

PROGRAMMI „VALDKONDLIKU TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE TUGEVDAMINE“  
(RITA) TEGEVUSE 1 TEENUSE OSUTAMISE LEPING nr 7.8-3/18/17



KAUGSEIRE ANDMETE KASUTUSELEVÖTT  
AVALIKE TEENUSTE VÄLJATÖÖTAMISEL JA ARENDAMISEL

LÕPPARUANNE

DOI: [10.23673/re-255](https://doi.org/10.23673/re-255)

Dokumendi koostasid Anu Noorma, Liisi Jakobson, Mait Lang, Tiit Kutser, Tõnu Oja, Rivo Uiboupin, Kaupo Voormansik, Raido Puust, Piia Post, Kalev Sepp, Aive Liibusk

Uuringut rahastas Eesti Teadusagentuur Euroopa Regionaalarengu Fondist toetatava programmi „Valdkondliku teadus- ja arendustegevuse tugevdamine“ (RITA) tegevuse 1 „Strateegilise TA tegevuse toetamine“ kaudu.



Euroopa Liit  
Euroopa  
Regionaalarengu Fond



Eesti  
tuleviku heaks



SISEMINISTEERIUM



KESKKONNAMINISTEERIUM



MAAELUMINISTEERIUM



MAJANDUS- JA  
KOMMUNIKATSIOONI-  
MINISTEERIUM

Tartu 2020

## Sisukord

Terminid ja lühendid .....	1
Laiendatud kokkuvõte.....	2
1. Sissejuhatus.....	9
2. Tulemused.....	11
2.1. Metsa- ja maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine .....	11
2.1.1. Tuleohu kaardistamine.....	12
2.1.2. Põlengu leviku modelleerimine.....	13
2.1.3. Põlengu tagajärjel tekkinud kahjude hindamine.....	14
2.2. Üleujutuste ja veetaseme seire .....	15
2.2.1. Üleujutuste tuvastamine satelliidipiltidelt.....	15
2.2.2. Satelliitaltimeetria põhinev veetaseme seire avamerel ja suurjärvedel .....	16
2.2.3. Märgalade niiskusežiimi seire.....	19
2.3. Põllumajandusmaade kasutuse seire.....	19
2.4. Ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve .....	22
2.5. Sademete täppiskaardistamine .....	24
3. Kaugseire jätkusuutlik rakendamine Eestis.....	27
3.1. Kaugseire seos riigi poliitikasuundadega .....	28
3.2. Kaugseire tehnoloogilise arengu suunad.....	29
3.3. Copernicus programmi andmed ja ESTHub .....	29
3.4. Kaugseire teaduspõhiste rakenduste juurutamine.....	30
3.5. Kaugseire edasised prioriteetsed suunad Eestis.....	31
4. Avalikustamine ja teavitus .....	35
4.1. Teavitusüritused .....	35
4.2. Videoklipid .....	36
4.3. Teadusartiklid.....	37
4.4. Teadusandmed.....	38
5. Soovitused.....	38
5.1. „KAUGSEIRE“ uuringul tuginevad soovitused .....	38
5.2. Soovitused ESTHubi kui teenuse kasutamiseks ja edasiarendamiseks.....	40
5.3. Soovitused kaugseire jätkusuutlikkuse tagamiseks Eestis.....	41
6. Viidatud allikmaterjalid .....	42
7. Lisade nimekiri .....	44

## Terminid ja lühendid

BIM	Ehitusinfo modelleerimine (ingl <i>building information modelling</i> )
Copernicus	Euroopa Liidu Maa seire programm
EK	Euroopa Komisjon
EL	Euroopa Liit
EMU GX	Eesti Maaülikooli geomaatika õppetool
EMU PKI	Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut
ESA	Euroopa Kosmoseagentuur
ESA BIC Estonia	ESA Eesti äriinkubaator
ESTHub	Eesti riiklik satelliidandmete keskus
ETAg	Eesti Teadusagentuur
EUMETSAT	Euroopa Meteoroloogiasatelliitide Kasutamise Organisatsioon
EVR	Euroopa veepoliitika raamdirektiiv
FWI	Kanada maastikupõlengute tuleohu indeks
FBP	Kanada maastikupõlengute leviku mudel
IKT	Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia
KaitseM	Kaitseministeerium
KAUR	Keskkonnaagentuur
KAUGSEIRE	RITA1 projekt „Kaugseire andmete kasutuselevõtt avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel“
KeM	Keskkonnaministeerium
MeM	Maaeluministeerium
MKM	Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium
PRIA	Põllumajanduse Registre ja Informatsiooni Amet
RahaM	Rahandusministeerium
RITA1	Valdkondliku teadus- ja arendustegevuse tugevdamine, Eesti riigi ja Euroopa Regionaalarengu Fondi kaasrahastatav teadusprogramm, mida viib ellu ETAg
RMK	Riigimetsa majandamise keskus
SiseM	Siseministeerium
SotsM	Sotsiaalministeerium
SKE	Satelliitkaugseire ettevõtted
TA	Teadus- ja arendus-
TAIE	Eesti teaduse, arendustegevuse, innovatsiooni ja ettevõtluse arengukava
TalTech	Tallinna Tehnikaülikool
TRL	Tehnoloogia valmiduse tase (ingl <i>technology readiness level</i> )
TÜ EMI	Tartu Ülikooli Eesti mereinstituut
TÜ FI	Tartu Ülikooli füüsika instituut
TÜ OMI	Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut
TÜ TO	Tartu Ülikooli Tartu observatoorium
TTÜ EH	Tallinna Tehnikaülikooli ehituse ja arhitektuuri instituut
TTÜ MSI	Tallinna Tehnikaülikooli meresüsteemide instituut
TÜ	Tartu Ülikool

## Laiendatud kokkuvõte

### Taust ja eesmärk

„KAUGSEIRE“ (RITA1 leping nr 7.8-3/18/17) on Eesti Teadusagentuuri algatatud valdkondliku teadus- ja arendustegevuse (TA) toetamise programmi RITA1 projekt, mille eesmärk on kaugseire andmete laiem kasutuselevõtt, et avalikke teenuseid paremaks muuta. Projekt viidi ellu ajavahemikus 1. jaanuar 2019 kuni 31. detsember 2020. Projekt „Kaugseire andmete kasutuselevõtt avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel“ kutsuti ellu Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi, Keskkonnaministeeriumi, Maaeluministeeriumi ning Siseministeeriumi ühisel ettepanekul.

Tõuke kaugseire rakendusuringuks andis Euroopa Liidu (EL) keskkonnaandmeid koguv ja töötlev Copernicus programm, mille vabalt kättesaadavate andmete põhikasutajana nähakse just avalikku sektorit. Koostöös Euroopa Kosmoseagentuuriga (ESA) on rohkem kui kümne aastaga käivitatud mitmekülgne terviklik struktuur, mis hõlmab kosmoses paiknevat taristut (satelliite), nende toimimiseks vajalikku maapealset tugistruktuuri, maapealse seire andmed ja keerukaid arvutusmudeleid. Oluline komponent on ka laialdane teavitustegevus, et anda kõrgtehnoloogilistele ettevõtetele rohkem võimalusi selle innovaatilise suunaga liituda ja seeläbi avalikule sektorile tema tööd hõlbustavaid efektiivseid teenuseid pakkuda. Vältimatu lüli selles ahelas on teadus- ja arendustöö nii akadeemilistes institutsioonides kui järjest rohkem ka kosmose tööstuse ettevõtetes. Ka ELi uue kosmosestrateegia üks põhisuundi on toetada kaugseire andmete laiemat kasutuselevõttu.

Kuigi Eesti liitus ESAgas alles 2015. aastal ja on seega veel üsna noor kosmoseriik, on TA-asutuste kompetents kaugseire vallas juba pikka aega rahvusvaheliselt tunnustatud olnud. Eesti kosmosenõukogu heakskiidul on kaugseire seatud üheks kosmosevaldkonna arendamise prioriteediks ka Eesti 2020.–2027. aasta kosmosepoliitikas ja -programmis. Et Copernicus andmeid hoida ja vahendada, on Maa-ameti juurde loodud riiklik satelliidiandmete keskus ESTHub. Ettevõtetelt on tellitud ka esmased kaugseire andmetel põhinevad teenused metsanduse, jääseire ja põllumajanduse valdkonnas.

Paraku pole paljudes Eesti avaliku halduse valdkondades kaugseire andmete kasutusvõimalusi eriti teadvustatud ega hinnatud lahendusi, mis suudaksid nende andmete abil asutuste tööd tõhusamaks muuta. Seetõttu on puudunud ka pikaajaline süsteemne tegevus eesmärgiga valdkonda edendada. Selle lünka täitmiseks algatati „KAUGSEIRE“ rakendusuring. Rakendusuringu ettepaneku esitasid Keskkonnaministeerium (KeM), Maaeluministeerium (MeM), Siseministeerium (SiseM) ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (MKM). Uuringut rahastab Euroopa Regionaalarengu Fond Eesti Teadusagentuuri (ETAg) taotlusvooru kaudu. Rakendusuringu viib ellu Tartu Ülikooli Tartu observatooriumi (TÜ TO) juhitud konsortsium (juht Anu Noorma) ning sinna kuuluvad üheksa töörühma, kes on seotud kaugseire eri aspektidega ja oma alal Eestis kõige tuntumad. Töörühmad on Tartu Ülikoolist (TÜst; rühmade juhid Mait Lang, Tõnu Oja, Piia Post ja Tiit Kutser), Tallinna Tehnikaülikoolist (TalTechist; Rivo Uiboupin, Raido Puust), Eesti Maaülikoolist (Aive Liibus, Kalev Sepp) ja OÜ KappaZetast (Kaupo Voormansik).

Kuna uuring on väga mahukas, kattes nelja eri valdkonda, siis on lõpparuanne esitatud ühe ülevaatliku dokumendina, mis on avalikult kättesaadav, ning tehniliste lisadena, mis on kättesaadavad tellijatele ja piiratud tingimustel ka teistele.

Laiendatud kokkuvõtte eesmärk on aidata lugejal talle vajaliku osani jõuda. Lõpparuanne koosneb seitsmest peatükist.

Peatükis 1 antakse ülevaade „KAUGSEIRE“ projekti taustast ning programmi üldistest ja valdkondlikest eesmärkidest.

Peatükis 2 esitatakse uurimisküsimuste tulemused valdkondlike alateemade kaupa.

Peatükis 3 tutvustatakse uuringu raames valminud kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava.

Peatükk 4 koondab projekti avalikustamise ja teavitustegevuse infot, sh loodud teaduslikke andmekogusid.

Peatükk 5 sisaldab olulisemaid soovitusi, mis lähtuvad valdkondlikest uurimisküsimustest ning rakendatavuse ja jätkusuutlikkuse uuringutest.

Peatükk 6 näitab kasutatud kirjandust.

Peatükis 7 on esitatud lisade nimekiri koos nendeni jõudmise viidetega.

#### RITA1 programmi üldiste eesmärkide täitmine

Mitmes riiklikus strateegias ja valdkonna arengukavas on toodud vajadus kosmoseandmed ja vastav tehnoloogia laiemalt kasutusele võtta. Nende abil on oma arengukavades plaaninud tööd parandada Eesti Keskkonnaagentuur (KAUR), Päästeamet ning Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Amet (PRIA). Päästeameti strateegias aastani 2025 nähakse ette maastikutulekahjude kolmekordset vähendamist. Siinne uuring annab vajaliku tõuke selleks, et Päästeamet saaks tehnoloogilisi võimalusi ära kasutada nii maastikutulekahjude ennetamiseks, võimalikult varajaseks tuvastamiseks kui ka likvideerimiseks. „KAUGSEIRE“ rakendusuring aitab täita ka Riigikogu kinnitatud arengukava, mille kohaselt peab eriti just kliimamuutuste kohanemise kontekstis jälgima meteoroloogilisi ja hüdrooloogilisi indikaatoreid, erinevaid ilmastikuolusid ning hoiatusüsteeme. ELI direktiivi kohaselt vajavad rannikualade ja jõgede võimalikud üleujutuse riskid hindamist iga kuue aasta tagant. Uuring aitab ellu viia ka PRIA eesmärki leida ilma kohal käimata võimalus tuvastada põldude niitmine ja eri põllukultuurid. See info on vajalik, et maksta põllumeestele toetusi. Uuringu tulemused aitavad saada täpsemat infot ka ehitiste ja nende valmimise astme kohta, mis on vajalik ehitisregistrisse kandmiseks ning selleks, et hinnata nende vastavust seadustele.

RITA1 üldisi eesmärke avaliku sektori, TA-tegevuste ja ettevõtluse sünergia loomiseks aitab ühtlasi toetada asjaolu, et „KAUGSEIRE“ konsortiumisse on kaasatud partnerina idufirma. Ülikoolide ja ettevõtete vaheline koostöö on üldiselt vaevaline tekkima, aga teaduspõhise majandusmudeli arendamiseks hädavajalik. Rakendusuringu väga suur tugevus on tihedad suhted lõppkasutajatega (PRIA, Päästeamet, KAUR, ettevõtjad ja põllumehed). Määrava tähtsusega on olnud lõppkasutajate pidev tagasiside kogu uuringu vältel. Eesmärk oli välja töötada kasutusjuhised ja prototüübid, mis vastaksid võimalikult täpselt lõppkasutaja võimetele ning vajadustele.

Kokkuvõttes suurendas projekt märkimisväärselt koostööd ülikoolide, riigiasutuste ja eraettevõtete vahel. Loodud suhtevõrgustikel ning asjaolul, et teadvustati kaugseire andmete ja tehnoloogiate pakutavaid uudseid kasutusvõimalusi, on positiivne sotsiaalmajanduslik ja ühiskondlik mõju. Projekti tulemused annavad tuge nii riikliku poliitika kujundajatele kui ka spetsialistidele, kes peavad langetama hädalukorras kiireid otsuseid, päästes sellega potentsiaalselt inimesid ja minimeerides majanduslikku kahju. Arendatud meetodid võimaldavad potentsiaalseid riske hinnata, aidates seeläbi paremini pikaajalisi strateegilisi plaane teha, ning võimaldavad detailsemalt välja töötada ka tagajärgedega kohanemise strateegiaid.

Kui kaugseire andmed ja keerukamad tehnoloogiad laialdasemalt kasutusele võtta, kasvab vajadus ka koolitatud ekspertide, spetsialistide ning poliitikute järele. Kuna kõik „KAUGSEIRE“ rakendusuringus osalevad teadlased tegutsevad ka õppejõududena, siis kaasati mitmes tegevuses ka üliõpilasi ja kasutati kaugseire andmeid õppetöös. Eri valdkondade töös osales kokku umbes 15 doktoranti ja arvukalt magistri- ning bakalaureusetudengeid, kes olid kaasatud praktilistes tööülesannetes ja mitmesugustel koolitus- ning teavitusüritustel.

RITA1 programmi üks lisaeesmärke on aidata riigil kujuneda rakendusuringute targaks tellijaks ja uuringutulemuste kasutajaks. Uuringu tulemusena koostati kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava,

et vastutavatel ministeeriumidel oleks oma haldusala piires võimalik pikaajalisemalt teadusmahukaid tegevusi ellu kutsuda ja asjakohaseid moodsaid kosmosetehnoloogiad kasutusele võtta.

Kaugseire rakendusuuringu sisuline eesmärk oli analüüsida kaugseire andmete kasutamise võimalusi huvigruppide valitud valdkondades ning töötada välja uued, avaliku sektori asutuste tööd tõhustavad rakendused ja andmehalduse prototüübid, mida seejärel proovialadel ka katsetada.

### „KAUGSEIRE“ projekti valdkondlike eesmärkide täitmine ja tulemused

Uuringu lähteülesandes võeti objektideks funktsioonid, mida avaliku sektori asutused huvigruppidega kokku lepitud kesketes valdkondades täidavad:

- 1) maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine Päästeameti ja SiseMi vastutusalas;
- 2) üleujutuste ja veetaseme seire Päästeameti, Riigi Ilmateenistuse, KAURI ja KeMi vastutusalas;
- 3) põllumajandusmaade kasutuse seire PRIA ja MKMi vastutusalas;
- 4) ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve Tallinna Linnaplaneerimise Ameti ning MKMi ja selle allasutuste vastutusalas.

Projekti põhitulemused olid seotud andmete töötlemise ja meetoodika arendamisega. Need moodustasid kaheksa prototüübi sisu, lisandus ka täppissademete arvutamise algoritm. Prototüüpide esitati algoritmide kirjeldused koos konkreetse valdkonna meetoodika, andmetöötlusvajaduste analüüsi ja tegevusjuhustega. Prototüüpide lühikirjeldused valdkondade kaupa on esitatud allpool. Prototüüpide detailsed tehnilised kirjeldused, algoritmid, meetoodika, andmed, katsed ja hinnangud on toodud lõpparuande lisadena, mille loetelu koos asjakohaste viidete ja kättesaadavuse kokkulepetega on peatükis 7.

### Prototüüp 1: tuleohu hindamine ja prognoos

Et avastada potentsiaalseid maastikutulekahjude olukordi, neid ennetada ja elanikkonna valvsust tõsta, on vaja koostada võimalikult täpne tuleohukaart ja seda iga päev uuendada. Maailmas on kasutusel erinevaid tuleohu arvutamise meetoodikaid, kusjuures enamik neist põhineb peaaesjalikult meteoroloogilistel andmetel. Eestis on Riigi Ilmateenistus seniajani kasutanud ainult *in situ* jaamade meteoroloogilisi andmeid. „KAUGSEIRE“ projektis kasutati lisaks nendele meteoroloogilise prognoosimudeli järelanalüüsi andmeid (õhutemperatuur, õhuniiskus, tuul) ja radariandmeid, et sademeid mudelisse täpsemalt sisestada. Nii oli võimalik saada tuleohu kohta senisest detailsem ruumiline jaotus (ruutkilomeetri põhiselt). Sellele tuginedes saab teha paremat ennetustööd, avastada maastikutulekahjud võimalikult varajases staadiumis ning nende likvideerimiseks paremini ette valmistada.

Prototüübis (ptk 2.1, lisa 1) esitatakse algoritmide ja protseduuride kirjeldused andmete ettevalmistamiseks ning tuleohu indeksi arvutamiseks Nesterovi ja Kanada mudeli järgi. Tuleohu indeksi muutumist analüüsiti ja katsetati nii erineva ilmastikuga perioodidel kui ka erinevate mudelitega. Põhjalikult kirjeldati sisendandmete olemust ja olemasolu, andmete töötlemise protseduure ning tuleohu indeksi arvutamist. Tuleohu indeks soovitatakse arvutada Kanada mudeli indeksi FWI (ingl *fire weather index*) alusel. Võrreldes seni kasutatud indeksiga annab FWI detailsema pildi ja on tundlikum niiskuse varude tekkimise suhtes. Tuleohu indeksi arvutamine on põlengueelne, ennetav tegevus.

### Prototüüp 2: põlengu leviku algoritm

Maastikupõlengu kiire esialgne analüüs ja ohu modelleerimine võimaldavad põlengu algusfaasis efektiivselt tegutseda ning tule edasist levikut piirata. Projekti raames töötati välja algoritmide ja protseduuride kirjeldused, et andmed ette valmistada ja põlengut analüüsida. Algoritmid ja protseduurid toetuvad väljatöötatud tuleohukaardi prototüübile ning soovituslikele meetoditele põlengute avastamiseks, esialgseks analüüsiks ja ohu modelleerimiseks.

Tulemuse katsetamiseks analüüsiti põlengu levikut proovialadel Haanjas ja Alutagusel. Uuringus osalenud teadlased soovivad kasutada Kanada maastikupõlengute mudelite komplekti FBP (ingl *forest fire behaviour prediction system*) kuuluvat indeksit. Oma paindlikkuse tõttu võimaldab see arvestada sesoonsete muutustega ning arvutuste jaoks on olemas R-i keskkonnas toimiv vabavaraline kood (kasutusjuhud ptk 2.1, lisa 1). Osa FBP indeksi arvutamiseks vajalikke vaheparameetreid leitakse tuleohu indeksi arvutamise käigus ning neid sobib hästi koos kasutada. Osaliselt on põlengu leviku modelleerimine ennetav, põlengueelne tegevus, mis võimaldab olla paremini valmis võimalikule põlengule reageerima. Teisalt on modelleerimine põlenguga paralleelne: tule võimalikku levikut prognoositakse reaalses põlengukohas ja päris tingimustes. Tule leviku modelleerimist saab rakendada Päästeametis.

### Prototüüp 3: ökosüsteemidele tekitatud kahju ning ärahoitud kahju tuvastamine ja hindamine

Peale tuleohu ja leviku hindamise on tulekahjude käsitlemise raamistikus oluline osa ka ökosüsteemide kahjude hindamisel. Nii seda kui ka ärahoitud kahju on võimalik tuvastada ja mõõta tule leviku mudeli ning kahju hindamise meetodite abil.

Projekti raames töötati välja algoritmide ja protseduuride kirjeldused, et andmeid ette valmistada ning potentsiaalset põlengut analüüsida ja tegelikult põlenud alaga võrrelda (ptk 2.1, lisa 1). Potentsiaalse põlengu ala määramisel lähtutakse tule leviku mudelist (FBP) ja reaalistest looduslikest tingimustest või takistustest. Tegelikult põlenud ala määratakse pärast põlengu kustutamist. Ökosüsteemi teenuste metoodikaga leitakse nii potentsiaalselt põleda võinud väärtused kui ka need väärtused, mis tegelikult põlesid. Viimased annavad hinnangu tekkinud kahju kohta, samas kui vahe potentsiaalselt põleda võinud ja tegelikult põlenud väärtuste vahel võimaldab saada ärahoitud kahju hinnangu.

Kahjude hindamise raamistikku rakendati Vikipalu 2018. aasta põlengu näitel. Potentsiaalse põlenguala ja tegelikult põlenud ala vahe ning põlengumäärade erinevus annavad esmalt võimaluse tuvastada ärahoitud kahjud ja on seejärel ka aluseks kahjude rahalisele hindamisele. Tekkinud ja ärahoitud kahjusid hinnatakse vaid pärast põlengut.

### Prototüüp 4: üleujutuste kaardistamine kaugseire piltidelt

Üleujutusala võimalikult detailne ja kiire tuvastamine ning kaardistamine on riigi operatiivtööd korraldavatele asutustele oluline näiteks selleks, et edastada vajalikke hoiatusi, evakueerida elanikke ja jälgida teedevõrgustiku korrasolu.

Üleujutusala kaardistamiseks sobivaima metoodika leidmiseks hinnati missioonide Sentinel-1 ja Sentinel-2 andmete sobivust erinevates tingimustes. Kirjeldati vajaliku eeltöötluse sammud ning valiti välja sobivaim vegetatsiooniindeks avatud vee iseloomustamiseks. Koostatud üleujutatud alade kaardistamise metoodika põhjal tehti prototüüp andmetöötluseks (ptk 2.2, lisa 2), mis võimaldab Sentinel-1 ja Sentinel-2 andmete põhjal üleujutatud piirkonnad operatiivselt kaardistada. Et prototüüpi operatiivseisundis üleujutuste kaardistamiseks kasutada, tuleb üles seada keskkond klasterarvutil (nt ESTHub) ning luua seeläbi andmete arhiveerimise ning avalikkusele kuvamise ja jagamise keskkonnad.

Tulemuse katsetati üleujutuste kaardistuse metoodikat kasutades kogu 2019. ja osaliselt 2020. aasta Sentinel-1 andmebaasil. Analüüs näitas, et metoodika töötab kõige usaldusväärsemalt sügisperioodil, kui õhutemperatuur on veel plussis, kuid vegetatsiooniperiood on lõppenud. Miinuskraadide korral on väljatöötatud metoodika rakendamine madalama usaldusväärsusega.

### Prototüüp 5: rannikumere ja siseveekogude avaosa veetaseme seire

Projekti käigus arendati välja andmetöötluse prototüüp (ptk 2.2, lisa 2), mis võimaldab täpsustada Läänemere veetaseme operatiivset prognoosi, kasutades satelliitaltimeetria andmeid Copernicus mereteenusest (CMEMS). Kui projekti raames valminud kaugseire andmete töötlemise metoodikat operatiivselt rakendada, saab Riigi Ilmateenistus pakkuda täpsemat Läänemere (sh Eesti rannikumere) veetaseme prognoosi teenust. Et täpsustatud meretaseme prognoosi ja analüüsi teenust operatiivselt rakendada, tuleks integreerida arendatud kaugseire andmete töötlemise meetod ilmateenistuse operatiivse mereprognoosi mudeliga NEMO.

