

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

**Globaalsete ja regionaalsete kaugseirepõhiste maakatte
andmebaaside täpsuse hindamine Eesti näitel**

Marie Annusver

Juhendaja: Prof. Evelyn Uuema

Tartu 2024

Globaalsete ja regionaalsete kaugseirepõhiste maakatte andmebaaside täpsuse hindamine Eesti näitel

Pikaajaliste maastikumuutuste jälgimiseks ja hetkeolukorra kirjeldamiseks on vajalikud pikaajalised ja järjepidevad andmed, mida pakub kaugseire. Kaugseire põhiseid maakatte andmebaase on aga erinevaid. Antud töö eesmärk on võrrelda omavahel kolme globaalset ja ühte regionaalset kaugseire põhist maakatte andmebaasi, et teha kindlaks nende täpsused Eesti aladel ning leida nende peamised vead ja vigade allikad. Antud töös võrreldi andmebaase: CORINE *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Esri *Land Cover* ja *Dynamic World*. Valideerimiseks kasutasin Eesti Topograafia Andmekogu (ETAK). Uurimusalaks oli terve Eesti. Töö tulemus näitas, et kõikide andmebaaside üldine täpsus oli sarnane. ESRI-l oli 74%, ESA-l 73%, *Dynamic World*il 71% ning CORINE-il 68%. Peamised vead tulenesid madalast ruumilisest resolutsioonist, spektraalsete omaduste sarnasusest, segupikslitest, erinevustest definitsioonides ja andmete ajakohasusest.

Märksõnad: maakate, maakasutus, kaugseire

CERCS kood: P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia; T181 Kaugseire

Accuracy assessment of remote sensing-based global and regional land cover datasets in Estonia

Remote sensing provides consistent data, which is needed to monitor long-term change. There are several different land cover datasets based on remote sensing data. The purpose of this thesis was to compare four global and regional remote sensing-based land cover databases to determine their accuracy in Estonia and find the main sources of errors. This work compared CORINE Land Cover, ESA WorldCover, Esri Land Cover, and Dynamic World databases and used The Estonian Topographic Database (ETD) as validation data. The study area was the country of Estonia. The overall accuracy was 74% for ESRI, 73% for ESA, 71% for Dynamic World, and 68% for CORINE, suggesting significant uniformity across all four databases. The primary causes of inaccuracy were low spatial resolution, similar spectral classes, mixed pixels, differences in definitions, and outdated data.

Keywords: land cover, landuse, remote sensing

CERCS code: P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology; T181 Remote sensing

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
2. Maakatte kaardistamine	6
2.1 Varasemad tööd Eestis.....	7
2.2 Globaalsed ja regionaalsed maakatte andmebaasid ning nende täpsus	8
2.3 Maakatte andmete täpsuse hindamise meetodid.....	9
3. Andmed ja meetodika	11
3.1 Uurimuses kasutatud andmed	11
3.2 Täpsuse hindamise meetodika.....	13
4. Tulemused ja arutelu	14
4.1. Üldine täpsus	14
4.2. Detailsem analüüs.....	17
4.2.1 Mets.....	17
4.2.2 Veekogu	18
4.2.3 Rohumaa	19
4.2.4 Põllumaa	21
4.2.5 Hoonestatud ala.....	23
4.2.6 Lage ala.....	24
4.2.7 Põõsastik	25
4.2.8 Märgala	26
5. Järeldused	28
6. Kokkuvõte	30
Summary	31
Tänuavaldused	32
Kirjanduse loetelu	33
Lisad	38
Lisa 1. Andmebaaside klassifikatsioonid	38
Lisa 2. ESRI veamaatriks	43
Lisa 3. ESA veamaatriks	43
Lisa 4. Dynamic World veamaatriks	43
Lisa 5. CORINE veamaatriks	43

1. Sissejuhatus

Maailmas on suureks probleemiks kliimamuutused, mis avaldavad mõju nii globaalsel kui ka regionaalsel tasandil. Inimtegevus on negatiivselt mõjutanud paljusid maastikke ning looduskeskkonna olukorra hoidmise ja parandamise jaoks on vaja leida lahendusi. Sellest tulenevalt on üheks oluliseks uurimis- ja jälgimissuunaks tõusnud maakasutus, maakasutuse muutus ja metsandus (*LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry*). Euroopas on selles valdkonnas seiret läbi viidud juba 2008. aastast (Kliimaministeerium, 2022).

Maakatte muutuste jälgimiseks ning trendide analüüsimiseks on vaja aga palju ja järjepidevaid andmeid (Schowengerdt, 2006), mistõttu ongi vajalik maakatte kaardistamine kaugseire ja välitööde abil. Schowengerdt (2006) järgi on kaugseire mõõtmised nii lennuki pealt mõõdetud kui ka satelliitidelt saadud andmed. Vajalik informatsioon saadakse optiliste-, akustiliste- või mikrolainete abil. Kuna satelliidid jälgivad Maad pidevalt, on võimalik saadud andmete põhjal uurida pikaajalisi protsesse, nagu näiteks linnastumist, meteoroloogilisi nähtusi ning palju muud (Schowengerdt, 2006).

Kaugseire abil kogutud andmete põhjal on loodud mitmeid globaalseid ja regionaalseid andmebaase. Tehnoloogia järjepidev areng toob endaga kaasa saadaolevate tehnoloogiliste ressursside ja võimaluste, sh GIS lahenduste ja andmebaaside laienemise ja suurema rafineerituse. Ajaga kaasas käimiseks ja kliimamuutustega seotud eesmärkide täitmise jälgimiseks on oluline, et riigid ja asutused võtaksid sääraseid GIS lahendusi senisest laiemas mahus kasutusele ning rakendaksid neid oma igapäevatoös.

Bakalaureusetöö eesmärk on võrrelda omavahel erinevaid globaalseid ja regionaalseid kaugseire põhiseid maakatte andmebaase, et teha kindlaks nende täpsused Eesti aladel, leida nende peamised vead ja vigade allikad. Kuna maakatte andmebaase on palju, mis võib raskendada nende vahel valiku tegemist, selgitaks antud töö andmebaaside erinevate klasside täpsuseid.

Töös võrdlesin järgevaid maakatte andmebaase: CORINE *Land Cover* (Copernicus. n.d.), ESA *WorldCover* (ESAWorldCover, n.d.), Esri *Land Cover* (ESRI, n.d. a) ja Dynamic World (Dynamic World, n.d.) ning valideerimiseks kasutasin Eesti topograafia andmekogu (ETAK) (Maa-amet, 2023). ETAK ei ole küll kõikide maakasutuse tüüpide puhul ühtmoodi ajakohane

ja täpne, kuid antud töös eeldasin siiski, et tegu on Eesti kontekstis kõige täpsema andmekoguga.

Käesolevas töös kasutasin termineid maakasutus (*land use*) ja maakate (*land cover*). Meiner (1999) defineerib maakasutust kui maastiku kasutamist ning maakate kirjeldab maapinda. Näiteks on maakate mingi konkreetne põllukultuur ja maakasutus põllumajandus (Meiner, 1999).

2. Maakatte kaardistamine

Maakasutuse uurimise algusaeg on ebaselge, kuid esimesed katastriplaanid tehti juba Babülooonias ja Vana-Egiptuses 2000-3000 eKr (Wallis, 1981). Balchin (1985) toob välja, et maakatte kaardistamise eelkäijateks võib pidada 16. sajandil ja 17. sajandil tehtud mõisaalade kaardistamist, kus kasutati erinevaid värve, et eristada heinamaad, metsamaad, karjamaad jms. 18. sajandil kaardistati samamoodi linnasid ja maakondi, kuid kasutati rohkem erinevaid kategooriaid ja sümboleid (Balchin, 1985).

Teine maailmasõda tõi kaasa kiire arengu mitmes valdkonnas, mis panid hiljem aluse Maa satelliitseirele. Tsiviileesmärgil oli seni andmeid saadud aerofotodega, kuid nähti ka suurt potentsiaali maakatte jälgimiseks kosmosest (Goward *et al.*, 2021). 1960ndatel pakkus Ameerika Ühendriikide Geoloogiateenistuse direktor William Pecora välja idee, et kaugseirega võiks koguda andmeid Maa loodusvarade kohta. Lisaks viis NASA läbi kaugseire uuringuid, kasutades lennukile paigaldatud seadmeid (Giri, 2016).

1970ndatel pandi alus kaasaegsele kaardistamisele. Esimene Landsat satelliit (varem nimega *Earth Resources Technology Satellite*) saadeti orbiidile aastal 1972 (Williams *et al.*, 2006). Landsat 2 saadeti orbiidile aastal 1975 ja Landsat 3 aastal 1978 (Lauer *et al.*, 1997). Alates aastast 1978 olid esialgu meteoroloogia vallas ning hiljem ka muudel eesmärkidel väga oluliseks andmeallikaks USA Riikliku Ookeani- ja Atmosfäärivalitsuse satelliidid, millel olid AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) sensorid (Cracknell, 2018).

Landsat 4 saadeti orbiidile 1982. aastal ja Landsat 5 kogus andmeid alates aastast 1984. Uudne oli asjaolu, et mõlemad satelliidid kasutasid TM (*Thematic Mapper*) sensorit, mille eraldusvõime oli 30 m (Goward *et al.*, 2006.). 1980ndatel arendati arvutipõhist maakatte kaardistamist, suurenes maakatte kaardistamise algatuste arv Ameerika Ühendriikides ning TM sensori tõttu paranes Landsati andmete kvaliteet (Giri, 2016). Negatiivse arenguna võib antud ajajärgust välja tuua Landsati liikumist erasektorisse, mis tõstis märgatavalt Landsati kogutud andmete hinda. Seega hakkas enamik teadlasi kasutama USA Riikliku Ookeani- ja Atmosfäärivalitsuse AVHRR andmeid, mille eest ei pidanud maksma (Goward *et al.*, 2021).

1993. aastal saadeti orbiidile Landsat 6, kuid see ei õnnestunud, ning aastal 1998 saadeti orbiidile Landsat 7 (Loveland ja Dwyer, 2012). 1990ndatel arendati uus maakatte kaardistamise süsteem (*Land-Cover Classification System*), mis defineerib maakatte klassid diagnostiliste

kriteeriumitega. See on muutunud rahvusvaheliseks standardiks ning selle abil on võimalik luua järjepidevaid ja võrreldavaid andmebaase (Giri, 2016). 1990. aastal loodi ka esimene CORINE maakatte andmebaas (Copernicus, n.d).

Üks oluline sündmus maakatte kaardistamises leidis aset aastal 2008, kui Landsati arhiiv muudeti kõigile tasuta kättesaadavaks tänu avatud juurdepääsu poliitikale, mistõttu suurenes kaugseire andmete kasutamine (Wulder *et al.*, 2012). 2000ndatel tõusid globaalsel tasemel olulisteks andmeallikateks sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) ja instrument MERIS (*Medium-Spectral Resolution Imaging Spectrometer*). Lisaks loodi Kagu-Aasia riike kaardistav Asiacovert (Giri, 2016). Landsat 8 on Maad kaardistanud aastast 2013 ja Landsat 9 aastast 2021 ning nende korduspildistamiste sagedus koos on 8 päeva (Masek *et al.*, 2020).

2.1 Varasemad tööd Eestis

Eestis on maakatte kaardistamise vallas tehtud mitmeid uurimusi. Eesti põhikaardi temaatilist õigust ja täielikkust on uurinud näiteks Mõisja *et al.* (2016). Kõige levinumad veatüübid olid objektide puudumine kaardilt ning valesti klassifitseeritud objektid. Vigade esinemise põhjusteks olid ebapiisavad kaardistamise nõuded ja ebapiisav välitöötajate koolitamine (Mõisja *et al.*, 2016). Sagris ja Palo (2018) uurisid, kuidas mõjutab CORINE kaardistamise meetod maakatte muutuste tõlgendamist. Tulemuseks oli, et väiksemaid muutuseid on suure üldistuse taseme ning ajalise vahe tõttu raske jälgida (Sagris ja Palo, 2018).

Antud valdkonnas on kirjutatud ka mitmeid magistri- ja bakalaureusetöid. Kirsimäe (2017) kasutas kaugseire andmeid (Landsat satelliidipilte), et analüüsida ja prognoosida maakasutusmuutusi. Antud töös tuli välja, et neljas uuritud Eesti linnas (Tallinn, Tartu, Pärnu, Narva) on kõige rohkem asulaalaks muutunud põllu-, rohu- ning metsamaa. Lisaks toob autor välja, et klassifitseerimise täpsus on oluline korrektseks modelleerimiseks (Kirsimäe, 2017). Oma magistrیتöös uuris Lepa (2019) ETAK-i andmete kasutamist maakatastri kõlvikukaardi alusena (Lepa, 2019). Kasekamp (2018) uuris oma bakalaureusetöös kvantitatiivsetel meetoditel põhinevat maastiku klassifitseerimist (Kasekamp, 2018).

2.2 Globaalsed ja regionaalsed maakatte andmebaasid ning nende täpsus

Wang *et al.* (2023) töös tuuakse välja, et tänapäeval eksisteerivad üldised ja temaatilised maakasutuse ja maakatte muutuste andmebaasid. Temaatilised andmebaasid keskenduvad ühele klassile, näiteks märgaladele või metsadele. Üldised andmebaasid saab jagada globaalseteks ja regionaalseteks. Globaalsed andmebaasid saab ruumilise eraldusvõime alusel omakorda jagada kolme kategooriasse: madala eraldusvõimega, keskmise eraldusvõimega ja kõrge eraldusvõimega. Regionaalsed andmebaasid saab omakorda jagada kontinentaalseteks ja riiklikeks (Wang *et al.*, 2023).

Esri *Land Cover* on globaalne maakatte andmebaas aastatest 2017–2022, mille ruumiline resolutsioon on 10 meetrit ning mis põhineb Sentinel-2 andmetel. Andmebaas koosneb üheksast klassist: vesi, puud, üleujutatud taimestik, põllukultuurid, ehitistega ala, lage maa, lumi ja jää, pilved ning rohumaa (Esri, 2022).

Globaalne maakatte andmebaas ESA *WorldCover* kasutab satelliitide Sentinel-1 ja Sentinel-2 andmeid (ESAWorldCover, n.d.). ESA *WorldCover* andmebaas on loodud aastatel 2021 ja 2022 ning mõlema aasta andmebaasil on ruumiline resolutsioon 10 meetrit. Andmebaas koosneb üheteistkümnest klassist: puud, põõsastik, rohumaa, põllumaa, ehitistega ala, lage või vähene vegetatsioon, lumi ja jää, püsiveekogud, sesoonsed märgalad, mangroov ning sammal ja samblik. 2021. aasta andmebaasi täpsus on 74,4% ning 2022. aasta oma 76,7%. Kahe aasta andmebaaside erinevused tulenevad maakatte muutusest ning erinevatest algoritmidest, millega need loodi (WorldCover, 2020).

Dynamic World on samuti 10-meetrise ruumilise resolutsiooniga globaalne maakatte andmebaas. See põhineb Sentinel-2 andmetel ning on peaaegu reaalajas. Andmebaas koosneb üheksast klassist: vesi, puud, muru, üleujutatud taimestik, põllukultuurid, põõsastik, ehitistega ala, lage maa ning lumi ja jää (Brown *et al.* 2022).

CORINE *Land Cover* on regionaalne maakatte andmebaas. Esimene loodi aastal 1990 ning seda täiendati aastatel 2000, 2006, 2012 ja 2018. 2018. aasta andmed pärinevad satelliitidelt Sentinel-2 ja Landsat-8 ning minimaalne kaardistusüksus on 25 ha. Andmebaas koosneb neljakümne neljast klassist. 1. taseme moodustavad 5 klassi: tehislikud pinnad, põllumaa all olevad alad, metsad ja poollooduslikud alad, märgalad ning veekogud. 1. taseme klassid jagunevad omakorda konkreetsematesse klassidesse järgnevatel tasemetel. Näiteks veekogude

2. tase jaguneb siseveekogudeks ja mereveekogudeks. 3. tasemel jagunevad siseveekogud voolu- ja seisuveekogudeks ning mereveekogud laguunideks, lehtersuudmeteks ning meredeks ja ookeanideks (Büttner *et al.* 2021).

