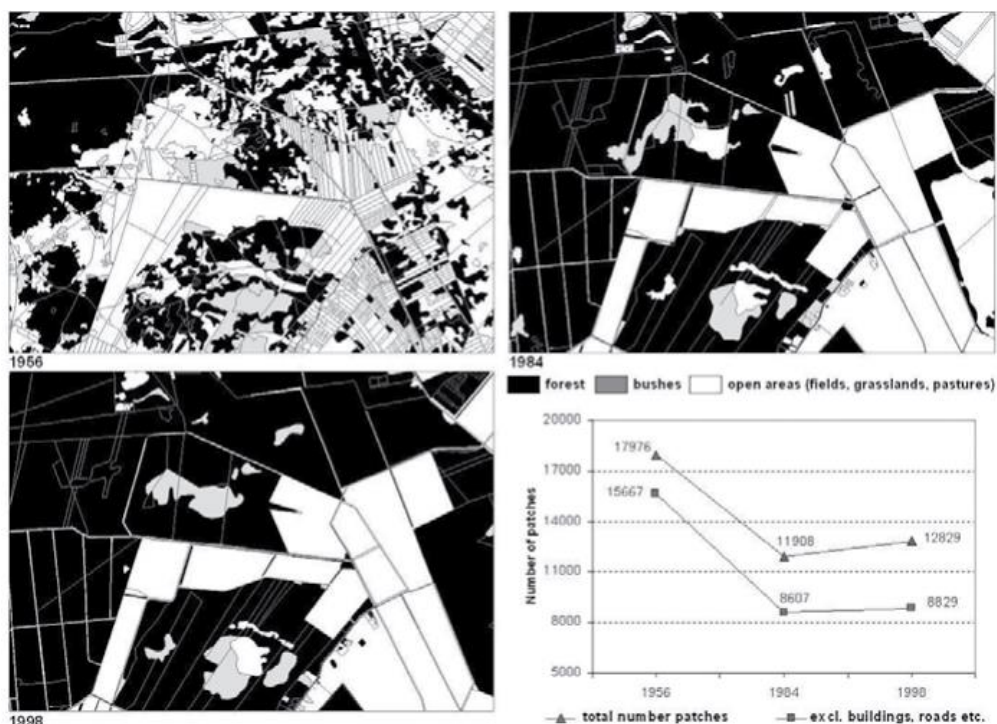
Joonis 6. Ameerika Ühendriikide maakatte muutused aastatel 1938–1992 Sohli *et al* (2016) maakatte rekonstruktsiooni järgi.

Ameerika Ühendriikide maakattet on rekonstrueerinud veel näiteks Kumar *et al* (2013), kelle rekonstruktsioon kajastab ajavahemiku 1850–2000 põllumaa muutusi ja selle mustrit.

1.2.1.4 Mõned näited Eesti rekonstruktsioonidest

Are Kaasik (2014) on rekonstrueerinud kahe Hiiumaa põllumajandusliku regiooni Hellamaa ja Vanamõisa maakatet aastatel 1956–1998. Maakatte analüüsi andmestik on saadud 1956. ja 1984. aastate ortofotodelt mõõtkavaga 1:10 000. Ortofotod skanneeriti ning neile digitaliseeriti maakasutuse muutused MapInfo geoinfosüsteemis. 1998. aasta andmestik on aga saadud digitaliseeritud Eesti põhikaardilt.

Uuringust selgus, et aastatel 1956–1998 langes põllumaa osakaal 43% ning metsade osakaal tõusis ligi 44%. Rohu- ja karjamaa ning neile sarnased alad vähenesid aga aastatel 1956-1984 ligi 10 korda. Näiteks Vanamõisa muutusi visuaalselt vaadeldes on selgelt näha lagedate väljade, rohumaade ja karjamaade suurt vähenemist ning metsasuse suurenemist (joonis 7).



Joonis 7. Vanamõisa (Lõuna-Hiiumaal) maakatte muutused aastatel 1956–1999 Kaasiku (2014) maakatte rekonstruktsiooni järgi.

Lisaks Hiiumaale on ka Karula rahvusparki maakatet rekonstrueeritud (Albre jt, 2003). Rekonstruktsioonis on käsitletud aastaid 1900, 1940 ja 1985, mille kohta on kasutatud ajaloolisi kaarte. Töö hõlmas sarnaselt Hiiumaa uuringule samuti digitaliseerimist, kus maakate jaotati põllumaaks/lage ala, metsaks, rohumaaks, sooks/rabaks, põõsastikuks ja järveks. Ajalooliste kaartide põhjal saab eristada ka raiesmikke.

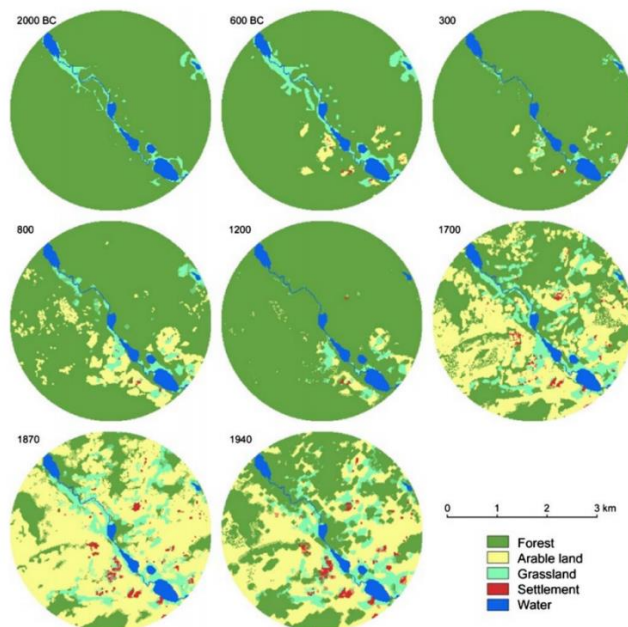
Kõige rohkem on muutunud Karula rahvusparki maastikupildis mets, mille pindala on tõusnud 1900–1985 ajavahemiku jooksul ligi 3000 ha ja 26% (tabel 1). Põld on aga vähenenud ligi 19% võrra. (Albre jt, 2003)

Tabel 1. Karula rahvusparki maakatte muutused aastatel 1900-1985 (Albre jt, 2003)

Maastikutüüp	1900 a pindala (ha)	% rahvusparki pindalast	1940 a pindala (ha)	% rahvusparki pindalast	1985 a pindala (ha)	% rahvusparki pindalast
Metsad	5331.7	48.0	6006.7	54.1	8250.0	74.3
Põld, muu lage	3183.6	28.7	3020.6	27.2	1037.0	9.3
Niidud	1303.8	11.8	1158.6	10.4	883.3	8.0
Järved	392.3	3.5	392.8	3.5	389.0	3.5
Rabad	235.1	2.1	235.1	2.1	231.4	2.1
Põõsastik	396.4	3.8	277.0	2.5	56.2	0.5
Roostik					125.7	1.1
Õõtsik					74.5	0.7
Asustus					55.5	0.5
Raiesmik	283.0	2.5	53.8	0.48		
KOKKU	11125.7	100.2	11144.5	100.4	11102.6	100

Ajaloolise maakatte rekonstruktsiooni on tehtud Eestis ka näiteks Rõuge kohta, kus uuriti viimase 4000 aasta maakatte muutusi (Poska *et al.* 2008). Maakatte rekonstruktsiooni ajavahemik on 2000 eKr – 1940 pKr, ruumilise resolutsiooniga 15 m. Maakatte rekonstruktsiooni algandmed on saadud välitöödelt, fossiilse õietolmu andmestikust ja ajaloolistelt kaartidelt. Rekonstruktsiooni tegemiseks kasutati geoinfosüsteemi tarkvara Idrisi, kus CA_Markovi maakasutuse muutuse mudeliga sooritati ajalooline maakatte rekonstruktsioon. Markovi ahelate mudelis on iga piksel määratud kindlasse kategooriasse ning igal piksilil on olemas tõenäosus muutuda teiseks kategooriaks igal ajalisel sammul (Pontius ja Malanson, 2005).

Tulemustest selgub, et 2000 eKr oli Rõuge metsamaa, kuid aastaks 1940 on ala muutunud valdavalt põllumaaks (joonis 8).



Joonis 8. Rõuge maakatte muutused aastatel 2000 eKr – 1940 pKr Poska *et al* (2008) maakatte rekonstruktsiooni järgi.

2. Eesti ajaloolise maakatte rekonstruktsioon HILDA näitel

2.1 Meetodid ja andmed

Detailsemalt analüüsisin Eesti maakatte rekonstruktsiooni HILDA (Historic Land Dynamics Assessment) (Fuchs *et al.* 2013) andmestiku põhjal. Esiteks vaatlesin Eestis toimunud maakatte muutuseid ja teiseks proovisin hinnata HILDA andmestiku täpsust CORINE ja ajalooliste kaartide alusel.

1990, 2000 ja 2010 aastate võrdlemisel kasutasin CORINE Land Cover (CLC, 1985), kuna see on ühtlase meetodikaga koostatud. CORINE andmestikku on ühtlasi kasutatud ka mingil määral HILDA rekonstrueeringu tegemisel (Fuchs *et al.* 2013) ja seega ei ole CORINE andmestik sõltumatu võrdlusandmestik, vaid pigem võrdluseks, kuidas modelleerimise käigus on alusandmestik muutunud. CORINE-1 on olemas 1990 ja 2000 aastate andmed, kuid 2010 puudub. Selleks kasutasin lähimat aastat, milleks on 2012, eeldades, et maastik 2 aastaga väga palju ei muutu. 1990. aastast varasemate aastate võrdluse aluseks kasutasin ajaloolisi Vene topokaarte, mis on saadaval Maa-ameti WMS-teenuses. Vene topokaartidest kasutasin üheverstast kaarti (1894-1922) 1:24 000, 1940 – 50ndatel tehtud Nõukogude Liidu vanemat topokaarti 1:25 000 ja 1960ndatel tehtud NL keskmist topokaarti 1:25 000.

Eraldi hindasin veel metsamaa kaardistamise täpsust HILDA puhul. Referentsandmetena kasutasin prof. Meelis Pärteli töörühma poolt masinõppe abil klassifitseeritud metsakihti Nõukogude Liidu (NL) 1940–1960 aasta 1:50 000 topokaartidelt (lisa 1) ning 2000. aasta võrdlusmaterjalina globaalset metsakihti (Global Forest Watch) (Hansen *et al.* 2013). Kuna keskmise ja vanema topograafiliste kaartide metsade andmed on 25m pikslise lahtusega ning HILDA 1000m piksliga, siis generaliseerisin vanemad andmekihid *Resample* tööriista kasutades 1000 meetriseks. Metsakihi täpsuse hindamisel kasutasin veemaatriksit.

Kuna HILDA ja CORINE andmestikud katavad kogu Euroopat, siis esimese sammuna lõikasin välja Eesti territooriumi kasutades Maa-ameti geoportaalist saadavat Eesti ala kaardikihti (shp-formaadis).

CORINE-i 44 maakatte klassi klassifitseerisin ümber 6. klassiks kasutades sama põhimõtet, mis algselt HILDA loomisest (lisa 2).

Detailsema maakatte võrdluse jaoks kasutasin ajaloolisi topokaarte. 1900–1920. aastate võrdluseks kasutasin Maa-ameti WMS teenuse ajaloolist üheverstast kaarti (1894–1922). 1940. aasta HILDA andmestiku võrdluseks kasutasin 1940 – 50ndatel tehtud NL vanemat