Korrigeeritud modelleeritud veetasemete hindamiseks arvutati korrelatsioonikordajad mudeli korrigeeritud veetasemete ja altimeetria veetasemete vahel. Tulemused näitasid, et korrelatsioonid korrigeeritud mudeli ja altimeetria vahel on oluliselt suuremad kui korrelatsioonid korrigeerimata mudeli ja altimeetria vahel. Andmete visualiseeringust on näha, et altimeetriaandmete kasutamine võimaldab modelleeritud veetasemete prognoosi täpsust märkimisväärselt parandada.

#### Prototüüp 6: märgalade niiskusrežiim

Valminud kaugseire andmete töötlemise prototüüpi (ptk 2.2, lisa 2) on võimalik rakendada operatiivrežiimis ka selleks, et jälgida kaevandustegevuse ulatust ja intensiivsust turbamaardlates. Väljatöötatud prototüüp võimaldab radarkaugseiret kasutada konkreetset maardlate seires ja maavara ressursitasude kontrollimisel. Projekti raames töötati välja turbamaardlates tehtavate kaevandustööde hindamise metoodika. See annab olulist infot, et koguda maavarade ressursimaksu (nt Maksuameti ametnikule). Metoodika arendamiseks katsetati muutuste tuvastamise võimalusi pildipaarivahelise koherentsuse ehk sarnasuse alusel. Rakendati algoritmi, mis põhineb ESA tarkvara SNAP protsessoritel. Algoritm hindab satelliidi kahe ülelennu ajal salvestatud piltide vahelist koherentsust. Tuvastatud muutusi analüüsiti koos turbamaardlatest saadud paikvaatlusandmetega.

Analüüs tõi esile, et mediaankeskmine koherentsus alla 0,2 on märk toimuvatest kaevandustöödest, samas kui avatud või mahajäetud raba aladel on nimetatud väärtus u 0,6. Alalüüsis leitud seos võimaldab kasutada koherentsuse hinnangut selleks, et turbamaardlates kaevanduse intensiivsust jälgida. Algoritmi väljundi visualiseering on välja töötatud QGISi keskkonna pilveteenuses.

#### Prototüüp 7: põllukultuuride tuvastamine satelliidiinfo abil

Projekti raames valmis põllukultuuride tuvastusmudeli metoodika koos täpsushinnangutega. See on vajalik, et PRIA saaks Euroopa Komisjoni (EK) monitooringu reformi kohaselt üle minna satelliitseirel põhinevatele kontrollidele. Kontrollide metoodika keskmes on täpne info igal põllul kasva kultuuri kohta ja selle info vastavus põllumajandustoetuse taotluses esitatuga. See on oluline näiteks viljavahelduse nõude täitmise kontrolliks. Väljaspool PRIA haldusala on põllukultuuride määramine satelliitseire abil oluline tehnoloogiline komponent selleks, et pakkuda põllumajandusettevõtetele täppispõllunduse rakendusi. Projekti käigus loodud metoodika, valminud dokumentatsioon ning teadus- ja arendustöö tulemused on kasulik sisend ka ülikoolidele ja teistele uurimisasutustele, pakkudes võimalusi edasiseks teadustööks põllukultuuride satelliitseire põhisel määramisel ja seotud uurimisteemadel.

Projekti vältel tehti tihedat koostööd PRIAga, kes varustas projektimeeskonda vajalike lähteandmetega (põldude ruumikujud, taotlustel märgitud kultuurid ja kontrollide tulemused) ning andis saadud tulemustele pidevat tagasisidet. Koostöös PRIAga töötati ka välja metoodikas kasutatud Eesti kultuurigruppide klassifikatsioon, kus kitsamas jaotuses on 28 ning laiemas 16 põllukultuurigruppi. Prototüüp (ptk 2.3, lisa 3) sisaldab täisfunktsionaalset tarkvara, et käivitada põllukultuuride tuvastusmudel Eesti põldude aegriandmetel.

#### Prototüüp 8: kaugseire rakendused ehitussektoris



Projekti raames loodi prototüübid (ptk 2.4, Lisa 4) aerolaserskaneerimise ning drooniseire baasil. Need on kasutatavad ehitustegevuse kaardistamiseks ja ehitusprotsessi jälgimiseks. Näidisprotseduurid on esitatud nii hoonete kui teedehituse kohta.

Aerolaserskaneerimise baasil loodud prototüüp lähtub Maa-ameti kõrgusandmetest, mille rakendusfookus on ehitusprojekti erinevatel staadiumidel. Drooniseire baasil loodud prototüübid lähtuvad projekti raames kogutud andmetest.

Prototüüpide aluseks on ehitusinfo mudelite ja nende haldamisega seotud töövoogude vajadused. Ehitusinfo modelleerimine (ingl *building information modelling*, BIM) on üks levinumaid viise, kuidas ehitussektor efektiivsemalt tööle panna, suur roll selles on uudsel tehnoloogial. Prototüüpide väljatöötamise andmeanalüüside etappe saab kasutada ka ehitiste 3D-kaksiku arendusel väljundite täpsustamiseks.

### Täppissademete arvutamise algoritm

Alateemade üleselt oli vaja välja töötada Eesti oludesse sobiv täppissademete kaardistamise meetodika (ptk 2.5, lisa 5). Peamised andmeallikad olid KAURi sademejaamade ja Sürgavere radari andmed aastate 2013–2019 (v.a 2017) kohta. Analüüsi metoodikat, andmete ja tulemi täpsust ning edasise arenduse võimalusi.

Hea ajalis-ruumilise lahtusega sademevälju oli siinse projekti käigus tarvis selleks, et täpsustada satelliitkaugseire signaali nii põllumajandussüsteemide arendamisel kui ka võimalike üleujutuste prognoosis. Eelkõige olid täpsed sademeväljad vajalikud aga tuleohukaartide koostamisel. Eesti laiuskraadil pole satelliite, mille instrumentidelt saaks täppissademevälju sagedamini kui kord paari päeva jooksul, mis pole aga eelmainitud rakendusteks piisav. Seepärast lähtuti parimast kättesaadavast maapealse kaugseire tehnoloogiast ning lõimiti ilmaradari ja maapealsete sademejaamade vaatlused.

### Kaugseire jätkusuutlik rakendamine Eestis

Kaugseire valdkond on arenenud tormiliselt. Selle üks põhjus on kosmosetehnoloogia kiire edendamine (sh suure ruumilise ja spektraalse lahtusega instrumendid) ja eraettevõtlike sisenemine valdkonda. Teiseks on arengut soodustanud asjaolu, et suured andmehulgad on tehtud näiteks Copernicus programmi raames tasuta kättesaadavaks. Nii on avanenud palju uusi võimalusi ka innovaatiliste rakenduste loomiseks. Lisaks konkreetsetele prototüüpidele töötati uuringu käigus välja ka kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava (ptk 3, lisa 6). Kava koostamise eesmärk oli pakkuda võimalusi kaugseire andmete kasutamiseks ja uute rakenduste väljatöötamiseks ning aidata tõsta avaliku sektori asutuste funktsionaalsust ja võimekust nende ees seisvaid ülesandeid efektiivsemalt lahendada. Enamgi veel, toetudes nii „KAUGSEIRE“ tulemustele, pikaajalisele TA-kogemusele kosmose valdkonnas kui ka rahvusvahelisele koostööle ESA, EL Copernicus programmi, Euroopa Meteoroloogiasatelliitide Kasutamise Organisatsiooni (EUMETSAT) jms raames, võeti sihiks teha ettepanekuid kaugseire süsteemseks rakendamiseks Eestis. Ideekorje tulemusena kogunes üle 40 teema, millega oleks võimalik edasi liikuda (loetelu ptk 3; lisa 6 lisad 1–43).

„KAUGSEIRE“ raames tehti AS CGI Eesti alltöövõtuga uuring ESTHubi kasutusest ja praegusest tehnilisest võimekusest (ptk 3, lisa 7), seda eesmärgiga leida arendatavate prototüüpidega kokkupuutepunkte ning neile uusi kasutusvõimalusi. „KAUGSEIRE“ tulemuste efektiivsemaks rakendamiseks on vaja ESTHubiga tihedat koostööd teha. Kaugseire andmeid kasutavad rakendused vajavad enamasti väga suuri andmehulki ning arvutusvõimsusi. ESTHubi peamine ülesanne on pakkuda ühtset riiklikku platvormi nii satelliidiandmete otsimiseks, allalaadimiseks kui ka töötlemiseks. Võrreldes Copernicus Open Acces Hubiga saab ESTHubist andmeid alla laadida umbes kümme korda kiiremini. Avalikule sektorile on ESTHubi teenused tasuta ning erasektoril on võimalik kasutada kuni 20% ESTHubi klatri maksimaalsest võimekusest. Seega on ESTHub keskkond, kus

ettevõtted saavad oma ideid valideerida ja neid seejärel äris rakendada. Lisaks antakse soovitusel (ptk 5) ESTHubi tuleviku arenguvõimalusteks ja -vajadusteks.

Et kaugseire andmed avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel kasutusele võtta, tehti OÜ Tech & Space kaasabil teostatavusuuring (ptk 3, lisa 8), kaasates seejuures teiste riikide kogemusi. Uuringust lähtuvad järeldused ja soovitusel on lisatud koondina lõpparuande sellekohasesse peatükki 5. Soovitusel peatükis on eraldi toodud soovitusel „KAUGSEIRE“ tulemuste rakendamiseks ning ESTHubi kasutamiseks. Samuti on esitatud soovitusel kaugseire pikaajaliseks arendamiseks Eestis ministeeriumidele vastutusvaldkondade kaupa, lähtudes nende prioriteetsetest arengusuundadest ning Eesti tipp tehnoloogia ja TA-tegevuse kompetentsist.

#### Tulemuste levitamine ja avalikkuse teavitamine

Uurimistulemuste efektiivse levitamise ja rakendamise üks tagatis on asjaolu, et uuringu käigus toimus pidev koostöö lõppkasutajatega (PRIA, Päästeamet, Riigi Ilmateenistus, KAUR), kes osalesid aruteludel, väljendasid oma soove ja vajadusi ning tegid valmivatesse prototüüpidesse parandusettepanekuid. Kõikides teemavaldkondades (maastikutulekahjud, põllumajandus, ehitus ja üleujutuste seire) toimusid kasutajaseminarid, kus olid kohal nii lõppkasutajad riigiasutustest, ministeeriumide esindajad, eraettevõtjad kui ka üliõpilased. Kokku korraldati 11 spetsiaalset üritust, sh seminar „Kaugseire meie kõigi teenistuses“, kus projekti valdkondade juhid andsid ministeeriumide ja allasutuste esindajatele ülevaate valmivate prototüüpide arengust. Sündmustel toimus ühtlasi arutelu kaugseire arenguks vajalike prioriteetsete tegevuste üle. Traditsiooniline Eesti kaugseirepäev oli 2020. aastal tervikuna pühendatud kaugseire rakendustele ning „KAUGSEIRE“ tulemusi esitati valdkonna ekspertidele, ettevõtetele, ametiasutustele ja tudengitele. Teadustulemused avaldatakse 12 artiklis rahvusvaheliselt kõrgelt hinnatud teadusajakirjades. Projekti käigus loodud suurema rakendusväärtusega andmekogud on registreeritud TÜ repositooriumis (loetelu ptk 4, tabel 3).

Avalikkusele tutvustati kaugseire andmete kasutusvõimalusi eri valdkondades mitme meediakanali kaudu. Ajakirjas Horisont on ilmumas temaatiline artiklite seeria. „KAUGSEIRE“ teemasid käsitleti Postimehes, Eesti Päevalehes ja Õhtulehes. Projektist räägiti ka mitmes raadiosaates (nt Radio Elmaris „Maa (e)est!“ ja Vikerraadio „Uudis+“). Eesti populaarseimas uudistesaares „Aktuaalne kaamera“ kajastati projekti tulemeid tutvustavat Eesti kaugseirepäeva 2020 aga ka projekti raames korraldatud rahvusvahelist sügiskooli, kus üliõpilased Eestist ja väljastpoolt omandasid tippspetsialistide juhendamisel teadmisi Läänemere piirkonna kaugseire rakenduste kohta. Sügiskoolist ilmusid artiklid Võrumaa Teatajas ja TÜ TO kodulehel. „KAUGSEIRE“ tegevusi kajastati ka Eesti Geoinformaatika Seltsi suveülikooli raames ning geograafia 100. juubelikonverentsil.

TalTechi meeskond rakendas ülevaadet kaugseire kasutamisest ehitusvaldkonnas ka selleks, et luua uudne eestikeelse õppevahend. Iga valdkonna tegevusi tutvustavad videoklipid on YouTube'i vahendusel kõigile vabalt kättesaadavad nii õppe- kui ka populariseerimise eesmärgil.

## 1. Sissejuhatus

RITA1 projekt „Kaugseire andmete kasutuselevõtt avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel“ („KAUGSEIRE“) kutsuti ellu Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi (MKM), Keskkonnaministeeriumi (KeM), Maaeluministeeriumi (MeM) ning Siseministeeriumi (SiseM) ühisel ettepanekul eesmärgiga teadvustada avaliku halduse valdkondades Copernicus programmiga kättesaadavaks tehtud kaugseire andmete kasutusvõimalusi. Uuringut rahastas Euroopa Regionaalarengu Fond ETAg'i taotlusvooru kaudu. Projekti üldine uurimisküsimus oli, kuidas kasutada kaugseire andmeid, et töötada välja rakendused ja andmehalduse prototüübid, mis aitaksid avaliku sektori asutuste tööd tõhusamaks muuta.

Huvigruppide kokkuleppel valitud valdkondades kujunesid uuringu objektideks funktsioonid, mida eri avaliku sektori asutused neis valdkondades täidavad:

- 1) maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine Päästeameti ja SiseMi vastutusalas;
- 2) üleujutuste ja veetaseme seire Päästeameti, Riigi Ilmateenistuse, KAURi ja KeMi vastutusalas;
- 3) põllumajandusmaade kasutuse seire PRIA ja MeMi vastutusalas;
- 4) ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve Tallinna Linnaplaneerimise Ameti ning MKMi ja selle allasutuste vastutusalas.

Uuringuobjektist lähtuvad konkreetsete uurimisküsimused olid järgmised.

1. Maastikutulekahjude temaatika uurimisküsimused jagunesid kolme alateema vahel:

- tuleohu prognoos,
- tulekustutustööde juhtimine,
- kahjude hindamine.

Välja tuli selgitada, millised on kaugseire andmetest lähtuvad sobivaimad meetodid ja tehnoloogiad, et koguda metsa- ja maastikutulekahjude tekkega seotud seireandmeid, ning milliste andmeallikatega tuleks neid seostada selleks, et tõhustada rutiinset kontrolli ja järelevalvet ning kasutada andmeid riskiprognoside tegemisel. Erinevaid kaugseire andmeid kasutades tuli välja selgitada sobivaim meetodika ja protsess tuleohukaardi koostamiseks, metsa- ja maastikutulekahjude avastamiseks, kriisilukordade eelanalüüsiks, modelleerimiseks, võimalike kriiside tekkefaktorite kõrvaldamiseks ja potentsiaalsete kriiside ennetamiseks. Tulekustutustööde juhtimise uurimisküsimused keskendusid sellele, millised on kaugseire andmete kasutamisest lähtuvad sobivaimad meetodid ja tehnoloogiad, et reageerida kriisilukordades, hinnata tule ja suitsu levikusuundi, avastada tulekoldeid, suunata ressursi (inimesi ja masinaid), evakueerida elanikke ning likvideerida kriisifaktor ja tagajärjed. Kahjude hindamisel tuli keskenduda selliste meetodite leidmisele, mis võimaldaksid tuvastada tulekahjus kahjustunud ökosüsteeme ja hinnata nii nende väärtust kui ka ärahoitud kahjusid.

2. Üleujutuste ja veetasemega seotud uurimisküsimused jagunesid samuti kolme alateema vahel:

- üleujutusosalade kaardistamine,
- veetaseme seire,
- märjalade niiskusrežiimi seire.

Välja tuli selgitada sobivaim meetod kaugseire abil eri aastaegadel üleujutusosalasid kaardistada, seda nii avatud maastikel kui ka taimkattega aladel. Töösse tuli integreerida juba olemasolevaid andmestikke Maa-ameti aeromöödistustest, Copernicus tuumikteenustest ja paikvaatlustest ning kaaluda masinõppe rakendamise võimalusi. Tuli leida sobivaimad andmehalduse ja -edastuse meetodid ning tehnoloogiad, mis kasutaksid kaugseire lahendusi, et teha ohuprognose, korraldada evakuatsiooni, kommunikatsiooni ja objektide kaitsetegevusi. Rannikumere ja siseveekogude avaosa veetaseme seire uurimisküsimused keskendusid sellele, kuidas leida kaugseire rakendamiseks sobivad alad, tuvastada andmestiku võimalikud puudused, arvestada samas Eesti rannikumere ja

siseveekogude eripäradega ning töötada välja sobivaim andmehaldusmeetod. Viimase juures oli vajalik silmas pidada võimalusi, kuidas integreerida kaugseire veetaseme mõõdistamise andmed riiklike kontaktmõõdistuste ja prognoosmudelitega. Märgalade niiskusrežiimi seire valdkonnas tuli samuti valida sobivaim kaugseire andmete põhine meetodika. Vaja oli hinnata väljatöötatud seiremeetodi sobivust ka põllumaade, rohumaade ja metsaalade niiskusrežiimi kaardistamiseks, arvestades võimalusi, kuidas integreerida projekti käigus väljatöötatud lahendused olemasolevate Copernicus tuumikteenuste ja paikvaatluste andmestikuga.

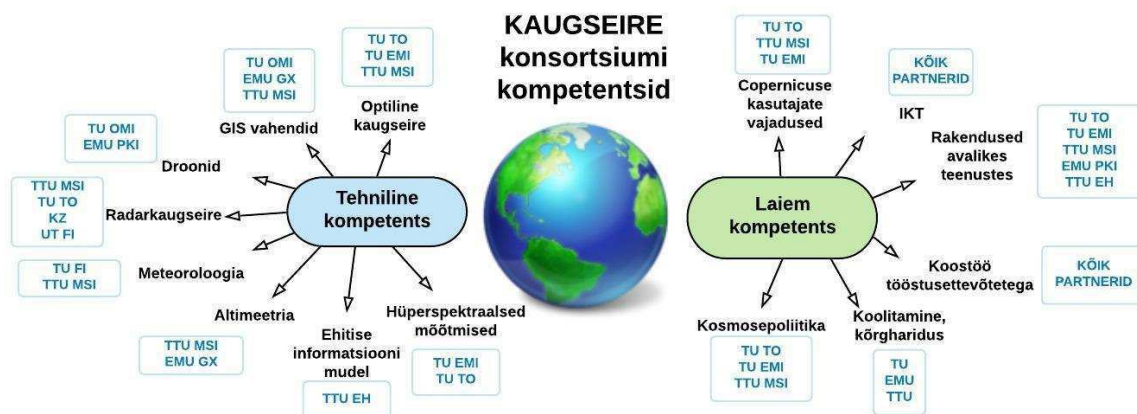
3. Põllumajandusmaade kasutuse seire valdkonna küsimused keskendusid järgnevale.

Välja tuli selgitada, milliseid põllumajanduskultuure, kultuuride puudumist ning mittesoovitava taimestiku olemasolu on Eestis võimalik kaugseire meetodeid kasutades tuvastada. Tuli analüüsida erinevate kultuurigruppide, kultuuride, vanuste, suvi- ja talivormide tuvastamise võimalusi. Vaja oli leida vastus küsimustele, milliseid sisendandmeid saab kultuuride tuvastamiseks kasutada ning milline on nende andmete kättesaadavus.

4. Ehitustegevuse planeerimise ja järelevalve küsimused keskendusid järgnevale.

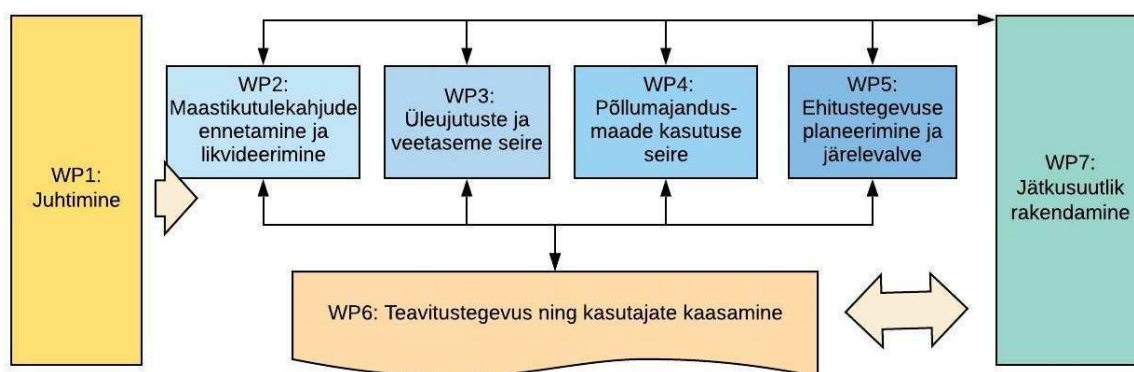
Välja tuli selgitada sobivaimad meetodid ja tehnoloogiad lähtudes kaugseire andmetest, et ehitiste planeerimiseks ja ehitustegevuse järelevalveks vajalikku infot paremini kasutada. Seejuures tuli tähelepanu pöörata sellele, kuidas korraldada probleemsete ehitiste tuvastamise protsess, sh kuidas eristada muutusi ning teha vahet ehitus- ja muudel tegevustel. Tuli esitada ülevaade, mil määral on võimalik rakendada masinõpet, et ehitustegevuse ja ehitiste tuvastamise protsesse automatiseerida ning lisakontrolle korraldada. Samuti oli vaja teha kokkuvõtte võimalustest koostada ja kasutada ehitusinfo andmebaase ning täiendada ehitusregistrit.

Projektis osales üheksa töörühma TÜst, TalTechist, Eesti Maaülikoolist ja OÜ KappaZetast (joonis 1).



**Joonis 1.** „KAUGSEIRE“ projekti konsortsiumite kompetents. Joonisel toodud töörühmade lühendid on järgmised: TU TO – Tartu Ülikooli Tartu observatoorium; TU EMI – Tartu Ülikooli Eesti mereinstituut; TU OMI – Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut; TU FI – Tartu Ülikooli füüsika instituut; TTU MSI – TalTechi meresüsteemide instituut; TTU EH – TalTechi ehituse ja arhitektuuri instituut; KZ – OÜ KappaZeta; EMU GX – Eesti Maaülikooli geomaatika õppetool; EMU PKI – Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituut.

Üheksa partneri tehtud töö oli lähtuvalt uurimisküsimustest jagatud neljaks suunaks (joonis 2, töopakettid 2–5), mille käigus valmis kokku kaheksa prototüüpi ja lisaks täppissademete arvutamise algoritm. Juhtimisküsimused olid töpaketi nr 1 all (WP1) ja teavitustegevustega tegeles töpakett nr 6 (WP6). Selleks, et mahukas töö ei jääks vaid ühekordseks pingutuseks, koguti projekti vältel infot ka edasiste tegevussuundade võimalikkuse ja vajalikkuse kohta. Selle põhjal koostati (WP7) kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava (lisa 6) ja tehti kaks lisauuringut: CGI tehtud ESTHubi analüüs (lisa 7) ja Tech & Space'i elluviidud ärilise teostatavuse uuring (lisa 8).



**Joonis 2.** „KAUGSEIRE“ tegevuste struktuur. Uurimisküsimustest lähtuvad neli sisupaketti (WP2–WP5) ning toetavad juhtimise (WP1) ja teavitustegevuse pakett (WP6). Edasiste rakenduste ideekorjega tegeles töopakett WP7.

## 2. Tulemused

### 2.1. Metsa- ja maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine

„KAUGSEIRE“ maastikupõlengute teema raames keskenduti peamiselt kolmele alateemale, mis on nüüdseks päädinud lõpptarbijatele suunatud prototüüpidega (lisa 1):

- 1) võimalused tuleohu riski tõepärasemalt ja detailsemalt hinnata;
- 2) tule käitumine põlengu ajal, selle efektiivsem prognoosimine ja kustutustööde juhtimise võimalik tõhustamine;
- 3) põlengu (rahaliste ja loodusvääruslike) tagajärgede põhjalikum hindamine, arvestades nii tekkinud kui ka ärahoitud kahju.