ETAK (Eesti topograafia andmekogu) on koostatud ortofotode ja välitööde abil (Maa-amet, 2021). Välitöid kasutatakse ka Eesti põhikaardi andmete uuendamisel, et teha erinevatele aladele või objektidele kontrolli, mis on vajalik tundmatute või segaste objektide atribuutide täpsustamiseks (Maa-amet, 2016).

Globaalsetel ja regionaalsetel maakatte andmebaasidel on erinev täpsus, mis antud kontekstis tähendab kui suur osa objektidest on õigesti kaardistatud (Cal Poly Humboldt, 2014). Venter *et al.* (2022) teadustöös võrreldi omavahel järgmisi 2020. aasta andmestikke: Dynamic World, ESA *World Cover* ja Esri *Land Cover*. Globaalsel tasemel oli kõige täpsem Esri *Land Cover* (75%). Dynamic Worldi üldine täpsus oli 72% ning väikseima täpsusega oli ESA *WorldCover* (65%). Regionaalsel tasemel oli ESA *WorldCoveri* üldine täpsus 71%, Dynamic Worldi täpsus 66% ja Esri *Land Coveri* täpsus 63% (Venter *et al.*, 2022). Chaaban *et al.* (2022) võrdlesid ESA ja ESRI 2020. aasta andmebaase. Meetodist olenevalt oli ESA täpsus 74,4% või 70% ning ESRI täpsus 86% või 73% (Chaaban *et al.*, 2022). Ding *et al.* (2022) leidsid, et Kagu-Aasias oli ESRI 2020. aasta seisuga üldine täpsus 79,99% ja ESA2020. aasta seisuga oli täpsus 81,11% (Ding *et al.*, 2022). Üldine täpsus CORINE 2018 andmebaasil on 85% (Büttner *et al.* 2021).

Peamised vead ja erinevused andmebaaside vahel olid põhjustatud definitsioonide erinevustest, klassifitseerimisega seotud raskustest ja aegunud andmetest (Wang *et al.*, 2023). Üldiselt on kõige täpsemad vee, linnastunud alade, metsade ja põllumaade klassid (Ding *et al.*, 2022; Venter *et al.*, 2022). Kõige suuremad erinevused esinevad aga põõsastike, lagedate alade, rohumaade ja märgalade klassides (Venter *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2023).

2.3 Maakatte andmete täpsuse hindamise meetodid

Strahler *et al.* (2008) toovad välja, et maakatte andmete täpsuse hindamiseks ei ole olemas ühte õiget lahendust, kuna andmed ning eesmärgid on erinevad. Täpsuse hinnangu saab anda tervele kaardile, regioonidele või klassidele (Strahler *et al.*, 2008). Üheks enim kasutatud täpsuse hindamise meetodiks on veamaatriks (*confusion matrix*). Selle meetodi puhul kasutatakse

tabelit, kus võrreldakse referentsandmeid klassifitseerimise tulemusel saadud andmetega (Congalton, 1991).

Veamaatriksi põhjal saab arvutada üldise täpsuse (*overall accuracy*), mis näitab, milline protsent referentsobjektidest klassifitseeriti õigesti. Veel saab arvutada tulemtäpsuse (*user's accuracy*), referentstäpsuse (*producer's accuracy*), kaasaarvamise vea (*errors of commissions*), klassifitseerimata jätmise vea (*errors of omission*) ja kapp koefitsiendi (*kappa coefficient*). Vigade arvutamiseks peab jagama valesti klassifitseeritud alad kõikide aladega selles klassis ning täpsuse arvutamiseks peab jagama õigesti klassifitseeritud alad kõikide aladega klassis. (Cal Poly Humboldt, 2014). Kappa koefitsient võrdleb klassifitseerimise tulemusi juhuslikult määratud väärtustega ning mida suurem seos nende vahel esineb, seda suurema väärtusega tuleb koefitsient (Esri, n.d. b). Samas ei saa kaugseire andmete puhul veamaatriksit alati kasutada, kuna üldistused (näiteks asjaolu, et iga piksel kuulub vaid ühte klassi) võivad põhjustada tõlgendamisvigu (Strahler *et al.*, 2008).

Täpsuse hindamiseks saab kasutada ka valimeid. Mõned nendest on näiteks lihtne juhuvalim (*simple random sampling*), süstemaatiline valim (*systematic sampling*), kihtvalim (*stratified random sampling*) ja klastervalim (*cluster sampling*) (Congalton, 1988). Kihtvalimi moodustavad pikslite kihid (iga piksel kuulub vaid ühte kihti), mis põhinevad näiteks klassidel või pikslite ruumilisel paiknemisel ning seda kasutatakse näiteks selleks, et harva esinevatesse klassidesse saada nende täpsuse hindamiseks suurem valim (Stehman, 2009).

Stehman (2009) põhjal rühmitatakse klastervalimis ruumiliselt külgnevad pikslid klastritesse. On võimalik kasutada nii ühe- kui ka kaheastmelist klastervalimi meetodit, kus valim saadakse kas lihtsa juhuvaliku või süstemaatilise valikueeskirja abil. Nii lihtsa juhuvalimi kui ka süstemaatilise valimi puhul on populatsiooni objektil sama suur tõenäosus valimisse sattuda (Stehman, 2009). Erinevus kahe meetodi vahel tuleneb sellest, et süstemaatilise valiku puhul valitakse objekt loendisse kindla sammu tagant (Lepik ja Traat, 2016). Klastervalimi üheks eeliseks on vajadus vähemate võrdlusandmete järele (Stehman, 2009).

3. Andmed ja meetodika

3.1 Uurimuses kasutatud andmed

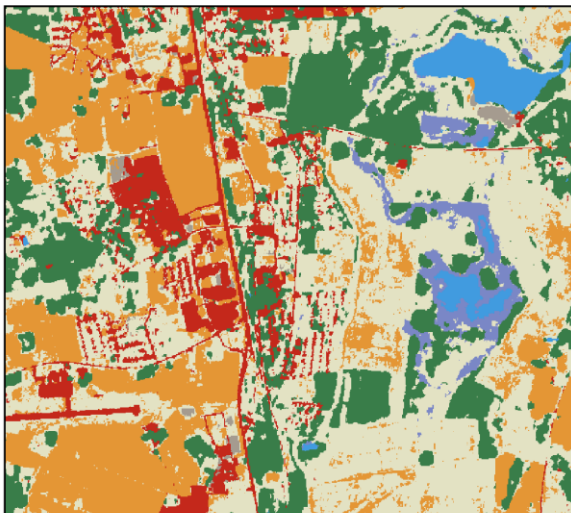
Töö uurimusalaks oli terve Eesti ning kasutasin nelja andmebaasi: CORINE *Land Cover* (Copernicus, n.d.), ESA *WorldCover* (ESAWorldCover, n.d.), Esri *Land Cover* (ESRI, n.d. a) ja Dynamic World (Dynamic World, n.d.), mille väljavõtted on näitena toodud joonisel 1. Kuna nendest andmebaasidest on erinevatel aastatel loodud eri versioone, valisin töö jaoks igast andmebaasist ühe aasta versiooni (tabel 1). Pole võimalik võrrelda täpselt sama aasta andmeid, sest eri andmebaase ei tehta alati samadel aastatel. Näiteks luuakse uus CORINE andmebaas vaid iga 6 aasta tagant. Eesmärk oli siiski valida väikse ajavahega aastad. Töös kasutasin 2018. aasta CORINE andmebaasi, 2018. aasta Dynamic World andmebaasi, 2021. aasta ESA *WorldCover* andmebaasi, 2021. aasta ESRI *Land Cover* andmebaasi. Dynamic World andmed laadisin alla Google Earth Engine'ist, kasutades juhendajalt saadud skripti.

Tabel 1. Töös kasutatavate andmebaaside võrdlus.

Nimi	Tootja	Andmed	Ruumiline resolutsioon	Klasside arv	Aasta	Viide
ESA <i>WorldCover</i>	ESA	Sentinel-1 ja Sentinel-2	10 m	11	2021	WorldCover, 2020
Sentinel-2 10m <i>Land Use/ Land Cover</i>	ESRI	Sentinel-2	10 m	9	2021	Esri, 2022
Dynamic World	Google Earth ja WRI	Sentinel-2	10 m	9	2018	Dynamic World, n.d.
CORINE <i>Land Cover</i>	EEA	Sentinel-2 ja Landsat-8	100 m	44	2018	Büttner <i>et al.</i> , 2021

Valideerimiseks kasutasin Eesti topograafia andmekogu (ETAK) 2022. aasta seisuga (Maa-amet, 2024), mida eeldati olevat kõige täpsem, kuid samas on teada, et ETAK-it ei uuendata kõikide klasside osas väga kiiresti ning seetõttu võib seal esineda ebatäpsusi. Näiteks hooned uuenevad peaaegu kord nädalas Ehitusregistri alusel, aga samas metsade ruumikujud uuenevad kord viie aasta jooksul lauskaardistamise tulemusel ning kaldajoon iga kaheksa aasta tagant (Maa-amet, 2006; Eesti topograafia andmekogu asutamine ja andmekogu pidamise põhimäärus, 2013). ETAK andmebaasi väljavõttena kasutasin ELME projekti “Eesti maismaaökosüsteemide hüvede (ökosüsteemiteenuste) majandusliku väärtuse üleriigiline hindamine ja kaardistamine” (ELME2) raames loodud tervikkihti (kõik kõlvikud üheks kihiks ühendatud ning hooned lisatud 2023. aasta jaanuari seisuga) (Helm *et al.*, 2023).

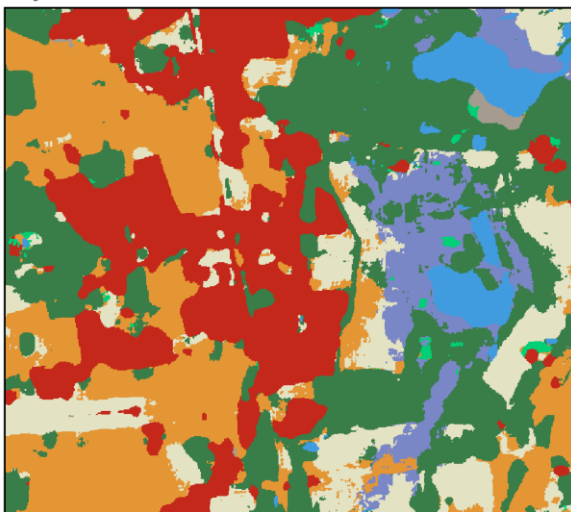
ESA World Cover



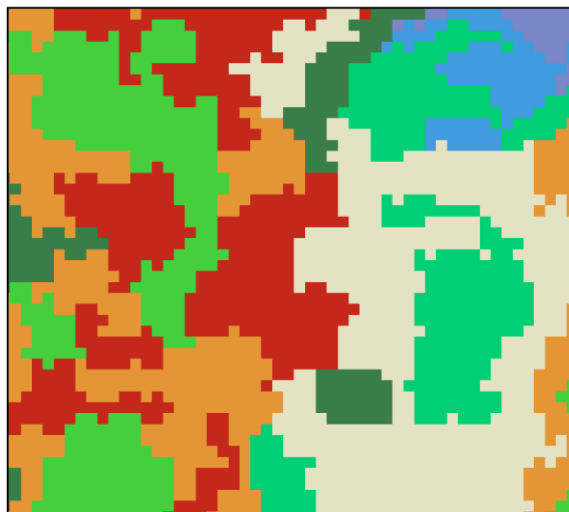
ESRI Land Cover



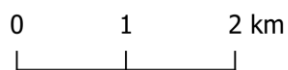
Dynamic World



CORINE



Maakatte klassid



- | | |
|---|---|
|  veekogu |  põllumaa |
|  mets |  põõsastik |
|  rohumaa |  inimasustus |
|  märgala |  lage |



Joonis 1. CORINE Land Cover, ESA WorldCover, Esri Land Cover ja Dynamic World andmebaaside maakatte klassid.

Andmebaase võrdlesin programmiga QGIS. Enne andmebaaside võrdlust pidin andmeid töötleva. Kõigepealt teisendasin ETAK-i kihi vektorkujult rasterkujule. Kuigi täpsus selle käigus väheneb, on rasterkujul kiht vajalik edaspidiseks võrdluseks. Lisaks muutsin andmebaaside pikslite suuruseid (*warp (reproject)*), et neid saaks omavahel võrrelda. Näiteks on ESRI andmebaasi ruumiline resolutsioon 10 m, aga CORINE oma 100 m. Muutsin kõigi andmebaaside pikslite suuruseks 10 m. Projitseerisin andmebaasid ka Eesti L-Est97 koordinaatsüsteemi EPSG:3301. Teised andmebaasid joondasin ETAKi järgi (*georeferenced extents for output file to be created*).

3.2 Täpsuse hindamise meetodika

Enne täpsuse hindamist võrdlesin kõikide andmebaaside klasside definitsioone (lisa 1), et leida, milliseid klasse saab omavahel võrrelda. Selle tulemusena järeldasin, et võrdlemiseks sobivad klassid on järgmised: mets, veekogu, rohumaa, põllumaa, hoonestatud ala, lage ala, põõsastik ja märgala. Jätsin välja klassid lumi ja jää, kuna Eestis pole püsivat lume- ega jääkatet. Lisaks jäid välja ESRI klass pilved ja ESA klass mangroovid. Kuna ESRI andmebaasis pole rohumaa ja põõsastiku klass eraldi, liitsin need selles andmebaasis kokku. Teistes andmebaasides on need kaks klassi lahus.

Selleks, et teisi andmebaase ETAK-iga võrrelda, klassifitseerisin kõik maakatte andmebaaside klassid ümber nii, et ETAK-i klasside väärtused olid tuhandetes ning teiste andmebaaside omad kümnendites (tabel 2). Kui andmed puudusid (*no data*), siis väärtuseks oli 9999. Kombineerides liitmise teel omavahel ETAK-i kihi ja muu andmebaasi kihi, tekkisid arvud, mis näitasid kuidas klassifitseerimine erineb. Näiteks arv 1010 tähendab, et mõlemas andmebaasis on mets. Saadud tulemuste analüüsimiseks kasutasin veamaatriksit, mille põhjal arvutasin tule- ja referentstäpsused ning klassifitseerimata jätmise ja kaasaarvamise vead. Lisaks võrdlesin andmebaase ja ETAK-it ka ortofotoga, et tuvastada vigade põhjused.

Tabel 2. Andmebaaside klassidele omistatud väärtused

KLASS	Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Põõsastik	Märgala	Andmed puuduvad (<i>No data</i>)
MUU	10	20	30	40	50	60	70	80	9999
ETAK	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9999

4. Tulemused ja arutelu

4.1. Üldine täpsus

Üldine täpsus Eesti alal oli kõikides võrreldud andmebaasides väga sarnane. ESRI *Land Cover* andmebaasil oli üldine täpsus 74%, ESA *WorldCover* andmebaasil 73%, Dynamic World andmebaasil 71% ning CORINE *Land Cover* andmebaasil 68%. Andmebaaside üldised täpsused on kooskõlas varasemalt läbi viidud uurimustega, kus ESRI üldine täpsus jäi vahemikku 63-86%, ESA täpsus vahemikku 65-81% ning Dynamic World andmebaasi täpsus vahemikku 66-72%. CORINE andmebaasi täpsus oli väiksem kui Büttner *et al.* (2021) leitud täpsus, mis oli 85%.

Veematriksist tuleb välja, et kõige suurem klassifitseerimata jätmise viga ESRI andmebaasis on märgalade (91,7%) klassis (tabel 3). ETAK-i märgalad on ESRI-s peamiselt klassifitseeritud metsade, rohumaa ja põõsastike klassidesse (lisa 2). Kõige väiksem klassifitseerimata jätmise viga on metsade klassis (7,1%). Kõige suurem kaasaarvamise viga on lagedate alade klassis (96,2%) ning kõige väiksem metsade klassis (17,1%) (tabel 4). ESRI lagedad alad on ETAK-is põhiliselt hoonestatud ala klassis.

ESA andmebaasis on kõige suurem klassifitseerimata jätmise viga põõsastike klassis (99,8%) ning kõige väiksem metsade klassis (7,5%) (tabel 3). ETAK-i põõsastikud on ESA-s peamiselt klassifitseeritud metsade klassi (lisa 3). Kõige suurem kaasaarvamise viga on samuti põõsastike klassis (99,6%), kuid kõige väiksem kaasaarvamise viga on põllumaa klassis (3,3%) (tabel 4). ESA põõsastikud on ETAK-is kõige rohkem märgalade all.

