



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu Kolledž

**LAMMUTUSMAHTUDE HINDAMISMEETODITE
ANALÜÜS JA HOONE SEISUKORRA HINDAMINE
AS REPO VABRIKUD KATLAMAJA NÄITEL**

**ANALYSIS OF DEMOLITION VOLUME ASSESSMENT
METHODS AND BUILDING CONDITION ASSESSMENT
ON THE EXAMPLE OF AS REPO VABRIKUD'S BOILER
HOUSE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Marul Paist

Üliõpilaskood: 182186EAEI

Juhendaja(d): Mihkel Kiviste, professor
Rinaldo Rütli, insener

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

19. mai 2023

Autor: Marul Paist

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

19. mai 2023.

Juhendaja(d): Mihkel Kiviste

/ allkirjastatud digitaalselt /

Rinaldo Rüütli

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

19. mai 2023.

Kaitsmiskomisjoni esimees Mihkel Kiviste

/ allkirjastatud digitaalselt /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, Marul Paist

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
**LAMMUTUSMAHTUDE HINDAMISMEETODITE ANALÜÜS JA HOONE SEISUKORRA
HINDAMINE AS REPO VABRIKUD KATLAMAJA NÄITEL,**

mille juhendajad on prof Mihkel Kiviste ja ins Rinaldo Rütli,

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

19. mai 2023

TalTech Tartu Kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Marul Paist 182186EAEI

Õppekava, peeriala: EAEI02/17 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine,
projekteerimise ja arhitektuuri peeriala

Juhendaja(d): Mihkel Kiviste, abiprofessor teneuris mihkel.kiviste@taltech.ee
Rinaldo Rüütli, insener rinaldo.rüütli@taltech.ee

Lõputöö teema:

**LAMMUTUSMAHTUDE HINDAMISMEETODITE ANALÜÜS JA HOONE SEISUKORRA
HINDAMINE AS REPO VABRIKUD KATLAMAJA NÄITEL**

ANALYSIS OF DEMOLITION VOLUME ASSESSMENT METHODS AND BUILDING
CONDITION ASSESSMENT ON THE EXAMPLE OF AS REPO VABRIKUD'S BOILER HOUSE

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kirjeldada ja võrrelda erinevaid mahumõõtmise meetodeid ja tehnoloogiaid
2. Määrata uurimisaluse hoone mahud
3. Anda soovitusi materjalide taaskasutusvõimalusteks

Töö keel: eesti keel

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Materjalidega tutvumine, objekti külastamine	29.01.2023
2.	Kirjanduse ülevaate koostamine, meetodikad, seisukorra hindamine	01.04.2023
3.	Olemasolevatelt ehitusjoonistelt, Maa-ameti 3D kaardilt ja visuaalsel hinnangul mahtude määramine	18.04.2023
4.	Mehitamata õhusõiduki lennutamine, mudeli koostamine	27.04.2023
5.	Tulemused, analüüs, kokkuvõte, vormistus	15.05.2023

Lõputöö esitamise tähtaeg: 19. mai 2023

Üliõpilane: Marul Paist / allkirjastatud digitaalselt / 19. mai 2023

Juhendaja: Mihkel Kiviste / allkirjastatud digitaalselt / 19. mai 2023

Juhendaja: Rinaldo Rütli / allkirjastatud digitaalselt / 19. mai 2023

Programmijuht: Mihkel Kiviste / allkirjastatud digitaalselt / 19. mai 2023

SISUKORD

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS	3
SISUKORD	6
SISSEJUHATUS	8
1. LAMMUTUSPROTSESS.....	9
1.1. Objektiga tutvumine.....	9
1.2. Lammutusmahtude hindamine.....	10
1.3. Lammutusjäätmekäitlus.....	10
2. Mehitamata õhusõiduk ehk UAV	12
2.1. Mehitamata õhusõiduki ajalugu.....	12
2.2. Mehitamata õhusõiduki kasutamine tänapäeval.....	13
2.3. Mehitamata õhusõiduki abil hoone mahtude hindamine.....	14
3. AS REPO VABRIKUTE KATLAMAJA.....	16
3.1. Hoone ehitamise ajalugu.....	16
3.2. Hoone kirjeldus.....	17
3.3. Visuaalselt seisukorra hindamine	19
3.4. Hoone seisukorra hindamine.....	20
4. LAMMUTUSMAHTU HINDAMISE METOODIKAD.....	24
4.1. Olemasolevad joonised	24
4.2. Maa-ameti 3d kaart.....	24
4.3. Visuaalselt hindamine.....	25
4.4. Aerofotogramm-meerilisel meetodil loodud mudel	26
4.4.1. Välitööd	26
4.4.2. Andmete töötlus	29
5. MÕÕTMISTE TULEMUSED JA ANALÜÜS	32
5.1. Tulemused	32
5.1.1. Seisukorra hindamine	32
5.2. Mahtude mõõtmistulemused.....	40
5.2.1. Hoonealune pindala ja hoone maht	40
5.2.2. Hoone välisseinte pindalad	41
5.2.3. Hoone välimaterjalide mahud.....	43

5.2.4.	Katusematerjalide ja korstna pindalad	44
6.	TULEMUSTE ANALÜÜS JA VÕRDLUS	45
6.1.	Analüüs	45
6.1.1.	Olemasolevad joonised	45
6.1.2.	Maa-ameti 3D kaart	45
6.1.3.	Visuaalselt hindamine	47
6.1.4.	Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel.....	48
6.2.	Erinevatel meetoditel saadud mahtude võrdlus	49
6.2.1.	Olemasolevad joonised ja aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel ..	49
6.2.2.	Maa-ameti 3D kaart ja aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel	49
6.2.3.	Visuaalselt mahtude hindamine ja aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel	50
6.2.4.	Kokkuvõte.....	53
7.	Taaskasutusvõimalused peamistele ehitusmaterjalidele.....	55
	KOKKUVÕTE	58
	SUMMARY	60
	KASUTATUD KIRJANDUS	62
	LISAD	67
	Lisa 1 AS Repo Vabrikute katlamaja olemasolevad joonised ja dokumendid	68
	LISA 2 Agisoft Metashape koostatud raport mudelist.....	88

SISSEJUHATUS

Vanad tehasehooned on Ida-Virumaal tavapärane nähtus. Käesoleva töö aluseks olev hoone asub Ida-Virumaal Püssi linnas ning ka Püssi on sündinud tänu tehastele – tööstuspiirkonna arendamisele ja tehaste rajamisele [2]. Linna üheks probleemiks on tööstuse ja elanikkonna vähenemine ning seetõttu on piirkonnas mahajäetud ja korrastamata ning ohtlikus seisukorras hooneid [3]. Et tõsta piirkondade atraktiivsust, on üheks võimaluseks lammutada vanad seisma jäänud hooned ning sellega tõsta ümbritseva kinnisvara väärtust ja samas parandada linna üldpilti [1]. Püssis on üheks selliseks hooneks AS Repo Vabrikute katlamaja.

Vanad tehasehooned, mida pole soovitud korras hoida, on ajale jalgu jäänud ning näiteks AS Repo Vabrikute katlamaja näitel, võivad nad muutuda varisemisohtlikuks. Suurte hoonete lammutamisel jääb tihti märkamata nendes kasutatud materjalide taaskasutuspotentsiaal. Materjalide väärtust taaskasutuse näol aitab säilitada hoone materjalide kaardistamine ehk materjalide mahtude ja seisukorra hindamine. Materjalide taaskasutamine ja ümbertöötlemine aitavad kokku hoida uute ehitusmaterjalide tootmisest tekkivat süsihappegaasi hulka ja samas vähendab materjalide taaskasutamine ka toormaterjalide kaevandamiseks või töötlemiseks kuluvat energiat [2].

Mehitamata õhusõidukid ehk droonid on kasutust leidmas juba paljudes erinevates valdkondades. Populaarseimad on näiteks metsatööde kontrollimine ja tööstuslikel platsidel materjalide mahtude mõõtmine. Droonid aitavad inimestel töö ära teha kiiremini ja ohutumalt [4]. Ometigi on ehitusvaldkonnas droonide kasutamine jäänud peamiselt ehitusprotsessi pildistamiseks ja filmimiseks, et jälgida ehitusprotsessi käiku [5].

Käesoleva magistr töö peamiseks eesmärgiks on võrrelda erinevaid mahtude mõõtmise meetodeid ja selgitada välja, kas mehitamata õhusõidukid oleksid hoone materjalide kaardistamisel lisaväärtuseks. Teiseks eesmärgiks on määrata uurimisaluse objekti mahud ja anda soovitusi saadud materjalide taaskasutamiseks võttes arvesse nende seisukorda, mida hinnatakse visuaalsel teel.

Magistr töö teema on aktuaalne, kuna Eestis on palju hooneid, mis hakkavad jõudma lammutust vajavasse seisu. Vanad hooned on potentsiaalselt ohtlikud nii inimestele kui ka ümbritsevale keskkonnale. Nimelt võivad lagunema jäänud hooned sisaldada praeguseks ohtlikuteks liigitatud materjale ja seetõttu on oluline määratleda lammutatavates hoonetes kasutatud materjalid ja nende mahud võimalikult täpselt, aga samas silmas pidades ohutust.

1. LAMMUTUSPROTSESS

1.1. Objektiga tutvumine

Lammutusprotsess on keerulisem ja kallim kui esmapilgul hinnatakse, seda seetõttu, et lammutuse mahtude hindamine võib olla ebatäpne või ei ole kõik materjalid (potentsiaalselt ohtlikud või erikäitlemist vajavad) hoones nähtavad [6]. Objektiga tutvumist alustatakse olemasolevate jooniste, dokumentide, artiklite ja uuringute läbivaatamisest. Edasi tutvutakse objektiga kohapeal. Seal kontrollitakse jooniste vastavust päriseluga: kas plaanid on kaasajastatud olemasolevaga, kas materjalid vastavad projektile, kas midagi on juurde ehitatud või juba lammutatud, kus asuvad potentsiaalselt ohtlikud kohad, materjalid [7].

Lammutuse töövõtja peab enne lammutustöid hindama erinevaid faktoreid, et tagada turvaline ja efektiivne lammutuse protsess. Hindama peab hoone konstruktsioonilist tervikut: vundamenti, kandvaid seinu, katust. Elementidel jälgitakse, mis ehitusmaterjalidest need tehtud on, kui stabiilsed nad on ja kas nende seisukord võimaldab turvalist ja taaskasutust võimaldavat lammutamist. Betoonkonstruktsioonidel määratakse, millised on monoliitsed ja millised monteeritavad konstruktsioonid ning nende seisukorra põhjal kaardistatakse, milliseid monteeritavaid elemente on võimalik taaskasutada. Hoones tuleb tuvastada potentsiaalsed ohtlikud materjalid nagu näiteks asbesti sisaldav eterniitkatusekate, plii ja erinevaid naftasaadusi sisaldavad materjalid ning eemaldada need hoonest enne lammutamise algust. Objekti kinnistul tuleb tuvastada kõik tehnosüsteemid, mis maapinnas asuvad, et vältida õnnetusi ja rikkeid [7]. Objektiga tutvumisel peab lisaks nähtavatele materjalidele ja hoone mahtudele vaatama ka hoonet ümbritsevat keskkonda: ökoloogilist, majanduslikku, sotsiaalset ja tehnoloogilist [6,7]. Jälgima peab hoone asukohta: kaugust prügilatest, ümbritsevat hoonestust, autoteesid ja kõnniteesid, et arvesse võtta mõjutusi liiklusele ja ohte jalakäijatele. Ümbrust hinnates saab paika panna platsi ligipääsetavuse vajaminevate masinate jaoks. Kõiki faktoreid arvesse võttes saab kokku panna turvalise, tõhusa ja kuluefektiivse lammutuse projekti [6].

1.2. Lammutusmahtude hindamine

Lammutamise projektis peab olema välja toodud lammutatavate ehitismaterjalide ja -toodete ligikaudsed kogused, võimalik taaskasutamine ja käitlemise kohad [9]. Hoone mahtu on vaja teada, et töövõtja saaks panna paika ligikaudse hinna, määrata tekkivate jäätmete mahtu ning teha jäätmete ligikaudsed liigitused [8]. Hoone mahtude hindamine ja jäätmete õige taaskasutamine või ümbertöötlemine ei aita ainult prügimägedele kasutult seisma jääva ressursi mahtusid vähendada vaid aitab vähendada ka uute materjalide tootmismahтусid. See omakorda vähendab uute ehitiste hindasid, kuna materjale ei pea nullist juurde tootma [10].

1.3. Lammutusjätmed ja jäätmekäitlus

Ehitus- ja lammutuspraht tekivad ehitise lammutuse, renoveerimise või restaureerimise käigus. Jäätmete alla kuuluvad lisaks ehitise osadele ka väljakaevatud pinnas ning töö käigus saastunud pinnas [13]. Ehitus- ja lammutusjätmed koosnevad peamiselt puidust, terasest, betoonist, kipsist, müüritisest, krohvist, metallist ja asfaltist. Lammutusjätmeid ladustades peab silmas pidama, et need võivad sisaldada ohtlikke jäätmekäitlus näiteks asbest ja plii. Ligikaudu 15%-20% prügist moodustavad ehitus- ja lammutuspraht [14]. Jäätmete taaskasutamine hõlmab jäätmekäitlus kasutamist nii, et nad asendavad teisi materjale. Taaskasutamise alla kuulub ka jäätmekäitlus ettevalmistamine selleks, et neid saaks uuesti kasutada kas tootmises või laiemalt majanduses [13].

Tänapäeval on leitud, et ehitus- ja lammutusjätmeid ei ole võimalik vältida ja nullkulu ei ole praktiline, seega keskendutakse praegu peamiselt jäätmekäitlus vähendamisele. Väljakujunenud jäätmekäitlus meetodid on järgmised: jäätmekäitlus vähendamine, taaskasutus, ringlussevõtt ja jäätmekäitlus kõrvaldamine. Lammutusjätmetekäitlus puhul saame rääkida viimasest kolmest meetodist. Taaskasutamise üks viisidest on sama materjali uuesti kasutamine rohkem kui ühe korra, kaasa arvatud materjali kasutamine samal eesmärgil, millena teda juba kord kasutatud on [15]. Näiteks Singapuris on komme puidust raketisi kasutada ainult üks kord, kuid raketiste taaskasutamisel oleks võimalik puidu jäätmekäitlus vähendada. Raketiste taaskasutamisel peab jälgima, et raketis pole saanud kahjustusi või defekte esimesest kasutuskorrast, kuna ebakvaliteetse raketise kasutamisel ei pruugi saadud tulemus vastata nõuetele [16].

Taaskasutamise alla kuulub ka materjalide kasutamine uuel eesmärgil, näiteks nurkraudasid riiulite ehitamiseks ning betoonist ja tellistest tekkinud kiviklibu saab kasutada asfaldi aluskihina. Materjalid, mida ei saa taaskasutada suunatakse kas ümbertöötlemisse uuteks ehitusmaterjalideks või ladestatakse prügilas [15]. Jäätmete ringlusesse võtmine on taaskasutamisest järgmine samm, mida võiks kaaluda.

Lammutamisest tekkivad jäätmete mahud on üle maailma suurenemas. Seoses sellega on valitsused pakkumas välja uusi lahendusi, et toormaterjali asemel julgustada ehitustegevuses kasutama taaskasutatud materjali [17].

2. Mehitamata õhusõiduk ehk UAV

2.1. Mehitamata õhusõiduki ajalugu

UAV tuleb inglise keelsest väljendist *Unmanned aerial vehicle*, mis eesti keeles tähendab mehitamata õhusõidukit. UAV-d on kõnekeeles tuntud rohkem kui droonid. Kaugjuhitavaid õhusõidukeid kutsutakse ka nende disaini järgi näiteks kvadrokopteriks või multirootoriteks. Lennumasinat saab juhtida kaugelt, aga alternatiivina on võimalik panna masin sooritama automaatset lendu [18].

Droonide idee sai alguse Itaalias aastal 1849 kui esimese Itaalia sõja ajal lennutati kuumaõhupalle, mis heitsid Veneetsiasse pomme [19]. Järgmised katsetused mehitamata õhusõidukitega tehti 20. sajandi alguses. Peamiselt töötati droone välja sõjalistel eesmärkidel. Aastal 1935 kasutati esimesi raadioga juhitavaid droone sõjalistes harjutustes nii Suurbritannias kui ka Ameerika Ühendriikides. On alust arvata, et termin "droon" sai võeti kasutusele selles ajajärgust ning on inspireeritud mudelist DH.82B Queen Bee (Joonis 2.1) [20].



Joonis 2.1 Mudel DH.82B Queen Bee [20]

1960 a. oli droonitööstusele läbimurdeline. Tänu transistorite arengule oli võimalik turule tuua mõistlikuma hinnaga väiksemad mudelid. Sellele järgnes mudellennukite buum. See andis aluse kogukonnale ja turule, mis tekkis tarbijadroonidele pool sajandit hiljem ning juba aastal 1990 tutvustati maailmale mini ja micro versioone mehitamata õhusõidukitest [21,22]. Seiredroonid nagu Raven, Wasp ja Puma töötati välja peale aastat 2000, nad olid eelkäijatest väiksemad ja kasutatud oli fikseeritud tiibasid [23].

Mitte-sõjalise eesmärgiga droone hakati kasutama aastal 2006. See on aasta, millal FAA (Föderaalne Lennuamet, *Federal Aviation Administration*) andis välja esimese kaubandusliku drooni loa. Valitsusasutused hakkasid testima droonide võimalusi piirivalves ja katastroofide ennetamise töödes. Samal ajal alustasid ettevõtted droonidega torujuhtmete kontrollimist, saagi hindamise ja turvalisuse jälgimist. Kuigi droonid arenesid jõudsalt, siis kulus veel kümme aastat enne kui kommertsdroonitööstus hoo sisse sai [24]. Aastal 2010 andis Prantsuse ettevõtte Parrot välja esimese lennuvalmis drooni Parrot AR, mida sai juhtida läbi *Wi-Fi* (*wireless fidelity* ehk traadita andmeside standart) kasutades nutitelefoni. [21].

Droonifotograafiale pani aluse tuntud droonitootja DJI droon Phantom 4, mis tutvustas tarbijale innovatiivset arvutinägemis- ja sensortehnoloogiat, mis aitas droonil vältida takistusi ning tegi sellest turvaliseima ja intelligentseima UAV selle aja kohta [22]. Droon ei pidanud jälgima kindlat GPS signaali, vaid võis jälitada inimesi, loomi, objekte, et neid pildistada ja filmida [21].

Tänapäevaks on paljud väiksemad UAV-d võimelised koguma informatsiooni fotogramm-meetriaks, koguma videomaterjali ja tegema termopilte. Tänu erinevatele arvutiprogrammidele on kogutud informatsioon võimalik ümbertöödelda 3D mudeliteks, ortofotodeks, ortofotomosaiikideks, soojusandmeid on võimalik analüüsida ja nendest teha mudelid, mis näitavad kuidas temperatuurid muutuvad ja seda kõike tänu arengule tehnoloogias. See on toonud kauakestvamad akud, täpsemad sensorid ning tarkvarad, mis suudavad kogutud andmeid vastu võtta ning töödelda [19].

Mehitamata õhusõidukitega koos kasutatakse ka mõistet mehitamata õhusõidukisüsteemid ehk UAS (*Unmanned Aircraft Systems*). UAS hõlmab kõike, mis on vajalik UAV sujuvaks tööks, selle alla kuuluvad näiteks GPS, maapealne juhtimiskeskus, ülekandesüsteemid, kaamerad tarkvarad jne [61].

2.2. Mehitamata õhusõiduki kasutamine tänapäeval

Tänapäeval kasutatakse nii UAV-sid kui UAS-e ka muudel eesmärkidel, kui sõjatööstus [18]. Mehitamata õhusõiduki süsteemidele otsitakse aina enam erinevaid kasutusvõimalusi. Väiksemad, kergemad ja madalama hinnaga sensorid, mis saavad hakkama väiksema toitega, annavad üha rohkem võimalusi koguda informatsiooni

odavamalt ja turvalisemalt. Tänu droonidele on võimalik ligi pääseda kohtadesse, mis võivad endast muidu inimestele ohtu kujutada ning samal ajal on võimalik vähem häirida asukohas tegutsevaid loomi ja säästa kaitsealuseid taimi. Samuti saab koguda teavet ligipääsmatutes olukordades nagu näiteks uputatud alad, maastikutulekahjud, maavärina alad jms [25].

