

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Nikolai Pöld

**VISUAALI KOLMEMÕÕTMELISEKS MODELLEERIMISE  
VÕIMALUSED JA KASUTAMISE OTSTARBEKUS  
PÄÄSTESÜNDMUSE KONTEKSTIS**

Lõputöö

Juhendaja:

Häli Allas, MA

Tallinn 2018

## LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON

Kolledž: Päästekolledž	Kaitsmise kuu ja aasta: oktoober 2018
<p>Visuaali kolmemõõtmeliseks modelleerimise võimalused ja kasutamise otstarbekus päästesündmuse kontekstis. Three-dimensional Visual Modeling Capabilities and Expediency in The Context of a Rescue Event.</p> <p>Käesolev lõputöö on kirjutatud teemal “Visuaali kolmemõõtmeliseks modelleerimise võimalused ja kasutamise otstarbekus päästesündmuse kontekstis“. Lõputöö koos lisadega on 43 leheküljel, millest põhiosa moodustab 40 lehekülge. Lõputöö on kirjutatud eesti keeles, võõrkeelne osa inglise keeles. Töös on 11 joonist, 3 tabelit ning 1 lisa.</p> <p>Töö eesmärgiks on uurida ja välja pakkuda optimaalseim programm 3D visuaali loomiseks päästetöö juhtimise seisukohalt. Antud lõputööd saab kasutada selle teema edasi arendamiseks ning ka uue tehnoloogia kasutusele võttuks Eesti päästeteenistuses. Antud teema aitaks tänapäeval analüüsida päästesündmusi, olles rohkem ülevaatlikumad ning innovaatilisemad, samuti aitab antud teema kaasa uute tehnoloogiate katsetustele.</p> <p>Lõputöö tulemusena tehakse üks peamine ettepanek: viia läbi pilootprojekt, mille raames katsetatakse autori poolt pakutud programmidega 3D operatiivkaardi modelleerimist ning sündmuskoha modelleerimist õppuse raames ning sellest tulenevalt veel 3 alamettepanekut. Valitakse välja Eesti päästesüsteemi jaoks kõige sobilikumad visuaali 3D modelleerimise meetodid ning moodustatakse nende meetodite võrdlusraamistik.</p>	
Lisad: Operatiivkaart: Lisa 1.	
Võtmesõnad: 3D, LIDAR, Fotogramm-meetria, päästesündmused	
Võõrkeelsed võtmesõnad: 3D, LIDAR, Photogrameters, rescue event	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia raamatukogu	
Töö autor: Nikolai Pöld	
Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjalikest allikatest ja muudest allikatest saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.	
Allkiri:	
Juhendaja: Häli Allas	Allkiri:
Kolledži direktor: Ain Karafin	Allkiri:

# SISUKORD

SISUKORD .....	3
SISSEJUHATUS .....	5
1. TEOREETILINE ÜLEVAADE 3D MUDELITEST JA SELLE VÕIMALIKUST KASUTAMISEST PÄÄSTETEENISTUSES .....	7
1.1. 2D ja 3D tehnoloogia arengus.....	7
1.2. 2D ja 3D kasutamine päästeteenistuses Eestis ja välisriikides .....	8
1.3. 3D edasiarendused ja rakendused .....	10
2. 3D MODELLEERIMISE MEETODITE UURING .....	22
2.1. Metoodika ja valim.....	22
2.2. Võrdlusraamistik .....	23
2.3. Intervjuude analüüs .....	27
2.4. Järeldused ja ettepanekud .....	32
KOKKUVÕTE .....	34
SUMMARY .....	36
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU .....	38
LISAD .....	41
Lisa 1. Operatiivkaart.....	41

# MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

PTJ- Päästetöö juht

BIM- Building Information Modeling (ehitise infomudel)

LIDAR- Light Detection And Ranging (valguse tuvastamine ja valimine)

DTM- Digital Terrain Model (digitaalne maastiku mudel)

DSM- Digital Surface Model (digitaalne maapinna mudel)

GPS- Global Positioning System (üleilmne asukoha määramise satelliitnavigatsiooni süsteem)

INS- Inertial navigation system (inertsiaalne navigeerimis süsteem)

LOD- Levels of development (arengu tasemed)

3D- Objektide matemaatiline kujutamine, kasutades selleks spetsiaalset 3D mudeli tarkvara.

2D- Midagi millel on kaks mõõdet

## SISSEJUHATUS

Siseturvalisuse arengukavas 2015-2020 on toodud välja, et võttes kasutusele kiirelt arenev tehnoloogia on võimalik tagada kiire abi ja elupäästmine. Kui läbi areneva tehnoloogia on võimalik tagada kiire abi ja elupäästmine, siis aitab see saavutada Päästeameti visiooni: jõuda aastaks 2025 päästealase turvalisuse tasemelt (õnnetuste arvult ja tagajärgede ulatuselt) võrdsele positsioonile Põhjamaadega. (Siseministeerium, 2016, lk. 49)

Ka Päästeseadus ütleb, et „Päästeasutuse tegevuse eesmärk on turvalise elukeskkonna kujundamine ja hoidmine, ohtude ennetamine ning operatiivne ja professionaalne abistamine.“ (Päästeseadus, 2010) Inimelu päästmine on päästetöödel kõige olulisema prioriteediga tegevussuund, ning mida rohkem omab päästetöö juht (edaspidi PTJ) kiiresti kättesaadavat ja kasulikku informatsiooni, seda kiiremini ta saab planeerida ja teha otsuseid selleks, et päästa inimeste elusid, vara ja keskkonda. Seega päästetööde kontekstis võib informatsiooni puudus osutada elu ja surma küsimuseks.

Tavaliselt alustab PTJ sündmuse lahendamist luurest ehk informatsiooni kogumisest, et hinnata olukorda objektiivselt ning teha sellest tulenevalt efektiivseid ning vajalikke otsuseid. Ühiskondlike hoonete ja suuremate tööstushoonete osas on tänapäeval kasutusel operatiivkaardid, mis on esimeseks info allikaks päästetöö juhi jaoks. Need on tasapinnalised ehk 2D joonised, mis annavad võimaluse vaadata objekti territooriumit ja korruste plaane jooniste kujul ning vajalikke andmeid objekti kohta kirjalikult. Tuginedes oma kogemusele päästja ametikohal ning läbides Sisekaitseakadeemia päästekolledžis ka päästetöö juhtimise praktika, sai autor kinnitust, et PTJ jaoks on väga tähtis kiiresti võimalikult ülevaatliku ja täpse informatsiooni saamine, mis aitab teha õigeid otsuseid. Autori hinnangul võib üheks võimaluseks olla 3D kujul kuvatava informatsiooni kasutusele võtmine. Seda on küll päästeteenistuses veel üsna vähe uuritud, kuid autori hinnangul võib selline informatsiooni kuvamise viis oluliselt aidata päästetöö juhti otsuste tegemisel ning seetõttu soovib lõputöö autor välja pakkuda erinevaid 3D modelleerimise viise, võttes arvesse päästetöö spetsiifikast tulenevaid vajadusi.

Teema on **uudne** ja aktuaalne, kuivõrd Eestis päästeteenistuses pole veel 3D visuaali kasutamist päästetöö kontekstis uuritud, kuigi tehnilised eeldused informatsiooni kogumiseks (dronid) on olemas. Oskus ja võimalus antud töö raames uuritud meetodikaga infot töödelda võib anda kiirema ja parema ülevaate sündmuskohast ning sellega lühendada elupäästeahelat (kiire ja täpne informatsioon annab võimaluse teha kiiremini otsuseid ja asuda tegutsema).

Lõputöö **uurimisprobleemiks** on küsimus: „Milline 3D visuaali modelleerimise meetodi kasutamine on päästesündmuse lahendamise seisukohalt otstarbekas Päästeametile?“

Tulenevalt uurimisprobleemist on autor seadnud lõputöö **eesmärgiks** pakkuda välja päästetöö juhtimist toetav 3D visuaali modelleerimise meetod.

Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised **uurimisülesanded**:

1. Anda ülevaade 3D visuaali modelleerimise meetoditest lähtuvalt teiste riikide kogemusest.
2. Võrrelda erinevaid 3D visuaali modelleerimise meetodeid lähtuvalt päästesündmuse lahendamise kontekstist.
3. Uurida 3D visuaali modelleerimise kasutamise võimalikku positiivset mõju päästesündmusel.

Eesmärgi saavutamiseks kasutab autor oma töös 3D visuaali modelleerimise erinevate meetodite võrdlevat analüüsi tuginedes välisriikide kogemusele ning viib läbi ekspertintervjuud, et segitada välja võimalik 3D visuaali kasutamise kasutegur päästesündmusel.

Töö koosneb kahest peatükist, mis omakorda jagunevad alampeatükkideks. Esimeses peatükis antakse teoreetiline ülevaade 3D informatsioonist, selle kogumise ja modelleerimise meetoditest tuginedes välisriikide kogemusele. Samuti kirjeldatakse täna kasutusel olevaid visuaalseid vahendeid (operatiivkaart, droon, termokaamera) ning päästetöö juhtimise põhimõtteid. Lõputöö teises peatükis viiakse läbi uuring, mille eesmärgiks on luua võrdlusraamistik 3D visuaali modelleerimise meetodite analüüsiks ning sobivaima rakenduse leidmiseks Päästeametile. Samuti viia läbi intervjuud ekspertidega, et selgitada välja, kas 3D visuaali kasutamisel pakutud kujul võib olla positiivset mõju päästesündmuse lahendamisele.

# 1. TEOREETILINE ÜLEVAADE 3D MUDELITEST JA SELLE VÕIMALIKUST KASUTAMISEST PÄÄSTETEENISTUSES

## 1.1. 2D ja 3D tehnoloogia arengus

Maailm areneb väga kiiresti ja sellega arenevad ka kõik võimalikud tehnoloogiad. Igapäevaselt inimesed kasutavad oma elus erinevaid maailma tehnoloogiaid ning üks neist on 3D. Tänapäeval mängib 3D suurt rolli inimeste elus. Kes meist ei oleks kuulnud mõistet 3D? Paljud teenused ja tooted on võtnud kasutusele 3D tehnoloogia, ning kuigi täna kasutatakse veel palju 2D kaarte, rakendusi ja muud, siis maailm liigub edasi ja sellega liigub ka 3D ning peagi on võimalik näha 3D-s seda mida 2D-ga ei ole kunagi saavutada võimalik (Усков, 2010).

Esimene 2D ja 3D erinevus on see, et 2D režiimis on kasutusel perspektiivipõhimõtte, mis on loodud illusiooni ja objektide asukoha suhtena. Näiteks need objektid, mis on kaugemal on väiksemad kui need mis on lähemal. Kui te näete objekti esimest korda, siis ei saa te kohe määrata selle objekti mõõtmeid ja selle asukohta. 3D mudelid aga kasutavad vähem andmeid selleks, et määrata objektide suurust ja sobivust, ning inimesel on lihtsam aru saada tegelikku objekti suurust ja asukohta. (Усков, 2010)

Inimesed kasutavad tänapäeval 3D-d eredas graafikas, kõrgtehnoloogilistes keskkondades (skeemid, graafikud, disainisüsteemid, geoinfosüsteemid jne), inimeste tunnete visualiseerimiseks ja objektide modelleerimiseks. 2D-d kasutatakse tavalistes töödes nagu näiteks (Word, Excel, Power Point). 2D puhul on lihtsam luua videoid ja animatsioone, samuti ka töödelda pilte. Üldiselt on 2D palju lihtsam kui 3D. 3D-s aga saab kirjeldada projekte ja lahendusi palju paremini. 3D mudeli projekteerimisel on pikem rakendusaeg. 2D mudelisse saab aga kiiresti mahutada suurt kogust informatsiooni. 2D mudeliga on kiirem ja mugavam teha erinevaid presentatsioone. (Усков, 2010)

Igäüks peab aru saama, kus on vaja kasutada 2D-d ja kus on juba parem kasutada 3D projekteerimist. Õige lahenduse valik sõltub püstitatud ülesandest. 3D kõige suurem eelis on see, et 3D võimaldab luua midagi uut. 3D abil saab luua uudseid lahendusi, mida keegi pole varem teinud. (Усков, 2010) Siin võiks ka Päästeamet olla innovaatiline ja uuenduslik ning uurida 3D kasutamise viise päästetööde juhtimisel. Võibolla on just see üks lahendustest, mis aitab elupäästeahelat lühendada ning päästetööde tegemist kiiremaks ja efektiivsemaks muuta.

