



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Danyel Meitsar

**PÕLLUMAA METSASTUMISE HINDAMINE SATELLIIDI
LANDSAT TALVISTELT PILTIDELT TESTALAL PÕLVA
MAAKONNAS**

ASSESSMENT OF AGRICULTURAL LAND AFFORESTATION
FROM WINTERTIME LANDSAT SATALLITE IMAGES IN A
TEST AREA IN PÕLVA COUNTY

Bakalaureusetöö
Metsanduse õppekava

Juhendaja: Urmas Peterson, PhD Geogr.

Tartu 2025

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Danyel Meitsar		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Põllumaa metsastumise hindamine satelliidi Landsat talvistelt piltidelt testalal Põlva maakonnas			
Lehekülgi: 37	Jooniseid: 15	Tabeleid: 6	Lisaid: 1
ETIS-e valdkond ja CERCS-i kood: Metsandus B430 Juhendaja(d): Urmas Peterson Osakond või õppetool: Metsa- ja maakorralduse ning metsatööstuse õppetool Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2025			
<p>Käesolev uurimus viidi läbi teemal Põllumaa metsastumise hindamine satelliidi Landsat talviselt piltidelt testalal Põlva maakonnas. Töö eesmärgiks oli uurida valitud testalal metsastunud põllumaid ning metsastunud põllumaade osakaalu muutumist testalal vahemikul 1987-2025. Testalaks oli valitud 20x20 km suurune ala, mis paiknes Põlva maakonnas Kanepi ja Põlva vallas. Uurimuses kasutati kolme talvel lausalise lumikattega oludes satelliidi Landsat pilti, mis olid pildistatud 1987 ja 2025. aastate veebruaris ja märtsis. Peale satelliitpiltide kasutati Eesti Baaskaarti, Eesti topograafia andmekogu (ETAK), Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (PRIA) ja Maa-ameti ortofotosid ning informatsiooni metsa- ja põllumaa piiride kohta. Lisaks uuriti täiendavalt mullastikku ning testala reljeefi ja nõlvust, mis võivad metsastumisele olulist mõju avaldada. Uurimuse tulemustest selgus, et 1987. aastal oli metsana klassifitseeritud aladega Baaskaardi põllumaal 610 hektarit. 2025. aasta pildil on metsastunud põllumaad 3954 hektarit. Need tulemused viitavad testalal metsastunud põllumaa osakaalu suurenemisele. Baaskaardi põllumaa ainult põllumaa serva metsaks klassifitseeritud ühe kuni kolme laiused pikslid, mida esines testalal suurel määral, olid 1987.aastal 214 hektarit ja 2025. aastal moodustas nende pindala 182 hektarit. Selgitati välja, et testala pinnamood soodustab metsastumist ning testalal esinevad leetunud mullad kahjustaksid alal põllumajandustegevust kuid on sobilikud metsastumiseks.</p>			
Võtmesõnad: Kaugseire, Landsat, põllumaa metsastumine, mullastik, reljeef			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Danyel Meitsar		Curriculum: Forestry	
Title: Assessment of agricultural land afforestation from wintertime Landsat satellite images in a test area in Põlva county			
Pages: 37	Figures: 15	Tables: 6	Appendices: 1
ETIS research field and (CERCS) code: Forestry B430 Supervisor(s): Urmas Peterson Department / Chair: Forest and Land Management and Wood Processing Technologies Place and year of defence: Tartu, 2025			
<p>This research was conducted on the topic Assessment of agricultural land afforestation from wintertime Landsat satellite images in a test area in Põlva county. The aim of the research was to investigate the afforested agricultural land in the selected test area and the change in the proportion of afforested agricultural land in the test area between 1987 and 2025. The test area was a 20x20 km area located in Kanepi and Põlva rural municipalities in Põlva county. The study used three Landsat satellite images taken in February and March of 1987 and 2025, in winter with complete snow cover. In addition to satellite images the Eesti Baaskaart, Eesti topograafia andmekogu (ETAK), Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet (PRIA) ja Maa-amet orthophotos and information about forest and agricultural land boundaries were used. The soil, relief and slope of the test area, which may have a significant impact on afforestation, were additionally investigated. The results of the study revealed that in 1987, the area of agricultural land classified as forest in the Baaskaart was 610 hectares. In the 2025 image, 3,954 hectares of agricultural land have been afforested. These results indicate an increase in the proportion of afforested agricultural land in the test area. The one to three pixels wide of the base map agricultural land classified as forest only at the field edge were 214 hectares in 1987 and their area was 182 hectares in 2025. It was found that the topography of the test area promotes afforestation and the waterlogged soils present in the test area would harm agricultural activities in the area but are suitable for afforestation.</p>			
Keywords: Remote sensing, Landsat, afforestation of farmland, soil, relief			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1.MATERJAL JA METOODIKA	8
1.1 Testala ja lähteandmed	8
1.2 Pilditöötlus	10
2.TULEMUSED	15
2.1 Põllumaa metsastumine 1987-2025	15
2.2 Kahel sarnasel ajal pildistatud satelliitpiltide tulemused 2025	16
3. ARUTELU.....	18
3.1 Metsastumise põhjused.....	24
KOKKUVÕTE	31
KASUTATUD KIRJANDUS	33
LISAD	35
Lisa 1. Metsastunud põllumaad, mis viitavad vale-positiivile	36

SISSEJUHATUS

Landsat-i satelliitprogramm on muutunud oluliseks andmeallikaks. Satelliitpildid sobivad hästi metsade kaardistamiseks, kuna autori hinnangul on Landsat-i satelliitpiltidelt mets suhteliselt lihtsasti eristatav ning metsade uurimine on tähtis nii süsinikuringe kui ka elurikkuse seisukohalt. Eestis hakati kasutama kaugseire takseerimist 1960.aastal, kus metsakorralduse aluseks võeti mustvalged nähtava ja lähiiinfrapunase spektripiirkonna kujutist kandvad paberkuul aerofotod (Lang et al. 2012)

Kaugseire, eeskätt Landsat-satelliitide abil, on muutunud tõhusaks vahendiks maakatte muutuste hindamisel. Landsat-i satelliitprogramm on pakkunud üle viiekümne aasta järjepidevaid maakatte pilte. Alates 2008. aastast tehti andmed tasuta kättesaadavaks, mis oluliselt suurendas nende kasutust teaduses ja uuringutes, võimaldades suurtel aladel toimunud maakasutuse muutuste uurimist (Wulder et al., 2012). Seejuures on oluline käsitleda maakatte ning maakasutuse erinevust. Maakate viitab materjalidele, mis katavad Maa pinda, see võib hõlmata vett, taimestikku, pinnast ning inimese poolt loodud struktuure, ehitisi. Maakasutus aga hõlmab üksnes inimtegevust, mis muudab maapinna protsesse, see sisaldab põllumajandust, metsandust, ehitust ja muid tegevusi, mis avaldavad mõju hüdroloogiale, bioloogilisele mitmekesisusele ning ökosüsteemidele. (Elmahal et al., 2025)

Metsandusliku kaugseire algusajaks loetakse 1920.aastat, mil Kanadas rakendati esmakordselt aerofotode ning välitööde kombineeritud meetodit, mille raames kaardistati ligi pool miljonit aakrit metsa (Howard, 1991).

Taimkatte kaugseires kasutatakse lisaks spektraalsensoritele ka laserskaneerimisseadmeid ehk lidareid, mida kasutatakse maapinnal kui ka õhusõidukitel suuremahuliste mõõtmiste läbiviimiseks. (Næsset et al., 2004, Heritage & Large, 2009).

Lõputöö üheks eesmärgiks oli klassifitseerida satelliitide seeria Landsat keskmise ruumilise lahutusega talvel lausaliselt lumikattega oludes pildistatud pildid kaheks klassiks: „mets“ ja „mitte-mets“. Klassifitseeritud pildidel hinnati metsana klassifitseeritud alasid, eeskätt nende pindala Eesti baaskaardil kujutatud põllumajandusmaal lõputöö testalal. Eesti baaskaart esindab põllumajandusmaa situatsiooni 1980ndate aastate teises pooles ja 1990ndate aastate

alguses. Samal ajal, aastal 1987 on pildistatud ka esimesed satelliidid Landsat pildid Eesti alalt. Lõputöös on hinnatud kahte situatsiooni, varasemat, aastal 1987 ja hilisemat, kaasaegsemat, aastal 2025. Esimesel pildil ei tohiks kaardistamisega samaaegsena olla põllumajandusmaal metsalappe. Niisuguste metsalappide olemasolul on nende seas valedpositiivseid klassifitseerimisotsuseid. Viimase, 2025.a. pildi klassifitseerimisotsustest nähtub metsastumise ulatus piltide ajavahemikuga kaetud 38 aasta kestel lõputööks valitud testalal.

Lõputöö teiseks eesmärgiks oli hinnata klassifitseerimistulemuste stabiilsust kahte võimalikult samades oludes pildistatud pilti kasutades. Võrreldud pildid on pildistatud 2025.a. ühepäevase ajavahega.

Kolmandaks eesmärgiks oli hinnata avaandmetes esindatud põllumajandusolude võimalikku seost põllumaa metsastumisega. Lõputöös on kasutatud Eesti mullakaardi ja reljeefimudeli andmeid.

Käesolevas uurimistöös keskendutakse metsastumise hindamisele varasemalt põllumajanduslikus kasutuses olnud maadel, kasutades 1987 ja 2025 talviseid Landsati satelliitpilte. Uuringualaks on valitud 20×20 km suurune ala Põlva maakonnas Kanepi ja Põlva valdades.

Töö keskendub valitud Kagu-Eestis asuva testala satelliitpiltide klassifitseerimisele, et leida metsalappide pindala. Selle saavutamiseks kogub autor Landsat 5 ja Landsat 8 talvised satelliidipildid, et tagada ajas võrreldav ja kõrge ruumilise täpsusega andmestik. Seejärel klassifitseeritakse satelliitpiltide pikslid kahte kategooriasse – „mets“ ja „mitte-mets“ –, kasutades selleks sobivat pilditötluse meetodikat, mis põhineb spektraalse heleduse analüüsil. Edasi hinnatakse, kui suur on olnud metsastunud alade pindala muutus aastatel 1987 kuni 2025, võrreldes kahte erinevat pilti. Tulemuste tõlgendamisel pööratakse tähelepanu ka maastikutingimustele – kirjeldatakse metsastumise seoseid reljeefi ning erinevate mullatüüpidega.

