

Kaugseire prototüübid

Raido Puust



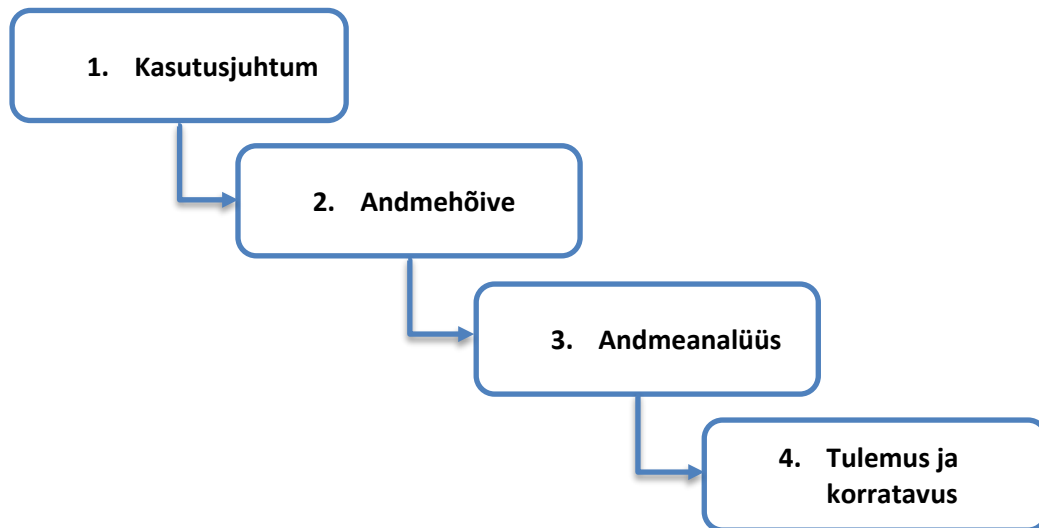
Tallinn, 2020

Sisujuht

1. Sissejuhatus	3
2. Aerolaserskaneerimisel baseeruvad prototüübid	4
2.1. Prototüüp: Maa-ameti kõrgusandmetel baseeruv 3D pinnamudel	4
3. Drooniseirel baseeruvad prototüübid	7
3.1. Prototüüp: Fikseeritud lennuplaaniga ehitusprotsessi kaardistamine	7
3.2. Prototüüp: Ehitusprotsessi mahuline võrdlus	8
3.3. Prototüüp: Masinnägemise kaudu objektide äratundmise treenimine	10
3.4. Prototüüp: Sõidutee deformatsioonide uuring	13
Referentsid	14

1. Sissejuhatus

Ehkki tehnoloogia arenguga muutub ka kaugseire võimekus ei üritata siinses ülevaates otseselt korrata kirjanduse ülevaates toodud ettepanekuid, vaid esitada nende edasiarendusi. Antud ülevaade käsitleb kahte gruppi kaugseire meetodeid: (a) aerolaserskaneerimise ning (b) drooniseire baasil loodud prototüübid. Satelliitseire osas vaata prototüüpe varasemast kirjanduse ülevaatest ning ka seminari materjalidest (vt Kaugseire ehitussektoris, 2019). Prototüüpide loomisel on olnud oluline roll vigade analüüsil, mille juures on kasutatud teisi kaugseire meetodeid (nt terrestriline laserskaneerimine). Prototüübid lähtuvad joonise 1.1 toodud üldisest töövoolust.



Joonis 1.1. Prototüüpide tuletamise põhiskeem

Seega lähtub prototüüp esmalt võimekusest kasutada kaugseiret ehitustegevuse kaardistamiseks või ehitusprotsessi jälgimiseks (1). Seejärel valitakse selleks sobiv kaugseire meetod ning teostatakse andmehõive (2). Andmehõivele järgneb eelnevalt paika pandud andmeanalüüs (3), mis tagab soovitud Duse, täpsuse ning vajadusel ka korratavuse (4).

Prototüübid lähtuvad ehitusinfo mudelite ja nende haldamisega seotud töövoolude vajadustest. Ehitusinfo modelleerimine (ingl *building information modelling*, BIM) on üks levinumaid viise, kuidas ehitussektor efektiivsemalt tööle panna, milles suur roll on tehnoloogia ärakasutamisel.

2. Aerolaserskaneerimisel baseeruvad prototüübid

Aerolaserskaneerimise juures on lähtunud Maa-ameti poolt avalikustatud kõrgusandmetest (Maa-amet, 2018). Need andmed on tehtud vabalt kättesaadavaks alates 2018. aastast ning katavad erineva resolutsiooniga kogu Eestit. Andmeid uuendatakse maksimaalselt 4 aasta tagant, mis seab andmete kasutamisele (kasutusjuhtumitele) teatud piirangud. Antud projekti raames keskendutakse nende andmete juures ühele prototüübile.