UAS on kasutusel paljudes erinevates valdkondades. Järgmisena on toodud näited UAS tehnoloogiate kasutusvõimalustes põllumajanduses, looduse jälgimises ja keskkonna seirel. Põllumajanduses on UAV võetud kasutusele kahjuri- ja umbrohutõrje tegemisel, karjamaade jälgimisel ja tänu UAV võimalusele pidevalt põllumaadest ülevaadet saada on USA-s paranenud põllusaaduste saagikus (droonidega kogutud info aitab ajastada kastmiseid ning aitab määrata millised taimed kus paremini kasvavad).

Looduse jälgimises aitavad droonid ülevaadet saada näiteks märgaladest ja metsaaladest, mida inimesel läbi käia ja möödastada oleks keeruline. Mehitamata õhusõidukid võimaldavad jälgida ka metsa elustikku populatsiooni: mis loomad, kui palju, kus elavad ja liiguvad. Kasulik on see näiteks kaitse all olevate lindude pesapaikade jälgimiseks. Keskkonna seire puhul saab koguda informatsiooni näiteks õlireostuste asukoha ja suuruste kohta, on võimalik määrata karjäärde suurused ning kontrollida, kas nad jäävad lubatud piiridesse, saab jälgida vanade kaevanduste seisukorda nii maa peal kui ka all, mis muidu võib inimestele osutada ohtlikuks [25].

Ehitusvaldkonnas aitavad UAS-i põhised andmete kogumised uurida ajalooliseid monumente ja ehitisi nendele viga tegemata. Varasemalt pidid arhitektuuriajaloolased hoonetele, mälestusmärkidele ja sildadele kõitega ronima, et neile vajalik seisukorra hinnang anda või restaureerimise ulatus määrata [25].

2.3. Mehitamata õhusõiduki abil hoone mahtude hindamine

Fotogramm-meetria hõlmab erinevaid meetodeid, mille abil saab piltidelt tuletada objekti asukohta ja kuju ühe või mitme foto põhjal. Fotogramm-meetria on kolmemõõtmeline (3D) mõõtmistehnika, mis leiab piltidelt matemaatiliselt ühised jooned ning loob selle abil fotodest 3D-mudeli. Stereofotograafias on vajalik 3D kujundi loomiseks vaid kahte pilti (vastavalt vasaku ja parema silma vaatepunktist) [19, 26]. Tänapäeval on kasutusel ka SfM (*Structure from motion*) algoritm, mis loob struktuurse 3D stseeni võttes aluseks 2D pildid [62].

Aerofotogramm-meetria võimalusi hakati juba uurima 80ndatel, sooviga lihtsustada maalappide mõõdistamist/kaardistamist. Sellel ajal olid droonid veel primitiivsed ning raskesti erakättesse omandatavad. Poodides müüdvad droonid olid kallid ja võimaldasid pildistamist vaid tänu ise lisatavatele minikaameratele. Tänapäevaks on droonid arenenud nii sõjatööstuse tarbeks kui ka poest riulilt kättesaadavateks tarbeesemeteks. Mehitamata õhusõiduk ehk UAS annab võimaluse ehituses arhitektidele, inseneridele ja energiaaudiitoritele lihtsamini dokumenteerida ehitiste suutlikust, visualiseerida hoonest eralduvat soojust ja luua 3D mudeleid olemasolevatest hoonetest kasutades fotogramm-meetriat [19]

Aerofotogramm-meetria üheks tulemiks on punktipilv. Punktipilv on andmete kogum, mis on määranud igale punktile koordinaadid ning paigutanud need 3D süsteemi. Igale punktile on antud x, y ja z koordinaadid ja tänu sellele informatsioonile on võimalik punktipilvest edasi teha järgmiseid mudeleid [11]. Järgmiste mudelite alla kuuluvad näiteks võrkudel (*mesh*) ja digitaalne kõrgusudel (*DEM - Digital surface model*) mudelid. *Mesh* on 3D mudel, mis koosneb tippudest, servadest ja pindadest. Eelnevalt mainitud tekstuurline mudel on omakorda aluseks DEM mudelile, mis on digitaalne pinnamudel. Digitaalne pinnamudel annab võimaluse mõõta mudeldatud objekti pikkuseid, pindalaid ja ruumalaid [12].

Kuna fotogramm-meetria võimalusi kasutatakse tihti suurte maa-alade, metsamassiivide või tooraine kuhjade mõõtmiseks, siis tekib küsimus, kui palju saab ikkagi neid tulemusi usaldada [27]. Tänapäeval on koordinaatide määramiseks droonidele külge pandud GNSS seadmed, millest tuntumad aitavad drooni asukohta määrata kuni 3cm täpsusega ilma, et neil oleks vaja maapinnal määratud koordinaatpunkte [28]. Fotogramm-meetrias võivad vead sisse tulla, kui seade pole õigesti kalibreeritud, asukohas on halb ühendus satelliitidega, kuid tihti võib takistuseks saada ka ilm (igal droonil võivad olla erinevad tingimused, mis temperatuuridel ja tuuleoludes nad lennata saavad). Seetõttu on oluline võtta arvesse kõiki võimalike mõjutegureid ja teha vajadusel täiendavaid mõõtmisi, et tagada tulemuste adekvaatsus ja usaldusväarsus [27].

3. AS REPO VABRIKUTE KATLAMAJA

3.1. Hoone ehitamise ajalugu

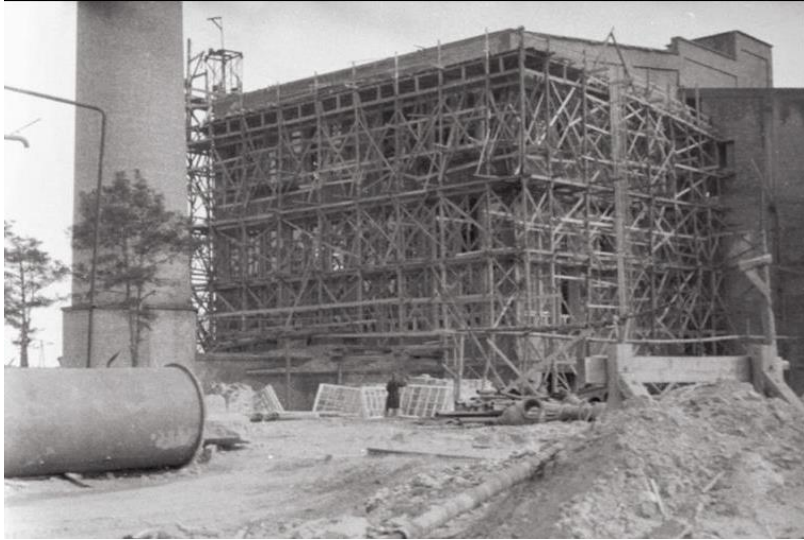
Püssi elektrijõujaama ehituse vajadus otsustati 1936 aasta aprillis ja juba sama aasta mais algasid ehitustööd. Püssi elektrijaam avati aastal 1937 aasta aprillis ja hakkas lisaks tööstustele varustama ka Kirde-Eesti asulaid ja külasid [29]. Jõujaama võimsus oli 3,7 MW, mis oli tollel ajal Eesti üks võimsamaid. Jõujaam ehitati monteeritavast raudbetoonist insener Kühle juhatusel [30]. Hoonel on näha 20. sajandi tööstusarhitektuuri tunnuseid: hoone konstruktsioonides on kasutatud raudbetoonist vahelage, mis toetub karkassüsteemis seintele [31]. Püssi elektrijaama 1936. aastal ehitatud hoonel osal on raudbetoonist postide vahed täidetud punaste tellistega (Joonis 3.1) [32].



Joonis 3.1 Püssi Elektrijõujaam aastal 1940 [56]

Teise maailmasõja ajal sai hoone tõsiseid kahjustusi ning aastatel 1942-1944 tegeleti hoone taastamise ja juurdeehitustega. Lisaks laiendustele lisati hoone keldrisse punker ja jaama juurde ehitati praegugi figureeriv 72 meetri kõrgune korsten [33]. Dokumentides on ära mainitud, et aastaks 1944 polnud teada, kus on Püssi jõujaama originaaljoonised ja olemasolevad koopiad olevat nii mustad ja määrdunud, et nendega pole midagi teha [34].

Aastal 1944 on kirjutatud, et sõjategevuse tõttu hävitati Püssi elektrijaam täielikult [35]. Taganevad sakslased õhkisid jõujaama katlad ja turbiini [36]. Püssi elektrijõujaam taastati aastal 1945 [57].



Joonis 3.2 Püssi elektrijõujaama taastamine aastal 1945 [57]

Püssi sõjajärgsele arengule aitas kaasa elektrijõujaama töö taastamine aastal 1946 kui see avati Riikliku Rajooni Elektriijaama nr 3 nime all [29]. Peamisteks konstruktsioonideks olid monteeritav raudbetoon ja punane tellis. Katuse katteks kasutati eterniiti ja ruberoidi [37]. Jõujaam töötas aastani 1973, peale mida anti hoone katlamajana üle Püssi Puitlaastplaatide Kombinaadile. Viimane kannab praegu nime AS Repo Vabrikud [29]. Aastal 1977 alustati pinnaseuuringuid juurdeehituse tarbeks [38]. Endine Repo Vabrikute tööline A. Karon oskas öelda, et 80-ndatel valminud juurdeehitusi oli tarvis, et ära mahutada plaatide tootmiseks vajalikud aurukatlad. Katlamaja tootis Püssi linnale sooja kuni aastani 2007, peale mida on hoone seisnud ilma otstarbeta [39].

3.2. Hoone kirjeldus

Käesoleva magistritöö eesmärk on määrata lammutamisele mineva hoone mahud ning analüüsida nende taaskasutusvõimalusi. Seisukorra hindamiseks kasutatakse visuaalset hindamist. Kasutatud fotomaterjal on pildistatud autori poolt Canon EOS600d digipeegelkaameraga, Oneplus 8 kaameraga ja DJI Mavic 2 Pro droonikaameraga.

Mahtu määratakse ja seisukorda hinnatakse järgmistel tarindtel/toodetel:

- tuhapaneelid,
- tuhaplokid,
- silikaattellised,
- punased tellised,

- monteeritav raudbetoon,
- ruberoid,
- eterniit,
- rullmaterjal.

Tabel 3.1 Ehitisregistri väljavõtte ehitise üldandmetest [40]

Ehitise liik	Hoone
Ehitise nimetus	Katlamaja
Ehitusregistri kood	102016192
Omandi liik	kinnisasi
Ehitise seisund	Olemas
Esmase kasutusaasta	1972
Esmase kasutuselevõtu aasta on oletuslik	ei
Ehitise aadress	Ida-Viru maakond, Lüganuse vald Püssi linn, Kooli tn 1
Ehitisealune pind (m ²)	3945,0
Suletud netopind (m ²)	6116,3
Maapealsete korruste arv	4
Maht (m ³)	65584

Tabel 3.2 Ehitisregistrist väljavõtte ehitise konstruktsioonidest ja materjalidest [40]

Vundamentid liik	madalvundament
Kande- ja jäigastavate konstruktsioonide materjali liik	monteeritav raudbetoon
Välisseina liik	muu: valissein/90/tellis-paneel
Välisseina välisviimistluse materjali liik	krohv
Vahelagede kandva osa materjali liik	monteeritav raudbetoon
Katuse ja katuslagede kandva osa materjali liik	monteeritav raudbetoon
Katusekatte materjali liik	bituumen või PVC plaat või rullmaterjal

Välisel vaatlusel ilmnes, et lisaks Ehitisregistris olevale informatsioonile (tabelid 3.1 ja 3.2) oli katusekatetest kasutusel ka eterniiti.

3.3. Visuaalselt seisukorra hindamine

Hoone tehnilise seisukorra hindamine aitab paika panna järgmised sammud hoone elukaarel. Valikuid on neli: konserveerimine - hoone edasise lagunemise takistamine; restaureerimine - hoone taastamine; renoveerimine - hoone uuendamine ja hoone lammutamine [41].

Hoone seisukorra hindamise kriitilised kohad on kandekonstruktsioonide suured deformatsioonid, praod kandvates ja mittekandvates elementides, materjalide ja elementide korrosioonikahjustused, vundamendi vajumine. Eelnevalt nimetatud vead ei pruugi üksikult esinedes anda välja veel kandevõime kaotust tähtsates konstruktsioonelementides, kuid võivad takistada hoone normaalset kasutamist [42].

Eestis on tööstushoonete puhul levinud kombinatsioon, kus konstruktsiooniks on raudbetoon karkass ning hoone välispiire on ehitatud kivikonstruktsioonis (Püssi Elektriõujaama puhul samuti). Tööstushoonete puhul võivad seinu kahjustada masinatest tekkivad vibratsioonid [41].

Betoonkonstruktsioone kahjustavad niiskus ja külm, erosioon, deformatsioonid temperatuuri- ja niiskusevaheldusest, õhureostus ja kohalikud keemilised mõjurid. Betoon- ja raudbetoonkonstruktsioonide kahjustuste märkideks on tarindi pragunemine ja murenemine [58]. Kui kaitsekiht puruneb, jääb esiteks koormuse ülekandmiseks terasvarda külgpinnale pinda vähemaks ja teisalt on terasvardad avatud tulele, mis tähendab, et konstruktsiooni tulekindlus väheneb märgatavalt [41].

Nii punasest või silikaattellisest, kui ka betoonist välisseinad kahjustuvad sagedasti samamoodi. Tüüpilised kahjustused on praod seintes, lahti löönud tükid ja seina märgumine kogu paksuses. Niiskumise tagajärjel hakkab seintelt pudenema krohv, võib tekkida hallitusseen ja kristalne sade, pinnal on näha niiskuse tõttu tekkinud külmakahjustusi, viimased võivad tekkida katuse lekkimise või näiteks puuduva vihmaveetoru tõttu. Tellisseinad on kahjustunud kui on näha telliste lahti tulekut vuugimördi murenemise tõttu [59].

Kivikonstruktsioonide kõige suurem tegur lagundamisel on vesi. Niiskus tungib konstruktsiooni ning kuna vesi on lahustav ja transportiv keskkond, siis võib ta välja kanda kivimi kergelt lahustuvaid komponente. Kivimi vahelduv kuivamine ja niiskumine põhjustab deformatsioone ja viib lõpuks kivimi lagunemiseni. Seinad võivad niiskuda, kui ei ole korralikult täidetud vuugid või on kasutatud ebakvaliteetseid kive. Kui sein on

niiskunud ja mängu tuua ööpäeva lõikes muutuvad sein temperatuur (kevadtalvisel perioodil isegi kuni paarkümmend kraadi), siis on tulemuseks temperatuurikahjustused. Temperatuuri kõikudes kivid seinas paisuvad ja kahanevad ja temperatuurivuukide puudumisel võivad tekitada sein pragusid. Temperatuuri muutuse tõttu tekkinud praod on enamasti vertikaalsed, kuna müüritis ei tööta hästi just tõmbele. Kui vesi on juba kivi pooridesse jõudnud, siis on suur tõenäosus ka külmakahjustustele. Nimelt temperatuuri langedes poorides olev vesi paisub ning müürikivid tulemusena murenevad ja lagunevad. Enamasti on külmakahjustuste tekkepõhjuseks juba varasemalt tekkinud niiskuskahjustus [41].

Tuhkpaneelid kahjustuvad sarnaselt varem mainitud konstruktsioonidele. Kui neid 50-60 aasta jooksul ei hooldata ega renoveerita, siis suure tõenäosusega võib betooni ja terase kahjustuste tõttu vaja täielikku välisseinte plaatide asendust või ankurdamist [41].

3.4. Hoone seisukorra hindamine

Eestis ei ole ühtset hoonete tehnilise seisukorra süsteemi välja töötatud, kuna hinnangu sisu vajadus võib olla erinevate ehitiste puhul väga erinev. Tallinna Tehnikakõrgkoolis on aastal 2018 välja töötatud „Hoonete tehnilise seisukorra hindamise juhend“ ning käesolevaga kirjeldatakse antud metoodikat, mis baseerub visuaalsel vaatlusel ja annab võrreldava hinnangu eri tüüpi ja funktsionaalsusega hoonete tehnilisele seisukorrale.

Tehnilise seisukorra hindamisele kuuluvad hoone tehnilised aspektid: püsivus, stabiilsus, süsteemide toimivus. Sealjuures võetakse arvesse hoone erinevate elementide kulumisastet. Hinnangu andmisel peab arvesse võtma hoone inseneriloogikale, nõuetele ja heale ehitustavale vastavust [43].

Põhietapid tehnilise seisukorra määramiseks:

1. hoone kasutusotstarbe määramine,
2. hoone jaotamine üksikelementideks,
3. tähtsusteguri määramine üksikelementidele,
4. seisunditeguri määramine üksikelementidele,
5. hoone seisundihinde arvutamine.

Hoone jaotamine üksikelementideks toimub vastavalt standardi EVS 807 jaotisele A.3.2 [60]. Käesolevas magistritöös arvutatakse seisundihinne ehitise põhitarinditele, mis on välja toodud alltoodud tabelis 3.3. Seal on välja toodud ka soovituslik tähtsustegur *Ti*. Üksikelementidele määratakse tähtsustegur skaalal 1-3, kus 1 on kõige vähem tähtsam element ning 3 tähtsaim.

Tabel 3.3 Üksikelemendid, millele arvutatakse käesolevas töös seisundihinne

Peagrupp	Üksikelement	Tähtsustegur <i>Ti</i>
	222 Kande-, jäigastavad ja piirdetarindid	3
	223 Katused ja katuseräästad	3
	224 Fassaadid ja fassaadielemendid	3

Üksikelementidele määratakse seisunditegur *Si* skaalal 1-4, kus 1 näitab elemendi korrasolekut ja 4 halvimat olukorda. Alltoodud tabelis 3.4 on toodud seisunditegurite lühikirjeldused.

Tabel 3.4 Seisunditegurite lühikirjeldused

Seisunditegur <i>Si</i>	Seisunditeguri lühikirjeldus	Võimalik tegevus
1	1. Üksikelement uus või uueväärne	Reguleerimine ja/või seadistamine ei ole vajalik.
	2. Üksikelement toimib ootuspäraselt, vigu ja defekte ei esine	
	3. Väljanägemine on korrektne ja puhas, kuid on lubatud minimaalselt kulumist (nt pleekimine)	
	4. Vajalik märgistus ja dokumentatsioon on korrektsed	
2	1. Valdavas osas täidab üksikelement oma sihipärast funktsiooni	Reguleerimine ja/või seadistamine ei ole vajalik.
	2. Esineb üksikuid juhuslikke defekte või tavapärase kasutamisega seotud kulumist, mis terviksüsteemi tööd ei mõjuta	
	3. Välimus korrektne, kuid võib olla kulunud	Üksikelement võib vajada puhastamist või väljanägemisega seotud parandustöid.
	4. Kahjustused ei mõjuta üksikelemendi kandevõimet, ohutust ega funktsionaalset toimivust	

3	1. Esineb korduvaid häireid töös ja/või funktsionaalsuses	Üksikelemendi asendamine või põhjalik remont.
	2. Reaalne pidev oht lõplikuks hävimiseks	Täiendava auditi läbiviimise vajadus on väga tõenäoline.
	3. Oskuslikul kasutamisel ja hooldamisel on üksikelement mõnda aega veel kasutatav	Võib esineda vajadus potentsiaalselt ohtliku piirkonna markeerimiseks (nt ohutuslindid).
	4. Üksikelemendi kasutamine tervikuna ei ole ohtlik	
4	1. Üksikelement ei suuda täita oma funktsiooni, on täielikult amortiseerunud või hävinenud või on ohtlik	Hoone kasutamise osas on vaja rakendada piiranguid ning piirata ligipääsu.
	2. Vajalik (kohustuslik üksikelement puudub)	Üksikelement vajab kohest asendamist või paigaldamist (kui asi on puudu).
		Vajalik läbi viia täiendav audit.

Kui üksikelementidele on seisunditegurid antud, siis tuleb arvutada tervikkonstruksiooni seisundihinne SH . Seisundi hinne arvutatakse järgmise valemi (3.1) järgi.

$$SH = \frac{\sum(T_i \times S_i)}{\sum T_i} \quad (3.1)$$

kus SH – Seisundihinne

T_i – Tähtsustegur

S_i – Seisunditegur

Järgmises tabelis 3.5 on toodud seisundihindele vastav orienteeruv tehnilise seisukorra kirjeldus. Tegu on üldise hinnanguga ning see ei anna detailset infot kahjustuste iseloomu ja ulatuse kohta [43].