Töö raames kasutatakse sisendina PRIA, ETAK-i ja Baaskaardi andmekogu andmeid. Lisaks nendele andmekogudele esinevad ka Eesti CORINE maakatte andmekogu ehk Eesti maakatte andmebaas, kust on võimalik koguda andmeid maakatte kohta (Geoportaal, 2025). Metsade uurimisel on oluline andmestik ka *Global Forest Watch* andmestik, mis hõlmab

endas üle 100 globaalse ja kohaliku andmekogumi, kus on samuti võimalik koguda informatsiooni maakasutuse ja metsakoosluste kohta. (Global Forest Watch, 2025)

Töö on jaotatud kolmeks põhiosaks. Esimeses osas tutvustatakse uurimisala ja lähtematerjale ning selgitatakse pilditöötluses ja ruumianalüüsis kasutatavat meetodikat. Teises osas esitatakse saadud tulemused, sealhulgas metsastunud pindalade muutused ning nende seosed mullastiku ja reljeefiga. Töö lõpus esitatakse põhilised järeldused ning kokkuvõte.

1.MATERJAL JA METOODIKA

1.1 Testala ja lähteandmed

Uurimisala keskpunkt asub koordinaatidel 58°02'41.1"N 26°48'14.5"E Paiknedes Kagu-Eestis Põlva maakonnas, Kanepi ja Põlva vallas (Joonis 1). Valitud ala suurus on 20x20 km. 1990. aastate alguses oli uurimisalal Eesti Baaskaardi (Maa-amet, 2025) andmetel 11990 hektarit põllumaad. Eesti Topograafia Andmekogu (Maa-amet, 2025a) järgi on alal 8975 hektarit põllu- ja aiamaad. Baaskaardi korral uuriti põllumajandusmaa kihte ning ETAKi puhul haritava maa kihte.



Joonis 1. Uuritav ala Kagu-Eestis Põlva maakonnas, ruudu suurus 20x20 kilomeetrit. Joonisel on kujutatud Maa-ameti üldistatud topoandmed mõõtkavas 1:250 000 (Maa-amet, 2025).

Töös kasutati Eesti Baaskaardi ja Eesti topograafia andmekogu (ETAK) põllumaa piire. Põllumassiivide ja kasutuse kohta saadud andmed pärinevad Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (PRIA) põllumassiivide registrist (Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Amet s.a). Autor otsustas põllumassiivide kohta andmeid koguda mitmest andmestikust, et saada laiem ülevaade põllumassiividest uurimisalal vastavalt erinevate andmestike informatsioonile. Lisaks võimaldab mitme allika kasutamine tuvastada nende vahelisi erinevusi.

Uurimuse lähteandmete hulka kuuluvad ka Landstat-i satelliitpildid, mis pärinevad USGS (United States Geological Survey) kodulehelt. Uurimuse raames kasutati satelliitpilte märtsi ning veebruarikuust, aastatest 1987 ning 2025. 1978.aasta ning 2025.aasta satelliitpiltide võrdluseks valiti üks satelliitfoto kummastki aastast. 1978.aasta ning 2025.aasta klassifitseerimise tulemuste kontrolli läbiviimiseks võrreldi ka kahe sarnastes tingimustes tehtud satelliitpildi klassifitseerimise tulemusi. Selleks kasutati satelliitpilte, mis olid jäädvustatud kuupäevadel 23.02.2025 ning 24.02.2025. Kokku kasutati uurimuse läbiviimiseks kolme USGS veebilehelt pärinevat Landsat satelliitpilti.

Testala jääb keskmise ruumilise lahutusega satelliitpiltide nomenklatuuri *World Reference System* (WRS) raja (*path*) 186 ridade (*row*) 19, ning raja 187 rea 19 piiresse.

Uurimistöös kasutati talvel pildistatud Landsat-i satelliidiseeria pilte, põhjusel, et Landsat on kõige pikemalt Maad seiranud satelliit (Masek et al. 2020) ja Landsat'i pildid on kaasajal kättesaadavad vabavarana. Töös kasutati USGS poolt määratud pildi kaardiprojektsiooni UTM35N (universaalne transversaal- merkator), et vältida rasterpildi mõõtmete moonutamist ning ebatäpsuste tekkimist. Satelliitpiltide puhul hinnati tootja teostatud pilte piisavalt kvaliteetseks ning need võeti kasutusele ilma projektsioone muutmata. 23.02.2025 aasta satelliitpilt oli tehtud kell 09:17 hommikul ja 18.03.1987 pilt oli tehtud kell 08:45. 2025.aastal tehtud pildi ajal oli päikese asimuut 162,53, ehk päike paistis lõuna-kagu suunast. 1987. aastal oli päikese asimuut 151,82 ning päike paistis samuti lõuna-kagu suunast. Päikese asimuut ning paistmise suund on olulised, sest tekkivad varjud võivad mõjutada tulemuste usaldusväärsust ning võivad tekkida vale-positiivsed tulemused. Võib esineda olukord, kus andmetöötlaste käigus arvestatakse varjuala ekslikult metsana.

Kõigil juhtudel kasutati töö käigus spektri punase piirkonna pilte, et metsa ja mitte-metsa omavahel eristada. Töös keskenduti punase lainepikkusala piltidele põhjusel, et seda

meetodit rakendatakse laialdaselt taimeseires. Kuigi vaadeldavad satelliitpildid olid tehtud hilistalvisel - varakevadisel perioodil, võimaldas antud punase spektri piirkonna piltide kasutamine kindlustada, et taimi on siiski võimalik tõhusalt eristada, kui vaadeldaval ajal peaks esinema sulaperiood.

Töös kasutatakse kahe Landsat-i satelliidi - Landsat 5 ja Landsat 8 - satelliitpilte.

Landsat 5 oli NASA ja USA geoloogiateenistuse (USGS) poolt hallatav Maa seire satelliit, mis saadeti orbiidile 1.märts 1984. (National Aeronautics and Space Administration 2013) Satelliit kandis kahte olulist sensorit: *Thematic Mapper* (TM), mis suutis eristada seitset erinevat spektriala ja pakkus detailsemat ülevaadet maapinnast, ning *Multispectral Scanner* (MSS), mis oli kasutusel ka eelmistel Landsati satelliitidel ja töötas paralleelselt TM-ga. Landsat 5 tiirles polaarorbiidil 705 km kõrgusel ning suutis katta kogu Maa iga 16 päeva tagant. TM sensori resolutsioon oli kuni 30 meetrit. (The United States Geological Survey s.a)

Landsat 8 lasti orbiidile 11.veebbruaril 2013.aastal (NASA, 2013). Satelliidile on paigutatud kaks sensorit: *Operational Land Imager* (OLI) ja *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), mis võimaldavad maapinna muutuste jälgimist erinevates spektrivööndites, sealhulgas nähtavas, infrapunases ja termilises piirkonnas (The United States Geological Survey s.a). Landsat 8 tiirleb ümber Maa umbes 705 km kõrgusel ja suudab katta kogu Maa pindala iga 16 päeva tagant. (Vikipeedia, 2025).

1.2 Pilditöötlus

Pilditöötles võeti kasutusele kaks programmi IDRISI Taiga, mida kasutati kaugseire andmete analüüsiks rasterkujul ja Mapinfo, mida kasutati vektorkujul andmetega tegelemiseks.

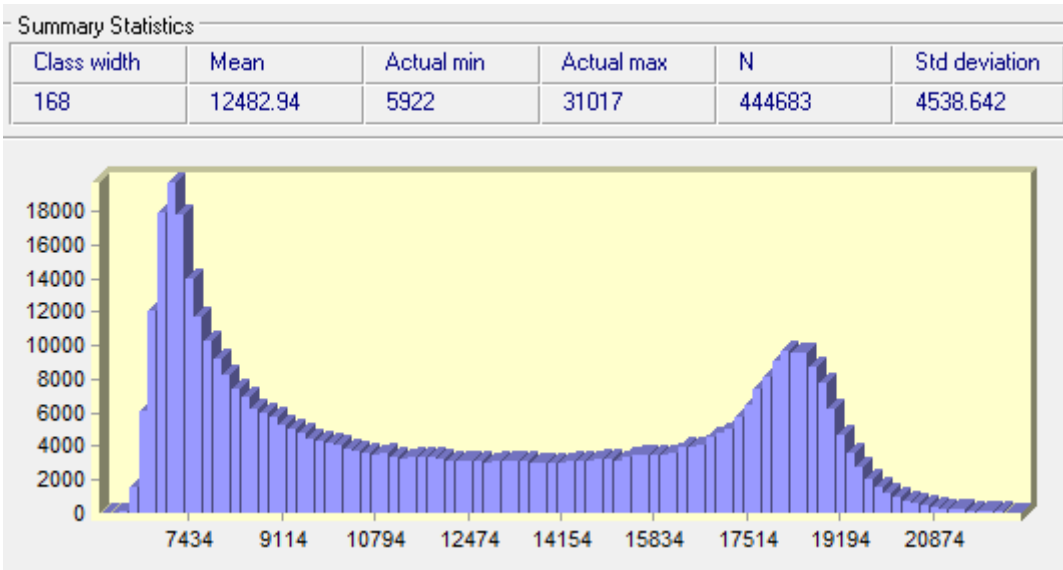
Esimese sammuna kasutas autor programmi IDRISI, kuhu laeti eelnevalt salvestatud Landsat satelliitpildid aastatest 1987 ning 2025. Seejärel valiti vastav testala, kasutades selleks moodulit WINDOW. Järgnevalt rakendati moodulit OVERLAY, kus kombineeriti olemasolevad rasterpildid, et saada informatiivsem ülevaade aset leidnud muutustest vahemikul 1987-2025. Kombineeriti 1987.aasta ning 2025.aasta satelliitpildid, mis andis

ülevaate maakatte muutustest, sellest, milline oli maakate aastal 1987 võrdluses maakattega uurimisaastal 2025. aastal.

Teine moodul, mida uurimuse raames rakendati oli RECLASS, mis võimaldas autoril muuta Landsati satelliitpildi rasteri klasside väärtusi. Klasside väärtusi oli tarvilik muuta, kuna satelliitpilt oli kirju ning see muutis metsa ning mitte-metsa eristamise keerukaks. Analüüsi lihtsustamiseks eristati RECLASS toel kaks klassi, kus 0 tähistas mitte-metsa ning 1 tähistas metsa. Töös valitud rasterpiltidel kasutati 2 ja 98 protsentiili keskvaartust. Pikslid mille erendus oli protsentiilväärtuste keskmisest väiksem, klassifitseeriti „metsaks“ ja ülejäänud „mitte-metsaks“.