Dynamic Worldi andmebaasis on kõige suurem klassifitseerimata jätmise viga märgalade klassis (99,0%) ja kõige väiksem metsade klassis (3,3%) (tabel 3). ETAK-i märgalad on peamiselt klassifitseeritud metsade ja põõsastike klassidesse (lisa 4). Kõige suurem kaasaarvamise viga on põõsastike klassis (99,8%) ja kõige väiksem põllumaade klassis (9,7%) (tabel 4). Dynamic Worldi põõsastikud on ETAK-is peamiselt märgalade ja metsade klassides.

CORINE andmebaasis on kõige suurem klassifitseerimata jätmise viga rohumaa klassis (76,4%) ja kõige väiksem metsade klassis (20,2%) (tabel 3). ETAK-i rohumaad on valdavalt klassifitseeritud põllumaa, metsa ja põõsastike klassidesse (lisa 5). Kõige suurem kaasaarvamise viga on põõsastike klassis (98,4%) ning kõige väiksem metsade klassis (11,7%) (tabel 4). CORINE põõsastikud on ETAK-is kõige rohkem metsade ja märgalade klassides.

Tabel 3. Andmebaaside klassifitseerimata jätmise vead protsentides.

	Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Põõsastik	Märgala
Klassifitseerimata jätmise viga	ESRI							
	7.05	42.48	73.40	20.52	67.39	91.48	*	96.65
	ESA							
	7.45	47.52	40.73	39.63	87.08	75.87	99.81	61.60
	Dynamic World							
	3.28	45.31	83.40	36.89	71.14	75.45	98.58	98.98
	CORINE							
20.19	59.36	76.43	27.18	72.89	71.98	76.28	52.03	
* ESRI andmebaasis on rohumaad ja põõsastikud ühes klassis erinevalt teistest andmebaasidest.								

Tabel 4. Andmebaaside kaasaarvamise vead protsentides.

	Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Põõsastik	Märgala
Kaasaarvamise viga	ESRI							
	17.07	21.05	86.65	14.35	26.63	96.24	*	39.76
	ESA							
	16.39	11.79	81.96	3.31	14.65	94.61	99.58	18.02
	Dynamic World							
	22.95	16.54	87.83	9.68	20.64	97.22	99.76	56.69
	CORINE							
11.67	30.25	82.38	31.59	34.13	90.67	98.37	17.78	
* ESRI andmebaasis on rohumaad ja põõsastikud ühes klassis erinevalt teistest andmebaasidest.								

Kõikides andmebaasides olid suurima referentstäpsusega metsade ja põllumaa klassid (tabel 5). Metsa klassis oli täpsus vahemikus 79,8-96,7% ja põllumaa klassis vahemikus 60,4-79,5%. Kõige väiksemad referentstäpsused olid klassides lagedad alad ja põõsastikud. Lagedate alade täpsused olid kõikides andmebaasides alla 28,0%, põõsastike klassis olid täpsused vahemikus 0,2-23,7%. ESRI, ESA ja Dynamic World andmebaasil oli suurem kui 85% referentstäpsus metsade klassil. CORINE andmebaasil ei olnud ühelgi klassil suurem kui 85% referentstäpsus.

Tabel 5. Andmebaaside referentstäpsused protsentides.

	Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Põõsastik	Märgala
Referentstäpsus	ESRI							
	92.95	57.52	26.60	79.48	32.61	8.52	*	3.35
	ESA							
	92.55	52.48	59.27	60.37	12.92	24.13	0.19	38.40
	Dynamic World							
	96.72	54.69	16.60	63.11	28.86	24.55	1.42	1.02
	CORINE							
79.81	40.64	23.57	72.82	27.11	28.02	23.72	47.97	
* ESRI andmebaasis on rohumaad ja põõsastikud ühes klassis erinevalt teistest andmebaasidest.								

Kõige suuremad tulemtäpsused olid põllumaade, metsade, hoonestatud alade ja veekogude klassides (tabel 6). Põllumaa klassis oli täpsus vahemikus 68,4-96,7%, metsade klassis vahemikus 77,1-88,3%, hoonestatud alade klassis vahemikus 65,9-85,4% ning veekogude klassis vahemikus 69,8-88,2%. Kõige väiksemad tulemtäpsused olid lagedate alade, põõsastike ja rohumaa klassides. Lagedate alade klassis olid täpsused alla 9,3%, põõsastike klassis alla 1,6% ning rohumaa klassis vahemikus 12,2-18,0%. ESRI andmebaasil oli suurem kui 85% tulemtäpsus põllumaa klassis. ESA andmebaasidel oli üle 85% tulemtäpsus põllumaa, veekogu ja hoonestatud ala klassidel. Dynamic Worldi täpsus oli suurem kui 85% vaid põllumaa klassil. CORINE andmebaasil oli tulemtäpsus suurem kui 85% metsade klassil.

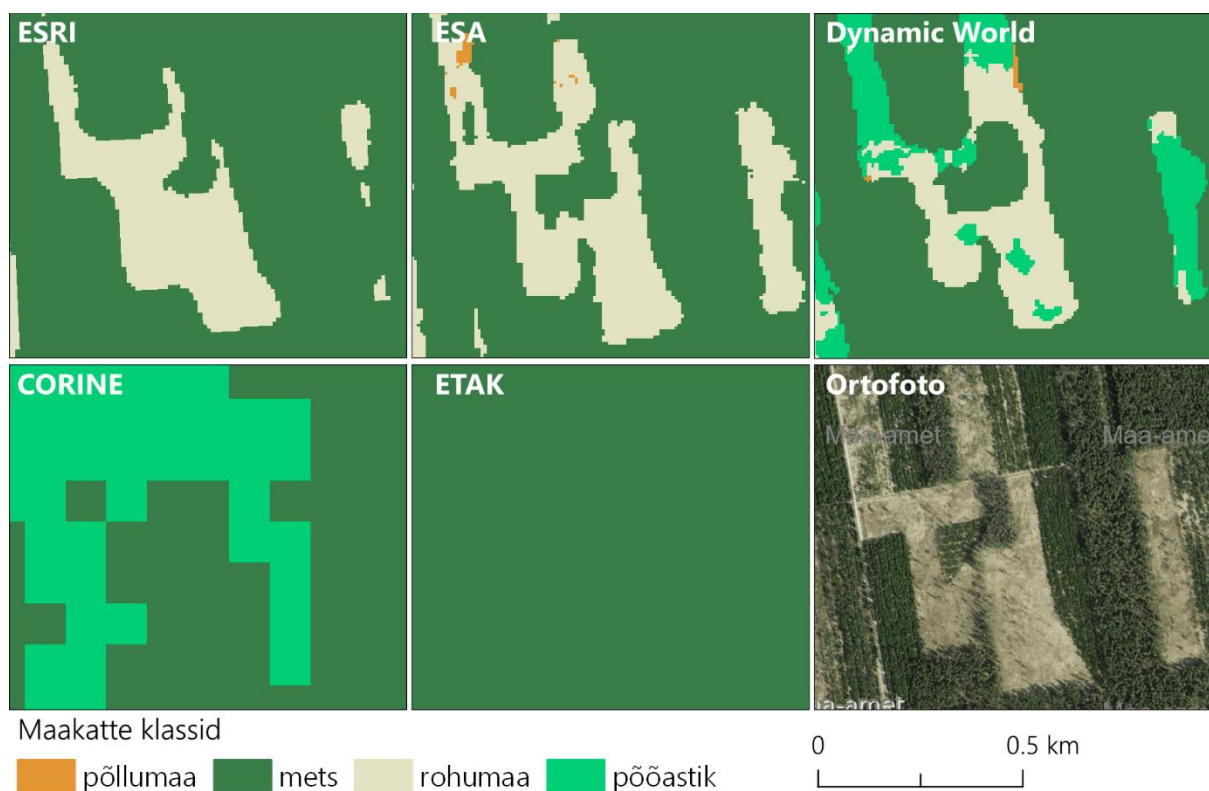
Tabel 6. Andmebaaside tulemtäpsused protsentides.

	Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Põõsastik	Märgala
Tulemtäpsus	ESRI							
	82.93	78.95	13.35	85.65	73.37	3.76	*	60.24
	ESA							
	83.61	88.21	18.04	96.69	85.35	5.39	0.42	81.98
	Dynamic World							
	77.05	83.46	12.17	90.32	79.36	2.78	0.24	43.31
	CORINE							
88.33	69.75	17.62	68.41	65.87	9.33	1.63	82.22	
* ESRI andmebaasis on rohumaad ja põõsastikud ühes klassis erinevalt teistest andmebaasidest.								

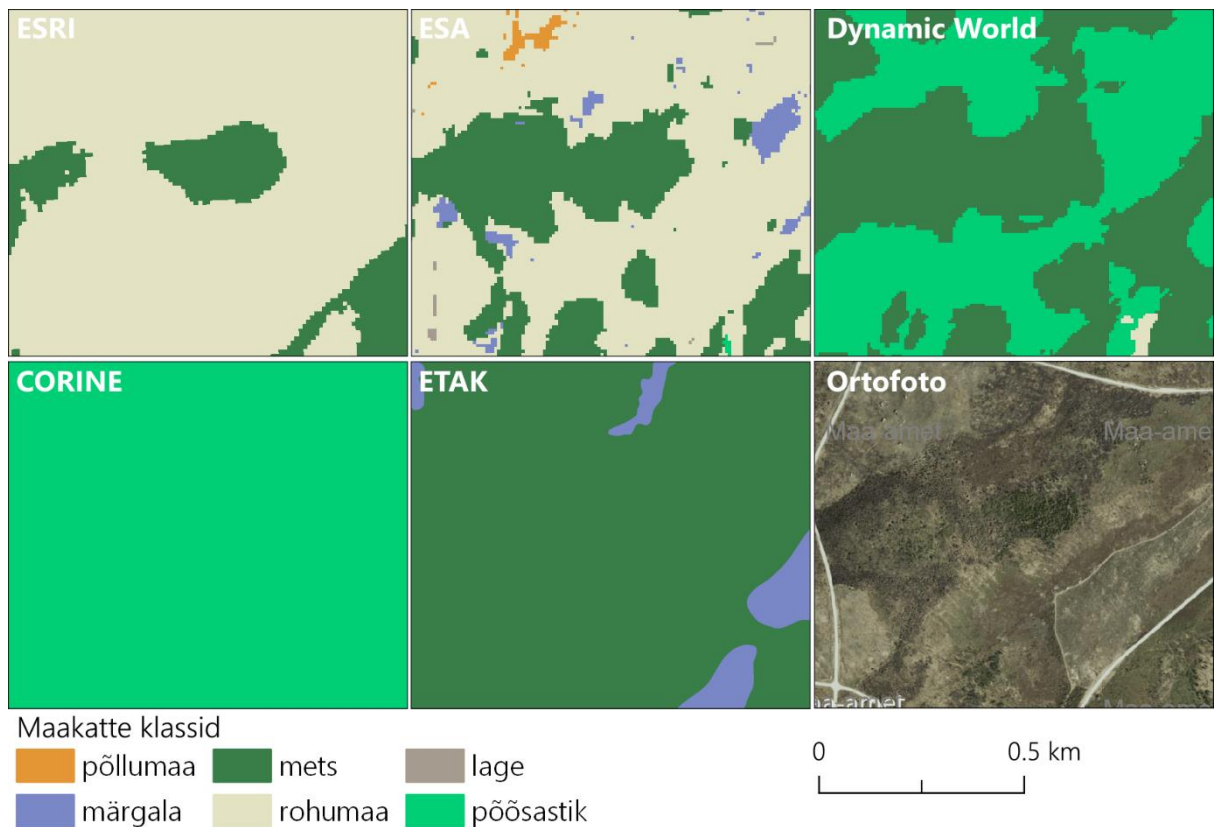
4.2. Detailsem analüüs

4.2.1 Mets

Teatud määral võisid metsade klassifitseerimist mõjutada maakatte klasside definitsioonide erinevused (lisa 1). ESRI ja Dynamic Worldi definitsiooni järgi kuulub metsade klassi mis tahes märkimisväärne klaster tihedat taimestikku ning ESA-s peab puude katvus olema 10% või rohkem (lisa 1). ETAK-i alusel peab aga puuvõrade liituvus olema vähemalt 30%. Kuigi CORINE metsa definitsiooni järgi peab võrade liituvus samuti olema 30%, on sellel andmebaasil madalam ruumiline resolutsioon. Peamiselt tuleneb ETAK-i metsa rohumaaks ja põõsastikuks klassifitseerimine aga ETAKi ebatäpsusest. Paljudes kohtades, kus peaks ETAK-i järgi olema mets, on ortofotolt näha, et metsa pole (joonis 2). Sellest võib järeldada, et seal on läbi viidud raie, mida ETAK ei kajasta (joonis 3). Põhjuseks võib olla see, et metsade ruumikujusid uuendatakse ETAK-is ainult kord viie aasta jooksul (Maa-amet, 2006).



Joonis 2. Lageraie kajastamine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.



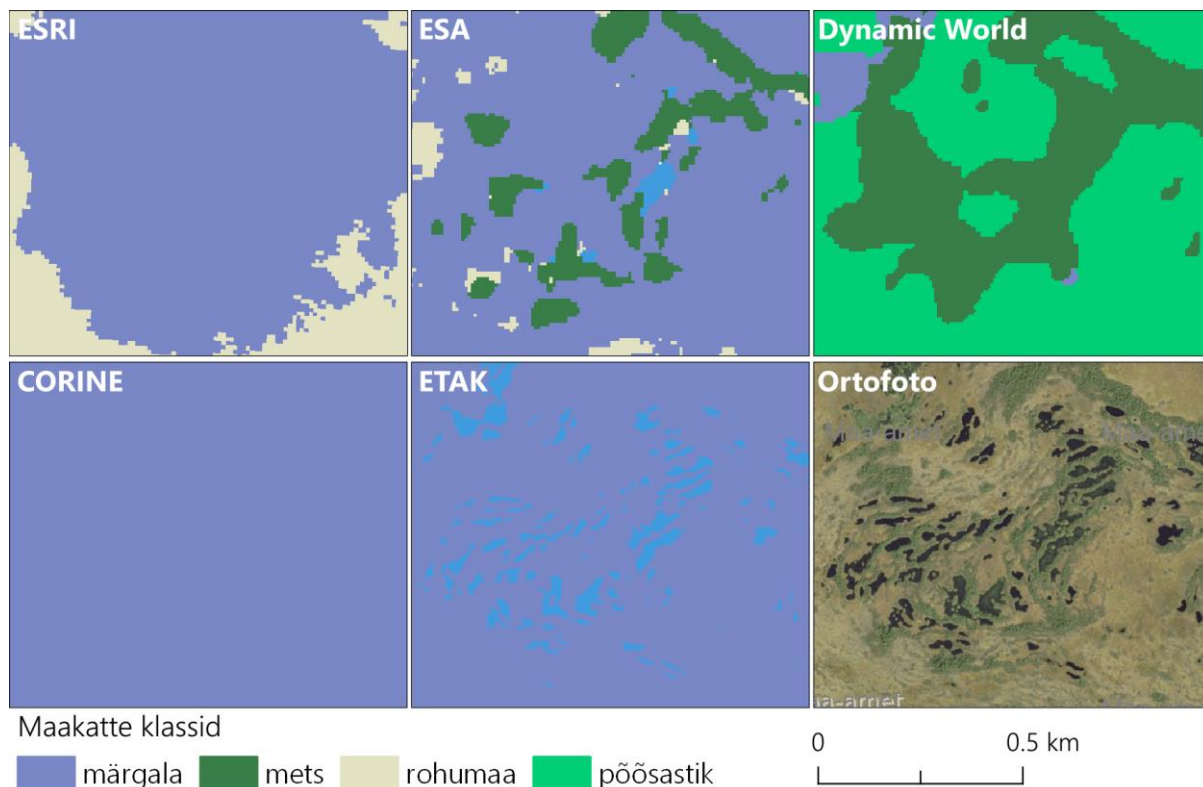
Joonis 3. Metsa klassifitseerimise erinevused Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

Metsa klassi on ESA, ESRI ja Dynamic World andmebaasides põllumaaks klassifitseeritud erinevatel põhjustel. Näiteks on teatud kohtades ESRI andmebaasi ja ortofotot võrreldes näha, et toimunud on raie. Samas poleks tõenäoliselt säärasele alale õigeks klassifikatsiooniks ka põllumaa. Põhjuseks on taaskord asjaolu, et ETAK-i metsade andmeid pole uuendatud. Ka CORINE andmebaasis on mõned metsaalad klassifitseeritud põllumaaks. Ometi tundub mõne ala puhul ortofotolt vaadates, et ala katab siiski mets. Selle põhjuseks võib olla CORINE-i madalam ruumiline resolutsioon, mille tõttu väiksemate alade klassifitseerimine on ebatäpsem.