2.1. Prototüüp: Maa-ameti kõrgusandmetel baseeruv 3D pinnamudel

Selleks, et ehitise planeerimisetapis oleks võimalik vastu võtta paremaid ja täpsemaid otsuseid, on vajalik usaldusväärsete andmete olemasolu, mis tagaks erinevate alternatiivide võrdluse. Planeerimisetapis on keskne roll ehitusmahtude hindamisel, mis tuleneb ennekõike pinnasetöödest (sh kaeve- ja/või täitemahtude hinnangust). Ei ole mõeldav, et näiteks sõidutee koridori planeerimisel teostatakse klassikaline mõõdistamine üle terve huvipakkuva ala (mitu erinevat koridori). Seetõttu on tänased planeerimisotsused reeglina kahemõõtmelised, kus otsus baseerub suuresti koridori horisontaalsel paiknemisel, kusjuures kõrgustega on minimaalselt arvestatud. Maa-ameti kõrgusandmete üle-eestiline kattuvus annab aga suurepärase võimaluse kasutada 3D andmeid erinevate eskiislahenduste optimaalsemal võrdlemisel. Planeerimisetappi iseloomustab tihtipeale ka piiratud ressursside kasutamise võimalus, mistõttu vabalt kättesaadavad Maa-ameti kõrgusandmed on siinkohal suureks abiks. Maa-ameti kõrgusandmed on saadaval erineval kujul (kõrguspunktid, kõrgusmodelid). Antud prototüüp baseerub kõrguspunktidel, kuna see annab kasutajale suurema vabaduse andmete töötamiseks, kuid tasub tähele panna, et ka kõrgusmodelite kohene kasutamine on alternatiiviks. Siin esitatud prototüüpide vaheetapid on tarkvarapõhised, ning ehkki osaliselt on võimalik tegevusi automatiseerida, on suuresti tegemist tüüpilise andmevahetuse ülesandega erinevate tarkvaraliste lahenduste vahel, mis on väga omane ehitusinfo modelleerimise vaatevinklist.

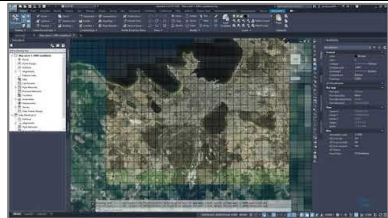
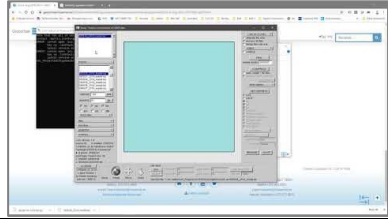
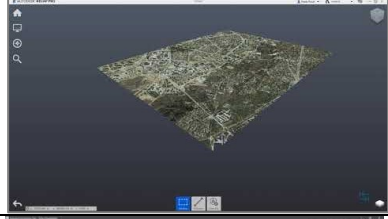
Tabel 2.1 esitab prototüübi, mis on vajalik punktidest kõrgusmodeli loomiseks projekteerijale kättesaadavate töövahenditega (nii tasuta kui tasulised lahendused).

Tabel 2.1. Prototüüp: Kõrgusmodeli kaasamine planeerimisotsuste vastuvõtmiseks

Tegevus	Kirjeldus
1. Punktipilve allalaadimine	Punktipilv esitatakse 1x1 km ruuduna. Suuremate projektide korral (nt sõiduteekoridorid) tuleb seetõttu alla laadida mitu erinevat punktipilve.
2. Punktipilve eelfiltreerimine	Vaikimisi sisaldab punktipilv nii hoonestust kui ka haljastust (puud, põõsad). Kuna Maa-ameti punktipilve failis on punktid klassifitseeritud, on filtreerimist väga lihtne teostada. Tarkara: LAsTools (vabavara).
3. Filtreeritud punktipilve konverteerimine	Punktipilvede failid võivad olla väga mahukad, mistõttu nende lugemine erinevate tarkvaraliste lahenduste poolt võib olla ressursimahukas. Kuna ehitusinfo mudelitega töötamisel on üldjuhul vaja väga võimekat riistvara, siis osaliselt saab riistvaralist koormust vähendada andmete konverteerimise kaudu, milles konverteeritud andmed sobituvad valitud planeerimise tarkvaraga paremini. Projekteerimistarkvara Autodesk toodete kasutamisel on siinkohal näitena valitud: Autodesk ReCap.
4. Konverteeritud punktipilve importimine planeeringu tarkvarasse	Selleks, et planeeringu tarkvaras saaks luua punktipilvel baseeruva pinnamudeli, tuleb see esmalt importida. Kuna antud prototüüp keskendub suuremamahuliste

	planeeringute koostamisele, on valitud Autodesk InfraWorks. Alternatiivina saab kasutada teisi platvorme, mis tähendab ka teiste vaheetappide ülevaatamist.
5. Punktipilvest maapinna mudeli loomine	Projekteerimise lähteülesanne. Olemasolevast punktipilvest maapinnamudeli loomine (Autodesk InfraWorks).
6. Maapinna mudeli kasutamine planeeringuga seotud otsuste vastuvõtmisel	Maapinna mudelit saab kasutada uue sõidutee koridormudeli ruumiliseks paigutamiseks nii horisontaalselt kui ka vertikaalselt. Seeläbi saame dünaamilise mudeli, kus esitatakse meile nii vajalikud täite- kui ka kaevemahud. Mahud on teedehituse üks suuremaid kulukomponente, ja mida täpsemalt saame erinevaid alternatiivseid lahendusi selles kontekstis võrrelda, seda parem.

Antud prototüüpi (kasutusjuhtu) käsitleb ka allolev videoseeria (Puust, 2020).