Tabel 3.5 Seisundihindele vastav orienteeruv tehniline seisukord

Hoone seisundihinne SH	Hoone orienteeruv tehniline seisukord vastava seisundihinde korral	Võimalikud tegevused
$1,0 \leq SH \leq 2,0$	Väga heas seisukorras hoone, mis on uus, värskest terviklikult rekonstrueeritud või väikese ja insenertehniliselt ebaolulise kulumisga.	Puhastus- ja hooldustööd
$2,0 \leq SH \leq 2,5$	Heas korras ja asjakohaselt hooldatud hoone. Esineb vähesel määral kulumist ja kahjustusi, mis ei mõjuta ehitise toimimist.	Hooldus- ja väiksemad remonditööd
$2,5 \leq SH \leq 3,0$	Rahuldavas seisukorras hoone, mis tervikuna vastab nõuetele. Esineb kulumist ja kahjustusi, mis ei mõjuta oluliselt ehitise toimimist.	Remonditööd

3,0≤SH≤3,5	Halvas seisukorras hoone. Esineb olulisi puudusi põhitarindites ja/või süsteemides. Hoone ei vasta osaliselt nõuetele, kuid ei ole otseselt ohtlik.	Põhjalik remont
3,5≤SH≤4,0	Mitterahuldavas seisukorras hoone. Hoone ei ole kasutatav, ei vasta nõuetele või on ohtlik.Vajalik kohene sekkumine.	Hoone lammutamine või kapitaalremont

4. LAMMUTUSMAHTU HINDAMISE METOODIKAD

4.1. Olemasolevad joonised

Hoone mahtu saab hinnata olemasolevate jooniste järgi. Selle puhul tuleb võtta hoonealune pind ning korrutada see vastavate hoone osade kõrgustega [37]. Hoone mahu väärtus esitatakse kuupmeetrites täisarvulise täpsusega [44]. Käesolevas töös määrati lisaks ka ajakulu, mis kuulus erinevate meetoodikate järgi uuritava hoone mahtude hindamiseks.

Käesoleva hoone jooniste järgi mahu hindamiseks on AS Repo Vabrikute arhiivist saadud joonised ja dokumendid, mis on välja toodud töös Lisa 1 all. Joonistel ja plaanidel pole välja toodud erinevate materjalide täpset asukohta, seega on jooniste järgi mõõdetud ainult hoone ruumala ja seinte pindalad [37].

Lisaks on dokumentides olemas arvutused, mille järgi on sissekanne ehitise mahtude kohta tehtud Ehitisregistrisse. Arvutused pärinevad aastast 1996 [37].

Jooniste leidmiseks AS Repo Vabrikute arhiivist kulus ligikaudu 1 tund ja 46 minutit. Lisaks juurde ülespildistamine ja skaneerimine ca pool tundi. Töö autor otsustas kasutada töö tulemusel ja analüüsis dokumentides välja toodud hoone mahte.

4.2. Maa-ameti 3d kaart

Maa-ameti hoonete 3D mudelid loodi esmalt eesmärgil, et vaadata, kuidas sobivad hooned olemasolevasse keskkonda, millised piirangud/takistused võivad tulla hoonet ehitades ja kuidas langevad hoonele varjud. Andmete kombineerimisel ehitisregistris olevate andmetega annab hea ettekujutuse reaalsest olukorrast. Kaardi 3D kiht näitab detailselt katusekujusid ja objektide välisseinu [45]. Kaardil hoonele klikkides saab näha hoone tüüpi, maja kõrgust, lähiaadressi ja samuti avanevad viited ehitisregistrisse, aadressiandmete infosüsteemi ja maakatastri infopäringusse [46].

Hoonete 3D mudel on loodud Maa-ameti kogutud aerolaserskaneerimise andmetest. Tegu on automaatse andmetöötluse tulemusel loodud mudeliga [46]. Kogutud kõrgusandmed

on igaühele vabas kasutamiseks. Maa-ameti geoportaalist on võimalik alla laadida kõrgusandmed ja neid endale sobival viisil kasutada [47].

Maa-ameti 3D kaardil on võimalik muuta aluskaarti vastavalt vajadusele. Kaardil on võimalik vaadata hoone asukohta ajaloolistel Eesti kaartidel, Eesti põhikaardil või näiteks reljeefvarjutusega kaardil. Hoone värvi järgi saab määrata, kas tegu on kõrval- või tootmishoonega, elu- või ühiskondliku hoonega, varemega, vundamendiga või ehitatava hoonega. Kaardirakenduses saab valida ka endale sobiva päeva ja kellaaja, et jälgida hoonetest tekkivaid varje ning kuidas need mõjutavad ümbritsevat keskkonda.

Käesolevas töös kasutatakse rakenduse võimalust mõõta pindalaid ja pikkuseid. Nimelt on Maa-ameti 3D kaardil võimalus hoonete seina ja katuse mahte mõõta, kuid peab ära mainima, et see pole kaardi eesmärk, vaid lisavõimalus [48].

Selleks, et mõõta seina pikkuseid ja pindalaid tuleb esimese sammuna kaardilt ülesse otsida õige hoone. Edasi tuleb vaid mõõta ja mõõdud ülesse kirjutada. Hoone mahtude mõõtmiseks Maa-ameti 3D kaardil kulub 37 minutit.

4.3. Visuaalselt hindamine

Käsitsi hoone mõõtmine võib olla vajalik nii hoone renoveerimise, restaureerimise või praeguse töö raames lammutamise puhul [49]. Kohapeal hoone mõõdistust on vaja jooniste, plaanide koostamiseks ja hoonele õigete kõrgusmärkide lisamiseks [50].

Enne platsile mõõtma minemist on mõistlik uurida, kui palju infot hoone kohta olemas on [50]. Eestis on selleks võimalus ehisregistrist info kogumine, varasemate plaanidega tutvumine ja Maa-ameti 3D kaardilt on võimalik näha ära hoone kuju [48]. Endale tuleb selgeks teha, miks on vaja hoonet mõõta, mis on mõõdistuse eesmärk. Näiteks erinevate materjalide mahtude määramiseks tulevad kasuks head pildid hoone elementidest. Enne objektile minekut peab tutvuma platsi ohutusnõuetega. Lammutamisele mineva objekti puhul võib tegu olla varisemisohtriku hoonega, mis võib mõõtjale olla ohtlik. Erahoonete puhul peab küsima luba alal töötamiseks [50].

Platsile jõudes esimeseks punktiks on hoonega tutvumine [50] ja pildistamine igast küljest, et oleks võimalik iga hoone külge korraga vaadelda ja vajadusel otse pildile mõõte märkida. Mõõta tuleb hoone elementide kõrgus ja laius, et arvutada elemendi pindala. Kui

lihtsamate hoonete puhul saab võtta terve seina korraga, siis lammutamiseks materjali mahtude määramiseks on soovitatav võtta mõõdud materjalide kaupa [49].

Kui ehitised on tellistest või on tegu ühtlase fassaadiga (kivid, plokid, paneelid), on võimalik pindala määrata läbi vastavate konstruktsioonide loetlemise. Sellisel juhul on tarvis mõõta vaid ühe elemendi pindala ning hiljem saab tänu tehtud piltidele arvutada kogu seina pindala, lugedes kokku elementide hulga [50].

Töö autor külastas AS Repo Vabrikute katlamaja kinnistut mahtude kaardistamiseks kahel korral. Kohapeal pildistati hoonet ja mõõdeti madalamatel asuvate elementide pikkused, laiused ja kõrgused. Hiljem arvutati piltide abil ja elementide mõõte teades ligikaudsed materjalide hulgad.

Kohapeal pildistamiseks ja hiljem mahtude kokku arvutamiseks läks aega 6 tundi ja 32 minutit. Pilte tegi töö autor kokku kahe kohal käigu peale 154.

4.4. Aerofotogramm-meetrilisel meetodil loodud mudel

4.4.1. Välitööd

Drooniga mõõdistamise esimene samm on valida sobiv päev drooni lennutamiseks. Käesolevas töös kasutatud DJI droon Mavic 2 Pro akude pikaajaliseks toimivuseks on soovitatud lennutada teda temperatuuride vahemikus $+5^{\circ}\text{C}$ kuni $+40^{\circ}\text{C}$ ning drooni juhtpildi kasutus temperatuuri vahemik on soovituslikult 0°C kuni 40°C . Drooni suudab lennata tuulekiirusega kuni 29-38 km/h ehk drooni lennutamiseks võib puhuda tuul maksimaalselt 10 m/s [51].

Lisaks drooni tingimustele tuleb arvestada ka ilma konditsioone, mis oleksid parimad fotogramm-meetria seisukohast. Nimelt soovitatakse kiudkihtpilvedega ilma. See vähendab teravate varjude tekkimist, mis parandab omakorda mudeli täpsust. Kui on liiga terava päikesepaistelisusega ilm, võib jääda piltidele liialt tume vari ning programmil pole antud kohta võimalik detailseks punkt pilveks moodustada [52].

Aastal 2023 tuli sobiv päev drooni lennutamiseks 14. aprillil 2023. Lend õhusõidukiga toimus AS Repo Vabrikute katlamaja hoovis aadressil Kooli tn 1, Püssi linn, Lüganuse vald.

Ilm oli päikesepaisteline, vahelduva pilvisusega ja sooja oli 7 kraadi, tuult kuni 6 m/s, puhanguti 12m/s, ilm oli sademeteta. Intrumentidest olid kasutusel UAV DJI Mavic 2, Apple iPad juhtimispuldina, GNSS seade Spectra SP60.

Eeltööna oli vaja uurida, kas alal, millel drooni soovitakse lennutada, kehtib piiranguid. Püssi kuulub piiranguala (CTR) tsooni. Valitud kuupäeval piiranguid pandud ei olnud ning seega võis drooni minna lennutama eraldi kooskõlastamata ja eriloata. Kasutatava drooni lennutamiseks oli omandada kaugpiloodi pädevustunnistus. Tunnistuse saamiseks tuli sooritada Lennuohutuse järelevalve infosüsteemis (LOIS2) kaugpiloodi A1/A2 pädevus eksam.

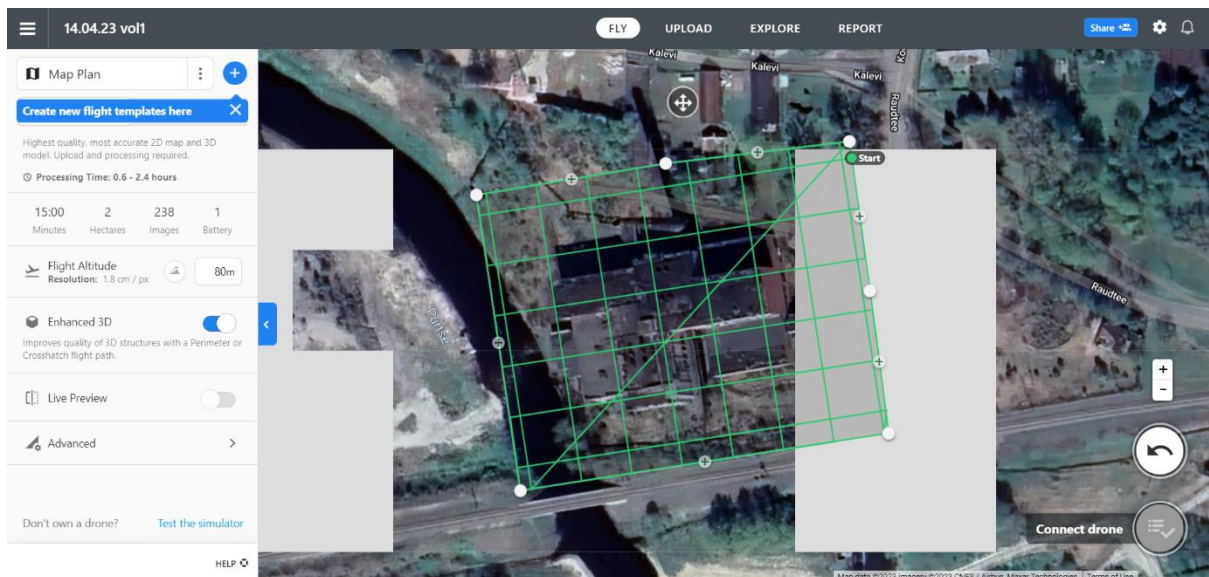
Kohapeal jaotati enne drooni lennutamist kinnistule markerpunktid nagu näha joonisel 4.1, mille abil andmetöötamise faasis täpsustatakse mudeli asukoht koordinaatsüsteemistikus, kuna kuigi droonil on olemas enda GNSS seade, siis on ainult selle kasutamine ebatäpsem. Kokku paigutati kuus markerpunkti, millest läks järel töötluses kasutusse viis. Üks punkt polnud piisavalt eristuv ümbrusest ning selle tõttu ei saanud seda koordinaati mudeliga siduda. Punktid koordineeriti GNSS seadmega Spectra SP60.



Joonis 4.1 Markerpunktide asukohad

Drooni lennu planeerimiseks kasutati rakendust DroneDeploy, kus sai ära märkida drooni lennutamise tingimused, asukohta ja drooni teekonna, mille vältel ta hoonest pilte teeb.

Esimeseks lennuks valiti DroneDeploy ristviirutus 3D (*crosshatch 3D*) lennumarsruut, mida on näha joonisel 4.2. Rakendus näitas kohe ära ligikaudse lennu aja, mis on oluline, sest kui lennuaeg läheb liiga pikaks, siis ei pruugi drooni akud vastu pidada. Rakenduses saab ära märkida ka soovitud lennukõrguse. Selle hoone üles pildistamiseks valiti drooni kõrguseks 80 meetrit, kuna kompleksi korstna kõrgus on 72 meetrit ning vältimaks drooni ja korstna kokkupõrget pandi juurde varuks 8 meetrit.



Joonis 4.2 Droonile määratud ristviirutus lennutee

Kui droonile on ülesanne lennuraja näol kätte antud, siis on drooni lennu ajal käitaja ainsaks ülesandeks jälgida drooni, et droon milledugi otsa ei sõidaks või kui tekib rike, siis on käitajal võimalus kohe lennutamine üle võtta. Antud lend kestis 15 minutit ja kokku tehti 238 pilti. Piltide ülekatteks määrati esiosa kattumisel 85% ja külje kattumisel 80%.

Peale esimest ristviirutusega tehtud lendu laeti saadud pildid programmi *Agisoft Metashape*, saadi esialgne punkt pilv ning vaadati, kust oleks vaja hoonest rohkem pilte teha, et mudel võimalikult detailne oleks. Leiti, et pilte oleks vaja teha juurde korstnast ning hoone lõunaküljel asuvast nurgatagusest.

Edasi lennutati drooni käsitsi ringikujuliselt ümber hoone ja korstna ning lisa pildid tehti ka varem mainitud nurgatagusest. Lendu juhtis töö autor ning pilte tehti iga kahe sekundi tagant lennu jooksul. Käsitsi lennutamisel kasutati DJI GO 4 rakendust.

Käsitsi lennutamine võttis kokku aega umbes 56 minutit, kokku tehti 635 pilti.

4.4.2. Andmete töötlus

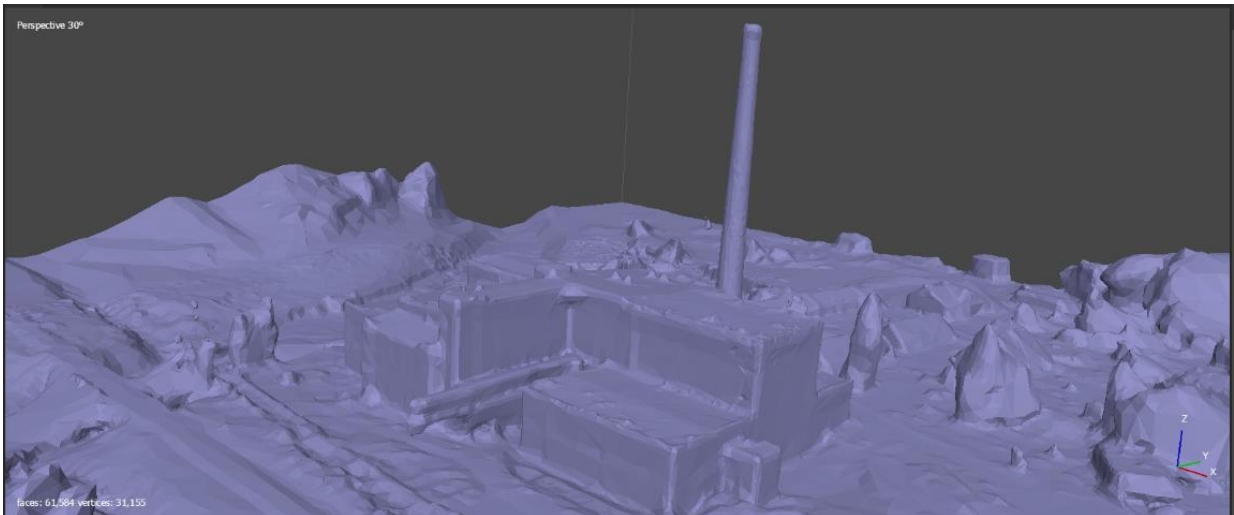
Fotogramm-meetriliste andmete töötlemiseks kasutati programmi *Agisoft Metashape*. Punkt pilve koostamiseks oli vaja programmi üles laadida tehtud pildid, mida selle töö puhul oli 873, lisada markerpunktide koordinaadid, mis on mõõdetud GNSS seadmega ja viia läbi georefereerimine, mis viib droonipiltide koordinaadid vastavusse markerpunktide koordinaatidega, mis omakorda parandab mudeli täpsust.

Peale seda sai panna programmi punkt pilve koostama. Punkt pilve koostamiseks kulub aega vastavalt nõutud kvaliteedile ning kasutatud piltide arvule ja kvaliteedile. Madalama kvaliteediga mudel valmib minutitega, kõrgema kvaliteediga võtab tunde. Käesolevas töös mõõdeti hoone mahud mudelilt, mille punkt pilve kvaliteediks oli *high* ning punktide arvuks 179 677 (joonis 4.3). Mudeli laadimiseks kulus 2 tundi ja 55 minutit. Seda aega aerofotogramm-meetrilisel meetodil koostatud mudelilt mahtude mõõtmisel arvesse ei võeta, kuna sel hetkel ei ole vaja inimese kohalolekut.

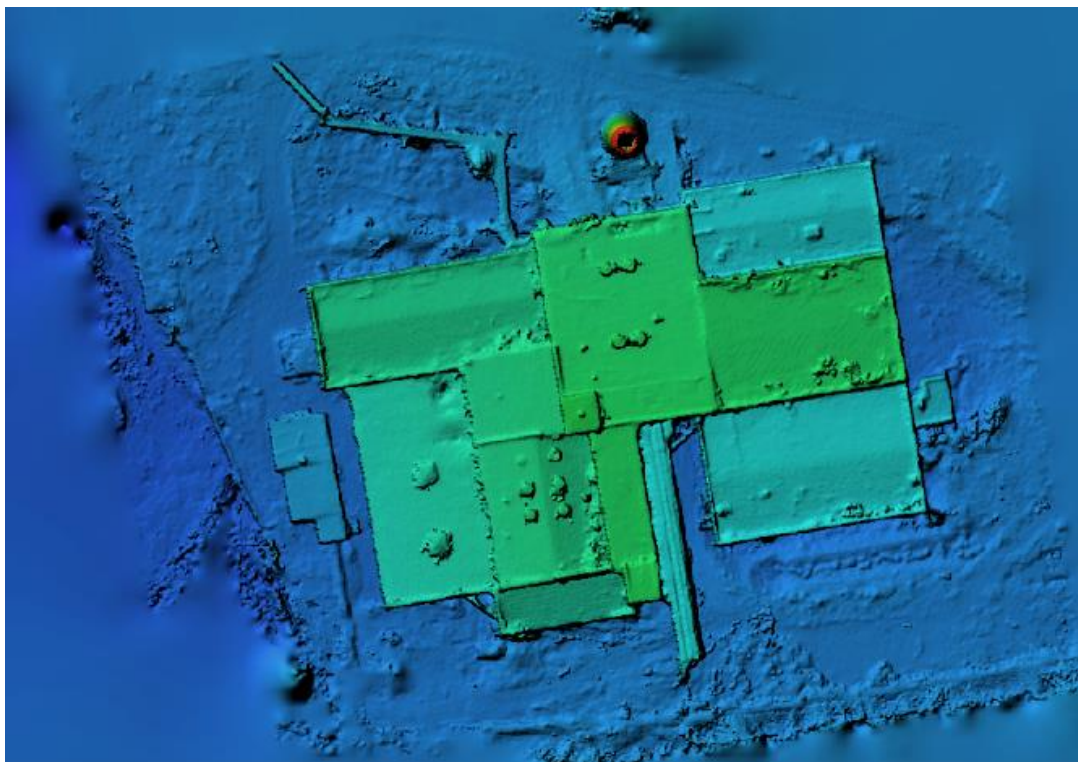
Peale punkt pilve lasti programmil koostada ka *mesh* (joonis 4.4) ja DEM (*digital elevation model*) (joonis 4.5) mudelid. Viimast on programmis ruumalade arvutamiseks.