4.2.2 Veekogu

Kõikides andmebaasides esines ebatäpsusi jõgede ja väikeste veekogude kaardistamises. Näiteks on paljud väiksed jõed puudu või katkendlikud ning laukad on ka tihti veekogude klassist puudu (joonis 4). Need alad on ESRI ja Dynamic World andmebaasides sagedasti klassifitseeritud metsade klassi. ESA andmebaasis on osa jõgesid metsadeks, märgaladeks ja rohumaaaks klassifitseeritud. Selle põhjuseks on resolutsioon, sest 10 m piksliga väikseid

jõesid, tiike ja laukaid ei tuvasta. CORINE andmebaasis on need alad klassifitseeritud metsadeks või põllumaaks. Põllumaaks klassifitseerimise põhjuseks on tõenäoliselt madal ruumiline resolutsioon ning andmebaasi minimaalne kaardistusüksus (25 ha), kuna need alad asuvad enamasti põllumassiivide vahel või läheduses.

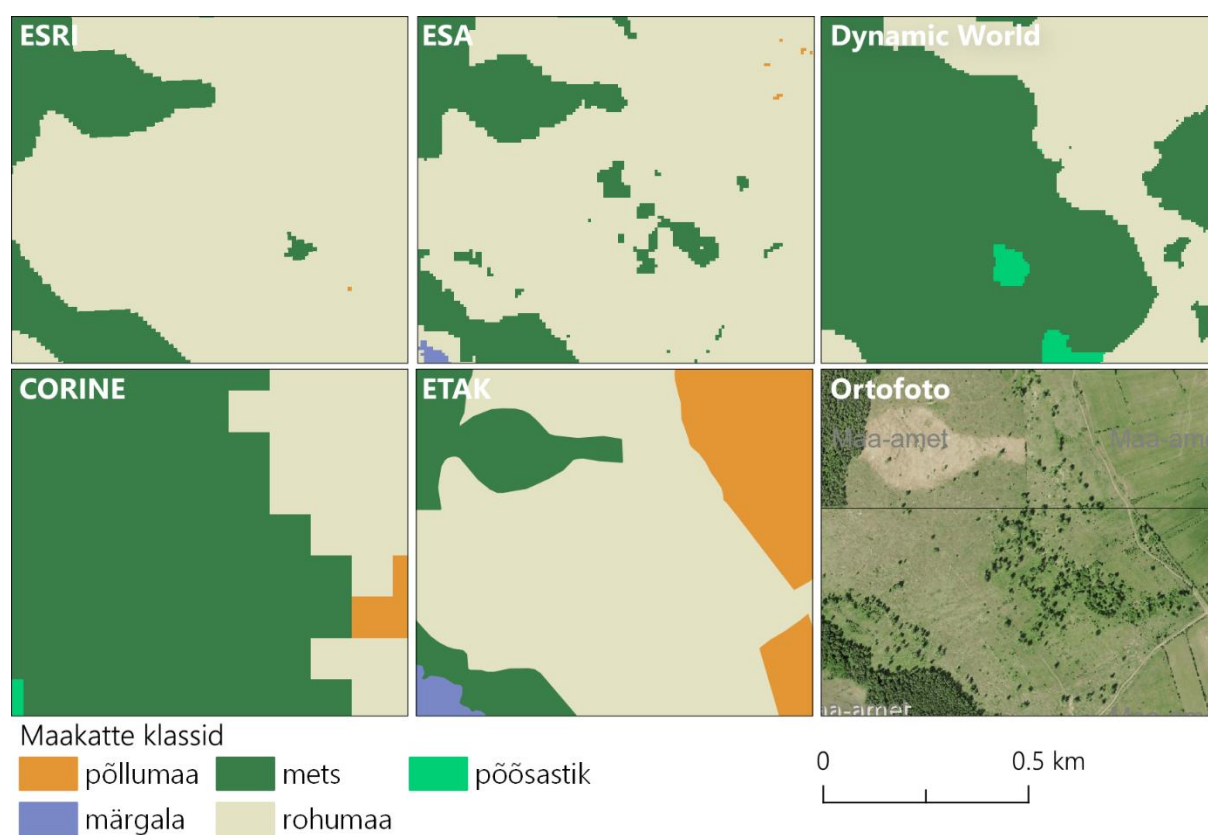


Joonis 4. Laugaste klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

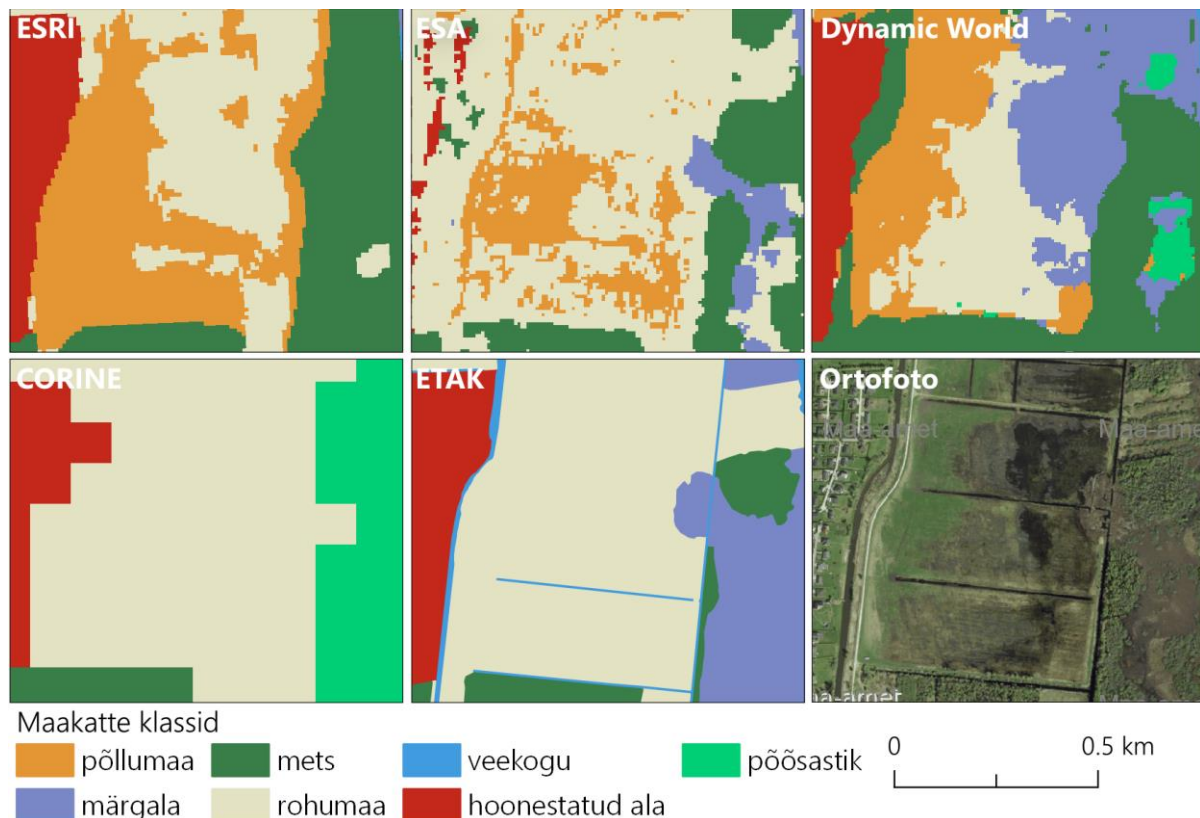
4.2.3 Rohumaa

Üheks põhjuseks, miks ESA, ESRI ja Dynamic World klassifitseerivad ETAK-i rohumaa klassi kuuluvad alad sageli metsa klassi alla, on ruumiline resolutsioon. Rohumaade ümbruses on tihti mets, mistõttu võib juhtuda, et ala tervikuna klassifitseeritakse hoopis metsaks. Lisaks võivad osad erinevused tuleneda andmebaaside erinevast ajakohasusest. Näiteks joonisel 5 on ESRI, ESA ja ETAK andmebaaside ning ortofoto põhjal rohumaa, kuid Dynamic Worldi ja CORINE andmetel mets. Dynamic World ja CORINE andmebaasid on 2018. aasta seisuga, ESA ja ESRI 2021. aasta seisuga ning ETAK 2022. aasta seisuga.

ETAK-i rohumaid on palju klassifitseeritud põllumaaks (joonis 6). Selle põhjuseks võib olla klasside sarnased spektraalsed omadused. Lisaks asuvad paljud rohumaa all olevad alad põllumassiivide läheduses või põllumaade vahel. Rohumaa hoonestatud alaks klassifitseerimine esineb peamiselt hoonete ja teede vahel, kuna väikseid alasid on raskem klassifitseerida. CORINE andmebaasis esineb ka rohumaa klassifitseerimist põõsastikeks. Selle põhjuseks võib olla definitsiooni ebapiisav täpsus ja madal ruumiline resolutsioon. ETAK-is kuulub põõsastiku klassi ala, mis on vähemalt 50% põõsastega kaetud, kuid CORINE-i klassil pole konkreetset arvu välja toodud.



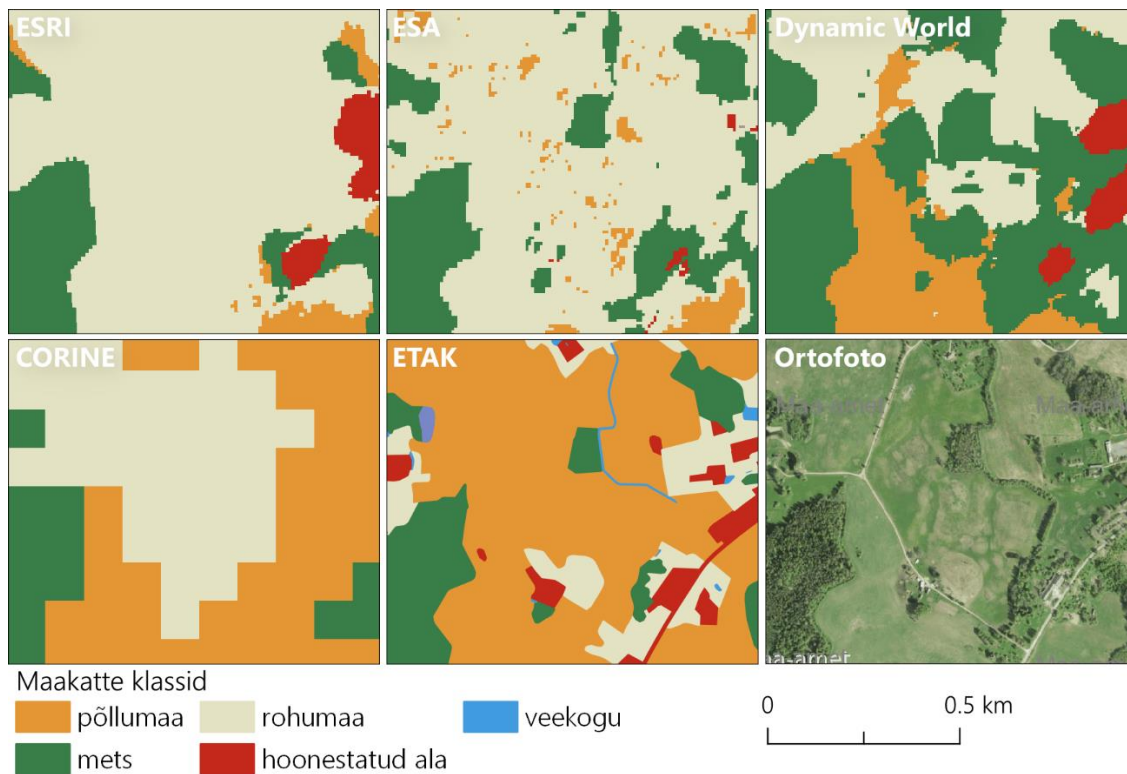
Joonis 5. Aja mõju rohumaaade võrdlemisele Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.



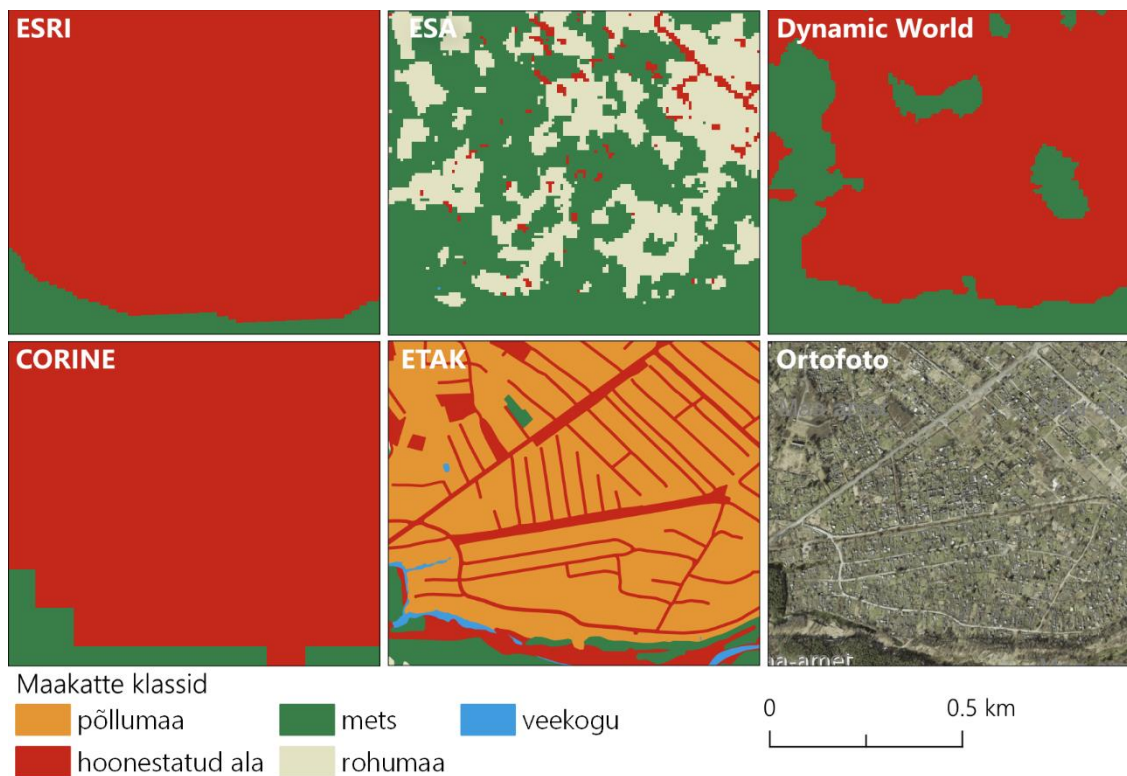
Joonis 6. Rohumaa klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

4.2.4 Põllumaa

Kõikides andmebaasides on põllumaa peamiselt klassifitseeritud rohumaaks (joonis 7), kuid kohati ka metsaks. Selle põhjuseks võivad olla segupikslid, mis esinevad piirialadel. Lisaks on põllumaad ja rohumaad raske eristada, kuna neil on sarnased spektraalsed omadused. Kõikides andmebaasides on vigased ka piirialad metsade ja põldude vahel, mida on raske klassifitseerida. Samas esineb ka suuremaid põllumaa alasid, mis on metsaks klassifitseeritud. Näiteks, kui põldudel on puude read. Erinevat klassifitseerimist põõsastike ja põllumaa ning hoonestatud ala ja põllumaa vahel esineb piirkondades, kus maastik on väga killustatud. Näiteks, kui hoonestuse vahel on väiksemad põllulapid. Esines ka ala, kus ETAK-i järgi on aianduslik maa, mis käib põllumaa alla, kuid ortofotolt on näha palju hoonestatust (joonis 8). Sellepärast on ala Dynamic World, CORINE ja ESRI andmebaasides klassifitseeritud hoonestatud alaks. ESA andmebaasis on ala klassifitseeritud peamiselt metsaks ja rohumaaks.