Kõik kolm suunda tulenevad tegelikest vajadustest ja seetõttu pöörati erilist tähelepanu tulemuste rakendatavusele. Põlengute tulemusena tekib arvestatav majanduslik kahju, seda nii ärapõlenud ressursside, sh kadunud ökosüsteemide loodusväärtuste, kui ka kustutamise seotud kulude tõttu. Selleks, et põlenguid esineks harvem, tuleb vähendada põlengute tekkimise tõenäosust. Tulekahjud võivad puhkeda nii looduslikel (nt äike) kui inimtegevusest tingitud põhjustel, seejuures arvuliselt on ülekaalus viimased. Inimtekkeliste põlengute arvu aitavad tõenäoliselt vähendada piirangud tuleohtlikul ajal. Nende kehtestamine eeldab aga võimalikult täpset, usaldusväärset ja hästi (sh inimestele arusaadavalt ja usutavalt) põhjendatud tuleohu riskide hinnangut. Lisaks aitab tuleohu taseme teadmine parandada valmisolekut ja valvelolekut põlengud võimalikult kiirelt avastada ja kustutada. Tuleohu hindamine on ennetav tegevus ning sellel põhinevad ka teised ennetustegevused (nt inimeste hoiatamine). Tuleohtu hinnatakse pidevalt, mitte vaid konkreetsest põlengust tingituna.

Teine võimalus tekkinud kahjusid ja põlengu kustutamise seotud kulutusi vähendada on kustutustöödel võimalikult efektiivselt tegutseda. Sellele võiks kaasa aidata tule leviku (suundade, kiiruse, intensiivsuse jmt) parem prognoosimine ja modelleerimine. Põlengu leviku parem mõistmine on operatiivne tegevus, mida tuleb teha kustutustööde ajal, valmisolekut selleks on aga võimalik suurendada ka enne põlengute tekkimist. Osaliselt saadakse tule käitumise modelleerimiseks vajalik teadmine tuleohu indeksi arvutamise teel. Nii tekkinud kahjusid kui ka seda kahju, mis efektiivse kustutustegevuse tulemusena ära hoiti, saab hinnata põlengu kustutamise järel. See on ühelt poolt vajalik n-ö inventuuriks, teisalt aga annab ärahoitud ja tekkinud kahjude suhe (või tegelike kahjude osakaal potentsiaalselt tekkida võinud kahjudest) võimaluse analüüsida tegevusi kustutustööde ajal. See võib anda võimaluse järgmiste põlengute korral efektiivsemalt tegutseda.

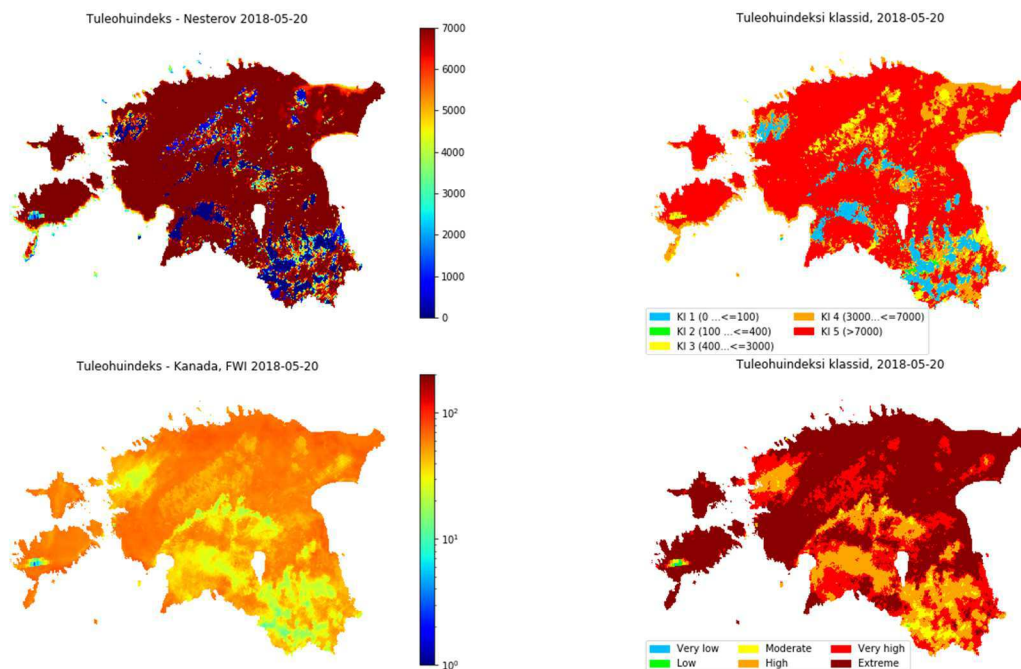
### 2.1.1. Tuleohu kaardistamine

Seni on Riigi Ilmateenistus tuleohu igapäevasel kaardistamisel kasutanud n-ö Nesterovi meetodikal põhinevat arvutusmeetodit. Erinevate tuleohu indeksite arvutamise meetodeid on võrrelnud näiteks Torres jt (2018). Nesterovi tuleohu indeks lähtub temperatuurist, kastepunktist ja kumulatiivsetest sademetest. Arvutused tehakse ilmajaamades ja interpoleeritakse seejärel kogu Eesti territooriumile.

Uue pakutud meetodika puhul paranevad mudelisse sisendina lisatavad meteoroloogilised andmed. Sademete andmed tulevad Sürgavere ilmaradarist ja neid korrigeeritakse ilmajaamades mõõdetud andmetega (pkt 2.5). Temperatuuri, tuulevälja ja radiatsiooni andmed tulevad meteoroloogilistest mudelitest. Kõiki andmeid toodetakse iga päev u 1 × 1 km suuruste aladega võre kohta kogu Eesti territooriumil. Alternatiivina (nt radari häirete korral) kasutatakse ilmajaamade mõõtmisandmetest samale võrele interpoleeritud andmeid. Kõik algandmed teisendatakse tuleohu indeksi arvutamiseks vajalikule kujule.

Tuleohu indeks FWI arvutatakse kõigis võre silmades, kasutades n-ö Kanada mudeli algoritmi (NRC, 2020), mis kasutab andmeid õhuniiskuse, sademete, temperatuuri ja tuule kohta ning on üksikute sademepuhangute suhtes vähem tundlik kui Nesterovi mudel. Koondindeksi arvutamise käigus leitakse ka mitu vahetulemust (nt põlevmaterjali erinevate fraktsioonide niiskus), mis on kasutatavad põlengu leviku modelleerimisel.

Saadud tuleohu rasterkaart 1 × 1 km ruutudega võrestikul silutakse vajaduse korral sobiva kerneliga (ühtlustatakse naaberruutude väärtused), et vähendada juhuslikku varieeruvust ja pildi liigset kirjusust. Rasterkaardi põhjal genereeritakse tuleohu klasside piirid ja vajaduse korral tuleohu indeks asustus- ja haldusüksuste kaupa.



**Joonis 3.** Nesterovi ja Kanada mudelite indeksid ja tuleohu klassid, 20.05.2018.

Uus meetodika, millega paraneb tuleohu prognoosi (joonis 3) detailsus ja tõepärasus, erineb seni kasutatust järgmiselt.

1. Pakub täpsemaid ja ruumiliselt tunduvalt detailsemaid meteoroloogilisi lähteandmeid, sh sademete hulga ning selle jaotuse kohta üle Eesti, mis on tuleohuindeksi väärtust enim mõjutav tegur.
2. Pakub detailsemaid põlevmaterjali hulga ja struktuuri andmeid, mis võimaldavad paremini hinnata nii tule tekkimise tõenäosust kui ka tule võimaliku leviku kiirust.
3. Tuleohu indeks arvutatakse rastripõhiselt, üle Eesti ei interpoleerita mitte kompleksnäitajat, mis on arvutatud ilmajaamades, vaid mõõdetakse ja interpoleeritakse lähteandmed ning leitakse indeks väljana iga rastripiksli jaoks eraldi.
4. Nesterovi meetodika asemel kasutatakse Kanada mudelit, mis on tuleohu järsu vähenemise suhtes üksiku sademehoo järel vähem tundlik.

FWI mudeli usaldusväärsust saab hinnata ainult kvalitatiivselt. Võimalik võrdlus tegelike põlengutega sõltub väga paljudest juhuslikest teguritest ega ole statistiliselt olulisena määratav. Tuleb tõdeda, et põlengud tekivad nii ekstreemsete kui ka keskmiste tuleohuindeksi väärtuste juures. Üksikud näited, nagu Vikipalu põleng 2018. aastal, on näidanud, et piirkondades, kus toimusid ulatuslikud tulekahjud, oli alati ka kõrge FWI indeks. Võrreldes seni kasutatud indeksiga annab FWI detailsema pildi ja on tundlikum niiskuse varude tekkimise suhtes. Niiskuse akumulatsioon mõjutab FWI indeksi arvutamist hinnanguliselt eelneva seitsme kuni kümne päeva oludes. Prototüübi FWI ruumiline lahutus on määratud sisendandmete ruumilise lahutusega (projektis 1 x 1 km), mis on praegu kasutatavast tunduvalt detailsem.

Muudetud tuleohu indeksi arvutamise meetodikat on plaanis otseselt rakendada. Praegu käib koostöös KAURiga LIFE projekti ettevalmistus ning eelarves on 130 000 eurot ette nähtud selleks, et meetodika alates 2022. aastast kasutusele võtta. Projekti on kaasatud ka TÜ ning kasutajana Päästeamet.

### 2.1.2. Põlengu leviku modelleerimine

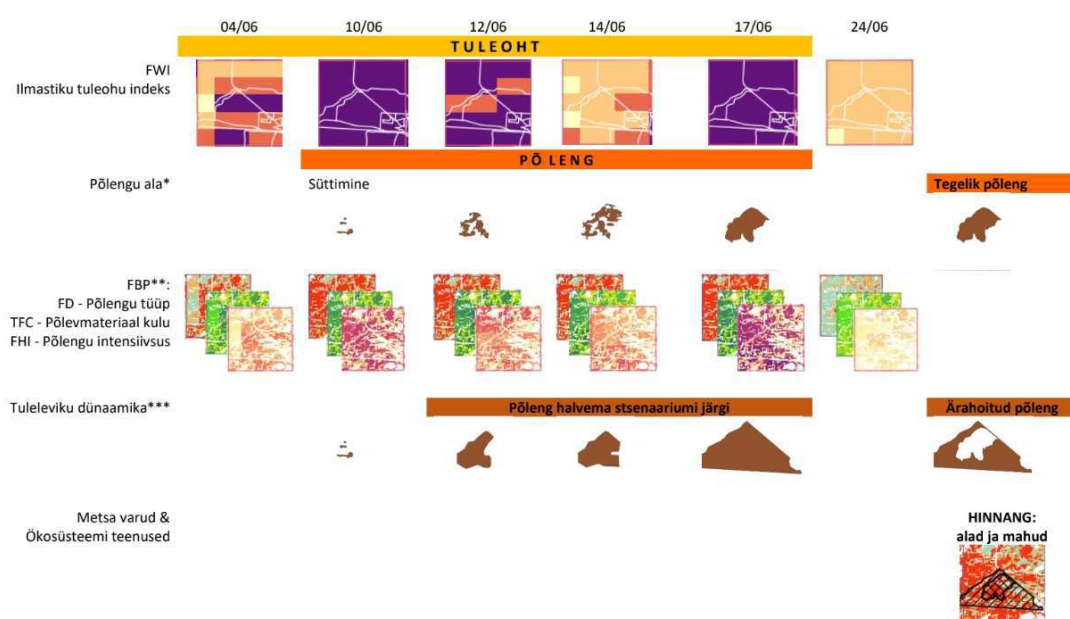
Põlengu leviku modelleerimise alus on Kanada mudeli moodul FBP (NRC, 2020). Sisendina kasutatakse meteoroloogilisi andmeid, sh tuleohu indeksi arvutamisel leitud vahetulemusi, näiteks põlevmaterjali niiskus, tuule kiirus ja suund, nõlva kalle ja kõrgus üle merepinna, aasta jooksev päev, koordinaadid ning nii metsa kui ka põlevmaterjali tüüp. Mudel koosneb kahest osast. N-ö primaarsete väljunditena arvutatakse tule potentsiaalse leviku kaart (leviku kiirus), lähtudes põlevmaterjali hulgast ja iseloomust (summaarne põlevmaterjali kulu), reljeefist ning ilmaoludest. Määratakse ka tulefrondi intensiivsus ja põlengu tüüp. Tulemust mõjutavad muu hulgas tule leviku looduslikud takistused. See osa kohandati projekti käigus Kanada mudelist Eesti oludega (nt erinevused metsakooslustes). Algoritm on samm-sammuline ning sellega arvutatakse näiteks algne tule leviku määr, põlengu intensiivsus, tulekahju tõenäosus minna üle ladvapõlenguks ning tule leviku suund ja intensiivsus. FBP sekundaarsete tulemite leidmiseks saab kasutada nt vabavaralist tarkvarapaketti Prometheus (Prometheus, 2019). See on deterministlik maastikupõlengu imitatsioonimudel, mis tugineb FWI ja FBP arvutustele. Mudel arvutab ilmutatud kujul ruumilise tule käitumise ja leviku, arvestades põlevmaterjali heterogeensust, topograafiat ja ilmaolusid. Kõik väljundid on GIS põhised. Kuna tegu on vabavaralise lahendusega, mis sobib kasutamiseks ka Eestis, puudus vajadus seda kohendada või teha dubleeriv arendus.

FPB indeksid on hästi mõõdetavad nähtused. Kõige suurema määramatuse loovad Kanada mudelis kasutatavad põlevmaterjalide tüübid ja nende vastavusse viimine Eesti oludega. Kasutatud on üle maailma saadud kogemusi (Kanada mudelit on aastakümneid eri maailmajagudes rakendatud). FBP indeksite perel on väga hea ruumiline lahutus, kuna sisendandmed – põlevmaterjali tüüpide ja põlevmaterjali mahu kaardid – on kõrge lahutusega (25 m). Tule leviku modelleerimine on rakendatav Päästeametis. Selleks tuleb senised algoritmid ja andmevood kohendada Päästeameti IT-oludele

vastavaks, arvestada ameti spetsiifikat, turvanõudeid ja muud. Tõenäoliselt on otstarbekas rakendada modelleerimist järk-järgult. Lisaks tehnilisele rakendamisele on vajalik ka lõppkasutaja koolitus.

### 2.1.3. Põlengu tagajärjel tekkinud kahjude hindamine

Tule potentsiaalset levikut hinnatakse FBP abil, mis on võimaliku maksimaalse põlengu ala ja määra leidmise alus. Tegelikult põlenud ala ja põlengu määr määratakse pärast tulekahju kustutamist ning võimalikud keskkonnakahjud põlengu ajal. Nende põhjal hinnatakse tekkinud kahjusid. Potentsiaalse põlenguala ja tegelikult põlenud ala vahe ning põlengumäärade erinevus (joonis 4) annavad ärahoitud kahjude leidmise võimaluse ja on seejärel rahalise kahju arvutamise alus. Kahjude hindamisel rahaliselt on vahetulemusteks ka ressursikadu ja emiteeritud saaste hulk, mis väljendatakse rahas ökosüsteemiteenuste kontseptsiooni alusel.



**Joonis 4.** Kahjude hindamise raamistik rakendatuna Vikipalu 2018. aasta põlengu näitel. \* – kaugseire või kohapealne ekspert, \*\* – potentsiaalsed tulekahju riskid, \*\*\* – Prometheus-sarnane tarkvara või eksperdihindang.

Prototüübi tulemusi saab kasutada, et määrata:

- elupaikade kadu pindalaliselt (ulukid, kasulikud taimed jms, aga ka n-ö mitteutilitaarsed ökosüsteemiteenused);
- tegeliku põlengu ulatust, võttes aluseks enne ja pärast tulekahju tehtud satelliidipildid ning droonifotod. Kindlasti on vaja teada, mis tüüpi kooslusega oli tegemist. Vajalikud andmed saab leida metsandusandmetest, mida toetab „KAUGSEIRE“ projekti käigus valminud puistute kaart;
- kasvuhoonegaaside bilanss pindalaliselt;
- puidu kadu pindalaliselt ja mahuliselt (selle saab ümber arvutada rahasse, arvestades metsast saadava puitmaterjali hinda), arvutused põhinevad on puistute liigi ja mahu kaartidel;
- pinnase kadu pindalaliselt ja mahuliselt (ka selle saab ümber arvutada rahasse). Pinnase kadu korreleerub elupaikade kao pindalaga. Andmed arvutusteks saab mullakaardilt (ja mujalt), toetab ka puistute kaart.



Eeldusel, et varem on põlenguid modelleeritud, saab kahjude hindamise metoodikat suhteliselt lihtsasti rakendada. Valminud prototüüpide detailsed tehnilised kirjeldused, algoritmid, metoodika, andmed, katsed ja hinnangud on esitatud lõpparuende lisas 1.

## 2.2. Üleujutuste ja veetaseme seire

„KAUGSEIRE“ veerežiimiga seotud uurimisteema jagunes kolmeks alateemaks:

- 1) üleujutusosalade kaardistamine;
- 2) veetaseme seire;
- 3) märgalade niiskusrežiimi seire.

Neis keskendutakse vee(taseme) kaugseire info kasutamisele riigiteenustes. Prototüüpide arendamisel lähtuti senistest riigiteenustest ning tuvastati neis kohad, kus kaugseire andmete kasutamine annaks lisandväärtust. Projekti käigus töötati välja kaugseire andmete töötlemise meetodid ja prototüübid, mis võimaldavad parandada järgmisi seirerakendusi ja riiklikke teenuseid:

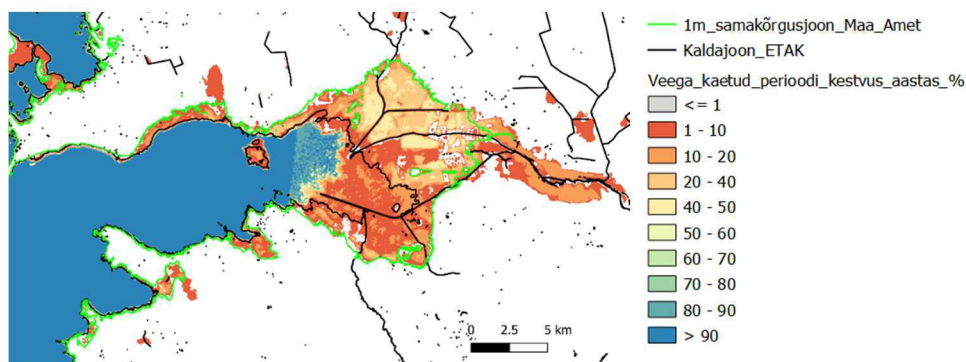
- 1) sisemaal ja rannikul esinevate üleujutuste seire satelliidipiltide põhjal;
- 2) veetaseme seire altimeetriaandmete põhjal;
- 3) veetaseme prognoosi täpsustamine satelliitaltimeetria andmetega;
- 4) veekogu ökoloogilise klassi korrigeerimine veetaseme sesoonse muutuse kohaselt;
- 5) soode niiskusrežiimi jälgimine kaugseire meetodiga;
- 6) maardlate (sh turbamaardlate) seire satelliidipiltide põhjal.

### 2.2.1. Üleujutuste tuvastamine satelliidipiltidelt

Üleujutuste kaardistamise metoodika koostamisel hinnati radari (Sentinel-1) erinevate polarisatsioonide tundlikkust vee ja maismaa eristamisel. Sobivaimate polarisatsioonide ja nende kombinatsioonide jaoks koostati empiiriline algoritm, et tuvastada vee olemasolu. Sentinel-1 andmete tötlusprotsessis tehti radaripiltidele eeltöötlus: radarisignaali kalibreeriti, müra filtreeriti ja maapind korrigeeriti reljeefi suhtes. Vee läviväärtuse määramiseks leiti empiiriline seos langemisnurka ja veest tagasihajunud signaali vahel. See võimaldab sõltuvalt radari vaatlusgeomeetriast tuvastada vee olemasolu (ja puudumise) igas satelliidipildi rastripunktis. Andmete järeltöötlemises seoti kaardistatud vesi jõgede kaardikihiga. Koostatud metoodika põhjal saab luua erinevaid teenuseid, mis on seotud üleujutuste ja korduva suurvee piiri hinnangutega.

„KAUGSEIRE“ raames käivitati operatiivrežiimis väljatöötatud vee kaardistamise prototüüp, et kaardistada satelliidipiltide põhjal üleujutusi. Selleks rakendati TalTechi MSI klasterarvutil tööle kood, mis laadis automaatselt alla andmed Sentinel Open Hubi keskkonnast ja pani üleujutuste kaardistamiseks tööle SNAP protsessorite põhise .XML-koodi. Avatud üleujutuste (vee) kaardistamise metoodikat katsetati Sentinel-1 kogu 2019. aasta ja osaliselt 2020. aasta andmebaasi põhjal.

Seda, kui täpselt Sentinel-1 andmete põhjal üleujutatud alad kaardistati, hinnati Sentinel-2 tulemitega: need võeti „tõese kaardistusena“ võrdlusandmeteks. Et hinnata kaardistamise usaldusväärsust, arvutati täpsus (ingl *accuracy*) ja *kappa* *hati* koefitsient, mis jäid eri katsealadel vastavalt vahemikku 93,6–96,9% ja 0,62–0,86. Lisaks näitas analüüs, et metoodika töötab kõige usaldusväärsemalt sügisperioodil, kui õhutemperatuur on veel plussis, kuid vegetatsiooniperiood on lõppenud. Miinuskraadide korral on väljatöötatud metoodika rakendamine madalama usaldusväärsusega. Taimestikualuse vee kaardistamise metoodika usaldusväärsust sai hinnata piiratult, kuna tehti vaid mõni paikvaatlus.



**Joonis 5.** Prototüübi rakendamise näide. Veega kaetud perioodi kestvus (%) ajavahemikul 01.06.2019–01.06.2020. Asukoht Matsalu laht.

Satelliidiandmete põhjal hinnatud täpne ja operatiivne, aga ka statistiline info üleujutatud alade kohta saab täiendada mitut teenust ja tegevust. Arendatud meetodika abil on võimalik hinnata korduva suurvee ulatust ja sagedust ning selle põhjal määrata korduva suurvee piir nii mererannikul kui ka siseveekogudel (joonis 5). Väljatöötatud andmetötluse prototüüpi saab rakendada konkreetsetes riigiteenustes: hüdroloogilises operatiivseires, ruumilises planeerimises (korduva suurvee piiri määramisel), kriisihaldamises ja ekstreemsete sündmuste korral, kliimamuutustega kohanemises ning elupaikade seires.

Kui rakendada väljatöötatud meetodikat operatiivses hüdroloogilises seires ja statistilises veega kaetud alade kaardistamise riigiteenuses, tuleks arvestada summaga 250 000 – 300 000 eurot.

### 2.2.2. Satelliitltimeetrial põhinev veetaseme seire avamerel ja suurjärvedel

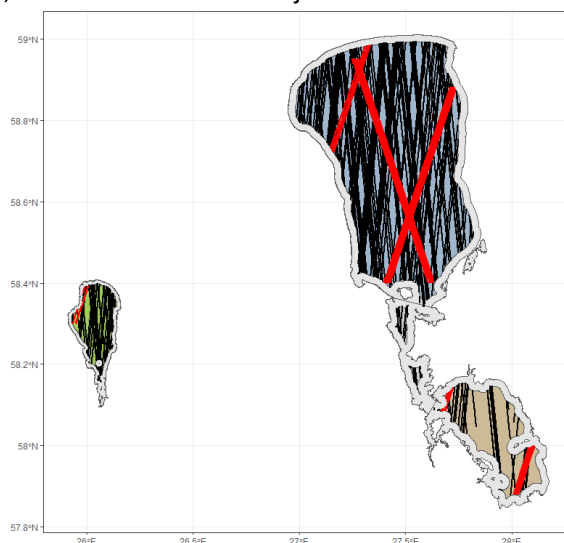
Projekti käigus arendati välja andmetötluse prototüüp (vt täpsemalt lisa 2), mis võimaldab täpsustada Läänemere veetaseme operatiivset prognoosi, kasutades satelliitltimeetria andmeid Copernicus mereteenusest (CMEMS-BAL-PUM-003-011 (2019)).