## 1.2. 2D ja 3D kasutamine päästeteenistuses Eestis ja välisriikides

Tänapäeval on päästeteenistuses kasutusel operatiivkaart. Operatiivkaardi eesmärk on päästemeeskonna toetamine sündmusel läbi operatiivkaardis oleva info. Operatiivkaart on päästemeeskonnale abiks ning sündmuste lahendamiseks ja ettevalmistamiseks vajalik. Operatiivkaardis on info hoone, hoonetes olevate tuleohutuspaigaldiste ja ohtude kohta (vt lisa 1). Operatiivkaardi koostamine on tööplaaneline tegevus ning on ka päästekeskuse tegevuse moodsus. Operatiivkaarte moodustavad meeskonnavanemad tööplaani järgi. Operatiivkaardi moodustamine on mingi objekti või hoone ülevaatlik pilt, ressursside paigutus ning ka info objekti kohta. Seda uuendatakse siis kui on muutunud mingi ehitise osa või andmed. Operatiivkaart on 2D kujul, kuid tänapäeva infoühiskonnas on palju suuremad võimalused, mis võivad ka sündmuskoha juhtimisel kasutegurit omandada.

Väga suurt rolli mängib tänapäeval sündmuskohal otsustamisaeg. Samuti on väga tähtis sündmuskohal hinnata olukorda, et edaspidi teha õigeid ja efektiivseid otsuseid. Kuid tänapäeval olev operatiivkaart ei anna aega selleks, et saada kiiresti suure hulga info objekti kohta. Välismaa riikides kasutatakse kolmemõõtmelist informatsiooni operatiivteenistuses juba mitu aastat selleks, et saada infot objektide kohta. (Иванов, 2017)

Objekti kolmemõõtmeline mudel on peamiselt ettenähtud hädaolukordade vältimise ja kõrvaldamise ning lokaliseerimise jaoks. Samuti on kolmemõõtmeline informatsioonimudel vajalik selleks, et suurendada potentsiaalselt ohtlike ja sotsiaalselt oluliste rajatiste turvalisust. 3D mudelite abil saavad päästetööde juhid võimalikult kiiresti ja asjakohaselt hajutada objekti territooriumil sündmusega seotud ressursse ja jõude. (Чернодуб, 2015)

Venemaa kasutab päästetöödel tuleohutuse infosüsteemi, mis on üks vahend kõigi rajatiste tuleohutuse säilitamiseks vajalike rutiinsete meetmete prognoosimiseks, planeerimiseks ja jälgimiseks. (Неолант, 2016)

3D tuleohutuse infosüsteem eeldab 3D mudeli loomist, sealhulgas ruumi, tuleohu analüüsi, süsteemide jaoks vajalike elementide loomist. See võimaldab analüüsida objekti kõigi elementide ruumilist suhet andmetega ning tagada süsteemi funktsioonide rakendamise. See on väga tähtis ja aitab sündmusel vaadata näiteks iga elemendi tulepüsivust. Selle eelisteks on see, et see aitab vähendada tulekahjude arvu, parandada tulekustutus kvaliteedi. (Неолант, 2016) Seda kõike saavutatakse läbi personali koolitamise 3D keskkondades, mudelite loomisel ning sündmuste simuleerimisel modelleerimise abil.



Kuna tulekahju tekib ja levib väga kiiresti, on vaja ka tegutseda kiiresti. Sellepärast on tähtis teada kuidas võib levida tulekahju ühe või teise objekti puhul. Selleks kasutavad Venemaa päästjad spetsiaalset 3D modelleerimist, mis näitab kuidas levib tulekahju. 3D mudel võimaldab analüüsida tulekahju levikut sõltuvalt selle tekkekohast ja tekkimise hetkest möödunud ajast ning visualiseerida olukorda 3D-s. (Неолант, 2016)

3D modelleerimist on tänapäeval hakatud laialdaselt kasutama Venemaa hädaolukordade ministeeriumis. Seal hakati seda kasutama näiteks järgmistes valdkondades (Чернодуб, 2015):

- kaablikoridoride ja muude hoone ruumide tulekaitsevahendite topoloogia visualiseerimine;
- kaabliühenduste topoloogia visualiseerimine hoonete ruumides;
- liiklusvariide situatsioonide modelleerimine ja visualiseerimine;
- sündmuste modelleerimine liiklusvariide järgsete tagajärgede likvideerimiseks;
- tulekahjujuhtumite ära hoidmine ja evakueerimisviiside analüüsimine;
- operatsiooniliste tehnoloogiliste protsesside modelleerimine ja visualiseerimine;
- hooldus ja remonditöötajate koolitus 3D-mudelitel;
- personali väljaõppe ja simulaatorite loomine;
- moderniseerimise tehniliste lahenduste ettevalmistamine;
- moderniseerimise disainlahenduste kontrollimine.

3D modelleerimine Venemaa hädaolukordade süsteemis on protsess kolmemõõtmelise objekti loomisel. Juhul kui tekivad ohud, riskid või faktid siis spetsialistid saavad seda infot oma töö tegemisel kasutada. Hoone 3D mudel aitab arvutada massiliste evakuatsioonide aegu ning kiirendada evakuatsiooni. (Чернодуб, 2015) Kuna 3D võimaldab näha tulekahju levikut, siis saame hästi analüüsida ja prognoosida evakuatsiooni aega ning ohtu.

3D kasutamine on väga efektiivselt kasutusel ka USA päästeteenistuses. 3D modelleerimine põhineb tulekahjude käitumise mõistmisel ja ennetava lähenemisviisi kasutamisel tuleohutuse ohtude ohjamisel ning on toonud kaasa mitmeid positiivseid arenguid, näiteks (Hartin, 2008):

- Situatsiooniteadlikkuse suurendamine ehitise väliskülgede ja sisemiste teede reaalsete tulekahjude näitel;
- Strateegiate ja taktikate dünaamiline hindamine;
- Suitsus sisalduvate põletamata pürolüsaadi ja mittekomplektse põlemisega kaasnevate ohtude ennetav kontroll;

- Suitsu ja õhu juhtimine läbi ventilatsioonistrateegia.

USA-s kasutatakse 3D jaoks roboteid. Robotite kasutuselevõtmine abistab päästjaid otsingu ja päästeoperatsioonides. On erinevaid meetodeid kuidas kasutatakse roboteid. Näiteks sensorite või juba integreeritud programmi abil. Nende abil saab programmeerida robotid vastu võtma ise otsuseid, kaardistada oma teekonda ning ruume 3D vaates, planeerida oma või päästjate teekonda ning avastada kannatanuid. (Hartin, 2008)

Samuti on uuritud ka 3D kaardistamist, kasutades selle jaoks roboteid Portugalis. 3D kaardistamise meetodika sisaldab robotiplatvormi määratlemist, rakendamist ja katsetamist. 3D kaardistamise meetodika peab looma katastroofi piirkonna täpseid 3D kaarte. Robotite peal kasutatakse kõige lihtsamaid andureid. (Lemos, 2008)

Samuti kasutatakse USA-s ka 3D modelleerimist, mis põhineb laserskaneerimise meetodil. Seda meetodit kasutatakse seal rohkem selleks, et kontrollida hoone tuleohutust, näiteks järelevalve eesmärgil. Läbi 3D mudeli saavad nad teada järgmist infot hoone kohta (Hashemi, 2017):

- Ehitustööde info (näiteks ehitusviis, uksematerjal, tulepüsivus);
- Arhitektuuriline teave (näiteks trepid, hoone sissepääsud, väljumiskohad);
- Ohtlikud materjalid hoones või ümbritsevas keskkonnas (gaasijuhtmed, keemilised ained);
- Erakorraliste paigaldiste teave (sprinklersüsteemide ja -torude asukoht, ATS asukoht, elektri pealüliti asukoht).

Kokkuvõttes arvab autor, et tänapäeval on teenistused ja päästesündmused riikides sarnased ning kui teised riigid on proovinud ja katsetanud 3D lahendusi siis samuti võiks Eesti päästeteenistus hakata katsetama 3D lahendusi ning leida päästesündmuste jaoks vajalikum ja efektiivsem lahendus mida saaks tulevikus kasutada, kasutades selleks Eestis olemasolevaid vahendeid ja tarkvara. Kuna teema on keerukas ja mahukas siis autor keskendub ennekõike nii informatsiooni hankimise programmide uurimisel kui ka lahenduste puhul päästesündmuste lahendamisel, kuigi 3D kasutamine on kindlasti võimalik ja võib olla otstarbekam palju laiemalt (järelevalve, õppematerjalid, õppused, projektid jms).

### **1.3. 3D edasiarendused ja rakendused**

3D on objektide matemaatiline kujutamine, kasutades selleks spetsiaalset 3D mudeli tarkvara. 3D võib erineda 2D-st selle poolest, et see võimaldab vaadelda kuvatavat objekti erinevate nurkade alt. Samuti on 3D-s võimalik muuta mõõtkava ja seda modifitseerida. (Slick, 2018)

3D-modelleerimine on objekti kolmemõõtmelise mudeli loomise protsess. 3D-modelleerimise ülesanne on luua soovitud objekti visuaalne 3D-kujutis. Sellisel juhul võib mudel vastata reaalmaailma esemetele (autodele, ehitistele, orkaanidele, asteroididele) ja olla täiesti abstraktne (neljamõõtmeline sarnasus). (M. Willems, 2018)

3D areneb kiiresti ja sellega arenevad ka 3D kasutamise valdkonnad. Allpool on toodud mõned näited 3D kasutamise valdkondadest (Hagedorn, 2008):

1. Avalik teenistus;
2. Ettevõtlus;
3. Kinnisvarategevused;
4. Turvalisus ja ohutus:
  - Mobiilse jõu rakendamine. Tänavate ülevaade, tänavate suurus, ohu määramine. Läbi linna 3D kuju saab enne sündmusele jõudmist määrata sündmusel olev taktikaline suund ja tehnika paigutus;
  - Evakuatsiooniteed. 3D lihtsustab massevakuatsiooni, kuna on võimalik näha kõike väljumis- ja sisenemisteid. Samuti ka hädaväljapääsud;
  - Päästjate toetus. Päästjad nõuavad tulekahju korral siseruumide hoone mudelit ehk plaane. 3D sisemudelit analüüsitakse komandodes ja keskustes enne päästjate jõudmist sündmuspaika. Võimalik, et nähtavus hoones on suitsu tõttu piiratud. Kindlaks on võimalik teha juurdepääsu- ja evakuatsiooniteed, mis aitavad tuletõrjujatel evakueerida hoonest inimesi;
5. Turism;
6. Auto ja jalakäijate navigeerimine.

3D rakendus on väga laialdane ning mitmekülgne. Hagedorni sõnul hästi kasutatav ka turvalisuse ja ohutuse valdkonnas. Kuna amplituuda on väga lai, siis ennekõike on käesolevas töös välja toodud analüüsiks need kättesaadavad olnud meetodid, mis kirjelduste baasil võiksid olla ka Eestis rakendatavad ning päästetööd lihtsustada.

### **1.3.1. BIM rakendus**

BIM on programm, mida kasutatakse arhitektuuri-, inseneri- ja ehitusettevõtete ehitusala teabe modelleerimiseks ja see väljendub kolmemõõtmelises keskkonna modelleeringus (Azhar, 2011, pp. 241-252). 3D mudeli arendamisega hakkasid juba 1973. aastatel tegelema mitmed professorid, nagu näiteks Bruce Baumgart Stanfordin ülikoolist, Ian Braid Cambridge ülikoolist ning Ari Requicha ja Herb Voelcker Rochesteri ülikoolist. BIM abil on võimalik luua digitaalselt hoone täpne virtuaalne mudel. Seda mudelit, mida nimetatakse hooneteabe mudeliks, saab kasutada

rajatise kavandamiseks, projekteerimiseks, ehitamiseks ja käitamiseks (Azhar, 2011, pp. 241-252). Lisaks sellele hõlmab BIM mudel endas hoonete geomeetriat, ruumilisi suhteid, geograafilist teavet ja hooneosade omadusi (Forbes, 2010, p. 213). See aitab arhitektidel, inseneridel ja konstruktoritel kujutada simuleeritud keskkonnas ehitatavaid objekte, et tuvastada võimalikke projekteerimis-, ehitus- või tööprobleeme (Azhar, 2011, pp. 241-252). Lisaks sellele on Forbes ja Ahmed (2011) välja toonud, et tuletõrjeosakonnad ja muud ametnikud võivad neid mudeleid kasutada hoonete projektide ülevaatamiseks (Forbes, 2010, p. 213). BIM simuleerib ehitusprojekti virtuaalses keskkonnas. BIM-tehnoloogiaga on digitaalselt konstrueeritud hoone täpne virtuaalne mudel, mida tuntakse kui hooneteabe mudelit. Kui see on lõpule viidud, sisaldab hooneteabe mudel täpset geomeetriat ja asjakohaseid andmeid hoone realiseerimiseks vajalike projekteerimise, hankimise, valmistamise ja ehitustegevuse toetamiseks. (Azhar, 2011, pp. 241-252)

Azhar näeb BIM kasutamises peamiselt võimalust visualiseerimises, kuna sellega on lihtne 3D kujundust luua. Samuti saavad nii inspektorid kui ka päästjad kasutada antud meetodi tuleohutusjärelvalve tegemisel või operatiivkaardi koostamisel. Läbi BIM mudeli on võimalik ka uurida tulekahju või mingi rikke põhjust, mis on ka väga oluline päästeteenistuse jaoks (Azhar, 2011, pp. 241-252).