Joonis 4.3 *Agisoft Metashape* tarkvaras koostatud punkt pilv

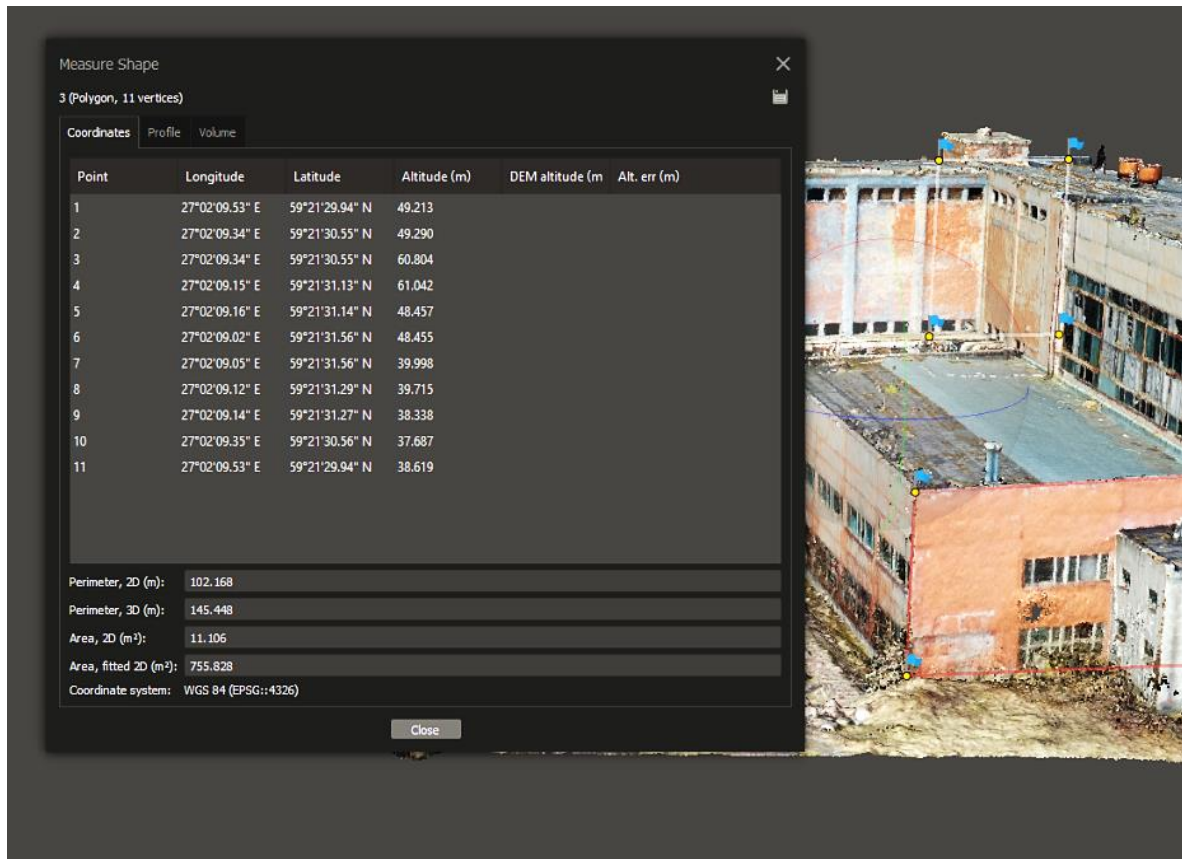


Joonis 4.4 Koostatud *mesh* mudel



Joonis 4.5 Koostatud DEM mudel

Mahtude leidmiseks oli tarkvaras olemas pindala mõõtmise funktsioon, mis tuli tõmmata ümber soovitud ala ning programm tõi välja pindala, ümbermõõdu ning horisontaalselt joonestades ka ala sisse jäänud osa ruumala (joonis 4.6). Läbi selle tööriista sai paika hoone ruumala, korstna ruumala ja erinevate materjalide pindalad. Mudeliilt mahtude võtmine võttis aega 3 tundi ja 18 minutit.



Joonis 4.6 Programmis kuvatavad andmed

5. MÕÕTMISTE TULEMUSED JA ANALÜÜS

5.1. Tulemused

5.1.1. Seisukorra hindamine

AS Repo Vabrikute katlamaja visuaalselt seisukorra hindamine toimus veebruaris 2023. Täpsustavaid asjaolusid vaadati nii kaamera, telefoni kui ka drooniga tehtud piltidest. Kuna hoone on varisemisohtlik, siis sisemiste konstruktsioonide seisukorra hindamist ei sooritatud.

Tuhkpaneelid

Välisel hindamisel oli näha tuhkpaneelidel läbiva veana kahjustusi ühenduskohtades. Ühenduskohtades on paljudes kohtades segu vuukide vahelt eraldunud ning ja paneelid on kahjustunud. Vähemalt kaheteistkümnel paneelil olid sarrused nähtaval, mis tähendab, et paneele uuesti kasutada ei saa (joonis 5.1). Katuse piiril olevad paneelid olid saanud niiskuskahjustusi (joonis 5.2 ja 5.3). Sellele viitasid värvi ja krohvi koorumine. Visuaalse hindamise meetodika järgi pannakse tuhkpaneelidele seisunditeguriks $S_i=3$. Elemendi tähtsustegur $T_i=3$.



Joonis 5.1 Tuhkpaneeli näha olev sarrus



Joonis 5.2 Katuse piiril olevate paneelide niiskuskahjustus



Joonis 5.3 Niiskuskahjustus tuhkpaneelidel

Silikaattellised

Silikaattellisest osadel oli näha samuti vuukide vahelt eraldunud segu, mis tõttu olid tellised varisemisohus (joonis 5.4), kuid suuremas osas olid silikaattelistest osad säilinud ilma suuremate kahjustusteta. Silikaattelistest osade välimus oli üldpildis korrektne, kuid need võivad olla kulunud (joonis 5.5). Seisunditeguriks saavad konstruktsioonid $S_i=3$. Elemendi tähtsustegur $T_i=3$.



Joonis 5.4 Ohtlikus seisus silikaattellised



Joonis 5.5 Kulunud silikaattellisest müüritis

Tuhaplokid

Tuhaplokkidest hoone osad paiknesid peamiselt hoone ülaosas. Tuhaplokkide kahjustused hõlmasid mõrasid, niiskuskahjustusi ja vuukide kahjustusi (joonis 5.6 ja 5.7). Mõrad võivad olla tekkinud niiskuskahjustuse tagajärjel tekkinud külmakahjustusest. Niiskuskahjustusele viitab krohvi ja värvi koorumine seintelt. Seisunditeguriks saavad tuhaplokist osad $S_i=3$. Elemendi tähtsusegur $T_i=3$.



Joonis 5.6 Vuukide vahelt eraldunud segu



Joonis 5.7 Mõra tuhaplokkidest müüritises

Punased tellised

Punane tellis on kasutusel olnud hoone 40ndatel ehitatud osas. Suures osas oli näha juba varisenud telliseid ja ka varisemisohtlikus olukorras telliseid (joonis 5.8). Põhjuseks tõenäoliselt niiskuskahjustus ja seetõttu vuukide vahelt eraldunud segu. Katkise katuseräästa ja katkiste akende all oli tellistelt koorunud värv ja krohv (joonis 5.9). Seisunditeguriks saavad punase tellise osad $S_i=4$. Elemendi tähtsustegur $T_i=3$.



Joonis 5.8 Kahjustunud tellised



Joonis 5.9 Kahjustunud tellised räästa ja akna all

Monteeritavast raudbetoonist osad

Viimaseks hoone väliskonstruktsiooni osaks on monteeritavad raudbetoon postid ja talad ja raudbetoon katusekruun. Postidel oli näha palju välja kulunud sarruseid, mis teeb postid taaskasutuskõlbmatuks (joonis 5.10 ja 5.11). Lisaks postidele olid sarrused nähtaval ka mitmel akna sillusel ja katuse talal (joonis 5.12 ja 5.13). Madalamatele katustele kogunenud varisenud telliste tükke, mis mõjutavad katusekonstruktsiooni kandevõimet (joonis 5.14). Drooni piltidelt oli näha suured augud erinevate hooneosade katustes ja katusel kasvavad puud (joonised 5.15, 5.16, 5.17). Monteeritavate raudbetoon elementide seisunditeguriks saab $S_i=4$. Elemendi tähtsustegur $T_i=3$.



Joonis 5.10 Kahjustunud raudbetoonist post



Joonis 5.11 Kahjustunud raudbetoonist post



Joonis 5.12 Kahjustunud raudbetoonist akna sillus



Joonis 5.13 Kahjustunud katuse tala



Joonis 5.14 Varisenud tellised katusel



Joonis 5.15 Sisse varisenud katus



Joonis 5.16 Sisse varisenud katus



Joonis 5.17 Katusel kasvavad puud

Seisundihinne

Tervikkonstruksiooni seisundihinne $SH=3,4$ (1), mille järgi on AS Repo Vabrikute katlamaja halvas seisukorras hoone, mis ei vasta nõuetele, kuid ei ole otseselt ohtlik. Olukorda saaks parandada põhjaliku remondiga.

5.2. Mahtude mõõtmistulemused

5.2.1. Hoonealune pindala ja hoone maht

AS Repo Vabrikute katlamaja joonistest olid olemas paar lõiget ja korruste plaanid. Lisaks olid jooniste juures arvutused kinnistul olevate hoonete hoonealustele pindadele ja hoonete mahtudele. Kuna puudusid katlamaja vaated, siis jooniste järgi materjalide või

seinte pindalade määramine polnud võimalik. Autor kasutas antud võrdluses kinnisvarabüroo "PELIKAN" poolt tehtud dokumentides olnud arvutustulemusi katlamaja hoonealusele pinnale ja hoone mahule, kuna vastavad andmed on aluseks ka ehitisregistris olevatele väärtustele. Arvutused on tehtud aastal 1996.

Katlamaja hoonealune pind objekti olemasolevates dokumentides on 3928.6 m². Sama on välja toodud ka ehitisregistris. *Agisoft Metashape* programmis tehtud mudelilt mõõtis töö autor hoonealuseks pinnaks 4014.6 m², mis teeb mõõtmete erinevuseks 0,90% (tabel 5.1).

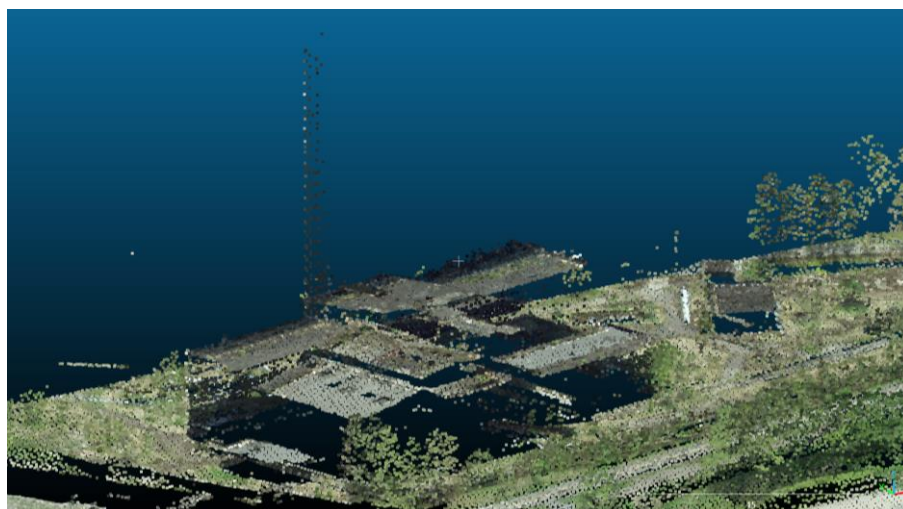
Katlamaja maht olemasolevates dokumentides ja ka ehitisregistris on 65584m³. Mudelist mõõdeti mahuks 62922 m³. Erinevus kahe suuruse vahel on 4.06%.

Tabel 5.1 Hoonealuse pindala ja hoone mahu erinevusprotsendid

Nimetus	Olemasolevatelt joonistelt	Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel	Ühik	Erinevus, %
Katlamaja hoonealune pind	3978.6	4014.6	m ²	0.90
Katlamaja maht	65584	62922	m ³	4.06

5.2.2. Hoone välisseinte pindalad

Maa-ameti 3D kaardil on võimalus mõõta pikkuseid ja pindalasid. Maa-ameti veebileht pakub ka võimalust alla laadida vastava asukoha punktipilv, mis on ka drooni abil kogutud piltidest koostatud mudeli tulem, kuid antud punktipilv oli materjalide määramiseks puudulik ja hõre (joonis 5.18).



Joonis 5.18 Maa-ameti andmetest koostatud punktipilv tarkvaras CloudCompare

Mudel kaardil on ühevärviline, mis ei anna võimalust määratleda konkreetseid materjale (joonis 5.19). Kuna 3D kaardilt materjale hinnata ei saanud, võeti sealt seinte ja katuse pindalad, mis siiski aitavad määrata hoonest tekkivate jäätmete mahtu. Saadud tulemusi võrreldi fotogramm-meetrilisel teel saadud mudelilt mõõdetud seinte ja katuse kogupindaladega.



Joonis 5.19 Maa-ameti 3d kaardil olev mudel

Allolevast tabelist 5.2 on näha, et erinevused pindalade vahel varieerusid 2-12%, kuid kogu välispindala erines vaid 0,78%.

Tabel 5.2 Hoone välisseinte pindalade erinevused

Nimetus	Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel	Maa-ameti 3D kaardilt	Ühik	Erinevus, %
1. IDA fassaadi pindala	974.8	885.1	m ²	9.21
2. LÕUNA fassaadi pindala	2353.7	2302.1	m ²	2.19
3. LÄÄNE fassaadi pindala	762.8	784.3	m ²	2.81
4. PÕHJA fassaadi pindala	1476.1	1648.3	m ²	11.67
5. KATUSE pindala	4010.6	3883.9	m ²	3.16
Kogu välispindala	9578.0	9503.7	m ²	0.78

5.2.3. Hoone välismaterjalide mahud

Kohapeal visuaalsel hinnangul määratud mahud ja drooniga kogutud info põhjal tehtud mudeli erinevused olid suuremad kui eelnevatel juhtudel. Kõige väiksem materjali hulga erinevus ruutmeetri kohta oli hoone lääneküljel tuhkpaneelidel, erinevuseks 0,2%. Suurim erinevus ruutmeetrites on samuti lääneküljelt, kuid seda tuhaplokkide mahus. Nimelt oli seal mahtude ruutmeetrite erinevuseks 94,83%.

Kui eelnevalt mainitud äärmused kõrvale jätta, siis jäid materjalide hulkade erinevused vahemikku 1-52%. Kogu mahtudest on tänu droonile saadud tulemused suuremad.

Tabelis 5.3 on jaotatud mahud fassaadide ilmakaarte kaupa. Allolevatel joonistel on toodud hoone küljed vastavalt nende ilmakaarele.

Tabel 5.3 Hoone välismaterjalide mahtude erinevused

Nimetus	Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel	Visuaalsel hinnangul	Ühik	Erinevus, %
1. IDA fassaad				
Tuhkpaneelid	664.31	538.36	m ²	18.96
Silikaattellis	227.63	260.45	m ²	14.42
Tuhaplokid	3.05	2.85	m ²	6.53
Avad	79.80	84.21	m ²	5.52
2. LÕUNA fassaad				
Tuhkpaneelid	438.17	403.48	m ²	7.92
Silikaattellis	377.50	296.22	m ²	21.53
Tuhaplokid	22.14	18.24	m ²	17.60
Punanetellis	715.79	774.58	m ²	8.21
Monteeritav raudbetoon	208.79	184.96	m ³	11.41
Avad	492.85	330.06	m ²	33.03
3.LÄÄNE fassaad				
Tuhkpaneelid	208.39	208.80	m ²	0.20
Silikaattellis	90.45	108.80	m ²	20.29
Tuhaplokid?	55.70	2.88	m ²	94.83
Punanetellis	163.77	79.26	m ²	51.60
Monteeritav raudbetoon	177.09	107.33	m ³	39.39
Avad	227.41	135.00	m ²	40.64

4. PÕHJA fassaad				
Tuhkpaneelid	377.16	395.07	m ²	4.75
Silikaattellis	50.95	68.36	m ²	34.16
Tuhaplokid	71.00	45.15	m ²	36.40
Punanetellis	195.22	162.60	m ²	16.71
Monteeritav raudbetoon	51.94	44.45	m ³	14.41
Avad	730.26	740.68	m ²	1.43
KOKKU				
Tuhkpaneelid	1688.04	1545.71	m ²	8.43
Silikaattellis	746.53	733.83	m ²	1.70
Tuhaplokid	151.88	69.12	m ²	54.49
Punanetellis	1074.77	1016.44	m ²	5.43
Monteeritav betoon	437.82	336.74	m ³	23.09
Avad	1530.33	1089.95	m ²	28.78

5.2.4. Katusematerjalide ja korstna pindalad

Fotogramm-meetrilisel teel saadud mudel andis võimaluse mõõta ära ka katuse materjalide mahud ja korsten (tabel 5.4).

Katuse materjalid olid välja toodud joonistel, kuid visuaalsel hinnangul neid määrata ei saanud, kuna töö autor ei näinud katusele. Dokumentidest sai informatsiooni, et katetena on kasutatud ruberoidi, eterniiti ja rullmaterjali. Tänu drooniga tehtud piltidele oli võimalik määrata erinevate katusekatete asukohad.

Mudel andis võimaluse lähemalt hinnata ka korstna seisukorda. Mudeliga oli võimalik leida korstna maht, mis on 1257 m³.

Tabel 5.4 Katusematerjalide ja korstna mahud

Nimetus	Maht	Ühik
KATUS		
Ruberoid	327.77	m ²
Eterniit	550.51	m ²
Rullmaterjal	2860.78	m ²
Monteeritav r/b	3739.07	m ²
KORSTEN		
Ruumala	1257.2	m ³

6. TULEMUSTE ANALÜÜS JA VÕRDLUS

6.1. Analüüs

6.1.1. Olemasolevad joonised

Olemasolevatelt joonistel mahtude leidmine oli antud hoone puhul raskendatud, kuna olemas polnud kõiki vajaminevaid jooniseid, et määrata näiteks katuse ja hoone seinte pindalad. Lisaks polnud võimalik määrata erinevate materjalide paiknemist hoone seintel, mis teeb olemasolevatelt joonistelt materjalide mahtude leidmise väga umbmääraseks ja töö autor selle varianti jättis selles töös kõrvale. Dokumentides olid olemas arvutused katlamaja hoonealusele pinnale ja hoone mahule, mida autor käesolevas töös kasutab.

Dokumentides esitatud mahtude potentsiaalsed ebatäpsused võivad tulla näiteks jooniste vanusest. Nii arvutused kui joonised pärinevad aastast 1996, mis teeb nende vanuseks 27 aastat. Lisaks pole teada, kas arvutuste tegemisel oli võimalus kasutada jooniseid hoone vaadetest. Jooniste koostamise kohta pole teada, millega ja kuidas hoonet mõõdistati ning kui täpsed meetodid tollel ajal kasutuses olid.

Kuna dokumentides olid mahud juba välja toodud, siis ajakulu alla läks ainult dokumentide otsimine ja nende üles pildistamine ja skaneerimine. Aega kulus kokku 2 tundi ja 16 minutit.

Meetodi kasutamise tegi lihtsaks asjaolu, et dokumentides olid vajalikud väärtused olemas. Olemas olid ka arvutuskäigud, nii et dokumentides saadud väärtused oli lihtne kontrollida.

Kasutamise tegi raskeks asjaolu, et joonised olid puudulikud ning jooniste taust pole teada.