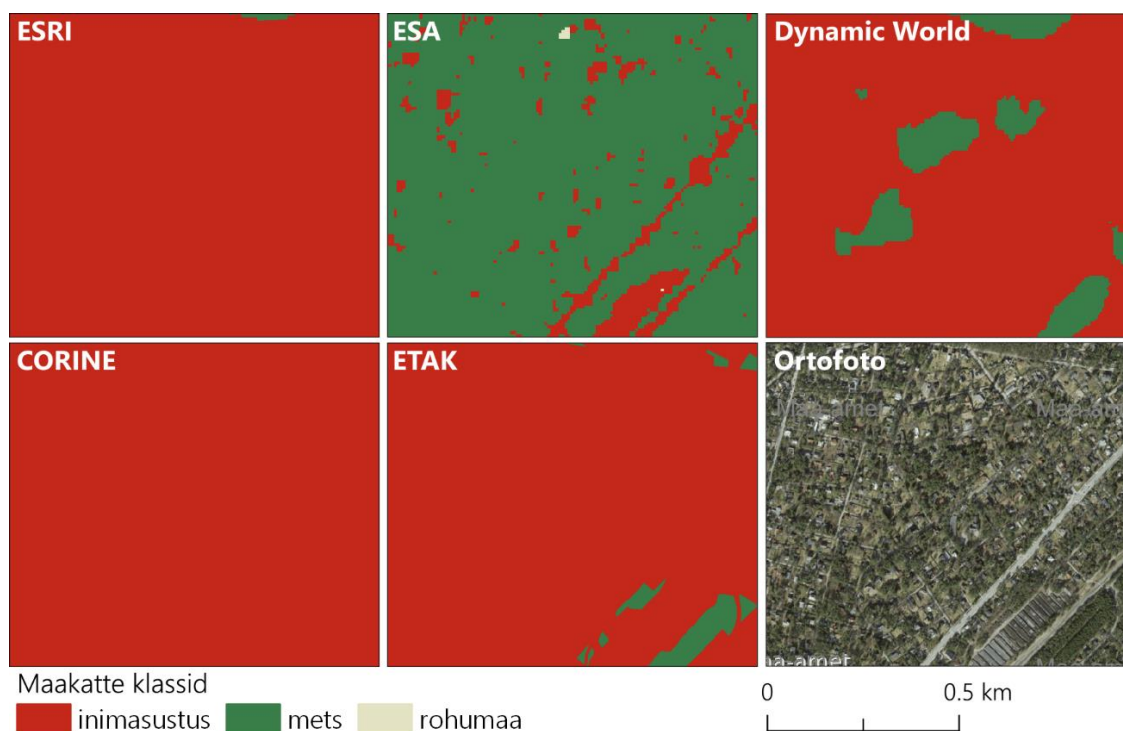
Joonis 7. Pöllumaade erinev klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.



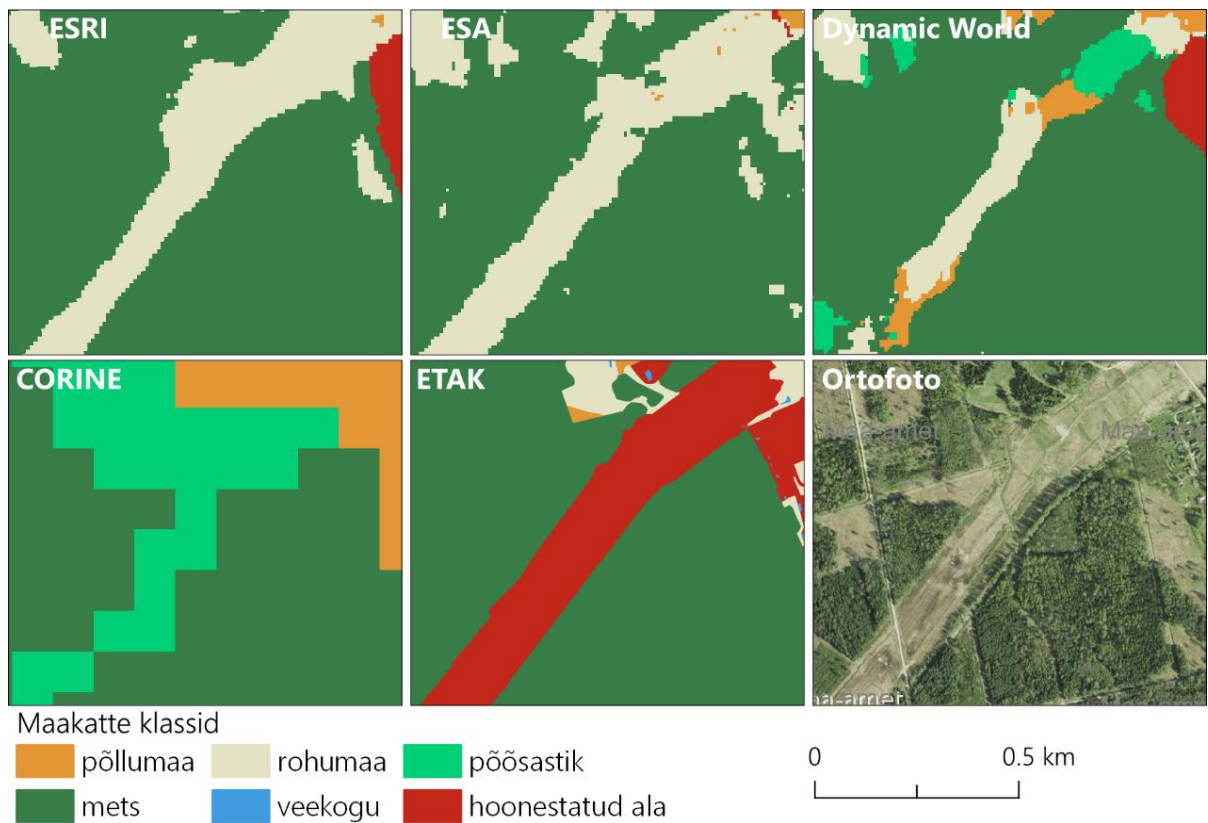
Joonis 8. Definitsioonide erinevusest tulenev erinev klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

4.2.5 Hoonestatud ala

Hoonestatud ala põllumaaks klassifitseerimine tuleneb ruumilisest resolutsioonist, kuna väikeseid alasid on raskem ära tunda. Näiteks ESRI, Dynamic World ja CORINE ei ole tihti ära tundnud teid ning üksikuid maju, eriti kui need on põllumassiivide vahel. Hoonestatud ala on metsaks või rohumaaaks klassifitseeritud samal põhjusel. Kõigis neljas andmebaasis on teed või majad klassifitseeritud metsaks, kui need asuvad metsa vahel. Üheks erineva klassifitseerimise põhjuseks on ka klasside definitsioonide erinevused andmebaaside vahel. Näiteks ei kuulu ESA andmebaasis haljasalad hoonestatud ala alla, erinevalt CORINE ja ETAK andmebaasidest. Joonisel 9 toodud näitel on ESA andmebaasis need alad metsaks klassifitseeritud. Lisaks põhjustab erinevusi ETAK-i hoonestatud ala all olev klass muu kõlvik, kuna see võib käia väga erinevate alade kohta. Sinna klassi kuuluvad näiteks elektriliinide alune ala (joonis 10) ja jäätmaa, mis võivad olla rohelusega kaetud, ning kaevandused.



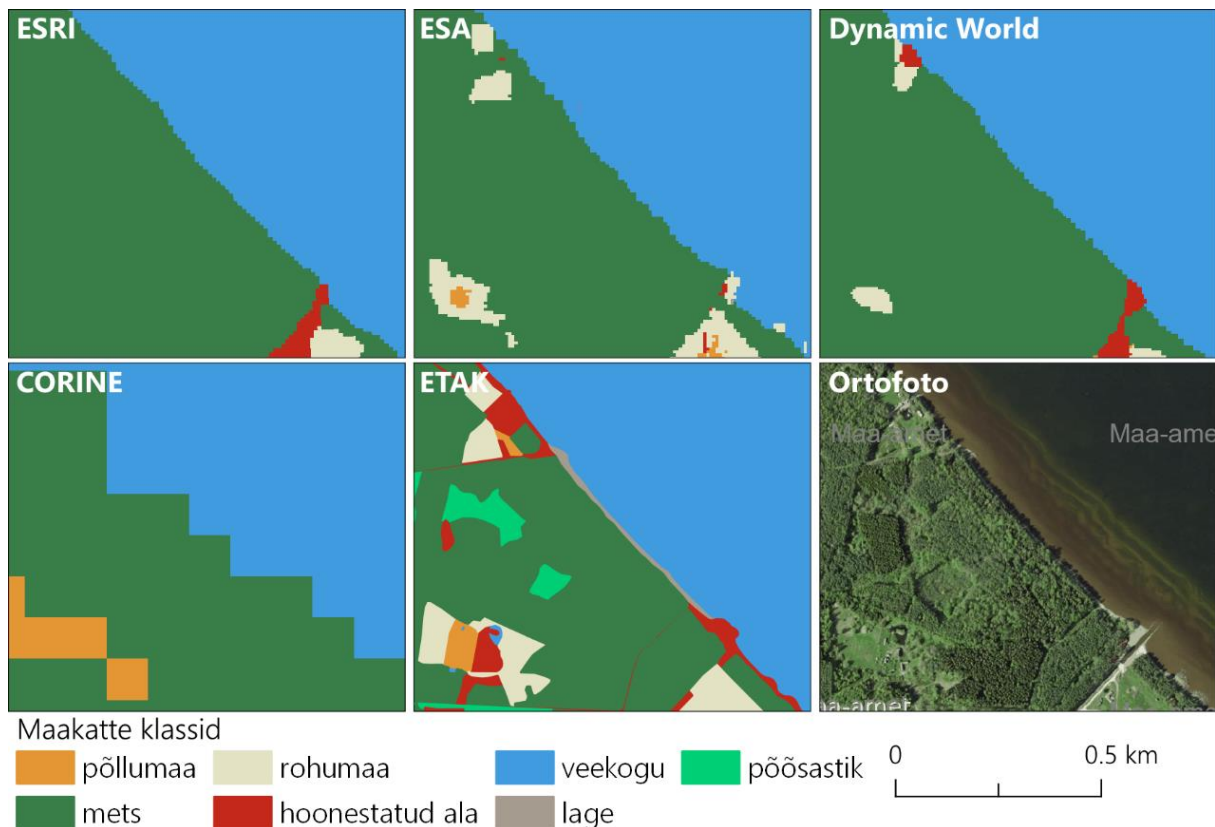
Joonis 9. Hoonestatud ala definitsioonide erinevusest tulenev erinev klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.



Joonis 10. Klasside definitsioonide erinevusest tulenev erinevus Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

4.2.6 Lage ala

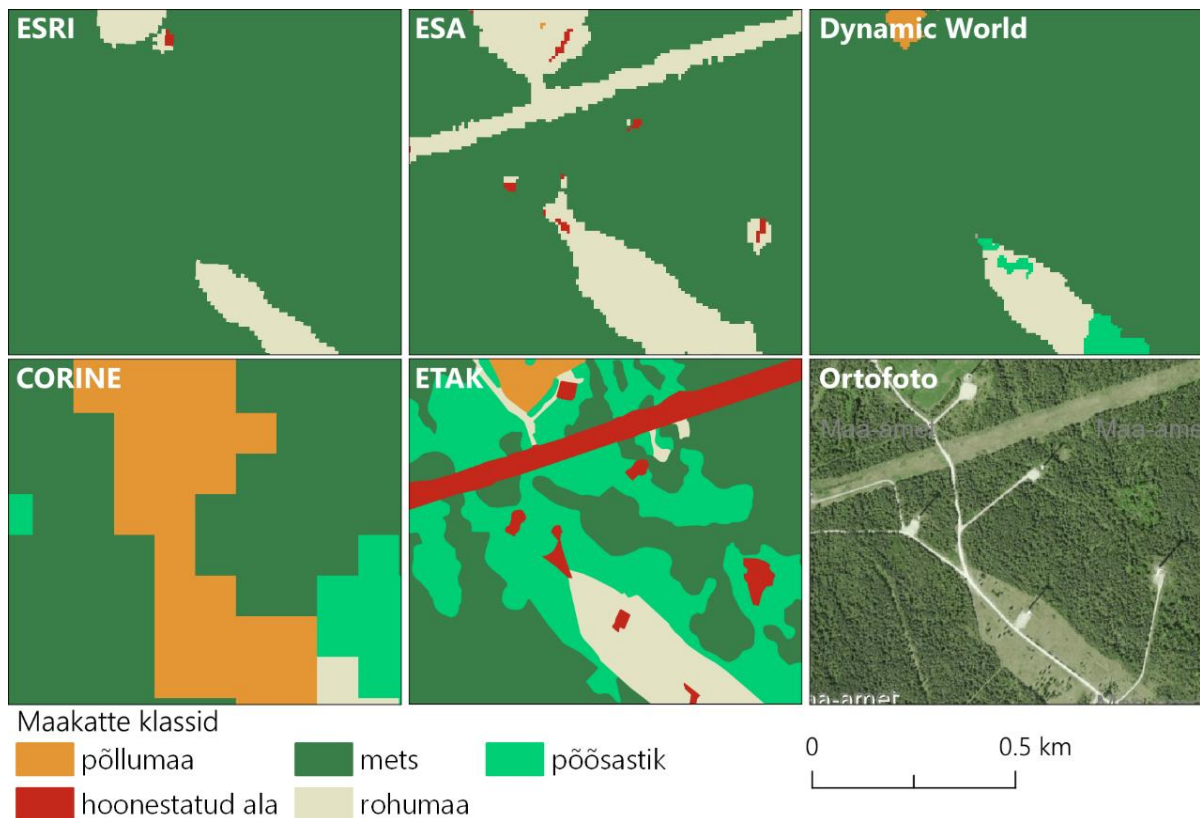
Lagedaid alasid on kõikidest klassidest kõige vähem. Peaaegu kõik erinevused asuvad rannikul, mistõttu võib järeldada, et klassifitseerimise vead tulenevad ruumilisest täpsusest (joonis 11). ESRI, ESA, CORINE ja Dynamic World andmebaasides on need alad klassifitseeritud metsaks, veeks või rohumaaiks. Võrreldud andmebaasides on rohkem lagedaid alasid kui ETAK-is ning ETAK-is on need alad hoonestatud ala all, näiteks kaevandused, mis tuleneb erinevast klassifitseerimisest andmebaasides (lisa 1).



Joonis 11. Rannikualade klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

4.2.7 Põõsastik

Põõsastike klassifitseerimise erinevused ESA, ESRI, Dynamic World ja CORINE andmebaasidega tulenevad definitsioonide erinevusest ja sarnasusest puude ja põõsaste vahel, kuna ortofotolt vaadates pole nendes alades enamasti tegemist lageraiega (joonis 12). CORINE andmebaasis esineb ka põõsastikuga kaetud alade klassifitseerimist põllumaaks killustatud aladel põldude ja metsade vahel. Selle põhjuseks on CORINE andmebaasi madal ruumiline resolutsioon.