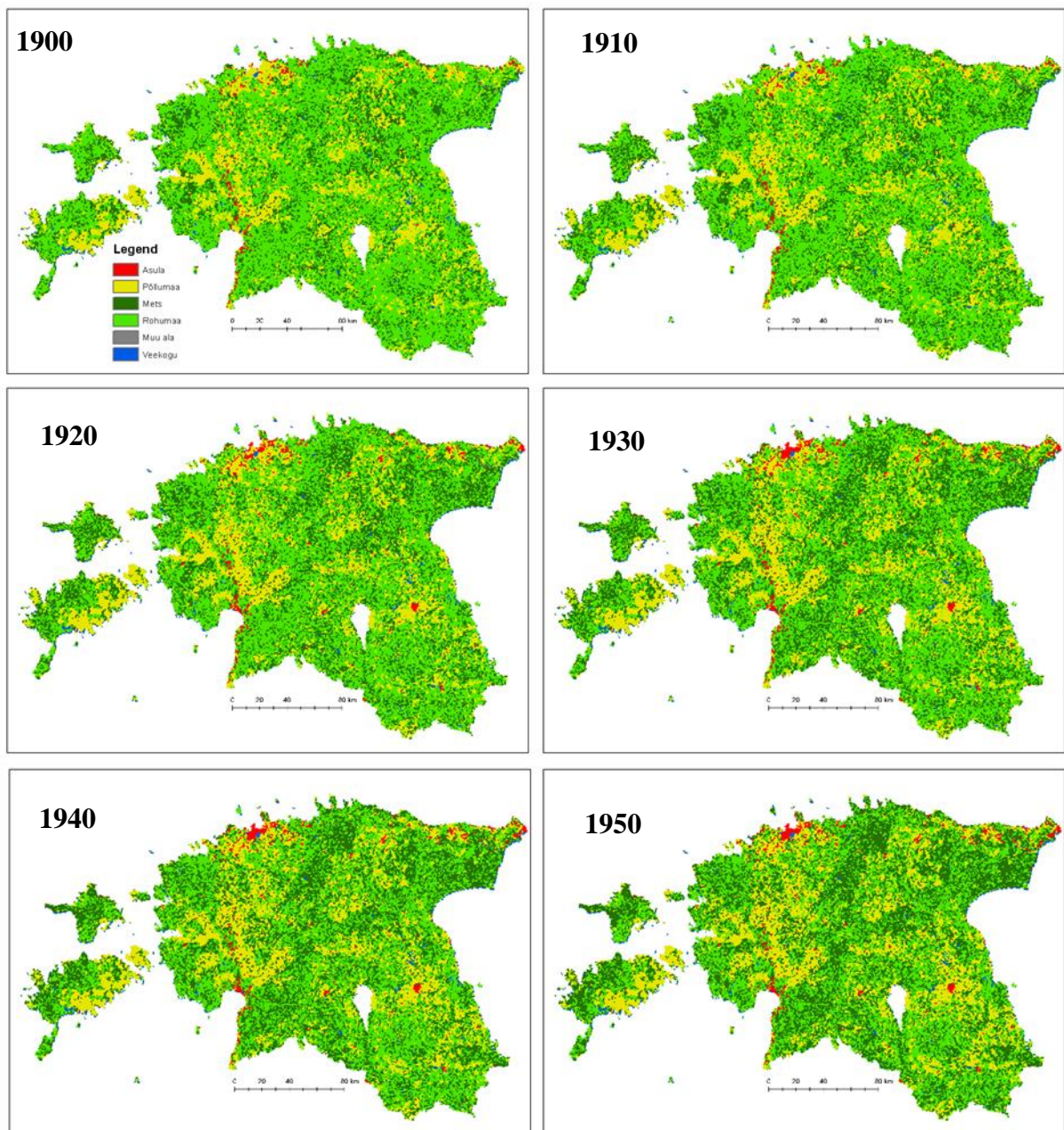
topokaarti ja 1960. aasta võrdluseks 1960ndatel tehtud keskmist topokaarti. Aluskaartide leppemärgid on kättesaadavad Maa-ameti geoportaalist (lisa 3). Kaartide võrdlemise meetodiks on visuaalne analüüs, kuna WMS teenuse aluskaardid ei võimalda ruumianalüüsi. Visuaalse analüüsi käigus püüdsin leida ebatäpseid kohti ning kajastada peamisi vigu.

2.2. Tulemused ja arutelu

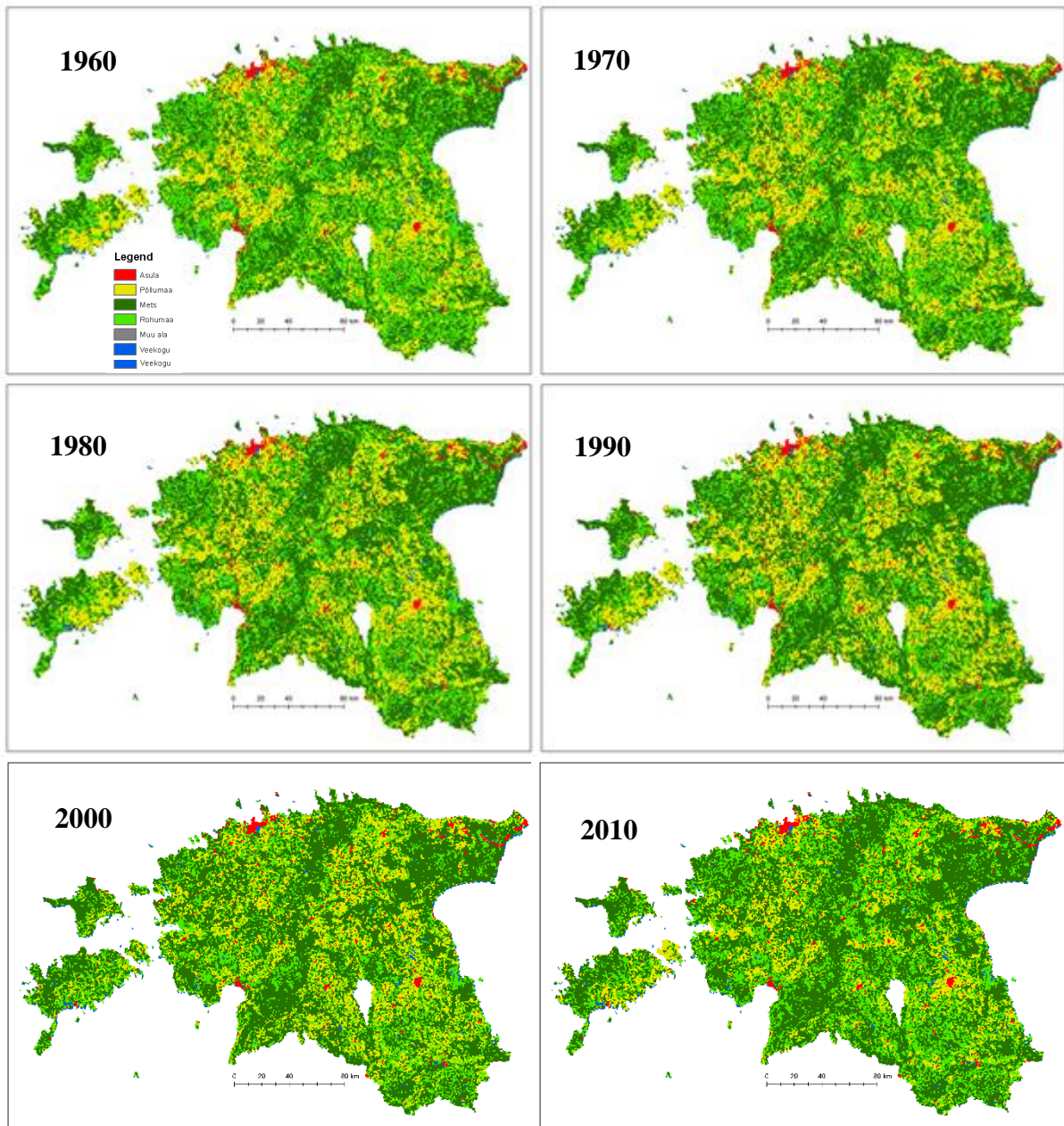
2.2.1 Eesti ajalooline maakatte rekonstruktsioon HILDA põhjal

1900. aasta HILDA rekonstruktsiooni põhjal oli Eestis põllu- ja rohumaa ülekaal ning metsa oli väga vähe (joonis 9a), mis ühtib üldiste teadaolevate trendidega selle aja maakasutuse kohta. HILDA rekonstruktsiooni kohaselt hakkab metsasus suurenema juba 20. sajandi alguses (joonis 10), mis tegelikkuses leidis aset veidi hiljem, 1940ndatel sõja ning küüditamiste tõttu. Teadaolevate andmete kohaselt suurenes metsasus Eestis kõige rohkem aastatel 1940–1960 ning 1970–1990. aastatel oli metsade suurenemine võrreldes eelnevaga väiksem ning stabiilsem. Sellist trendi ei ole aga HILDA kajastanud. Üleüldiselt on HILDA rekonstrueerinud Eesti 20. sajandi maakattele ühtlased tõusvad ja langevad trendid (joonis 10). Teadaolevate trendide põhjal on küll õige, et 20. sajandi vältel on metsade osakaal tõusnud ning rohumaa langenud, kuid HILDA andmestik jääb liiga pealiskaudseks. Lisaks sellele on HILDA rekonstruktsiooni kohaselt põllumaa osakaal 20. sajandi vältel tõusnud, mis on vastuolus teadaoleva trendiga. HILDA rekonstruktsiooni kohaselt on rohumaa 1990-2010. aastatel põllumaa arvelt märgatavalt suurenenud (joonis 9b), mis on samuti teadaolevate trendidega vastuolus.

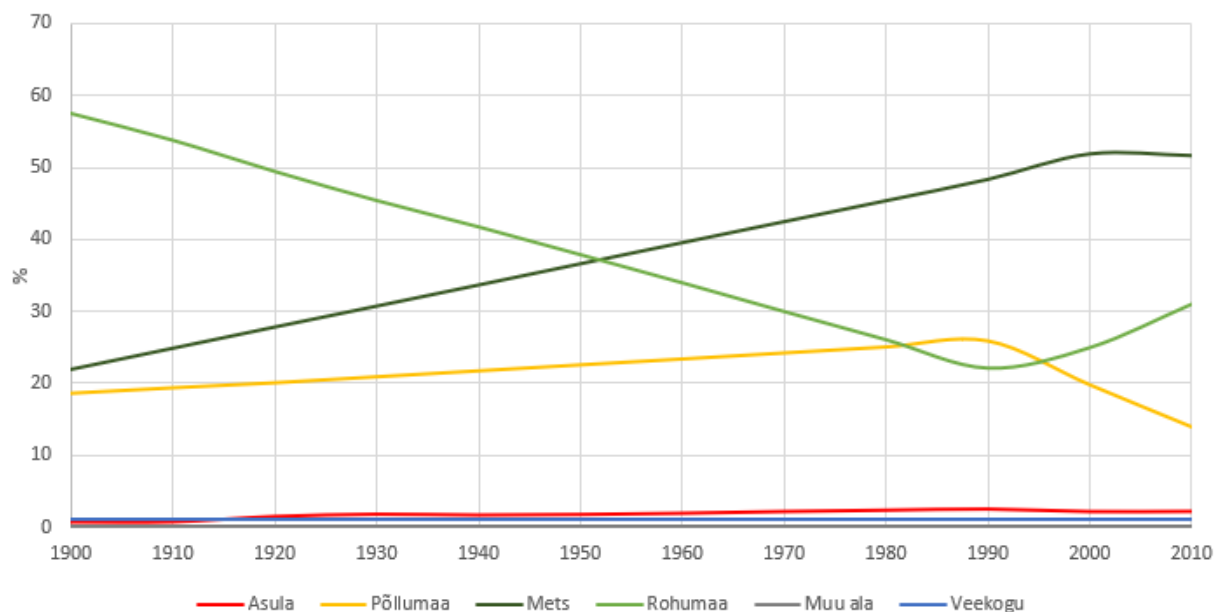
Analüüsist saab järeldada, et HILDA on küll suutnud määrata rohumaa ja metsa muutuste trendid õigesti, kuid põllumaa trend on suures vastuolus. Samuti saab väita, et HILDA määratud trendid on liiga pealiskaudsed. Antud analüüsist saame juba eeldada, et HILDA suureks probleemiks Eesti näitel on põllumaa määramine.



Joonis 9a. Eesti ajaloolise maakatte rekonstruktsioon HILDA andmestiku põhjal aastate 1900-1950 kohta.



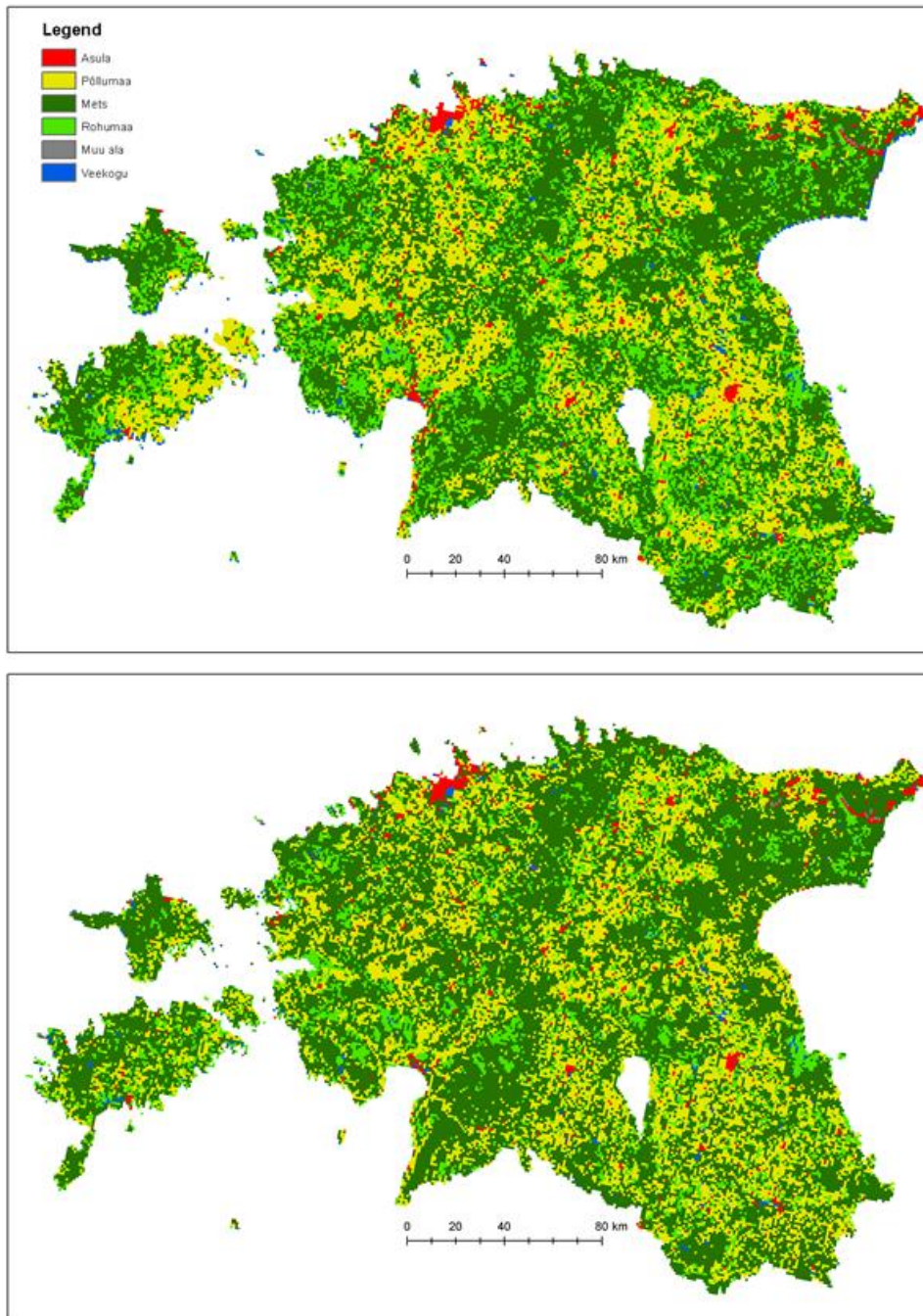
Joonis 9b. Eesti ajaloolise maakatte rekonstruktsioon HILDA andmestiku põhjal aastate 1960-2010 kohta.