6.1.2. Maa-ameti 3D kaart

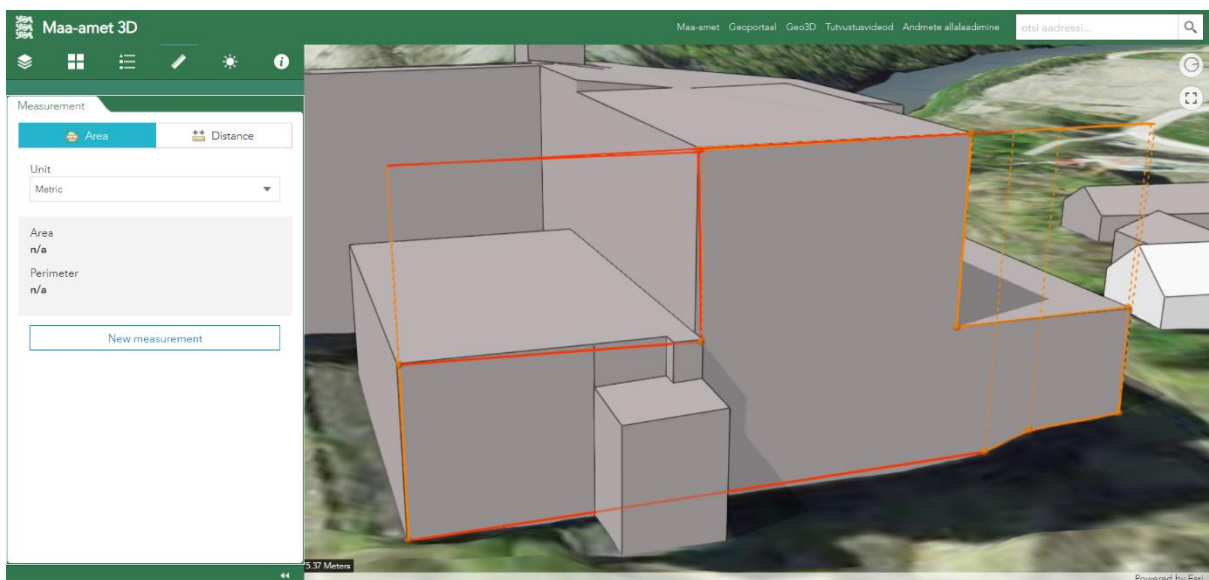
Maa-ameti 3D kaardilt oli võimalik mõõta hoone seinte ja hoone katuse pindalad. Lisaks on võimalus hoonele klikkides leida ka viide ehisregistrisse, kus on olemas hoonealune

pindala ja hoone maht, kuid antud andmed pärinevad eelmainitud dokumentidest, seega ei võtnud töö autor neid käesolevas töös kasutusse.

Maa-ameti 3D kaardi potentsiaalsed ebatäpsused võivad tuleneda asjaolust, et kaardi koostamisel pole mõõdistajad keskendunud konkreetsele hoonele, vaid suuremale alale. Sellest tulenevalt võib hoone mudelis olla sees vigu seoses hoone gabariitidega.

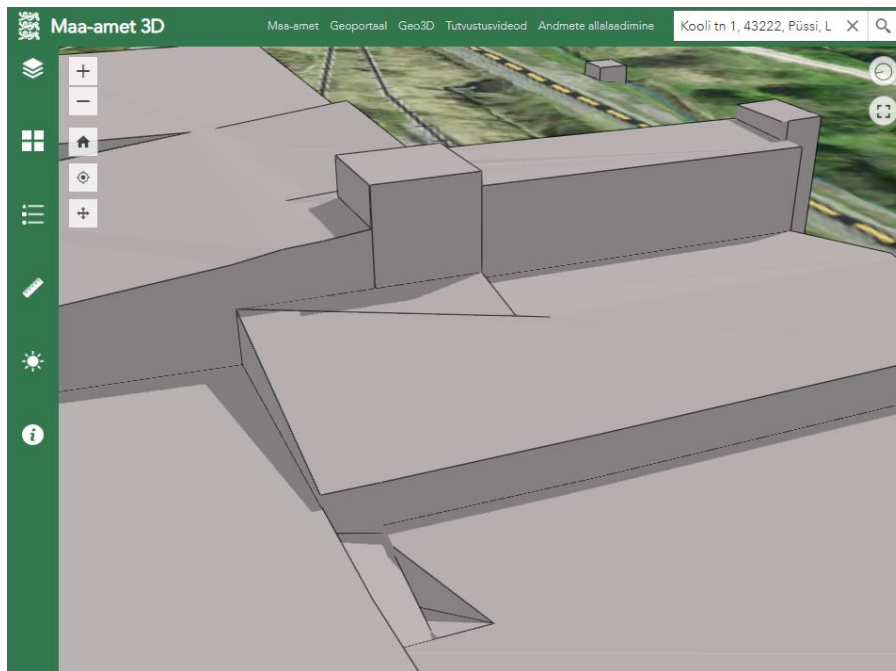
Ajakulu hoone seinte pindalade mõõtmiseks oli 37 minutit, mis on käsitletud meetoditest kiireim, kuid nagu ka dokumentide järgi mõõdetud suurustes, siis pole ka Maa-ameti 3D kaardilt võimalik määrata konkreetsete materjalide asukohtasid ja mahtude suuruseid, kuna tegu on ühevärvilise mudeliga. Sellest ka mõõtmise väike ajakulu.

Kasutusmugavuse poolest on tegu väga hea vahendiga. Mõõtude võtmine oli esmakordsele kasutajale arusaadav ja mõõtmine käis kiiresti. Kohati tegi mõõtmise keeruliseks asjaolu, et programm ei saanud täpselt aru, millist pindala on soovitud paika pandud punktidega mõõta (joonis 6.1).



Joonis 6.1 Viga Maa-ameti 3D kaardil

Keeruliseks osutusid just hulknurksete kujunditega mõõdetavad pinnad. Nelja punktiga mõõdetud pindala sai igal mõõtmisel esimese korraga kätte. Lisaks oli ebamäärane hoone katus. Et mudelisse auke ei jääks on kompenseeritud mõõtmistulemuste poolest segased kohad programmi arust sobilike hulknurkadega, mis ei vasta katuse tegelikule olukorrale (joonis 6.1).



Joonis 6.2 Katsusel olevad hulknurgad Maa-ameti 3D kaardil

6.1.3. Visuaalselt hindamine

Visuaalsel hoone mahtude hindamisel määrati erinevate hoone seintel kasutatud materjalide mahud. Hoone suuruse ja keerulise kuju tõttu ei määranud töö autor hoone gabariite ning seetõttu ei määratud hoone mahtu kuupmeetrites.

Potentsiaalsed ebatäpsused mõõtmistulemustes võisid tekkida mõõdistaja vähesest kogemusest, hoone suurusest ja kujust. Nimelt hoone kuju tõttu oli mõõdistaja nägemisväli piiratud ning paarile nurgatagusele polnud ligipääsu (joonis 6.3).



Joonis 6.3 Piiratud nähtavusega hoone osa

Aega kulub kahele külastuskäigule kummalegi ligikaudu 45 minutit. Selle jooksul tegevatöö autor hoonest ja selle detailidest pilte ning mõõtis materjali gruppide üksikelemente, et pärast piltide järgi leida ligikaudsed mahud materjalide kaupa. Töö autor jaotas hoone fassaadid ilmakaarte kaupa ning leidis mahud vaadete kaupa. Kõikide materjalide mahtude hindamiseks läks aega 5 tundi ja 2 minutit.

Meetodi kasutamise positiivseks küljeks on, et pole vaja soetada lisaseadmeid ja võimaluste puudumisel ei ole vaja hoonet ülesse pildistada. Kõik töö saab ära teha kohapeal ilma lisavarustuseta. Lisaks ei ole oluline millal objekti külastada. Visuaalseks hindamiseks ei ole vaja jälgida ilma, temperatuuri ega ka kellaega.

Kui objekti külastades midagi kahe silma vahele jääb, siis peab objekti külastama korduvalt. On ka võimalus, et ei avastata, et midagi märkamata jäi. Raskendav asjaolu on ka kogemuse puudumine. Kui varasem praktika on kesine, siis kulub vigade leidmiseks ja tehnikate väljatöötamiseks rohkem aega kui kogemustega isikul. See on suur mõjutaja just ajaliste faktorite võrdluses.

6.1.4. Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel

Aerofotogramm-meetrilisel meetodil koostatud mudel võimaldas mõõta kõiki varem mainitud suurusi: hoonealune pind, hoone maht, hoone seinte pindala, hoone katuse pindala ja ka konkreetsete materjalide mahud. Suureks plussiks ongi just see, et erinevate meetoditega mõõdetavaid suuruseid on võimalik mõõta ühes ja samas kohas ning vajadusel saab kõiki mõõtte igal ajahetkel kontrollida või üle mõõta.

Mahtude potentsiaalsed ebatäpsused võivad tulla mudelilt mõõdistamisel mõõdupunktide ebatäpsusel paigutamisel. Mudeli raportis (lisa 2) oli markerpunktide täpsuseks määratud 1,44cm, mis soovitatakse mudeli täpsuse saamiseks korrutada kolmega [63] ehk kogu mudeli mõõtude täpsuseks tuleb +/- 4,32 cm.

Esimene drooniga piltide tegemine aerofotogramm-meetrilise mudeli tarvis võttis aega koos planeerimisega ca 24 minutit. Kuigi juba peale esimest lendu oli mudeli kvaliteet rahuldav, siis otsustati teha veel lisa lende, et mudeli kvaliteeti veelgi parandada. Lisa lennud võtsid kokku aega ca 56 minutit. Töö autor ei ole ajakulusse võtnud programmi poolt kuluvat aega mudeli vormistamiseks, kuna sel hetkel pole vaja inimese kohalolu ning seega ei lähe see inimese jaoks kuluva aja arvestusse. Pärast mudelilt mõõtude võtmine võttis aega 3 tundi ja 18 minutit

Aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudeli kasutamine on mugav, kuna kõik vajalikud mõõdistused saab teostada ühes kohas. Kindlasti on meetodi plussiks ohutus, kuna tegu on varisemisohtliku hoonega, aga drooni lennutada on võimalik distantsilt. Drooni lennutamine on automatiseeritav, mis on mugav mõõdistajale ning tagab piisava fotode hulga hea mudeli koostamiseks. Aerofotogramm-meetrilise mudeli loomiseks mõeldud programmid on loogiliselt ülesehitatud ja lisaks on nende kasutusjuhendid tasuta internetis saadaval, mis lihtsustab programmis töötamist.

Kasutajale teeb meetodi keerulisemaks erinevad mehitamata õhusõidukiga seotud nõuded. Näiteks on vaja kaamerat omava drooni lennutamiseks kaugpiloodi A1/A3 pädevustunnistust, mis eeldab eksami sooritamist Lennuohutuse järelevalve infosüsteemis. Lisaks on vaja alginvesteeringut droonide ja programmide soetamise näol. Kõigele lisaks on droonid tundlikud temperatuuridele ja sobivate piltide saamiseks on vaja kindlaid ilmastikutingimusi.

6.2. Erinevatel meetoditel saadud mahtude võrdlus

6.2.1. Olemasolevad joonised ja aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel

Kui võrrelda joonistelt mõõdetud tulemusi aerofotogramm-meetrilisel teel saadud tulemustega on erinevus väike. Hoonealune pind erineb vaid 36 m² võrra ning katlamaja maht 2662 m³, mis on antud kogumahu kohta väike suurus (4%). Mahtude erinevustel võib rolli mängida hoone osa, mis on maa all ning mille sügavust drooni pildistatud piltide põhjal koostatud mudelilt teada ei saadud.

6.2.2. Maa-ameti 3D kaart ja aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudel

Suurim erinevus seinte pindalades on põhja poolsel fassaadil. Hoone põhja poolsel fassaadil on palju nurgelisust, mis Maa-ameti kaardil võivad olla lihtsustatud kujul. See võib olla üks põhjendustest, miks pindalad ligi 172 m² võrra erinevad (12%). Teine suurem erinevus on ida fassaadi pindalal. See erinev kahel meetodil ligi 90 m² võrra (9%). Erinevus võib olla seotud faktiga, et Maa-ameti kaardil pole silikaattelistest hoone osa õige kujuga (joonis 6.4 ja 6.5).



Joonis 6.4 Silikaattelistest hoone osa Maa-ameti 3D kaardil



Joonis 6.5 Kuvatõmmis CloudCompare tarkvarast. Silikaattelistest hoone aerofotogrammeetrilisel teel loodud punktipilvel

6.2.3. Visuaalselt mahtude hindamine ja aerofotogrammeetrilisel teel loodud mudel

Tänu drooniga lennutamisel kogutud piltidele on võimalik väita, et tuhkpaneelide suurused varieerusid kogu hoone ulatuses. Tuhkpaneelid madalamal olid mõõtudega 6x1,2 m, nagu ka visuaalsel hindamisel mõõdeti, kuid kõrgemal oli kasutatud paneele mõõtudega 6x1,6 m.. Läänes on mahu erinevus vaid 0,41 m², kuna seal oli seinas kasutatud ainult 6x1,2m suuruseid paneele. Põhjapoolsel ja lõunapoolsel küljel võeti visuaalsel hindamisel arvesse,

et suurtel aknaosadel on alumine äär rida tuhkpaneele, kuid hiljem drooniga tehtud pilte vaadates sai selgeks, et tegelikult paneelide rida seal polnud (joonis 6.6).



Joonis 6.6 Aknad, mille all puudus oletatav tuhkpaneelide rida

Silikaattelliste mahud erinevad kahel meetodil kokku kõige vähem, kuid individuaalselt fassaade vaadates on erinevused 14-35%. Põhjuseks on silikaattelistest seinte jätk tuhaplokkidega kõrgemal, visuaalsel hindamisel nägemisväljast kaugemates kohtades, mis ida, lääne ja põhja fassaadidel vähendab tegelikku silikaattelliste mahtu. Lõuna küljel tekkiv 81,28 m² pindalade erinevus tuleneb samuti kohast, mis polnud visuaalsel hindamisel silmaga nähtav ja sinna eeldas töö autor jätku punaste tellistega ja monteeritava raudbetooniga.

Suurim materjalide mahu erinevus on tuhaplokkide mahus. Töö autori hinnangul on selle põhjuseks tuhaplokkide paiknemine hoone kõrgemates osades ja silmaga mitte haaratavates kohtades. Näiteks joonisel 6.7 on näha lääne poolsel küljel tuhaplokke katuse üleval ääres ja paremal seinal alal, kuid visuaalselt hindamisel eeldati, et kõrgemal jätkub silikaattelistest sein.



Joonis 6.7 Katuse üleval ääres olev tuhaplokist ala

Kuigi silikaattelliste mahtude võrdluses on mainitud, et kohas, kus eeldati olevat punane tellis oli tegelikult silikaattellis, on punase tellise mahtude erinevus kokku vaid 5,43%. See tuleneb tänu mudelile nähtavale tulnud katuste osadele, kuna sealt mõõdeti juurde punaste telliste hulka, mis tasakaalustas ära visuaalsel hindamisel tekkinud vead (joonis 6.8).



Joonis 6.8 Mudelist näha olev katuse struktuur

Monteeritava raudbetooni mahtude erinevus on tingitud samuti katuselt nähtavatest osadest. Visuaalsel hindamisel polnud katusel olevast olukorrast võimalik ülevaadet saada, kuid drooniga tehtud piltidest ja mudelist oli näha, et katusel oli palju materjali, mida välisele mahule juurde arvestada.

Hoone avade all on mõeldud kõiki uste ja akende avasid. Kuna paljud ukсед polnud enam ees ja aknad on suures osas katki, siis otsustas töö autor panna nii ukсед kui aknad sama arvestuse alla. Avade pindala erinevus tuli kokku ligikaudu 440 m². Autori hinnangul on vahe tekkinud peamiselt akende avadest, kuna suur osa nendest paiknes kõrgemal, kust polnud võimalik täpseid mõõtmeid võtta ja seega olid visuaalsel hindamisel paika pandud akende suurused enamuses osas ligikaudsed.

6.2.4. Kokkuvõte

Kokkuvõttes on aerofotogramm-meetrilisel teel loodud mudelist võimalik mõõta mahte, mida saab võrrelda kõigil kolmel alternatiivsel meetodil mõõdetud mahtudega. Seda peab arvesse võtma just ajakulu võrdlemisel, kuna see 4 tundi ja 38 minutit ei olnud vaid materjali mahtude hindamine, vaid sinna alla kuulusid ka mõõtmised, mida sai võrrelda olemasolevate joonise meetodi ja Maa-ameti 3D kaardi meetodiga. Järgneb kokkuvõttev tabel 6.1.

Tabel 6.1 Võrdlust kokkuvõttev tabel

Mõõtmisviis	Võimalikud leitavad mahud	Mahtude potentsiaalsete ebatäpsuste põhjused	Ajakulu	Kasutamise positiivsed ja negatiivsed küljed
Olemasolevad joonised	<ul style="list-style-type: none"> hoonealune pind hoone maht 	<ul style="list-style-type: none"> jooniste järgi tehtud arvutused pärinevad aastast 1996 olemasolevad joonised puudulikud, pole hoone vaateid pole teada millal hoone jooniste jaoks mõõdistati, mis meetodeid kasutati ja kui usaldusväärsed need on 	2h 16min	+ <ul style="list-style-type: none"> mahtude arvutuskäigud olid antud hoone puhul olemas ja kontrollitavad (lisa repo joonised) - <ul style="list-style-type: none"> vanematel hoonetel võivad joonised olla puudulikud või üldse olematud

Maa-Ameti 3D kaart	<ul style="list-style-type: none"> • hoone seinte pindala • hoone katuse pindala 	<ul style="list-style-type: none"> • eesmärk pole olnud konkreetse hoone mõõdistamine ning seetõttu võib esineda ebatäpsusi 	37min	<ul style="list-style-type: none"> + <ul style="list-style-type: none"> • väga kasutajasõbralik • mõõdud saab kätte kiiresti - <ul style="list-style-type: none"> • kohati ei saa programm aru, kust soovitakse mõõte võtta (joonis kus mõõt x kohas) • mudel on kompenseerinud ebamäärased kohad endale sobivate kujunditega (joonis pilt katusest)
Visuaalselt mahtude hindamine	<ul style="list-style-type: none"> • materjalide mahud 	<ul style="list-style-type: none"> • mõõdistaja vähene kogemus • suur hoone maht • piirangud nägemisväljas hoone kuju ja suuruse tõttu • konstruktsioonelementide suurus ei olnud läbi ehitise ühtne 	6h 32min	<ul style="list-style-type: none"> + <ul style="list-style-type: none"> • ei nõua lisaseadmeid • objekti külastusaeg ei ole oluline - <ul style="list-style-type: none"> • millegi kahe silma vahele jätmisel tuleb objekti külastada korduvalt • kogemuse puudumine muudab protsessi ajakulukamaks
Aerofoto- gramm- meetrilisel teel loodud mudelil	<ul style="list-style-type: none"> • hoonealune pind • hoone maht • hoone seinte pindala • hoone katuse pindala • materjalide mahud 	<ul style="list-style-type: none"> • mudelilt mõõtmisel punktide ebatäpne paigutamine 	4h 38min	<ul style="list-style-type: none"> + <ul style="list-style-type: none"> • ohutus • drooni saab panna tegema automaatset lendu • programmide kasutusjuhendid on vabalt saadavad, kergelt õpitavad • fotode rohkuse tõttu saab kätte kõik nurgatagused ning pilte on võimalik kasutada ka visuaalset hinnangut tehes - <ul style="list-style-type: none"> • drooni lennutamiseks on vaja käitajaks registreerimist ja eksami sooritamist • vajab rahalist alginvesteeringut • drooni lennutamiseks on olulised ilmastikutingimused

7. Taaskasutusvõimalused peamistele ehitusmaterjalidele

Tuhkpaneelid

Tuhkpaneelide maht kokku tuli 1688 m². Tuhkpaneelide on võimalik taaskasutada uute hoonete ehituses, kuid selleks peavad nad läbima kvaliteedi kontrolli, et tagada nende vastavus nõuetele [2]. Töö autori visuaalsel hinnangul on töös analüüsitava olevas hoones alla kümne paneeli, mis võiksid kvalifitseeruda taaskasutusse, mis moodustab paneelide kogu hulgast ligikaudu 4%. Ülejäänud tuhkpaneelidel oli näha kahjustusi. Kahjustustega paneelid saaks taaskasutada linnapildis näiteks platside või treppide ehituses, kus paneelide kandevõime ei pea olema nii suur kui hoonete ehituses.

Paneelid, mis ei sobi ka platside ja treppide ehitusse tuleks suunata ümbertöötlemisse, kus purustamise tagajärjel saadud materjale on võimalik kasutada teede ehitusel, täitematerjalina erinevatel platsidel nii taastamisel kui ka korrastamisel [55].

Silikaattellis

Silikaattelliste maht kokku tuli 747 m². Silikaattelliste lammutamisest tekkivat massi saab kasutada ehituses sideainena. Lisaks on võimalik saata tellised ümbertöötlemisse ning selle tulemusel saadud materjale on võimalik kasutada teede ehituses või täitematerjalina [54].

Punane tellis

Punaste telliste maht kokku tuli 1075 m². Kui on võimalus tellised kätte saada tervel kujul on telliste taaskasutamine võimalik koduaedades. Tellistest saab ehitada aiateid, peenra ääriid, lõkkekohta ja palju muud. Antud hoone tellistest uut hoonet ehitada ei ole soovitatav, kuna suures osas on tellised saanud niiskuskahjustusi ja nende kvaliteedis ei saa kindel olla. Kuid nagu varem mainitud, on telliste taaskasutamiseks võimalik kasutada viise, kus nende kandevõime ei ole oluline.