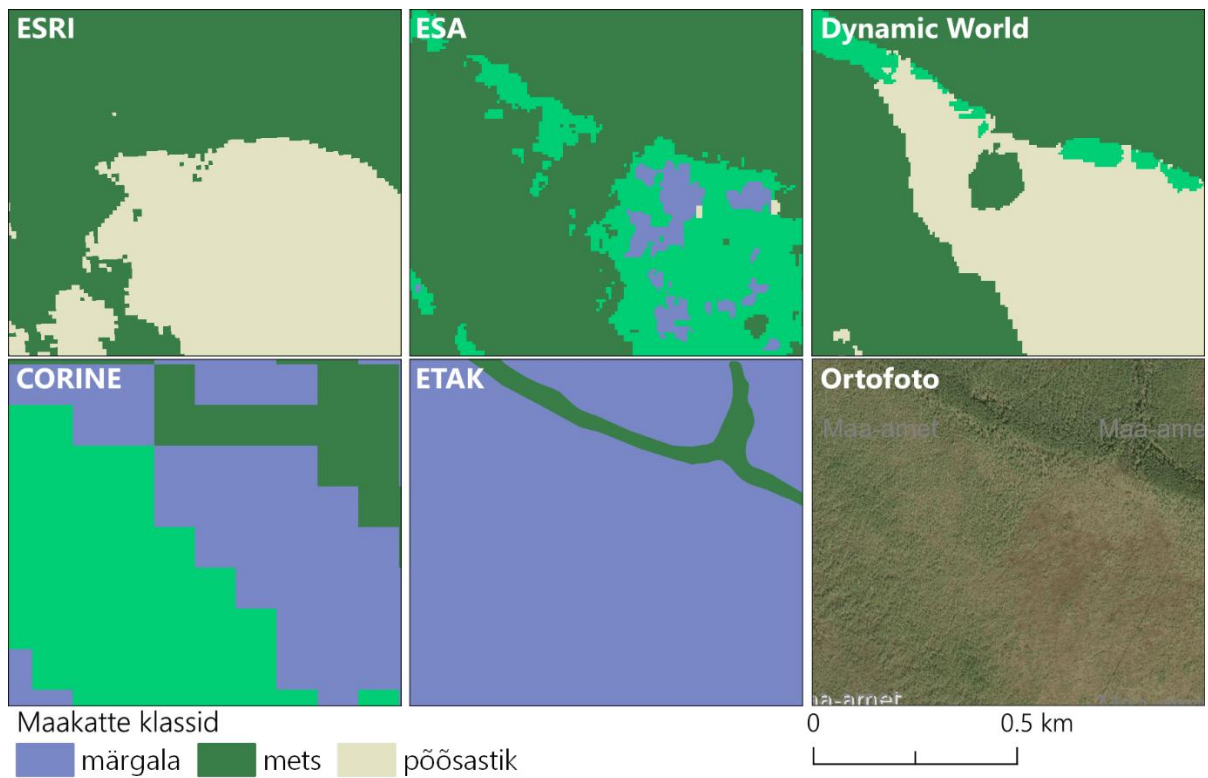


Joonis 12. Põõsastike klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

4.2.8 Märjala

Kõige rohkem on kõigis neljas andmebaasis märgalad klassifitseeritud rohumaaks, põõsastikeks ja metsadeks – näiteks, kui märgalal kasvab puid või põõsaid. Lisaks on raskusi metsa ja märgalade piiripealsete alade klassifitseerimisega. Paljud sood on kuivendamise tõttu servadest metsastunud, mistõttu võib ETAK kohati isegi aegunud olla.

Osaliselt võivad erinevused olla seotud ka definitsiooni erinevusega. Erinevalt ETAK-i metsade klassist on ESRI metsade klassi definitsioonis kirjas, et klassi kuuluvad ka sood, kui sealse paksu võra tõttu pole võimalik vett tuvastada (lisa 1). ESRI ja Dynamic Worldi andmebaasides on klass ülejutatud taimestik. Näiteks ESRI-s kuuluvad sinna klassi mangroovid, riisipõllud ja muu tugevalt niisutatud ja ülejutatud põllumaad, mida tegelikult Eestis ei esinegi. CORINE märgalade definitsioon on põhjalik, samas andmebaasi probleem on selle madal ruumiline resolutsioon.



Joonis 13. Märgalade klassifitseerimine Esri *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Dynamic World, CORINE *Land Cover* ja ETAK andmebaasides.

5. Järeldused

Töös võrreldud andmebaaside üldised täpsused on väga sarnased (ESRI 74%, ESA 73%, Dynamic World 71% ja CORINE 68%). Kõige täpsemad olid põllumaade, metsade, hoonestatud alade ja veekogude klassid. Kõige väiksemad täpsused olid lagedate alade, põõsastike, rohumaa ja märgala klassides. Märgalaid on raske kaardistada mitmel põhjusel, mh nende kõrge dünaamilisus ja ühise maakatte tunnuse puudumine (näiteks metsas on maakatte tunnuseks puud) (Gallant, 2015). Rohumaid on raske klassifitseerida, kuna need võivad inimõju ja vihma tõttu väga erinevad välja näha (Eggen *et al.*, 2016).

Siiski üldiselt ei ole andmebaaside klasside täpsuste vahelised erinevused nii suured, et mingis klassis peaks eelistama ühte andmebaasi teistele, välja arvatud märgalade osas. Märgalad on ESA ja CORINE andmebaasides tunduvalt paremini klassifitseeritud, kuna nende definitsioonid kattuvad paremini ETAK-i omadega (lisa 1).

Üheks andmebaaside vaheliste erinevuste põhjustajaks on definitsioonide erinevused. Giri *et al.* (2005) võrdlesid andmebaase Global Land Cover 2000 ja MODIS *land cover* ning leidsid, et põõsastike/savannide pindalade erinevused olid põhjustatud definitsiooni erinevustest metsade klassis ning märgalade pindalade erinevused erinesid märgalade definitsioonide erinevuste tõttu (Giri *et al.*, 2005). Definitsioonide erinevus antud töös esines näiteks metsade ja märgalade klassifitseerimises: ESA metsa klassi kuuluvad alad, kus puud katavad 10% alast; ESRI ja Dynamic World andmebaasides pole piirväärtust üldse välja toodud; ETAK ja CORINE andmebaasides peab aga puuvõrade liituvus olema vähemalt 30%.

Ka sarnased spektraalsed indeksid ja segupikslid põhjustavad erinevat klassifitseerimist andmebaasides. Näiteks on rohumaad ja põllumaad kohati raske eristada, kuna neil on sarnased spektraalsed omadused (Pérez-Hoyos *et al.*, 2017). Sellepärast esines ka antud töös põllumaa klassifitseerimist rohumaa ja vastupidi.

Veel põhjustab andmebaaside vahelisi erinevusi madal ruumiline resolutsioon. Madal ruumiline resolutsioon mõjutas kõige rohkem CORINE andmebaasi, kuna selle ruumiline resolutsioon on 100 m, erinevalt teistest andmebaasidest, kus ruumiliseks resolutsiooniks on 10 m. Kuna 100 meetrine ruumiline resolutsioon pole piisav üksikult eksisteerivate hoonete tuvastamiseks, ei ole CORINE näiteks sobilik hoonestatud alade muutumise uurimiseks (Śleszyński *et al.*, 2020). Samas mõjutas ruumiline resolutsioon ka teisi andmebaase, kuna isegi 10 m suurusega pikslid pole piisavad, et klassifitseerida väikseid järvi ja jõgesid. Powell *et al.*,

(2004) leidsid, et täpsus väheneb heterogeensuse ja/või killustatuse suurenemisega (Powell et al., 2004). Antud töös esines palju ebatäpsusi killustatud aladel, üleminekualadel ühest klassist teise ning väikeste objektide klassifitseerimisel (väiksed jõed, järved, teed jms).

Erinevusi andmebaaside vahel põhjustab ka see, kui andmebaasid on loodud eri aastatel (Bach et al., 2006). Ka antud uurimuses arvatud täpsuseid võis mõjutada see, et andmebaasid pole loodud samal aastal. Lisaks uuenevad ETAK-i erinevad klassid erineva kiirusega. Selle mõju avaldus kõige rohkem metsade klassis, kuna metsade ruumikujud uuenevad kord viie aasta jooksul lauskaardistamise tulemusel (Maa-amet, 2006), mistõttu esines teistes andmebaasides ETAK-i metsaalade klassifitseerimist teistesse klassidesse.

Töö tulemuste osas peab arvestama sellega, et andmebaaside klasside täpsuseid mõjutavad võrreldavate klasside valikus tehtud otsused. Näiteks lisasin ETAK-is õued ja rekreatiivsetel eesmärkidel kasutatavad alad hoonestatud alade klassi, mis oli kooskõlas kõikide teiste andmebaasidega välja arvatud ESA-ga. See võis vähendada ESA hoonestatud ala, metsa ja rohumaa täpsust. Lisaks vähendab maakatte klasside hulga vähendamine klasside iseloomustamise võimet nendes andmebaasides, kus on rohkem klasse (Yang et al., 2017). Limiteerivaks faktoriks oli ka valitud meetod täpsuse hindamiseks. Veamaatriksi eelduseks on, et valideerimiseks kasutatud andmed on vigadeta, kuid tegelikult on ETAK osades klassides ebatäpne, mis võib põhjustada vigu ja mõne täpsuse üle- või alahindamist (Foody, 2010).

6. Kokkuvõte

Maakasutuse ja maakasutuse muutuste jälgimine on oluline, et kirjeldada maastiku hetkeolukorda ning seal aset leidvaid pikaajalisi protsesse. Selleks on aga vaja järjepidevaid andmeid, mida saab kaugseire abil. Globaalseid ja regionaalseid kaugseirel põhinevaid maakatte andmebaase on mitmeid ning need on erinevad üksteisest, näiteks maakatte klasside arvu ja ruumilise resolutsiooni poolest.

Bakalaureusetöö eesmärk oli omavahel võrrelda CORINE *Land Cover*, ESA *WorldCover*, Esri *Land Cover* ja Dynamic World andmebaase, et teha kindlaks nende täpsused Eesti aladel, leida nende peamised vead ja vigade allikad. Valideerimiseks kasutasin Eesti Topograafia Andmekogu (ETAK). Uurimusalaks oli terve Eesti ning täpsust analüüsisin veamaatriksi abil. Vigade põhjuste leidmiseks võrdlesin alasid, kus andmebaaside vahel esinesid ebakõlad, ortofotoga.

Üldine täpsus oli kõikides andmebaasides sarnane: ESRI andmebaasil 74%, ESA andmebaasil 73%, Dynamic World andmebaasil 71% ning CORINE andmebaasil 68%. Tulemtäpsuste põhjal olid ESA *WorldCover*, Esri *Land Cover* ja Dynamic World kõige täpsemad põllumaa osas ning CORINE metsa osas (tulemtäpsus suurem kui 85%). ESA andmebaasil oli tulemtäpsus suurem kui 85% ka hoonestatud ala ja veekogu klassid. Väga väikesed tulemtäpsused olid klassides rohumaa, lagedad alad ning põõsastikud. ESA ja CORINE olid teistest tunduvalt paremad märgalade klassifitseerimises. Peamised vigade allikad nelja andmebaasi ja ETAK-i vahel olid definitsioonide erinevused võrreldud andmebaaside vahel, klassifitseerimisega seotud raskused (madal ruumiline resolutsioon, spektraalsete omaduste sarnasus ja segupikslid) ning aegunud andmed.

Kokkuvõttes võib öelda, et töö eesmärgid said täidetud. Kõik andmebaasid olid suhteliselt hea üldtäpsusega, aga erinevates maakatte klassides võisid olla kohati väga suured vead, mis olid tingitud erinevatest põhjustest. Käesoleva tööga alustatud analüüsi saaks laiendada uurides kui täpsed on teised globaalsed kaugseire põhised andmebaasid Eestis.

Accuracy assessment of remote sensing-based global and regional land cover datasets in Estonia

Marie Annusver

Summary

Monitoring land use and land change is essential to analyze long-term processes, and the necessary data for such purposes can be gathered through remote sensing. Currently, there are several different land cover datasets with different spatial resolutions and classifications. The purpose of this thesis was to compare four global and regional remote sensing-based land cover databases to determine their accuracy in Estonia and find the main errors and the causes of errors. The databases used in this study were: CORINE Land Cover, ESA WorldCover, Esri Land Cover, and Dynamic World. The Estonian Topographic Database (ETD) was used as validation data. The study area was Estonia and accuracy was analyzed using an error matrix. Datasets were compared to ortophotography images to detect and explain the reasons behind the errors.

The overall accuracy was very similar between all databases with 74% for ESRI Land Cover, 73% for ESA WorldCover, 71% for Dynamic World, and 68% for CORINE Land Cover. User's accuracy was above 85% for cropland in ESA World Cover, ESRI Land Cover, and Dynamic World, and above 85% for forest in CORINE. ESA WorldCover also had higher user's accuracy for built-up areas and water bodies. The lowest user's accuracies were in the grassland, bare, and shrubland classes. ESA World Cover and CORINE databases were also considerably better at mapping wetlands than ESRI Land Cover and Dynamic World. The main disagreements between databases were caused by different class definitions, difficulties in classification (low spatial resolution, similar spectral classes, mixed pixels) and outdated data.

In conclusion, all databases had relatively good overall accuracy, but in different land cover classes there could be very large errors in some places, due to various reasons. Further research could analyze how accurate other global databases based on remote sensing are in Estonia.

Tänuavaldused

Sooviksin tänada oma juhendajat Evelyn Uuemaad abi eest töö teema väljapakkumisel ning ka juhendamise eest. Tänu tema juhiste ja abile edenes töö väga sujuvalt. Lisaks sooviksin tänada Anneliis Read, Mihkel Annusveri ja Anneli Annusveri keelekorrektuuri eest.

Kirjanduse loetelu

- Bach, M., Breuer, L., Frede, H. G., Huisman, J. A., Otte, A., Waldhardt, R., 2006. Accuracy and congruency of three different digital land-use maps. *Landscape and urban planning*, 78(4), 289–299. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2005.09.004.
- Balchin, W. G. V., 1985. The development of land use maps. *Land Use Policy*, 2(1), 3–15. DOI: 10.1016/0264-8377(85)90050-X.
- Brown, C.F., Brumby, S.P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., Tait, A. M., 2022. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. *Scientific Data* 9(1), 251. DOI: 10.1038/s41597-022-01307-4.
- Büttner, G., Kosztra B., Kleeschulte S., Hazeu G., Vittek M., Schröder C., Littkopf A., 2021. Product user manual – CORINE Land Cover (from 1990 to 2018) and CORINE Land Cover Changes, <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/clc-product-user-manual>.
- Cal Poly Humboldt. 2014. Accuracy Metrics, https://gsp.humboldt.edu/olm/Courses/GSP_216/lessons/accuracy/metrics.html?fbclid=IwAR02N42LJQY0yjDZj30ybp2aOcqgXMqjm2G1rWa1haOp4MYOrtOPQWkfyUU#:~:text=Errors%20of%20omission%20refer%20to,as%20a%20Type%20I%20error (viimati vaadatud 12.03.2024).
- Chaaban, F., EL Khattabi, J., Darwishe, H., 2022. Accuracy assessment of ESA WorldCover 2020 and ESRI 2020 land cover maps for a Region in Syria. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 6(2), 31. DOI: 10.1007/s41651-022-00126-w.
- Congalton, R.G., 1988. A Comparison of Sampling Schemes Used in Generation Error Matrices for Assessing the Accuracy of Maps Generated from Remotely Sensed Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54(5), pp. 593–600.
- Congalton, R.G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46. DOI: 10.1016/0034-4257(91)90048-B.
- Copernicus. n.d. CORINE Land Cover, <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (viimati vaadatud 26.04.2024).
- Cracknell, A. P., 2018. The development of remote sensing in the last 40 years. *International Journal of Remote Sensing*, 39(23), 8387–8427. DOI: 10.1080/01431161.2018.1550919.

Ding, Y., Yang, X., Wang, Z., Fu, D., Li, H., Meng, D., Zeng, X., Zhang, J., 2022. A field-data-aided comparison of three 10 m land cover products in Southeast Asia. *Remote Sensing*, 14(19), 5053. DOI: 10.3390/rs14195053.

Dynamic World. n.d. About Dynamic World. <https://dynamicworld.app/about> (viimati vaadatud 12.05.2024).

Eesti topograafia andmekogu asutamine ja andmekogu pidamise põhimäärus. Vastu võetud 05.12.2013 nr 171, RT I, 06.12.2013, 7. Viimane redaktsioon RT I, 05.07.2023, 25.

Eggen, M., Ozdogan, M., Zaitchik, B. F., Simane, B., 2016. Land cover classification in complex and fragmented agricultural landscapes of the Ethiopian highlands. *Remote Sensing*, 8(12), 1020. DOI: 10.3390/rs8121020.

ESAWorldCover. n.d. Worldwide land cover mapping, <https://esa-worldcover.org/en> (viimati vaadatud 26.10.2023).

Esri. n.d. a. Sentinel-2 10-Meter Land Use/Land Cover, <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/> (viimati vaadatud 05.11.2023).

Esri. n.d. b. GIS Dictionary, <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/kappa-coefficient> (viimati vaadatud 29.11.2023).

Esri. 2022. Sentinel-2 10m land use/land cover time series of the world, <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d> (viimati vaadatud 28.11.2023).