Joonis 10. Eesti maakattetiüvide protsentuaalsed osakaalud HILDA andmestiku põhjal aastatel 1900-2010.

2.2.2 HILDA versus CORINE

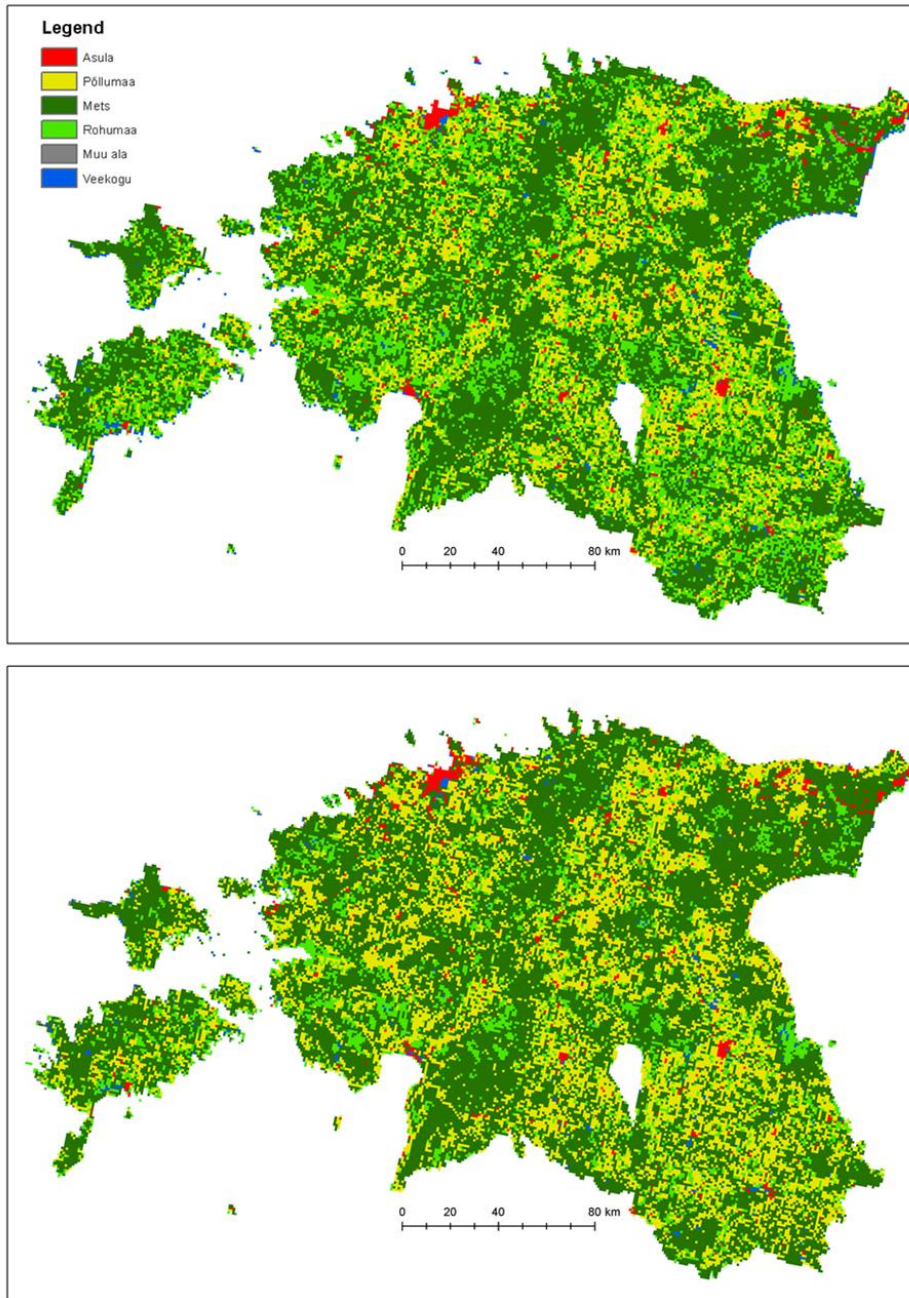
Vaadeldes CORINE ja HILDA 1990. aasta andmeid tunduvad mõlemad pealtnäha üsna sarnased (joonis 11), eriti just Põhja- ja Kesk-Eesti. Peamised erinevused on Lõuna-Saaremaal, kus HILDA on määranud alaks peamiselt põllumaa, kuid CORINE alusel on seal põhiliselt mets, ja Kagu-Eestis (Võrumaa, Põlvamaa ja Valgamaa), kus HILDA andmestikus on palju rohkem rohumaad, mille CORINE on määranud põllumaaks. Tundub, et HILDA on ka mingil määral metsa pannud rohumaade alla, näiteks on seda näha Loode-Eesti soolade (Leidissoo ja Läänemaa suursoo) ning Edela-Eestis Luitemaa juures. Metsa klass on siiski visuaalselt vaadeldes tunduvalt täpsem, kui põllumaa ja rohumaad klassid. Üleüldiselt tundub 1990. aasta andmete põhjal probleemiks olevat põllumaa ja rohumaad eristamine.



Joonis 11. 1990. aasta CORINE (all) ja HILDA (üleval) andmestike võrdlus.

2000. aastat võrreldes on pilt 1990. aastaga sarnane – Kagu-Eestis (Võrumaa, Põlvamaa ja Valgamaa) jällegi HILDA-l rohkem rohumaad ning CORINE-l põllumaad (joonis 12). Samas, kui 1990. aastal oli Lõuna-Saaremaa HILDA-l rohkem põllumaaks märgitud, siis 2000. aasta andmestikus on ala järsult muutunud rohumaaks, mistõttu erinevused CORINE-ga jätkuvad. Kuna CORINE andmestikus on Lõuna-Saaremaa jäänud 1990–2000. aasta vahemikus sarnaseks, siis tundub, et HILDA-l on tekkinud Lõuna-Saaremaa andmetes ebatäpsused. 1990. aasta võrdluses mainitud Loode-Eesti ja Edela-Eesti piirkonnad on aga muutunud CORINE

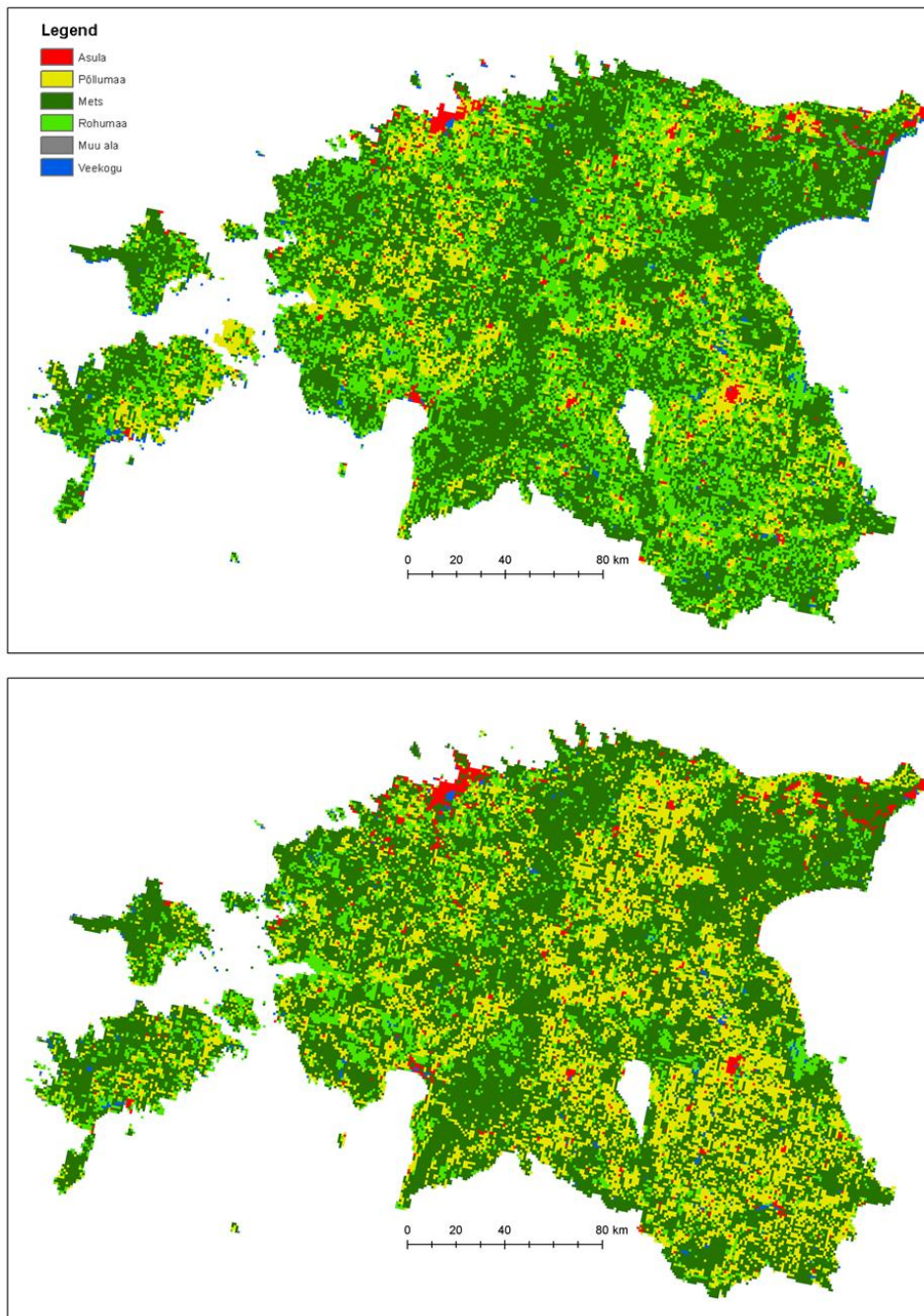
andmestikule sarnasemaks. Kagu-Eesti piirkond on aga jätkuvalt probleemiks, mistõttu võib eeldada, et see on HILDA andmestiku nõrk koht. Võrreldes 1990. aastaga, on 2000. aasta andmestik täpsem ning paljud kohad on muutunud sarnasemaks CORINE andmestikule.



Joonis 12. 2000. aasta CORINE (all) ja HILDA (üleval) andmestike võrdlus.

HILDA 2010. aasta ja CORINE 2012. aasta andmete uurimisel on eeldada veidi suuremaid erinevusi kui 2000. ja 1990. aastate võrdlusel, kuna käsitletakse üksteisest erinevaid aastaid. Uurides viimaseid andmeid, on Lääne-Eesti mõlemal andmestikul väga sarnane (joonis 13). Samas Ida-Eestis (välja arvatud Ida-Virumaa) on näha drastilisi erinevusi, kus CORINE-l on määratud põllumaaks ning HILDA-l rohumaa. Eriti problemaatiline on jätkuvalt Kagu-Eesti

piirkond. Metsa klass on jätkuvalt sarnane, mistõttu võib eeldada, et see on HILDA andmestiku tugevus.



Joonis 13. 2010. aasta HILDA (üleväl) ja 2012. aasta CORINE (all) andmestike võrdlus.

Asula, muu ala ja veekogu klasside hulk on võrreldes metsa, põllumaa ja rohumaa tunduvalt väiksemad. Ka erinevused antud klasside vahel on minimaalsed, mistõttu ma pindalade võrdluses neid ei kajasta.