Video	Otselink
	01 Maa-ameti kõrguspunktide laadimine: https://youtu.be/miHkwXDa6Vo
	02 Punktipilve filtreerimine: https://youtu.be/7f3rH2ZWe0A
	03 Punktipilve konverteerimine: https://youtu.be/34KIZyqB6Zc
	04 Punktipilvest maapinna loomine: https://youtu.be/vHQcmVstZHE

Maa-ameti aerolaserskaneerimise andmed omavad väga suurt rakendust just esmaste planeerimisotsuste vastuvõtmisel või ehitusinfomudelitele (uutele planeeringutele) konteksti andmisel. Olgu siinkohal toodud lihtsalt üks näide, kus Maa-ameti punktipilve on kasutatud filtreerimata kujul ning seeläbi esitatakse Tallinna Tehnikaülikooli (TalTech) linnakut.



Seeläbi on võimalik konteksti modelleerida (nt asendada punktipilvest saadud haljastus 3D komponentidega või luua üldiseid, ehitisega seotud mahumudeleid, mida on teinud Tallinna Linnaplaneerimise amet (Tallinna aluskaart, 2017). Lisainfot vaata seminari „Kaugseire Ehitussektorile“ materjalidest. Alloleval joonisel on lisaks prototüübina esitatud Maa-ameti punktipilvest tuletatud maapinnamudelile kaasatud ka Tallinna linna ruumiandmeid. See kõik on kokku viidud projekteerijale kättesaadavas tarkvaras, milles on võimalik jätkata planeerimise täpsustamist (Autodesk InfraWorks, vt videoseeriat: Puust, 2020).



Lisaks on antud konteksti võimalik lisada erinevate projekti staadiumite lõpp-mudeleid (nt eelprojekt, põhiprojekt, tööprojekt jne), mis võivad kaasata juba ehitamisega seotud detailsust. Samas huvitab meid sellistel puhkudel pigem väline detailsus ja vastavate projektide sisemise detailsuse võime jätta kuvamata, mis hoiab oluliselt kokku ka arvutiressurssi.

3. Drooniseirel baseeruvad prototüübid

Drooniseiret puudutavad kasutusjuhud (prototüübid) ning andmehõive baseeruvad kahel pilootobjektil. Esitatakse need prototüübid, mis iseloomustavad ennekõike ehitusprotsessi, ehk siis kasutusjuhud, milles on vajalik teostada korduvat mõõdistust. Drooniseiret puudutav täpsushinnang ning andmeanalüüs on antud varasemas õppematerjalis; vt ka Varbla et al. (2020). Seetõttu keskendutakse siin alalõigus prototüübi põhisammudele.

3.1. Prototüüp: Fikseeritud lennuplaaniga ehitusprotsessi kaardistamine

Drooniseiret on väga lihtne kasutada korduvaks ehitusobjekti ülevaatuks, kuna meetodi ligipääsetavus ning ülevaatlikus annab kiire ülevaate hetke olukorrast, kuid on ka väga hea jooksvaks järelevalveks. Mõistagi ei pääse drooniga igale poole ning siinkohal mõeldakse ennekõike ehitise välist vaatlust. Drooni võib lennutada käsitsi juhtimise teel või fikseeritud lennuplaani alusel. Fikseeritud lennuplaanil on mitmeid eeliseid, kuna just seeläbi saame koguda andmeid sisuliselt ühest ja samast vaatepunktist korduvalt, kusjuures drooni piloodil piisab vaid lennuplaan käivitada - pildilise info kogumine käib seejärel juba automaatselt.

Tabel 3.1 esitab prototüübi, mida saab kasutada fikseeritud lennuplaani kaudu ehitusega seotud info järjepidevaks kogumiseks ja analüüsiks.

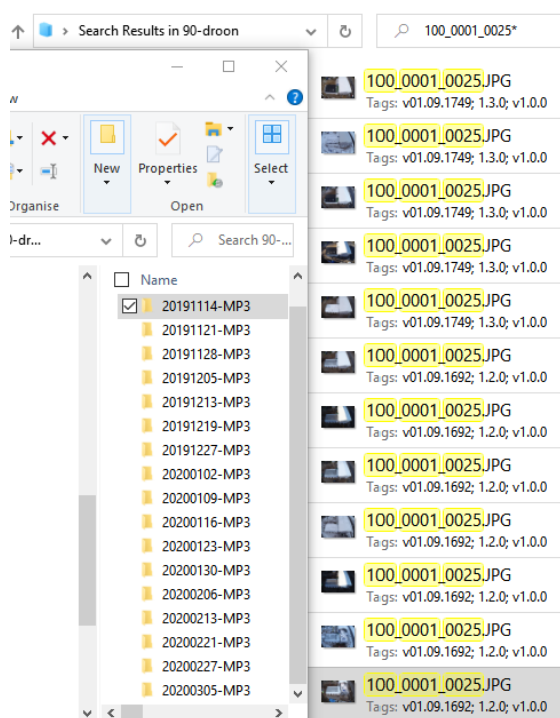
Tabel 3.1. Prototüüp: Pildiseeria koostamine fikseeritud lennuplaani kasutamisel

Tegevus	Kirjeldus
1. Planeerimine: Lennuplaani koostamine	Lennuplaani koostamisel pannakse paika meid huvitava ehitusobjekti maa-ala ja lennukõrgus. Lennukõrgus mõjutab ennekõike soovitud detailsust, mida saab iseloomustada piksli geomeetrilise suurusega. Sõltuvalt droonist ja kasutatavast kaamerast võib lennukõrguse 50 m juures olla piksli suurus näiteks 1.37 cm.
2. Andmehõive: Drooni lennutamine	Fikseeritud lennuplaani kasutamisel peame arvestama maa-ala suurusega, drooni lennuulatusega, aga ka akukestvusega.
3. Andmeanalüüs: Piltide järjestamine	Fikseeritud lennuplaani korral saame korduvate lendude ühe ja sama vaatenurga vastavast andmekogust kätte pildiseeria numbri järgi.
4. Lennu kordamine	Sõltuvalt eesmärkidest saab lendu korrata igapäevaselt, iganädalaselt või vastavalt üle- ja vastuvõtu aktide graafikule, mis on mõjutatud välistest tegevustest, ja mis on väga lihtsasti fikseeritavad drooni ülelennuga.