Altimeetriaandmeid valideeriti selliste satelliitltimeetria missioonide (Sentinel-3A, Sentinel-3B, Saral/AltiKa, CryoSat-2, HY-2A, Jason-2, Jason-3) andmete põhjal, mis pakkusid infot Eesti ala kohta. Valideerimise eesmärk oli hinnata, kui täpselt määratakse veetaseme kõrgusi Eesti rannikuvetes. Valideerimiseks kasutati kohtmõõtmiste (veemõõdu- ja poiijaamad ning GNSS-mõõtmised laeval) andmeid ja Eesti täppisgeoidi EST-GEOID2017. Vaatluse alla võeti neli veekogumit (Soome laht, Liivi laht, Võrtsjärv ja Peipsi järv) ning põhirõhk oli rannikuäärse (kuni 25 km) veetaseme määramisel. Ulatusliku satelliitltimeetria andmete valideerimise tulemused on kõrgetasemelises teadusartiklis avaldanud Liibus jt (2020).

Üldiselt võib valideerimise tulemusena öelda, et satelliitltimeetria põhjal on avamerel (95% tõenäosusega) võimalik veetaseme kõrgust määrata täpsusega  $0,05 \pm 0,16$  m ja siseveekogudel  $0,17 \pm 0,56$  m, seega kokku keskmiselt  $0,09 \pm 0,30$  m. Selline täpsus on piisav, et kasutada satelliitltimeetria andmeid eri fookusega rakendustes: operatiivsest prognoosist kuni kliimateenusteni.

Ühe rakendusena on võimalik veetasemest lähtudes korrigeerida veekogu ökoloogilist klassi. Eesti suurimad järved Võrtsjärv ja Peipsi on madalad eutroofsed järved ning Euroopa veepoliitika raamdirektiivi (EVR) kohaselt tuleb nende järvede ökoloogilist seisundit regulaarselt hinnata ja toimunud muutustest raporteerida. Et seda vajadust katta, töötati projekti käigus välja kaugseire andmetel põhinev meetod, mis võimaldab hinnata ka järve ökoloogilist seisundit, võttes arvesse veetaseme sesoonset muutlikust. Uudse aspektina võeti satelliitltimeetria andmed kasutusele veetaseme hinnangu saamiseks: varem oli selleks kasutatud kontaktmõõtmisi (Tuvikene jt, 2011),

mida aga ei ole suurjärvede avaosas piisaval hulgal tehtud. Seega on meetodil, mis põhineb suurel hulgal kaugseire andmetel, riikliku keskkonnaseire ja EVRi nõuete täitmise seisukohast suur tähtsus.



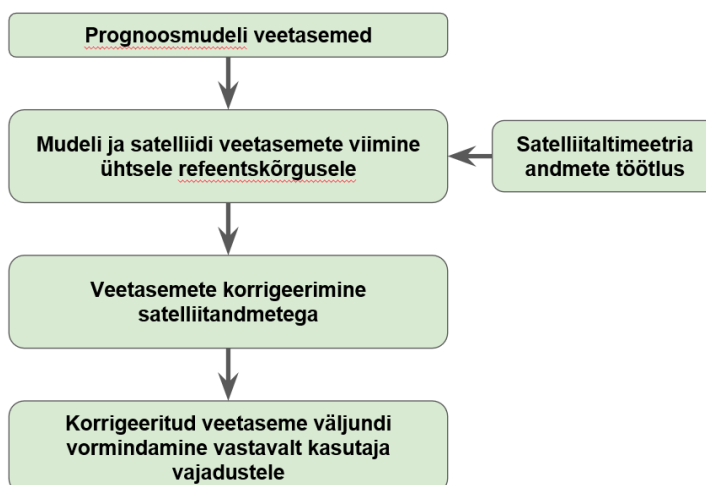
**Joonis 6.** Sentinel-3A ja Sentinel-3B (punane) ning Cryosat-2 (must) missioonide ülelendude trajektooriid Peipsil ja Võrtsjärvel.

Väljaarendatud satelliidiandmetel põhinev meetod võimaldab kombineerida eri sensorite andmeid, et veekogu ökoloogilist klassi hinnates võtta arvesse veetaset, hinnangut selle suhtes korrigeerida ning arvestada hooajalise muutlikkusega. Meetodika rakendamine annab võimaluse hinnata erinevaid veekvaliteedi parameetreid (klorofüll a, fütoplanktoni biomass ja vee läbipaistvus, mille abil määrata ökoloogilist seisundiklassi) ning eemaldada nendest muutliku veetaseme mõju. Kaugseire võimaldab saada andmeid tiheda ajalise sammuga ning annab võimaluse ka ajajoonel tagasi minna (perioodi, kus kontaktmõõtmised puudusid). Samuti on satelliidiandmete põhjal võimalik hinnata eri parameetreid ruumiliselt (joonis 6) ehk võtta kindlate parameetrite kohta arvesse andmestik, mis iseloomustab suurt osa veekogust. Tavaseire punktmõõtmised annavad detailsema ülevaate konkreetsete parameetrite alusel, aga nende ajaline ja ruumiline katvus on piiratud. Siiski on kontaktmõõtmiste andmeid vaja ka edaspidi, et satelliidiandmeid katsetada ja algoritme luua. Praeguste satelliitide ruumiline lahutus piirab võimalust rakendada meetodikat väiksetel järvedel ja kaldapiirkondadel, kuid sobib edukalt Eesti suurtele järvedele.

Altimeetriaandmed võimaldavad ka merevee taseme (veetaseme) prognoosi täpsustada. Veetaseme andmeid saadakse kolmest allikast: veetaseme mõõtmistest rannikujaamades (mõõtmiste veetase), altimeetriaandmetest satelliitidelt (altimeetria veetase) ja numbrilisest modelleerimisest (modelleeritud veetase). Kõigil neil on omad erisused, mistõttu ei saa neid otseselt ja lihtsasti üksteisega ühildada ega võrrelda. „KAUGSEIRE“ käigus töötati välja meetodika (kontseptuaalne mudel), mis viib mudeli, satelliitaltimeetria ja kontaktmõõtmiste pikaajalised veetaseme keskmised ühtsele referentssüsteemile. Väljatöötatud andmetöötlusmudel võimaldab veetasemeid eri ajahetkedel ja eri allikate andmete põhjal omavahel võrrelda, sõltumata sellest, millise taustsüsteemi suhtes need mõõdetud või arvutatud on. See on omakorda alus andmetöötluse prototüübile, mis korrigeerib mudelprognoosi täpsust satelliitaltimeetria andmete põhjal.

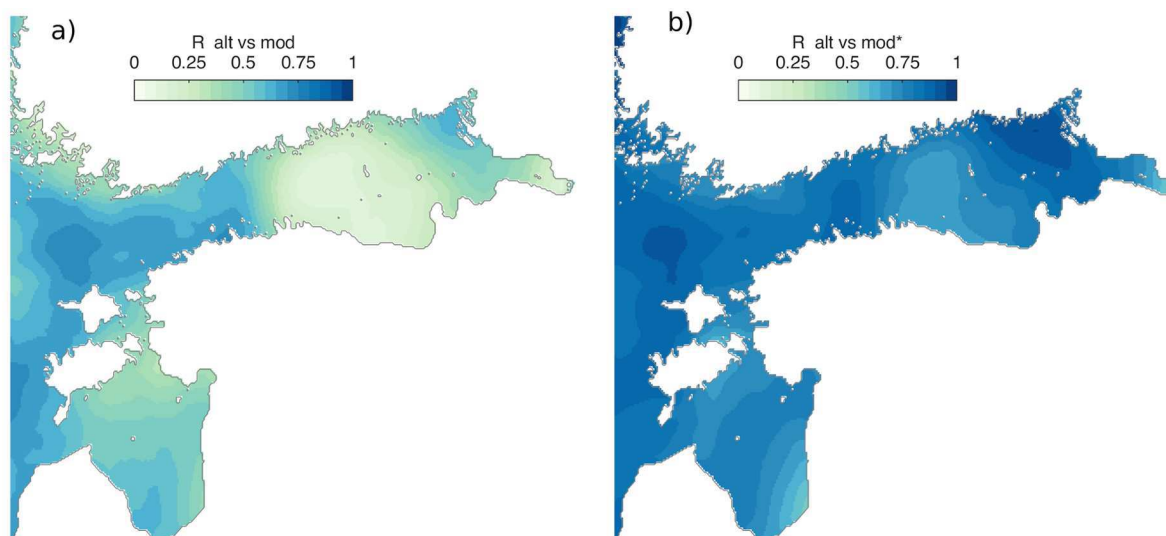
Väljaarendatud veetaseme prognoosi prototüüp demonstreerib, kui vajalik on prognoosmudeli vigade vähendamiseks kasutada satelliitaltimeetria veetaseme hinnanguid. Lähtudes joonisel 7 toodud andmetöötluse sammudest, saab altimeetria veetaseme andmeid kasutada veetaseme prognoosi täpsustamiseks. Esimese sammuna konsolideeritakse veetaseme andmed eri andmebaasidest (või arvutatakse prognoosmudeliga). Teiseks viiakse mudeli ja altimeetria pikaajalised keskmised veetasemed ühtsesse referentssüsteemi (ühtsele kõrgusele). Kolmanda sammuna korrigeeritakse

modelleeritud veetaset otseselt altimeetria veetaseme andmetega. Neljandaks saab korrigeeritud prognoosi (animatsioonina) lõppkasutajale kuvada. Animatsiooni saab vaadata lisan 2 toodud lingil.



**Joonis 7.** Andmetöötuse skeem sellest, kuidas veetaseme prognoosi satelliitaltimeetria andmetega täpsustada.

Koos prototüübiga esitati veetaseme prognoosi parandamisele täpsushinnang. Selleks, et näidata, kui palju sarnasemad on korrigeeritud modelleeritud veetasemed altimeetria veetasemetega, arutati mudeli korrigeeritud veetasemete ja altimeetria veetasemete vahel korrelatsioonikordajad. Korrelatsioonikordajad mudeli korrigeerimata väärtuste ja satelliidiandmete vahel olid vahemikus 0,25–0,6 (joonis 8a). Kaugeirepõhise korrektsioonimeetodi rakendamise tulemusena saadud korrigeeritud mudeli ja altimeetria vahel olid korrelatsioonikordajad märkimisväärselt suuremad (enamasti üle 0,75, joonis 8b). Ka erinevus (ingl *bias*) vaatluste ja mudeli vahel vähenes peale korrektsiooni rakendamist 50% võrra.



**Joonis 8.** Korrelatsioonikordajate jaotus a) korrigeerimata mudeli ja altimeetriaandmete vahel; b) korrigeeritud mudeli ja satelliitaltimeetria andmete vahel.

Selleks, et täpsustatud meretaseme prognoosi ja analüüsi teenust operatiivselt rakendada, tuleks integreerida arendatud kaugeire andmete töötlemise meetod Riigi Ilmateenistuse operatiivse mereprognoosi mudeliga NEMO.

Et rakendada väljatöötatud lahendust, millega saaks operatiivse veetaseme prognoosi satelliitaltimeetria andmetega täpsusemaks muuta, kulub orienteeruvalt 290 000 eurot.

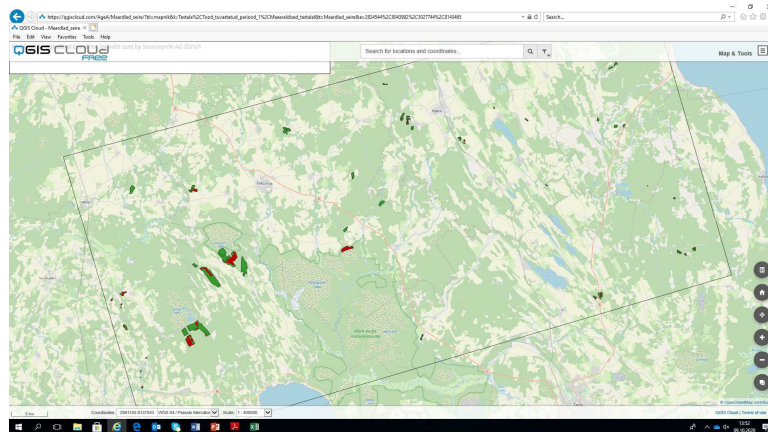
### 2.2.3. Märgalade niiskusrežiimi seire

Märgalade niiskusrežiimi seire teema raames arendati välja turbamaardlate seire metoodika. Kaugseire andmetel on suur potentsiaal maardlate seire efektiivsemaks muuta. Et see võimalus ära kasutada, töötati projekti käigus välja radarkaugseire (Sentinel-1) andmetel põhinev meetod, mis võimaldab maardlaid seirata ja aitab ressursitasude laekumise õigsust kontrollida. Radarsatelliitseire abil on võimalik saada kvartaalne ülevaade mäeeraldistest, kus toimuvad tööd. Kaugseirepõhine hinnang põhineb tehisavaradari Sentinel-1 andmete muutustel, mida tuvastatakse kaevandusaladel 6- või 12-päevalise intervalliga. Muutusi saab hinnata kahe ülelennu vahelise pildi põhjal, võrreldes mäeeraldise ala sarnasust ehk koherentsust. Mäeeraldise mediaankeskmise koherentsuse väärtuse analüüsi seoseid sellega, kui intensiivselt turvast kaevandatakse, on analüüsitud Tampuu jt artiklis (2020a, b). Leiti, et mediaankeskmise koherentsus alla 0,2 viitab kaevandustöödele.

Leitud piirväärtusest lähtudes koostati andmetötluse prototüüp, mida saab kasutada turbakaevandusaladel, et tuvastada kaevandamise periood ja hinnata kaevandamise intensiivsust. Andmetötluse prototüüp visualiseerib töödeldud andmed kaardirakenduses (joonis 9). Andmed „KAUGSEIRE“ projektis arendatud kaevandustegevuse tuvastamise prototüübi kohta on visualiseeritud QGISi keskkonna pilveteenus (lingid lisa 2).

Soovitame kasutada turbamaardlate seire metoodikat ja vastavat andmetötluse prototüüpi eesmärgiga kontrollida maavarade ressursitasude laekumise õigsust. Ka selleks, et kontrollida kaevandusloa tingimustest kinnipidamist, on vaja kvartaalset ülevaadet 1) mäeeraldistest, kus toimuvad tööd, ja 2) kaevandatud maavarade mahtudest.

Kaugseire andmete töötlusel põhineva maardlate seire teenuse operatiivses režiimis rakendamise maksumus on hinnanguliselt 200 000 EUR.



**Joonis 9.** Andmetötluse prototüübi väljundi visualiseering QGISi pilveteenus (aktiivsed maardlad on rohelised, ilma kaevandustegevuseta maardlad punased).

Valminud prototüüpide detailsed tehnilised kirjeldused, algoritmid, metoodika, andmed, katsed ja hinnangud on esitatud lõpparuande lisa 2.

### 2.3. Põllumajandusmaade kasutuse seire

Eesti oludesse sobiv põllukultuuride tuvastamise metoodika on vajalik eelkõige selleks, et PRIA võiks EK monitooringu reformist lähtuvalt minna üle satelliitseirepõhistele kontrollidele. Täpne info igal põllul kasva kultuuri kohta ja selle vastavus põllumajandustoetuse taotluses esitatule on

satelliitseirepõhises kontrollimetoodikas kesksel kohal. See on vajalik näiteks viljavahelduse nõude täitmise järelevalves, aga ka mujal.

Väljaspool PRIA haldusala on põllukultuuride satelliitseirepõhine määramine oluline riikliku põllumajandusstatistika koostamiseks. Arendatavad tehnoloogialahendused võimaldaksid ühtlasi põllumajandusettevõtetele täppispõllunduse rakendusi pakkuda. Eraldiseisva lõppteenusena see suurt väärtust ei oma, sest enamik põllumehi teab niigi täpselt, mis kultuur tema igal põllul kasvab. Kui aga vaadata seda osana teistest võimalikest teenustest (nt kultuurispetsiifiline taimekasvuvaasi määramine ja sellele rajanevad väetamis- ja pritsimissoovitused), on see vajalik, sest kõigi põldude kultuur pole andmebaasidest alati leitav või on sealne info ebatäpne (eriti varasemate aastate andmete puhul).

Lähteandmetena kasutati Sentinel-1 ja -2 satelliitmõõtmiste aegridu ning täiendusena maapealseid ruumi- (põldude asukohad ja mullainfo) ja ilmaandmeid (sademed ja temperatuur). Uurimistöö käigus selgus, et maapealsete ruumi- ja ilmaandmete mõju tuvastusmudeli täpsusele oli minimaalne ning enim infot põllukultuuride määramiseks sisaldasid just satelliitmõõtmiste aegread. Rakendatud masinõppemudel oli kahekihiline täielikult ühendatud närvivõrk (tuntud ka kui sügavõpe). Metoodika on täpsemalt kirjeldatud lisa 3.

Metoodikat katsetati kogu Eestit hõlmava 2018. ja 2019. aasta andmekogu peal. Kokku arutati mõlema aasta kohta enam kui 112 000 põllu satelliitmõõtmiste aegread. Üleüldse on PRIA registrites u 160 000 põllu andmed, kuid väiksemad neist jäid Sentinel-1 ja -2 ruumilise lahutuse piirangute tõttu uurimistööst välja. Kuigi arvuliselt on uurimusest välja jäänud väikseid põlde palju (u 48 000), moodustavad nad pindala poolest Eesti põllumaast vähem kui 10%. Olenevalt ruumikujust jäid arvutustest enamasti välja põllud, mille suurus oli alla ühe hektari. Masinõppe arendusmetoodika kohaselt jaotati saadud aegread õpetus-, valideerimis- ja katseandmekogudeks, tagades nende omavahelise isoleerituse ja kultuurigruppide ühtlase jaotuse kogudes.

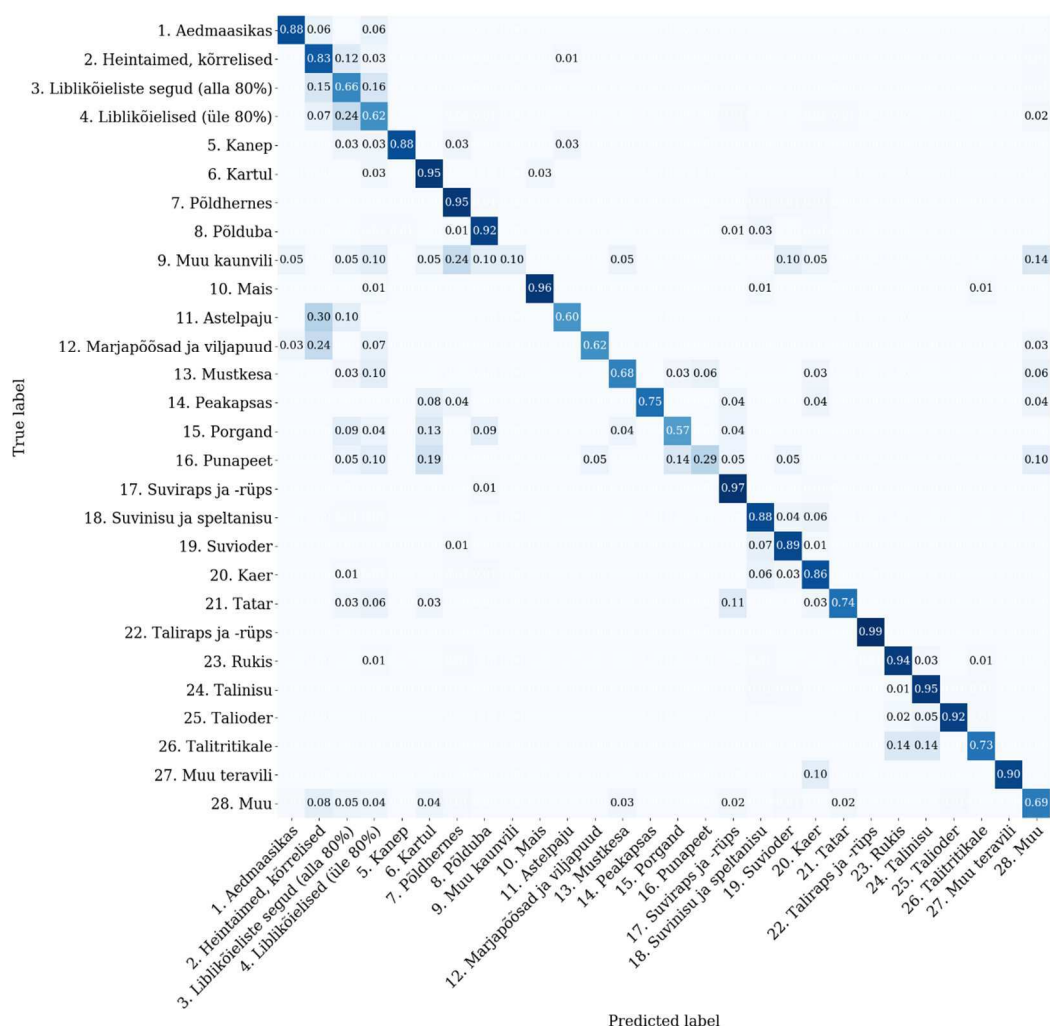
Tuvastusmudeli täpsuseks arvatud F1-skoorid 2018. ja 2019. aasta ühendatud valideerimiskogul (22 915 põllu andmed kitsama ja 15 271 põllu andmed laiema klassifikatsiooni puhul) olid 0,85 (kitsam 28 kultuurigrupiga jaotus) ja 0,91 (laiem 16 kultuurigrupiga jaotus). Enamlevinud kultuurigruppide puhul olid katsekogu saagised (ingl *recall*) üle 0,9 ning metoodika võib lugeda küpseks, et see operatiivkasutusse võtta. Detailset kitsama klassifikatsiooni eksimismatriksit näeb joonisel 10, kus ridades on toodud tegelikud ja veergudes ennustatud kultuurigrupid. Eksimismatriksi järgi on näha, et kõige sagedamini lähevad omavahel segi just väliselt sarnased põllukultuurid.

Projekti käigus loodud metoodikal, valminud dokumentatsioonil ning teadus- ja arendustöö tulemusel on ka laiemad kasutusvõimalused, seda näiteks ülikoolide ja teistele uurimisasutuste edasises teadustöös põllukultuuride satelliitseirepõhise määramise ja seotud uurimisteede kohta. Projekti vältel tehti tihedat koostööd PRIAga, kes varustas projektimeeskonda vajalike lähteandmetega (põldude ruumikujud, taotlustel märgitud kultuurid ja kontrollide tulemused) ning andis saadud tulemustele pidevat tagasisidet. Koostöös PRIAga töötati välja metoodikas kasutatud Eesti kultuurigruppide klassifikatsioon, kus kitsamas jaotuses on 28 ning laiemas 16 põllukultuurigruppi.

Loodud metoodika (viited ja kirjeldused lisa 3) prototüüptarkvara on kättesaadav aadressilt <https://bitbucket.org/kappazeta/rita-evaluator/src/master/>. Juhend prototüübi paigaldamiseks (eeldatakse Linux operatsioonisüsteemi) on repositooriumi juurkaustas failis README.md. Katseandmekogu on prototüüpi kaasatud ja asub repositooriumi alamkaustas /data. Prototüüp on avatud lähtekoodiga ja selle käivitamisel saab loodud metoodika täpsuses soovi korral sõltumatult veenduda.

Et saada operatiivrakenduse maksumuse hinnang, peaks PRIA kui põllukultuuride tuvastamise info peamine kasutaja selgitama välja, kuidas ta soovib satelliitseire monitooringule üle minna, sest lahenduse kogukulu (sh PRIA töötajate tööaeg mitme aasta peale kokku) ja saadud tulemuse kvaliteet sõltuvad tugevalt valitud lähenemisest. Teiste Euroopa riikide kogemusi uurides leidsime peamiselt kaks meetodit:

- 1) osta satelliitseire info sisse hooajapõhise teenusena. Teenusepakkuja tarnib makseagentuurile igal aastal kokkulepitud graafiku põhjal (nt juuni lõpus, juuli lõpus ja septembri alguses) kõigi valitud põldude kohta niitmise tuvastamise ja põllukultuuride määramise tulemused. Tulemused tehakse kättesaadavaks veebikaardil, \*.SHP-failide ja masinloetava API kaudu. Selle lähenemise on valinud nt Taani ja Hollandi põllumajandustoetuste makseagentuurid;
- 2) arendada monitooringuks vajalik infosüsteem välja makseagentuuri sees. Teenusepakkujalt ei osteta tulemust, vaid arendustöö tunde. Seda teed näib minevat nt Poola makseagentuur. Mõlemal lähenemisel on oma plussid ja miinused, mida on analüüsitud ja võrdlusena esitatud lisa 3 tabelites 1 ja 2.