BIM mudeli abil on võimalik vaadata tulevikus hoonete projekte arhitektidel, inseneridel, ehitajatel või ka tulevikus päästetametnikel. Teha parandusi ning ka suurt koostööd ametkondade vahel. Samuti selline innovaatiline mudel aitab valida erinevaid võimalusi projektide modelleerimiseks. BIM pakub suurt kasu (Forbes, 2010, pp. 215-218):

- Kuna oluline disainiteave hoitakse digitaalsel kujul, saab seda hõlpsasti uuendada ja jagada kõigi osapooltega.
- Reaalajas projekteerimisandmete säilitamine digitaalsel kujul, kasutades parameetril põhinevat modelleerimistehnoloogiat, võimaldab säästa oluliselt aega ja raha. See omakorda suurendab projekti tootlikust ja kvaliteeti.

BIM mudeli abil saab omanik teada oma hoone distsipliinispetsiifilisi teadmisi ning samuti ka mudeli muudatuste jälgimist. Hoone omanikud saavad kasutada BIM mudelit lihtsasti leida infot hoonetes peituvate probleemide kohta. Näiteks võib kontrollida hoones oleva veeventiili korrasolekut. Samuti saab kontrollida spetsiaalset klapi suurust, tootjat, osa numbrit ja mistahes muud teavet, mis asuvad BIM-i andmebaasis. (Forbes, 2010, pp. 215-218)

### 1.3.2. Fotogramm-meetria rakendus

Fotogramm-meetria uurib fotode järgi objekti kuju, mõõtmete ja asendi määramist. Kasutades aerofotosid teevad inimesed erinevat värvi ja tüüpi fotogramm-meetria töid. Topograafiliste kaartide aluseks on aerofoto. Tänapäeval on väga raske ilma kaartideta planeerida ja juhtida maa ja kinnisvara õiguslikku kasutamist ja arengut. (Liba, 2005, lk. 7-58)

Fotogramm-meetria on fotograafia kasutamine vaatluseks, mis hõlbustab peamiselt kaartide ja geograafiliste andmebaaside tootmist aerofotodest. Samuti on fotogramm-meetria peamine geograafiliste infosüsteemide andmete genereerimise vahend. Fotogramm-meetriat võib määratleda kui mõõtevahendid, mis võimaldavad modelleerida 3D ruume kasutades 2D kujutisi. (Yves Egels, 2003, pp. 78-219)

Fotogramm-meetria on kunsti, teaduse ja tehnoloogia elementide kooslus. Fotogramm-meetria uurimist alustati juba muistsest kultuurist ja filosoofiast. Fotogramm-meetria võib seostada 14. sajandi lõpus Itaalias elanud suure geeniuse Leonardo da Vinciga. Fotogramm-meetria on kõige lihtsamate sõnadega valguse abil objektide kujutamine ja mõõtmine (Liba, 2005, lk. 7-58).

Fotogramm-meetrias on kolm süsteemi (Liba, 2005, lk. 7-58):

- Satelliitfotogramm-meetria;
- Aerofotogramm-meetria;
- Fototeodoliit- ehk terestriiline fotogramm-meetria.

„Elektroonilisi pildisüsteeme ehk digitaalkaameraid kasutatakse rohkem satelliitfotogramm-meetrias. Aerofotogramm-meetriselisi töid tehakse aerofoto abil. Fototeodoliitfotogramm-meetria puhul paiknevad kaamerad maapinnal või selle läheduses“ (Liba, 2005, lk. 7-58).

Aerofotogramm-meetriseliste meetodite eelised on järgmised (Liba, 2005, lk. 7-58):

- fotokujutise objektiivsus;
- informatsiooni suurem maht;
- plaanimaterjali saamise kiirus;
- välitööde mahu vähendamine;
- sõltumatus ilmastikust plaani koostamisel;
- tööde automatiseerimise võimalus.

Fotogramm-meetrial on praktiliselt piiramatud kasutusvõimalused. Seda saab kasutada teehooldustöödel, ehitiste deformatsiooni uurimisel, liikluse uurimisel, saagikuse määramisel,

antiiksete varemete kaardistamiseks ning meditsiinis keha liikumise, kehapinna, kehakuju määramiseks ja kehakuju muutuste avastamiseks (Liba, 2005, lk. 7-58).

Fototooted on fotod mis kujutavad originaalselt objekti. Tegemist võib olla nii 2D kui ka 3D fotodega. Need omakorda jagunevad: aerofotodeks, fotomosaiikideks, satelliitpiltideks, parandatud fotodeks, ortofotodeks, ortofotomosaiikideks, ortofotokaartideks (Liba, 2005, lk. 7-58).

### **1.3.3. Fotogramm-meetria eelised**

Fotogramm-meetria olulised eelised on (Geostart, 2018):

- võimalus kasutada suurtel territooriumidel;
- informatsiooni kiire vastuvõtmine;
- kasulik ja odav meetod;
- pindade objektiivsus, kontrollimõõtmise võimalus;
- saab kasutada sündmustel, mis väga kiiresti arenevad;
- võimalus kasutada raskesti ligipääsetavas kohtades või ohtlikes punktides;
- andmete kogumise kõrge täpsus.

Fotogramm-meetria miinused on (Geostart, 2018):

- suur sõltuvus meteoroloogilistest tingimustest;
- keeruline mudeli loomise struktuur.

### **1.3.4. Fotogramm-meetria kasutades drooni**

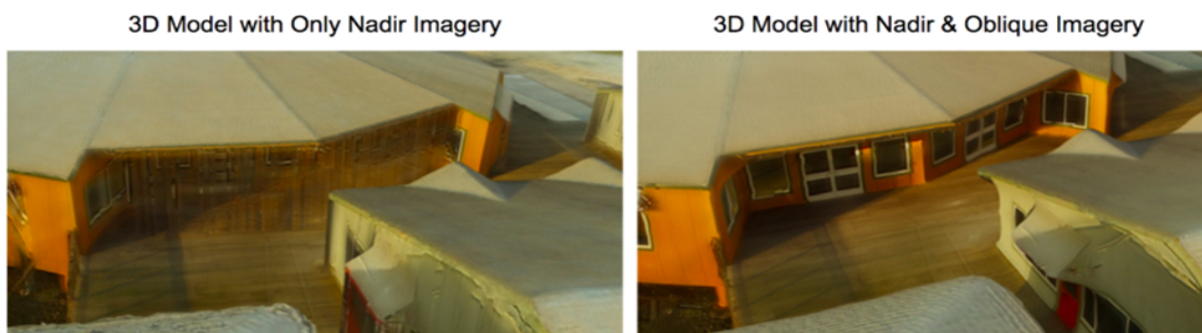
Tänapäeval on päästeteenistuses kasutusel droonid, mis võimaldavad meil teha 3D modelleerimist. Selleks on väga oluline teada ka modelleerimise põhimõtteid.

Iga päevaga kasutab aina rohkem inimesi 3D mudeleid. Kvaliteetse 3D mudeli loomine on väga raske. 3D mudel peab olema vaadeldav iga nurga alt. Selliste kujutiste loomisel hakati kasutama droone. Drooni abil kogutakse andmeid ja mille abil saadakse modelleerimise tulemusel 3D mudel. Drooni abil mudeli saamise võib jagada nelja etappi. (Schroth, 2016)

Esimene etapp on õige aja valimine lennu teostamiseks, mis võimaldab drooni abil piltide tegemist. Oluline on, et ei oleks sademeid ning, et pildistatav ala oleks hästi valgustatud. Samuti on hea kui taevas on selge, kuna siis on vähem tugevaid varje. Ei tohi valida hommikust ning õhtust aega, kuna see mõjutab mudeli valmistamist ning kvaliteetsete piltide saamist. (Schroth, 2016)

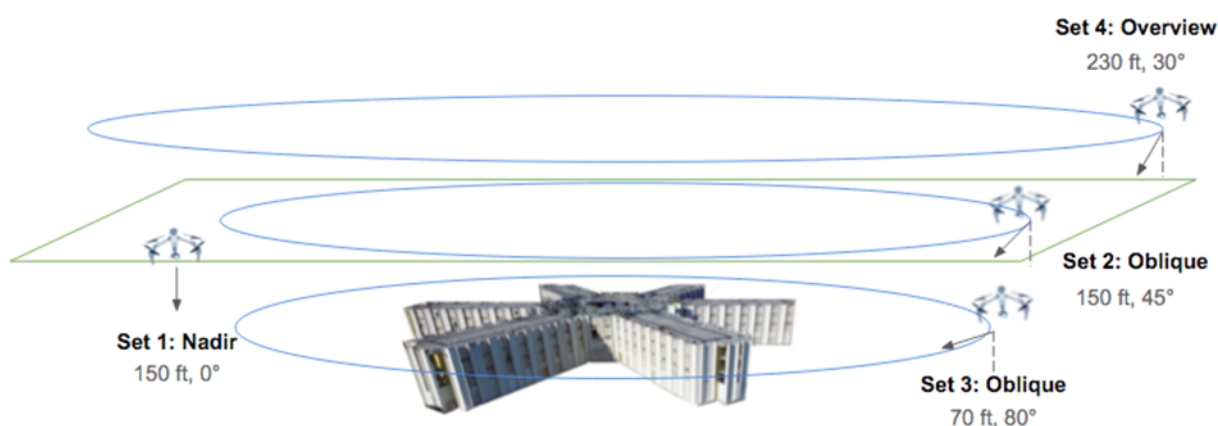
Teine etapp on pildista Nagir Imagery. See etapp tähendab kõige madalamat lendu. See on kõige esimene lend drooniga ning seda tehakse 0 kraadi juures ja vaadatakse ülevalt alla. (Schroth, 2016)

Kolmas etapp on orbitaalne lend. Orbitaalset lendu on vaja selleks, et mudeli loomine oleks kvaliteetne ning oleks näha objektide struktuuri. Kui teha ainult madalamat lendu võib see olla ebapiisav selleks, et saada tekstuurilist ja struktureeritud mudelit. Selleks ongi vaja teha paar orbitaal lendu, et kaldkriipsuga pilte jäädvustaks mudelite peale. Nende kahe etappi vahet saab näha joonisel 1. (Schroth, 2016)



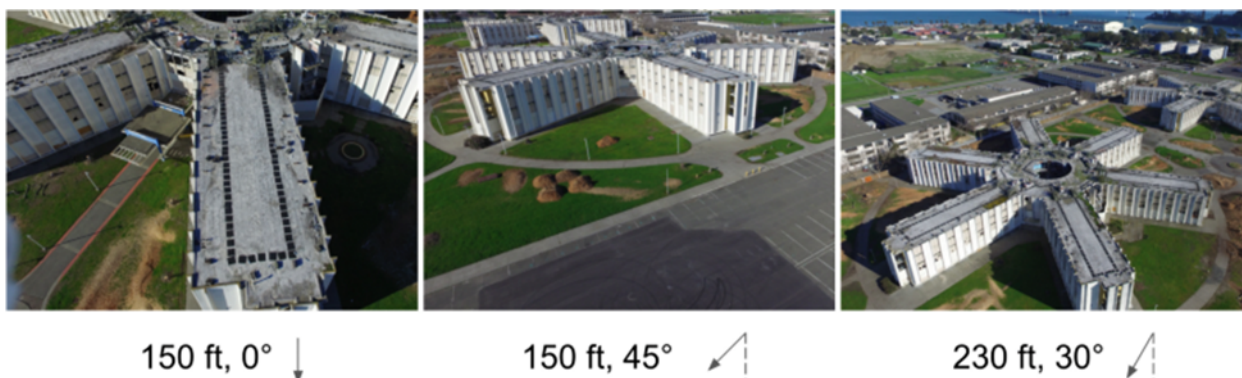
Joonis 1. Madala ja orbitaal lennu vahe (Schroth, 2016)

On näha, et vasakpoolsel joonisel kujutatud modelleeringu juures on väga halvasti näha hoone tekstuuri. Selle loomisel kasutati kaamerat, millele määrati 45- kraadine nurk objekti suhtes ning lennati mööda ringi fikseeritud raadiusega samal kõrgusel kui esimese lennuga. Teise pildi puhul oli lennu ajal nurk objekti suhtes 90 kraadi juures, kuid lennu trajektoor oli objekti suhtes lähemal. Sellise lennu puhul on vaja vältida vale nurga valimist. Lendude puhul võib määrata spetsiaalse programmi, mis pildistab objekte iga 3-5 sekundi tagant. Samas kui on näha, et piltide kvaliteet on halb siis võib teostada kvaliteedi parandamiseks veel ühe lennu. Viimane lend on üldine, mis võtab kogu pildi ette ja on kõige kõrgemal tasemel ja kõrgusel (vt joonis 2). (Schroth, 2016)



Joonis 2. Drooni lendude vaade (Schroth, 2016)

Järgmisena tuuakse välja kolme lennu täpseid nurkade vaated (vt joonis 3).