Tasub tähele panna, et esimene prototüüp kirjeldab ennekõike piltide kasutamist nende algsel kujul ning andmeanalüüs on minimaalne, vajades lihtsalt piltide järjestamise loogikat. Andmehõive tähenduses saab neid samasid andmeid kasutada ka teiste prototüüpide koostamiseks. Mäepealse 3 pilootala esitab ca 200 erinevat vaatenurka kui lennatakse 50 m kõrguselt ning ca 400 erinevat vaatenurka kui lennatakse 40 m kõrguselt. Allolev pildiseeria esitab vaid ühe vaatenurga ja sellest tulenevalt võimalikke alamkasutusjuhte (nt katuse konstruktsiooni jooksev ehituskulg).



Pildiseeria automaatne nummerdamine (kui on kasutatud fikseeritud lennuplaani), mille baasil on võimalik automatiseerida pildiseeria loomist.



3.2. Prototüüp: Ehitusprotsessi mahuline võrdlus

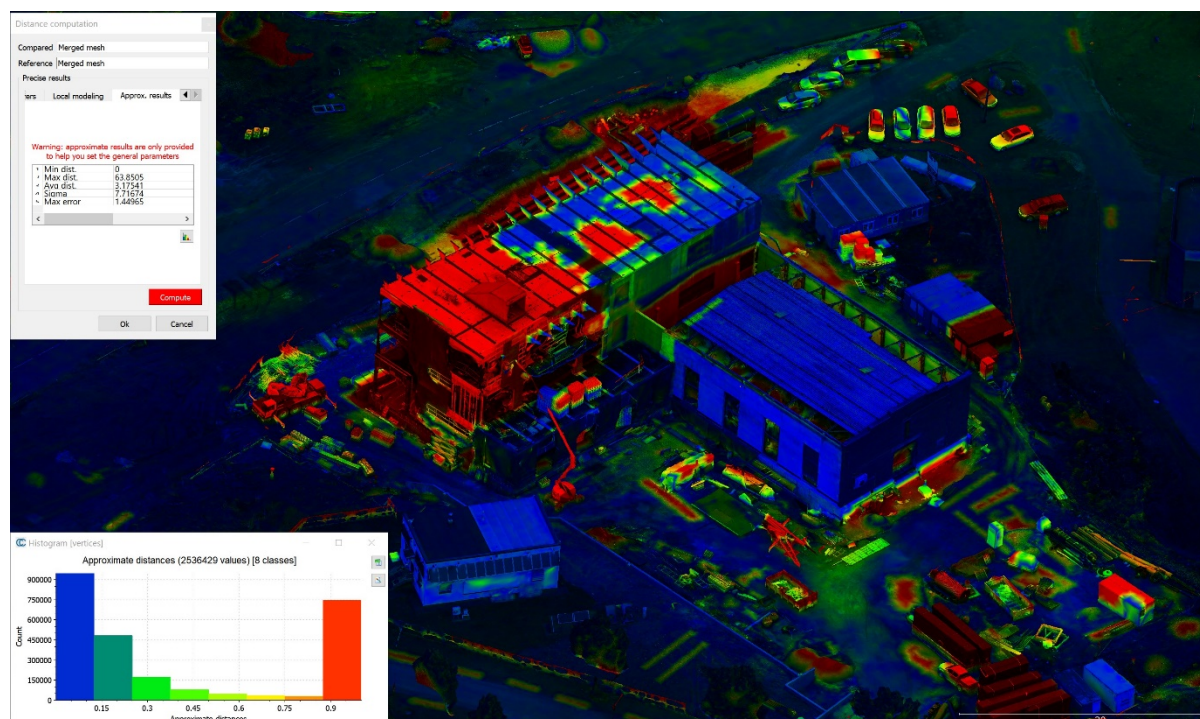
Drooniseseire baasil saab väga lihtsalt koostada 3D mudeleid, mille põhjal on võimalik määrata olemasolevaid mahtusid või teostada kahte erinevat ajahetke kujutavate 3D mudelite võrdlust, mis on antud prototüübi fookus. Varasemalt on esitatud andmeanalüüsi näide, kuidas fotogrammeetria teel 3D mudelit luua, ja millele tähelepanu pöörata. Siinkohal esitame prototüübi, mis keskendub juba erinevaid ajahetke kujutavate 3D mudelite võrdlusele. Ehitustegevuste jälgimisel on see väga oluline näitaja, et omada lihtsat võimalust, kuidas näha ajalist edenemist või võrrelda seda projekteeritud ehitusinfo mudeliga ning analüüsida kalendergraafikus püsimist.

Tabel 3.2 esitab prototüübi, mida saab kasutada fikseeritud lennuplaani kaudu erinevatel ajahetkedel kogutud piltide baasil loodud 3D mudelite võrdluseks.