Joonis 10. Detailsel klassifikatsioonile vastava põllukultuuride tuvastusmudeli eksimismatriks.

Kui vaadata alternatiivsete lahenduste plusse ja miinuseid laiemalt Eesti riigi ning eriti MKMi poliitika ja programmide vaatenurgast, ning eeldada, et teenusepakkuja on Eesti ettevõtte, on silmas vaja pidada veel üht olulist aspekti. Eesti ettevõttel on tunduvalt lihtsam majandusedu saavutada ja eksportida, kui monitooringu lahendused ja tötlusahel on üles ehitatud teenusena.

SATIKAS (Satelliidiandmete kasutamise infosüsteem PRIA jaoks) infosüsteemi arendamise kogemusega ettevõtte KappaZeta hinnangul kulub selleks, et põllukultuuride tuvastamise operatiivrakendus PRIA majasisesena infosüsteemina välja arendada, 1–2 aastat ja 274 400 – 431 200 eurot. Hooajapõhise teenusena hindab KappaZeta selle maksumust märkimisväärselt väiksemaks (36 000 eurot aastas), kuid summale lisandub ka ühekordne integratsiooni kulu (100 000 eurot).

## 2.4. Ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve

Ehitussektor moodustab ülemaailmse majanduse märkimisväärse osa, jäädes praegu ligikaudu 6% juurde sisemajanduse kogutoodangust ja kasvades aastaks 2030 u 14,7%-ni (GCP, 2015). Ehitussektor on väga oluline ka Euroopa majandusele, kuna annab tööd umbes 18 miljonile elanikule. Selle tootlikkuse kasv 1% võrra tähendaks iga-aastast ehituskulude kogusäästu 100 miljardit USA dollarit. Muutuste lainel on ehitussektor liikumas neljanda tööstusrevolutsiooni poole ning just seetõttu nimetatakse seda ajastut „Ehitus 4.0“ (ingl *Construction 4.0*) (Craveiro jt, 2019). Ehitus 4.0 tähendab laiemalt seda, et kogu ehitussektori töö muutub digitaalsemaks tänu kasvavale modelleerimisele. Ehitusinfo modelleerimise peamine eesmärk on integreerida ehitise kohta käiv info ehitise kogu elukaare vältel (planeerimine, projekteerimine, ehitamine, opereerimine, korrashoid, renoveerimine, lammutamine).

Kaugseire sobitub Ehitus 4.0 tööprotsessidesse mitmel tasandil. Näiteks saab kaugseiret kasutada ehitustegevuste kaardistamiseks ja jälgimiseks. Kaugseirega kogutud suurandmeid (sh pildiline info, punktipilved) saab omakorda analüüsida tehisintellektil põhinevate lahendustega, et seeläbi mõningate otsuste vastuvõtmist automatiseerida. Siinse projekti raames analüüsiti kaugseire kasutamise võimalusi kaugseire tüübi järgi: a) satelliitseire, b) aeroskannimine ja c) drooniseire. Võimalikud kasutusjuhud on jagatud kahte suuremasse gruppi ja esitatud tabelis 1.

**Tabel 1.** Kasutusjuhtude klassifitseerimine (allikas: Qin jt, 2016).

	2D muutuste tuvastamine	3D muutuste tuvastamine
Andmeallikad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2D-pankromaatile/spektraalne, 2D-vektor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D-punktipilv, digitaalne pinnamudel, stereopilt, stereopanoraamid, mitmikvaatepunktiga pildid, 3D-mudel jpm</li> </ul>
Rakenduse ulatus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maa-ala madala ja keskmise resolutsiooniga kaardistus</li> <li>• Piiratud rakendusvõimekus kõrgematel resolutsioonidel, sh ehitise tasandil kasutamine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üldiselt rakendatav mistahes andmetele (erinevate resolutsioonidega)</li> <li>• Võimalus kasutada eri vaatenurkade alt</li> </ul>
Eelised	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Väga põhjalikult uuritud</li> <li>• Lihtne andmehõive</li> <li>• Lihtne kasutusele võtta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kõrgusinfot saab filtreerida valgustugevusest lähtuvalt</li> <li>• Perspektiiviga seotud moonutuste vaba</li> <li>• Mahulised erisused</li> </ul>
Puudused	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sõltub valgustatusest ja atmosfääri tingimustest</li> <li>• Piiratud vaatenurgad, perspektiivi moonutused</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ebausaldusväärne 3D-info võib kaasata tehislikku infot</li> <li>• Osaliselt endiselt kulukas andmehõive- ja töötlusmeetod</li> </ul>



Järgnevalt vaadatakse lähemalt kasutatud meetodikat, katsetamist (sh pilootuuringuid) ning nende baasil tehtud hinnanguid või soovitusi ja võimalikke rakendusvaldkondi (kasutusalasid). Esitatakse ka üldine maksumushinnang, mis jaguneb peamiselt kaheks komponendiks: a) riist- ja tarkvaraga seotud lisakulu ning b) tööjõu ja koolitusega seotud kulu.

„KAUGSEIRE“ projekti raames kasutatud meetodika sõltub kaugseire tüübist ja on lühidalt kokku võetud tabelis 2. Satelliitseire juures on esitatud põhjalik kirjanduse ülevaade koos kasutusjuhtudega (vt lisa 4). Toodud on eri ehitusega seotud rakendusala.

**Tabel 2.** Meetodika põhitüüp sõltuvalt kaugseire meetodist.

Kaugseire tüüp	Meetodika
Satelliitseire	Kasutusjuhtumite koostamine kirjanduse põhjal, nende täpsushinnangud
Aeroskannimine	Maa-ameti avaandmete (kõrguspunktid) analüüs lähtuvalt kasutusjuhtumitest
Drooniseire	Projekti käigus tehtud drooniseire rakendamine valitud katsealade näitel

Aeroskannimiseks valitud meetodika põhineb Maa-ameti jagatud kõrgusandmete analüüsil ja nende rakendamisel eri kasutusjuhtumites. Siinkohal on esitatud (vt lisa 4) nii andmetöötluse vaade (kasutusjuhtumil põhinev) kui ka nende kasutamine edasistes tööprotsessides (ennekõike projekteerija või planeerija vaatepunktist). Drooniseire jaoks valitud meetodika ja kasutusjuhud põhinevad kahel valitud katsealal, milles on vaadeldud nii ehitusprotsessi (eeldab korduvat mõõdistust) kui ka ühekordset hinnangut (ühekordne mõõdistus). Seejuures on oluline käsitleda nii andmehõive ajalist optimeerimist (fikseeritud lennuplaani kasutamine), automatiseeritud või filtritelega tuginevat andmeanalüüsi ning kogu protsessi korratavust. Erinevad meetodikad on esitatud lisa 4.

Katsetamist ja veahinnanguid on täpsemalt käsitletud drooniseire juures, kuna siin on olnud võimalik lähtuda kasutusjuhtumitele seatavatest eeldustest (nt soovitud maksimaalne täpsus). Seetõttu on katsetatud erinevaid drooniseire lennuprogramme (sh erinevat lennukõrgust). Projekti käigus tehtud mahuka mõõdistusperioodi kokkuvõttena on leitud, et valitud droonitehnoloogia kasutamisel on võimalik saavutada ruumiline täpsus alla 3 cm (Varbla jt, 2020). Nii on selle tehnoloogiaga võimalik asendada manuaalselt korraldatavaid mõõdistusteid, sest nende täpsushinnang peab olema samas suurusjärgus. Selline täpsus annab ühtlasi suurepärase võimaluse koostada drooniseirest saadud piltide põhjal 3D-mudeleid, mida saab võrrelda projektimudelitega (ehitusinfo modelleerimine, digitaalne kaksik), ja seda konkreetsel ajahetkel.

Kaugseire kasutusjuhud ehitussektoris on toodud nii mahuka kirjanduse ülevaate kui ka katsetamise tulemusena (lisa 4). Esmalt tuleb aga kasutusjuht täpsustada. Nii jagunevad kasutusjuhud kahte suurde gruppi: a) 2D muutuste tuvastamine ning b) 3D muutuste tuvastamine. Ehitusprotsessi tähenduses on kõige suuremat tulu loota sellest, kui kaugseire mõõdistusi tehakse järjepidevalt, sõltumata sellest, kas soovitakse 2D- või 3D-rakendust või -tulemust. Konkreetsemad soovitusel on peatükis 4 ja lisa 4.

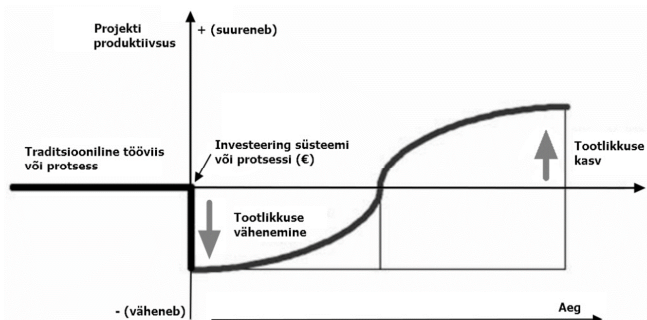
Antud projekti tulemid on toodud prototüüpidega kaugseire efektiivsemaks rakendamise ehitussektoris ja seega tekib sünergia e-ehituse 3D-kaksiku arendamise projektiga (<https://eehitus.ee/timeline-post/e-ehituse-3d-kaksiku-arendus/>). Seostamisel ehitusregistri teenustega on vaja konkreetne, kaugseirest saadud (modelleeritud) objekt siduda näiteks

geograafilise koordinaadi ja/või ehituse ühtse klassifitseerimise süsteemi (CCI) koodiga. et näiteks omavalitsuse tasandil ei tekiks dubleerimist.

Selleks, et saada ligikaudne maksumushinnang, on sarnaselt paljude teiste sektoritega ka ehituses vaja analüüsida investeeringu tasuvust. Investeeringu tasuvus ei ole pelgalt tehnoloogia kasutuselevõtu maksumus (st riist- ja tarkvara kulu), vaid sõltub ühtlasi sellega kaasnevast efektiivsuse kasvust, kuid ka ümberõppimise vajadusest. Iga ettevõtte, kes soovib muutuda, peaks esmalt tegema ülevaate oma senistest tööprotsessidest ja leidma need kohad, mida oleks võimalik optimeerida. Lisaks peaks olema huvi analüüsida, mis olid lõppenud projekti kitsaskohad ja millise investeeringu kaudu saaks seda parendada. Lihtsustatult võtavad investeeringu tasuvuse kokku joonisel 11 toodud graafik ja valem.

$$\frac{\left( B - \left( \frac{B}{1 + E} \right) \right) \cdot (12 - C)}{A + (B \cdot C \cdot D)} * 100 = ROI(\%)$$

A	6000	Riistvara/tarkvara kulu (€)
B	4200	Tööjõukulu ühe kuu kohta + 30-40% töötajaga seotud boonused, ülekulud (€)
C	3	Koolitusele kuluv aeg (kuudes)
D	0.5	Tootlikkuse vähenemine koolituse tõttu (%)
E	0.25	Tootlikkuse kasv peale koolitust (%)



**Joonis 11.** Investeeringu tasuvus (ingl return on investment, ROI) lähtuvalt lisakulust (riistvara tarkvara/teenuse soetus maksumus), produktiivsuse langusest (koolitusele kuluv aeg võrrelduna muud töökohustused).

Kuigi joonis 11 kirjeldab väga lihtsat arvutust, annab see siiski hea ülevaate, mis võiks olla investeeringu ühe perioodi tasuvus, kui tehakse kindlas mahus kulutusi (nt drooni või tarkvara soetamine või rent). Joonisel toodud suurused ei ole fikseeritud, vaid esindavad konkreetset ettevõtet või asutust, kes peaks need tööprotsessid ellu viima. Seetõttu on kõik arvud vabalt muudetavad, sõltudes samas sellest, millist kulutust ollakse valmis tegema ja mida turg praegu (mis hinnaga) pakub. Näiteks võib riist- või tarkvara kulu juures arvestada nii drooni renditeenuse kui ka soetusmaksumusega (sõltub kasutusjuhtumist). Kui soovida täpsemaid mõõdistusi, võiks drooni arvestuslik kulu (väljaostmisel) olla 4000 eurot, millele lisanduks tarkvara aastane kulu või rent 2000 eurot. Kokku oleks kulu seega 6000 eurot. Joonisel toodud arvude põhjal saab öelda, et tootlikkuse kasv aastas on 61%, mis kumuleerub perioodi jooksul ühes ümberõppe ning uute projektide ja töökohustuste tulekuga.

## 2.5. Sademete täppiskaardistamine

Hea ajalis-ruumilise lahutusega sademevälju oli „KAUGSEIRE“ projekti käigus tarvis nii selleks, et satelliitkaugseire signaali põllumajandussüsteemide arendamisel täpsustada, kui ka võimalike üleujutuste prognoosis. Eelkõige aga olid täpsed sademeväljad vajalikud tuleohukaartide koostamisel. „KAUGSEIRE“ meteoroloogia alamteema raames töötati välja Eesti oludesse sobiv sademete täppiskaardistamise meetodika. Peamised andmeallikad olid KAURi sademejaamade ja Sürgavere radari andmed aastate 2013–2019 (v.a 2017) kohta. Analüüsiti meetodikat, andmete ja tulemi täpsust ning edasise arenduse võimalusi. Praegused satelliitide instrumendid annavad Eesti laiuskraadi kohta täpissademevälju kõige sagedamini kord paari päeva jooksul. Selline ajavahe aga pole eelmainitud rakendusteks piisav, mistõttu lähtume parimast kättesaadavast maapealse kaugseire tehnoloogiast, lõimides ilmaradari ja maapealsete sademejaamade vaatlused.

Kaksikpolarimeetrilised ilmaradarid on maapealse kaugseire kõige pikemaajaliselt arendatud tehnoloogia, mis võimaldab saada kõrglahutuslikke sademevälju (1 km ruumilise sammuga ja skannimisstrategiast sõltuvalt kuni paariminutilise ajalise sammuga). Radar registreerib

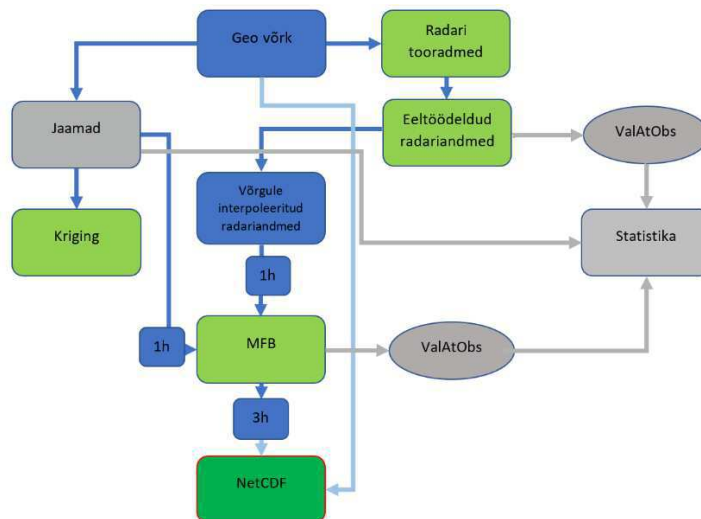
tagasipeegelduvusi atmosfäärist ja aluspinnalt ning selle signaali kaudu saadud kvantitatiivseid sademeandmeid on mõistlik korrigeerida tegelike maapeal mõõdetud sademehulkadega. Sademväljade kvaliteet sõltub mitmest tegurist, millest olulisimad on radari tehniline korrasolek, välja mittemeteoroloogiliste häirituste olemasolu, aga ka maapealsete meteojaamade arv. On mitu algoritmi, mille abil sadememõõtjate ja radari andmed kokku liidetakse, kasutades ära mõlema instrumendi tugevusi ja kompenseerides nõrkusi. Kuigi kasutusvalmis meetodid on olemas, on neist kõik välja töötatud konkreetsetes geograafilises piirkonnas ja konkreetsete omadustega radarit arvestades. Eesti ala kohta polnud varem selliseid uuringuid tehtud. Goudenhoofdt ja Delobbe (2009) leidsid, et iga lõimimistehnoloogia kasutamine parandas sademeprodukti ainult radariandmete kasutamisega võrreldes, samas kui kõige lihtsamad lõimimismeetodid tõid kaasa produkti suurima paranemise. Teisalt esitab iga keerukam meetod kasutatavate andmete kvaliteedile ka lisanõudeid.

Metoodika väljatöötamiseks viidi kõigepealt läbi sademejaamade andmete eeltöötlus ning kvaliteedikontroll. Eestis on umbes 50 punktis KAURi sademejaamad ja lisaks mitu teist meteojaamade võrku, kus samuti sademeid mõõdetakse. Kuid kõnealuseks ülesandeks on tarvis kontrollitud kvaliteediga sademesummasid, mistõttu teised võrgud välistati ja lähtuti ainult KAURi jaamade andmetest. Jaamade geograafilistes asukohtades leiti radariandmete sademesummad  $R$  (mm/h), kasutades 15-minutilise sammuga mõõdetud radarvälju. Saadud tunnisummad on võrreldavad maapealsete jaamade omadega. Kaks andmehulka lõimiti keskmise kõrvalekalde meetodiga (ingl *mean field bias*, MFB). Kogu ruumiline radari sademeväli korrutati iga ajahetke jaoks radariandmete ja jaamade summade suhtega (siinse metoodika puhul tunni jaoks, mis tuleneb jaama andmete ajalisest lahtusest). Kui erinevuste suhe on võrdne ühega, siis langevad andmed ideaalselt kokku ja radari sademevälja ei parandata.

Maapealsete jaamade mõõtmistulemustega võrreldes radar enamasti alahindab sajukoguseid, mistõttu keskmise kõrvalekalde meetod üldiselt tõstab radari sajukoguseid. Keskmise kõrvalekalde meetodi abil on andmetes võimalik vähendada erineva iseloomuga probleeme, näiteks radari tehnilise kalibratsiooniparameetrite kõrvalekaldeid või sajuhulkade arvutamisel kasutatud ligikaudsete koefitsientide mõju (Goudenhoofdt ja Delobbe, 2009). Saadud parandatud tunniandmed summeeriti kolmetunnisteks sademesummadeks, mis on tuleohu indeksite arvutuste alus. Üldisem plokk skeem andmete tööstlusest ja etappidest on toodud joonisel 12.

Andmete tööstlusmetoodika mõju hinnati statistiliselt kõikide jaamade võrdluses viie kuu (maist augustini) arvestuses, mil enamik pilve sademetest on vedelas faasis. „KAUGSEIRE“ projektis kasutati andmeid vaid Sürgavere radarist, millel on Mandri-Eesti suhtes parem asukoht ja võrreldes Harku radariga vähem kiirguslikke häireid. Kasutati vaid  $0,5^\circ$  ehk kõige madalama skaneerimisnurga väljundit.

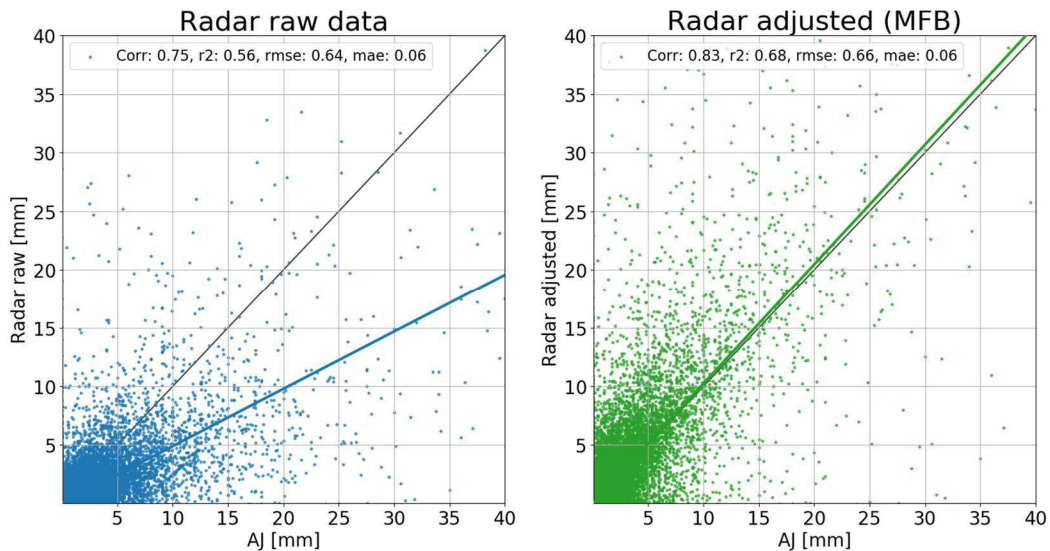
Maapealsete automaatsete sadememõõtjate andmed pärinevad Riigi Ilmateenistuse vaatlusvõrgu jaamadest. Lõplikult jäid kasutusse vaid 36 jaama andmed, sest meetodi verifitseerimise perioodi jooksul (2010–2018) oli jaamu, mis suleti, ja jaamu, mis avati. Selliste jaamade aegrida polnud siinseks uuringuks piisavalt pikk. Maapealsete jaamade sademesummasid kasutati ühetunnise sammuga, sest vaid neile tehti kogu perioodi kohta kriitiline kontroll, mistõttu nende usaldusväarsus on suurem kui ühe või kümne minuti toorandmete puhul. Radariandmete kasutamisele eelnes eeltöötlus, et eemaldada häiretena ilmnevad tugevate peegelduvusväärtustega kiired. Edasise tööstluse käigus saadi lahti ruumiliselt väikestest mõõtmisvigadest, kus kõrvuti on mõni üksik piksel. Atmosfääris on väga väikeste sajualade tekkimine ebarealistlik, mistõttu käsitletakse selliseid mõõtmisandmeid mürana. Tehniline kirjeldus on toodud lisa 5.



**Joonis 12.** Radari ja maapealsete sademejaamade andmete töötlemise skeem.

Tulehukaartide loomisel kasutati 24 tunni sademesummasid, ning see on hea, sest pikemaajaliste akumulatsioonide puhul on korrelatsioon jaama ja radariandmete vahel kõrgem (joonis 13). Keskmise kõrvalekalde meetodi negatiivne omadus on, et sademvälja korrigeeritakse kogu andmematriksi kohta. Selle meetodiga saavutatakse parimad tulemused laussaju olukorras. Kui sajab mõõdukalt üle väga suure ala, siis saadakse radariandmete korrigeerimiseks suurem kogus valiidsid andmepaare ning välditakse suuri vigu. Olukord on probleemne, kui radarist väga kaugel esineb hoogsadu. See tähendab, et radar näeb rünksajupilve ülemist osa, kus peegelduvusväärtused võivad olla nõrgemad, kui oleksid sama sajupilve alumisest osast. Maapinnal võib aga taoline kõrge rünksajupilv väga tugevat sadu põhjustada. Sellest lähtuvalt võib tekkida väga suur keskmise kõrvalekalde koefitsient ning selle n-ö eksliku andmepaari põhjal korrigeeritakse kogu radarimatriksit liiga palju.

Siinse projekti eesmärk polnud mitte süvitsi andmete eeltötlust arendada, vaid kaks andmehulka lõimida, mistõttu on eeltötlus hoitud võimalikult lihtsana. Eesti hõre sademejaamade võrgustik toob pakutud meetoditele lisakatsumusi, sest meetodite valideerimine mõjutab sõltumatute andmete hulka (Voormansik jt, 2017). Teiste riikidega võrreldes on sademejaamade arv ruutkilomeetri kohta väga väike. Belgias MFB meetodi rakendamiseks tehtud uuringus (Goudenhoofdt ja Delobbe, 2009) lähtuti radari maksimaalsest ulatusest (120 km), kuhu sisse jäi 110 maapealset sademete mõõtmisjaama. See tähendab ühte jaama 135 km<sup>2</sup> kohta. Meie uuringus oli vaid üks jaam 1000 km<sup>2</sup> kohta ning vaatlusvõrgu andmete maksimaalseks rakendamiseks tuli kasutada radari kogu ulatust (250 km). Selliste tingimustega oli meil kasutada vaid 36 jaama. Selles, et saada radariandmetest sajakoguste täpsed kvantitatiivsed hinnangud, on andmete eeltötlusel suur roll. Seetõttu vajab eeltötlus tulevikus rohkem tähelepanu. Sellekohased soovitusel on lisa 5.