Joonis 3. Lendude täpsed nurgad ja vaated. (Schroth, 2016)

### 1.3.5. Laserskaneerimine (LIDAR)

Laserskaneerimine on 3D mõõdistamise tehnoloogia, mis võimaldab objektidest ja ümbritsevast keskkonnast koguda väga lühikese ajaga detailset 3D infot. Laserskanner on seade, mis laserkiire tagasipeegelduse abil määrab mõõdetud punkti asukohta. Kiiremad seadmed teevad selliseid mõõtmisi kiirusega kuni miljon punkti sekundis. See võimaldab minutitega saada objektist kõrge resolutsiooniga ja täpne 3D punktipilv. Punktipilvest on võimalik koostada 3D mudeleid, jooniseid, lõikeid, kasutada seda erinevateks uuringuteks jne. (Ankord, 2018)

On olemas 3 tüüpi laserskaneerimist (Середович, 2013):

- 1) Esimene tüüp on maa laserskaneerimine, mis on kõige esimene viis, mida hakati kasutama laserskaneerimises;
- 2) Teine tüüp on õhk laserskaneerimine;
- 3) Kolmas tüüp on mobiilne laserskaneerimine.

Kasutades neid tüüpe on vaja teada nende tüüpide plusse ja miinuseid. Otsus selle kohta, millist tüüpi kasutada enamasti sõltub ülesandest ja sellest mida tahetakse näha. Joonistel (4, 5, 6) on näidatud erinevate tüüpide vaade (Середович, 2013).



Joonis 4. On esimene laserskaneerimise tüüp ehk maapeale laserskaneerimine (Середович, 2013)



Kui on vaja kaardistada ja modelleerida väikest ala, siis kasutatakse maapealset laserskaneerimist. Maapealne laserskaneerimine on kõige täpsem tüüp, mille mõõtmistäpsus on 2-5 mm (Середович, 2013).



Joonis 5. Teine laserskaneerimise tüüp ehk õhk laserskaneerimine (Середович, 2013)

Suuremate alade puhul, mis on rohkem kui 1000 hektarit, kasutatakse õhk laserskaneerimist. Õhk laserskaneerimine annab suurt infot maastiku kohta väiksema ajaga, kuid on kõige kallim tüüpidest. Lisaks sellele võimaldab õhk laserskaneerimine, näha neid alasid kuhu pääseda on peaaegu võimatu. Näiteks metsa- ja soolad. Õhk laserskaneerimine on 15-20 cm täpsusega (Середович, 2013).



Joonis 6. Kolmas laserskaneerimise tüüp ehk mobiilne laserskaneerimine (Середович, 2013)

Mobiilse laserskaneerimise tüüpi kasutatakse lühikestel lineaarsetel objektidel. Mobiilne laserskaneerimise tüüp võimaldab saada andmeid 5 cm täpsusega. (Середович, 2013)

Mudelite kasutamisel on aluseks territooriumide omadused, andmete täpsus, erinevad meetodid ning selle jaoks saab luua ülesannete nimekirja, mida saab lahendada kas ühe või teise tüübi abil. Õhk laserskaneerimist on parem kasutada pikkade tööstusobjektide, näiteks nafta- ja gaasijuhtmete, elektriülekanaliinide, metsastatud alade uurimisel, linnade 3D- modelleerimisel. Mobiilset laserskaneerimist on parem ja soovitatud kasutada raudteetranspordi teede hindamisel, tunnelite tehniliste seisundi hindamisel, linnade infrastruktuuri ruumilisel modelleerimisel. Maapealset laserskaneerimist on vaja kasutada 3D mitmesuguste tammide, liftide, kaevanduste,

tornide modelleerimisel. Samuti võib parandada tulemuse kvaliteeti kasutades mitut tüüpi korraga. Näiteks kui teha rongiteede modelleerimist, siis võib teha maastiku ala kasutades õhk laserskaneerimist ja juba täpsustuse saamiseks kasutada mobiilset laserskaneerimist, et saada täpne rongiteede kuju. (Середович, 2013)

Laserskaneerimise tehnoloogia võimaldab kasutada erinevaid tooteid selleks, et luua geograafilisi infosüsteeme, disaine, uurimusi ja erinevate riigi objektide analüüse.

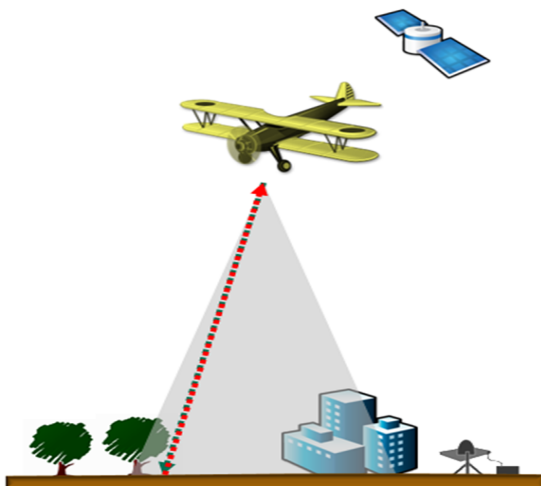
Kasutades laserskaneerimist saame (ГИСвер Интерпо, 2018):

- erinevate skaalade topograafilised plaanid;
- ortofoto plaanid;
- maastiku ja maa alade digitaalsed mudelid;
- kolmemõõtmelise mudeli maastiku ja vektori esemed, sealhulgas tööstusstruktuurid;
- erinevate objektide geomeetriliste omadustega seotud arvutuste tulemused.

### **1.3.6. LIDAR**

Üks laserskaneerimise võimalustest on LIDAR, mis on viimastel aastatel toonud kaasa suurepäraseid kaarte ja teadmisi. (Talbot, 2014) Laserskaneerimise seadme nimetus LIDAR on lühend inglisekeelsest nimetusest light detection and ranging, mida esimest korda mainiti juba enne esimese laseri ilmumist Middletoni ja Spilhausi teoses “Meteorological instruments”. 1960. aastal peeti laserit looduskeskkonna täppismõõdistuse keskmeks. Laserskaneerimise meetod põhineb ajal, mis kulub laserimpulsil tee läbimiseks kiirusallikast maapinnani ja tagasi. (Kirsimäe, 2010)

LIDAR on aktiivne optiline andur, mis kiirgab laserkiire sihtmärgi suunas, kui sõiduk, lennuk või muu vahend sõidab spetsiaalsetel laskmisliinidel. Andur tuvastab objektilt peegeldunud laserkiire ja toimub vastuvõetud signaali analüüs. Vastuvõtjad registreerivad täpse aja alates hetkest, kui süsteem pulseerib laserimpulsi, kuni selle tagasijõudmiseni, et arvutada kaugus anduri ja sihtmärgi vahel. Sisemise ja välimise asukoha määramise (GPS ja INS) abil transformeeritakse need kaugused punktideks kolmemõõtmelisel skaalal, mis kujutavad laserimpulsside peegeldumispinda. (vt joonis 7) (ArcGIS, 2018)



Joonis 7. LIDAR-i tööpõhimõtte (ArcGIS, 2018)

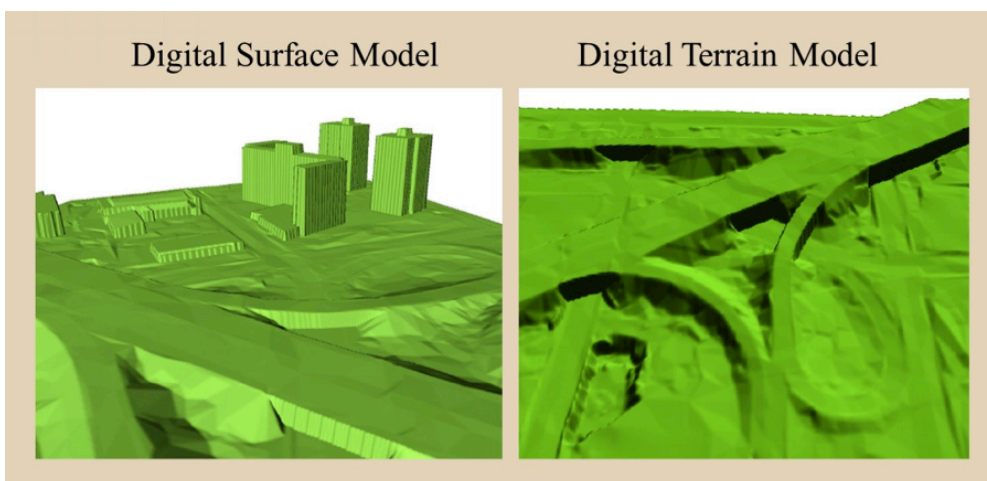
Tänapäeval muutuvad üha populaarsemaks LIDAR süsteemid. LIDAR süsteem muutub populaarseks mitmetes valdkondades, kuna võimaldab kiiresti ja täpselt modelleerida kolmemõõtmeliselt looduslikke ja inimtegevuslikke objekte maapinnal. LIDAR-i süsteemi kasutatakse kõige rohkem DTM ja DSM süsteemides. Nende abil saab kaardistada ja modelleerida objekte, taimestiku, rannikualasid ning tuvastada maapinna muutusi. 3D LIDAR-i mudel on üks silmapaistvamatest rakendustest, mis on linnaplaneerimise, linna modelleerimise, keskkonna simulatsiooni, turismi, turvalisuse, telekommunikatsiooni ja liikuva navigatsiooni jaoks olulise tähtsusega. (Yastikli, 2017)

Lisaks visualiseerimisele kasutatakse LIDAR-i süsteemi ka teiste ülesannete lahendamisel, näiteks päikese kiirguse hindamise, energiavajaduse hindamisel, põrandapinna määramisel ja hoone tüübi liigitamisel. Samal ajal on 3D mudelite tootmine aeganõudev ja keeruline protsess. LIDAR-i punktipilveandmed parandavad automatiseeritud 3D mudeli genereerimise edukust. Iga punktipilve punkt on suur osa mudelist ja sellepärast tuleb neid korralikult käsitleda. (Yastikli, 2017)

LIDAR tööpõhimõtte seisneb aja mõõtmisel, mis kulub laserimpulsi liikumiseks laserist maapinnani ja tagasi. Läbi GPS-baasjaama määratakse lennuki positsiooni kogu selle lennutrajektoori vältel, läbi mille saadakse lennuki täpne asukoht momendil, millal laserimpulss teele lähetati. Selleks, et arvutada laserpunkti peegelduse asukoht maapinnal on vaja teada lennuki asukoht (GPS), impulsi lähtenurka, impulsi kestust, atmosfääri seisundi andmeid ja asendit (IMU) mõõtmise teostamise hetkel. (Kirsimäe, 2010)

Kasutades LIDAR-i süsteemi, omandavad teadlased ja kaardistamisprofessionaalid täpsuse ja paindlikkuse ning saavad uurida nii looduslikke kui ka inimloomelisi keskkondi. Teadlased kasutavad LIDAR-it selleks, et teha digitaalseid kõrgus mudeleid, mida kasutatakse geograafilistes infosüsteemides. Samuti on võimalik saavutada täpseid rannajoonekaarte. Sellest on abi ka operatiivsündmustel ja hädaolukordade laahendamisel. (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017)

LIDAR-it kasutatakse samuti ka muudes valdkondades (Wikeedia, 2017): teede, raudteede, maapealsete torustikude, veeteede kaardistamine, DTM (Digital Terrain Model) koostamine, näiteks metsa aladel, metsa sees asuvate teede, radade määramine ja kaardistamine (vt joonis 4), kolmemõõtmeliste linnamudelite koostamine, kommunikatsioonide kaardistamine ja koostamine, taimestikku uurimine, näiteks puude läbimõõt, puude tihedus, puude kõrgused, kahjude hindamine ja uurimine peale looduslike õnnetusi (õlireostus, maavärinad, maalihked), elektriliinide mõõdistamine, suure täpsusega ning suure punktide tihedusega DTM-i koostamine kaevandustest, teede modelleerimine, lume ja jääalade mõõdistamine, DSM-i (Digital Surface Model) koostamine linnades (vt joonis 8).