Töö raames rakendati ka MIFDRISI, mis võimaldas luua rasterpildi vektorkujundile ning andis võimaluse pilti Mapinfos edasi töödelda. Metsaalade analüüsimisel veenduti, et need piirneksid põllumaadega. See andis autorile võimaluse kindlaks teha, kas metsa ulatumine on reaalne või on tegu satelliitpildi tõlgendamise veaga. Metsa ja mitte-metsa piirid kuvasid hägusena, selle põhjuseks võib olla asjaolu, et pildi ühe piksli heledus võib olla mõjutatud kõrvaloleva piksli kiirgusest, mis mõjutab piiride nähtavuse kvaliteeti. Autor otsustas luua ühe piksli laiuse (30 meetrit) puhervööndi, mis võimaldas metsa ja mitte-metsa paremini eristada ning seeläbi jõuda täpsemate tulemusteni.

Talviste satelliitpiltide analüüs on hõlpsam, sest lumi muudab maakattetüüpide kontrasti selgemaks, mis omakorda aitab metsa ja mitte-metsa lihtsamini eristada. Lumi on hea valguse peegeldaja, seetõttu on satelliitpiltidel mitte-metsad oluliselt heledamad kui metsad, mida iseloomustab madalam valguspeegeldus. Talviste satelliitpiltide korral on metsadel madalam kirkus ning põllumaadel kõrgem kirkus. Metsa ning mitte-metsa vaheline heleduse erisus loob satelliitpiltide histogrammis kahemoodilise jaotuse, mis aitab eristada metsade ja mitte-metsade piire (Liira et al., 2006; Peterson et al., 2008). Metsa ja põllumaa üleminekualade tuvastamine võib olla keerukas, sest pikslid ei pruugi selgesti piire eristada. Talvisel perioodil on see aga vähem probleemne, sest lumi muudab metsa ja mitte-metsa eristamise lihtsamaks ning piirid selgemaks (Peterson et al. 2006). Töös kasutati talviste satelliitpiltide histogrammi, kus on kirjeldatud pikslite eridust ja esinemissagedust (Joonis 2).



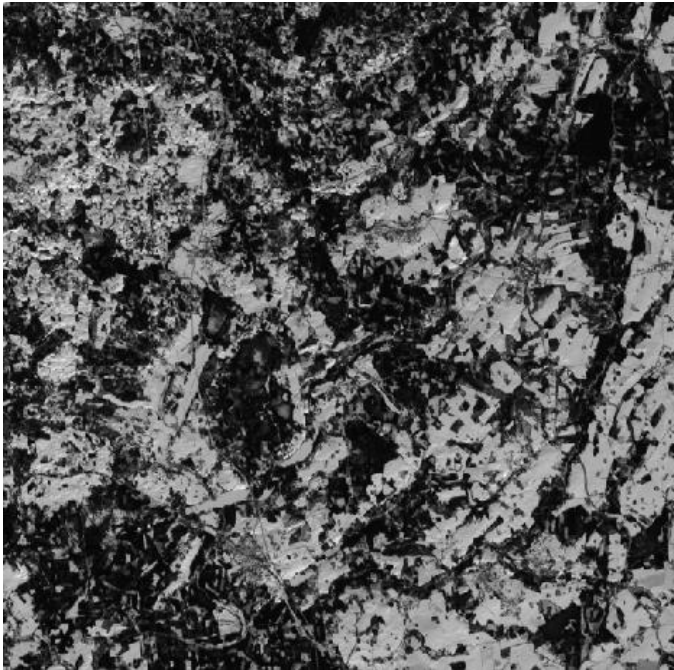
Joonis 2. 23.02.2025 Landsat 8 punase spektraalkanali pildi pikslite sagedusjaotus. Horisontaalteljel on kujutatud pikslite eredust ja vertikaalteljel pikslite esinemissagedust. Jaotus on kahemodaalne, väiksemad väärtused kujutavad tumedaid alasid ehk metsa ja suuremad pikslite väärtused kujutavad lagedaid lumeväljasid ehk mitte-metsa.

Testala uurimise raames loodi ka valemvärvpilt (Joonis 3), mis võimaldas vaadata spektri mitte nähtavaid osi, näiteks pinnakatet, erinevaid veekogusid ja asulaid. Ühtlasi võimaldab valemvärvpilt hinnata satelliitpildi üldist kvaliteeti - kas pildil on pilvi või on pilt selge.



Joonis 3. 23.02.2025 Landsat 8 värevärvpilt. Pildil on punakashallis värvitoonis kujutatud põllumaad ning rohelises värvitoonis metsaalad.

Töö raames loodi ka 1987.aasta ning 2025.aasta satelliitpiltidest loomulik pilt, mille loomisel oli tulemuseks must-valge pilt, millelt on võimalik metsa ja mittemetsa eristada, pildil on mets kujutatud mustana ning mittemets helehallina (Joonis 4).



Joonis 4. Landsat 8 uuritava ala talvine, must-valge satelliitpilt, kus mets on eristatud mustana ning mitte-mets on eristatud helehalli tooniga.

Käesoleva uurimuse raames analüüsiti ka uurimisala mullastikku ning reljeefi ja nõlvust. Selleks lähtus autor Maa-ameti geoportaali andmetest. Geoportaalist hankis autor reljeefi, nõlvuse ning mullakaardi, seejärel võttis autor fookusesse uurimisala ning uuris kaartidele tuginedes erisusi mullastikus uurimisalasse jääva põllumaa ja metsastunud põllumaa vahel ning esitas andmetele tuginedes uurimisala reljeefi ja nõlvuse kirjelduse. Andmed, millele tuginedes autor reljeefi ja mullastikku katsealal kirjeldas on tulenevad legendist, mis saadi pärast testala asetamist reljeefikaardile ning mullastikukaardile.

Nõlvade uurimiseks laadis autor alla geoportaalist nõlva (andmekihi) kaardid alla ning IDRISI programmis asetati kaardile testala. Seejärel kasutati programmi SLOPE, mis võimaldas välja selgitada nõlva kõrgused. Järgnevalt tutvuti põllumaa nõlvuse andmestikuga, kust selgus, et 0 nõlva kraadi pikseid on 33571, esinemise sageduse

protsentväärtus on sellisel juhul 84%. Lisaks koostas autor ka andmestiku, mis koostati metsastunud põllumaale, mille nõlvuse 0 kraadid olid 409772 ehk sageduse protsent oli 92%.

2.TULEMUSED

2.1 Põllumaa metsastumine 1987-2025

Käesolevas töös käsitleti 1987.aastal ning 2025.aastal tehtud satelliitpilte. Satelliitpiltide jäädvustamise ajaline vahe on sellest tulenevalt 38 aastat. Satelliitpiltide uurimisel ning töötlemisel leiti, et 38 aasta jooksul on esinenud põllumaal klassifitseeritud metsa pindala kasvu. 1987. aastal oli metsana klassifitseeritud aladega põllumaad 610 hektarit. 2025. aasta pildil oli metsastunud põllumaad aga 3954 hektarit.

1987.aastal moodustasid 1-pikslilised kujundid metsastunud põllumaal 2384 pikslit ehk 214 hektarit. 2025.aastal kuni 1-pikslilised kujundid moodustasid kokku 2030 pikslit ehk 182 hektarit. 2-pikslilisi kujundeid 1987.aastal oli kokku 679 ehk 122 hektarit ja 3-pikslilisi kujundeid oli kokku 107, mis tegi kokku 38 hektarit. 2025.aastal tuli 2-pikslilisi kujundeid kokku 669 ehk siis 120 hektarit, mis on ainult 2 hektarit vähem kui 1987. aastal saadud andmetelt. 3-pikslilisi kujundeid tuli kokku 332 ehk 89 hektarit, mis on 134,21% suurem kui 1987.aastal.

Testalal uuriti ka metsastunud põllumaade servi. Autor otsustas põllumaa servi uurida, et tuvastada, kui palju esineb testalal metsastunud põllumaa ääri, sest satelliitpiltide põhjal ilmnes, et suurem osa metsastunud põllumaast olid põlluservad. Põllumaa servade uurimiseks kasutati buffer vööndit ja saadi teada, et 1987. aastal oli metsastunud põllumaa serva 473 hektarit, mis on enam kui pool 1987.aasta metsastunud põllumaa pindalast. 2025.aastal oli metsastunud põllumaa servi ligi 2352 hektarit.

Tulemustest selgus, et ühe kuni kolme piksli suuruste lappide osakaal põllumaa servades on vahemikul 1987-2025 vähenenud. 1987.aastal moodustasid metsastunud lapid põllumaa servades 214 hektarit ja 2025. aastal moodustas nende pindala 182 hektarit. Need tulemused viitavad metsastunud lappide vähenemisele 32 hektari ulatuses.

Käesoleva töö kontekstis otsustati kuni kolme piksli suurused kujundid müraks liigitada. Kuna neid oli suures arvus ja arvatavasti on tegu vale-positiivsega. Ühe kuni kolme piksli suuruseid kujundeid võib müraks liigitada põhjusel, et need võivad olla näiteks puude varjud,

mis mängivad suurt rolli satelliitpildil või näiteks puuvõra, mis võib valepositiivseid tulemusi esile kutsuda.