Tabel 3.2. Prototüüp: Ehitusprotsessi mahuline võrdlus

Tegevus	Kirjeldus
1. Planeerimine: Lennuplaani koostamine	Lennuplaani koostamisel pannakse paika meid huvitava ehitusobjekti maa-ala ja lennukõrgus. Lennukõrgus mõjutab ennekõike soovitud detailsust, mida saab iseloomustada piksli geomeetrilise suurusega.
2. Andmehõive: Drooni lennutamine (erinevatel ajahetkedel)	Fikseeritud lennuplaani kasutamisel peame arvestama maa-ala suurusega, drooni lennuulatusega, aga ka akukestvusega. Drooni lennutatatakse vähemalt kahel erineval ajahetkel, mille erinevuseid soovime võrrelda.
3. Andmeanalüüs: 3D mudelite loomine	Fotogrammeetria teel 3D mudelite loomine (igale ajahetkele omaette 3D mudel).
4. Andmeanalüüs: Andmete konverteerimine	Sõltuvalt tarkvarast, milles 3D mudelite võrdlus teostakse, võib olla vajalik algne võrkmodel konverteerida teise formaati.
5. Andmeanalüüs: 3D mudelite mahuline võrdlus	Näitena on kasutatud CloudCompare nimelist tarkvara (vabavara), millesse on kaks 3D mudelit imporditud *.obj formaadis. Vastavad *.obj failid on eksporditud fotogrammeetria analüüsi võimaldavast tarkvarast (nt Agisoft Metashape Professional, Bentley ContextCapture jt). Seejärel toimub nende mahuline võrdlus (nt mahtude eristamine värvikoodiga).

Allolevalt on näide prototüübi (kasutusjuht) lõpptulemusest, milles on kokku tõstetud kahel erineval ajahetkel teostatud drooniseirest saadud 3D mudelid. Värvitoonid toovad kiirelt esile need mahud, mis on kas juurde tekkinud või eemaldatud, maha lõhutud jne.



Antud prototüüpi saab laiendada ka lihtsalt objektide olemasolu kontrolliks mingil kindlal ajahetkel mingis kindlas ruumipunktis.

3.3. Prototüüp: Masinnägemise kaudu objektide äratundmise treenimine

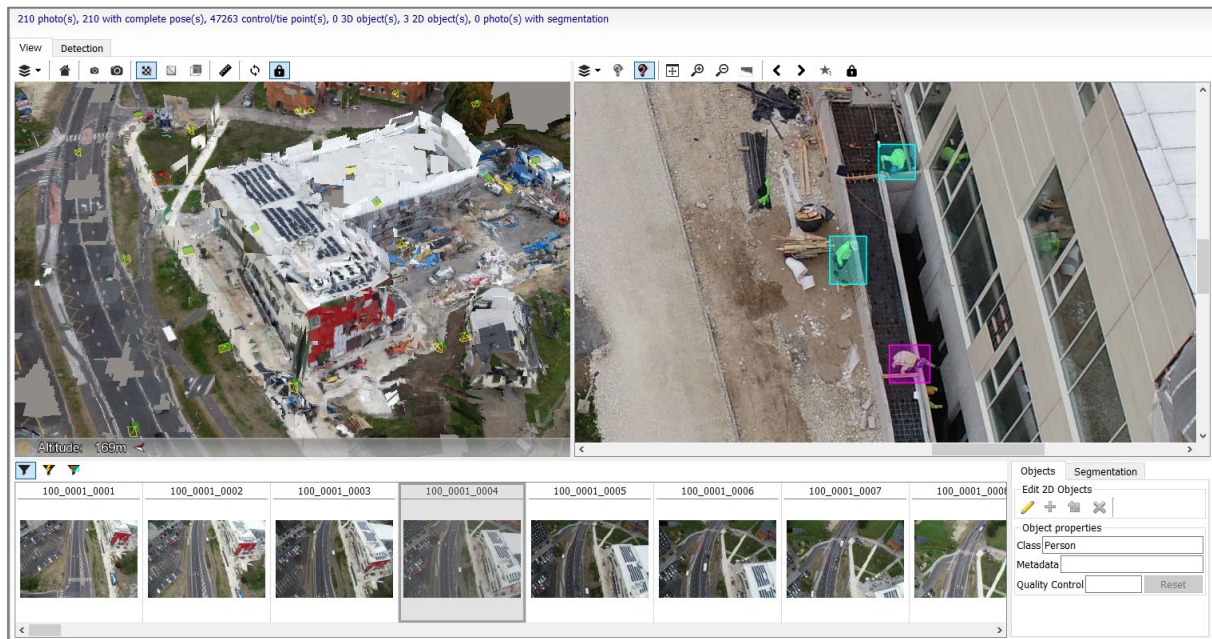
Varasemad prototüübid eeldavad, et meid huvitava iseärasuse fikseerib lõpptulemuse vaatleja ise. Kas siis on tegemist piltidelt millegi fikseerimisega, millegi mõõtmisega või siis 3D mudelitelt (sh nende võrdlustelt) järeltunde tegemisega. Ühelt poolt on see küll lihtne, kuid kuna tegemist on inimfaktoriga, siis korduvate iseärasuste äratundmiseks on mõistlikum kaasata masinnägemise treenitust ning seeläbi automatiseerida teatud komponentide, objektide/subjektide äratundmist. Masinnägemise rakendamine on kaheosaline: (a) detektori treenimine kogutud drooniseire andmete baasil (üldjuhul on selleks vaja mitmeid andmekogumeid, milles meid huvitav objekt on erinevates vaatenurkades esitatud) ning (b) detektori kasutamine uute mõõdistusandmete juures. Masinnägemise põhimõtet (sh analüüsi) olemasoleva detektori baasil on kirjeldatud varasemas õppematerjalis. Siinkohal esitatakse prototüüp uue, kasutaja andmestikul baseeruva, detektori loomiseks (tabel 3.3).