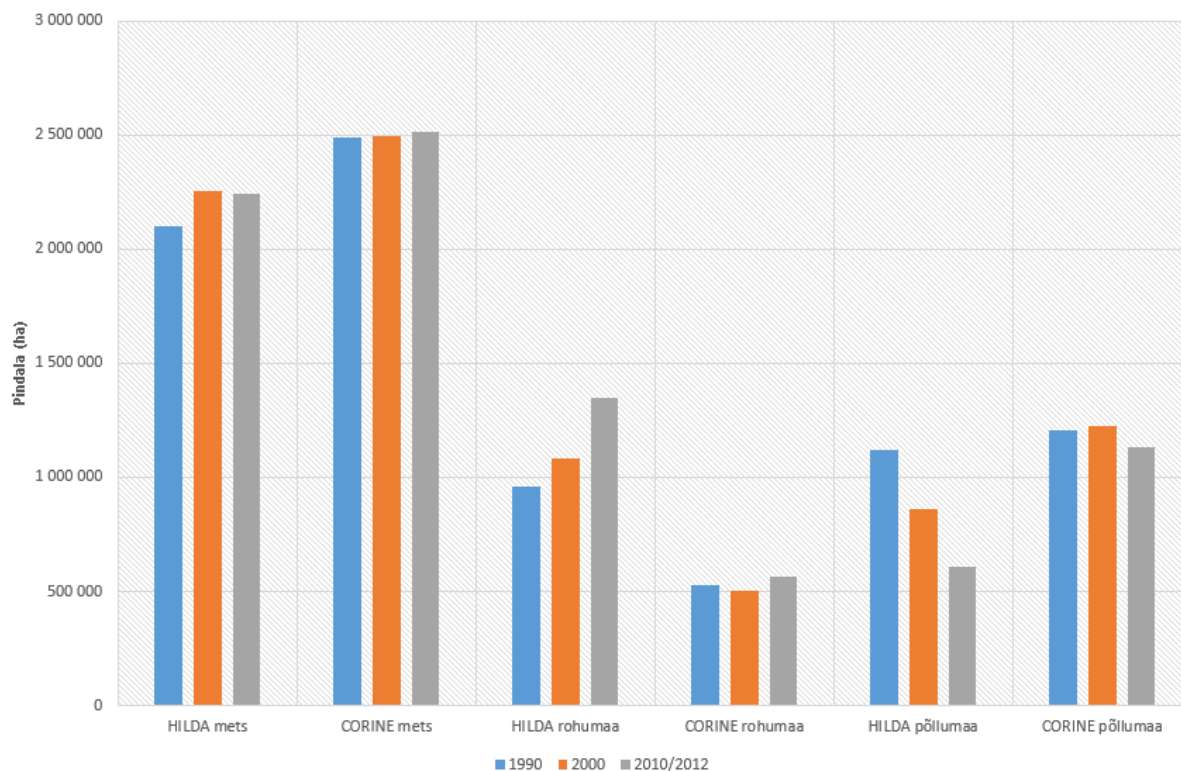
Võrreldes 1990. aasta HILDA ja CORINE pindalalisi erinevusi selgus, et kõige suurem erinevus on rohumaa klassis, ligi 400 000 ha suurune vahe (joonis 14). Kuigi metsade klassis on samuti ligi 400 000 ha suurune vahe, on protsentuaalne erinevus võrreldes rohumaaga palju väiksem. Kõige sarnasemad tulemused on aga Põllumaa klassis – ligi 100 000 ha suurune vahe. Resümeerides 1990. aastat, on võrreldes CORINE-ga HILDA andmestikus vähem põllumaad ja metsa, kuid rohkem rohumaad.

2000. aasta andmestiku pindalasi uurides selgub, et metsa klassi vahe võrreldes CORINE andmestikuga on muutunud ligi poole võrra väiksemaks – kui 1990. aastal oli vahe 400 000 ha, siis 2000. aastaks vähenes vahe umbes 200 000 ha (joonis 14). Samas on põllu- ning rohumaa klasside erinevuse vahe kasvanud. 2000. aasta andmestikus on rohumaa klassis HILDA-l märgitud umbes 500 000 ha rohkem ning põllumaa klassis 400 000 ha vähem kui CORINE andmestikus. Selle erinevuse põhjustajaks on suured erinevused Kagu-Eesti piirkonnas.

Uurides HILDA 2010. aasta ja CORINE 2012. aasta pindala andmeid, on jällegi rohumaa klassi vahe suurenenud, 2010. aastaks ligi 800 000 ha suurune erinevus (joonis 14). Ka põllumaa klassis on erinevused suurenenud – HILDA andmetes on põllumaad ligi 600 000 ha vähem kui CORINE andmetes. Suurt vahet põllu- ja rohumaa vahel on võimalik näha ka joonisel 13. Olgugi et esinevad suured vahed põllumaa ja rohtla klassis, on metsa klass jäänud samaks.

1990–2010 ajavahemikku kokku võttes on HILDA metsa klass säilitanud läbi aja sarnased tulemused. Rohumaa klassis on aga HILDA andmestik määranud järsu tõusutrend, kuid CORINE andmestikus on rohumaa jäänud 20 aasta vältel samaks. CORINE põllumaa klass on samuti jäänud aastakümnete vältel samaks, kuid HILDA andmetel on põllumaa järsus langevas trendis. Selgub, et 2000. aasta andmed on kõige täpsemad ning 2010 ja 2012 kõige ebatäpsemad. Suuri pindala erinevusi rohu- ja põllumaa klassi vahel on võimalik selgitada ebatäpsustega Kagu-Eestis (joonised 11-13). Mingil määral loeb küll piksli suuruse vahe (CORINE piksli suurus 0,987 km ja HILDA-l 1 km), kuid sellest kindlasti ei tulene nii drastilised erinevused.

Võrdlusest selgub, et HILDA puuduseks on põllumaa ja rohumaa eristamine – eelkõige just Kagu-Eestis. HILDA tugevuseks on aga metsa klass ning Põhja-, Kesk- ja Kirde-Eesti piirkonnad.

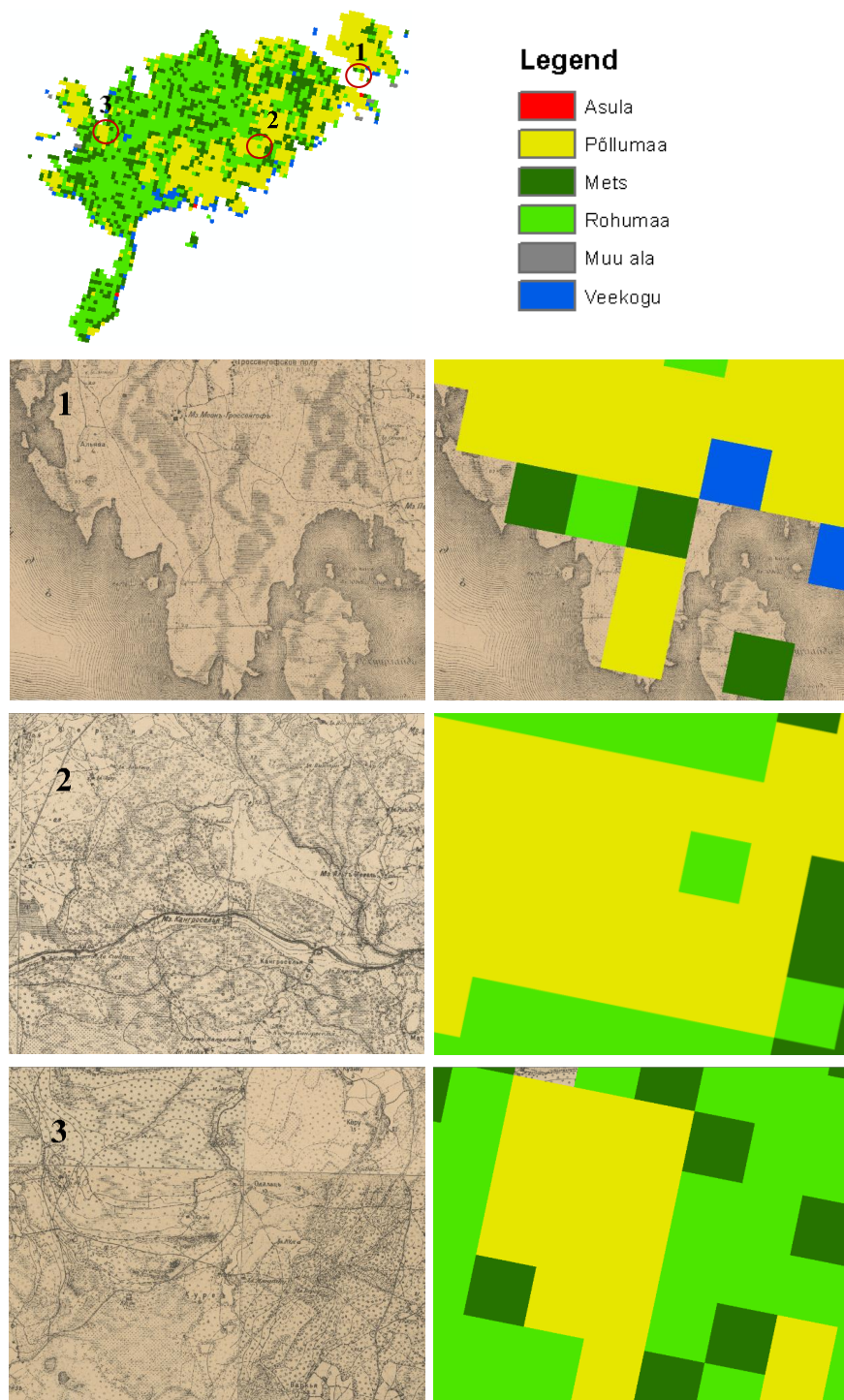


Joonis 14. CORINE (1990, 2000 ja 2012) ja HILDA (1990, 2000 ja 2010) põllumaa, metsa ja rohumaa klasside pindala trendide võrdlus.

2.2.3 Detailne analüüs

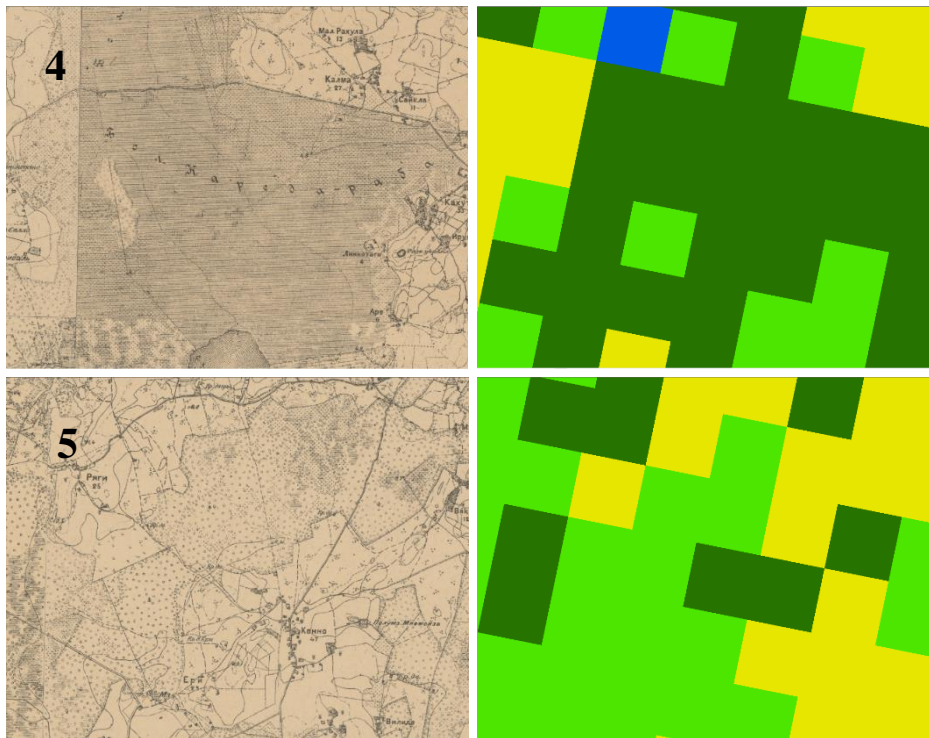
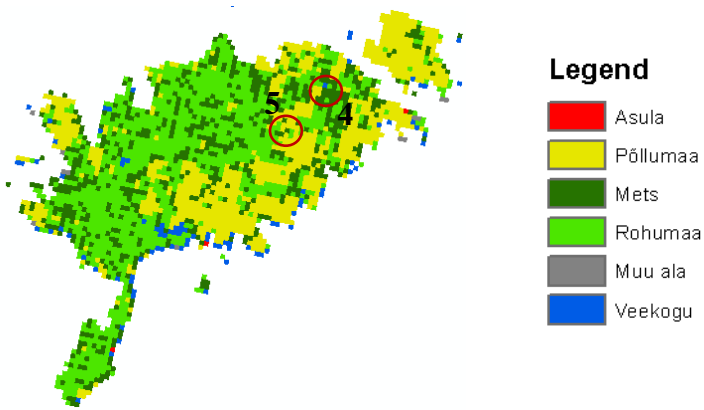
1900-1920. aastate analüüsis leidsin Saaremaal ja Muhul mitmeid kohti, kus HILDA andmestik on mitmete pikslitega eksinud (joonis 15 ja 16).