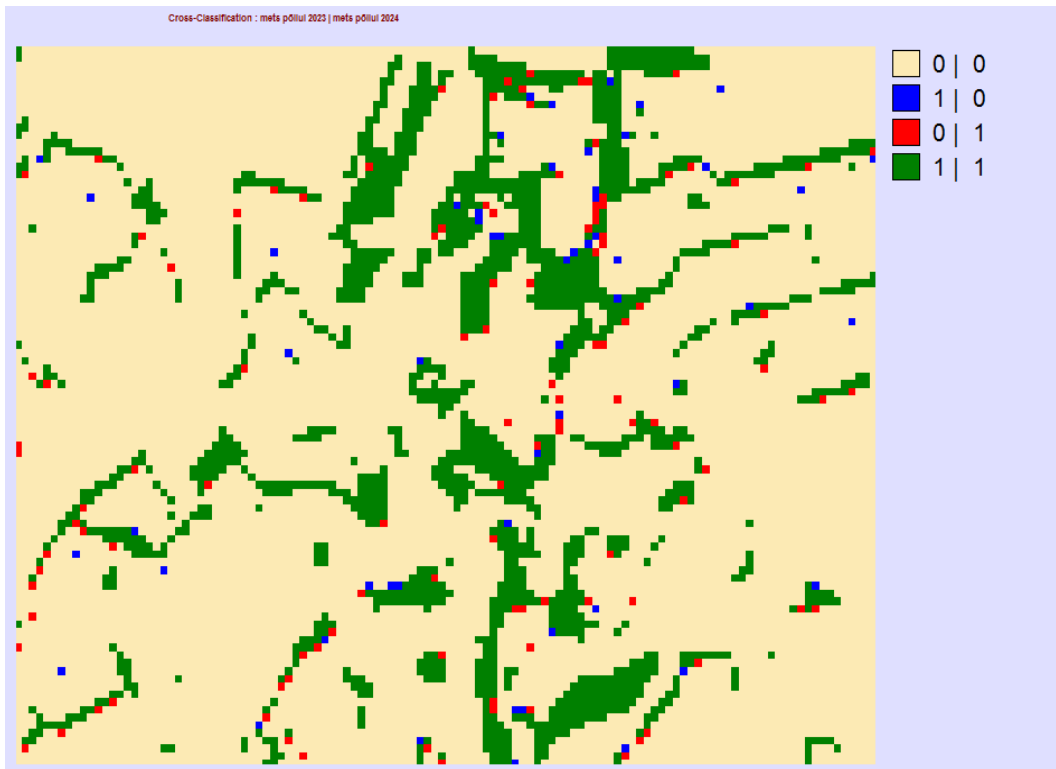
Tabel 1. 1987.aasta ning 2025.aasta baaskaardi põllumaal põlluserva metsaks klassifitseeritud pikslite kogu. Tabeli vasakpoolses osas on kujutatud 1987.aasta andmed ning tabeli parempoolses osas on kujutatud 2025.aasta andmed.

Piksli suurused	Pindala	Kokku	Piksli suurused	Pindala	Kokku
1	211.0	2344	1	156.6	1740
2	117.7	658	2	100.6	572
3	56.7	216	3	74.0	295
4	34.6	101	4	80.1	247
5	21.2	52	5	57.0	149
6	19.0	40	6	54.8	119
7	12.2	21	7	59.0	115
8	7.6	13	8	61.0	111
9	7.3	11	9	53.6	88
10	2.9	5	10	44.7	66

Veerg “piksli suurused” viitab sellele, mitmekujulise piksliga oli tegu. Tabeli veerg “pindala” viitab kujundite osakaalule testalas (hektarites) ning veerg “kokku” viitab, kui palju selliseid kujundeid testalas esines.

2.2 Kahel sarnasel ajal pildistatud satelliitpiltide tulemused 2025

Tulemuste usaldusväärsuse kontrollimiseks võrreldi kahe võimalikult sarnastes tingimustes tehtud satelliitpildi klassifitseerimise tulemusi. Võrdluseks kasutati 23.02.2025 ja 24.02.2025 satelliitpilte, kuna need pildid kajastasid ajaliselt kõige lähedasemaid vaatlusandmeid. Joonisel 5 on kujutatud võrdluse tulemused. Võrdluse käigus tuvastati alad, mis on mõlema satelliitpildi töötlemisel klassifitseeritud metsaks ning mõlema puhul mitte-metsaks, lisaks tuvastati alad, mis on klassifitseeritud 23.02 pildil kui mets, kuid 24.02 pildil mitte-mets ning alad, mis 23.02 pildil klassifitseeriti kui mitte-mets ning 24.02 pildil kui mets.



Joonis 5. Valim 2025. aasta 23.02 ja 24.02 klassifitseeritud testala piltide võrdlusest.

Klasside tähendus legendis:

0/0 – mõlemal pildil „mitte-mets“;

1/0 – 23.02 pildil „mets“, 24.02 pildil „mitte-mets“;

0/1 – 23.02 pildil „mitte-mets“, 24.02 pildil „mets“ ;

1/1 – mõlemal pildil „mets“.

Autor koostas ka risttabeli. Risttabel kirjeldab kahe 23.02.2025 ja 24.02.2025.aastal klassifitseeritud pildi tulemusi (Tabel 2). Kappa koefitsiendi väärtuseks valitud katsealal tuli 0,94.

Tabel 2. 2025. aasta 23.02 ja 24.02 satelliitpildi klassifitseeritud tulemuste risttabel.

23.02.2025 \ 24.02.2025	"Mitte-mets"	"Mets"	Kokku
"Mitte-mets"	0,9058	0,0033	0,9091
"Mets"	0,0057	0,0851	0,0909
Kokku	0,9116	0,0884	1,000

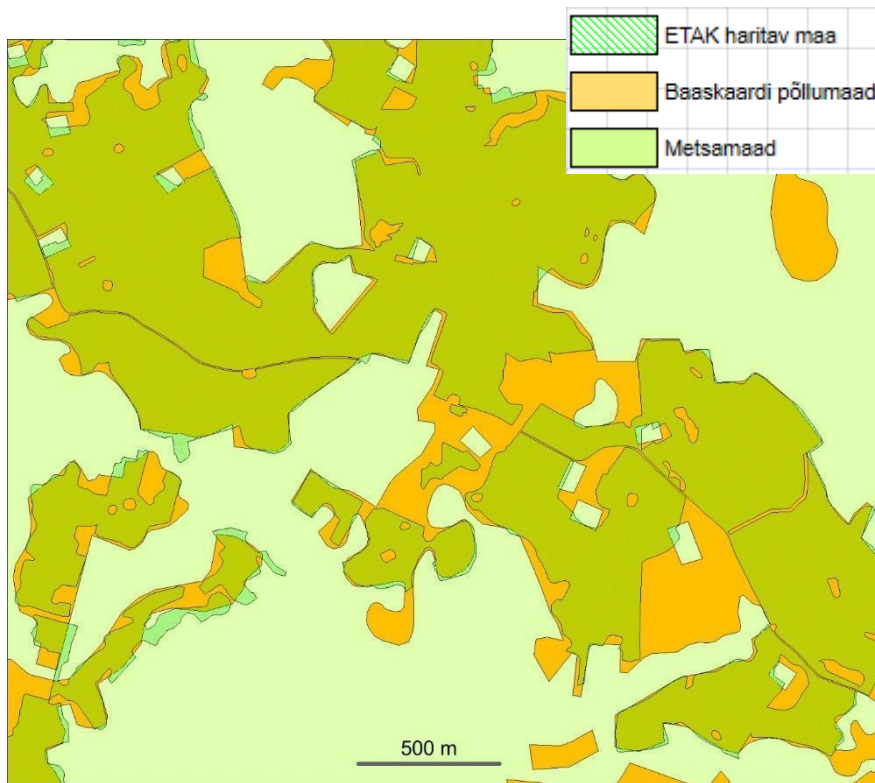
3. ARUTELU

Uurimistöös uuriti testala põllumaa metsastumist ajavahemikus 1987 kuni 2025. Tulemustest tuleb välja, et testala metsastumine on aastate jooksul märkimisväärselt suurenenud. Kui 1987. aastal oli metsastunud põllumaid autori klassifitseerimistulemuste kohaselt 610 hektarit, siis 2025. aastal oli metsastunud põllumaid autori tulemustele tuginedes 3954 hektarit. Samuti oli märgatavad muutused ühe kuni kolme piksli suurustes kujundite arvus. Autor rakendas uurimuse raames 1-3 piksliseid kujundeid, et saada uurimisalast täpsem ülevaade ning tuvastada nn. “müra” ja vältida seeläbi valepositiivseid tulemusi. 1987. aastal moodustasid need kujundid 214 hektarit, 2025. aastal oli nende pindala vaid 182 hektarit, mis võib viidata väikeste metsalappide ühendumisele suuremateks aladeks, sellele viitab ka asjaolu, et 2025.aasta satelliitpildil esines vähem väiksemaid piksli kujundeid, kui 1987.aasta pildil ning 2025.aasta pildil esines suuremaid piksli kujundeid rohkem kui 1987.aastal. See võib viidata, et väiksemad metsastunud alad on suuremate metsastunud aladega ühendunud, suurendades seeläbi 2025.aastal kuvatud suuremate metsastunud alade määra ning vähendades väiksemate metsastunud lappide määra.

Töö käigus võrreldi ETAK-i ja PRIA haritava maa piire, kus tuli välja mõningased erinevused (joonis 6, joonis 7 ja joonis 8). Erinevused pole suured, aga kui suurema ala pealt vaadata, siis on neid erinevusi palju. Joonisel 6 on näha ETAK-i haritava maa paiknevust Baaskaardi põllumaa suhtes, kust on näha, et ETAK-i haritaval maal asub klassifitseeritud mets. Joonisel 6 on kujutatud vastupidist, kus on näha PRIA ja Baaskaardi põllumaa paiknevuse erinevusi. .

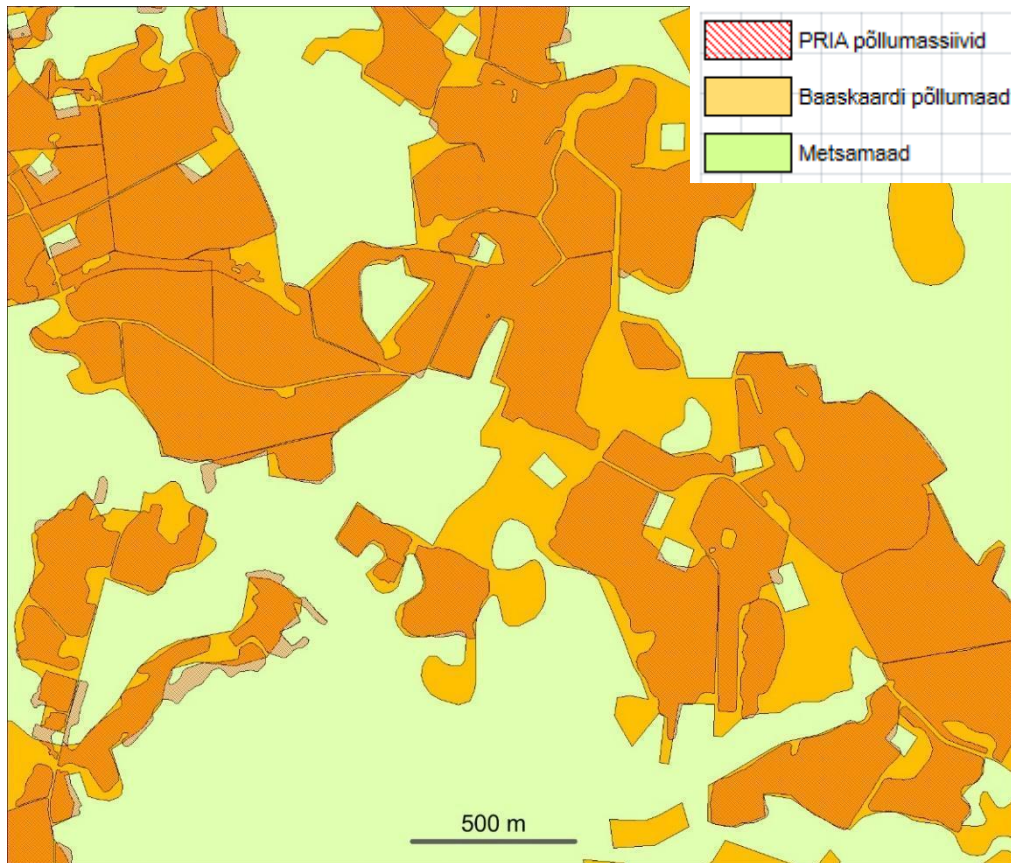
1987. aasta pildil ei tohiks olla ühtegi metsastunud põllumaad, aga töö käigus tuli välja, et metsastunud põllumaad leidub. Kujundite hulk põlluservas on 1987-2025 aasta jooksul kahanenud, mis on käesoleva töö kontekstis loogiline, sest aastate jooksul kasvab metsa üha enam juurde ning selle tulemusena suureneb suuremate metsalappide osakaal, samas kui väiksemate metsalappide osakaal testalal kahaneb.