Joonis 8. DTM (Digital Terrain Model) ja DSM (Digital Surface Model) (Abdullah, 2018)

### **Peegelduste registreerimine**

Lennukilt andmete kogumisel võib esineda peegeldusi erinevatelt tasanditelt. Selle põhjuseks võib olla maapinna ja lennuki vahel olevad takistused (näiteks mets, rajatised, pilved, suits, linnud), mis jagavad laserkiire jälje mitmeks osaks, see omaette tekitab tagasipeegeldamisi mitmelt tasapinnalt. (Kirsimäe, 2010)

LIDAR-i poolt väljastatud laserimpulssid peegelduvad nii maa peal asuvatest objektidest kui ka maa kohal olevatest objektidest. Üks laserimpulss saab peegelduda tagasi üks, aga ka mitu korda. Iga laserimpulss peegeldub nii mitmel korral, kui palju takistusi on selle teel. (ArcGIS, 2018)

Esimene peegeldus on kõige tähtsam impulss, kuna ta määrab kõige kõrgema maapinna punkti. Näiteks võib esimene impulss olla hoone katus. Samas võib esimene peegeldus olla ka maapinna punkt. Sellisel juhul registreerib LIDAR ainult ühe peegelduse. Viimane laserimpulss tähendab tavaliselt maapinna punkti, kuna maapinnani jõuab kiir viimasena. (ArcGIS, 2018)

### **LIDAR-i kasutamise eelised**

LIDAR-i andmed on paljude rakenduste jaoks rikas teabeallikas. Samuti omab LIDAR mitmeid eeliseid traditsiooniliste aerofotode ees. LIDAR süsteem võimaldab tavapärase aerofoto kaardistamisega võrreldes lisaks maapinna mudeli koostamisele lahendada erinevaid ülesandeid nagu üleujutused, hüdrograafia, linnaplaneerimine, maastikuökoloogia, metsaressursside kaardistamine, ruumilised arvutused. LIDAR omab mitmeid eeliseid selliste rakenduste tarbeks andmete ja GIS süsteemi analüüsimiseks, haldamiseks, visualiseerimiseks ning levitamiseks. (Esri, 2018)

Peamised eelised on (Esri, 2018) :

- Andmeid saab koguda kiiresti ja suure täpsusega;
- Pinnad on suure tihedusega ning kuna LIDAR laserimpulssid omavad suurt tihedust, siis see parandab ka uuringute tulemusi, näiteks üleujutuspiirkonna piiride uurimist;
- LIDAR süsteem kasutab valgussensoreid, mis pakub võimalust koguda andmeid igal ajal (ka pimedal ajal), erinevalt traditsioonilistest fotogramm-meetrilistest meetoditest;
- LIDAR-i andmeid saab integreerida teiste andmeallikatega;
- LIDAR ei anna geomeetrilisi moonutusi, näiteks külgvaates nähtavat radaripaigutust;
- Tiheda metsa sees saab LIDAR piisavalt pinna täpsust erinevalt fotogramm-meetriast.

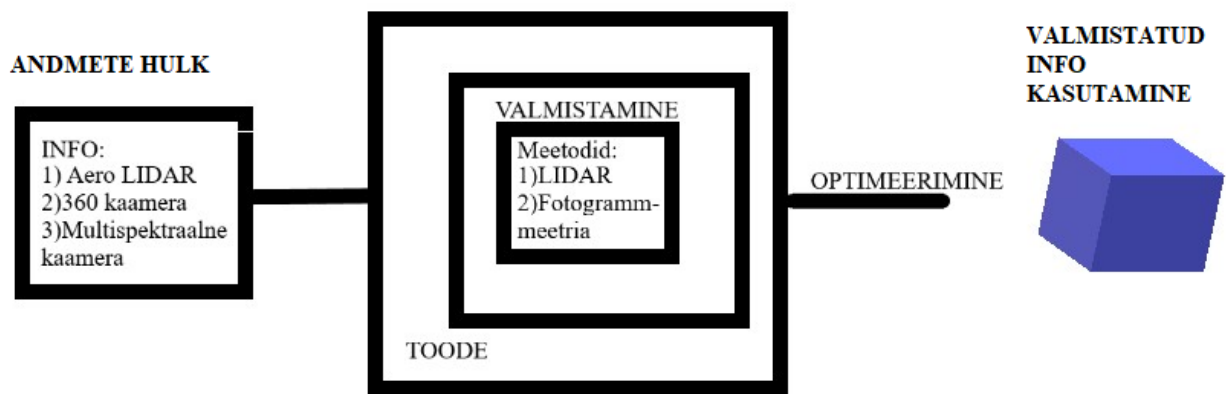
## 2. 3D MODELLEERIMISE MEETODITE UURING

### 2.1. Metoodika ja valim

Selles peatükis koostatakse mitmeid võrdlusraamistikke ja uuritakse intervjuude käigus saadud arvamusi. Lõputöös kasutati empiirilist uurimust ning uurimisstrateegiaks on hindav uuring. Hindava uuringu eesmärk on koguda ja hinnata informatsiooni, mis annab tagasisidet mingi programmi kohta. Samuti uurib see programmi kasu või väärtust. (Järvet, et al., 2017)

Autor kasutas **andmetekogumise meetodina** erinevatest allikatest info kogumist jagades töö kahte etappi. Esimeses etapis otsiti materjali välisriikide kogemuse baasilt, ehk valimisse kuulusid programmid, mille kasutamise osas on erinevatel riikidel kogemus ning teises etapis viidi läbi ekspertintervjuud mugavusvalimit kasutades arvestades siiski intervjuueeritava pädevust antud teemal kaasarääkimiseks. Teoreetilise kirjanduse baasilt kogutud informatsioon koondati kokku ning nende võrdlemiseks koostas autor võrdlusraamistikud. Eesti päästeteenistuse jaoks sobivaima programmi leidmiseks koostas autor teenusepõhise ning mudelipõhilise võrdlusraamistiku, mis võimaldasid paremini aru saada, millised võimalused ja eelised on erinevatel programmidel Eesti päästeteenistuse teenusvõrgustikku arvestades. Hindavas uuringus kasutas autor ekspertintervjuusid **mugavusvalimit** kasutades, see tähendab, et autor intervjueeris pääste operatiivtöötajaid ja eksperte, keda tal oli lihtsam kätte saada. Intervjuu annab võimaluse koguda uurimisandmeid intervjuueeritavate loomulikus keskkonnas ning küsida lisaks planeeritud küsimustele ka täpsustavaid küsimusi vastavalt vestluse arengule (Laherand, 2008). Mugavusvalimi puhul toimub liikmete valimine n.ö „mugavalt“, uurija jaoks kergesti kättesaadavatest huvialustest. Mugavusvalimi koostamine pole metoodiliselt eesmärgipärane ega ka strateegiliselt kavandatud. Lähtutakse lihtsa kättesaadavuse, leitavuse või uuritavate koostöövalmiduse põhimõttest (Tartu Ülikool, 2012). Intervjuud viidi läbi päästetöö juhtidega autori töökaaslaste hulgast. Intervjuude läbiviimiseks oli koostatud hulk küsimusi, millega autor soovis ekspertide hinnangut, et kas 3D modelleerimine on päästesündmuse juhtimise kontekstis vajalik ja kasulik.

Teooria analüüsi käigus on autor koostanud 3D modelleerimise lihtsama skeemi, mille abil tahtis teha nähtavaks 3D mudeli süsteemi (vt joonis 9). Antud skeemi kasutades on näha, et 3D modelleerimise puhul on väga tähtis teada valmistamise meetodid, mille abil üht või teist mudelit koostada ning selleks teeb autor 2 võrdlusraamistiku.



Joonis 9. 3D mudeli modelleerimise skeem (autori koostatud)

Antud skeemil on näha kuidas toimub 3D mudeli modelleerimine. Esimeses etapis saadakse info läbi laserite või fotode. Pärast seda toimub mudeli valmistamine kasutades kas LIDAR-i või fotogramm-meetria andmeid. Mudeli töötlemise ja modelleerimise käigus saadakse valmis toode. Seejärel toimub mudeli optimeerimine ja mudeli 3D kujul kuvamine.

## 2.2. Võrdlusraamistik

Töö teooria osas oli kirjeldatud kolme 3D modelleerimise meetodi, mida kasutatakse teistes riikides nagu Venemaa, USA, Portugal ning, mis on 3D modelleerimise jaoks põhilised meetodid ja programmid. Autor koostas programmide võrdlustabeli (vt Tabel 1) ning valis edasiseks analüüsiks kolmest kaks mudelit, kuna nende kasutamine on juba tänapäeval võimalik läbi hetkel teenistuses kasutusel olevatele vahenditele kasutamist nagu droonid, LIDAR-i andmed ning seda saab ainult paremaks muuta. BIM on programm, mis sobib juba valmis mudelite jaoks, kuid selle programmi abil saaksime 3D kasutada ning mida saavad kasutada päästemeeskonnad ja kontoritöötajad.

Tabel 1. Kolme 3D modelleerimise meetodi analüüs (autori koostatud)

Mudeli eesmärk	BIM	LIDAR	FOTOGRAMMMEETRIA
Kasutamine	ehituselase teabe modelleerimiseks	piiramatud kasutusvõimalused	piiramatud kasutusvõimalused
Kasutamise viis	see on programm, kus saab kasutada juba 3D mudeleid	laserid	droonid
Kasutajad	tuletõrjeosakonnad ja muud ametnikud võivad neid mudeleid kasutada hoonete projektide ülevaatamiseks	pääste operatiivtöötajad, ametnikud, tulevikus soovi korral ka teised operatiivteenistused	pääste operatiivtöötajad, ametnikud, tulevikus soovi korral ka teised operatiivteenistused

Valitud kahe 3D modelleerimise meetodi: LIDAR ja fotogramm-meetria vahel eelistuse tegemiseks, koostas autor analüüsitud teooria põhjal võrdlusraamistiku (vt Tabel 2), kus on kirjeldatud programmide erinevaid omadusi ja võimalusi, mis on olulised ka päästetöö kontekstis.

Tabel 2. 3D meetodite võrdlusraamistik (autori koostatud)

Teema	LIDAR	FOTOGRAMMMEETRIA
Töötluse kiirus	Aeglasem töötus	Kiirem töötus
Piirkonna ulatus	Suurema pinna modelleerimine	Objektide kaupa modelleerimine
Takistused	Segavad takistused	Takistusi pole
Kasutusvõimalused	Erinevad kasutusvõimalused	Piiratud kasutusvõimalused
Mudeli erinevus	Mudel on ilma tekstuurita	Kohe tekstuuriga
Meteoroloogilised tingimused	Saab kasutada igal ajal	Ainult siis kui on valgus ja hea nähtavus ning saab kasutada ka õhtusel ajal kui on valgustust. Hämaras või pimedas on võimalik kasutada termokaamerat (IR-kaamerat)
Maastiku tingimused	Saab kasutada tiheasutus alades	Ei saa kasutada tiheasutus alades
Meetodi kasutuse täpsus	Ei ole vaja nii suurt täpsust laserimpulsite puhul	Peab olema täpne pildistamine
Juurdepääs programmides kasutamiseks	Saab kasutada erinevates rakendustes	Rakenduste arv on piiratud
Andmete kogumise kiirus	Saab kiiresti koguda andmeid	Andmete kogumiseks kulub palju aega
Sündmuse tüüp	Saab kasutada dünaamiliste sündmuste puhul	Kasutatakse dünaamiliste sündmuste puhul

Esimene erinevus kahe meetodi vahel on töötuse kiirus. Töötuse kiirus tähendab 3D mudeli valmistamise ja kuvamise kiirust. Kui fotogramm-meetria puhul on pärast andmete saamist kohe olemas objekti kuju, mis on saadud piltide pealt, siis LIDAR-i puhul on töötuse aeg objekti kujutise saamiseks väga pikk, kuna iga laserimpulss omab koordinaate.

Kuna autor arvab, et fotogramm-meetria puhul võiks kasutada droone, mis on Eesti päästesüsteemis juba kasutusel, et saada andmeid objektide ja ehitiste kohta. Üks LIDAR-i ja fotogramm-meetria erinevus on piirkonna ümbermõõt ehk see maa-ala, mida saab ühe või teise meetodiga modelleerida. LIDAR-i abil on võimalik saada andmeid suure pindala kohta, kuid fotogramm-meetria seda ei võimalda, kuna drooni ei saa juhtida suurematel vahemaadel.

Kuna 3D mudeli modelleerimise puhul on väga oluline saada puhtaid ja täpseid andmeid, siis on üks oluline erinevus - takistused. Takistused võivad olla segavaks faktoriks mõlema tüübi puhul, kuid fotogramm-meetria puhul ei mängi need nii suurt rolli, kuna saadakse pildid. Aga LIDAR-i puhul mõjutavad takistused tulemusi väga oluliselt. Näiteks kiirte ette jääv lind või pilv võib segada mudeli korrektset valmimist.