Muhumaal: 1) HILDA järgi on ala valdavalt põllumaa, kuid tegelikkuses on valdavalt rohumaa; Saaremaal: 2) suure osa rohumast on HILDA järgi määratud põllumaaks; 3) HILDA on määranud rohumaa põllumaaks ja metsamaa rohumaks (joonis 15).



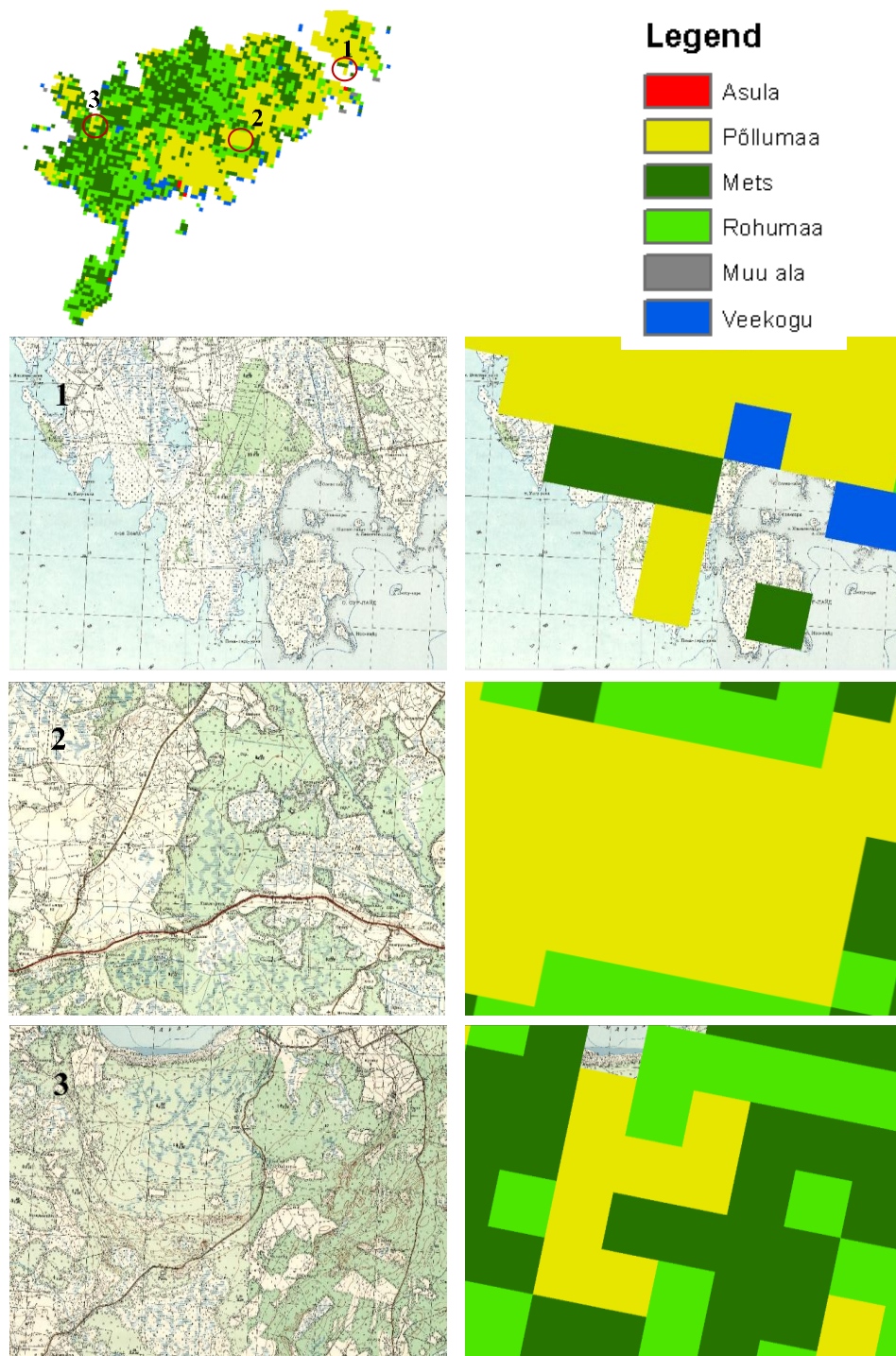
Joonis 15. Vene üheverstase kaardi võrdlus HILDA 1900. aasta maakatte rekonstruktsiooniga.

Esimes ka eksimusi, kus raba (kuulub HILDA klassifikatsiooni järgi rohumaa alla) oli HILDA järgi määratud hoopis metsaks (joonis 16). Punktis 5 on aga kaardil märgitud metsala määratud HILDA järgi hoopis rohumaaiks. Leidus ka teisi sarnaseid eksimusi, kuid need ei olnud nii suure osakaaluga kui punktid 4 ja 5.



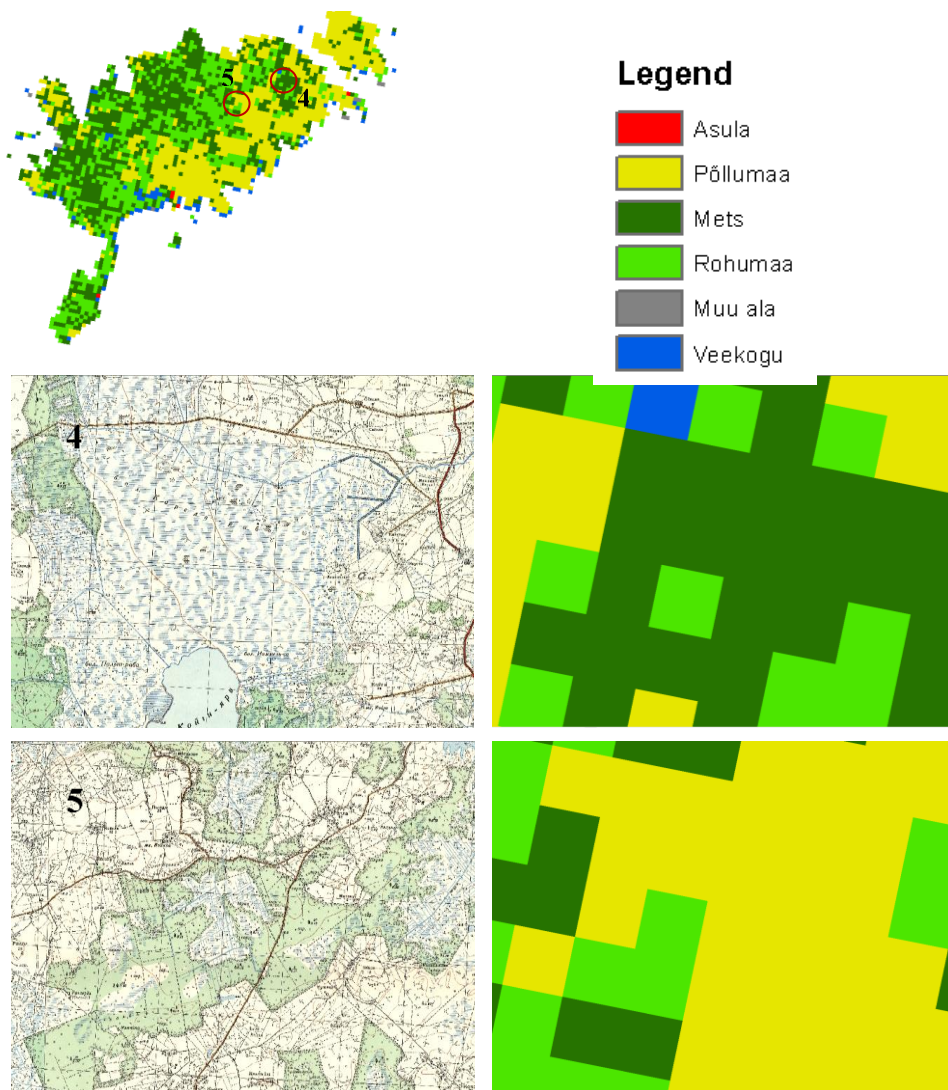
Joonis 16. Vene üheverstase kaardi võrdlus HILDA 1900. aasta maakatte rekonstruktsiooniga Saaremaa näitel.

HILDA 1940. aasta rekonstruktsiooni Saaremaa ja Muhu probleemsed kohad jäid võrreldes 1900-1920. aastate analüüsiga sarnaseks. Erandiks on aga punkt 3, mis on muutunud tunduvalt täpsemaks (joonis 17) – valeks määratud põllumaad on vähem ning kõrvalolevad metsaalad on 1940. aastaks määratud õigeks.



Joonis 17. NL vanema topokaardi võrdlus HILDA 1940. aasta maakatte rekonstruktsiooniga.

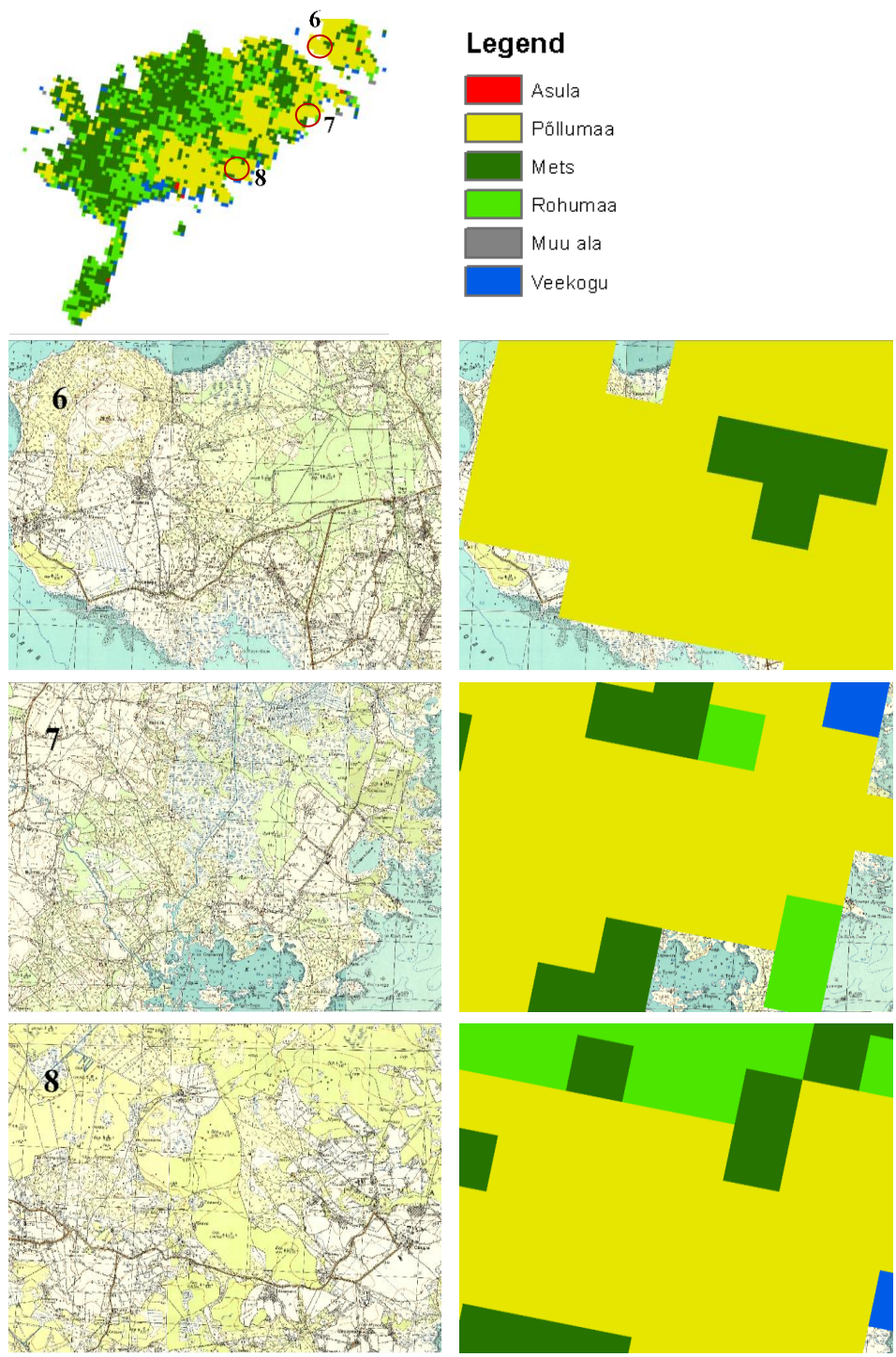
Sarnaselt punktidele 1 ja 2 (joonis 15 ja 17) on ka punktid 4 ja 5 jäänud 1940. aasta seisuga sama ebatäpseks ning muutusi ei ole toimunud (joonis 18).