**Joonis 13.** Radari ja maapealsete sademejaamade kolme tunni sademesummade võrdlus. Vasakul toorandmed, paremal MFB meetodiga töödeldud andmed 2013.–2018. aastal, v.a 2017.

### 3. Kaugseire jätkusuutlik rakendamine Eestis

Kaugseire valdkond on arenenud tormiliselt. Selle üks põhjus on kosmosetehnoloogia kiire edendamine (sh suure ruumilise ja spektraalse lahutusega instrumendid) ja eraettevõtluse sisenemine valdkonda. Teiseks on arengut soodustanud asjaolu, et suured andmehulgad on tehtud Copernicus programmi raames tasuta kättesaadavaks. Nii on avanenud palju võimalusi ka uute rakenduste loomiseks. Lisaks konkreetsetele prototüüpidele töötati „KAUGSEIRE“ projekti käigus välja kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava (lisa 6). Kava koostamise eesmärk oli pakkuda võimalusi kaugseire andmete kasutamiseks ja uute rakenduste väljatöötamiseks ning aidata seeläbi tõsta avaliku sektori asutuste funktsionaalsust ja võimekust nende ees seisvaid ülesandeid efektiivsemalt lahendada. Enamgi veel, toetudes saadud tulemustele, pikaajalisele TA-kogemusele kosmose valdkonnas ning rahvusvahelisele koostööle ESA ja Copernicus programmi raames, võeti sihiks teha ettepanekuid kaugseire süsteemseks rakendamiseks Eestis.

Kavasse on koondatud soovitud ministriumidele. Soovitud on esitatud valdkondade kaupa, lähtudes prioriteetsetest arengusuundadest Eesti tipp tehnoloogias, ning TA-tegevuse kompetentsidest. Ideekorje alusel pakutakse edasisteks uuringuteks 43 kõrge prioriteediga teemat. Jätkusuutliku kava koostamiseks tegi CGI ESTHubi analüüsi (lisa 7). Projekti ärilise teostatavuse uuring telliti suure kogemusega konsultatsioonibüroolt Tech & Space ja see on esitatud lisa 8. Uuringu konkreetsed eesmärgid olid:

- (1) selgitada välja, kes pakuvad Euroopas siinsete arendussuundade raames loodud prototüüpidele analoogseid rakendusi, ja kirjeldada edulugusid;
- (2) selgitada välja tegurid, mis siinsete arendussuundade raames loodud prototüüpide kommercialiseerimist eri kasutusjuhtude puhul toetavad ja piiravad;
- (3) analüüsida arendussuundade raames loodud prototüüpide kasusid lõppkasutajatele.

Kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava koosneb kuuest peatükist.

1. Sissejuhatus, kus antakse ülevaate kaugseire seotusest eri valdkondade poliitikaga.
2. Kaugseire tehnoloogilise arengu suunad, seejuures näidatakse Eesti võimekust nendesse panustada.
3. Copernicus programm ja avaandmed, kusjuures Eesti tähtsündmus on ESTHubi rajamine Maa-ameti juurde.

4. Kaugseire teaduspõhiste rakenduste juurutamine, keskendutakse teaduse, avaliku ja erasektori koostöö iseärasustele selle keeruka valdkonna tingimustes.
5. Edasised kaugseire prioriteetsed uuringusuunad, mis esitatakse ministeeriumide kaupa ja on varustatud 43 detailise lisaga.
6. Soovitused kaugseire jätkusuutlikuks rakendamiseks Eestis.

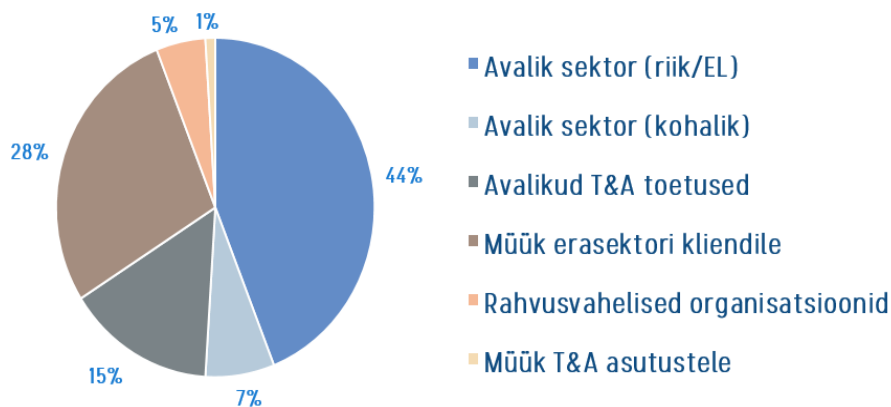
### 3.1. Kaugseire seos riigi poliitikasuundadega

Vajadusest, et ESA liikmelisusest ja ELi 2018. aastal käivitatud kosmoseprogrammist (ELi kosmoseprogramm, 2018) tõuseks maksimaalne kasu nii Eesti riigile kui ka ettevõtlikele ja ühiskonnale üldiselt, kinnitati aprillis 2020 majandus- ja kommunikatsiooniministri käskkirjaga Eesti kosmosepoliitika ja -programm 2020–2027. See seab sihiks valdkonna tegevused riigis strateegiliselt planeerida ja koordineerida ning on tihedalt seotud Eesti eesmärkidega ESAs ja ELis.

Kaugseire rakenduste väljatöötamisel on Eesti kosmosepoliitikas ja -programmis esile toodud vajadus arendada maapealset taristut, rakendada kaugseiret riigiteenuste osana ja arendada ka kaugseire rakenduste turgu. Sellel, kui kombineerida Copernicus programmi kaugseire andmeid riigi avaandmetega ja kasutada Eesti rahvusvaheliselt tunnustatud info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (IKT) võimekust, nähakse kosmoseprogrammis suurt potentsiaali, et arendada mitmesuguseid tehisintellektisüsteeme, mis tõstavad riigi e-teenuste info ajakohasust ja otsuste kvaliteeti (Eesti tehisintellekti aruanne, 2019).

Et neid eesmärke saavutada, nähakse vajadust lihtsustada ligipääsu andmetele ja teenustele ning toetada kõrge ekspordipotentsiaaliga pilootprojektide elluviimist. Riigil on oluline roll olla teenuste esimene rakendaja ja toetada asjakohaste võimaluste väljaarendamisega mitmekülgset ka ettevõtteid. Eesti teaduse, arendustegevuse, innovatsiooni ja ettevõtluse arengukava 2021–2035 (TAIE, 2020) kohaselt on eesmärk Eesti teaduspõhine areng, mis toetub kõrgetasemelisele teadusele ning ettevõtete teadusmahukatele toodetele ja teenustele.

Eesti satelliitkaugseire turu areng on väga tugevalt seotud ESA ja ELi liikmelisusega ning Copernicus programmist tulenevate võimalustega. Nii on see ka enamikes teistes riikides, kus kaugseire ettevõtlus alles areneb. Eesti satelliitkaugseire ettevõtete (SKE) tehniline võimekus on suurel määral välja arendatud arendusprojektide toel, mida on finantseeritud ESA Euroopa koostööriikide kava (PECS) raames. Pikaajalise kogemuse ja rahvusvaheliselt kõrge tasemega Eesti TA-asutused on olnud selles protsessis SKEdel olulised partnerid. Eesti satelliitkaugseire valdkonna juhtivad ettevõtted, kes on ellu viinud mitu ESA ja ELi projekti, on AS Reach-U, AS Datel, AS CGI Eesti, OÜ Ruumab ja OÜ KappaZeta. Satelliitkaugseire andmeid teenuste pakkumiseks töötlevad või plaanivad aktiivsesse kasutusse võtta ka AS Proekspert, AS Milrem ja OÜ Krattworks. Satelliitkaugseire väärtusahelas suudavad lisandväärtust pakkuda OÜ Guardtime, rakendades plokiahela tehnoloogiat kaugseire andmete terviklikkuse tagamisel, ja OÜ LDI Innovation veekeskonda iseloomustavate *in situ* andmete kogumisel. SKEdel äritegevus on väga suures sõltuvuses avaliku sektori tellimustest ja finantseerimisinstrumentidest (joonis 14).



**Joonis 14.** Satelliitkaugseire valdkonna SKEd'e äritulude struktuur kliendigruppide lõikes (Eerme 2018).

Eesti kaugseireturu arengule on avaldanud positiivset mõju ESA äriinkubaatori (ESA BIC Estonia) loomine 2017. aastal Tartu ja Tallinna teadusparkide juurde koostöös ülikoolide ning Tartu ja Tallinna linnavalitsustega. ESA BIC Estonia tegevus toetab nii alustavate ettevõtete äriarendustegevust ja finantseerib ettevõtteid kui pakub ka eelinkubatsiooniteenuseid äriideed arendavatele meeskondadele. Lisaks arendab ESA BIC Estonia projektipõhist võrgustikku, mille eesmärk on edendada koostööd teadusrühmadega (nt kaugseire valdkonnas Interregi „BalticSatAppsi“ projekt). Uute ideede genereerimiseks ja noorte kaasamiseks on Eestis asendamatud näiteks mitmesugune õppetöö ja kraadiõpe kõigis suuremates ülikoolides ning kosmosevaldkonna programmeerimismaratonide korraldamine, sh regulaarselt toimuvad Garage48 kosmosetehnoloogia häkatonid, rahvusvahelised ActInSpace'i häkatonid ja NASA häkatonide seeria Space Apps Challenge.

### 3.2. Kaugseire tehnoloogilise arengu suunad

Kaugseire kasutamise eelis on võimalus saada infot suurtelt aladelt, samal ajal, ühesuguse meetodi ning tiheda ajalise sammuga. Näiteks võib uurimislaeva päev merel maksta kümneid tuhandeid eurosid, päevas saab teha mõne üksiku mõõtmise ja hilisemad veeproovide analüüsid võivad võtta kuid. Satelliidipildilt saab uurida vee parameetreid suurel alal (näiteks kogu Läänemere), samal ajal ning iga päev ja paljudel juhtudel (näiteks Copernicus programm ja Landsat seeria satelliitide andmed). Pilt ei maksa kasutajale midagi. Konkreetse kaugseiresensori valik sõltub eelkõige uuritavast probleemist.

Droonide, lennukite ja suure ruumilise lahutusega kommertsatelliitide piltidelt saab teha palju erinevaid ja väga detailseid mõõtmisi. Samas võib suurte alade uurimisel selliste andmete hind osutuda ebamõistlikult kalliks. Teisalt, nii sensorite kui ka nende kandurite tehnoloogia areneb kiiresti. Seetõttu on väga oluline olla pidevalt kursis, millised tehnoloogilised võimalused avanemas on. Uute meetodite operatiivne kasutuselevõtt võimaldab riigiasutustel säästa aega ja raha ning ettevõtetel hõivata uusi turge. Kuna satelliidimissioonide ettevalmistamine on nii kallis kui ka aeganõudev, siis viiakse ambitsioonikaid projekte ellu suurte rahvusvaheliste ühisprojektide kaudu.

### 3.3. Copernicus programmi andmed ja ESTHub

ESA ja EL töötavad ühisalgatuse Copernicus arendamisel välja järgmise põlvkonna Maa vaatlusmissioone. Enamik varasemaid satelliite olid ühekordsed teaduslikud eksperimendid. Need võimaldasid katsetada uusi tehnoloogiaid ja meetodeid, kuid missiooni lõppedes kadus võimalus neid meetodeid igapäevaelus rakendada, sest järgmise vajalike parameetritega satelliidi üleslennutamine võis aega võtta aastaid või aastakümneid (või üldse mitte juhtuda).

Copernicus programmi edasiarendamiseks (Copernicus 2.0) on koostöös ESAga ettevalmistamisel uued prioriteetsed missioonid. Tänu ESA ja EUMETSAT koostööle on Euroopal meteoroloogiliste satelliitide võrgustik, mis on kättesaadav ka Eestile. Nendelt satelliitidelt saadud teavet kasutatakse nii igapäevaste ilmaprognooside koostamisel kui ka kliimamuutuste mõistmiseks. Programmi „Living Planet“ raames on ESA eesmärk tagada Euroopas Maa seire sõltumatus ja jätkusuutlikkus, sest seda ei suuda paraku ükski riik iseseisvalt saavutada.

Euroopa kaugseirevõimekus peab vastama operatiivteenuste nõuetele, mis toetavad nii institutsioonilisi vajadusi kui ka ärilisi algatusi. Kuna kõik liikmesriigid peavad sellesse ühiselt ka panustama, siis on Eesti jaoks kriitilise tähtsusega omada nii põhjalikku teadmist uudetest tehnoloogilistest võimalustest kui ka jätkusuutlikku plaani, kuidas neid ka Eesti heaks kasutada.

Eesti satelliidiandmete keskus ESTHub loodi 2019. aastal. „KAUGSEIRE“ projektis pöörati tähelepanu sellele, et leida arendatavate prototüüpide ja ESTHubi vahel kokkupuutepunkte ning kasutusvõimalusi. Tihe koostöö ESTHubiga on vajalik, et uuringu tulemusi efektiivsemalt rakendada. Kaugseire andmeid kasutavad rakendused vajavad enamasti väga suuri andmehulki ja arvutusvõimsusi. ESTHub pakub nii era- kui ka riigisektorile võimalust satelliidiandmeid kiiresti ja tasuta alla laadida. Võrreldes Copernicus Open Acces Hubiga saab ESTHubist andmeid alla laadida umbes kümme korda kiiremini. ESTHubi peamine ülesanne on pakkuda ühtset riiklikku platvormi, et satelliidiandmeid otsida, alla laadida ja töödelda. Avalikule sektorile on ESTHubi teenused tasuta ja erasektoril on võimalik kasutada kuni 20% ESTHubi klasteri maksimaalsest võimekusest. Seega on ESTHub keskkond, kus ettevõtted saavad oma ideid valideerida ja neid seejärel äris rakendada (sellekohane analüüs on esitatud lisa 7).

Soovitused, millega tuleks ESTHubi kui teenuse kasutamisel ja edasiarendamisel arvestada, on toodud peatükis 5. ESTHubil on suur potentsiaal saada peamiseks kohaks, kus riigiasutused satelliidiandmeid töötlevad ja uusi innovaatilisi teenuseid loovad. See looks Eesti ettevõtetele olulise kogemuspagasi, et oma digitaalsete teenustega ka rahvusvahelistel turgudel konkureerida. Koostöö valdkonnas edukate ja juba välispartneritega võrgustunud teadusrühmadega kiirendaks teaduspõhiste rakenduste juurutamist.

### 3.4. Kaugseire teaduspõhiste rakenduste juurutamine

Teadmussiire ühiskonda on pikaajaline protsess, mille igal lülil on oma roll ja toimimise aeg (Leydestoff, 2016). Kaugseire puhul on tegemist väga keerukate ja kõrget tehnoloogilist taset nõudvate protsessidega, mis tõukuvad otseselt tänapäeva ühiskonna ees seisvatest proovikividest ja kiiresti muutuvast poliitiliselt olukorrast (joonis 15). Seetõttu on avaliku ja erasektori ning akadeemilise kogukonna vastastikku motiveeriv koostöö esmatähtis. Eesti-suguse väikeriigi puhul on kriitilise tähtsusega, et arvesse võetaks piiratud inimvara ja rahalisi võimalusi. Dubleerimisest tuleks hoiduda, kuid toetuda ka varem tehtud töödele ning luua konkurentsi asemel rohkem sünergiat, kus see on võimalik.



## Tehnoloogiline võimekus Teadus ja innovatsioon



Teadlikkus ja haridus

Ühiskonna vajadused

**Joonis 15.** Skeem: teadmistemahukate kaugseiretulemite juurutamine ühiskonna eri vajaduste rahuldamiseks.

Satelliitkaugseirega seotud uurimisrühmad TÜs ja TalTechis on olnud silmapaistvalt edukad ELi teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammide projektikonkurssidel, teistes arendustöö edendamiseks loodud piiriülestes meetmetes ning struktuurifondide meetmetes. Praegu on Eesti teadusinfosüsteemi ETISE andmetel käimas üle 20 teadus- ja arendusprojekti, mis näitavad Eesti teadusrühmade kõrget konkurentsivõimet ning mille tulemused loovad aluse lähimate aastate rakendusuuringuteks ja innovatsiooniks. Mitu uurimust on tehtud ESA lepingute abil. Kuigi need ei ole otseselt lähtunud riiklikest rakendusvajadustest, on need suurendanud Eesti ettevõtete kogemusi ja rahvusvahelist nähtavust. Kompetentsidega on kaetud peaaegu kogu kaugseire tegevusahel: satelliittehnoloogia loomine, andmete kogumine kosmosest ja maa pealt, algoritmide arendamine, suurandmete töötlemise tehnoloogiad, sellekohase hariduse pakkumine ja teavitustegevus. Paraku viiakse neid tegevusi enamasti ellu lühiajaliste ja väikesemahuliste lepingute kaudu, mille jätkutegevusi on keeruline planeerida. Kaugseire valdkonnas tuleks leida rohkem võimalusi rakendada tehisintellekti, et luua mitmesuguseid mudeleid, aga ka intuiivselt mõistetavaid väljundeid.

Kui satelliitkaugseireprodukte arendataks operatiivteenusteks innovatsiooni edendavate riigihangete kaudu, annaks see Eesti satelliitkaugseire kogukonnale kõnealusel valdkonnas tugeva arenguimpulsi, kasvataks nii ettevõtete kui ka teadusrühmade rahvusvahelist konkurentsivõimet ja suurendaks avalike teenuste efektiivsust.

### 3.5. Kaugseire edasised prioriteetsed suunad Eestis

Kaugseire hõlmab väga erinevatel platvormidel (satelliidid, lennukid, droonid, laevad, poid jne) olevaid sensoreid, mis kasutavad elektromagnetkiirguse eri osi (nt nähtav valgus, mikrolained, infrapunakiirgus). Seetõttu on potentsiaalseid kaugseire rakendusi eri ministeeriumide haldusalades palju. Kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava koostamisel koguti Eestis kaugseirega tegelevatelt uurimisrühmadelt ettepanekuid. Esitatud uuringusuunad on väga erinevas arengustaadiumis. Mõnel puhul on vaja analüüsida ja katsetada, kui suure täpsusega konkreetne meetod Eesti oludes töötab, ning seejärel valmistada ette vajalik kasutajaspetsiifiline tarkvara, mis võimaldaks asjakohast kaugseire teenust operatiivselt kasutusele võtta. Paljud pakutud uued suunad vajavad lisaks rakendusuuringut ja töötavat prototüüpi. On ka neid, mis eeldavad esmalt teadusuuringut ning metoodika on võimalik välja töötada alles pärast seda.

Lisa 6 ühtse struktuuriga tabelites on kõik pakutud ettepanekud detailsemalt lahti kirjutatud. Tabelid sisaldavad töö eesmärki, nende ministeeriumide ja ametite loetelu, kelle haldusalasse konkreetne probleem peaks kuuluma, töö seotust poliitika ja arengukavade ülesannete täitmisega ning lühikest sisukirjeldust. Kõik uuringuteemad on varustatud kontaktisikute nimede ja nende e-posti aadressidega, et võimaldada ministeeriumide esindajate kiiret otsesuhtlust uuringute autoritega.

Eesti teadlastel on keskkonnaseire vallas aastakümnete pikkused kogemused ning maailmas hinnatud kõrge kompetents. Seepärast ei ole üllatav, et suur osa pakutud prioriteetsetest uuringusuundadest on kas otseselt või kaudselt seotud KeMi haldusalas olevate tegevustega, mis puudutavad nii maismaa ja taimkatte, siseveekogude, mere, atmosfääri kui ka kliima kaugseiret. Tasuta kättesaadavad andmed, tehisintellekt ja masinõppe meetodite rakendamine mitmesuguste mudelite arendamisel loovad tuleviku kaugseire rakenduste tuuma.

Ka põllumajanduses on väga palju võimalusi erisuguseid kaugseire meetodeid ja sensoreid kasutada. Kaugseire abil saab optimaalsemalt planeerida ja seirata põllumajanduse (sh sinimajandus, rohemajandus) protsesse ja rolli süsinikuringes ning hinnata potentsiaalset mõju, mida avaldavad neile kliimamuutused. Kaugseire toel on võimalik teha Eesti põllumaade viljakuskaart, täpsustada turvasmuldade levikut Eestis, toetada täppisviljelust ning seirata nii taimekahjureid ja -haigusi, tolmendajaid, taimestiku stressi kui ka ökosüsteemide seisundit ja elurikkust. Samuti võimaldab kaugseire kaardistada maastikumuutusi ja hinnata ökosüsteemi teenuste dünaamikat. Drooniandmete põhjal on võimalik toetada põllumajanduse keskkonnakavasid ja rajada põllupõhine fenotüüpimissüsteem. Kaugseire abil saab jälgida maaparandussüsteemide tehnilist seisundit, kaardistada nii reaajas kui ka tagasiulatuvalt liigniiskusest ja põuast mõjutatud alasid, seirata soode niiskusrežiimi ja uurida ekstreemsete ilmaolude mõju põllumajandusele.

Lisaks MKMi kui Eesti kosmoseministeeriumi toetamisele ELi kosmoseprogrammi elluviimisel ja Copernicus programmis osalemisel on kaugseirel pakkuda ka otseseid teenuseid, et riik efektiivsemalt toimiks. Mitu neist on seotud loodusressursside ja nende hindamisega. Näiteks on võimalik hinnata päikese- ja tuuleenergia potentsiaali Eestis, antropogeense süsihappegaasi emisiooni, maastikumuutusi ja ehitusmaavarade mahtusid ning toetada metsade tootlikkuse ja kasutamise seotud tegevusi. Masinõppimise ja droonide abil saab automaatselt ehitisi tuvastada. Merel ja mererannikutel on vaja kasutada kaugseirel põhinevaid operatiivokeanograafia teenuseid, et tagada laevanduse, turismi ja vesiehitiste ohutus, ning mitut muud merega seotud teenust, et seal majandustegevust ja turismi planeerida.

SiseMi haldusala tegevuste toetamise kaugseire abil võib jagada kaheks laiemaks suunaks:

- 1) merealade ja maismaa ruumiline planeerimine;
- 2) operatiivteenused.

Merealade ruumilisel planeerimisel on oluline teada vee sügavust ja merepõhja taimestikku. Madalad (alla 4–5 meetri) Eesti merealad on viimati kaardistatud aastal 1953 või enne seda. Sellised alad on hüdrograafialaevaga ligipääsmatud ning ka väiksemate alustega on rändrahne ja madalike täis vees keeruline opereerida. Mitu ametit (Veeteede Amet, Politsei- ja Piirivalveamet, Päästeamet) vajavad oma ülesannete täitmiseks operatiivse okeanograafia teenused, mida saab kaugseire andmetele tuginedes pakkuda. „KAUGSEIRE“ projekti raames arendati välja kaugseirel põhinev veetaseme ja mereprognoside teenuse prototüüp, mille saab lähiajal arendada edasi rutiinselt toimivaks teenuseks. Teised väljatöötatud teenuse prototüübid võimaldavad operatiivselt seirata üleujutusi ja hinnata maastike tuleohtu.

Eestis on väga erinevates valdkondades olemas kõrgelt kvalifitseeritud kaugseire spetsialistid, kes suudaks pakkuda nii Kaitseministeeriumile (KaitseM) kui ka kaitsejõududele tuge nende ülesannete täitmisel. Seda saaks teha nii Eesti kaitsevõime parandamisel kui ka välismissioonide toetamisel.

Näiteks võimaldab merepõhja tüübi ja vee sügavuse kaardistamine madalatel merealadel paremini planeerida rannakaitset või eri veekogude kallastel toimuvaid välismissioone. Kaugseire toel saab modelleerida ka taimestikuga maastike läbitavust. Mereväe tegevust toetaks operatiivokeanograafia teenus. Kasutada saab nii tasuta kaugseire andmeid (näiteks Copernicus programmi omi) kui ka parema ruumilise lahtusega andmeid. Otseselt KaitseMi tarbeks on pakutud idee rakendada kaugseire andmeid, et täpsustada kaitsetarbeliste planeeringute lähteandmeid, kuid kaudselt toetavad KaitseMi ja Eesti Kaitseväe tegevust ka mitmesugused metsaga seotud kaugseire rakendused.