Tabel 3.3. Prototüüp: Masinnägemise kaudu objektide äratundmise treenimine ning hilisem taaskasutamine

Tegevus	Kirjeldus
1. Planeerimine: Lennuplaani koostamine	Lennuplaani koostamisel pannakse paika meid huvitava ehitusobjekti maa-ala ja lennukõrgus. Lennukõrgus mõjutab ennekõike soovitud detailsust, mida saab iseloomustada piksli geomeetrilise suurusega.
2. Andmehõive: Drooni lennutamine (erinevatel ajahetkedel)	Fikseeritud lennuplaani kasutamisel peame arvestama maa-ala suurusega, drooni lennuulatusega, aga ka akukestvusega. Drooni lennutatakse korduvalt, et tagada masinnägemise treenimiseks piisav andmehulk.
3. Andmeanalüüs: Masinnägemise treenimine	Masinnägemise treenimine korduvate andmehõivete baasil (piltidelt soovitud objektide esiletõstmine ja detektori loomine – Bentley ContextCapture). Detektorit võib treenida ka mitme erineva objekti äratundmiseks, mistõttu iga objekti jaoks ei pea looma omaette detektorit.
4. Andmehõive: Drooni lennutamine uute andmete kogumiseks	Drooni lennutamine uute andmete kogumiseks, millel varasemalt loodud detektorit kasutada.
5. Andmeanalüüs: Olemasoleva detektori kasutamine p.4 kogutud andmete automaatseks analüüsiks	Soovitud komponentide äratundmine (loendus) ning nende märkimine 3D mudelis (ruumiline paiknemine).
6. Tööprotsessi kordamine (punktid 4-5)	Korduv detektori kasutamine tulevikus kogutava andmehõive kaasamisel.

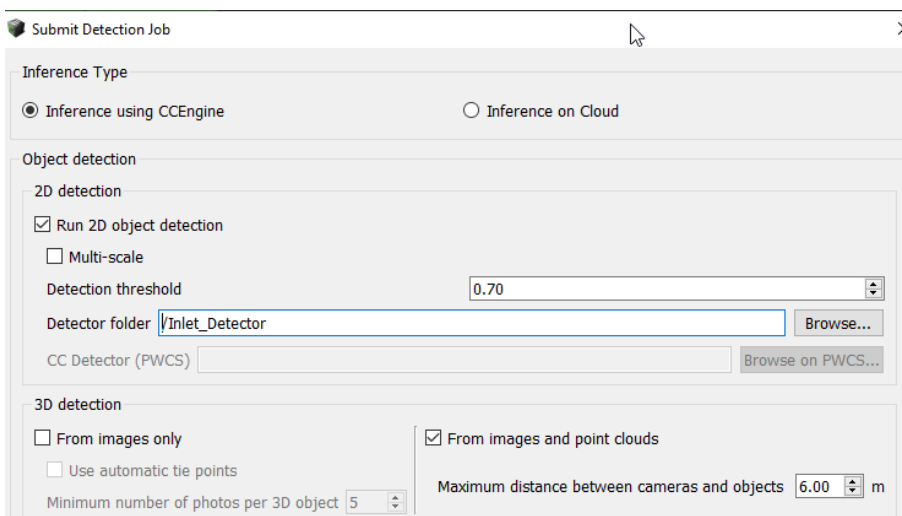
Masinõpetamise tööprotsessi näide on toodud Mäepealse 3 pilootala juures. Valides fotoseeriast fotosid, alustame nn kastide ümbertõmbamist (vt allolevat pilti) objektidele, mille äratundmist soovime treenida. Antud näide keskendub inimeste äratundmisele. Objektile on antud klassitunnus "Person". Nimetamine on vaba, kuid peaksime sama klassi kasutama samaväärse objekti äratundmiseks. Treenida võib korraga ka mitme erineva objekti vastu. Redigeerimise režiimi tähistab lilla kastike ja objektide, mille juures on redigeerimine lõpetatud, kastid on sinisega. Seeläbi hakkame õpetama tehisintellektile, milline võib pildil üks inimene „välja näha“. Analooget protsessi tuleb korrata kõikide piltide juures. Teisisõnu, õpetamise või treenimise käigus ei tohi vahele jätta pilte, milles on samaväärseid objekte ehk inimesi võimalik ära tunda. Kui me jätame samaväärse objekti

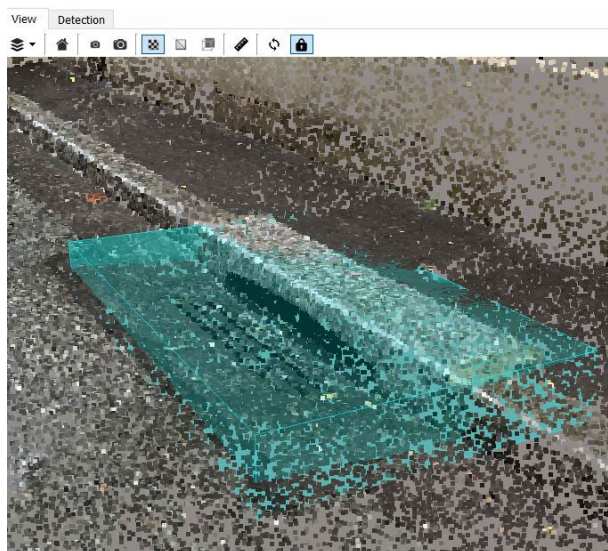
märkimata, siis me sisuliselt treenime tehisintellekti poolikult ja jättes märkimata mõnel pildil mõne inimese võib see viia selleni, et hiljem ei suudeta inimesi uues andmestikus leida.