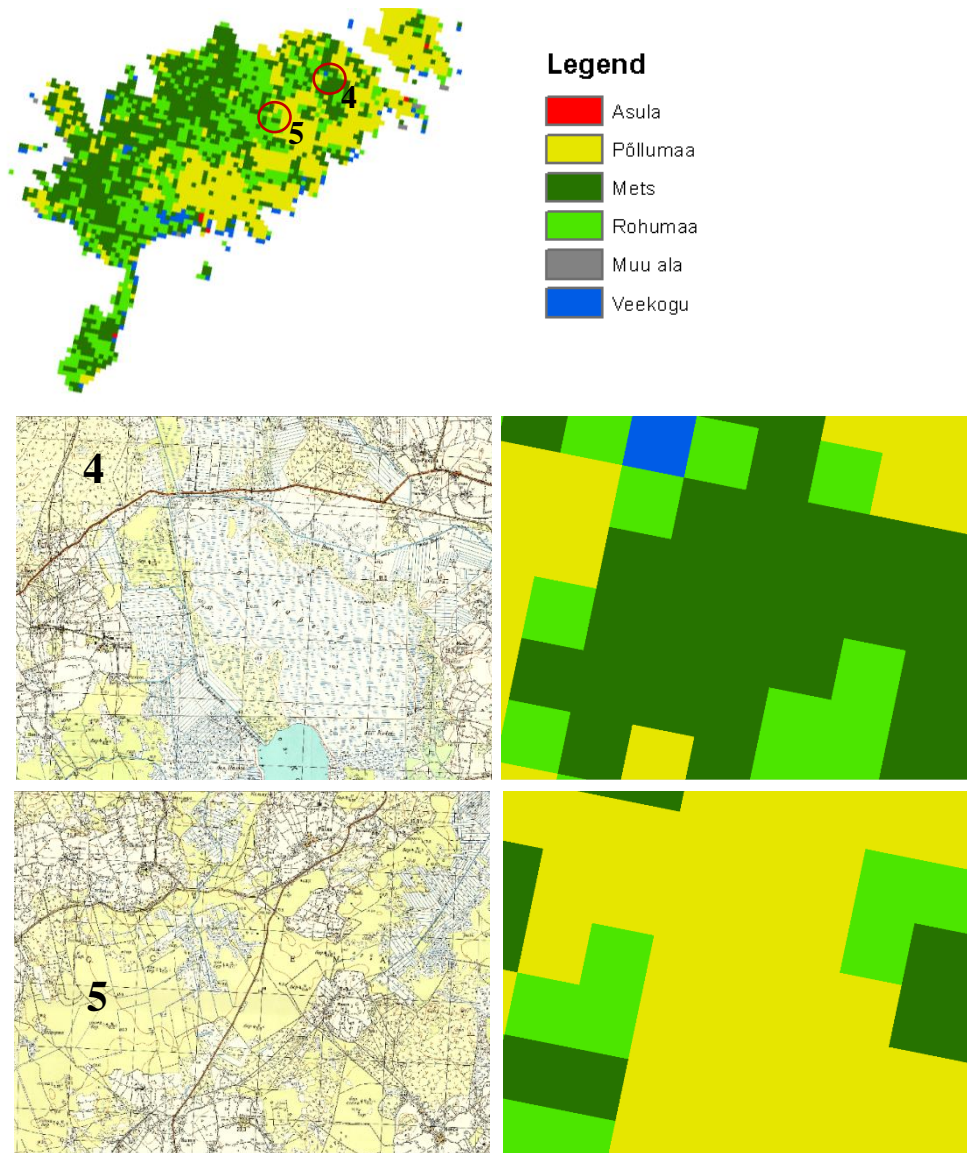
Joonis 18. NL vanema topokaardi võrdlus HILDA 1940. aasta maakatte rekonstruktsiooniga Saaremaa näitel.

1960. aastaks muutusid punktid 1-3 (joonised 15 ja 17) täpsemaks, mistõttu kajastan teisi ebatäpseid kohti.

Muhumaal: 6) HILDA järgi on ala valdavalt põllumaa, kuid tegelikkuses on valdavalt rohuma; Saaremaal: 7) HILDA on määranud rohuma ja metsa põllumaaks; 8) suur osa metsamaast on HILDA järgi määratud põllu- ja rohumaaks (joonis 19).



Joonis 19. NL keskmise topokaardi võrdlus HILDA 1960. aasta maakatte rekonstruktsiooniga. HILDA 1960. aasta rekonstruktsioonis on punktid 4 ja 5 endiselt ainulaadsed probleemsed kohad, millele sarnaseid eksimusi Saaremaal ja Muhumaal ei leidunud (joonised 16, 18 ja 20).



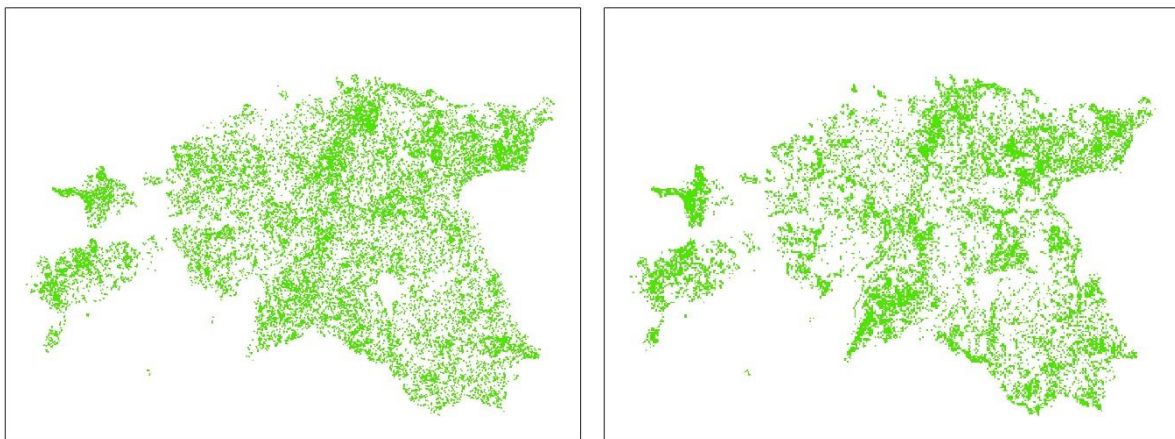
Joonis 20. NL keskmise topokaardi võrdlus HILDA 1960. aasta maakatte rekonstruktsiooniga Saaremaa näitel.

Detailses võrdluses kajastusid sarnased probleemid, mis leidsid 1990. aasta CORINE ja HILDA andmestike visuaalsel võrdlemisel (joonis 11) – HILDA on Lõuna-Saaremaa liigselt määranud põllumaaks, kuid ajalooliste topokaartide alusel on ala jagunenud nii rohu-, metsa- kui ka põllumaaks. Põllumaa liigset määramist Lõuna-Saaremaal esines ka mujal, näiteks punktis 3 (joonised 11 ja 13). Küllaga muutusid eksimuskohad väljaspool Lõuna-Saaremaad 1960. aastaks täpsemaks. Lõuna-Saaremaa probleemsetele kohtadele sarnanes Muhu, kus samuti oli probleemiks rohumaa määramine põllumaaks. Lisaks põllumaa liigsele määramisele leidsid ka erandeid, kus HILDA andmestik määras rohumaa metsaks (punkt 4 joonistel 16, 18 ja 20) ning metsa rohumaks (punkt 5 joonistel 16, 18 ja 20). Sarnaseid näiteid nagu punktid 4

ja 5 rohkem ei leidunud, mistõttu põhilised vead tulenevadki liigsest põllumaa määramisest. Leidus küll paaripikslilisi erinevusi, kuid need ei olnud käsitlemiseks piisavalt probleemsed. Olgugi et Lõuna-Saaremaal esines mitmeid sarnaseid probleemseid kohti, suutis HILDA üsnagi täpselt kajastada ülejäänud Saaremaad. Lisaks punktidele 1-8 oli probleemseid kohti veelgi, kuid need olid loomult sarnased tüüpvead. HILDA rekonstruktsiooni ebatäpsus oli kõige suurem 1900-1920. aastate võrdluses ning oli näha täpsuse suurenemist 1960. aastaks. Üleüldiselt võib väita, et HILDA andmestikul on hästi õnnestunud eristada omavahel mets ja rohumaa. HILDA probleemiks on kujunenud just põllu- ja rohumaa eristamine, mida oli juba näha võrdlusest CORINE-ga. Lähtudes detailses analüüsis toodud näidetele, võime väita, et HILDA andmestiku tugevuseks on metsade määramine ning nende eristamine rohumaast ja põllumaast ning nõrkuseks põllumaa eristamine rohumaast ja metsast. Mingil määral kajastusid probleemid ka rohu- ning metsamaa omavahelisel eristamisel, kuid need eksimused ei olnud nii suured nagu põllumaa klassifikatsioonis. Arvestades seda, et maakatte rekonstruktsioon on tehtud Euroopa uurimiseks, on iseenesest mõistetav, et detailsel analüüsil esinevad mõningased erinevused. Muljetavaldav on aga see, et HILDA andmestik suutis õigesti määrata mitmed spetsiifilised põllumaa, metsa ja rohumaa kohad.

2.2.4 Metsamaa analüüs

Võrreldes 1940. aasta HILDA ja NL vanema topokaardi metsasust (joonis 21) selgub, et kõige täpsemini on kajastunud Ida-Virumaa ning ka suur osa saartest ning kõige suurem ebatäpsus leiab aset Lääne-Eestis (välja arvatud saared). Üleüldiselt on HILDA maakatte rekonstruktsioon määranud metsa rohkem kui NL vanem topokaart.



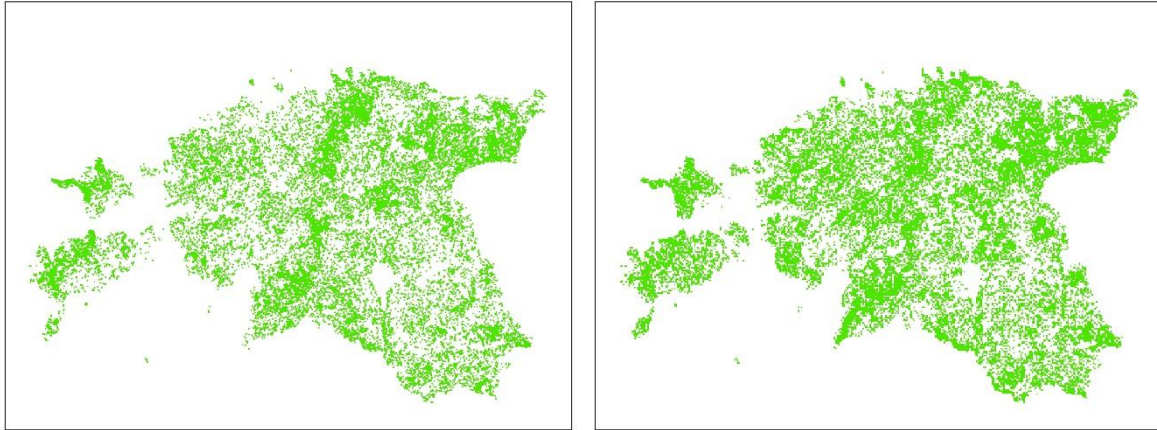
Joonis 21. HILDA 1940. aasta rekonstruktsiooni (vasakul) ja generaliseeritud NL vanema topokaardi (paremal) metsamaa võrdlus.

Veemaatriksist (tabel 2) selgus, et NL vanema topokaardi andmetes metsana kaardistatud ala on 56% kaardistatud millekski muuks (*omission*) ja 25% muust alast on valesti kaardistatud metsaks (*comission*). HILDA andmetes on muu ala kaardistatud 28% metsaks (*omission*) ning 60% metsast on valesti kaardistatud muuks alaks (*comission*). Veemaatriksi Kapa väärtus on 0.16.

Tabel 2. HILDA 1940. aasta rekonstruktsiooni ja NL vanema topokaardi metsamaa (km²) veemaatriks.

	NL vanema topokaardi andmed		
HILDA (1940)	Muu ala (0)	Mets (1)	Kokku
Muu ala (0)	21 725	7400	29 125
Mets (1)	8746	5799	14 545
Kokku	30 471	13 199	43 670

HILDA 1960. aasta rekonstruktsiooni ja NL keskmist topokaarti võrreldes on näha, et suuri ebatäpsusi ei esine ning HILDA andmestik on muutunud täpsemaks (joonis 22). Täpsuse suurenemine kajastub ka veemaatriksis. Huvitav on aga Lõuna-Saaremaa ning Muhu, kus on näha silmapaistvat erinevust. Detailsest analüüsist selgus, et Lõuna-Saaremaa ja Muhu probleemiks on rohu- ja metsamaa liigne määramine põllumaaks, mis kajastub ka antud analüüsis, kus on näha, et metsa on tunduvalt vähem määratud kui keskmisel topokaardil (joonis 22).



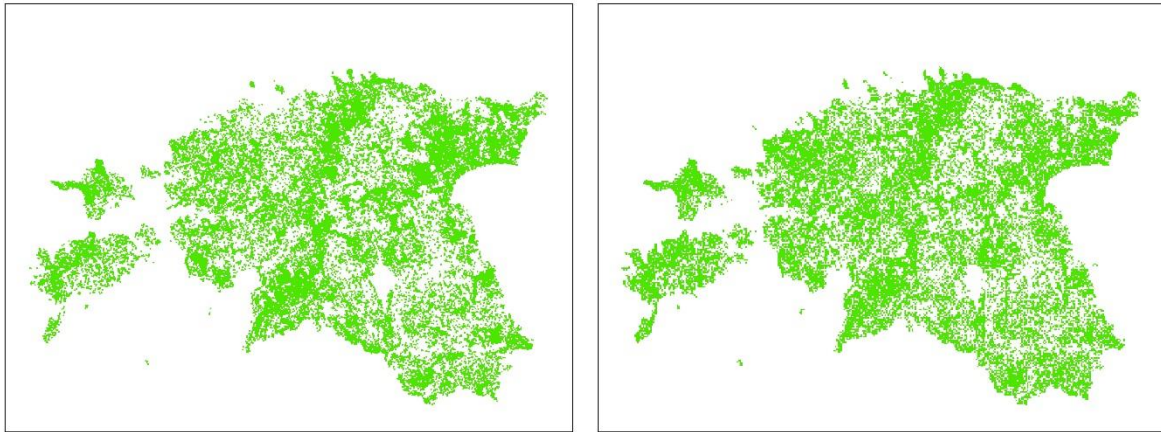
Joonis 22. HILDA 1960. aasta rekonstruktsiooni (vasakul) ja generaliseeritud NL keskmise topokaardi (paremal) metsamaa võrdlus.