3D meetodite kasutusvõimalused on üllatavad. Igal mudelil on omad kasutusvõimalused, mis olenevalt püstitatud ülesandest konkureerivad teineteise ees. Kuna tänapäeval on LIDAR



muutunud väga populaarseks meetodiks, siis sellega on muutunud ka selle kasutusvõimalused ja kasutusvaldkonnad. Fotogramm-meetria puhul on kasutusvõimalusi ka palju, kuid mitte nii palju kui LIDAR-il. See võib mõjutada asjaolu, et LIDAR-i mudelid on enam arenenud ja parema kvaliteediga ning võimaldavad teha rohkem asju.

Tekstuuride lisamine mudelitele on kahe vaadeldava meetodi puhul samuti erinev. Mõlema meetodi puhul on see võimalik, kuid LIDAR-i puhul võtab see rohkem aega. Fotogramm-meetria puhul saadakse kohe tekstuuridega mudel, mida saab mudeli kuvamisel, kuna andmed on kogutud piltidena.

Suurt rolli mängivad mudelite loomisel meteoroloogilised tingimused. Fotogramm-meetria puhul on meteoroloogilised tingimused väga oluline aspekt, kuna päikese kiired või vihm võivad mõjutada pildi kvaliteeti ning see omakorda rikub objekti tekstuuri ja omadusi. LIDAR-i puhul on see vähem oluline, kuna kõik toimub laserite abil ning lasereid see üldiselt ei sega.

Samuti võiks tulevikus Eesti päästeteenistuses hakata kasutama metsade kaardistamist. Näiteks selle aasta metsatulekahjude näide on väga hea (Mari Mets, 2018). Kuna selle aasta praktika näitab, et metsatulekahjudel kasutame kogu oma ressursse kustutamiseks, siis tulevikus saame paremini analüüsida sündmusi ja prognoosida tulekahju levikut mis omakorda aitab jagada ressursi, ehk kui palju ressursi on vajalik ühele või teisele sündmusele. Läbi nende meetodite saaksime väga hästi prognoosida tulekahju levikut. Samuti aitaks see analüüsida iga sündmust ning teha parandusi päästetöös. Selleks on LIDAR meetod palju kasulikum kui fotogramm-meetria. LIDAR saab kaardistada iga puu osa ja samas ka maapinna tasandi. Fotogramm-meetria meetod aga annab meile ülevaatliku pildi maapinnast, kuid selle meetodi puhul on väga raske näha väiksemaid detaile.

Mõlema meetodi puhul on vaja täpseid mõõdistusi ja täpseid andmeid. LIDAR-i puhul ei ole see oluline probleem, kuna laser jõuab punktist A punkti B. Fotogramm-meetria puhul on väga oluline piltide kooskõlastus ehk iga pilt peab kattuma teise pildiga ja ainult siis on võimalik saada 3D mudeli.

Tänapäeval on väga palju erinevaid programme, mille abil saab teha 3D mudeleid. Erinevatel programmidel on erinevad kasutusvõimalused. LIDAR-i puhul on spetsiaalsete programmide arv väga suur. Fotogramm-meetria puhul on aga programmide arv väiksem, kuid see ei ole takistavaks faktoriks selle meetodi kasutuselevõtmiseks.

Väga oluline on vaadelda ka ajalist faktorit. Sellest selgub, et fotogramm-meetria meetodi puhul on raske koguda andmeid kiiresti. Keskmiselt kulub andmete kogumiseks fotogramm-meetria

meetodi puhul umbes 40-50 minutit. LIDAR-i andmeid aga kogutakse iga aasta, ning Päästesüsteemile on need avatud ning neid saab kasutada. Selle miinuseks on see, et kui ehitatakse uusi objekte siis LIDAR-i andmetes seda kohaselt näha võimalik pole.

Tihti on sündmusi, mis arenevad dünaamiliselt, siis on keeruline sündmuse käiku ja ulatust tuvastada. Sellisel juhul saab kasutada fotogramm-meetria meetodit, kuna see võimaldab teha pilte ja modelleerimist dünaamiliste sündmuste puhul. LIDAR-i meetod seda praegusel ajal ei võimalda.

Järgnevalt koostas autor sündmuse järgse võrdlusraamistiku (vt Tabel 3), kus autor võrdleb erinevaid päästesündmusi ning kahe meetodi kasu nende sündmustel. Samuti kasutab autor võrdlusraamistiku koostamisel ka erinevaid kuvamise tasemed. Taseme tähtsus on järgmine: LOD1 on kõige lihtsam mudeli vaade. Näiteks tavaline maja, kus pole näha aknaid ega uksi, ainuke, mida sa näed, on kontuur. LOD2 on juba mudel, kus on näha aknaid, uksi ning hoone kuju on paremini aru saadav, kuid hea tulemuse jaoks pole see piisav. LOD3 on juba hea hoone kuju, samuti on ka ümbruskonna tekstuuri näha ja ka mudel on värviline. LOD4 on ilus ja konkreetne 3D pilt, mille peal saame näha kõike nii nagu päris elus on.

Tabel 3. Teenusepõhine võrdlusraamistik (autori koostatud)

Sündmuse liik	LIDAR	Fotogramm-meetria	Kuvamise tase
Hoonete tulekahju	Ei sobi	Sobib	LOD1, LOD2, tulevikus LOD3 ja LOD4.
Liiklusavarii	Sobib	Sobib	LOD1, LOD2, tulevikus LOD3 ja LOD4.
Üleujutus	Sobib	Sobib, kuid ei ole nii efektiivne	LOD0, LOD1
Nööripääste	Ei sobi	Sobib	LOD0, LOD1
Keemiaõnnetus	Sobib, kuid ei ole nii efektiivne	Sobib	LOD1, LOD2, tulevikus LOD3 ja LOD4
Veepääste	Sobib, kuid ei ole efektiivne	Sobib	LOD0, LOD1, tulevikus LOD2
Metsatulekahju	Sobib	Sobib ülevaade saamiseks	LOD0, LOD1, LOD2, tulevikus LOD3 ja LOD4

Tulekahju on dünaamiline ja kiirelt arenev sündmus ning sellise sündmuse puhul on andmete kogumine väga kiire protsess. Andmete kiireks kogumiseks sobib fotogramm-meetria. Fotogramm-meetria puhul saab teha pilte iga 2-3 sekundi tagant ning võimaldab saada kogu sündmuse vaate. Tulekahju puhul võib kasutada LOD1 või LOD2 taset, mis näitaks hoone kuju. Tulevikus aga võiks hakata kasutama LOD3 või LOD4 tasemeid, mis võimaldaks näha hoone sisenemisteid ja kogu hoone konstruktsioone ning hoonest väljaspool olevaid objekte.

Liiklusavarii puhul sobivad mõlemad mudelid, kuid LIDAR-i puhul on võimalik modelleerida mudeli selliselt, et mudel katab sündmuskohta täielikult. Fotogramm-meetria puhul aga saab jäädvustada kogu sündmuse vaate ning kõrval objektid eraldi. Praegu võib kasutada LOD1 või LOD2, et koguda piisavalt andmeid liiklusavarii kohta. Kuid tulevikus võiks hakata kasutama LOD3 ja LOD4, mis annaks võimaluse saada detailseid andmeid sündmuse kohta.

Üleujutuse puhul on tähtsam saada ülevaade vee tasemest ja selle tõusust ning seda saab paremini teha kasutades LIDAR meetodit, fotogramm-meetria ei ole sellise sündmuse puhul nii efektiivne. Sellise sündmuse puhul piisab LOD0 või LOD1.

Sündmusel, kus on tegemist kõrgustega või sügavustega, on oluline saada andmeid selle ümbruse ja detailide kohta ning sellise sündmuse puhul sobiks fotogramm-meetria meetod. Selle sündmuse puhul sobib LOD0 või LOD1.

Keemiaõnnetuse puhul on oluline teada andmeid ohtude ja ainete mahtude kohta. Kuna tavaliselt toimuvad keemiaõnnetused suurtel aladel, kus on palju tööstushooneid, siis selle sündmuse puhul sobib paremini fotogramm-meetria meetod. Samuti sobib ka LIDAR-i meetod, kuid see ei ole nii efektiivne, kuna see võtab rohkem aega ning sündmuskohal võivad tekkida takistused (näiteks suits). Tase sellise sündmuse puhul võiks olla LOD1 või LOD2. Tulevikus saab kasutada LOD3 või LOD4, kuna sündmusel oleks vaja detailset vaadet.

Veepääste sündmuse ajal võiks kasutada fotogramm-meetria meetodit, kuna sündmus on kiire arenguga ja ülevaadet on vaja saada kiiresti. LOD0 ja LOD1 sobiksid siia, kuna on vaja näha veetasapinda ning inimese kuju. Tulevikus võiks kasutada ka LOD2.

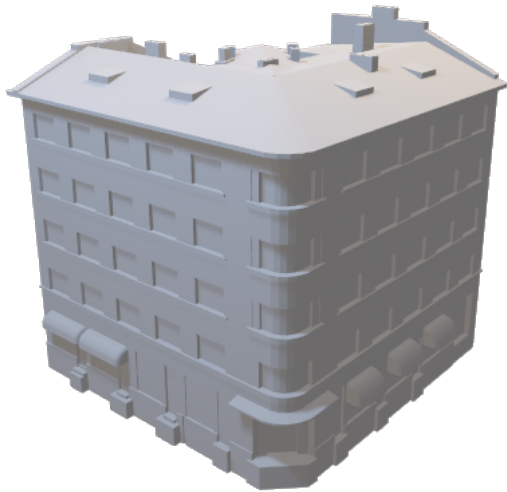
Metsatulekahju sündmuse puhul on oluline pindala ning tulekahju ulatus. Samuti on oluline jälgida tulekahju levikut. Sellise sündmuse puhul on parem kasutada LIDAR meetodit, mida saab kasutada suurematel pindadel. Fotogramm-meetriat saab sellise sündmuse puhul kasutada ülevaate saamise jaoks. Hetkel saab kasutada LOD1 ja LOD2, kuid tulevikus oleks kasulikum LOD3 ja LOD4.

### **2.3. Intervjuude analüüs**

Antud töö käigus viidi läbi vabas vormis struktureeritud intervjuud (ekspertintervjuu). Kvalitatiivses uuringus on üheks traditsiooniliseks andmete kogumise viisiks intervjuude läbiviimine. Autor valis intervjuueeritavaid mugavusvalimina. Töö põhieesmärk on leida parim 3D visuaali modelleerimise mudel, kuid intervjuudega soovib autor ekspertide hinanngut, et selliselt kuvatav informatsioon ka realselt oleks sündmuskohal kasutatav. Intervjuudes osalesid Päästeameti töötajad ning enamus neist on Ida päästekeskuse töötajad, kuna autor ise on Ida

päästkeskuse töötaja, siis tema jaoks oli lihtsam leida intervjuueeritavat ja aega intervjuu läbiviimiseks. Kõik intervjuueeritavad on kas olnud operatiivtöötajad või töötavad Päästeametis päästetöö valdkonnas. Kuna autor tahtis teha vestlust vabas vormis ning intervjuueeritava jaoks mugavam, siis suurem osa vestlusi viidi läbi komandos, meeskonnavanemate ruumides ning võimalusel valvevahetuse ajal. See andis võimaluse kasutada teenistujate aega sobivas mahus ning selgitada enne intervjuud vabas vormis töö senist tulemust ja 3D visuaali loomise võimalusi. Kuna antud teema on uus ning väga vähe inimesi on sellega kursis, siis enne intervjuueerimist autor rääkis oma teemast ning sellest mis endas kujutab 3D visuaali modelleerimine ning kuidas võib seda edaspidi kasutada. Seejärel esitas küsimusi ning pani kirja märkmeid intervjuueeritavate arvamustest. Intervjuu ajal salvestust ei toimunud, kuid autor pani märkmeid kirja. Intervjuu kestis keskmiselt 25-30 minutit. Intervjuud viidi läbi vabas vormis vestlusena, kuid vajaliku info kogumiseks järgis autor ka varem ettevalmistatud küsimusi. Küsimustele aitasid kaasa võrdlusraamistikud ning pildid olemasolevatest 3D mudelitest. Ettevalmistatud küsimused, mida täiendati jooksvalt vastavalt vestluse kulgemisele, kõlasid järgnevalt:

- Mida te arvate tänapäeval kasutuses olevast operatiivkaardist ning mis on selle kasu, kas selle visualiseerimine 3D kujule võimaldaks kiiremini teha päästetöö juhtimisega seotud otsuseid?
- Mida te tahaksite näha 3D mudeli puhul olles päästetööde juht ning kas selline mudel tooks endaga kaasa kasu?
- Kuidas hindate 3D modelleerimine vajalikkust päästesündmuse kontekstis?
- Kuidas saaks 3D modelleerimine aidata päästesündmusel päästetööde juhti?
- Kas 3D modelleerimine võiks olla tulevikku lahendus selleks, et päästesündmustel teha kiireid ja efektiivseid otsuseid?