Tellised, mida tervelt kätte ei saa on võimalik suunata ümbertöötlemisse, kus nende purustamisel saadud materjale saab kasutada teede ehitusel, täitematerjalina erinevatel platsidel nii taastamisel kui ka korrastamisel [55].

Tuhaplokk

Tuhaplokkide maht kokku tuli 152 m². Tuhaploki taaskasutusvõimalused on analoogsed silikaattellise võimalustele.

Monteeritav raudbetoon (postid ja vaheaed)

Monteeritava raudbetooni maht kokku tuli 4177 m². Käesolevas töös näitena kasutataval hoonel oli vähe raudbetoon elemente, kus armatuur polnud kaitsekihi alt väljas. Seetõttu ei ole soovitatav poste ega talasid uuesti ehituses kasutusele võtta. Vahelagede seisukord pole teada.

Raudbetooni betooni osa taaskasutatakse sarnaselt tellistele. Sees olevad terrassarrused võiks saata ümbertöötlemisse, kuna metallimaagi kasutamine tarbib rohkem energiat kui vanametalli ümbertöötlemine [54].

Katusekatted

Katusekatetest on AS Repo Vabrikute katlamajal esindatud eterniit, ruberoid ja rullmaterjal.

Eterniidi maht kokku tuli 551 m². Eterniit on pärit aastast 1946 ehk suure tõenäosusega sisaldab antud eterniit asbesti. Eterniit on liigitatud ohtlike jäätmete hulka ning tuleb viia ohtlike jäätmete kogumispunkti. Enamasti maetakse asbesti sisaldav eterniit maa alla, kus ta ei saa levitada inimestele ohtlikke asbestikiudusid. Keskkonnale asbest ohtlik pole [54].

Ruberoidi maht kokku tuli 328 m². Ruberoid ehk tõrvapapp on bituumeniga immutatud papp [54]. Ruberoid on naftaprojekte sisaldav materjal, mis liigitatakse ohtlike jäätmete hulka. Ehitusjäätmena tekkinud ruberoid tuleb viia ohtlike jäätmete kogumispunkti [53].

Rullmaterjali maht kokku tuli 2860 m². Eeldusel, et tegu on bituumen rullmaterjaliga, mitte PVC rullmaterjaliga, tuleb antud katusekattega toimida sarnaselt ruberoidile ehk kuna tegu on naftaprojekte sisaldava materjaliga, siis tuleb viia jäägid ohtlike jäätmete kogumispunkti.

Kokkuvõte

AS Repo Vabrikute katlamaja koosneb peamiselt tellistest ja tuhkpaneelidest, mida on korduvalt kasutada keeruline, kuna nende tugevuses ja kvaliteedis ei saa kindel olla. Käesoleva töö käigus selgus, et hoone materjalid on suuremas osas liialt kahjustunud, et neid oleks võimalik uuesti kasutada ja materjalide maht, mida oleks võimalik taaskasutada

on väike. Samuti on mainitud materjalide väärtus madal, mistõttu on mõistlikum materjal saata ümbertöötlemisse, kus muudetakse nii materjali füüsilist kuju ja ka funktsiooni [2].

Betooni ja muud lammutuses tekkinud kiviklibu saab efektiivselt kasutada teede ja erinevat väljakute alustes. Kindlasti peab jälgima, et taaskasutatud materjali omadused vastavad nõuetele, kuid purustatud betooni puhul on mõõdetud paremat kandevõimet õhema kihi korral, kui kasutades tavapärasest alusmaterjali. Ringlusesse võetud purustatud kivimeid saab kasutada ka erosioonitõrjena [17].

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärkideks oli võrrelda erinevaid mahtude mõõtmise meetodeid ja selgitada välja, kas mehitamata õhusõidukid (UAVd) oleksid hoone materjalide kaardistamisel lisaväärtuseks, määrata uurimisaluse objekti mahud ja anda soovitusi nende taaskasutamiseks. Uuritavaks hooneks oli AS Repo Vabrikute katlamaja, mis asub Püssi linnas aadressil Kooli tn 1.

Uuritava hoone mahte määrati neljal erineval meetodil. Esimeseks meetodiks oli olemasolevate dokumentide läbi vaatamine ning vajamineva info otsimine. Teiseks meetodiks oli Maa-ameti 3D kaardilt hoone seinte ja katuse pindalade mõõtmine, kolmandaks meetodiks oli hoone materjalide mahtude visuaalselt hindamine ning viimaseks meetodiks oli mehitamata õhusõiduki abil aerofotogramm-meetrilisel meetodil mudeli koostamine. Lisaks anti hoonele visuaalsel meetodil seisukorra hinnang ja materjalide seisukorda arvesse võttes pakuti variante nende taaskasutamiseks või ümbertöötlemiseks.

Olemasolevatest dokumentides oli võimalik leida hoonealune pind ja hoone maht. Tulemusi võrreldi aerofotogramm-meetrilisel meetodil loodud mudelist mõõdetud mahtudega ning järeldati, et tulemused erinesid üksteisest väga vähesel määral. Erinevusprotsent oli 0,90-4,06%.

Maa-ameti 3D kaardilt oli võimalik mõõta vaid seinte pindalad, kuna tegu on ühevärvilise mudeliga ning materjale eristada võimalik ei olnud. Tulemusi sai taaskord võrrelda aerofotogramm-meetrilisel meetodil loodud mudelilt mõõdetud mahtudega ning tulemused olid taaskord sarnased, kuid erinevus tuli sisse fassaadi osadel, kus Maa-ameti 3D mudelis on ebatäpsed kohad asendatud umbmääraste hulknurksete pindadega. Tulemuste erinevusprotsendid jäid vahemikku 0,78-11.67%.

Visuaalsel meetodil mahtude hindamise ja aerofotogramm-meetrilisel meetodil loodud mudelist mõõdetud mahtude hulgad erinesid rohkem kui eelnevatel meetoditel. Erinevusprotsent varieerus vahemikus 0,20-94.83%. Suuremad erinevused tulid sisse piiratud nähtavusega hoone osadelt ja kõrgemal asuvate materjalide tõttu, mida mehitamata õhusõiduki abil loodud mudelist täpsemalt hinnata sai.

Võrdluses tuli välja, et aerofotogramm-meetrilisel meetodil loodud mudelilt sai leida kõik mahud, mis alternatiivsete meetoditega ning seda kokku väiksema ajakuluga, kui läheks kokku esimese kolme meetodi sooritamiseks. Lisaks ajafaktorile on mehitamata

õhusõiduki kasutamine inimesele ohutum ja seda just varisemisohtlike hoonete puhul nagu seda oli ka AS Repo Vabrikute katlamaja.

Hoone on ehitatud tuhkpaneelidest, erinevatest tellistest, tuhaplokkidest ja raudbetoonist. Materjalide visuaalsel meetodil seisukorra hindamisel tuli hindeks halb ning seega materjalide taaskasutamisel ei ole mõtet. Materjalide uuesti kasutamise soovitusel sai nende ümbertöötlemine ja tee või platside täitena kasutamine.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to compare different methods for measuring volumes and to determine whether unmanned aerial vehicles (UAVs) would provide added value for mapping building materials. Another goal was to determine the volumes of the research object, which was the AS Repo Vabrikud's boiler house located at Kooli 1, town of Püssi. The volumes of the building were determined using four different methods. The first method involved reviewing existing documents and searching for necessary information. The second method involved measuring the surface areas of the building's walls and roof from the 3D map of the Land Board. The third method involved visually assessing the volumes of building materials, and the final method involved creating a model using UAV-based aerial photogrammetry. In addition, a visual assessment of the building's condition was conducted, and options for recycling or reprocessing materials were proposed based on their condition.

The existing documents provided information on the building's footprint and volume. The results were compared to the volumes measured from the model created using the UAV-based aerial photogrammetry method, and it was concluded that the results differed only slightly, with a difference percentage of 0.90-4.06%.

From the 3D map of the Land Board, only the surface areas of the walls could be measured, as the model was monochrome, and it was not possible to distinguish materials. The results were compared once again to the volumes measured from the model created using UAV-based aerial photogrammetry, and the results were similar, but differences appeared on the facade, where inaccurate areas in the Land Board's 3D model were replaced with imprecise polygonal surfaces. The difference percentages of the results ranged from 0.78-11.67%.

The volumes assessed visually, and the volumes measured from the model created using UAV-based aerial photogrammetry differed more than in the previous methods. The difference percentages ranged from 0.20-94.83%. The larger differences were due to limited visibility in certain areas of the building and the higher placement of materials, which could be more accurately assessed from the model created using UAV-based aerial photogrammetry.

The comparison showed that all volumes could be found from the model created using UAV-based aerial photogrammetry, which could be done in less time than the first three

methods combined. In addition to the time factor, the use of UAVs is safer for humans, especially for buildings with a risk of collapse, such as the AS Repo Vabrikud's boiler house.

The building is made of ash panels, different types of bricks, ash blocks, and reinforced concrete. The visual assessment of the materials resulted in a poor rating, so the main recommendation for recycling the materials was their reprocessing and use as fill for roads or squares.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Keskkonnatehnika, „Tondilosside lammutamise toetuse piirmäär kaotati“, 2019. Accessed: 25. Mar. 2023 [Online]. Available: <https://keskkonnatehnika.ee/tondilosside-lammutamise-toetuse-piirmaar-kaotati/>
- [2] K. Lige, „Tehasehooned taaskasutusse“, 2020. Accessed: 25. Mar. 2023 [Online]. Available: <https://www.sirp.ee/s1-artiklid/arhitektuur/tehasehooned-taaskasutusse/>
- [3] Eesti Statistika, „RV0291U: Rahvaarv, pindala ja asustustihedus, 1. jaanuar. Haldusjaotus seisuga 01.01.2018 | Elukoht, Aasta ning Näitaja. Accessed: 25. Mar. 2023 [Online]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik__rahvastikunaitajad-ja-koosseis__rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV0291U/table/tableViewLayout2
- [4] T. Raig, „Tööstuslikud droonid rassivad mitme mehe eest“, 2021. Accessed 27. Mar. 2023 [Online]. Available: <https://toostusest.ee/uudis/2021/09/06/toostuslikud-droonid-rassivad-mitme-mehe-eest/>
- [5] Arenguseire Keskus, „Droonide mängus võidame kõik“, 2022. Accessed: 18. May 2023 [Online]. Available: <https://arenguseire.ee/pikksilm/droonide-mangus-voidame-koik/>
- [6] Brokk AB, „Demolition with Brokk: a handbook“, 2000, p. 5-9. Accessed: 02. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://docplayer.net/23947176-A-handbook-demolition-with-brokk.html>
- [7] Buildings department, „Code of Practise for DEMOLITION OF BUILDINGS“, 2004, p 4-9.
- [8] hange.ee, „Maja lammutamise ABC“, 2022. Accessed: 02. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.hange.ee/blogi/maja-lammutamise-abc/>
- [9] lammutustööd, „Kas lammutamine on ehitamine ja millal on vaja lammutusluba?“, 2020. Accessed: 02. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.lammutustood.ee/blogi/kas-lammutamine-on-ahitamine-ja-millal-on-vaja-lammutusluba>
- [10] M. Ibrahim, „Estimating the sustainability returns of recycling construction waste from building projects“, 2016, p 78-93. Accessed: 02. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670716300361>
- [11] Hades geodeesia, „Punktipilv“. Accessed: 05. May 2023 [Online]. Available: <https://hades.ee/punktipilv/>
- [12] BCcampus, „Chapter 2.3 – DEM & Orthomosaic“. Accessed: 05. May 2023 [Online]. Available: <https://pressbooks.bccampus.ca/renegade/chapter/chapter-2-3-dsm-orthomosaic/#:~:text=The%20main%20difference%20between%20using,to%20sparse%20alignment%20between%20photos.>
- [13] Keskkonnaministeerium, „Ehitus- ja lammutusjätmete käitlusnõuete mõju analüüs“, 2015.
- [14] Connecticut's Official State Website, „What is Constructional and Demolition Waste?“, 2020. Accessed: 03. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://portal.ct.gov/DEEP/Waste-Management-and-Disposal/Construction-and-Demolition-Waste/What-is-CD-Waste>

- [15] H. Yuan, „Trend of the research on construction and demolition waste management“, 2011. Accessed: 03. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1000588X>
- [16] Y. Y. Ling, K. C. Leo, „Reusing timber formwork: importance of workmens’ efficiency and attitude“, 2000.
- [17] Metso, „Construction and demolition waste recycling“. Accessed: 03. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.metso.com/aggregates/solutions/construction-and-demolition-waste-recycling/?r=3#:~:text=Recycling%20construction%20and%20demolition%20waste%20is%20profitable%20and%20environmental%20way,resulting%20in%20lower%20logistics%20costs>
- [18] A. Diab, „Drones Perform the Dull, Dirty, or Dangerous Work“, 2014. Accessed: 04. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://tech.co/news/drones-dull-dirty-dangerous-2014-11>
- [19] D. R. Green, B. J. Gregory, A. R. Karachok, „Unmanned Aerial Remote Sensing UAS for environmental applications“, 2020, p. 13-14, 240.
- [20] Imperial war museums, „A Brief History of Drones“. Accessed: 06. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones#:~:text=The%20first%20pilotless%20vehicles%20were,first%20flew%20in%20October%201918>
- [21] L. Dormehl, „The history of drones in 10 milestones“, 2018. Accessed: 06. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-drones/>
- [22] drdrone, „Timeline of DJI drones“, 2018. Accessed: 06. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://drdrone.ca/blogs/drone-news-drone-help-blog/timeline-of-dji-drones>
- [23] Z. M. Miličević, „From the early days of unmanned aerial vehicles (UAVs) to their integration into wireless networks“, 2021. Accessed: 06. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/6617/661770260008/html/#:~:text=Mini%20and%20micro%20versions%20of,.%2C%20were%20developed%20after%202000>
- [24] J. Alkobi, „The Evolution of Drones: From Military to Hobby & Commercial“, 2019. Accessed: 06. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://percepto.co/the-evolution-of-drones-from-military-to-hobby-commercial/>
- [25] J. B. Sharma, „Applications of Small Unmanned Aircraft Systems Best Practices and Case Studies“, 2020, p. 81-103.
- [26] T. Luhmann, S. Robson, S. Kyle, I. Harley, „Close Rango Photogrammetry Principles, techniques and applications“, 2006.
- [27] J. Fryer, „Applications of 3D Measurement from Images“, 2007, p. 28.
- [28] Geo-matching, „Topodrone“.
- [29] K. Hein, „Viiskümmend aastat Eesti energiasüsteemi“, 1991, p. 124-127.
- [30] Postimees, nr 100, „Uus elektrijõujaam Püssi“, 1936. Accessed: 10. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://dea.digar.ee/cgi-bin/dea?a=d&d=postimeesew19360415.2.44&e=-----et-25--1--txt-txIN%7ctxTI%7ctxAU%7ctxTA----->

- [31] L. Hansar, J. Huimerind, K. Jagodin, L. Jänes, M. Kalm, E. Lankots, M. Mändel, T. Ojari, O. Orro, H. Pärdi, A. Randla, L. Välja, M. Väljas, „100 sammu läbi 20. sajandi Eesti arhitektuuri“, 2013, p. 142
- [32] Rahvusarhiiv, ERA.2595.1.1., „Kirjavahetus Püssi jõujaama ehitamise kohta Virumaal“, 1936, p. 266.
- [33] Rahvusarhiiv, ERA.R-132.1.254, „Kirjavahetus Püssi elektrijõujaama masinamaja laiendustööde, turbogeneraatori ja suitsukanalite aluste ehituste, uute katelde ülesseadmise ning ehitusmaterjalide analüüsi küsimuses; laiendustööde plaane. II osa“, 1943.
- [34] Rahvusarhiiv, ERA.R-132.1.255, „Kirjavahetus Püssi elektrijõujaama masinamaja laiendustööde, turbogeneraatori ja suitsukanalite aluste ehituste, uute katelde ülesseadmise ning ehitusmaterjalide analüüsi küsimuses; laiendustööde plaane. III osa“, 1944, p. 42-43.
- [35] „Saateks „Viru Sõnale““, 1944.
- [36] Valla Sõnumid: Lüganuse kuuleht, nr 7, M.-L. Veiser, „Püssi elektrijõujaam saab mälestuskivi“, 2017.
- [37] Kinnisvarabüroo „PELIKAN“, „Püssi, katlamaja“, 1996.
- [38] Maa-amet, Aruanne nr 11964, „Püssi puitplaatide kombinaat. Puitkiudplaatide tehas“, 1977.
- [39] A. Karon, isiklik kirjavahetus, 14. Feb. 2023.
- [40] Ehisregister, Katlamaja, EHR kood 102016192. Accessed: 10. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://livekluster.ehr.ee/ui/ehr/v1/building/102016192>
- [41] K. Õiger, „Ehitiste renoveerimine konspekt“, 2009, p. 5-17, 57-71.
- [42] T. Keskküla, „Mitmekorruselise hoone tehnilise ja energeetilise seisundi hindamismetoodika“, Inseneeria nr 5/2010, p. 42-43.
- [43] Tallinna Tehnikakõrgkool, „Hoonete tehnilise seisukorra hindamise juhend,“ 2018. Accessed: 11. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.digar.ee/viewer/et/nlib-digar:350752/310933/page/3>.
- [44] Riigiteataja, „Ehitise tehniliste andmete loetelu ja arvestamise alused“, 2015. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110062015008>
- [45] Maa-amet, „Kogu Eesti 3D kaart sai avalikuks“, 2021. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://maaamet.ee/uudised/kogu-eesti-3d-kaart-sai-avalikuks>
- [46] Maa-amet, „Maa-amet 3D – hooned (1/2)“, 2021. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=DNfBolnxzGs&list=PLqe0Fr6V2PLv2witBddSNGkj5I0sGJFDi&index=3>
- [47] Geoportaal, „Laadi kõrgusandmed alla“, 2020. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Ruumiandmed/Korgusandmed/Laadi-korgusandmed-alla-p614.html>