Detektori loomiseks on vaja treeninginfo (eelnevalt loodud sildid) laadida üles veebiteenusesse (antud näiteks Bentley ProjectWise ContextShare). Peale detektori loomist saab selle alla laadida ning kasutada sarnaste objektide tuvastamiseks uue andmestiku juures.

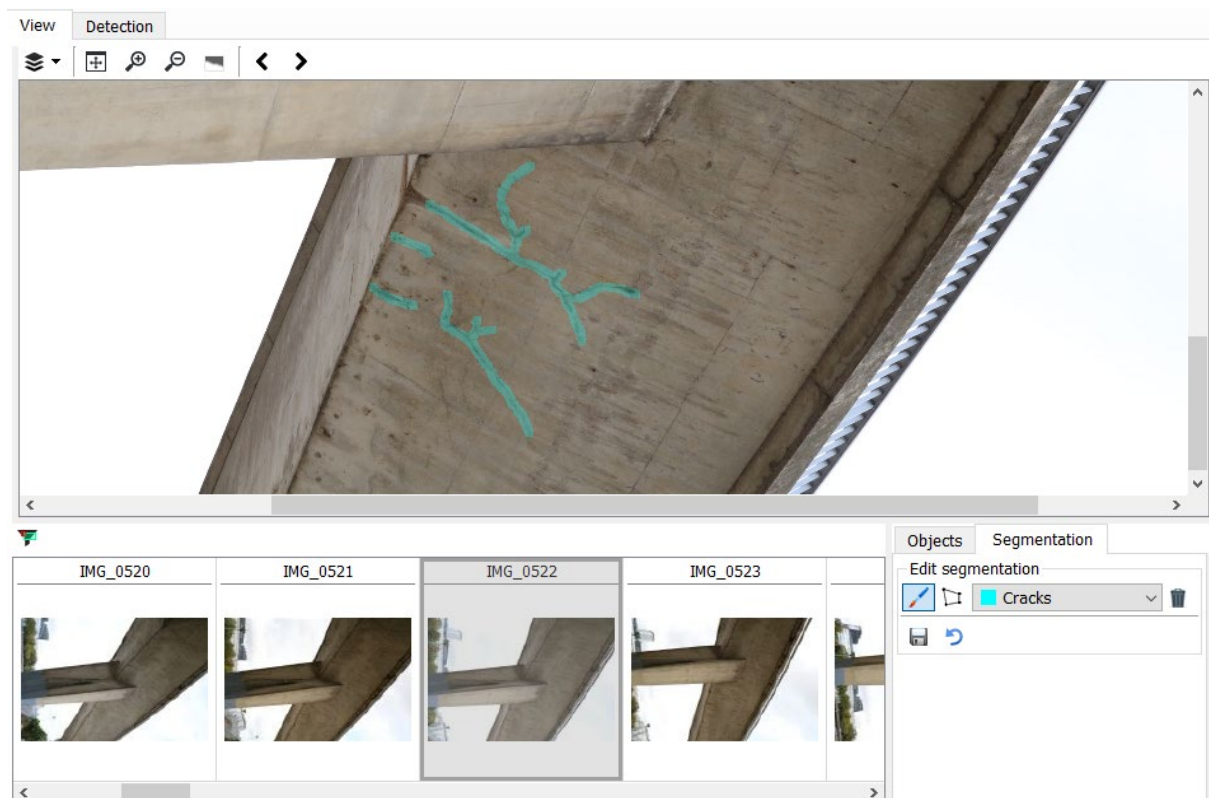
Märkus: Detektori välja õpetamiseks ei ole ilmingimata vaja kasutada kogu andmestiku, mis siis tervikliku 3D mudeli loob. Näiteks, kui Mäepealse 3 droonilend on mingil ajahetkel teinud ülelennu ja kõikidele piltidele on jäänud 3 inimest, ja need paiknevad ühes ja samas hoone servas, siis toimubki õpetamine ainult selles servas. Selleks ei ole vaja luua 3D mudelit, mis on ajakulukas. Ehk siis treenimine toimub puhtalt piltide baasil, kuid hilisemat otsimist saab siduda loodud 3D mudeliga. Sellest lähtuvalt saab detektorit kasutada ka mistahes teiste 3D esituste juures. Näiteks alloleval pildil otsitakse restkaevu olemasolevast (varasemalt loodud) punktipilvest.





Leitud objektid (restkaevud) projitseeritakse 3D ruumi (punkt pilvele).

Treenimist on võimalik teostada ka nn joonobjektide baasil, kus pildiseerias õpetatakse ära tundma näiteks silla konstruktsioonis olevaid pragusid (vt allolevat pilti, milles praod on nn pintslitöövahendiga üle värvitud ja mille baasil treenimist teostatakse).