Joonis 10. 3D mudel ilma tekstuurita (autori koostatud 3D mudel)



Joonis 11. 3D mudel tekstuuriga (autori koostatud 3D mudel)

Intervjueeritavate hinnang antud teemale:

- 1) Mida te arvate tänapäeval kasutuses olevast operatiivkaardist ning mis on selle kasu, kas selle visualiseerimine 3D kujule võimaldaks kiiremini teha päästetöö juhtimisega seotud otsuseid?

Päästeteenistuses kasutusel olevat operatiivkaarti pidasid enamik intervjueeritavatest kasulikuks vahendiks info kogumisel ning on rahul selle praeguse formaadiga. Eriti tähtsaks peeti operatiivkaardi olemasolu rahvarohkete hoonete (näiteks koolid) ja tööstushoonete puhul. Samas oli ka neid vastanuid, kes tunnistasid, et ei ole operatiivkaarti palju kasutanud, kuna ei pidanud

selle kasutamist efektiivseks, sest andmete hulk ei ole nende jaoks piisav. Vestustest selgus, et operatiivkaart annab vaid väga üldise esmase info ning reaalsete otsuste jaoks on vajalik objektiga tutvumine.

2) Mida tahaksite näha 3D mudeli puhul olles päästetööde juht ning kas selline mudel tooks endaga kaasa kasu?

Enamus intervjueeritavatest on nõus 3D mudeli juurutamise vajadusega, mis võimaldaks esitleda sündmusobjekti väga detailselt. Enne sündmuskohale jõudmist saadav informatsioon objekti kohta võimaldab vastu võtta otsuseid operatiivsemalt. 3D mudeli abil sündmusobjektist saadud informatsioon võib abiks olla ka otsuste tegemisel olles juba koha peal. Intervjueeritavate arvates tuleb hoone või rajatise 3D mudel loomisel välja tuua alljärgmised andmed:

- Hoone üldine vaade;
- Hoone mõõdud;
- Korruste plaanid;
- Sisemised skeemid- kõrghoonete puhul;
- Hoone sisemis- ja väljumiskohad, katuse luugid;
- Hoonet ümbritsevad tehnovõrgud;
- Hoonete vahelised kuvad;
- Võimalikud ohukohad.

Mõned küsitletutest pöörasi tähelepanu asjaolule, et sündmuskohale jõudmise aeg võib osadel juhtudel olla väga lühike. Sellisel juhul leiavad intervjueeritavad, et otstarbekam on kasutada operatiivkaarti. Samuti arvab autor, et selline vastus võib tugineda hetkel olemasolevatel teadmistel ja oskustel, kuid tulevikus on töötajad palju kogenumad ja teadlikud.

3) Kuidas hindate 3D modelleerimise vajalikkust päästesündmuse kontekstis?

Absoluutselt kõik intervjueeritavad leidsid, et 3D mudeli juurutamine on otstarbekas. Enamus küsitletutest avaldasid arvamust 3D mudeli kasutamise vajaduse kohta perspektiivis. Antud modelleerimine võimaldab nende arvates saada vajalikku informatsiooni objekti kohta juba enne sündmuskohale jõudmist, samuti võimaldab operatiivtöötajatel analüüsida vastuvõetud otsuste ja sündmuse ajal tehtud tegevuste õigsust. Osa vastanutest leidsid, et pakutavat mudelit saab kasutada õppetegevuste läbiviimisel. Mõned avaldasid arvamust, et vaadeldav süsteem võimaldab päästeameti inspektoritel tähelepanelikumalt läbi viia objekti inspekteerimist.

4) Kuidas saaks 3D modelleerimine aidata päästesündmusel päästetööde juhti?

Ükski küsitletutest ei kahelnud 3D mudeli kasutuselevõtmise kasus. Kuid mõned arvasid, et ebastabiilse interneti probleem ja vananenud arvutitehnika kasutamine, võivad takistada antud 3D mudel kasutamist, pakkudes välja, et operatiivkaardid paber kandjal tuleb ilmtingimata säilitada. Enamus küsitletutest olid ühtemeelt, et kui luua tingimused pideva 3D mudel kasutamiseks, siis on alust eeldada, et vahetuse vanema tegevused saavad olema operatiivsemad, enim kaalutletud ning võimaldab teha ainult õigeid otsuseid.

5) Kas 3D modelleerimine võiks olla tuleviku lahendus, selleks, et päästesündmustel teha efektiivseid ja tulemuslikke otsuseid?

Pakutav mudel võimaldab saada informatsiooni sündmuskohast nii enne sinna jõudmist, kui ka kohapeal olles, tutvuda hoone põhiparameetritega, teada saada kõrgendatud ohukohtadest. Alati on kergem vastu võtta efektiivsemaid ja resultatiivsemaid otsuseid omades detailset ülevaadet sündmuskohast. Suurem osa intervjueeritavatest arvasid, et 3D mudel on kindlasti tulevikku lahendus selleks, et päästesündmusel saaks kiiremini ja paremini teha oma tööd ning sellel oleks positiivne tulemus. Kuid iga uue tehnoloogia juurutamine nõuab operatiivtöötajate ettevalmistust ja väljaõpet.

Intervjuudest võib järeldada, et pakutava 3D mudeli vastu on Päästeameti töötajate hulgas suur huvi ning võib eeldada antud 3D mudel juurutamine aitab Päästeametil operatiivsemalt ja resultatiivsemalt teha oma tööd sündmuskohal. Kuid tänapäeval on see veel üsna uus ning tundmatu asi, mida pole kasutatud selles valdkonnas ning siit tulenevalt on ka palju kahtlusi intervjueeritavate seas. Selleks oleks vaja proovida, katsetada, uurida antud teemat lähemalt.

Kokkuvõttes olid kõik intervjueeritavad 3D meetodika kasutusele võtu osas positiivselt meelestatud ning leidsid, et kui infotehnoloogilised lahendused seda toetavad ning teenistujad on koolitatud, siis võiks olla 3D operatiivkaardid tulevikus väga heaks abivahendiks päästetöö juhile.

## 2.4. Järeldused ja ettepanekud

Antud lõputöö käsitles 3D visuaali kasutamist päästesündmustel. Teooria osa räägib kolmest 3D visuaali modelleerimise meetodist, mida on aina enam hakatud kasutama välisriikides. Samuti on need meetodid võimalik kasutada ka Eesti päästeteenistuses, kuna vahendid selle kasutamiseks on olemas. Autor valis nende hulgast kaks meetodit mis sobivad andmete kogumiseks päästesündmustel, milleks on Fotogrammmeetria ja Lidar ning koostas ka võrdlusraamistiku. Autor valis just need kaks meetodit kuna nende kahte meetodi vahendid on Päästeametil olemas ning neid saab vabalt kasutada ning nendega töötamine ei ole uus asi, mis omakorda lihtsustab 3D modelleerimist. Kolmanda meetodi puhul on kasutamine võimalik juba valmis mudelite puhul, selle mudeli puhul on võimalik kasutada juba valmis tehtuid mudeleid. Samuti antud meetod sobib ka kontori töötajatele näiteks projektide kontrollimisel või objekti tuleohutuse kontrollil. Ühe või teise meetodi puhul on väga palju plusse ja miinuseid, kuid mõlemad meetodid vajavad rohkem uurimist ja tähelepanu. Nende meetodite puhul on võimalik kasutada neid nii sündmuskohal kui ka pärast sündmust ning ka enne sündmust. Selline lähenemine võib muuta Päästeameti rohkem innovaatilisemaks ja uuenduslikumaks. Alustada võiks 3D kasutamist esmalt sündmusejärgseks analüüsiks jaoks, kuivõrd siis ei ole selle kasutamine nii ajakriitiline, kuid annab hea kogemuse programmiga tutvumiseks ja kogemuse saamiseks. Tulevikus võib see sündmuskohal anda suure eelise, sest ollakse juba rohkem kursis ning see parandaks päästetööde tulemust. Samuti võiks alustada tänaste operatiivkaartide ümberkujundamist 3D formaati, ka see ei ole ajakriitiline ning võimaldab rahulikult teemaga tegeleda.

Antud töö käigus tehtud analüüsist selgus, et päästeteenistuses on olemas kõik vahendid, et 3D visuaali modelleerimist rakendada, kuid selle jaoks ei ole piisavalt tugevat IT võimekust ning napib teadmistest ja oskustest. Samas leiavad kogenud päästetöö juhid, et 3D meetodikaga modelleeritud operatiivkaart oleks oluliselt informatiivsem ning kiirem viis päästesündmustel otsuste vastuvõtmiseks. Samuti sündmusejärgse analüüsi läbiviimiseks hea õppevahend.

Kuivõrd käesolev töö on eelkõige teooriale tuginev analüütiline võrdlus ning praktiline väljund tugineb hinnangulistel intervjuudel, siis leiab autor, et hetkel ei ole piisavalt informatsiooni, et teha otsust või ettepanekuid konkreetse programmi kasutusele võtuks koheselt. Samas leiab autor, et on uuringuga leidnud piisavalt argumente ja võimalikke kasutegureid, mida 3D visuaali kasutamine endaga kaasa võib tuua. Seega leiab autor, et on oluline teemat edasi uurida praktikas ning teeb järgmise ettepaneku:

- Viia läbi pilootprojekt, mille raames katsetatakse autori poolt pakutud programmidega 3D operatiivkaardi modelleerimist ning sündmuskoha modelleerimist õppuse raames.



Selleks, et pilootprojekt ellu viia on aga vaja täita autori hinnangul mõned eeltingimused, näiteks:

- Koolitada pilootprojektis osalejaid modelleerimise programmiga töötamiseks.
- Parandada interneti ühendus ning hankida info hankimise viiside jaoks vajalik tarkvara (näiteks lisa laserid, droonid, droonikaamerad jms).

Tuginedes teiste riikide kogemusele ning teoreetilisele kirjaldusele on 3D modelleerimise võimalused väga laialdased, mistõttu soovitab autor pilootprojekti läbiviimisel katsetada lisaks operatiivkaardile ja sündmuskohale 3D modelleerimist ka näiteks sündmuse järgseks analüüsiks, tuleohutus kontrolli teostamiseks ning sündmuse analüüsiks ja prognoosimiseks.

## KOKKUVÕTE

Me elame maailmas, kus tehnoloogia on paratamatu osa elust. Tänapäeval tehnoloogia ümbritseb meid igal pool ja see pole ainult kasulik, vaid lausa vajalik. Näiteks tehnoloogiate kasutamine Päästeametis suurendab töö efektiivsust, kiirust ja täpsust. Üks operatiivteenistuse tehnoloogia innovatsiooniks on kolmemõõtmelise visuaali kasutamine.

Töö eesmärgiks on pakkuda välja päästetöö juhtimist toetav 3D visuaali modelleerimise meetod.

Töö eesmärgi saavutamiseks andis autor ülevaate erinevatest 3D visuaali modelleerimise meetoditest. Autor arutles ülevaatlikult erinevatest modelleerimise viisidest. Nendest valiti välja kaks sobilikumat 3D visuaali modelleerimise meetodit (LIDAR ja Fotogrammmeetria), mida saab kasutada Eesti päästeteenistuses ning tulevikus vajaduse korral ka teistes operatiivteenistustes. Autor valis just need meetodid, kuna nende kasutamine on võimalik ka tänapäeval, kuigi mitte täies mahus. Tänapäeval droonid ning ka LIDAR-i andmed on Päästeametis olemas. Töö käigus koostati võrdlusraamistik, mis näitab vaadeldud meetodite eeliseid ja puuduseid ning nende kasutamist erinevate sündmuste liikide korral. Samuti viis autor läbi vabas vormis vestlused (ekspertintervjuud), mille käigus uuris autor, et selliselt kuvatav informatsioon ka reaalselt oleks sündmuskohal kasutatav. Kõik intervjueeritavad leidsid, et 3D mudel võib lihtsustada ning mõjutada positiivselt päästetööde käigus informatsiooni kogumist ja selle kasutamist otsuste tegemisel.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli pakkuda välja päästetöö juhtimist toetav 3D visuaali modelleerimise meetod. Lõputöö raames anti ülevaade 3D visuaali modelleerimise viisidest. Lõputöö eesmärgi täitmiseks uuriti erinevaid 3D visuaali modelleerimise viise: LIDAR ja fotogramm-meetria. Samuti analüüsiti, milline on Päästeameti jaoks kõige sobilikum meetod.

Analüüsi tulemusena selgus, et mõlemad vaadeldud viisid sobivad Päästeametis, kuid erinevates olukordades on nendel meetoditel teineteise ees eelised. Töö raames koostati LIDAR-i ja fotogramm-meetria võrdlusraamistik. Töö käigus tehti ja analüüsiti mitmeid intervjuusid.