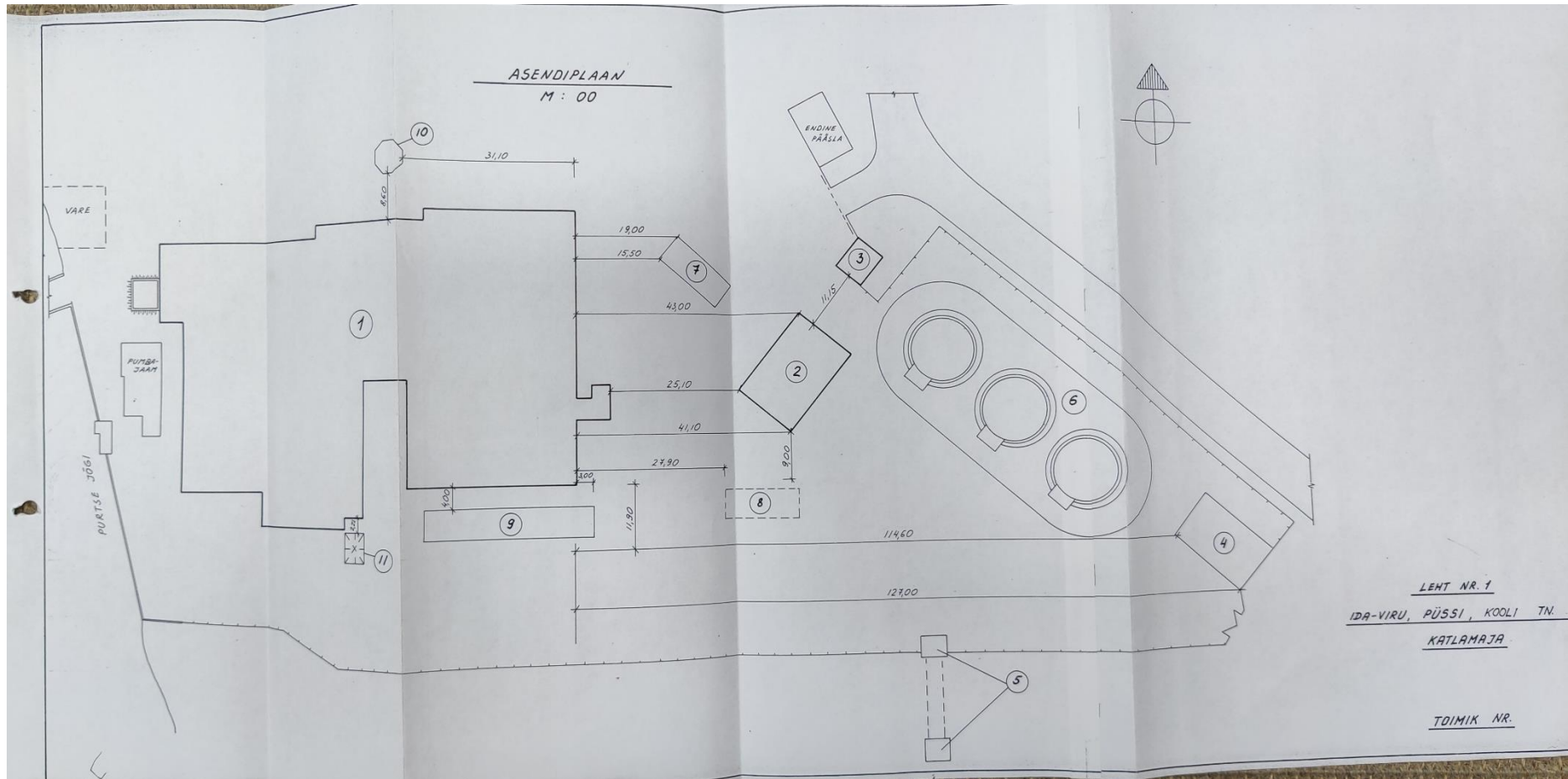
- [48] Maa-ameti 3D kaart. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://3d.maaamet.ee/kaart/>
- [49] Warehouse71, „How to Measure for Siding: A Simple Guide“, 2022. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://warehouse71diy.com/resources/how-to-measure-for-siding-a-simple-guide/>
- [50] First in architecture, „Measured Survey: How to measure a building“. Accessed: 19. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.firstinarchitecture.co.uk/measured-survey-how-to-measure-a-building/>
- [51] DJI, „Mavic 2 Specs“. Accessed: 20. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.dji.com/ee/mavic-2>
- [52] Pixpro, „Weather Conditions for Aerial Photogrammetry – What to Look Out For?“, 2022. Accessed: 20. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.pixpro.com/blog/post/aerial-photogrammetry-weather>
- [53] Riigiteataja, „Jäätmehoolduseeskiri“, 2009. Accessed: 02. May 2023, [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13186154>
- [54] Tallinna Tehnikakõrgkooli Arhitektuuri instituut, „Linnaehituslik analüüs ja planeerimisetepanekud 1960-ndate tüüpelamute (seeria 1-317) kvartalite kaasajastamiseks“, 2009. Accessed: 02. May 2023 [Online]. Available: http://murula.eu/failid/visioon/I_linnaehituslik_analyys.pdf
- [55] Riigiteataja, „Teatud liiki ja teatud koguses tavajäätmete, mille vastava käitlise korral pole jäätmeoia omamine kohustuslik, taaskasutamise või tekkekohas kõrvaldamise nõuded“ lisa 1, 2004. Accessed: 02. May 2023 [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1191/2201/5015/Kkm_m21_lisa1.pdf
- [56] P. Viljamaa, „Viruma vaated (1940) Koloreeritud“, 2023. Accessed: 10. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rlyhvnWRfAw>
- [57] Rahvusarhiiv, EFA.396.0.149449, „II maailmasõja ajal saksa okupatsioonivägede poolt purustatud Püssi elektrijaama taastamine.“, 1945. Accessed: 10. Apr. 2023 [Online]. Available: <https://www.ra.ee/fotis/index.php/et/photo/view?id=157845>
- [58] Muinsuskaitseamet, „Raudbetoon. Ajalugu, kahjustused, hooldus ja restaureerimine“. Accessed: 17. May 2023 [Online]. Available: <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/raudbetoon-ajalugu-kahjustused-hooldus-ja-restaureerimine>
- [59] Muinsuskaitseamet, „Tellismüürid. Ajalugu ja restaureerimine“. Accessed: 17. May 2023 [Online]. Available: <https://www.muinsuskaitseamet.ee/et/handbook/tellismuurid-ajalugu-ja-restaureerimine>
- [60] Eesti Standardikeskus, „EVS 807:2016 Kinnisvarakeskkonna juhtimine ja korrashoid“, 2016. Accessed: 17. May 2023 [Online]. Available: <https://www.evs.ee/et/evs-807-2016>
- [61] MissionGO, „Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Unmanned Aerial Systems (UAS), and autonomous drones: What’s the difference?“. Accessed: 18. May 2023 [Online]. Available: <https://www.missiongo.io/unmanned-aerial-vehicles-uav-unmanned-aerial-systems-uas-and-autonomous-drones-whats-the-difference/#:~:text=Whereas%20an%20UAV%20represents%20the,and%20function%20of%20UAVs%20possible.>

[62] MathWorks, „Structure from Motion overview“, 2023. Accessed: 18. May 2023 [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/structure-from-motion.html>

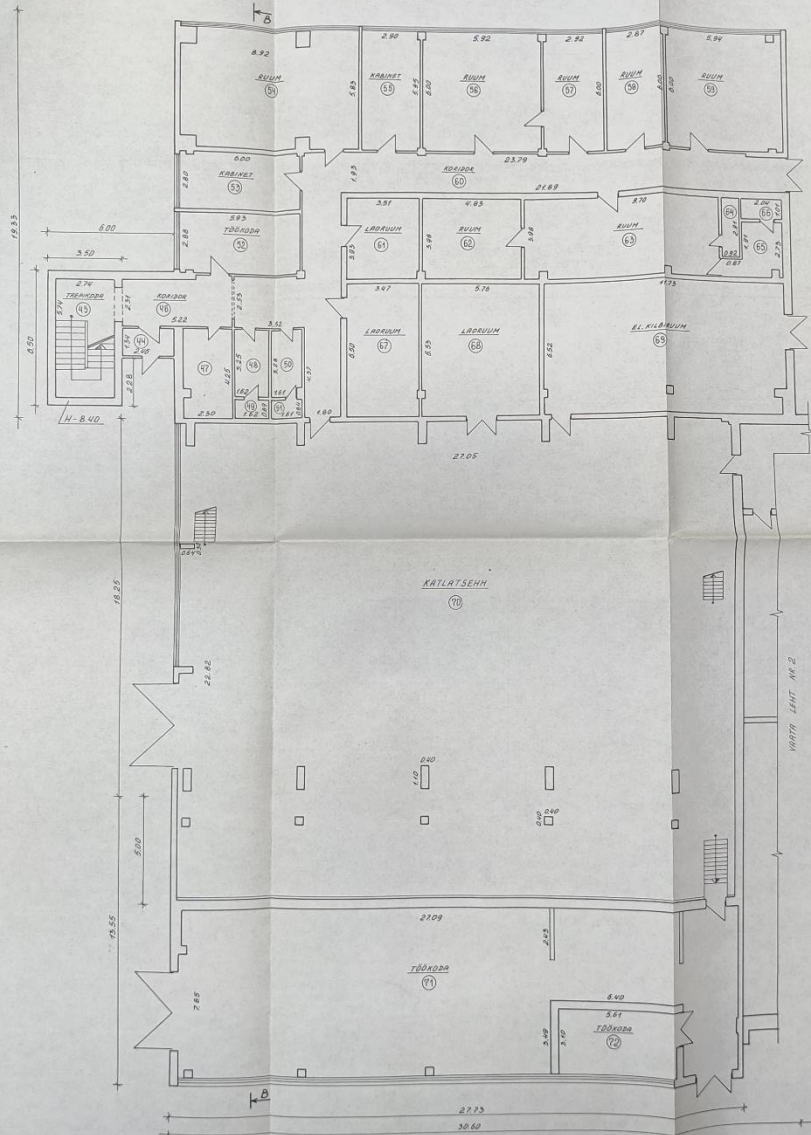
[63] Wingtra, „Hot ground sample distance (GSD) relates to accuracy and drone ROI“, 2019. Accessed: 18. May 2023 [Online]. Available: <https://wingtra.com/how-ground-sample-distance-gsd-relates-to-accuracy-and-drone-roi/>

LISAD

Lisa 1 AS Repo Vabrikute katlamaja olemasolevad joonised ja dokumendid



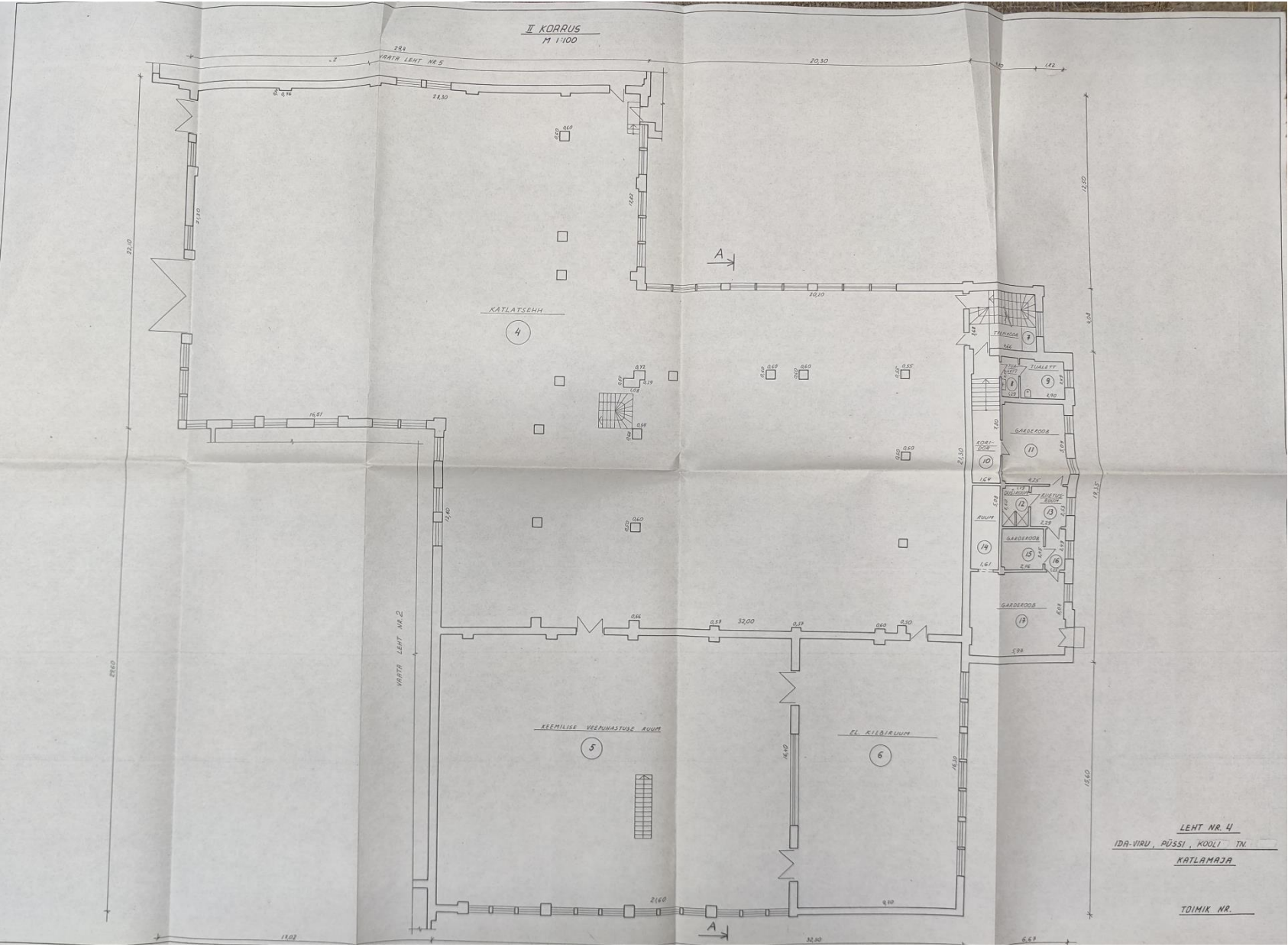
PÕHIKORRUS
M 1:100



LEHT NR 3
IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.
KATLAMAJA

TOIMIK NR.

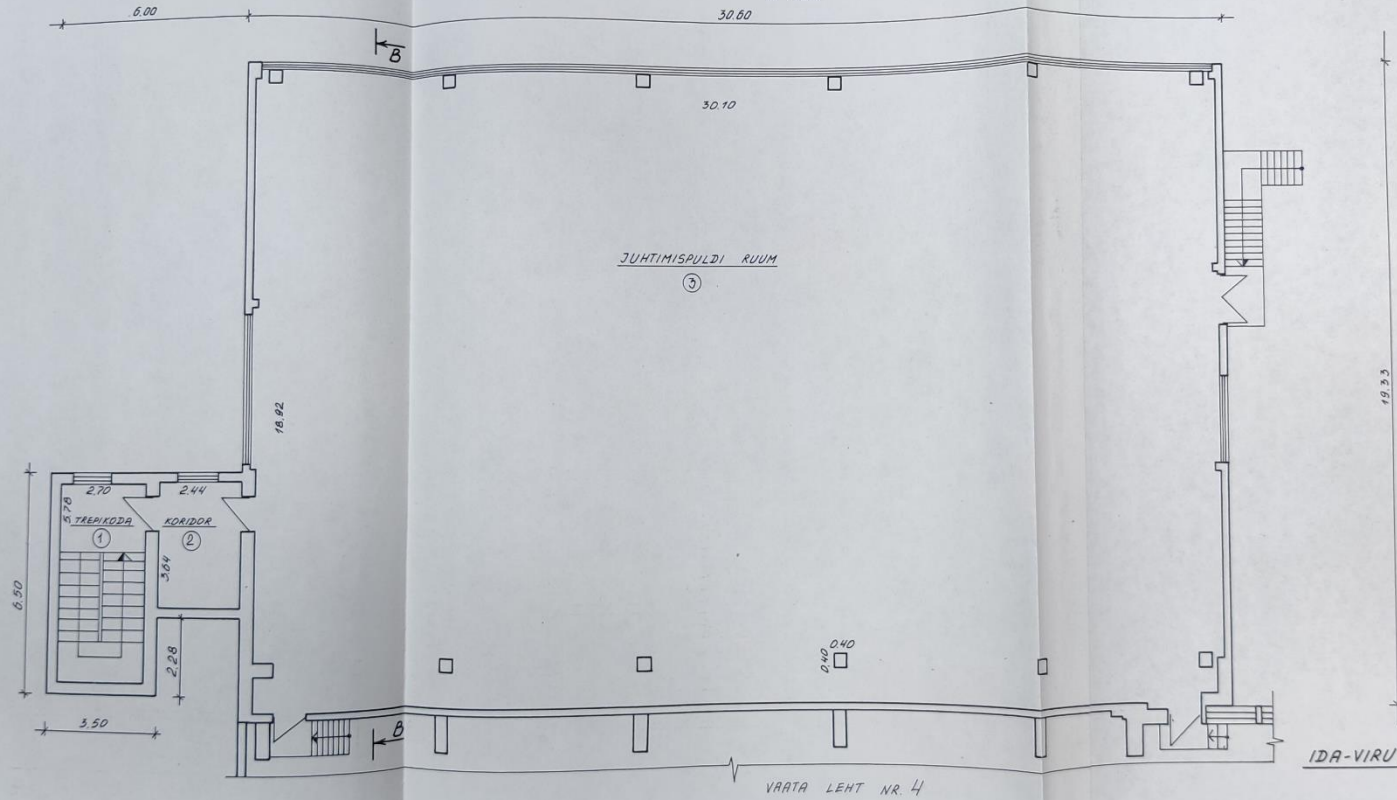
II KORRUS
M 1:100



LEHT NR. 4
IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.
KATLAMAJA

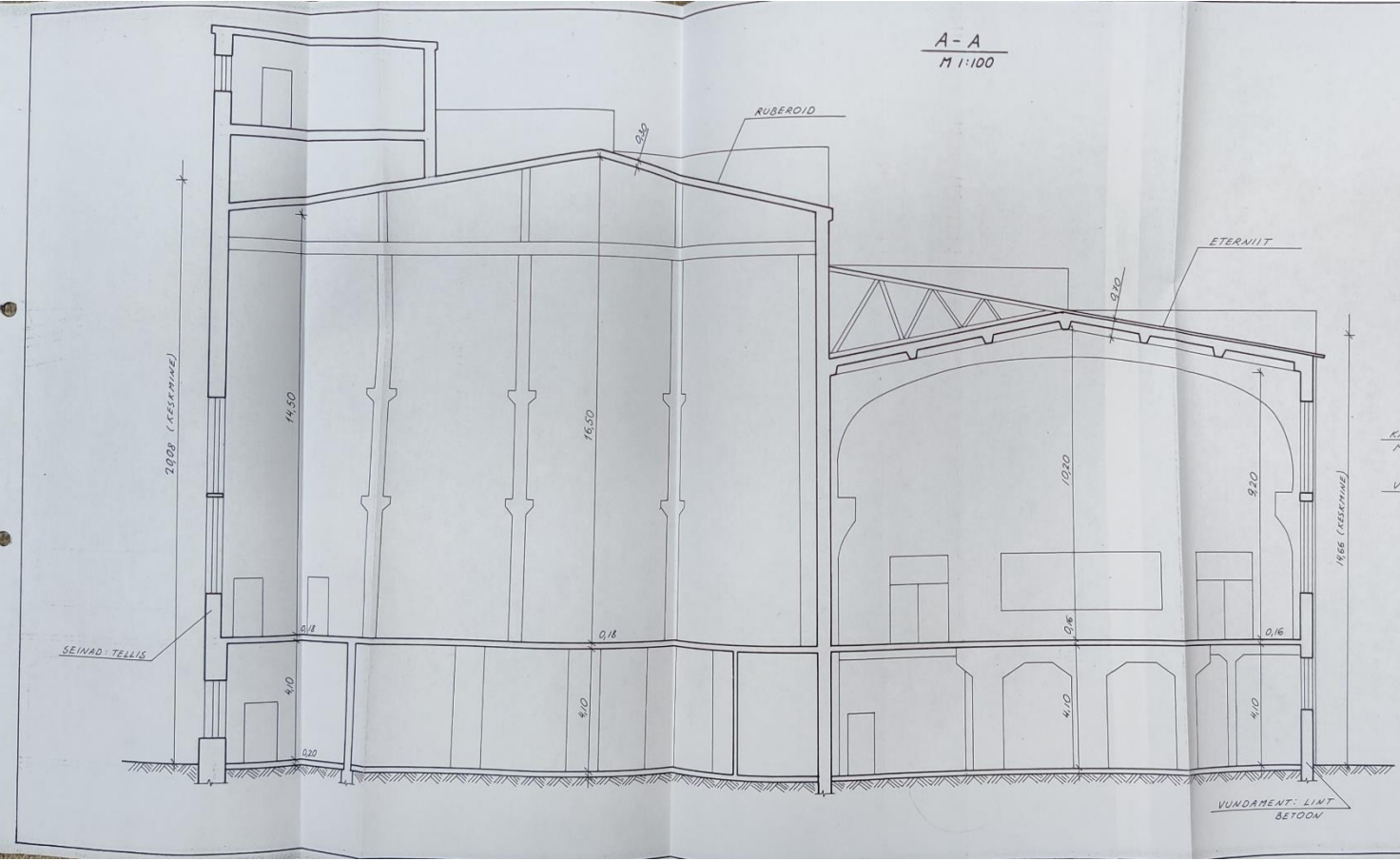
TOIMIK NR.

II KORRUS
M 1:100



LEHT NR. 5
IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.
KATLAMAJA
TOIMIK NR.