Peale detektori väljaõpetamist saab seda rakendada teiste 3D objektide analüüsil ning automaatselt visualiseerida leitud (võimalikud) praod betoonkonstruktsioonis.



Konstruksioonides olevaid võimalikke probleeme on seeläbi väga lihtne analüüsida, sest ühelt poolt võimaldab drooni kasutamine andmete kogumise raskesti ligipääsetavatest kohtadest ning teiselt poolt aitab masinnägemine neid automaatselt tuvastada (lisaks saab tuvastatud probleemseid kohti eksportida väga erinevates disainiformaatides, andes seeläbi võimaluse nt sillainseneril markeerida oma konstruktsiooni mudelis võimalikud probleemid ja teostada konstruktsiooni arvutus/kontroll). Konstruktsioonide manuaalne kontroll on oluliselt ajamahukam, kuna sõltub kasutatavast rasketehnikast, mis võib vajada liikluse osalist või täielikku sulgemist.

3.4. Prototüüp: Sõidutee deformatsioonide uuring

Drooniseire pakub tänase täpsuse juures võimalust hinnata sõiduteede deformatsioone (nt vajumeid) või ebaühtluseid mingil lõigul. Näitena on vaadeldud Kose-Võõbu maantee lõiku (ca 210 m), mis on rajatud turbakihi. See on ehitusmaterjalide kasutamise tähenduses nn katselõik, mille juures saab omakorda katsetada droonimõõdistustega saavutatavat täpsust, sest sellel lõigul teostatakse korrapäraselt ka terrestriilist laserskaneerimist. Turbakihi olemasolu tõttu hinnatakse antud sõidutee vajumiks ca 2 cm/aastas. Esimesed analüüsid on näidanud, et droonimõõdistus võimaldab hinnata deformatsioone suurusjärgus ca 1 cm. Selleks, et tagada mõõdistusandmete usaldusväärsust, on vajalik kasutada maapealseid kontrollpunkte. Täpsete kontrollpunktide kasutamine tagab ennekõike kaamera parameetrite kalibreerimistäpsuse, kuid vähendab ka RTK-GNSS ebatäpsusest tingitud vigasid. Juhul kui RTK-GNSS võimekusega drooni ei kasutata, siis rakendatakse maapealseid kontrollpunkte mõõdistusandmete georefereerimiseks.

Tabel 3.4 esitab prototüübi, mida saab kasutada sõidutee deformatsioonide uurimiseks kasutades drooniseiret.

Tabel 3.4. Prototüüp: Deformatsioonide uurimine

Tegevus	Kirjeldus
1. Planeerimine: Lennuplaani koostamine	Lennuplaani koostamisel pannakse paika meid huvitava ehitusobjekti maa-ala ja lennukõrgus. Lennukõrgus mõjutab ennekõike soovitud detailsust, mida saab iseloomustada piksli geomeetrilise suurusega.
2. Andmehõive: Drooni lennutamine (erinevatel ajahetkedel)	Fikseeritud lennuplaani kasutamisel peame arvestama maa-ala suurusega, drooni lennuulatusega, aga ka akukestvusega. Drooni

	lennutatakse vähemalt kahel erineval ajahetkel, mille erinevuseid soovime võrrelda.
3. Andmeanalüüs: 3D mudelite loomine	Fotogrammeetria teel 3D mudelite loomine (igale ajahetkele omaette 3D mudel).
4. Andmeanalüüs: Andmete võrdlus	Deformatsioonide esitamine.
5. Andmehõive kordamine ning uue andmeanalüüsi teostamine	Deformatsioonide aegrea välja toomine teatud maanteelõikude osas, kus korduvat mõõdistust teostatakse.

Sõidutee deformatsioonide uuring kasutades drooniseiret pakub efektiivset võimalust uurida näiteks sõidutee vajumist, kus oodatud deformatsioonid jäävad mõne cm suurusjärku (nt erinevate sõidutee konstruktsioonikihtide kasutamise ja/või varieeruva aluspinna tõttu). Lisaks võimaldab drooniseire ohutut vajumite vaatlust, kuna ei eelda mõõdistaja viibimist näiteks tiheda liiklusega maantee vahetus läheduses (nt nivelleerimise korral peab mõõdistaja seisma sõidutee ääres).

Referentsid

Kaugseire ehitussektoris, 2019. Seminari materjalid. Tallinna Tehnikaülikool, 16.12.2019, <https://bim-courses.com/events/kaugseire-ehituses> (viimane külastus: 30.09.2020)

Maa-amet, 2018. Kõrgusandmed. Veebiportaal: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed-p114.html> (viimane külastus: 30.09.2020)

Puust, R., 2020. BIM teedehituses. Ruumiline planeerimine. YouTube videoseeria, https://www.youtube.com/watch?v=2XliMdfOqR8&list=PLHYIlggRQXR38xucWvASoEv_NhRqeZCg (viimane külastus: 30.09.2020)

Tallinna aluskaart, 2017. Geoportaal, ruumiandmed. Tallinna Linnaplaneerimiseamet, <https://www.tallinn.ee/est/geoportaal/Andmed> (viimane külastus: 30.09.2020)

Varbla, S., Puust, R., and Ellmann, A., 2020. Accuracy assessment of RTK-GNSS equipped UAV conducted as-built surveys for construction site modelling, Survey Review (aktsepteeritud publitseerimiseks 24.09.2020).