Alloleval joonisel (joonis 6) on illustreeritud ETAK-i ja Baaskaardi andmestikes põllumaa. ETAK-i põllumaa on kujutatud rohelises värvitoonis ning Baaskaardi põllumaa on esindatud heleoranži värvitooniga.



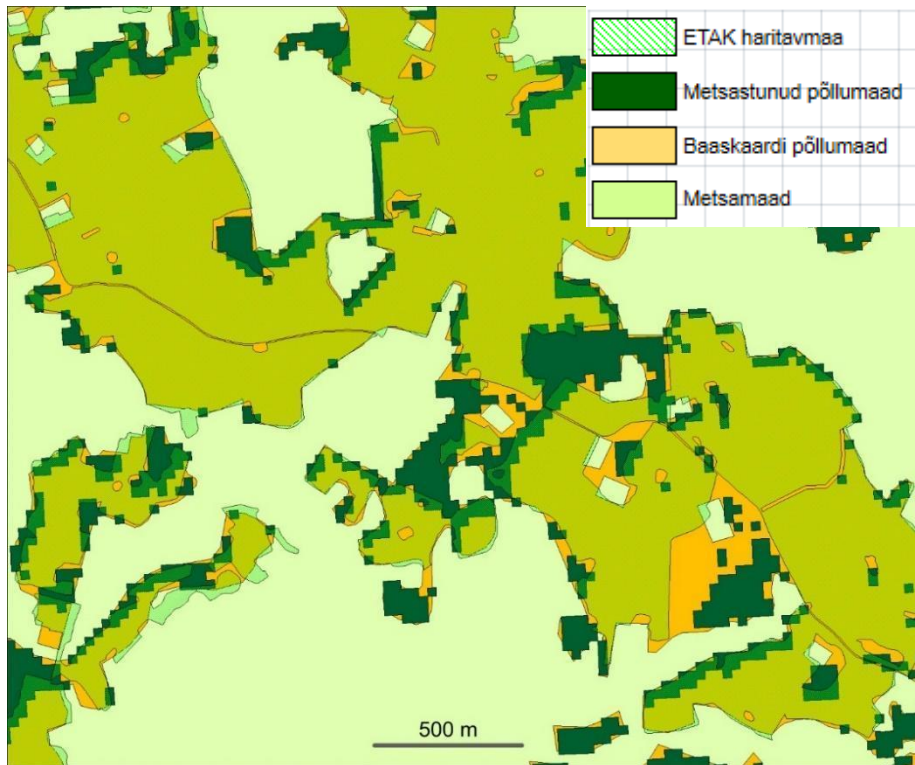
Joonis 6. Haritava maa vastavus ETAK-i ja baaskaardi põllumaa andmestikes uuritava testalal.

Järgnevalt on joonisel 7 aga kujutatud PRIA põllumassiivide võrdlus Baaskaardi põllumaaga. Joonisel on Baaskaardi alad kuvatud heleoranžis värvitoonis ning PRIA andmestiku põllumassiivid on kujutatud punakas värvitoonis. Ka antud joonis illustreerib PRIA ja Baaskaardi andmete vahelisi erisusi põllumassiivide suhtes.



Joonis 7. PRIA põllumassiivide võrdlus Baaskaardi põllumaaga.

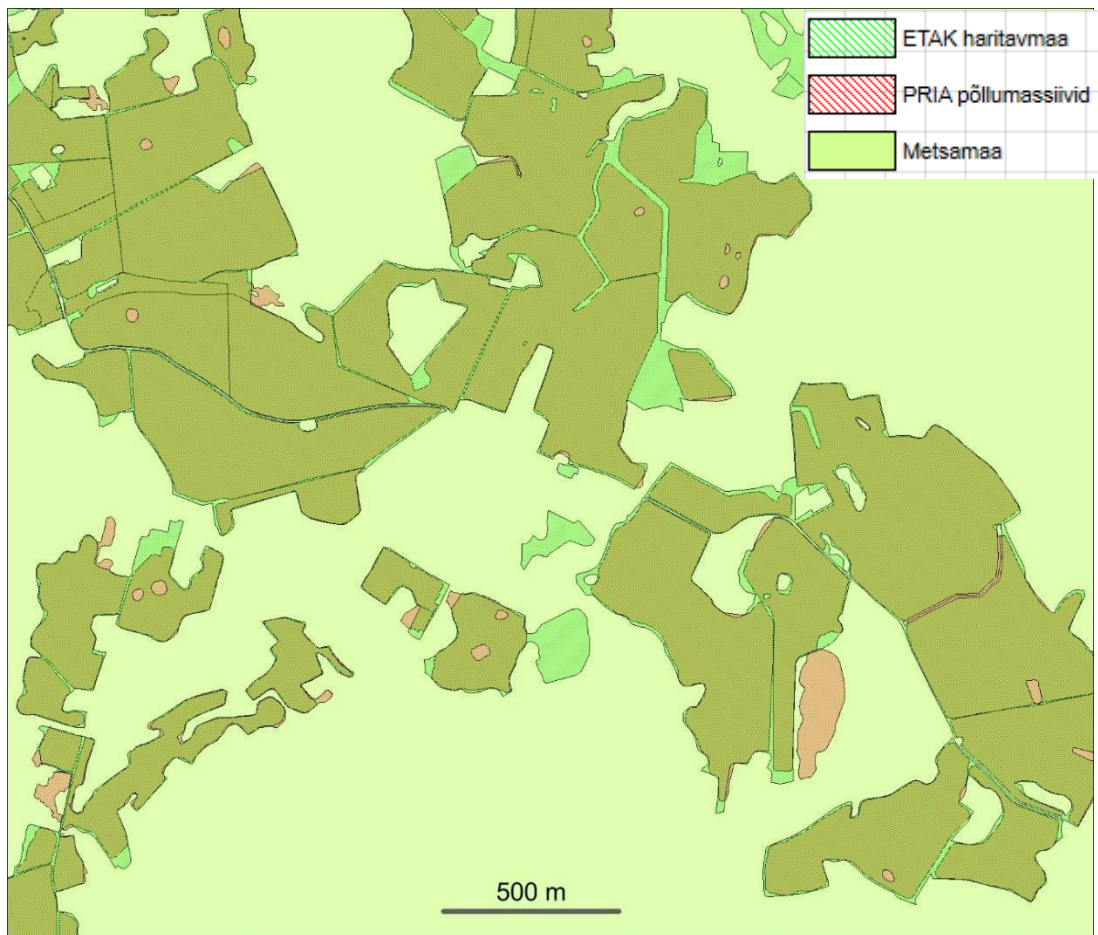
Joonisel 8 on kujutatud 2025. aasta seisuga satelliitpildilt klassifitseeritud metsa. Uurimuse raames saadud tulemuste ning ETAK-i andmete vahel esinevad erisused. Ala, mida testala korral kvalifitseeriti uurimuse käigus metsana, asetseb ETAK-i andmetega võrreldes haritavaal maal. Seda leidu illustreerib ka allolev joonis. Tegu võib olla kas, metsastunud põllumaa satelliitpildil esinenud varjudega või satelliitpildi töötlemise käigus tekkinud valepositiivse tulemusega.



Joonis 8. 2025.aasta metsastunud põllumaad, ETAK-i ja Baaskaardi põllumaad.

Lisaks võrreldi ka ETAK-i haritava maa ja PRIA põllumassiivide erinevust (joonis 9). Saadi teada, et ETAK-i haritavat maad on kokku 8975 hektarit ja PRIA andmete järgi on testalal 8500 hektarit põllumassiive. PRIA käest küsiti, et miks PRIA ja ETAK-i andmekogud niivõrd palju erinevad. Selgus, et PRIA-l ei ole sobiva resolutsiooniga satelliitpilte kogu Eesti kohta. PRIA uuendab põllumajandustoetuste ja põllumassiivide registrit uute ortofotode, satelliidifotode, maakasutusotstarbe piiri, maakasutusõiguse, kohapealse kontrolli ettepanekute ja taotlejate avalduste põhjal. Põllumassiivide piirid muudetakse vastavalt ortofotodelt tuvastatud harimis -ja hoolduspiiridele. Seepärast on põllumassiivid tihtipeale väiksemad kui põllud põhikaardil ja katastriüksuste plaanidel.

PRIA ja ETAK-i andmed erinevad, sest PRIA tegeleb kaartide uuendamisega sagedamini, seega võivad ETAK-i andmed olla PRIA andmetega võrreldes vanemad. See tähendab, et PRIA andmetel võib esineda uusi haritavaid maid, mida ETAK-i andmed ei kuva. Tehti kindlaks, et ETAK-i ja PRIA haritava maa andmete erinevus testalas on pindalaliselt umbes 475 hektarit. PRIA-l puuduvad sageli alad, kus harimist ei ole viimastel aastatel toimunud, kuigi need võivad ETAK-is olla endiselt põllumaana kirjas.