Nii Rahandusministeeriumi (RahaM) kui ka Sotsiaalministeeriumi (SotsM) tegevustega haakuvad näiteks linnalise keskkonna ja inimeste tervist mõjutavate tegurite seirega seotud uurimisteemad.

Hariduslikke ja teaduslikke tegevusi kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava raames eraldi ei toodud, kuid need moodustavad oma sisult kaugseire rakenduste baasi. Teaduspõhiste rakenduste väljatöötamisel akadeemiliste institutsioonide, avaliku sektori ja ettevõtluse koostöös on reeglina nii Eesti-siseste kui ka ELi projektide puhul ette nähtud levitamise ja avalikustamise tegevused. Teadustöötajad võtavad omal initsiatiivil ja ka ametijuhendist lähtuvalt ette palju tunnustamist väärivaid teaduse populariseerimise tegevusi, süsteemselt korraldab sellised konkursse ka ETAg. 2020. aastal sõlmisid ESA ja TÜ TO külastuskeskus lepingu ESA haridustegevuste (ESERO) tutvustamiseks.

Kosmosevaldkonnaga seotud teadustegevust rahastatakse Eestis üldise konkurentsipõhise rahastuskeemi alusel. Paraku ei vasta see valdkondlikele iseärasustele (st pikaajalised ja multidistsiplinaarsed uuringud). Et rahastada Eesti kosmoseprogrammi täimiseks vajalikke alusuuringuid, tuleks välja töötada eraldi meetmed koostöös HTMi, MKMi, nende allasutuste ja ülikoolidega.

Tegevused, millede läbiviimiseks on Eestis olemas kompetents ning mida on võimalik asuda täitma lähiaegadel, on toodud järgmise loeteluna. Sulgudes on märgitud ministeeriumid ja sihtrühmad, kellele ja mil viisil tegevusest kasu oleks.

1. Eesti metsade statistilise metsainventuuri kaugseiretoe arendamine segametsade jaoks (KeM, MKM, KaitseM)
2. Kaugseire andmete kasutamise tugi metsa korraldajatele ja metsaomanikele (KeM, MKM, IT- ja metsakorralduse ettevõtted, metsaühistud)
3. Eesti metsade albeedo ja tootlikkuse mõõtmine ning seire (KeM, MKM)
4. Rannaniitude majandamise parandamine kaugseirega (KeM, Keskkonnaamet: invasiivsete võõrliikide leviku kaardistamine, maastike muutuste hindamine)
5. OCO-2 SIFi produktide kasutatavus taimestiku stressi seireks Eestis (KeM: kasvuhoonegaaside raporteerimine; MeM: põllumajandus)
6. Kaugseire tugi taimetõrjajate ja -haiguste kontrolliks (KeM, MeM, IT- ja põllumajandusettevõtted)
7. Kaugseire tugi täppisviljeluse ja mullaseire jaoks (KeM, MeM, PRIA, Põllumajandusuuringute Keskus, IT- ja põllumajandusettevõtted)
8. Satelliidiandmete põhjal maastikumuutuste kaardistamine (PRIA, MeM: põllumajanduslike maastike muutuste hindamine; KeM: maastiku sidususe hindamine (rohekoridorid), inimõju hindamine, selle muutus ajas; Statistikaamet, MKM, SiseM: linnaliste alade määratlemine, Eesti ruumilise arengu ja asustusstruktuuri suunamine, eri planeeringute sisendinfo)
9. Ressursitasude kontroll turbamaardlates, kasutades radarkaugseire andmeid (KeM, Keskkonnaamet, Keskkonnainspektsioon)
10. Mehitamata õhusõidukite (UAV) rakendused maastiku tuleohu hindamiseks (Päästeamet, Keskkonnaamet)

11. UAV kasutamine põllupõhiste suure fenotüüpimissüsteemide hindamisel (KeK, MeM, IT- ja põllumajandusettevõtted)
12. Kaugseire tugi elurikkuse säilitamiseks: tolmendajad. (KeM ja selle allasutused, looduskaitsealad ja nende planeerijad, looduskaitseorganisatsioonid, poliitikakujundajad, põllumajandusettevõtted, mesindusettevõtted)
13. Üleujutuste satelliitinfo hüdroloogisse operatiivseire teenusesse (Päästeamet, Politsei- ja Piirivalveamet, KeM, avalikkus)
14. Suurtaimestik kaldavööndis ja selle muutused Eesti järvedes (KeM: riikliku keskkonnaseire programmi siseveekogude seire allprogramm)
15. Merepõhja taimestiku seire madalas rannikuvees (KeM, SiseM, MeM)
16. Fütoplanktoni sesoonse dünaamika jälgimine kaugseire meetoditega Eesti järvedes seire paremaks planeerimiseks (KeM, KAUR)
17. Potentsiaalselt toksiliste vetikaõitsengute seire Läänemeres ja järvedes (KeM)
18. Satelliidiinfo rakendamine siseveekogude kohtseire planeerimisel (KeM, KAUR, Keskkonnaamet, veemajanduskavad)
19. EL veepoliitika raamdirektiivi ja merestrategie raamdirektiivi jaoks sobilike parameetrite sobivuse hinnang kaugseire andmete alusel (KeM, KAUR, riikliku keskkonnaseire programmi siseveekogude seire allprogramm, ELi veepoliitika raamdirektiiv)
20. Kaugseire operatiivokeanograafia teenustes (KAUR, Veeteede Amet, Politsei- ja Piirivalveamet, Päästeamet, Maa-amet, KEMIT, Merevägi, sadamad, väikelaevnikud, KeM, MKM, SiseM)
21. Veetaseme kaugseire andmed hüdroloogilise seire ja mereproгноositeenuse parandamiseks (KAUR, KEMIT, veetaseme operatiivinfot ja prognoosi vajavad ametiasutused nagu Veeteede Amet, Päästeamet, Politsei- ja Piirivalveamet, KeM, MKM, SiseM, avalikkus)
22. Vee sügavuse ja merepõhja tüübi kaardistamine madalatel rannikualadel (KeM, SiseM, KaitseM: merealade ruumiline planeerimine, Eesti merenduspoliitika, Eesti riiklik turismiarenduskava)
23. Merepõhja füüsiliste häiringute seire (KeM: Eesti mereala seire ja andmekogumise programm)
24. Veed ja randades leiduva plasti ja muu prügi seire (KeM: merekeskkonna seisundi hindamine)
25. Veekogudes leiduva mikro- ja makroprügi hulga laboratoorse hindamise meetoodika (KeM, merekeskkonna seisundi hindamine)
26. Päikese- ja tuuleenergia tootmispotentsiaal (MKM, KeM: Eesti energiamajanduse arengukava, Kliimamuutustega kohanemise arengukava)
27. Õhukvaliteedi monitooringu ja prognoosimise süsteem (KeM: keskkonnaseire programm)
28. Eesti kliima projektsioonid (KeM: kliimamuutustega kohanemise arengukava)
29. Ekstreemsete ilmaolude määramine kaugseire andmete põhjal (MeM, KeM: keskkonnaseire meteoroloogilise seire ja keskkonnaseire metsaseire allprogrammid)
30. Ökosüsteemi teenuste dünaamika hindamine (MeM: kliimamuutustega kohanemine, süsiniku jalajälg, põllumajandus- ja keskkonnameetmete tõhusam väljatöötamine ja rakendamine (RMK: uuendusriiete võimalik mõju kaitsealadele; KeM: kliimamuutustega kohanemine; Statistikaamet)
31. Antropogeense süsihappegaasi emissiooni mõõtmine (MKM, KeM)
32. Linnalise keskkonna kuumasaartest tingitud ohutegurite hindamise satelliitseire (RahaM: tiheasustusega alade üldplaneeringud; KeM: kliimamuutustega kohanemise arengukavas aastani 2030; SotsM: elanikkonna eksponeeritavus ekstreemsetele ilmatingimustele)
33. Ökosüsteemide seisundi ja elurikkuse toe kaardistamine kaugseire abil (PRIA: keskkonnasõbraliku majandamise toetuse efektiivsuse hindamine; KeM: elurikkuse seire; RMK: uuendusriiete mõju; MeM: keskkonnasõbralike meetmekavade väljatöötamine; Statistikaamet jt: ökosüsteemide seisund, nende tugi elurikkusele ja eri ökosüsteemiteenustele peab ELi elurikkuse strateegia kohaselt jõudma ka majandusarvestusse)
34. Kuumasaarte kaardistamine ja monitooring Eesti linnades (RahaM: planeeringud, linnade üldplaneeringud; KeM: kliimamuutustega kohanemise arengukava. SotsM: riskid inimeste tervisele)

35. Liigniiskete ja põuast mõjutatud alade kaardistamine reaajas ja tagasiulatavalt (PRIA ja MeM: põua- ja üleujutuskahjude hindamine, toetusmeetmete planeerimine ja kontroll)
36. Soode niiskusrežiimi kaardi koostamine ja turvasmuldade leviku täpsustamine Eesti 1 : 10 000 mullastikukaardil Sentinel-1 ja -2 andmetel (Põllumajandusuuringute Keskuse mullaseirebüroo; KAURI eluslooduse osakond; PRIA, MeM, KeM)
37. Ökosüsteemi kultuuriteenuste staatuse ja trendi kaardistamine kaug- ja sotsiaalseirega (PRIA, MeM: põllumajanduse mõju maastiku esteetilise väärtusele; RMK: maastiku omaduste ja maakatte või -kasutuse muutuste jälgimine, nende mõju kultuuriteenustele; MKM: turism)
38. Ajalis-ruumilised muutused Eesti järvedes (KeK, KAUR: riikliku keskkonnaseire programmi siseveekogude seire allprogramm)
39. Eesti põllumaade viljakuskaart Sentinel-1, Sentinel-2 ja Landsat-8 satelliidipiltide arhiivi järelanalüüsi põhjal (Põllumajandusamet: maaparandustööde investeringute täpsem planeerimine; PRIA: talunike tööd aitava andmekihina jagamine PRIA avalikul veebikaardil)
40. Maaparandussüsteemide tehnilise seisundi ja kuivendusseisundi seire (MeM: jätkusuutlik põllumajandus, toiduga kindlustatus, KeM: Kliimamuutustega kohanemine)
41. Masinnägemise (tehisintellekti) suurem rakendamine ehitusega seotud objektide automaatsel tuvastamisel kaugseire (drooni-) andmete põhjal (MKMi ehitus- ja elamuosakond)
42. Kaugseire andmete rakendamine kaitseotstarbeliste planeeringute lähteandmete täpsustamiseks (KaitseM)
43. Mehitamata õhusõidukite (UAV) ning muude kaugseire rakenduste kasutamine ehitusmaavarade mahtude määramiseks (KeM: ehitusmaavarade kasutamine, säästev areng, looduskaitse, jäätmemajandus; MKM: transporditaristu rajamine)

„KAUGSEIRE“ uuringust saadud teadmiste ning pikaajalise rahvusvahelise teadus- ja arendustöö kogemuste baasil koostatud soovitusel kaugseire jätkusuutlikuks rakendamiseks Eestis on toodud peatükis 5.

## 4. Avalikustamine ja teavitus

Projekti eesmärgist lähtuvalt on äärmiselt oluline neljas põhivaldkonnas (maastikutulekahjude, üleujutuste, põllumajanduse ja ehituse seire) väljatöötatud kaugseire andmete kasutamise võimalusi rakendada. Selle kindlustamiseks tuli tõsta avalikkuse teadlikkust ja näidata kaugseire andmete kasutuselevõttu saadavat võimalikku kasu kogu ühiskonnale. Samuti oli oluline levitada sellekohast infot teaduspublikatsioonide kaudu, saades nii oma uurimistulemustele ka tagasisidet. Pidev koostöö lõppkasutajatega (PRIA, Päästeamet, Riigi Ilmateenistus, KAUR) kogu prototüüpide valmimise perioodil andis võimaluse võtta arvesse lõppkasutajate soove ning parandusettepanekuid. Lõppkasutajate kaasatus prototüüpide valmimise protsessi jooksul suurendab nende efektiivsemat kasutuselevõttu märkimisväärselt.

Projekti vältel korraldati 11 spetsiaalset üritust, et neljas põhivaldkonnas väljatöötatud tulemusi levitada ja soodustada nende rakendamist. Üritustest võtsid osa lõppkasutajad riigiasutustest, ministeriumide esindajad, eraettevõtjad ning üliõpilased. Laiale avalikkusele esitleti „KAUGSEIRE“ projekti tulemusi Eesti 2020. aasta kaugseirepäeval, mida on praeguseks Tartu Ülikooli televisiooni UTTV kaudu vaadatud üle 800 korra (26.01.2021, üritus on järelevaadatav aadressil <https://www.uttv.ee/naita?id=30697>).

### 4.1. Teavitussyiritused

Projekti raames toimusid järgmised teavitussyiritused.

1. Seminar „Kaugseire rakendusvõimalused maastikutulekahjude vältimiseks“ (04.06.2019)
2. Rahvusvaheline kaugseire sügiskool (15.–20.09.2019)

3. Seminar „Kaugseire ehitussektoris“ (16.12.2019)
4. Laiendatud seminar „Kaugseire meie kõigi teenistuses“ (24.01.2020)
5. Veebiseminar „Veetaseme kaugseire merel ja järvedel“ (28.05.2020)
6. Veebiseminar „Droonide andmete kasutusvõimalused maastikutulekahjude situatsiooni analüüsiks ning tuletõrjumise juhtimiseks“ (07.07.2020)
7. Mõõtmised uurimislaeval Salme (5.–7.08.2020)
8. Veebiseminar „Kaugseirel põhinevad rakendused üleujutuste kaardistamiseks ja soode niiskusrežiimi seireks“ (05.10.2020)
9. Alateemade esitlused valminud prototüüpidest „KAUGSEIRE“ juhtkomisjonile (26.10.2020)
10. Eesti kaugseirepäev 2020 (05.11.2020)
11. Infopäev kaugseire põllumajandusrakendustest (11.11.2020)

Laiemale avalikkusele tutvustati kaugseire andmete kasutusvõimalusi eri valdkondades mitme meediakanali teel. Uudistesaares „Aktuaalne kaamera“ kajastati projekti tulemeid tutvustavat Eesti kaugseirepäeva 2020 aga ka projekti raames korraldatud rahvusvahelist sügiskooli, kus kaugseire rakendamise võimaluste kohta Läänemere piirkonnas omandasid teadmisi üliõpilased nii Eestist kui ka väljastpoolt. Projekti kajastati Vikerraadio saates „Uudis+“ ning Raadio Elmari saatesarjas „Maa (e)est!“. „KAUGSEIRE“ projekti teemasid käsitleti ajalehtedes Postimees, Eesti Päevaleht, Õhtuleht ja Võrumaa Teataja. Projekti tegevusi kajastati Eesti Geoinformaatika Seltsi suveülikooli raames, Nõuni haridusakadeemias ja geograafia 100. juubelikonverentsil.

## 4.2. Videoklipid

Kokku valmis projektiga seotult kaheksa videoklippi, millest neli ka ingliskeelse tõlkega. Kõik klipid on avalikult kättesaadavad.

1. Maastikutulekahjude ennetamise klipp eesti keeles: <https://www.youtube.com/watch?v=9RAaWsO-Kml>
2. Maastikutulekahjude ennetamise klipp ingliskeelsete subtiitritega: <https://www.youtube.com/watch?v=2btgr7G1gkU&t=42s>
3. Veetaseme seire klipp eesti keeles: <https://www.youtube.com/watch?v=ONKPTD-kAHc>
4. Veetaseme seire klipp ingliskeelsete subtiitritega: <https://www.youtube.com/watch?v=cWhAMCrWgts&t=50s>
5. Põllumaade seire klipp eesti keeles: <https://www.youtube.com/watch?v=yh8Vx-H6YBk>
6. Põllumaade seire klipp ingliskeelsete subtiitritega: <https://www.youtube.com/watch?v=IWaX12efhL8&t=12s>
7. Ehitustegevuse planeerimise ja järelvalve klipp eesti keeles: <https://www.youtube.com/watch?v=Oht7h75zc5k>
8. Ehitustegevuse planeerimise klipp ingliskeelsete subtiitritega: <https://www.youtube.com/watch?v=lkyX2wLrfr0&t=22s>
9. Maa-ameti LiDARi andmete analüüsist valmis Raido Puusti ettevõtmisel neljast õppevideost koosnev seeria: <https://www.youtube.com/watch?v=34KlZYqB6Zc>, <https://www.youtube.com/watch?v=miHkwXDa6Vo>, <https://www.youtube.com/watch?v=7f3rH2ZWe0A>, <https://www.youtube.com/watch?v=vHQcmVstZHE>
10. Õppevideod drooni kasutamisest ehitussektoris [https://www.youtube.com/playlist?list=PLHYYIGggRQXRbXwIWH3FnIbj7\\_chO1lrk](https://www.youtube.com/playlist?list=PLHYYIGggRQXRbXwIWH3FnIbj7_chO1lrk) (eestikeelsed videod)

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLHYYIGgRQXS4c4cpPf12Z697P98BroWk>  
(ingliskeelsed videod)

### 4.3. Teadusartiklid

Projekti käigus tehtud uuringute alusel avaldatud või avaldamiseks esitatud teadusartiklid on järgmised.

1. Hallik, L., Kuusk, A., Lang, M., Kuusk, J. (2019). *Reflectance Properties of Hemiboreal Mixed Forest Canopies with Focus on Red Edge and Near Infrared Spectral Regions*. Remote Sensing, 11(14), [doi.org/10.3390/rs11141717](https://doi.org/10.3390/rs11141717)
2. Villoslada Peciña, M., Bergamo, T. F., Ward, R. D., Burnside, N. G., Joyce, C. B., Sepp, K. (2020). *Fine Scale Plant Community Assessment in Coastal Meadows Using UAV Based Multispectral Data*. Ecological Indicators, 111, 105979, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105979>
3. Tampuu, T., Praks, J., Uiboupin, R., Kull, A. (2020). *Long Term Interferometric Temporal Coherence and DInSAR Phase in Northern Peatlands*. Remote Sensing, 12(10), p.1566. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1566>
4. Post, P., Aun, M. (2020). *Changes in Satellite-Based Cloud Parameters in the Baltic Sea Region during Spring and Summer (1982–2015)*. Advances in Science and Research, 1, 1–7, <https://doi.org/10.5194/asr-17-219-2020>
5. Varbla, S., Puust, R., Ellmann, A. (2020). *Accuracy Assessment of RTK-GNSS Equipped UAV Conducted As-Built Surveys for Construction Site Modelling*. Survey Review. doi: [10.1080/00396265.2020.1830544](https://doi.org/10.1080/00396265.2020.1830544)
6. Sipelgas, L., Aavaste, A., Uiboupin, R. (2020). *Mapping Recurrent Flooding Zone along Estonian Inland Waters from Sentinel-1 and -2, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress (2020 edition)*, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-627-2020>
7. Liibus, A., Kall, T., Rikka, S., Uiboupin, R., Suursaar, Ü., Tseng, K. (2020). *Validation of Copernicus Sea Level Altimetry Products in the Baltic Sea and Estonian Lakes*. Remote Sensing, 12(24), 4062; <https://doi.org/10.3390/rs12244062>
8. Voormansik, K., Zalite, K., Sünter, I., Tamm, T., Koppel, K., Verro, T., Brauns, A., Jakovels, D., Praks, J. (2020). *Separability of Mowing and Ploughing Events on Short Temporal Baseline Sentinel-1 Coherence Time Series*. Remote Sensing, 12, 3784, <https://doi.org/10.3390/rs12223784>
9. Tampuu, T., Praks, J., Kull, A., Uiboupin, R., Tamm, T., Voormansik, K. *Detecting Peat Extraction Related Activity with Multi-Temporal Sentinel-1 Insar Time Series*. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation (Accepted)
10. Lima, R. S., Lang, M., Burnside, N., Villoslada-Peciña, M., Arumäe, T., Laarman, D., Ward, R., Vain, A., Sepp, K. *An Evaluation of the Effects of UAS Flight Parameters on Digitaal Aerial Photogrammetry Processing and Dense-Cloud Production Quality in a Scots Pine Forest*. Remote Sensing (Submitted)
11. Andsper-Toomsalu, A., Alikas, K., Nielsen, K., Tuvikene, L. *Synergy between Satellite Altimetry and Optical Water Quality Data Towards Improved Estimation of Lakes Ecological Status*, Remote Sensing of the Aquatic Environments (Submitted)

12. Voormansik, T., Cremonini, R., Post, P., Moisseev, D. *Use of Dual-Polarization Weather Radar Quantitative Precipitation Estimation for Climatology, Hydrology and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/hess-2019-624> (In review)

#### 4.4. Teadusandmed

Projekti jooksul loodi kokku 17 andmekogu, millest suurima ja laiemale teaduskogukonnale pikaajalise väärtusega andmed on tehtud kättesaadavaks TÜ raamatukogu avatud teadusandmete repositooriumi kaudu (tabel 3).

**Tabel 3.** „KAUGSEIRE“ projekti raames tekkinud ning TÜ raamatukogu repositooriumidesse lisatud andmekogud.

Andmekogu nimi	Vastutav isik	Kontakt	DOI	Suurus
Fire Weather Index (FWI) for Estonia for growing seasons 2018 and 2019	Valentina Sagris	valentina.sagris@ut.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-256">10.23673/re-256</a>	250 GB
Integrated high-resolution dataset of Estonian precipitation 2018-2019	Jorma Rahu	jorma.rahu@ut.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-260">10.23673/re-260</a>	3 GB
Põlevmaterjali kaardid maastikupõlengute modelleerimiseks	Mait Lang	mait.lang@ut.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-262">10.23673/re-262</a>	300 MB
Üleujutuste seire	Rivo Uiboupin	rivo.uiboupin@taltech.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-266">10.23673/re-266</a>	6 GB
Feature database of Estonian agricultural parcels for crop classification (years 2018–2019)	Mihkel Järveoja	mihkel.jarveoja@kappazeta.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-261">10.23673/re-261</a>	24 GB
Drone survey raw data based on an example construction project (50 weeks)	Raido Puust	raidopuust@taltech.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-253">10.23673/re-253</a>	250 GB
Hüperspektraalsed kaugseire pildid	Ele Vahtmäe	ele.vahtmae@ut.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-264">10.23673/re-264</a>	240 GB
Hüperspektraalsed lennukilt kogutud kaugseire pildid RITA1 mereprojektile	Ele Vahtmäe	ele.vahtmae@ut.ee	<a href="https://doi.org/10.23673/re-265">10.23673/re-265</a>	613 GB

## 5. Soovitused

### 5.1. „KAUGSEIRE“ uuringul tuginevad soovitused

Riigisektori ning teadus- ja arendusasutuste mõjus koostöö väljendub vastastikuse teabevahetuse tulemusena selles, et uurimistöe suunatakse ühiskonna ees seisvate ülesannete lahendamisele. „KAUGSEIRE“ projekti käigus tehti neljas põhivaldkonnas kaugseire andmete kasutamise võimaluste analüüsid. Lisaks konkreetsetele prototüüpidele töötati välja kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava (lisa 6) eesmärgiga teha ettepanekuid kaugseire süsteemseks rakendamiseks Eestis.



Riigisektori tellimustel on kaugseire rakenduste loomisel uutel turgudel oluline roll. Eesti ettevõtete kogemuse põhjal võib öelda, et kaugseire rakenduste kommertsialiseerimist kiirendaks märkimisväärselt innovatsiooni edendavad riigihanked. Selliste hangete tulemusena valideerivad tellimuste täitjad oma väärtuspakkumise ja saavad referentsi, millele edasises turundustegevuses toetuda.

Kui Eesti riigiasutused tellivad kaugseire lahendused kohalike ettevõtetele, on tunduvalt lihtsam majandusedu saavutada ja eksportida siis, kui monitooringu lahendused ja töötlusahel on üles ehitatud teenusena. Sama teenust on tunduvalt lihtsam teistesse Euroopa riikidesse (nt Läti või Soome) müüa kui igas riigis uut infosüsteemi välja arendama hakata. Eesti IT-ettevõtete lisandväärtus töötaja kohta on oluliselt väiksem kui Soome IT-ettevõtetele, sest Eesti IT-ettevõtted müüvad enamasti (riigiasutustele) oma arendustöö tundi, mitte üle maailma kasutatavaid teenuseid.