Lõputöö analüüsi ja uuringu tulemusel tegi autor ühe ettepaneku ning 3 alamettepaneku selle teema edasi arendamiseks, mis on järgmised:

- Viia läbi pilootprojekt, mille raames katsetatakse autori poolt pakutud meetoditega 3D operatiivkaardi modelleerimist ning sündmuskoha modelleerimist õppuse raames.

Selleks, et pilootprojekt ellu viia on aga vaja täita autori hinnangul mõned eeltingimused, näiteks:

- Koolitada pilootprojektis osalejaid 3D visuaali modelleerimise meetoditega töötamiseks.
- Parandada interneti ühendus ning hankida info hankimise viiside jaoks vajalik tarkvara (näiteks lisa laserid, droonid, droonikaamerad jms).

Tuginedes teiste riikide kogemusele ning teoreetilisele kirjaldusele on 3D modelleerimise võimalused väga laialdased, mistõttu soovitab autor pilootprojekti läbiviimisel katsetada lisaks operatiivkaardile ja sündmuskohale 3D modelleerimist ka näiteks sündmuse järgseks analüüsiks, tuleohutus kontrolli teostamiseks ning sündmuse analüüsiks ja prognoosimiseks.

## SUMMARY

This thesis is written for “Three-dimensional Visual Modeling Capabilities and Expediency in The Context of a Rescue Event”. The thesis with appendices consists of 43 pages, the main part is 40 pages. The thesis is written in Estonian, the foreign language part is in English. The work has 11 drawings, 3 tables and 1 annex.

The aim of the work is to explore and propose the most optimal program for creating a 3D visual from rescue management point of view.

To achieve the goal, the author gave an overview of various 3D modeling methods. The author discussed briefly a number of ways of modeling. From these ways were selected two of the most suitable 3D modeling methods (LIDAR and Photogrammetry), which can be used in the Estonian rescue service and in future, if necessary, in other emergency services, too. The author chose those methods because their usage is possible nowadays, but not entirely. Because today's drones and data are also available at the Rescue Board. In the course of the work was prepared a reference framework, which illustrates the advantages and disadvantages of the observed methods and their usage for different event types. In addition, the author conducted the conversation in a free form (expert interviews), during which, the author examined that the information displayed in this way can actually be used in an event venue. All interviewed found that the 3D model can simplify and positively influence the collection of information and its usage for making decision during rescue work.

The goal of this thesis was to explore and propose the most optimal program for creating the 3D visual from rescue management point of view.

In the framework of the thesis was given an overview of 3D visual modeling techniques. To complete the thesis were studied various 3D visual modeling techniques: (Lidar and photogrammetry). Also, it was analyzed what is the most appropriate method for the Estonian rescue service.

As a result of the analysis, it was found that both observed methods are suitable for the Estonian rescue service, but in different situations, these methods have advantages over other. The Lidar and photogrammetric reference framework was prepared in the framework of this work. Several interviews were conducted and analyzed during the course of the work.

As a result of the thesis analysis and study, the author made one proposal and 3 sub-proposals for further development of this topic, which are following.

- To carry out a pilot project that tests the 3D operational card modeling and the event venue modeling in the exercise program with the programs offered by the author.

However, in order to carry out the pilot project, it is necessary, in the author's opinion, to fulfill some prerequisites, for example:

- To train the participants in the pilot project to work on the modeling program.
- To improve Internet connection and get the software needed for the ways to obtain information (for example, additional lasers, drones, drone cameras, etc.).

Based on the experience and theoretical knowledge of other countries, 3D modeling capabilities are very wide, therefore, the author recommends, for carrying out a pilot project, testing, in addition to the operational card and the event venue, 3D modeling, for example, to post-event analysis, fire safety control, and event analysis and predict the event.

## VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Abdullah, D. Q., 2018. *Products Generation*. [Võrgumaterjal]

Available at: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/648>

Ankord, 2018. *Laserskaneerimine*. [Võrgumaterjal]

Available at: <http://ankord.ee/teenused/laserskaneerimine/>

Azhar, S., 2011. *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*. s.l.:American Society of Civil Engineers.

Environmental Systems Research Institute, 2018. *Explore Local Government 3D Basemaps*.

[Võrgumaterjal]

Available at: [solutions.arcgis.com/local-government/help/local-government-scenes/get-started/explore-scenes/](https://solutions.arcgis.com/local-government/help/local-government-scenes/get-started/explore-scenes/)

[Accessed 20 08 2018].

Forbes, A., 2010. *Modern Construction: Learn Project Delivery and Integrated Practices*.

s.l.:CRC Press.

Hartin, E., 2008. *Applying 3D Firefighting to the Fireground*. [Võrgumaterjal]

Available at: [www.firerescuemagazine.com/articles/print/volume-3/issue-11/firefighting-operations/applying-3d-firefighting-to-the-fireground.html](http://www.firerescuemagazine.com/articles/print/volume-3/issue-11/firefighting-operations/applying-3d-firefighting-to-the-fireground.html)

Hashemi, S. H. T., 2017. *Indoor Search and Rescue Using 3D Indoor Emergency Spatial Model*.

[Võrgumaterjal]

Available at: <https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/194147>

Järvet, S. et al., 2017. *ÜLIÕPILASTÖÖDE KOOSTAMISE JA VORMISTAMISE JUHEND*.

[Võrgumaterjal]

Available at: [https://www.sisekaitse.ee/sites/default/files/inline-files/Uliopilastoode\\_koostamise\\_ja\\_vormistamise\\_juhend.pdf](https://www.sisekaitse.ee/sites/default/files/inline-files/Uliopilastoode_koostamise_ja_vormistamise_juhend.pdf)

Kirsimäe, P., 2010. *LIDAR andmetest*. [Võrgumaterjal]

Available at: [https://www.nlib.ee/html/yritus/gis/2010/docs/13.20\\_Kirsimae.pdf](https://www.nlib.ee/html/yritus/gis/2010/docs/13.20_Kirsimae.pdf)

Laherand, M.-L., 2008. *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: s.n.

Lemos, L. F. G., 2008. *3D Mapping for Search and Rescue Operations*. [Võrgumaterjal]

Available at: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57642/1/000130699.pdf>

Liba, N., 2005. *Fotogramm-meetria alused*. Tartu: OÜ Halo Kirjastus.

- M. Willems, D. H., 2018. *Трёхмерная графика*. [Võrgumaterjal]  
Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D1%91%D1%85%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
- Mari Mets, K. R., 2018. *Postimees*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://www.postimees.ee/6419707/tulekahjude-suvi-paevad-mil-paasteamet-tootas-kriisi-piiril>  
[Kasutatud 4 oktoober 2018].
- Meinel, C. et al., 2009. *Proceedings of the 3rd Ph.D. Retreat of the HPI Research School on Service-oriented Systems Engineering*. s.l.:Universitätsverlag Potsdam.
- Michel Kasser, Y. E. 2002. *Digital Photogrammetry*. s.l.:CRC Press.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017. *What is LIDAR?*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- Päästeseadus* (2010).
- Schroth, F. 2016. *4 Steps for Making an Excellent 3D Model With a Drone*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://dronelife.com/2016/03/31/4-steps-making-3d-model-drone/>
- Siseministerium, 2016. *Siseturvalisuse arengukava*. [Võrgumaterjal]  
Available at: [https://www.valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukavad/taiendatud\\_siseturvalisuse\\_arengukava\\_2015-2020.pdf](https://www.valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukavad/taiendatud_siseturvalisuse_arengukava_2015-2020.pdf)
- Slick, J., 2018. *3D Model Components- Vertices, Edges, Polygons and More*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://www.lifewire.com/3d-model-components-1952>
- Talbot, D. 2014. *Maailma kõige võimsam 3D laserimõõtja*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://www.technologyreview.com/s/524166/the-worlds-most-powerful-3-d-laser-imager/>
- Tartu Ülikool, 2012. *Mugavusvalim*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <http://mobile.dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/27764/mugavusvalim.html>
- Wikipedia, 2017. *Lidar*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://et.wikipedia.org/wiki/Lidar>

Yastikli, N. Z. C. 2017. *AUTOMATIC 4D BUILDING MODEL GENERATIONS WITH AIRBORNE LIDAR DATA*. Istanbul, Turkey, Civil Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering.

*Информационная система обеспечения пожарной безопасности объекта-испб*. Неолант, 2016. [Võrgumaterjal]

Available at: [www.neolant.ru/upload/solution/2016.07.28/NEOLANT\\_Pozharnaia\\_bezопасnost.pdf](http://www.neolant.ru/upload/solution/2016.07.28/NEOLANT_Pozharnaia_bezопасnost.pdf)

Иванов, В. 2017. Применение геоинформационных систем и средств трехмерного моделирования для создания 3D-моделей района развертывания элементов системы связи в ходе боевых действий. сапр и графика. *сапр и графика*, pp. 64-69.

*Лазерное 3D сканирование*. ГИСвер Интегро, 2018. [Võrgumaterjal]  
Available at: [http://www.laser-portal.ru/content\\_685](http://www.laser-portal.ru/content_685)

*Преимущества использования лидарных данных в ГИС*. Esri, 2018. [Võrgumaterjal]  
Available at: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/advantages-of-using-lidar-in-gis.htm>

Середович, А. П. 2013. *Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных объектов*. [Võrgumaterjal]  
Available at: [http://www.ict.nsc.ru/jct/content/t18n7/Seredovich\\_Altyntsev\\_n.pdf](http://www.ict.nsc.ru/jct/content/t18n7/Seredovich_Altyntsev_n.pdf)

Усков, Г. 2010. *Чем отличается 3D от 2D (мнение профессионалов)?*. [Võrgumaterjal]  
Available at: [https://www.hwp.ru/articles/CHem\\_otlichaetsya\\_3D\\_ot\\_2D\\_28mnenie\\_professionalov\\_29\\_82\\_586/](https://www.hwp.ru/articles/CHem_otlichaetsya_3D_ot_2D_28mnenie_professionalov_29_82_586/)

*Фотограмметрия*. Geostart, 2018. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://geostart.ru/term15.htm>

Чернодуб, С. С. 2015. *Роль и значение 3D моделирования в системе мчс*. [Võrgumaterjal]  
Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-znachenie-3d-modelirovaniya-v-sisteme-mchs>

*Что представляют собой данные лазерной съемки?*. ArcGIS, 2018. [Võrgumaterjal]  
Available at: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>



# LISAD

## Lisa 1. Operatiivkaart

OPERATIIVKAART	
Ehitise aadress	OU Portlif Grupp, Kohtla-Järve, Tehase 9
Ehitise kasutusotstarve	Tööstushoone (kood 12510)
Ehitises paiknevate erinevate ruumide kasutusviisid ja asukoht hoones	I – Administratiivhoone (töötajate arv ca 16 in) + laohoone
	II – Mahutipark (7x200m <sup>3</sup> )
	III – Esimene pumpla (mahuti 3x10m <sup>3</sup> )
	IV – Teine pumpla (mahuti 3x34m <sup>3</sup> )
Korruste arv	Administratiivhoone on kahekorruseline
Kõrgus maapinnast	Suurim kõrgus on administratiivhoonel – 9 m
Tuleohutuse klass	Administratiivhoone - TP1 Laohoone – TP3
Automaatse tulekahjusignalisatsioonisüsteemi keskseadme asukoht	Peasissepääsu juures
Suitsutõrje käivitustase	Tase 1 (käsitsi, aknad)
Ehitisesise tuletõrjevärgi klass	-
Ehitisesise tuletõrjevärgi välisloide	-
Kuivtõusutoru	-

Sprinklersüsteem	Mahutipargi ja peahoone vahel, tulekahju korral kiirguse eest kaitsmiseks
Sprinklersüsteemi välistoide	Peahoone ees hoovis
Tuletõrjelift	-

2 (4)

Lähima tuletõrje veevõtukoha kaugus	Kinnine maa-alune tuletõrjeehoidla 200 m <sup>3</sup> (objekti hoovis) Maapealne hüdrant, T-tüüp, trass 100, kaugus 1000m (1km) (Pioneeritn 3 kõrval)
Evakueeritavate kogunemispunkti asukoht	Hoone ees hoovis
Lisaohud	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vedelikud ohtlikud jäätmed (õli) – 600 + 50 m<sup>3</sup></li> <li>2. Valmistoodang, nafta süsivesenike segu (oilcomposiit) – 200 m<sup>3</sup></li> <li>3. Valmistoodang, kütusesarnane toode 200+38+38 m<sup>3</sup></li> <li>4. Valmistoodang, raske kütteõli – 600 m<sup>3</sup></li> <li>5. Põlevkivikütteõli - 10+200+15 m<sup>3</sup></li> </ol>
Muud täpsustused	-
Ehitise kontaktisik	Operaator – tel. 53285817 (24/7) Tootmisdirektor – 5058780 Juhatuseliige - 5277976
Kaitsmist vajavad väärtuslikud esemed/seadmed	-