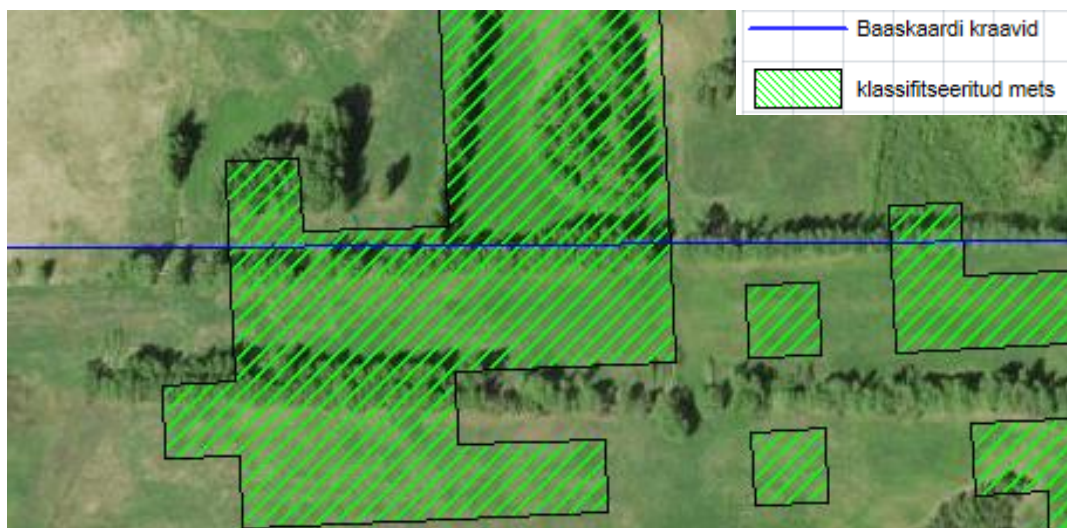
Joonis 9.ETAK-i ja PRIA haritava maa võrdlus.

Testalal uuriti, kas lumikattega autoteelõigud võivad ka testalal vale-positiivseid tulemusi tekitada. Asjaolu, et teede puhul võib tegu olla puisteedega, kus puud asuvad mõlemal pool teepervel või, et teed on talvisel ajal lumest puhtaks lükatud, võib esile kutsuda valepositiivseid tulemusi (Joonis 10). Lisas 1 on näha veel jooniseid, kus on metsastunud põllumaa tegelikult puistee. Testalal saadi teada, et 2025.aastal metsastunud põllumaal on kokku 1928 teelõigu pikslit ja põllumaadel on 5847 pikslit. Teelõikude andmed kogus autor Baaskaardi lehelt valides teede kihi. 1987. aastal oli metsastunud teid 278 pikslit, mis on kordades vähem. Testala satelliitpiltide uurimisel ja töötlemisel ei tuvastatud, et alal oleks esinenud lumest lahti lükatud teid, mis oleks võinud valepositiivseid tulemusi tekitada, seega võib tegu olla metsapiiridega või puisteedega.



Joonis 10. Ortofoto testala piirkonnast (2025.aastal), kus esineb autotee. Metsastunud põllumaad on joonisel kujutatud roheliselt triibutatuna ning autoteed tähistab punane joon. Joonis kuvab, et tegu on puiesteeaga, mis on 2-3 piksli laiune.

Lisaks autoteedele uuriti, kui palju esineb testalal kinni kasvanud kraave või kraavide äärde tekkinud võsa. Autor soovis sellele tähelepanu pöörata, sest kraavide võsa võib samuti metsaks klassifitseerida. Kraavid klassifitseeriti metsaks üksnes siis, kui oli piisavalt kõrgeid ja laiad põõsastikud (Joonis 11 ja Lisa 1). Joonisel on näidatud, kus Baaskaardi metsastunud põllumaa kraavid on kinni kasvanud. Joonisel on ilusti näha, kuidas suured ja laiad puud klassifitseeriti metsaks. Satelliitpildi klassifitseerimise käigus selgus, et testalas ei olnud kuigi palju kinni kasvanud kraave, kokku esines 648 pikslit metsastunud põllumaa kraave.



Joonis 11. Kraavidel kasvava puittaimestiku klassifitseerimine metsastunud põllumaaks (2025.aasta foto). Joonisel on kujutatud ortofoto ühest testala piirkonnast. Roheliselt triibutatud ala kujutab metsastunud põllumaad ja sinine joon kujutab kraave vastavalt Baaskaardi andmestikule. Jooniselt on näha, et tegelikult on tegu kinni kasvanud kraaviga.

3.1 Metsastumise põhjused

Metsastumise põhjuseid võib olla mitmeid. Metsastumist võib soodustada näiteks maaharimise vähenemine piirkonnas, ala mullastik, reljeef ning nõlvus.

Juhul, kui põllumaak pidevat põllumajandustegevust ei toimu ning alal maaharimisega ei tegeleta, on see soodne võimalus metsastumiseks ning metsaalade laienemiseks. Paljudes piirkondades on põllumajandusmaa jäänud kasutuseta ning nii võtab mets põllumaa ala üle. Põllumaal, kus pidevalt põllumajandustegevustega tegeletakse, metsastumist reeglina ei esine.

Ka mullad võivad metsastumist mõjutada. Mullastiku uurimisel viis autor läbi mullatüüpide analüüsi ning kirjeldas, mis tüüpi muldasid esineb põllumaal enim ning mis tüüpi mullad on metsastunud aladel kõige enam levinud.

Mullad ja nende omadused mõjutavad oluliselt pinnase viljakust ja seeläbi ka maa sobivust põllumajanduseks. Uuritud testalal esineb suurel määral leetunud muldasid. Kõige enam esineb testalal kahkjaid leetunud muldasid (LP), mille pindala on 2694 hektarit ehk 22,5% kogu testala põllumaa pindalast. Olulisel määral esines ka kahkjate leetunud muldade alamliik LPe ja kahkjais leetunud gleimuld (LPg), mis kokku moodustavad 2662 hektarit ehk

21,8%. Pinnases leidub ka deluviaalmuldi, mis on omaduste poolest hea viljakusega põllumaa mullad. Gleistunud deluviaalmuld (Dg) ja deluviaalmuld (D) moodustavad uuritud piirkonna põllumaast kokku 1462 hektarit ehk 12% kogu uuritud piirkonna alast (Tabel 3).

Tabel 3. Põllumaal enim esinevad mullatüübid, nende pindala ja osakaal (protsentides) kogu uuritud piirkonna alast.

Mullatüüp	Pindala	Pindala %
LP	2694.1	22.5
LPe	1407.5	11.7
LPg	1214.5	10.1
Dg	829.7	6.9
D	633.1	5.3
Lkl	557.1	4.7
E2l	440.8	3.7
M'''	370.8	3.1
Gl	312.1	3
LP;LPe	240.4	2.0

Valitud testalal uuriti ka metsastunud põllumaa mullatüüpe, et tuvastada seosed mullatüübi ning metsastumise vahel. Selgus, et kõige enam esineb metsastunud põllumaad piirkondades, kus esinevad kahkjad leetunud mullad (LP). Need mullad katsid 721 hektarit testala pinnast ehk 18% kogu testalast. Olulisel määral esines ka metsastunud põllumaal kahkjate leetunud muldade alamliiki LPe ja kahkjat leetunud gleimulda (LPg), millest esimene moodustab 11% testalast ning teine 10% testalast. Väiksema osakaaluga mullatüübid, mis metsastunud põllumaal esinesid olid Lkle (leetunud muld) ja sügav madalsoomuld (M''') ja Gl (leetjas gleimuld), nende kogupindala on testalal 365 hektarit ehk 9% (Tabel 4).

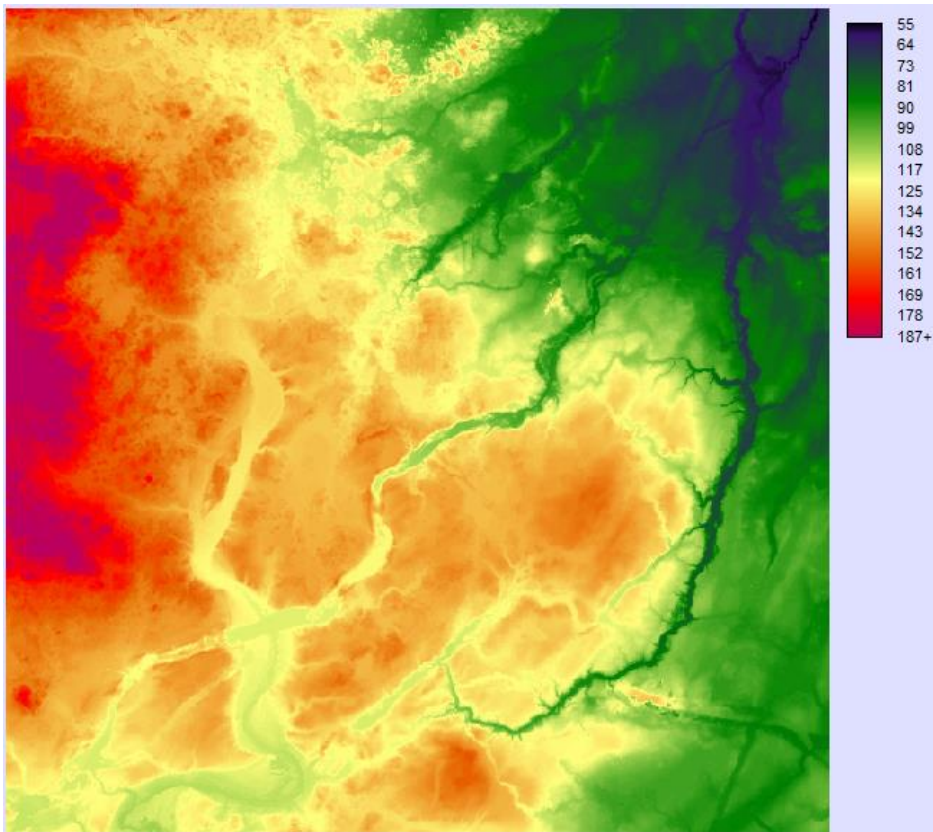
Tabel 4. Metsastunud põllumaal esinevate mullatüüpide jaotus vastavalt pindalale ning protsentmääradele kogu testala pindalast.

Mullatüüp	Pindala	Pindala %
LP	721.2	18.2
LPe	459.9	11.6
LPg	406.8	10.3
Dg	271.9	6.9
Lkl	192.0	4.9
E2l	171.5	4.3
D	171.3	4.3
GI	144.7	3.7
M'''	140.4	3.6
Lkle	80.1	2.0

Muldade omadused võivad mõjutada maa kasutuskõlblikkust põllumajanduses, kuna on erinevaid mullatüüpe, mis sobivad ja mis ei sobi põllumajanduses. Valitud testalas on peamised mullad leetunud mullad, mis moodustavad kogu testalast ligi 40%. Testalas on ka gleimuldi, mis on tavaliselt liigniisked. Peamiselt on tegu happeliste ja madala viljakusega muldadega. Testalal esinevate mullatüüpidega põllumaad vajavad enamasti head majandamist, kui põllumajandustegevust aga ei toimu, on sellised mullad soodsaks pinnaseks metsastumisele. Seega võivad testalal esinevad mullad olla üheks oluliseks põhjuseks, mis soodustab metsastunud põllumaade tekkimist.