Veamaatriksist (tabel 3) selgus, et NL keskmise topokaardi andmetes metsana kaardistatud ala on 49% kaardistatud millekski muuks (*omission*) ja 40% muust alast on valesti kaardistatud metsaks (*comission*). HILDA andmetes on muu ala kaardistatud 28% metsaks (*omission*) ning 37% metsast on valesti kaardistatud muuks alaks (*comission*). Veamaatriksi Kapa väärtus on 0.22.

Tabel 3. HILDA 1960. aasta rekonstruktsiooni ja NL keskmise topokaardi metsamaa (km²) veamaatriks.

	NL keskmise topokaardi andmed		
HILDA (1960)	Muu ala (0)	Mets (1)	Kokku
Muu ala (0)	15 893	10 688	26 581
Mets (1)	6378	10 711	17 089
Kokku	22 271	21 399	43 670

HILDA 2000. aasta rekonstruktsioon on võrreldes 2000. aasta Hanseni *et al* (2013) metsasihiga üpris sarnane (joonis 23). Kui 1940. aasta (joonis 21) ja 1960. aasta (joonis 22) võrdluses esinesid mõningased ebatäpsused, siis 2000. aasta andmeid võrreldes on ebatäpsusi juba raskem märgata. Täpsuse suurenemine kajastub ka veamaatriksist.



Joonis 23. 2000. aasta HILDA (vasakul) ja 2000. aasta Hanseni *et al* (2013) metsamaa võrdlus. Veematriksist (tabel 4) selgus, et 2000. aasta andmetes metsana kaardistatud ala on 31% kaardistatud millekski muuks (*omission*) ja 11% muust alast on valesti kaardistatud metsaks (*comission*). HILDA andmetes on muu ala kaardistatud 25% metsaks (*omission*) ning 8% metsast on valesti kaardistatud muuks alaks (*comission*). Veematriksi Kapa väärtus on 0.61.

Tabel 4. HILDA 2000. aasta rekonstruktsiooni ja 2000. aasta Hanseni *et al* (2013) metsamaa (km²) veematriks.

	2000. aasta Hanseni et al (2013) metsaandmed		
HILDA (2000)	Muu ala (0)	Mets (1)	Kokku
Muu ala (0)	62 512	7850	70 362
Mets (1)	5808	16 711	22 519
Kokku	68 320	24 561	92 881

Metsamaa täpsuse hindamisel selgus, et mida ajas edasi, seda täpsemaks on muutunud metsakihi kaardistus – 1940. aastal kõige ebatäpsem ning 2000. aastal kõige täpsem. Seetõttu on antud analüüsis saadud tulemused loogilised.

Kokkuvõte

Ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid on kõige rohkem kajastanud maailma või Euroopa maakatet. Enamik globaalseid maakatte rekonstruktsioone põhinevad oma andmestikes andmebaasile HYDE, mida pidevalt uuendatakse ja parandatakse, ning suur osa hilisematest Euroopa rekonstruktsioonidest on kasutanud fossilseid õietolmu andmeid EPD andmebaasist (European Pollen Database), mida samuti pidevalt täiendatakse. Riiklikud maakatte rekonstruktsioonid on aga peamiselt Ameerika Ühendriikide ja Hiina kohta. Rekonstruktsioone on tehtud ka Eesti kohta, kuid need ei kajasta tervet riigi territooriumi. Proovides uurida Eestit näiteks olemasolevate maailma või Euroopa rekonstruktsioonidega, on resolutsioonid liiga väikesed ning Eesti riiki kataksid vaid mõned kuni sajad pikslid, mistõttu informatsioon oleks pealiskaudne ja ebatäpne. Mõned aastad tagasi aga valmis uudsem ajaloolise maakatte rekonstruktsioon HILDA, mis kajastab aastate 1900-2010 maakatet resolutsiooniga 1 km, mis on tunduvalt suurem kui varem loodud rekonstruktsioonidel. Eesmärgiks ongi uurida HILDA täpsust Eesti alal.

Vaadeldes Eesti ajaloolist maakatet HILDA rekonstruktsiooniga selgus, et 20. sajandi vältel olid põhitrendid metsade ning põllumaa osakaalu suurenemine ning rohumaa vähenemine. Metsade suurenemine ja rohumaa vähenemine on teadaolevate trendidega kooskõlas, kuid põllumaa suurenemine on suures vastuolus.

Võrreldes HILDA ja CORINE andmestikke aastatel 1990–2010 selgus, et modelleerimise käigus tekkis probleeme põllu- ja rohumaa eristamisega, eelkõige Kagu-Eestis. HILDA andmestik sai aga hästi hakkama metsade kaardistamisega ning üleüldiselt oli enamik Eestit CORINE andmestikule üsna sarnane.

Ka detailselt analüüsis selgus, et HILDA tugevuseks on metsade eristamine teistest klassidest. Nõrkuseks oli aga rohu- ja metsamaa eristamine põllumaast, mistõttu HILDA oli liigselt kaardistanud Lõuna-Saaremaa ja Muhu põllumaaks. Sarnane probleem esines ka andmestiku võrdlemisel CORINE-ga. Samuti selgus, et mida varasem aasta, seda rohkem oli ebatäpseid kohti. Sarnane asjaolu selgus ka metsamaa analüüsimisel, kus 1940. aasta andmestik oli kõige ebatäpsem ning 2000. aasta kõige täpsem.

Põhinedes tulemustele on HILDA rekonstruktsiooni kõige suuremaks puuduseks Eesti alal põllumaa klass, mille ebatäpsus kajastus mitmes erinevas analüüsis, ning kõige suuremaks tugevuseks osutus metsa klass, mis saavutas mitmes analüüsis kõige täpsemad tulemused. Samuti selgus, et mida ajas tagasi, seda ebatäpsemaks muutus HILDA rekonstruktsioon.

Historic land cover/use reconstruction and their accuracy in Estonia

Kermo Kaio

Summary

The aim of the thesis is to give an overview of historic land cover/use reconstructions made in the world and in Estonia. Additionally my goal is to analyse and observe HILDA's data set in Estonia to get a view over the accuracy and precision of one of the most detailed historic land use/cover reconstructions.

Historic land use/cover reconstructions can be divided into 3 groups – pattern-oriented, agent-oriented and hybrid models. It is also possible to divide reconstructions based on the data sources used in the study. Most of the historic land cover/use reconstructions are made in a global extent, aiming to evaluate the effects of land use/cover change on climate and global warming. These type of reconstructions are mostly based on a database called HYDE. There are also numerous reconstructions made about Europe's land cover. A lot of these are based on fossil pollen data available from European Pollen Database (EPD). Besides reconstructions covering entire Earth or Europe, there are also national reconstructions, for example in Estonia there are reconstructions made of Hiiumaa, Karula National Park and Rõuge. However, none of the available reconstructions, except HILDA, are directed towards the entire territory of Estonia or the spatial resolutions are too small in order to analyse the changes in land cover/use. Even though HILDA was made to analyse Europe's land cover/use, the new harmonized model has way bigger spatial resolution (1 km) than other reconstructions, which allows us to also analyse historical land cover/use changes in Estonia. In order to achieve my aim to observe the accuracy and precision of this data set, I analysed the data with known trends of historical land cover/use change in Estonia, compared the data with CORINE data set, did a detailed analysis of a smaller region in Estonia and compared forest data to digitalized forest data from Soviet topographic maps.

According to HILDA, the trends throughout 20th century were increase in forests and cropland and decrease in grassland. Increase in cropland, however, is incorrect. Also the correct trends of increase in forests and decrease in grassland are too brief and do not match the historical events which changed Estonia's land cover. It was also revealed that throughout many parts of the analysis the main issue of HILDA was distinguishing grassland and cropland from each other. This especially occurred in the detailed analysis where HILDA excessively mapped Southern-Saaremaa and Muhu area as cropland instead of grassland or forest. The strongest

side of HILDA is forests which gave the best results throughout the analysis. Another key factor which occurred is that the accuracy and precision of the data set worsened the more further back in time the data set went. It means that year 2000 gave the most accurate results and years 1900-1940 were the most inaccurate.

Tänuavaldused

Täna oma juhendajat Evelyn Uuemaad, kes andis uurimistöö teema idee ning kelle nõu ja suunamine oli väga suureks abiks töö tegemisele.

Kasutatud kirjandus

- Alber, N., Kaisel, M., Rauk, T. ja Riiber, K. (2003). *Karula Rahvuspargi maakasutuse muutuste analüüs ajalooliste kaartide põhjal*. Tallinn.
- Alekand, K. (1995). *Maastikuplaneerimine*. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool.
- Arold, I. (1991). *Eesti maastikud*. Tartu: Tartu Ülikool.
- Arold, I. (2005). *Eesti maastikud*. Tartu: Tartu Ülikool.
- Aunap, R. (2007). *The applicability of gis data in detecting and representing changes in landscape: three case studies in Estonia*. Doktoritöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.
- Chang-Martínez, L., Mas, J.-F., Valle, N., Torres, P., ja Folan, W. (2015). Modeling Historical Land Cover and Land Use: A Review from Contemporary Modeling. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 1791–1812. doi:10.3390/ijgi4041791
- Chini, L. P., Hurtt, G. C., ja Froking S. (2014). Harmonized Global Land Use for Years 1500–2100, V1. *ORNL Distributed Active Archive Center*. doi:10.3334/ornl/daac/1248
- Etter, A., McAlpine, C. ja Possingham, H. (2008). Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), 2–23. doi:10.1080/00045600701733911
- Foster, D. R., Orwig, D. A., ja McLachlan, J. S. (1996). Ecological and conservation insights from reconstructive studies of temperate old-growth forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 11(10), 419–424. doi:10.1016/0169-5347(96)10047-1
- Fuchs, R., Herold, M., Verburg, P.H. ja Clevers, J.G.P.W. (2013). A high-resolution and harmonized model approach for reconstructing and analysing historic landchanges in Europe. *Biogeosciences*, 10(3), 1543-1559. doi:10.5194/bg-10-1543-2013
- Fyfe, R. M., de Beaulieu, J.-L., Binney, H., Bradshaw, R. H. W., Brewer, S., Le Flao, A., ... Tonkov, S. (2009). The European Pollen Database: past efforts and current activities. *Vegetation History and Archaeobotany*, 18(5), 417–424. doi:10.1007/s00334-009-0215-9
- Goldewijk, K. K. (2001). Estimating global land use change over the past 300 years: the HYDE database. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(2), 417–433. doi:10.1029/1999gb001232

- Goldewijk, K. K., F.G. Hall, Forest, G., G.J. Collatz, B.W. Meeson, S.O. Los, E. Brown De Colstoun ja D.R. Landis. (2007). ISLSCP II Historical Land Cover and Land Use, 1700-1990. *ORNL Distributed Active Archive Center*. doi:10.3334/ORNLDAAC/967
- Goldewijk, K. K., Beusen, A., Van Drecht, G., ja De Vos, M. (2011). The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12,000 years. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 73–86. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00587.x
- Griffin, A. F. ja Stanish, C. (2007). An Agent-based Model of Prehistoric Settlement Patterns and Political Consolidation in the Lake Titicaca Basin of Peru and Bolivia. *Structure and Dynamics: eJournal of Anthropological and Related Sciences*, 2(2).
- Hayashida, F. M. (2005). Archaeology, ecological history, and conservation. *Annual Review of Anthropology*, 34(1), 43–65. doi:10.1146/annurev.anthro.34.081804.120515
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850–853. doi:10.1126/science.1244693
- Houghton, R. (1999). The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 51(2), 298–313. doi:10.3402/tellusb.v51i2.16288
- Hurt, G. C., Froking S., Fearon, M. G., Moore, B., Shevliakova, E., Malyshev, S., ... Houghton, R. A. (2006). The underpinnings of land-use history: three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. *Global Change Biology*, 12(7), 1208–1229. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01150.x
- Jones, M. (1991). The elusive reality of landscape. Concepts and approaches in landscape research. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 45(4), 229–244. doi:10.1080/00291959108552277
- Kaasik, A. (2014). *The Detection of land use change and its interactions with biota in Estonian rural landscapes*. Doktoritöö. Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut.
- Kant, E. (1931). Ümbrus geograafia ja sotsiograafia uurimusesemena. *Loodusuurijate Seltsi Aruanded XXXVIII*.
- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., ja Zimmermann, N. (2009). The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews*, 28(27–28), 3016–3034. doi:10.1016/j.quascirev.2009.09.028

- Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Gaillard, M.-J., Sugita, S., Trondman, A.-K., Fyfe, R., ... Nielsen, A. (2017). Constraining the Deforestation History of Europe: Evaluation of Historical Land Use Scenarios with Pollen-Based Land Cover Reconstructions. *Land*, 6(4), 91. doi:10.3390/land6040091
- Kohler, T. A., Gumerman, G. J. ja Reynolds, R. G. (2005). Simulating Ancient Societies. *Scientific American*, 293(1), 76–84. doi:10.1038/scientificamerican0705-76
- Kumar, S., Merwade, V., Rao, P. S., ja Pijanowski, B. C. (2013). Characterizing long-term land use/cover change in the United States from 1850 to 2000 using a nonlinear bi-analytical model. *Ambio*, 42(3), 285–297. doi:10.1007/s13280-012-0354-6
- Lemmen, C. (2010). World distribution of land cover changes during Pre- and Protohistoric Times and estimation of induced carbon releases. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 15(4), 303–312.
- Li, X., Dodson, J., Zhou, J., ja Zhou, X. (2009). Increases of population and expansion of rice agriculture in Asia, and anthropogenic methane emissions since 5F000BP. *Quaternary International*, 202(1–2), 41–50. doi:10.1016/j.quaint.2008.02.009
- Macleod, R. D. ja Congalton, R. G. (1998). A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric engineering and Remote Sensing* 64(3), 207-216.
- Macmillan, W. ja Huang, H. Q. (2008). An agent-based simulation model of a primitive agricultural society. *Geoforum*, 39(2), 643–658. doi:10.1016/j.geoforum.2007.07.011
- Mander, U. ja Palang, H. (1994). Changes of Landscape Structure in Estonia during the Soviet Period. *GeoJournal*, 33(1), 45-54. doi:10.1007/BF00810135
- Mander, Ü. (2001). Maastiku ja maastikuökoloogia mõistest. H. Palang, H. Sooväli (toim), *Maastik: loodus ja kultuur : maastikukäsitlusi Eestis* (lk 30-35). Tartu: Tartu Ülikool.
- National Research Council. (2014). *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Palang, H.(1998). *Landscape changes in Estonia: the past and the future*. Doktoritöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.

- Pongratz, J., Reick, C., Raddatz, T., ja Claussen, M. (2008). A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3). doi:10.1029/2007gb003153
- Pontius, G. R., ja Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 243–265. doi:10.1080/13658810410001713434
- Poska, A., Sepp, E., Veski, S., ja Koppel, K. (2007). Using quantitative pollen-based land-cover estimations and a spatial CA_Markov model to reconstruct the development of cultural landscape at Rõuge, South Estonia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 17(5), 527–541. doi:10.1007/s00334-007-0124-8
- Prentice, I. C., Cramer, W., Harrison, S. P., Leemans, R., Monserud, R. A., & Solomon, A. M. (1992). Special Paper: A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate. *Journal of Biogeography*, 19(2), 117. doi:10.2307/2845499
- Roberts, N., Fyfe, R. M., Woodbridge, J., Gaillard, M.-J., Davis, B. A. S., Kaplan, J. O., ... Leydet, M. (2018). Europe's lost forests: a pollen-based synthesis for the last 11,000 years. *Scientific Reports*, 8(1). doi:10.1038/s41598-017-18646-7
- Roose, A., Sepp, K., Saluveer, E., Kaasik, A. ja Oja, T. (2007). Neighbourhood-defined approaches for integrating and designing landscape monitoring in Estonia. *Landscape and Urban planning*, 79 (2), 177-189. doi:10.1016/j.landurbplan.2006.02.004
- Sinijärv, U. (2001). Maastikust, kultuurist ja identiteedist. H. Palang, H. Sooväli (toim), *Maastik: loodus ja kultuur : maastikukäsitlusi Eestis* (lk 11-17). Tartu: Tartu Ülikool.
- Sohl, T. L., Sayler, K. L., Bouchard, M. A., Reker, R. R., Friesz, A. M., Bennett, S. L. . . . Knuppe, M. (2014). Spatially explicit modeling of 1992 to 2100 land cover and forest stand age for the conterminous United States. *Ecological Applications*, 24(5), 1015–1036. doi:10.1890/13-1245.1
- Sohl, T., Reker, R., Bouchard, M., Sayler, K., Dornbierer, J., Wika, S., ... Friesz, A. (2016). Modeled historical land use and land cover for the conterminous United States. *Journal of Land Use Science*, 11(4), 476–499. doi:10.1080/1747423x.2016.1147619
- Zanon, M., Davis, B. A. S., Marquer, L., Brewer, S., ja Kaplan, J. O. (2018). European Forest Cover During the Past 12,000 Years: A Palynological Reconstruction Based on Modern Analogs and Remote Sensing. *Frontiers in Plant Science*, 9. doi:10.3389/fpls.2018.00253

Van der Werf, G.R., Morton, D. C., Defries, R. S., Olivier, J. G. J., Kasibhatla, P.S., Jackson, R. B., Collatz, G. J. ja Randerson, J. T. (2009). CO2 emissions from forests. *Nature Geoscience*. 2(11), 737-738. doi:10.1038/ngeo671.

Washer, D. M. (2000). *European landscapes – classification, evaluation and conservation*. EEA, Environment Technical Reports, European Environment Agency.

Yang, Y., Zhang, S., Yang, J., Chang, L., Bu, K. ja Xing, X. (2014). A review of historical reconstruction methods of land use/land cover. *Journal of Geographical Sciences*. 24(4), 746-766. doi:10.1007/s11442-014-1117-z.

Yu, Y., Guo, Z., Wu, H. ja Finke, P. A. (2012). Reconstructing prehistoric land use change from archeological data: Validation and application of a new model in Yiluo valley, northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 156, 99–107. doi:10.1016/j.agee.2012.05.013

Interneti allikad

Corine Land Cover kodulehekülg (1985). Kasutatud 10.01.2019, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

European Pollen Database (EPD) kodulehekülg. (i.a). Kasutatud 20.04.2019, <http://www.europeanpollendatabase.net>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) kodulehekülg. (i.a). Kasutatud 15.04.2019, <http://www.fao.org>

HYDE andmebaasi kodulehekülg. (2010). Kasutatud 25.04.2019, <https://themasites.pbl.nl/tridion/en/themasites/hyde/index.html>

Maa-ameti geoportaali kodulehekülg (i.a). Kasutatud 09.01.2019, <https://geoportaal.maaamet.ee/>

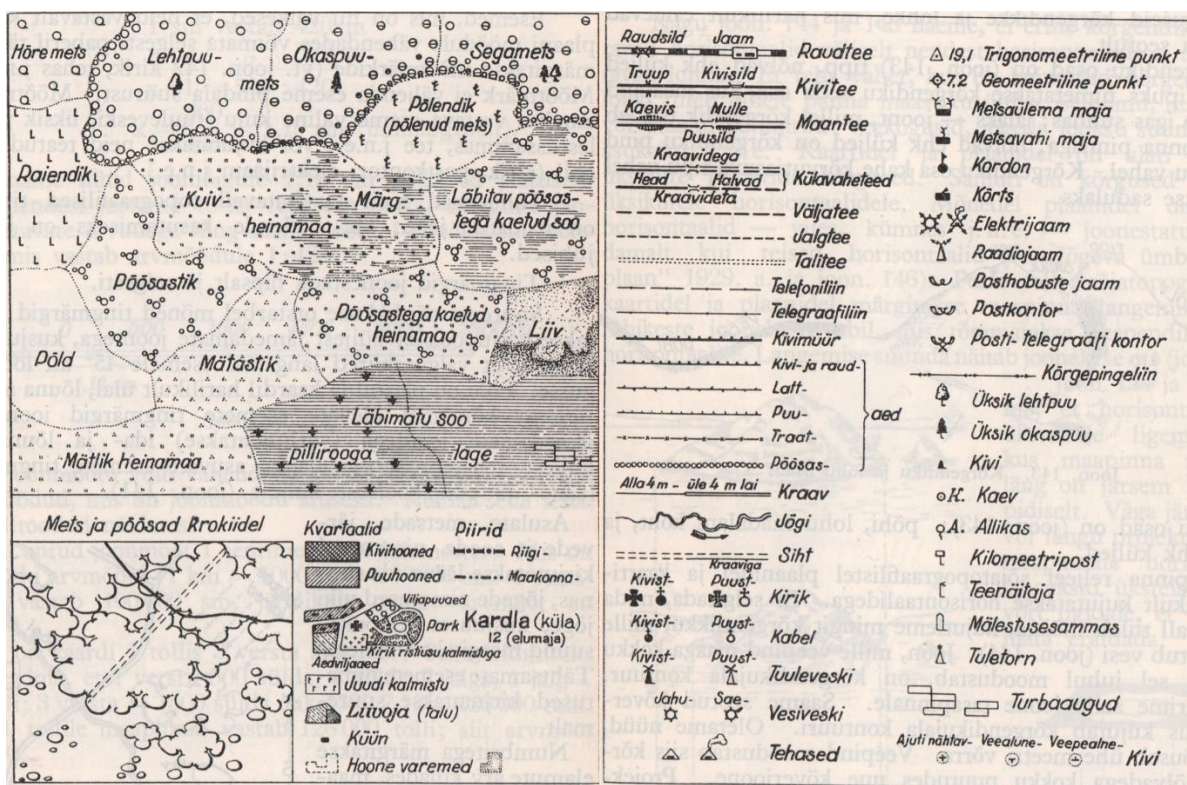
PANGEA kodulehekülg (i.a). Kasutatud 20.04.2019, <https://www.pangaea.de/>

Lisad

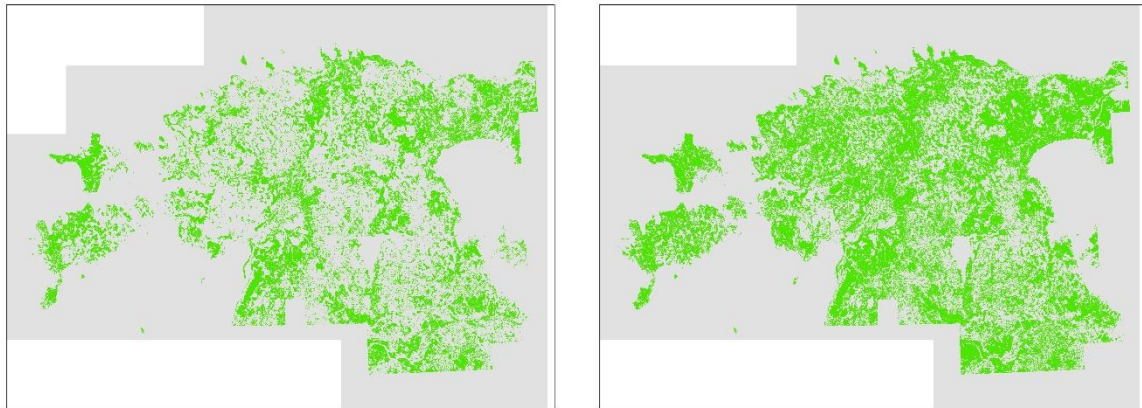
Lisa 1. CORINE ümberklassifitseerimine HILDA klassifikatsiooni alusel

CORINE klass	CORINE klassifikatsioon	HILDA klassifikatsioon
Asula, kus rohkem kui 80% on asustatud	111	Asula
Asula, kus 30-80% on asustatud	112	Asula
Tööstuslikud ja kaubanduslikud üksused	121	Asula
Sõiduteed ja raudteed	122	Asula
Sadama ala	123	Asula
Lennujaamad	124	Asula
Kaevandused ja karjäärid	131	Asula
Prügila	132	Asula
Ehitusplatsid	133	Asula
Asula rohealad	141	Asula
Spordi ja vaba-aja asutused	142	Asula
Põllumaa, mida inimene ei niisuta	211	Põllumaa
Puuvilja- ja marjaistandused	222	Põllumaa
Kompleksne harimismaa (erinevad põllukultuurid segamini)	242	Põllumaa
Põllumajandusmaa	243	Põllumaa
Laialehised metsad	311	Mets
Okasmets	312	Mets
Segamets	313	Mets
Üleminekulised põõsastikud ja metsad	324	Mets
Karjamaa	231	Rohumaa
Looduslik rohumaa	321	Rohumaa
Nõmm	322	Rohumaa
Sisemaa padur	411	Rohumaa
Turbarabad	412	Rohumaa

Soolase veega padur	421	Rohumaa
Rannad, luited ja liivikud	331	Muu ala
Hõredalt taimestunud ala	333	Muu ala
Vooluveekogud	511	Veekogu
Seisuveekogud	512	Veekogu
Laguunrannik	521	Veekogu
Meri	523	Veekogu



Lisa 2. Vene üheverstakaardi (1896-1922) leppemärgid. Allikas: Maa-ameti geoportaal.



Lisa 3. Prof. Meelis Pärteli tööühma NL vanema (vasakul) ja keskmise (paremal) topokaardi metsaandmed.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kermo Kaio

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Ajaloolised maakatte rekonstruktsioonid ja nende täpsus Eestis“, mille juhendaja on Evelyn Uemaa, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Kermo Kaio
27.05.2019