Foody, G. M., 2010. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. *Remote Sensing of Environment*, 114(10), 2271–2285. DOI: 10.1016/j.rse.2010.05.003.

Gallant, A. L., 2015. The Challenges of Remote Monitoring of Wetlands. *Remote Sensing*, 7(8), 10938–10950. DOI: 10.3390/rs70810938.

Giri, C., Zhu, Z., Reed, B., 2005. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets. *Remote sensing of environment*, 94(1), 123–132. DOI: 10.1016/j.rse.2004.09.005.

Giri, C.P., 2016. Remote sensing of land use and land cover: Principles and applications. CRC Press, Boca Raton.

Goward, S., Arvidson, T., Williams, D., Faundeen, J., Irons, J., Franks, S. 2006. Historical record of Landsat global coverage. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(10), 1155–1169. DOI: 10.14358/PERS.72.10.1155.

Goward, S. N., Masek, J. G., Loveland, T. R., Dwyer, J. L., Williams, D. L., Arvidson, T., Rocchio, L.E., Irons, J. R., 2021. Semi-Centennial of Landsat Observations & Pending Landsat 9 Launch. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87(8), 533–539. DOI: 10.14358/PERS.87.8.533.

Helm, A., Kull, A., Kiisel, M., Poltimäe, H., Rosenvald, R., Veromann, E., Reitalu, T., Kmoch, A., Virro, H., Mõisja, K., Nurm, H-I., Prangel, E., Vain, K., Sepp, K., Lõhmus, A., Linder, M., Otsus, M., Uuema, E., 2023. Eesti maismaaökosüsteemide hüvede (ökosüsteemiteenuste) majandusliku väärtuse üleriigiline hindamine ja kaardistamine. Tehniline lõpparuanne, https://loodusveeb.ee/sites/default/files/inline-files/ELME2_LOPPARUANNE_fin_151123.pdf

Kasekamp, A., 2018. Kvantitatiivsetel meetoditel põhinev maastiku klassifitseerimine. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.

Kirsimäe, P. 2017., Eesti nelja suurima linna maakasutusmuutuste analüüs ja modelleerimine aastaks 2030. Magistritöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.

Kliimaministeerium. 2022. Maakasutus, maakasutuse muutus ja metsandus ehk LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry, <https://kliimaministeerium.ee/elurikkus-keskkonnakaitse/metsandus/lulucf> (viimati vaadatud 26.10.2023).

Kosztra, B., Büttner G., Hazeu G., Arnold S., 2017. Updated CLC illustrated nomenclature guidelines, https://land.copernicus.eu/content/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/docs/pdf/CLC2018_Nomenclature_illustrated_guide_20190510.pdf.

Lauer, D. T., Morain, S. A., Salomonson, V. V., 1997. The Landsat program: Its origins, evolution, and impacts. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(7), 831–838.

Lepa, G., 2019. Eesti topograafilise andmekogu (ETAK) katastri kõlvikukaardina. Tartu Ülikool, geograafia osakond. Magistritöö. Tartu Ülikool, geograafia osakond.

Lepik N., Traat, I., 2016. Tõenäosuslik valikuuring, https://courses.ms.ut.ee/MTMS.01.003/2016_fall/uploads/Main/loengud2016.pdf.

Loveland, T. R., Dwyer, J. L. 2012. Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, 122, 22–29. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.022.

Maa-amet. 2006. Ülevaade Eesti topograafilisest andmekogust, https://geoportaal.maaamet.ee/docs/ETAK/Ylevaade_Eesti_topograafilisest_andmekogust.pdf?t=20091211092207.

Maa-amet. 2016. Topograafiliste andmete kaardistusjuhend, https://geoportaal.maaamet.ee/docs/ETAK/ETAK_juhend2016.pdf.

- Maa-amet. 2021. Põhikaardistuse ajalugu, <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Topokaardid-ja-aluskaardid/Eesti-pohikaart-1-10000/Pohikaardistuse-ajalugu-p113.html> (viimati vaadatud 05.11.2023).
- Maa-amet. 2023. Eesti topograafia andmekogu, <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Eesti-topograafia-andmekogu-p79.html> (viimati vaadatud 05.11.2023).
- Maa-amet. 2024. Eesti topograafia andmekogu vektorandmete ajalugu, <https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/eesti-topograafia-andmekogu/eesti-topograafia-andmekogu-vektorandmete-ajalugu-p940.html> (viimati vaadatud 01.05.2024).
- Masek, J. G., Wulder, M. A., Markham, B., McCorkel, J., Crawford, C. J., Storey, J., Jenstrom, D. T., 2020. Landsat 9: Empowering open science and applications through continuity. *Remote Sensing of Environment*, 248, 111968. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111968.
- Meiner, A. (Editor), 1999. Eesti maakate: CORINE Land Cover projekti täitmine Eestis. EV Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus, Tallinn.
- Mõisja, K., Oja, T., Uuemaa, E., Hastings, J. T., 2016. Completeness and classification correctness of features on topographic maps: An analysis of the estonian basic map. *Transactions in GIS*, 21 (5), 954–968. DOI: 10.1111/tgis.12257.
- Pérez-Hoyos, A., Rembold, F., Kerdiles, H., Gallego, J., 2017. Comparison of global land cover datasets for cropland monitoring. *Remote Sensing*, 9(11), 1118. DOI: 10.3390/rs9111118.
- Powell, R. L., Matzke, N., de Souza Jr, C., Clark, M., Numata, I., Hess, L. L., Roberts, D. A. 2004. Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. *Remote sensing of environment*, 90(2), 221–234. DOI: 10.1016/j.rse.2003.12.007.
- Sagris, V., Palo, A., 2018. CORINE Land Cover 2018 projekt – fookuses on metsad. In: U. Peterson, T. Lillemaa (Editors), *Kaugseire Eestis 2018*. Tartumaa: Tartu Ülikooli Tartu observatoorium, pp. 59–68.
- Schowengerdt, R. A., 2006. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Elsevier, Ameerika.
- Śleszyński, P., Gibas, P., Sudra, P., 2020. The problem of mismatch between the CORINE Land Cover data classification and the development of settlement in Poland. *Remote Sensing*, 12(14), 2253. DOI: 10.3390/rs12142253.
- Stehman, S., 2009. Sampling designs for accuracy assessment of land cover, *International Journal of Remote Sensing*, 30:20, 5243–5272. DOI: 10.1080/01431160903131000.
- Strahler, A., Boschetti, L., Foody, G., Friedl, M., Hansen, M., Herold, M., Mayaux, P., Morisette, J., Stehman, S., Woodcock, C., 2008. *Global Land Cover Validation*:

Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps. European Communities, Luxembourg, 51(4), 1–60.

Zhao, T., Zhang, X., Gao, Y., Mi, J., Liu, W., Wang, J., Jiang, M., Liu, L., 2023. Assessing the Accuracy and Consistency of Six Fine-Resolution Global Land Cover Products Using a Novel Stratified Random Sampling Validation Dataset. *Remote Sensing*, 15(9), 2285. DOI: 10.3390/rs15092285.

Venter, Z.S., Barton, D.N., Chakraborty, T., Simensen, T., Singh, G., 2022. Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. *Remote Sens.* 14, 4101. DOI: 10.3390/rs14164101.

Wallis, H., 1981. The history of land use mapping. *The Cartographic Journal*, 18(1), 45–48. DOI: 10.1179/caj.1981.18.1.45.

Wang, Y., Sun, Y., Cao, X., Wang, Y., Zhang, W., Cheng, X., 2023. A review of regional and Global scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 206, 311–334. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.11.014.

Williams, D. L., Goward, S., Arvidson, T., 2006. Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(10), 1171–1178. DOI: 10.14358/PERS.72.10.1171.

WorldCover. 2020. Product User Manual, https://esa-worldcover.s3.eu-central-1.amazonaws.com/v200/2021/docs/WorldCover_PUM_V2.0.pdf

Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2–10. DOI: 10.1016/j.rse.2012.01.010.

Yang, Y., Xiao, P., Feng, X., Li, H., 2017. Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 125, 156–173. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.01.016.

Lisad

Lisa 1. Andmebaaside klassifikatsioonid

ESA	ESRI	Dynamic World	CORINE	ETAK
WorldCover, 2020	Esri, 2022	Brown et al., 2022	Kosztra et. al, 2017	Maa-amet, 2016
METS				
Puud	Puud	Puud	Metsad (3.1)	Mets
See klass hõlmab mis tahes geograafilist piirkonda, kus domineerivad puud, mille katvus on 10% või rohkem. Võra all võib esineda ka teisi maakatte klasse (põõsad ja/või ürdid, hooned, püsiveekogud jne) isegi kui neil on puudest suurem tihedus. Sellesse klassi kuuluvad ka alad, mis on istutatud metsastamise eesmärgil ja istandused (nt õlipalmid, oliivipuud) ning ka hooajaliselt või püsivalt mageveega üleujutatud puudega kaetud alad, välja arvatud mangroovid.	Mis tahes märkimisväärne klaster kõrget (~15 jalga või kõrgem) tihedat taimestikku, tavaliselt suletud või tiheda võraga. Näited: metsane taimestik, tiheda kõrge taimestiku kobarad savannides, istandused, sood või mangroovid (tihe/kõrge taimestik, kus ajutise vee või paksu võra tõttu, et ole võimalik tuvastada vett).	Mis tahes märkimisväärne tiheda taimestiku kogumik, tavaliselt suletud või tiheda võraga. Kõrgem ja tumedam kui ümbritsev taimestik (kui seda ümbritseb muu taimestik).	Pärismaisetest või võõrliikidest okas- ja/või lehtpuudest koosneva taimestikuga mets ja metsamaa, mida saab kasutada puidu või muude metsasaaduste tootmiseks. Metsapuud on tavalistes kliimatingimustes kõrgemad kui 5 m ja võrade liituvus on vähemalt 30%. Nooristanduse puhul on minimaalne piirväärtus 500 istikut ha kohta.	Puittaimestik - Puittaimede kasvuala. Mets - Puittaimede kasvuala, kus puuvõrade liituvus on vähemalt 30%, sealhulgas raiesmikud ja noorendikud.
VEEKOGU				
Püsiveekogud	Vesi	Vesi	Siseveekogud (5.1)	Järv, tiik
Sellesse klassi kuuluvad kõik geograafilised alad, kus on enamiku aastast (üle 9 kuu) veekogud (järved, veehoidlad ja jõed). Võivad olla nii mage- või soolaveekogu. Vesi võib olla külmunud osa aastast (vähem kui 9 kuud).	Piirkonnad, kus vesi on valdavalt kogu aasta vältel. Ei sisalda alasid, kus on juhuslikku või lühiajalist vett. Sisaldab alasid, kus on vähe taimkatet või taimkate puudub, kaljupaljandit ja hoonestatud elemente nagu dokid. Näited: jõed, tiigid, järved, ookeanid, üleujutatud soolatasandikud.	Pildil on vesi. Sisaldab vähe või üldse mitte taimkatet, ei sisalda kivipaljandit ega ühtegi hoonestatud elementi, nagu dokid. Ei hõlma maad, mis võib olla või on varem olnud veega kaetud.	Loodusliku päritoluga järved, tiigid ja basseinid, mis sisaldavad magedat (st mittersoolast) vett ning kõik jõed ja ojad. Inimtekkelised mageveekogud, sealhulgas veehoidlad ja kanalid.	Seisuveekogud (tiik, laugas, järv, biotiik, tehisi järv, paisjärv, muu) - Seisuveekogu on magedaveeline veekogu, kus vee voolamine pole keskmise suvise veeseisu juures märgatav. Pindala > 20 m ² kaardistatakse seisuveekogud. Laukad kaardistatakse alates 100 m ² .
			Meri (5.2)	Vooluveekogu
			Ookeani- ja mandrilava veed, lahed ja kitsad kanalid, fjordid või lõhangud ja jõesuudmed.	Looduslik või inimtekkeline vee vool.

ESA	ESRI	Dynamic World	CORINE	ETAK
ROHUMAA				
Rohumaa	Karjamaa	Rohi	Karjamaad (2.3)	Rohumaa
Sellesse klassi kuuluvad kõik geograafilised alad, kus domineerivad looduslikud rohttaimed (taimed, millel pole maapinnal püsivat vart ega võrseid ja mis pole puitunud): (rohumaad, preeriad, stepid, savannid, karjamaad), mille katvus on 10% või rohkem, olenemata inimtegevusest ja/või loomade tegevusest, nagu karjatamine, põlengute ennetamine jne. Puittaimed (puud ja/või põõsad) võivad esineda eeldusel, et nende katvus on alla 10%. Võib sisaldada ka vaatlusaastal harimata olnud põllumaid (ilma saagikoristusperioodita/taim edeta).	Avatud alad, mis on kaetud homogeenselt rohttaimedega, millel on vähe või üldse mitte kõrgemat taimestikku; looduslikud teraviljad ja heintaimed, millel pole ilmselget inimõju (st ei ole põllumassiivid). Näited: looduslikud niidud ja põllud hõreda või ilma puukatteta, avatud savannid, kus on vähe või üldse mitte puid, pargid, golfirajad, muruplatsid, karjamaad. Väikeste taimede grupid või üksikud taimed, mis on hajutatult maastikul, kus on nähtaval muld või kivid. Võsastunud raiesmikud tihedas metsas, mis ei ole selgelt puudest kõrgemad. Näited: mõõdukas kuni hõre põõsastik, põõsaste ja rohututtidega ala, väga hõreda rohu, puude või muude taimedega savannid.	Avatud alad, mis on kaetud homogeenselt rohttaimedega, millel on vähe või üldse mitte kõrget taimestikku. Muud rohutaolise taimestikuga (teratüüpi lehed) homogeensed alad, mis erinevad puudest ja põõsastest. Metsikud teraviljad ja heintaimed, millel puudub ilmselge inimtegevus (st mitte struktureeritud põld).	Maad, mida kasutatakse alaliselt (vähemalt 5 aastat) sööda tootmiseks. Hõlmab looduslikke või külvatud rohttaimi, ilma inimõjuga või vähese inimõjuga heinamaad ja karjatatud või mehaaniliselt koristatud niite. Regulaarne põllumajandus mõjutab rohttaimede liigilise koosseisu loomulikku arengut. Looduslik rohumaad (3.2.1) Inimõjuga või mõõduka mõjuga rohumaad. Madala tootlikkusega rohumaad. Asub sageli ebatasasel pinnasel ja järskudel nõlvadel; sageli ka kivised alad või muud (pool-)loodusliku taimestikuga laigud.	Lage (rohumaad) - Rohumaadeks loetakse alad, mis ei sobi intensiivseks põllukultuuride kasvatamiseks, sealhulgas ka kasutusest ebarahuldava kuivenduse või ebasobiva asukoha tõttu välja langenud endine haritav maa. Puisniidud loetakse rohumaaks, kui esimese rinde võrarde kattuvus on väiksem kui 50%.
PÕLLUMAA				
Põllumaa	Põllukultuurid	Põllukultuurid	Põllumaa (2.1)	Põllumaa
Põllumaa, millel toimub külv/istutamine ja mida saab koristada vähemalt üks kord 12 kuu jooksul pärast külv/istutamise kuupäeva. Aastane põllumaa moodustab rohttaime katte ja mõnikord on see koos puu- või puittaimestikuga. Mitmeaastased puittaimed liigitatakse kas puukatte või põõsastiku maakatte tüübiks. Kasvuhooneid loetakse hoonestuseks.	Inimeste poolt istutatud teravili, heintaimed ja põllukultuurid, mis ei ole puude kõrgused. Näited: mais, nisu, soja, struktureeritud kesa maatükid.	Inimeste poolt istutatud teravili, heintaimed ja põllukultuurid.	Iga-aastaselt koristatavate taimede jaoks kasutatavad maad, kus esineb külvikord (põllukultuuri ja kesa), mida toidetakse vihmaga või niisutatakse. Hõlmab üleujutatud põllukultuure, nagu riisipõllud ja muud üleujutatud põllumaad. Püsikultuurid (2.2) Kõik pinnad, millel kasvavad püsikultuurid ja puudub külvikord. Hõlmab puitunud taimi, mis on puuviljade tootmise levinud, nagu ulatuslikud puuviljaaiad, oliivisalud, kastanisalud, pähkisalud, põõsaaiad, nagu viinamarjaistandused, ja viljapuuaiad istandused, spaleerid ja ronitaimed.	Haritav maa - Põllumajanduslikult kasutatav maa ja sööt. Põld - Kultuurtaimede kasvatamiseks kasutatav maa ja sööt. Põlluks loetakse nii lühiajalise kui ka pikaajalise kultuuride kasvualad. Aianduslik maa - Tulunduslikud puuvilja- ja marjaaiad samuti puukoolid ning kollektiivaiamaad. Puuvilja- ja marjaistandus, puukool, asula juures olev aiamaa ning ajutiste kasvuhoonetega katmikala.