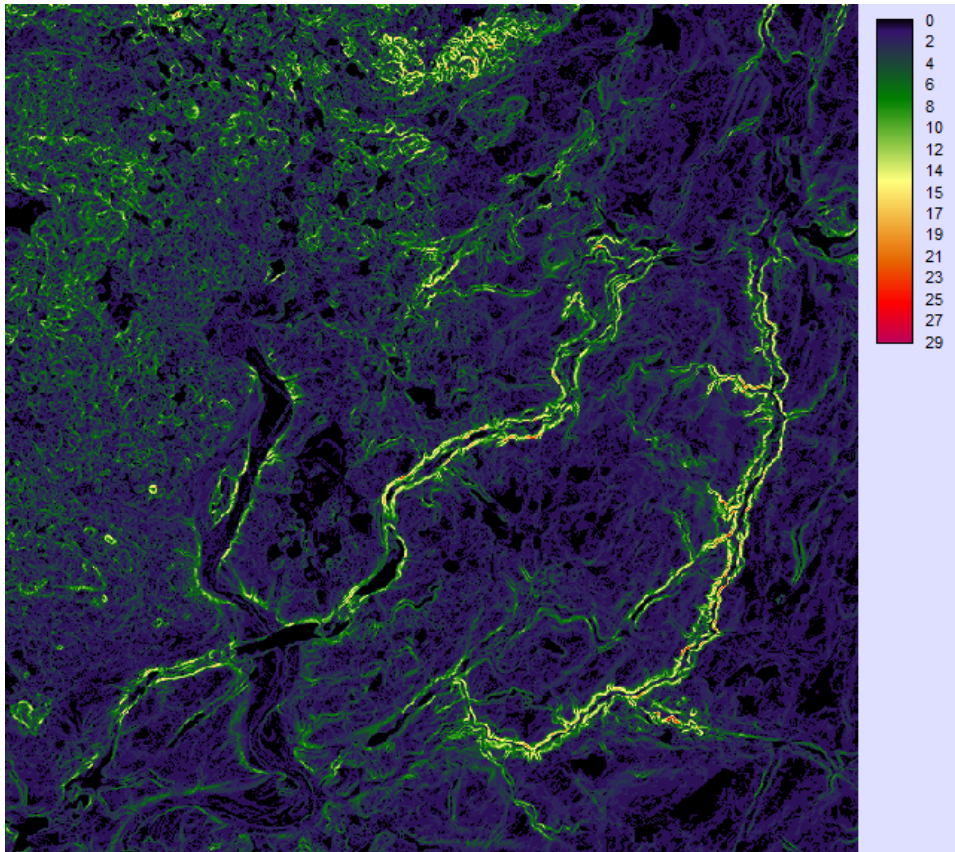
Reljeef võib samuti metsastumisele mõju avaldada, sest pinnamood ning nõlvus võivad samuti testala viljakust mõjutada. Näiteks on kõrgemad alad ja nõlvad sageli vähem viljakad, mis piilab põllumajandustegevust, samas kui puude kasvule see olulist mõju ei avalda. Uurimuses kasutati Maa-ameti geoportaalist pärit 10 m eraldusvõimega DTM-andmeid (digitaalse kõrgusmudeli andmeid), autor laadis kõrgusmudeli alla Maa-ameti andmestikust. Maa-ameti digitaalne kõrgusmudel (DEM), võimaldab hinnata piirkonna kõrgusvahemikke ja maastiku iseloomu. Autor illustreerib testala reljeefi ning nõlvust joonistega, mis kujutavad kõrgusandmeid, et anda parem ülevaade testalast. Testala reljeef on valdavalt lauskjas kuni künklik, kus kõrgused ulatuvad 50-190 meetri kõrguseni merepinnast. Reljeef on tasasem põhja- ja lääneosas, kuigi kaguosas, näiteks Kanepi ja Saverna ümbruses, muutub maastik künklikumaks. Kõrgusmudelil visualiseeriti kõrgusandmete värvilegend. Testala madalamad alad on tähistatud tumesiniste ja lillade toonidega, kõrgemad alad punase ja

kollaka värvitooniga. Testala kõige kõrgem ala ületab 180+ meetri ja kõige madalam ala on 55 meetrit merepinnast. Võib eeldada, et kõige madalam ala on veekogu. (Joonis 12).



Joonis 12. Uuritava ala reljeefi visualiseerimine kõrgusandmete põhjal

Nõlvuse väärtuste vahemik ulatub 0° kuni 29° . Suures osas on nõlvaväärtused 0° kuni 6° , mis on kaardil kujutatud tumelilla ja roheka värviga. Need alad on tasandikud, laugemad alad, kus ei reljeefi muutused on minimaalsed. Kõrgemad nõlvaväärtused vastavalt legendile jäävad vahemikku 12° kuni 29° , sellised kõrgemad nõlvad esinevad kitsastes ja joonjates muustrites. Need alad on kaardil kujutatud punaka ja kollaka värvitooniga, mis viitavad järsematele nõlvadele. Testalal esinevad järsemad nõlvad paiknevad reeglina veekogude ääres. (Joonis 13) Antud nõlvuse andmekiht laaditi alla Maa- ameti geoportaalist (Maa amet, 2025).



Joonis 13. Testala nõlvuskaart Maa-ameti kõrgusandmete põhjal (kraadides).

Allolevates tabelites on kujutatud metsastunud põllumaa (tabel 5) ning põllumaa nõlvust (Tabel 6) vahemikus 0-4 kraadi. Tabelites on esitatud, kui mitu pikslit esineb konkreetsel kraadil kokku ning milline on sageduse protsent.

Tabel 5. Metsastunud põllumaa nõlvade kraadid ja nende sagedus pikslite suhtes

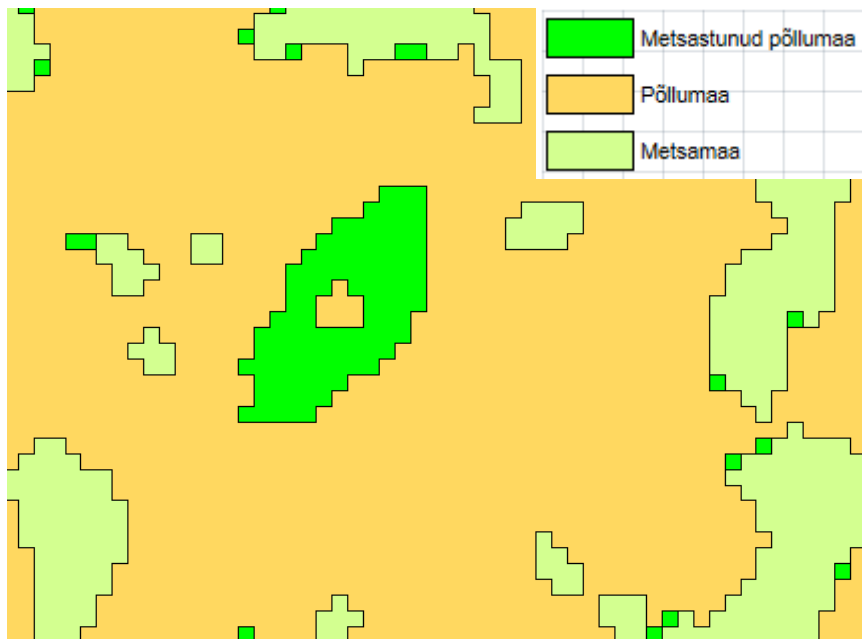
Nõlva kraadid	Pikslid kokku	Sagedus protsent
0	409772	92%
1	10754	98%
2	4537	98%
3	2017	99%
4	1105	99%

Tabel 6. Põllumaa nõlvade kraadid ja sagedus pikslite suhtes

Nõlva kraadid	Pikslid kokku	Sagedus protsent
0	335711	84%
1	50237	95%
2	15547	97%
3	4973	98%
4	2581	99%

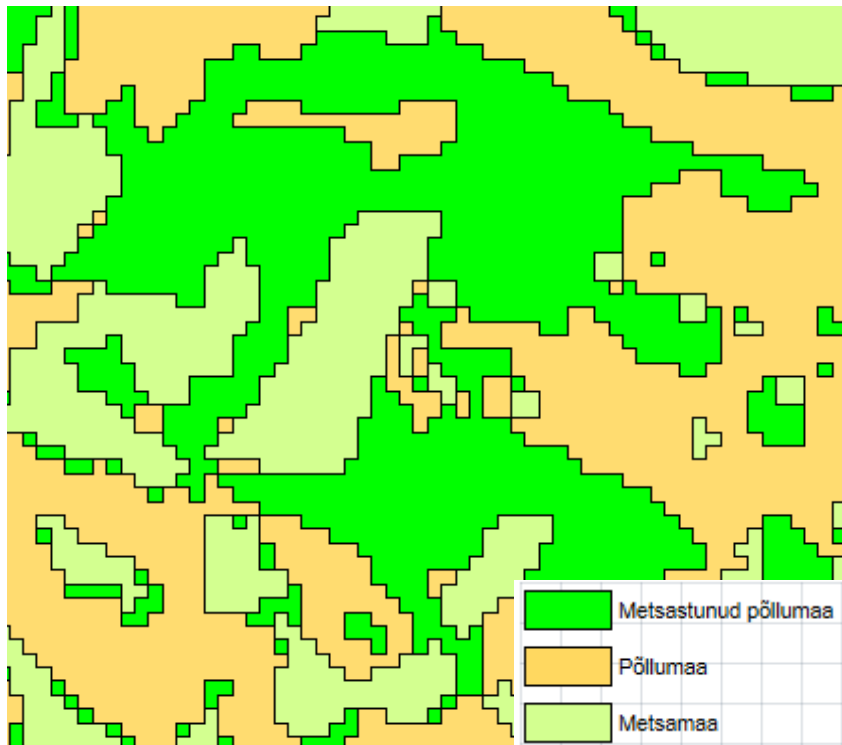
1987. aastal kõige suuremaks metsastunud põllumaa lapiks oli 9 hektarit mida, mis on kujutatud joonisel 14. Uuriti ka 2025 aasta kõige suuremat metsastunud põllumaad, milleks oli 63 hektariline metsalapp, mida on näha joonisel 15. Lisas 3 on kahanevas järjekorras, tabeli kujul, esitatud aasta 2025 ja 1987 kümme suurima pindalaga metsastunud põllumaad hektarites.