Copernicus raames on välja arendatud Euroopa tulekahjude teabesüsteem, mis on kasulik töövahend üleeuroopaliste protsesside ja trendide hindamiseks. Et tulekahjusid kohepeelsel ohjata, on siiski soovitatav kasutada täpsemaid ja kohaspetsiifilisemaid kaugseire rakendusi, mis integreerivad satelliidiandmed, droonimõõtmised ja muud andmeallikad.

Loodud tule leviku mudelit saab Päästeametis rakendada põhimõtteliselt ilma uute teadusuuringuteta. Soovitame jätkata sellega, et küsida kasutajalt tehnilise elluviimise analüüsi, kuidas väljatöötatud mudelid ja andmevood konkreetsetes IT-oludes toimivad, arvestades asutuse spetsiifikat, turvanõuded ja muud vajalikku. Tõenäoliselt on otstarbekas rakendada teenus etapivisiliselt. Lisaks tehnilisele rakendamisele on vajalik ka lõppkasutajate sisuline koolitus.

Looduskeskkonnale tulekahjust tekkivate kahjude hindamise meetodikat saab rakendada suhteliselt lihtsalt, eeldusel, et varem on rakendatud sama põlengu modelleerimise meetodikat. Ilma sellise sünergjata (nii nagu seda tehakse ka praegu), tuleb kahjude hindamine läbi viia eksperthinnangute alusel ning potentsiaalse põlengu (st ärahoitud kahju) ulatuse määramine jääb ebamäärasemaks. Ökosüsteemiteenuste rahalise väärtuse hinnangute aluseks on soovitatav kasutada juba käimasoleva projekti (KAURI „ELME“) tulemusi.

Satelliidipõhist üleujutuste andmetöötuse prototüüpi on soovitatav rakendada hüdroloogilises operatiivseires, ruumilisel planeerimisel korduva suurvee piiri määratlemiseks, kriisihaldamise ja ekstreemsete rannikusündmuste korral, kliimamuutustega kohanemine strateegiates ja elupaikade seire tõhustamiseks.

Soovitame satelliitaltimeetria andmeid kasutada veetaseme seires ja prognoosi teenustes, kuna nende kasutamine võimaldab märkimisväärselt parandada modelleeritud veetasemete prognoosi täpsust. Selle saavutamine on oluline mitme riigiteenuse seisukohast, nagu näiteks hüdroloogilise seire allprogramm (rannikumere veetaseme seire, järvede seire). Veetaseme operatiivse prognoosi täpsustamine aitab tagada ohutut navigatsiooni, hallata ekstreemsetest loodusnähtustest tingitud kriisi ja prognoosida täpsemalt ranniku üleujutusi. Samuti on altimeetria veetaseme info oluline kliima muutustega kohanemise kontekstis, kuna veetase on üks peamisi kliimamuutuste indikaatoreid.

Turbamaardlate seire meetodika ja andmetöötuse prototüüpi soovitame kasutada selleks, et kontrollida maavarade ressursitasude laekumise õigsust, aga ka kaevandusloa tingimustest kinnipidamist. Prototüübi operatiivne rakendamine annab vajalikku kvartaalset ülevaadet 1) mäeeraldistest, kus toimuvad tööd, ja 2) kaevandatud maavarade mahtudest.

Selleks, et põllukultuuride tuvastamise operatiivrakendus PRIA majasisese infosüsteemina välja arendada, tuleb esmalt teha detailne analüüs ja kavandada tarkvaraarendus. See on vajalik, et

selgitada välja, kui suures ulatuses saab kasutada PRIA olemasolevaid infosüsteeme, kui palju tuleb olemasolevaid infosüsteeme uuendada ning uusi komponente välja arendada.

Põllukultuuride tuvastusmudeli tarkvara realiseerimisel tuleks kindlasti luua ka vahepealne n-ö kollane klass, et käsitleda korrektselt põlde ja põllukultuure, mille tuvastustulemused on ebausaldusväärsed ja piiripealsed. Ka selleks, et ajas selguva põllukultuuri tuvastamise tõenäosust korrektselt käsitleda, on kollase klassi rakendamine otstarbekas. Mida pikemaks ja selgemaks aegread saavad, seda suurema hulga põldude kohta saab kindla kultuurigrupi ära määrata, mille tulemusena kollane klass kahaneb. See lihtsustab PRIA ja teiste lahenduse kasutajate tööd ning võimaldab saadud tulemusi rohkem usaldada.

Ehitusprotsessi tähenduses on kaugseire meetodi kasutamisel kõige suurem mõju mõõdistuse järjepidevusest. Üks olulisemaid faktoreid, millega korduval mõõdistusel arvestada, on andmete kogumisele kuluv aeg ning andmete töötusaeg ja selle automatiseerimine (nt fikseeritud drooniseire programm, mis tagab andmete kogumise samadest georuumi punktidest ja teeb ka toorandmete omavahelise võrdluse väga lihtsaks). Riist- ja tarkvarakulu saab drooniseire andmete efektiivsemaks töötuseks saab asendada veebiteenuse kasutamisega, mis võimaldab drooni toorandmeid automaatselt töödelda.

Kaugseire efektiivsemaks rakendamiseks ehitussektoris soovitame luua täiendavalt sünergiat ehituse 3D-kaksiku arendustegevusega. Projekti raames väljatöötatud prototüüpide puhul on ennekõike keskendunud mudeli loomisele maapinna suhtes ja mitte hoone kuubikule. Drooniseire kasutusjuhud on oluliselt detailsemad ning tekib täiendav valik, kas praegust 3D kaksiku detailsusastet edasi arendada, või kasutada ka drooniseirest saadud hoonete mahtusid, mis on täpsemad ja võimaldavad sihispärasemalt kasutada ka linnaplaneerimises.

Praegune KAURI sademeandmete kogumise korraldus ei võimalda märkimisväärselt parandada sademeandmete loomise meetodit, sest tagatud on vaid ühetunniste andmete kvaliteedikontroll. Parem loomise meetod on aga paljude kaugseire rakenduste sisendina vajalik. Tarvis on parema ajalise lahutusega sademejaamade andmeid. Radari ja jaamade andmete optimaalsemaks võrdluseks on oluline, et jaamade andmed oleksid samuti 15-minutilise (või väiksema) sammuga. Eesti hõre sademejaamade võrgustik esitab kaugseire andmete kasutamisele suuri katsumusi. Jaamade vähesus piirab ka „KAUGSEIRE“ projektis arendatud meetodi edasiarendust regionaalseks. Eriti oluline oleks jaamade olemasolu radarist kaugel.

## 5.2. Soovitused ESTHubi kui teenuse kasutamiseks ja edasiarendamiseks

ESTHubil on suur potentsiaal saada peamiseks kohaks, kus riigiasutused satelliidiandmeid töötlevad ja uusi teenuseid loovad. Soovitame leida ekspertkasutajaid, kes riigiasutuste ideid realiseeriks. Samuti soovitame süsteemselt korraldada koolitusi, seminare ja infopäevi ning levitada tutvustus- ja õppematerjale.

Soovitame töötada välja üldise kontseptsiooni ESTHubi tulevikust, sätestada riigi pikaajaline ja jätkusuutlik plaan kaugseire teenuste loomiseks ja planeerida kava elluviimiseks vajalik rahastus. Seejärel saaksid riigiasutused oma teenuseid arendada ja pakkuda Eesti kaugseire valdkonnale võimalust uuteks arengusuundadeks. Tuleviku ja arengu planeerimiseks on oluline, et ESTHubil oleks tooteomanik, kes selle eest vastutaks ning teavitaks kasutajaid ja partnereid, millises suunas platvorm areneb. Soovitame laialdaselt kasvatada otsustusringkondade teadlikkust, et ESTHubi ja seega ka Eesti kaugseirevõimekus oleks kaasatud valdkondlikesse arengukavadesse ja riiklikesse programmidesse.

Praeguse seisuga on ESTHubi töötluskeskkond mõeldud eelkõige riigiasutustele, eraettevõtted saavad oma äriidee katsetamiseks kasutada ainult piiratud mahus töötlusvõimekust. Siiski on ka erasektoril huvi operatiivseid teenuseid luua. Kuna ESTHub on riigile pigem kuluallikas, siis oleks eraettevõtete abil võimalik ka kulusid paremini katta. Ühtlasi võimaldaks see eraettevõtete seas ESTHubi ja ka satelliidiandmete kasutamist propageerida ning hoogustada Eestis IT- ja kosmosetehnoloogia valdkonna ettevõtlust. Soovitame läbi mõelda võimalused pakkuda hinnakirja alusel eraettevõtetele kogu ESTHubi töötlusvõimekust. Selleks on vaja luua erasektori jaoks motiveerivad riiklikud meetmed.

ESTHubi eesmärk on pakkuda Copernicus programmi andmeid, kuid ESTHub võiks olla ka Eesti ruumiandmete keskus. Peale Copernicus toodete võiks ESTHub sisaldada teisigi satelliidiandmeid, mis aitaksid kaasa teadustöö tegemisele või spetsiifiliste rakenduste loomisele. Lisaks võiks ESTHubis peale satelliidiandmete hoida kogu riigi raster- ja vektorandmeid. Seega oleks ESTHub platvorm, mis koondaks eri riigiasutuste ruumiandmeid. Oodatud oleks võimekus neid andmeid ESTHubis ka töödelda. Soovitame eraldi põhjalikult analüüsida ühtse ja integreeritud ruumiandmete platvormi loomise võimalust ning seda, kui otstarbekas see Eesti riiklikest eesmärkidest lähtuvalt oleks.

### 5.3. Soovitused kaugseire jätkusuutlikkuse tagamiseks Eestis

Kaugseire sisaldab väga keerukaid ja kõrget tehnoloogilist taset nõudvaid protsesse, mis tõukuvad otseselt tänapäeva ühiskonna ees seisvatest probleemidest ja kiiresti muutuvast poliitilisest olukorrast. Seetõttu on esmatähtis avaliku ja erasektori ning akadeemilise kogukonna vastastikku motiveeriv koostöö. Eesti-suguse väikeriigi puhul on kriitilise tähtsusega, et arvestataks piiratud inimvara ja rahaliste vahenditega. Hoiduda tuleks dubleerimisest ning toetuda varem tehtud töödele, luues konkurentsi asemel sünergiat.

Copernicus pole ainult keskkonna jälgimise programm, vaid oluline element EK 2019.–2024. aasta poliitiliste prioriteetide elluviimisel. Seda peaks nii käsitlema ka Eestis ning seostama eri poliitikavaldkondadega kogu riigi valitsemisalas, mitte piirduma ainult majandusliku mõju näitajatega. Kaugseirevõimalused peaksid olema kaasatud valdkondlikesse arengukavadesse ja riiklikesse programmidesse. Riigisektori ning teadus- ja arendusasutuste mõjus koostöö väljendub vastastikuse teabevahetuse tulemusena selles, et uurimistöö suunatakse ühiskonna ees seisvate väljakutsete lahendamisele.

Euroopa kaugseirevõimekus peab vastama operatiivteenuste nõuetele, mis toetavad nii institutsioonilisi vajadusi kui ka ärilisi algatusi. Kuna kõik liikmesriigid peavad sellesse ühiselt ka panustama, siis on Eesti jaoks kriitilise tähtsusega omada nii põhjalikku teadmist uudsetest tehnoloogivõimalustest kui ka jätkusuutlikku plaani, kuidas neid Eesti heaks kasutada.

Copernicus programmi Sentinel satelliitide orbiidile viimisel ning nende andmete vaba levitamise põhimõttel on viimase viie aasta jooksul olnud Euroopa satelliitkaugseire turu arengule väga suur mõju. Tasuta andmete kättesaadavus koos tehisisintellekti ja masinõppe valdkondade kiire arenguga loob eeldused uute rakenduste turuletoomiseks ja uute ärimudelite esilekerkimiseks. Selliste tegevuste tulemusena valideerivad tellimuste täitjad oma väärtuspakkumise ja saavad referentsi, millele edasises turundustegevuses toetuda. Turu dünaamika alusel saab hinnata, et innovatsiooni edendavate riigihangete elluviimine Eestis eesmärgiga satelliitkaugseireprodukte operatiivteenusteks arendada võib Eesti satelliitkaugseire kogukonnale anda tugeva arenguimpulsi, suurendada nii ettevõtete kui ka teadusrühmade rahvusvahelist konkurentsi võimet ning parandada avalike teenuste efektiivsust.

ESA ja ELi kosmoseteenused on Eesti jaoks üsna uus võimalus, neile juurdepääsuks on praegu kõige olulisem panustada rahvusvahelise võrgustiku loomisesse inimvõimekuse arendamise kaudu:

laiendada kompetentsete inimeste ringi, luua kasutajasõbralikud IT-lahendused, vahendada infot ja tagada riiklikul tasemel vajalikud lepingud.

Üks takistus uudsete ideede elluviimisel Eesti ettevõtete ja TA-asutuste koostööna on ka vähene teadlikkus võimalustest, kuid veelgi olulisem on pikaajaline probleem, et Eestis viiakse teadusmahukaid arendusi ja uuringuid ellu lühiajaliste ja suurte bürookraatlike projektide kaudu. Kuigi Eesti kaugseire valdkonna teaduslik kompetents on rahvusvaheliselt laialdaselt tunnustatud, vajab selle rakendamine ühiskonnas ja kaasamine ettevõtlusesse lisategevusi, mida saab ellu viia vaid riikliku koordineerimise abil.

Kaugseire jaoks vajalikud alusuuringud rahastatakse Eestis üldise konkurentsipõhise rahastuskeemi alusel ja paraku ei vasta see valdkondlikele iseärasustele (st pikaajaline ja multidistsiplinaarne uuring) ning rahvusvahelistele rollidele, mille Eesti on endale ESA liikmena võtnud. Et rahastada Eesti kosmoseprogrammi täimiseks vajalikke alusuuringuid, tuleks välja töötada eraldi meetmed koostöös HTMi, MKMi, nende allasutuste ja ülikoolidega.

Alates 2020. aastast panustab Eesti ESA valikprogrammi InCubed+ (Investing in Industrial Innovation Plus), mis on suunatud ettevõtlussektori äriliselt jätkusuutlike kaugseireprojektide kaasfinantseerimisele, kuid ei panusta Maa kaugseire programmi FutureEO (Future Earth Observation Programme). Selline valik ahendab teadlaskonna võimalusi teadusarendustööde rahastamiseks tehnoloogia valmidusastmete skaala madalamatel tasemetel. Rõhutame, et ESA kaugseire programmidesse sisenemine on olnud pikaajaline ja edukas protsess ning selle lõpetamine tähendaks, et Eesti ettevõtetel ja teadusrühmadel kaob võimalus liituda partneritena uute algatustega, mistõttu kaotatakse ka kontakt teaduse ja tehnoloogia tipptasemega. Eesti osalus ESA kaugseire valikprogrammis on määrava tähtsusega, et tagada vajalik stabiilsus nii pikaajaliste uuringute elluviimiseks kui ka sellekohase ettevõtluse käivitamiseks.

Eestis ei ole EK kosmoseprogrammides osalemisele senini süsteemselt lähenetud ning edulood põhinevad pigem üksikute entusiastlike teadlaste aktiivsusel. Kaugseire arendamist ei planeerita strateegiliselt ja pikaajaliselt. Varem kosmoseasjade nõukogu juures tegutsenud kaugseire nõukogu tegevus hääbus vaikselt, mis näitab, et ilma konkreetse eesmärgi, vastutuse ja eelarveta kogude najal ei saa seda tegevust ka efektiivselt korraldada. Seetõttu tuleb jätkata analüüsi ja arutelu, kuidas vajalikud süsteemid Eestis luua, milline on eri vastutajate roll ja omavaheline struktuur ning positsioon Eesti kosmoseprogrammi raames.

Eestis on kaugseire valdkonna tegevused hajutatud sageli vastandlike huvidega ministeeriumide ja nende allasutuste vahel. Eesti Kosmoseagentuuri loomine võimaldaks ESA ning ELi teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammide kaasabil tagada, et Eesti strateegilistest vajadustest tõukuv ja innovatsiooni edendav kosmosevaldkonna ökosüsteem on elujõuline.

## 6. Viidatud allikmaterjalid

Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., Bartolo, P. J. (2019). *Additive Manufacturing as an Enabling Technology for Digital Construction: A Perspective on Construction 4.0*, Automation in Construction, 103, 251–267, [10.1016/j.autcon.2019.03.011](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011)

Devos, W., Lemoine, G., Milenov, P., Fasbender, D., Loudjani, P., Wirnhardt, C., Sima, A., Griffiths, P. (2018). *Second discussion document on the introduction of monitoring to substitute OTSC: rules for processing applications in 2018-2019*. Kättesaadav aadressil <https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/wikicap/images/b/b9/JRC112913.pdf>

Eerme, T. (2018). *Eesti Euroopa Kosmoseagentuuri liikmelisuse majandusliku mõju analüüs*, väikehanke nr HNR180297 raport Ettevõtluse Arendamise Sihtasutuse tellimusel. Tallinn.

*Eesti tehisintellekti aruanne* (2019). Kättesaadav aadressil [https://www.riigikantselei.ee/sites/default/files/riigikantselei/strateegiaburoo/eesti\\_tehisintellekti\\_kasutuselevotu\\_eksperdiruhma\\_aruanne.pdf](https://www.riigikantselei.ee/sites/default/files/riigikantselei/strateegiaburoo/eesti_tehisintellekti_kasutuselevotu_eksperdiruhma_aruanne.pdf)

*EL kosmoseprogramm* (COM/2018/447final) (2018). Kättesaadav aadressil <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A447%3AFIN>

GCP (2015). *Global Construction Perspectives and Oxford Economics, A Global Forecast for the Construction Industry by 2030*, Global Construction Perspectives and Oxford Economics, London, UK, (ISBN 978-0-9564207-9-4).

Goudenhoofd, E., Delobbe, L. (2009). *Evaluation of Radar-Gauge Merging Methods for Quantitative Precipitation Estimates*, Hydrology and Earth System Sciences, 13, 195–203, <https://doi.org/10.5194/hess-13-195-2009>

Leydesdorff, L., Ivanova, I. (2016). „Open Innovation“ and „Triple Helix“ Models of Innovation: Can Synergy in Innovation Systems Be Measured? *Journal of Open Innovations: Technology, Market and Complexity*, 2(1) 1–12; <https://doi.org/10.1186/s40852-016-0039-7>

*Eesti kosmosepoliitika ja -programm 2020–2027*, kinnitatud väliskaubandus- ja infotehnoloogiainistri käskkirjaga (20.04.2020). Kättesaadav aadressil <https://adr.rik.ee/mkm/dokument/7208142>

Liibusk, A., Kall, T., Rikka, S., Uiboupin, R., Suursaar, Ü., Tseng, K. (2020). *Validation of Copernicus Sea Level Altimetry Products in the Baltic Sea and Estonian Lakes*. *Remote Sensing*, 12(24), 4062, doi: [10.3390/rs12244062](https://doi.org/10.3390/rs12244062)

NRC (Natural Resources Canada). (2020). Kättesaadav aadressil <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background>, viimati vaadatud 21.12.2020

CMEMS-BAL-PUM-003-011 (2019). *PUM for the Baltic Sea Physical Reanalysis Product BALTICSEA\_REANALYSIS\_PHY\_003\_011*. Kättesaadav aadressil <https://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-BAL-PUM-003-011.pdf>

Prometheus. (2019). Kättesaadav aadressil [http://www.firegrowthmodel.ca/prometheus/overview\\_e.php](http://www.firegrowthmodel.ca/prometheus/overview_e.php), viimati vaadatud 21.12.2020

Qin, R., Tian, J., Reinartz, P. (2016). *3D Change Detection – Approaches and Applications*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 122, 41–56, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.09.013>

TAIE (2020). *Innovatsiooni ja ettevõtluse arengukava 2021–2035*. Kättesaadav aadressil [https://www.hm.ee/sites/default/files/taie\\_arengukava\\_2035\\_16.04.2020.pdf](https://www.hm.ee/sites/default/files/taie_arengukava_2035_16.04.2020.pdf)

Tampuu, T., Praks, J., Kull, A., Uiboupin, R., Tamm, T., Voormansik, K. (2020a). *Detecting Peat Extraction Related Activity with Multi-Temporal Sentinel-1 Insar Coherence Time Series*. Submitted to Elsevier preprint.

Tampuu, T., Praks, J., Uiboupin, R., Kull, A. (2020b). *Long Term Interferometric Temporal Coherence and Dinsar Phase in Northern Peatlands*. *Remote Sensing*, 12(10), p. 1566.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1566>

Torres, F. T. P., Lima, G. S., Alvares, B. F. (2018). *Fire Behaviour Variables and Hazard Indices of Forest Fires*. *Revista Árvore*. 42(3):e420306, <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000300006>

Tuvikene, L., Nõges, T., Nõges, P. (2011). *Why Do Phytoplankton Species Composition and Traditional Water Quality Parameters Indicate Different Ecological Status of a Large Shallow Lake?* *Hydrobiologia*, 660(1): 3–15, doi: [10.1007/s10750-010-0414-5](https://doi.org/10.1007/s10750-010-0414-5)

Varbla, S., Puust, R., Ellmann, A. (2020). *Accuracy Assessment of RTK-GNSS Equipped UAV Conducted As-Built Surveys For Construction Site Modelling*, *Survey Review*.  
<https://doi.org/10.1080/00396265.2020.1830544>

Voormansik, T., Rossi, P. J., Moisseev, D., Tanilsoo, T., Post, P. (2017). *Thunderstorm Hail and Lightning Detection Parameters Based on Dual-Polarization Doppler Weather Radar Data*. *Meteorological Applications*, 24(3), 521–530, <https://doi.org/10.1002/met.1652>

## 7. Lisade nimekiri

Lisa 1. Metsa- ja maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine – Oja, T., Sagris, V., Muru, M., Sepp, E., Lang, M., Post, P., Rahu, J., Toll, V., Voormansik, T. (2020). *Metsa- ja maastikutulekahjude ennetamine ja likvideerimine*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-263>

Lisa 2. Veetaseme seire, üleujutuste kaardistamine ja märgalade niiskusrežiim – Uiboupin, R., Sipelgas, L., Rikka, S., Arikas, A., Liibusk, A., Kall, T., Alikas, K., Ansper-Toomsalu, A., Tampuu, T., Kull, A., Hallik, L., Lang, M., Raudsepp, U., Maljutenko, I., Lagemaa, P., Kõuts, T., Vahter, K. (2020). *Veetaseme seire, üleujutuste kaardistamine ja märgalade niiskusrežiim*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-258>

Lisa 3. Põllumajandusmaade kasutuse seire – Voormansik, K., Järveoja, M., Domnich, M., Sünter, I., Tamm, T., Lang, M., Sagris, V., Oja, T., Sepp, K. (2020). *Põllumajandusmaade kasutuse seire*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-259>

Lisa 4. Ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve – Puust, R., Varbla, S. (2020). *Ehitustegevuse planeerimine ja järelevalve*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-254>

Lisa 5. Täppissademed – Post, P., Toll, V., Rahu, J., Voormansik, T. (2020). *Täppissademed*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-257>

Lisa 6. Kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava – Noorma, A., Lang, M., Alikas, K., Jakobson, L., Olesk, A., Kutser, T., Post, P., Toll, V., Uiboupin, R., Sipelgas, L., Raudsepp, U., Rikka, S., Oja, T., Sagris, V., Puust, R., Liibusk, A., Sepp, K., Järveoja, M., Voormansik, K. (2020). *Kaugseire jätkusuutliku rakendamise kava*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-250>

Lisa 7. Eesti riikliku satelliidiandmekeskuse ESTHub analüüs – CGI Eesti AS (2020). *Eesti riikliku satelliidiandmekeskuse ESTHub analüüs*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-252>

Lisa 8. Kaugseire andmete kasutuselevõtt avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel. Teostatavusuuring – Eerme, T. (Tech & Space) (2020). *Kaugseire andmete kasutuselevõtt avalike teenuste väljatöötamisel ja arendamisel. Teostatavusuuring*, doi: <http://dx.doi.org/10.23673/re-251>