ESA	ESRI	Dynamic World	CORINE	ETAK
			<p>Heterogeensed põllumajanduspiirkonnad (2.4)</p> <p>Püsikultuuridega seotud üheaastaste põllukultuuride alad samal maatükil, üheaastased põllukultuurid, mida kasvatatakse metsapuude all, üheaastaste kultuuride alad, heinamaad ja/või püsikultuurid, mis on kõrvuti, maastikud, kus põllukultuurid ja karjamaad on tihedalt segunenud loodusliku taimestiku või looduslike aladega.</p>	
HOONESTATUD ALA				
Hoonestatud alad	Hoonestatud alad	Hoonestatud alad	Inimasustus (1.1)	Hoonestatud alad
<p>Hoonete, teede ja muude tehisrajatistega, näiteks raudteedega, kaetud maa. Hoonete hulgas on nii elu- kui ka tööstushooneid. Haljasalad (pargid, spordirajatised) ei kuulu sellesse klassi. Prügilad ja kaevandamiskohad loetakse lagedaks alaks.</p>	<p>Inimese loodud struktuurid; peamised maantee- ja raudteevõrgud; suured homogeensed mitteläbilaskvad pinnad, sealhulgas parkimisrajatised, büroohooned ja elamud. Näited: majad, tihedad külad/linnad, kõvakattega teed, asfalt.</p>	<p>Inimese loodud struktuuride klastrid või üksikud väga suured inimese loodud struktuurid. Sisaldub tööstus-, äri- ja erahooneid ning nende juures olevaid parklaid. Elamute, tänavate, muruplatside, puude, üksikute elamurajatiste või taimkattega ümbritsetud hoonete segu. Peamised maantee- ja raudteevõrgud väljaspool valdavaid elumupiirkondi. Suured homogeensed mitteläbilaskvad pinnad, sealhulgas parkimisrajatised, suured büroohooned ja tupiktänavaid sisaldavad elamurajoonid.</p>	<p>Peamiselt haldus-/kommunaalteenuste kasutuses olevate elamute ja hoonetega alad, sh nendega seotud alad (seotud maad, teede võrk, parklad).</p>	<p>Õued - privaatsed õuealad või majandusterritooriumid, mis ei ole avalikus kasutuses. Eraõu - eluhoonete või ühiskondlike hoonete juurde kuuluv ala. Tootmisõu - ala, mis kuulub tootmishoonete juurde või laoplatst.</p>
			<p>Tööstus-, kaubandus- ja transpordiüksus (1.2)</p>	<p>Teed</p>
			<p>Piirkonnad, mis on hõivatud peamiselt tööstusega seotud tegevustega nagu tootmine, kaubandus, finantstegevused ja teenused, maanteetranspordi infrastruktuur ja raudteevõrgud, lennujaamad, jõe- ja meresadamate rajatised, sealhulgas nendega seotud maa-alad ja juurdepääsu infrastruktuur. Sisaldab tööstuslike loomakasvatuse rajatisi.</p>	<p>Teed (jalakäijate tee, lennurada, liiklusrada, parkla, sport, muu) - tee on rajatis sõidukitele ja jalakäijatele liiklemiseks, välja arvatud rööbasteed.</p>
			<p>Kaevandus-, prügi- ja ehitusplatsid (1.3)</p>	<p>Haljasala</p>
			<p>Peamiselt kaevandamistegevuse, ehitusplatside, prügilate ja nendega seotud maa-alad.</p>	<p>Madal- või kõrghaljastusega ala, mida kasutatakse rekreatiivsetel eesmärkidel ning millele on iseloomulikud ilutaimed.</p>
			<p>Kunstlikud mittepõllumajanduslikud taimestikualad (1.4)</p>	<p>Muu kõlvik (jäätmaa)</p>
<p>Puhke otstarbeks loodud alad. Sisaldab linnaparde, spordi- ja vaba aja veetmise rajatisi.</p>	<p>Majandustegevuses mittekasutatav tehnogeenne ala, kus looduslikud mullahorisonidid on kas rikutud või prügi või pinnasega kaetud.</p>			

ESA	ESRI	Dynamic World	CORINE	ETAK
LAGE				
Lage/hõre taimeistik	Lage maa	Lage	Avatud alad, kus on vähe või üldse mitte taimeistiku (3.3)	Kivine või liivane ala
<p>Mulla-, liiva- või kivipind, millel ei ole ühelgi aastaajal üle 10% taimkatte</p> <p>Sammal ja samblik</p> <p>Samblike ja/või sammaldega kaetud maa. Samblikud on kooselulised organismid, mis on moodustunud seente ja vetikate sümbiootilisest kooslusest. Samblad sisaldavad fotoautotroofseid maismaataimi, millel puuduvad päris lehed, varred ja juured, kuid millel on lehe- ja varretaolised elundid.</p>	<p>Aasta läbi väga hõreda või ilma taimeistikut kivi- või mullapinnas; suured liiva- ja kõrbealad, millel puudub või on vähe taimeistiku. Näited: kivi- või mullapinnas, kõrb ja liivaluited, kuivad soolatasandikud/-väljad, kuivanud järvesängid, kaevandused.</p>	<p>Kivi- või mullapinnased, millel on väga hõredat või üldse mitte taimeistiku. Suured liiva- ja kõrbealad, millel puudub või on vähe taimeistiku. Suured üksikud või tihedad pinnasteede võrgustikud.</p>	<p>Looduslikud alad, millel on vähe või üldse mitte taimeistiku, sealhulgas avatud termofiilsed liiva- või kivise pinnase moodustised, mis on levinud lubja- või ränisaldusega muldadel, mida sageli häirib erosioon. Stepilised rohumaad, mitmeaastased stepitaolised rohumaad, meso- ja termo-Vahemere kserofiilid, enamasti avatud, mitmeaastased lühikese rohuga rohumaad, alfa-stepid, taimkattega või hõreda taimeistikuga alad järskudel nõlvadel, kaljud, lubjakivisillutised koos taimekooslustega, pidev lumi ja jää, sisemaa liivaluited, ranniku liivaluited ja põlenud loodusliku puittaimeistikuga alad.</p>	<p>Lage (liivane ala) - Looduslik lahtise liiva või kruusaga kaetud ala. Lage (muu lage) - muud lagedad alad</p>
PÕÕSASTIK				
Põõsastik		Põõsad ja võsa	Põõsad ja/või rohttaimeistiku kooslused (3.2)	Põõsastik
<p>Sellesse klassi kuuluvad kõik geograafilised alad, kus domineerivad looduslikud põõsad, mille katvus on 10% või rohkem. Põõsad on defineeritud kui puitunud mitmeaastased taimed, millel on püsivad ja puitunud varred, kuid peavarreta ning mille kõrgus on alla 5 m. Puud võivad esineda hajusalt, kui nende katvus on alla 10%. Rohttaimed võivad esineda mis tahes tihedusega. Põõsa lehestik võib olla kas igihaljas või heitlehine.</p>		<p>Väikeste taimekogumite või üksikute taime kogum, mis on hajutatult maastikul, mis on mulla- või kivipinnas. Võsastunud raiesmikud tihedates metsades, mis ei ole selgelt puudest kõrgemad. Tundub hallim/pruunikam tänu vähem tihedale lehtkattele.</p>	<p>Parasvöötme põõsastikualad atlantiliste ja alpiinsete nõmmedega, lähialpiinsete põõsaste ja kõrgete ürdikooslustega, taasasustatud heitleheliste metsade, hekkide ja kääbus okaspuudega.</p>	<p>Vähemalt 50% ulatuses põõsastega kaetud ala, kus puude esinemise korral puuvõrde liituvus on alla 30%.</p>

ESA	ESRI	Dynamic World	CORINE	ETAK
MÄRGALAD				
Märgala	Pidevalt üleujutatud taimestik	Pidevalt üleujutatud taimestik	Sisemaa märgalad (4.1)	Raba
<p>Maa, kus domineerib looduslik rohttaimestik (katvus 10% või rohkem), mis on püsivalt või regulaarselt üleujutatud mage-, riim- või soolase veega. See ei hõlma taimkatteta setteid, soometsi (klassifitseeritud puukatteks) ja mangroove. Taksonoomiliselt mitmekesised, soola taluvad puu- ja muud taimeliigid, mis on edukad troopiliste kallaste mõõnavööndites ja suudmealadel.</p>	<p>Mis tahes tüüpi taimestikuga alad, kus vesi on suurema osa aastast segunenud; hooajaliselt üleujutatud ala, mis koosneb rohust/põõsast/puudest/ paljast pinnasest. Näited: üleujutatud mangroovid, tärkav taimestik, riisipõllud ja muu tugevalt niisutatud ja üleujutatud põllumaad.</p>	<p>Mis tahes tüüpi taimestikuga alad, kus vesi on segunenud. Ei tohi eeldada, et piirkond on üleujutatud, kui üleujutust täheldatakse mõnel teisel pildil. Hooajaliselt üleujutatud alad, mis on segu rohust/põõsast/puudest/ paljast pinnasest.</p>	<p>Alad, mis on suure osa aastast üleujutatud mage-, riim- või seisva veega, millel on madalate põõsaste, poolpuu- või rohttaimedest koosnev taimkate. Hõlmab järvede, jõgede, ojade, rabade ja eutroofsete soode veeäärset taimestikku.</p>	<p>Märgalad - Liigniisked alad, millel on moodustunud turbakiht või mis on ajutiselt või pidevalt üleujutatud. Õõtsik – veekogu kinnikasvamisel tekkiv ala, kus kamar on moodustunud kas mudas või vees kasvavate taimede läbipõimunud juurtest ja risoomidest. Raba - Liigniiske ala toitainete vaese vähemalt 30cm paksuse rabaturbakihi, kus taimed toituvad sademetest ning valitsevad turbasamblad.</p>
			<p>Ranniku märgalad (4.2)</p> <p>Piirkonnad, mis on loodete tsükli mõnes etapis tõusuvee all. Hõlmab padumere rannikuid, mis võivad olla ülemineku- või mitte-üleminekulised kooslused, taimi, mis kasvavad erineva soolsuse ja niiskusega tsoonides. Lisaks hõlmab liiva ja muda, mis on iga tõusu ajal vee all ning kus ei kasva soontaimed ning aktiivsed või hiljuti mahajäetud soola ekstraheerimise alad.</p>	<p>Soo</p> <p>Madalsoo - madalsoo on põhjaveest toituv vähemalt 30 cm paksuse turbakihi ala, kus rohurindes kasvab rohkesti taru jm lõikheinalisi ja valitsevad metsasamblad</p>
			<p>Soine rohumaa</p> <p>Soovik - märg maismaapaik, kus vesi on mitme kuu vältel maapinna tasemel. Soovikud esinevad näiteks mererannikul ning veerežiimi rikkumise tagajärjena tee või kraavimullete taga.</p>	<p>Turba kaevandamine</p> <p>Turbaväljad - aktiivses kasutuses või mahajäetud turbakaevandamise alad. Mahajäetud turbaväli - turba kaevandamise ala, kus turba kaevandamine on lõpetatud, kuid looduslikud kooslused pole taastunud. Turbaväli - turba kaevandamise ala.</p>

Lisa 2. ESRI veemaatriks

		ETAK (km ²)							
		Mets	Veekogu	Rohumaa ja pöösastik	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Märgala	Kokku
ESRI (km ²)	Mets	21852.1	96.7	1386.5	727.2	764.5	1.4	1522.3	26350.6
	Veekogu	10.7	262.4	10.0	0.6	31.7	7.8	9.2	332.4
	Rohumaa ja pöösastik	1191.4	31.6	746.3	1381.4	389.7	1.2	1847.3	5588.9
	Põllumaa	385.5	24.5	501.4	8450.5	411.0	0.0	93.4	9866.5
	Hoonestatud ala	62.3	8.7	143.7	72.4	796.4	0.9	1.2	1085.6
	Lage	0.6	0.3	0.2	0.1	26.0	1.1	0.0	28.3
	Märgala	6.4	31.9	17.8	0.1	23.2	0.1	120.5	200.1
	Kokku	23509.0	456.2	2805.8	10632.3	2442.6	12.5	3593.9	43452.3

Lisa 3. ESA veemaatriks

		ETAK (km ²)								
		Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Pöösastik	Märgala	Kokku
ESA (km ²)	Mets	21757.6	94.3	832.5	624.2	966.5	1.1	204.7	1543.2	26024.1
	Veekogu	3.1	239.0	1.9	0.1	16.8	4.3	0.3	5.5	270.9
	Rohumaa	1720.8	54.0	1493.9	3554.9	857.3	4.3	73.6	520.5	8279.3
	Põllumaa	10.5	4.3	100.3	6419.2	86.7	0.1	2.5	15.5	6639.0
	Hoonestatud ala	8.8	0.7	18.1	25.6	316.2	0.3	0.3	0.4	370.4
	Lage	1.7	0.6	0.7	0.6	53.4	3.3	0.0	0.1	60.3
	Pöösastik	2.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	128.8	131.9
	Märgala	4.6	62.2	73.1	7.7	150.6	0.2	4.8	1380.0	1683.4
	Kokku	23509.3	455.3	2520.5	10632.3	2447.6	13.5	286.8	3594.0	43459.4

Lisa 4. Dynamic World veemaatriks

		ETAK (km ²)								
		Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Pöösastik	Märgala	Kokku
Dynamic (km ²)	Mets	22737.1	163.9	1738.3	1574.5	1131.6	2.1	258.5	1904.5	29510.6
	Veekogu	5.1	249.2	7.3	1.0	20.7	5.8	1.0	8.4	298.5
	Rohumaa	343.9	6.5	418.2	2250.9	140.6	0.2	9.4	266.3	3436.0
	Põllumaa	132.3	11.0	210.2	6710.6	278.1	0.2	10.5	77.2	7429.9
	Hoonestatud ala	21.4	4.6	88.9	65.5	703.8	0.3	1.9	0.5	886.9
	Lage	3.1	1.0	1.1	3.1	66.1	3.1	0.0	32.5	110.1
	Pöösastik	265.2	9.4	42.1	26.1	75.3	0.5	4.1	1267.6	1690.4
	Märgala	0.3	10.0	13.0	0.6	22.5	0.4	1.2	36.8	85.0
	Kokku	23508.4	455.6	2519.1	10632.3	2438.9	12.5	286.8	3593.9	43447.4

Lisa 5. CORINE veemaatriks

		ETAK (km ²)								
		Mets	Veekogu	Rohumaa	Põllumaa	Hoonestatud ala	Lage	Pöösastik	Märgala	Kokku
CORINE (km ²)	Mets	18754.9	68.6	514.6	626.0	502.6	2.2	70.6	693.7	21233.3
	Veekogu	19.3	184.7	9.7	1.6	23.5	2.5	4.7	18.8	264.8
	Rohumaa	398.3	26.8	590.3	2074.9	187.8	0.3	41.1	30.1	3349.7
	Põllumaa	1603.6	78.4	989.0	7741.7	766.9	0.6	79.3	57.4	11316.8
	Hoonestatud ala	124.5	24.8	105.4	76.2	656.0	0.7	5.9	2.4	995.9
	Lage	10.0	0.7	5.8	0.2	9.6	2.9	1.4	0.6	31.1
	Pöösastik	2421.8	28.0	242.3	107.2	173.3	0.7	67.0	1066.7	4107.2
	Märgala	165.7	42.4	47.7	4.0	100.0	0.3	12.6	1723.4	2096.2
	Kokku	23498.1	454.5	2504.8	10631.8	2419.8	10.3	282.6	3593.1	43395.0

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Marie Annusver,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose Globaalsete ja regionaalsete kaugseirepõhiste maakatte andmebaaside täpsuse hindamine Eesti näitel,

mille juhendaja on Prof. Evelyn Uuema,

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 litsentsiga CC BY NC ND 4.0, 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.

Marie Annusver

22.05.2024