Alloleval joonisel (Joonis 14) on kujutatud 1987.aastal suurima pindalaga (9 hektarit) metsastunud põllumaa paiknemine. Metsastunud põllumaad kujutab erkroheline värvitoon, metsamaa on esindatud pastellrohelistes ning põllumaa heleoranžis värvitoonis.



Joonis 14. 1987.aastal suurima pindalaga metsastunud põllumaa paiknemine.

Järgnev joonis (joonis 15) kuvab 2025. aastal suurima pindalaga metsastunud põllumaa paiknemist. 2025.aastaks oli suurim metsastunud põllumaa lapp 63 hektari suurune.



Joonis 15. 2025. aastal suurima pindalaga metsastunud põllumaa paiknemine.

Need kaks joonist kõrvutades on võimalik märgata olulist metsastunud põllumaa kasvu. 2025.aasta joonisel paiknevad metsastunud põllumaa alad laiemalt ning tihedamalt, samas kui 1987.aasta pildil on näha, et suurim metsastunud põllumaa ala eristub oluliselt väiksematest metsastunud aladest.

Klassifikatsiooni tulemuste kontrollimiseks kasutati 23.02.2025 ja 24.02.2025 satelliitpilte, kuna need pildid kajastasid ajaliselt kõige lähedasemaid vaatlusandmeid. Satelliitpildid olid omavahel väga sarnased. Erisused ilmsesid üksnes üleminekualadel, kus autoril tuli klassifitseerimise käigus teha otsus, kas konkreetse ala puhul on tegemist metsa või mittemetsaga (Joonis 5). Kontrolli raames jõuti järelduseni, et käesoleva uurimuse raames tehtud klassifikatsioonid on usaldusväärsed, sest 23.02.2025 ja 24.02.2025 satelliitpilte võrdluses esinesid väga sarnased tulemused. Sellises ulatuses sarnasust ei saaks esineda, juhul kui pilditöötles ja klassifitseerimisel oleks tehtud märkimisväärseid vigu.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti 1987 ja 2025 aasta lumikattega oludes pildistatud satelliidi Landsat pilte mis olid pildistatud veebruaris ja märtsis. Uurimustöös kasutati Landsati punase spektrikanali pilte. Bakalaureusetöös paiknes testala Kagu-Eestis Põlva maakonnas, Kanepi ja Põlva vallas suurusega 400 ruutkilomeetrit. Autor leidis 1987.aasta pildile tuginedes, et metsana klassifitseeritud Baaskaardi põllumaa oli 610 hektarit. 2025. aasta pildil on metsastunud põllumaad uurimuse tulemustele tuginedes 3954 hektarit. Seega selgus, et 1987.aasta ning 2025.aasta satelliitpiltide võrdluse tulemusena ilmnes, et testala metsastumine on aastate jooksul märkimisväärselt suurenenud.

Autor tegeles uurimuse raames kuni kolme piksliliste kujundite uurimisega, mis moodustasid 1987.aasta pildi uurimisel 374 hektarit ning 2025.aasta pildi korral 391 hektarit. Autor liigitab neid vale-positiivsete kujundite hulka, sest need võivad kujutada müra mitte tegelikku metsa. Uurimuse raames uuriti ka metsastunud põllumaadel esinevate autoteede vale-positiivseid tulemusi. Selgus, et suurem osa neist olid puisteed ning need ei anna valitud testalal vale-positiivseid tulemusi. Lisaks teede uurimisele, uuriti ka, kui palju esineb kinni kasvanud kraave või võsastunud kraave, sest kraavide äärde tekkinud võsa on samuti võimalik metsaks klassifitseerida. Kraavid klassifitseeriti metsaks üksnes juhul, kui kraavi äärtes esinesid piisavalt kõrged ning laiad põõsastikud.

Uurimistöö raames uuriti ka testala mullastikku. Selle tulemusena ilmnes, et Baaskaardi põllumaal on põhiliseks mullaks näivleetunud ehk kahkjad mullad (LP), selliste muldade pindala moodustab 22,47% kogu põllumaa pindalast. Võrdväärselt esinesid LPe (leetunud kahkja mulla alamliik) ja leetunud podsoleeritud muld gleistumise tunnustega (LPg), mis moodustavad kumbki 21,87% kogu põllumaa pindalast. Uuriti ka metsastunud põllumaa mullatüüpe, et näha mis mullatüübid valitud testalas kõige rohkem metsastusid. Tulemuseks saadi, et samad mullad on ka kõige rohkem metsastunud. Kõige enam esines metsastunud põllumaal LP, mille pindala oli 18% kogu metsastunud põllumaa testalast. Levinud olid ka LPe ning LPg mullad, mis moodustasid vastavalt 11% ja 10% metsastunud põllumaa alast. Tegemine on mullatüüpidega, mis on omaduste poolest väheviljakad ning seetõttu ebasobilikud põllumajanduseks. Siiski on oluline rõhutada, et sellised leetunud mullad on soodsad

metsamajandamiseks, sest puud on säärase oludega harjunud. Sellest tulenevalt on testalal soodne pinnas ka metsastumiseks.

Lisaks mullatüüpidele mängib olulist rolli ka reljeef põllumaa metsastumises. Sellest tulenevalt uuriti uurimuse raames ka testala reljeefi ja nõlvust. Selgus, et testala reljeef on valdavalt lauskjas kuni künklik - kõrgused ulatuvad 50-190 meetri kõrgusele merepinnast. Tasasem on reljeef põhja- ja lääneosas. Metsastumist võib mõjutada nii nõlvus kui reljeef. Võttes arvesse, et reljeef on laukjas kuni künklik, mis ilmnes analüüsi käigus, võib laugemates kohtades esineda liigniiskust, samas kui künklikumad kohad on kuivemad. Liigniiskus aga soodustab LP muldade esinemist ja häirivad põllumajandustegevust, samas metsastumist see ei häiri vaid pigem soodustab. Ka nõlvus on metsastumise kontekstis oluline, sest näiteks nõlvadel, mis saavad rohkem päikesevalgust, võib olla metsastumise protsess kiirem, samas kui nõlvad ja künklikud alad just takistavad põllumajandustegevust, sest kõrgemad alad on reeglina vähemviljakad.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Elmahal, A. E. E., Mahmoud, W. H., Abdalla, A., & Ibrahim, M. M.** (2025). Quantifying the impacts of land use and land cover change on watershed hydrology using spatial cloud computing. *Journal of Flood Risk Management*, 18(1), e70014.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.70014>
- Geoportaal. (2025). Eesti CORINE maakatte andmekogu.
<https://metadata.geoportaal.ee/geonetwork/srv/api/records/2cde09a2-ea86-4a73-9768-6c7ba78bc0e6> (15.05.2025)
- Global Forest Watch. (2025). Forest monitoring designed for action.
<https://www.globalforestwatch.org/> (15.05.2025)
- Hansen, M.C. & Loveland, T.R.** (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74.
- Howard, J.A.** (1991). Remote sensing of forest resources. Chapman & Hall. London. 420 pp.
- Lang, M., Arumäe, T., Anniste, J.** (2012). Lennukilidari ja spektraalse kaugseireandmestiku kasutamine metsa peamiste takseertunnuste hindamiseks Aegviidu katsealal. - Metsanduslikud uurimused. Nr 56, lk 27-41.
- Liira, J., Püssa, K. & Peterson, U.** (2006). The radiance contrast of forest-to-clearcut edges. *International Journal of Remote Sensing*, 27(13), 2753–2766.
- Maa-amet. (2024). Eesti baaskaart 1:50 000.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Topokaardid-ja-aluskaardid/Kaartograafia-arhiiv/Eesti-Baaskaart-1-50000-p31.html> (13.11.2024).
- Maa-amet. (2024). X-GIS Kaardirakendus. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2> (15.04.2025).
- Maa-amet. (2025). Eesti topograafi andmekogu.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Eesti-topograafia-andmekogu-p79.html> (20.04.2025).
- Maa-amet. (2025). Kõrgusmudelid.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/korgusandmed/korgusmudelid-p508.html> (20.04.2025).
- Maa-amet. (2025). Nõlvakalded.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/korgusandmed/nolvakalded-p176.html> (20.04.2025).
- Maa-amet. (2025). Üldistatud topokaardid 1:25000.
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/ruumiandmed/eesti-topograafia-andmekogu/uldistatud-topokaardid-1-250000-p553.html> (20.04.2025).
- National Aeronautics and Space Administration. (2003). Landsat 5.
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-5> (03.04.2025).
- National Aeronautics and Space Administration. (2013). Landsat 8. <https://landsat.gsfc.nasa.gov> (03.04.2025).
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä, H., Hyypä, J., Maltamo, M., Nilsson, M., Olsson, H., Persson, Å., Söderman, U.** (2004). Laser scanning of forest resources: the Nordic experience. – *Scandi navian Journal of Forest Research*, 19(6), 482–499.
- Peterson, U., Liira, J. & Püssa, K.** (2008). Metsaga alade ning lageraiete ja nendega samaste häiringute kaugseire. – *Kaugseire Eestis artiklikogumik*. Tallinn. Keskkonnaministeeriumi info- ja tehnokeskus, lk 48–68.
- Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Amet (s.a.). Põllumassiivide register.
<https://www.pria.ee/registrid/pollumassiivide-register> (16.03.2025).
- United States Geological Survey (s.a.). Landsat 5. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5> (03.04.2025).

United States Geological Survey (s.a.). Landsat 8: The Next Generation of Landsat.
<https://www.usgs.gov> (03.04.2025).

Wikipedia. 2025. Landsat. <https://et.wikipedia.org/wiki/Landsat> (20.04.2025).

Wulder, M., Masek, J., Cohen, W., Loveland, T. & Woodcock, C. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2–10.

LISAD

Lisa 1. Metsastunud põllumaad, mis viitavad vale-positiivile



Mina, Danyel Meitsar,

Sünniaeg 25.09.2001,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Põllumaa metsastumise hindamine satelliidi Landsat talviselt piltidelt testalal Põlva maakonnas,

mille juhendaja on Urmas Peterson,

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi EMU DSpace lisamiseks ja Creative Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates lõputööd reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni;

2. olen teadlik, et lihtlitsentsiga antavad õigused jäävad alles ka mulle;

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

Lõputöö autor (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Juhendaja(d) (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digitaalallkirjas)