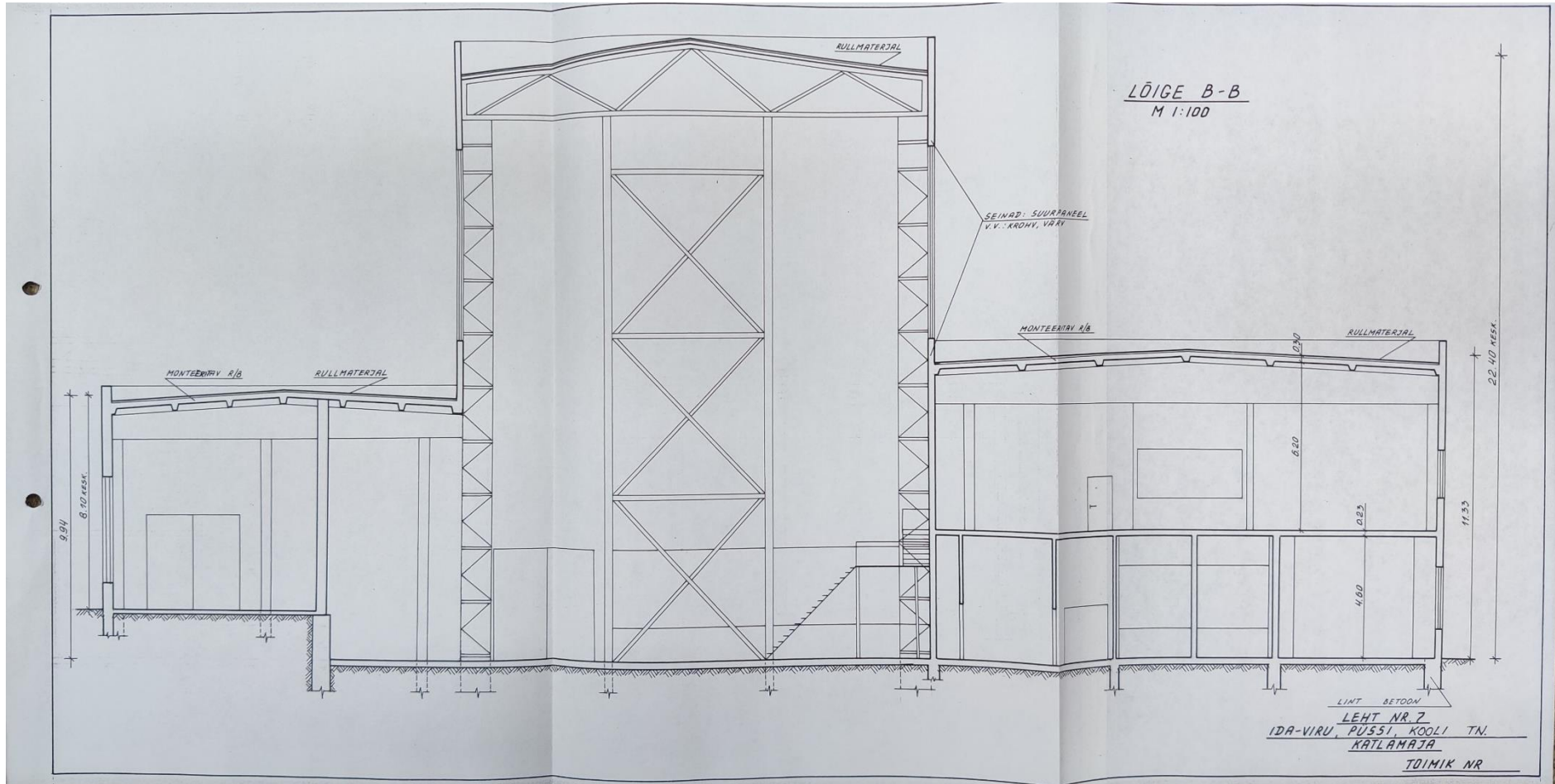
A - A
M 1:100



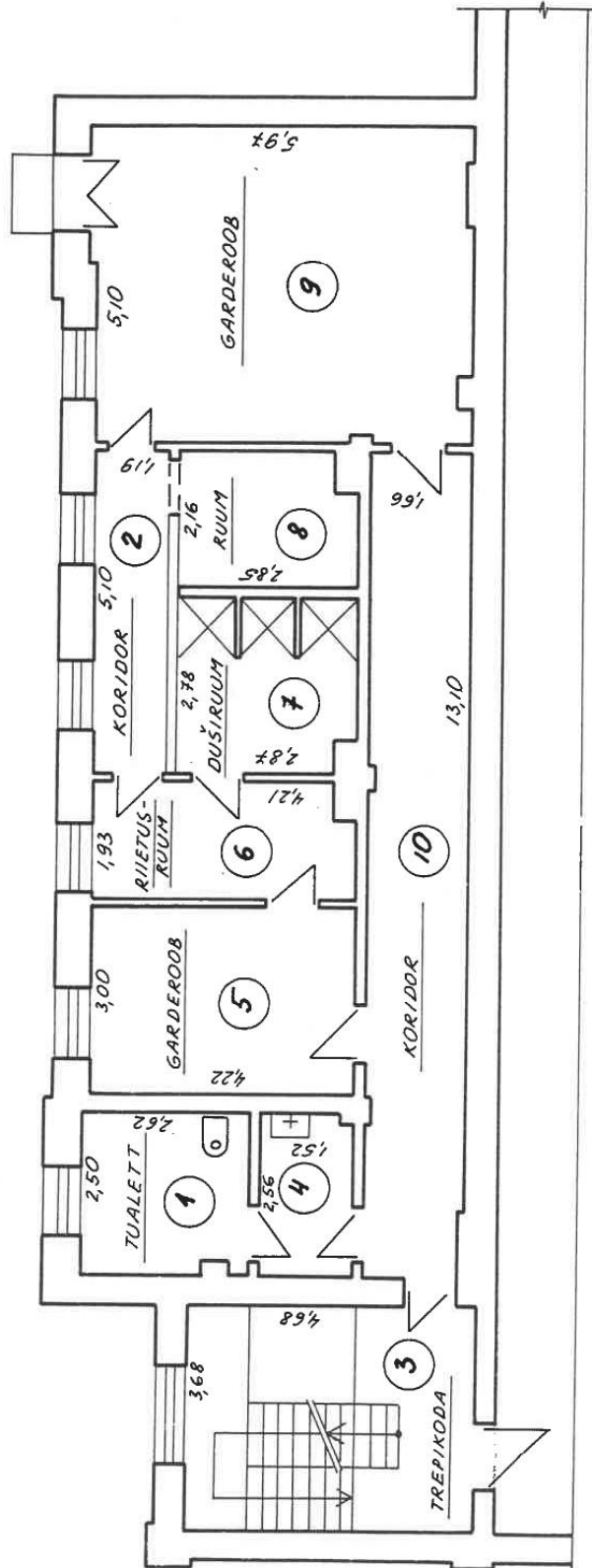
KANDEKONSTRUKTSIOON:
MONTEERITAV R/B KARKASS
VAHELAED: MONTEERITAV R/B

LEHT NR. 6
IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI T.N.
KATLAMAJA

TOIMIK NR.



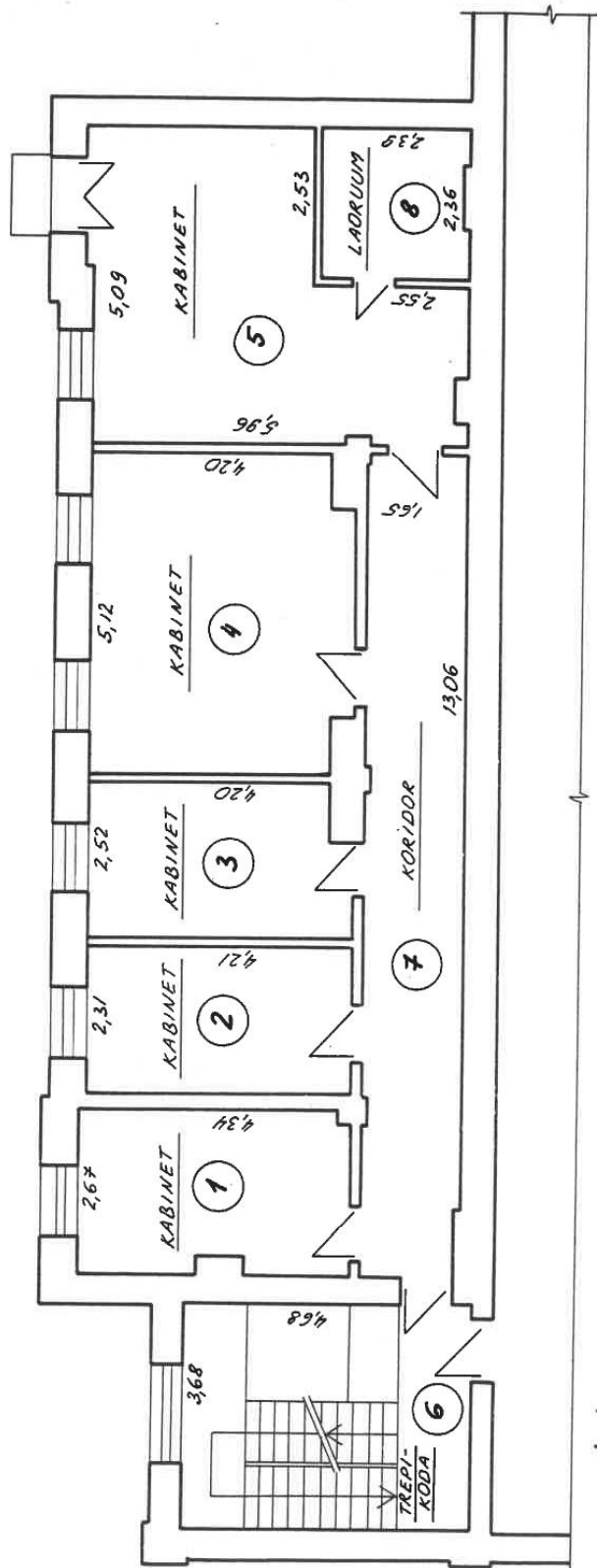
III KORRUS
M 1:100



LEHT NR. 8
IDA-VIRU
PÜSSI, KATLAMAJA
KOOI TN.

TOIMIK NR.

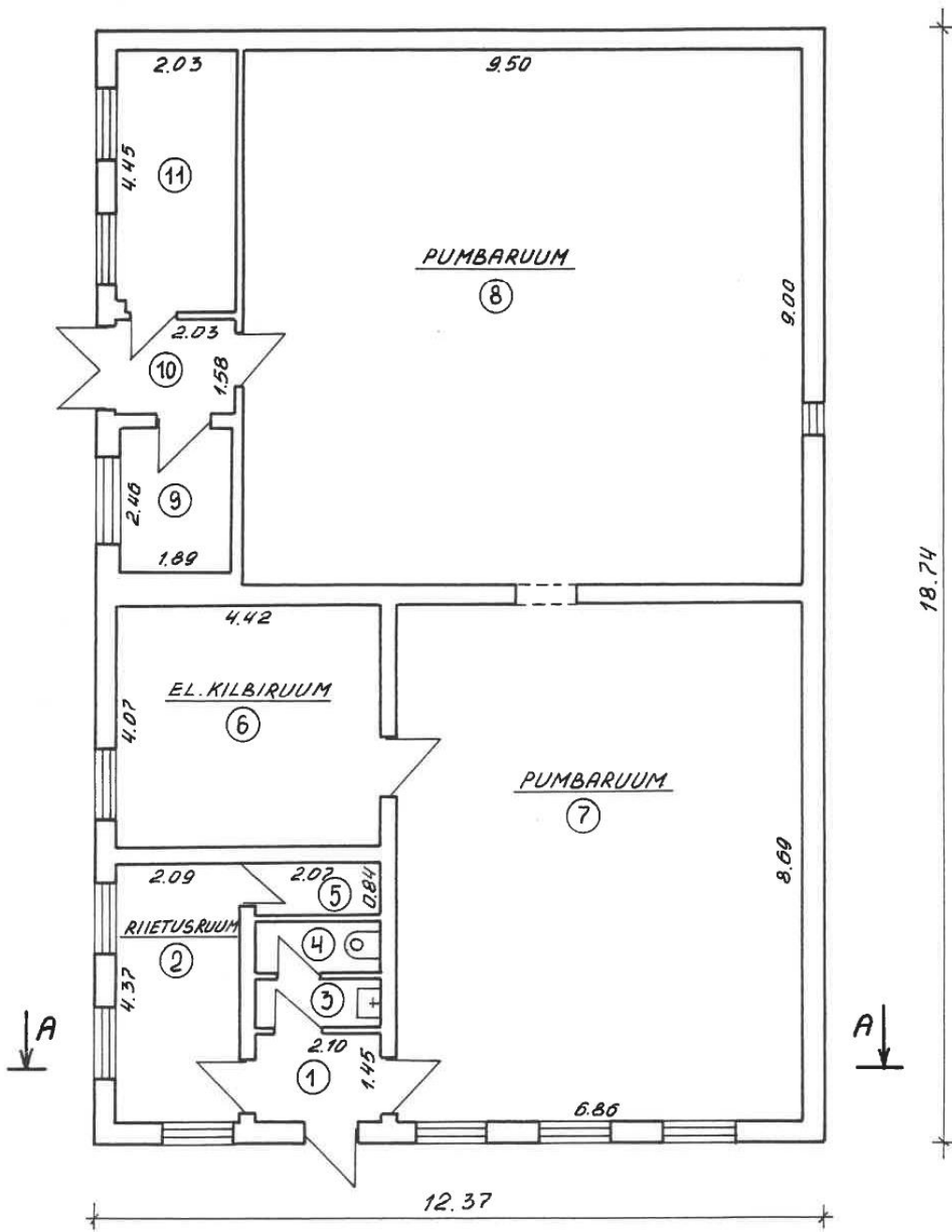
LIV KORRUS
M 1:100



LEHT NR. 9
IDA-VIRU
PÜSSI, KATLAMAJA
KOOLI TN.

TOIMIK NR.

PÕHIPLAAN
M 1:100



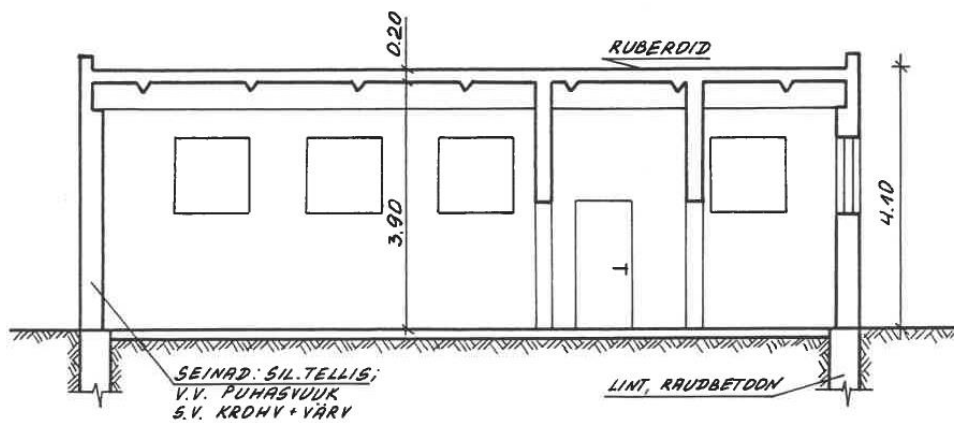
LEHT NR. 10

IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.

PUMBAJAM

TOIMIK NR.

LÖIGE A-A
M 1:100



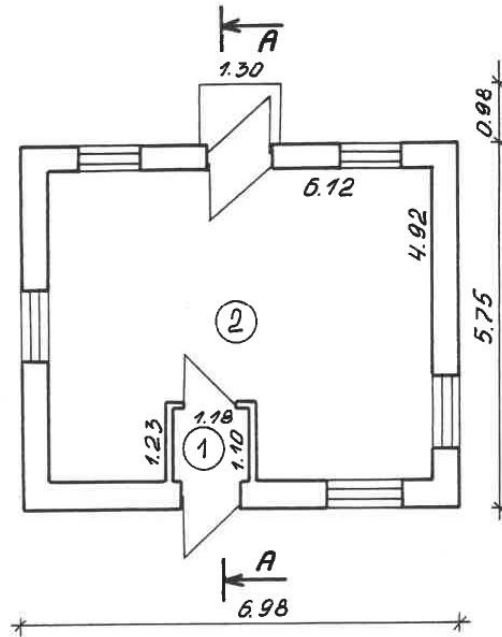
LEHT NR. 11

IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.

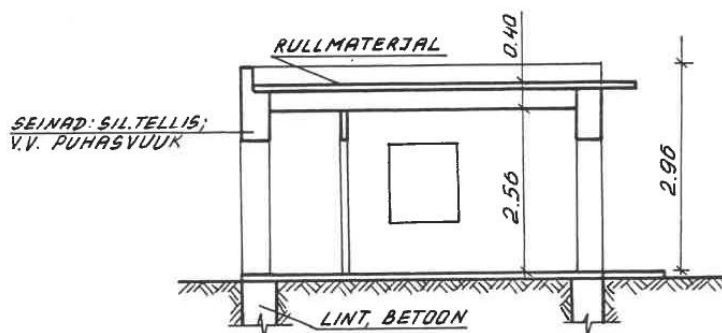
PUMBAJAAM

TOIMIK NR.

PÕHIPLAAN
M 1:100



LÕIGE A-A
M 1:100



LEHT NR. 12

IDA-VIRU, PÜSSI, KOOLI TN.

PÄÄSLA

TOIMIK NR.

Toimik nr.

**TOOTMIS- JA ÜLDKASUTATAVATE
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON**

PÜSSI, KOOLI TN.

Ruumi nr.	Ruumi nimetus	Pinna arvutamise avaldus	SULETUD NETOPIND			
			KOKKU	selest		
				Kasulik pind	Ühenduste pind	Tehniliste ruumide pind
1	2	3	4	5	6	7
1. KATLAMAJA						
PÕHIKORRUS:						
1	TREPIKODA	4.20 × 3.73	15.7	15.7		
2	RUUM	4.10 × 2.33	9.6			
3	RUUM	2.36 × 2.03	4.8	4.8		
4	PDMHIVARJEND	8.08 × 3.82	30.9	30.9		
5	— " —	4.07 × 3.82	15.6	15.6		
6	RUUM	1.36 × 2.37	3.2	3.2		
7	KORIDOR	4.70 × 1.35	6.4	6.4		
8	— " —	13.25 × 1.35 + 0.60 × 0.60	18.3	18.3		
9	RUUM	4.30 × 3.86	16.6	16.6		
10	FILTRITE RUUM	16.90 × 3.86 + 0.88 × 5.56 - 2 × 0.54 × × 0.54 - 0.50 × 0.50	69.3	69.3		
11	RUUM	1.60 × 1.80	2.9	2.9		
12	— " —	1.69 × 1.74	2.9	2.9		
13	ALAJAAM	11.20 × 5.76 + 0.45 × 1.46 - 0.55 × 3.74 - 0.55 × 0.55	62.8			62.8
14	— " —	2.93 × 3.00	8.8			8.8
15	— " —	2.77 × 2.92	8.1			8.1
16	RUUM	1.69 × 1.65	2.8	2.8		
17	LADRUUM	2.94 × 2.49	7.3	7.3		
18	LADRUUM	3.34 × 4.70 - 0.68 × 0.93 - - 0.68 × 0.63 - 0.80 × 0.93 - - 0.80 × 0.63	13.4	13.4		
19	VENTKAMBER	4.42 × 13.40 - 0.37 × 0.81 - - 1.05 × 0.37 × 2 - 0.37 × 1.17	57.7			57.7
20	1. JA 2. KATLA HAARVLIPUHASTUSE RUUM	16.00 × 16.90 + 4.38 × 2.29 - - 1.00 × 1.03 × 14 - 0.56 × 0.55 - - 5.81 × 0.9 - 0.12 × 18.74 - - 0.23 × 0.55	258.2	258.2		
21	KONDENSAADIPAA- KIDE RUUM	16.40 × 26.00 - 5.11 × 3.74 - - 3.29 × 2.60 - 1.49 × 0.80 - 4.70 × 4.10 - 1.00 × 0.90 × 2 - 0.80 × 0.90 × 4 - 0.80 × 1.20 × 2 - - 0.90 × 1.30 - 1.00 × 1.30 - - 0.33 × 0.80 × 2 - 0.30 × 0.30 × 13 - - 0.60 × 0.33 × 5	366.5	366.5		
22	RUUM	1.76 × 2.90 - 0.38 × 0.14 - 0.26 × 0.14				

PÜSSI, KOOLI TAJ.

1	2	3	4	5	6	7
		$0.53 \times 0.33 \times 0.50$	5.1	5.1		
23	TREPIKODA	$2.94 \times 1.39 - 0.14 \times 0.26$	4.1	4.1		
24	RUUM	$10.58 \times 3.00 - 0.55 \times 0.42$	31.5	31.5		
25	TREPIKODA	2.70×2.89	6.1	6.1		
26	LAORUUM	2.30×1.84	4.2	4.2		
27	RUUM	2.20×2.80	6.2	6.2		
28	— " —	$2.89 \times 2.09 - 0.10 \times 0.30$	6.0	6.0		
29	TREPIKODA	1.15×5.80	6.7	6.7		
30	LAORUUM	2.19×3.72	8.2	8.2		
31	— " —	$9.75 \times 4.01 - 1.00 \times 0.70 \times 2 -$ $- 0.33 \times 0.60 - 0.33 \times 0.70 \times 2$	37.0	37.0		
32	RUUM	$2.91 \times 3.94 - 0.56 \times 0.72 - 0.76 \times 0.46 -$ $- 0.20 \times 0.63$	10.9	10.9		
33	KORIDOR	$11.90 \times 2.97 - 0.60 \times 0.15$	35.3	35.3		
34	BOILERIRUUM	$8.89 \times 11.60 - 3.75 \times 5.95 -$ $- 0.66 \times 0.25 - 0.66 \times 0.50$	80.3	80.3		
35	RUUM	$6.31 \times 3.94 - 0.56 \times 0.72 - 0.56 \times 1.03 -$ $- 0.26 \times 2.55$	23.2	23.2		
36	TUHARUUM	$12.63 \times 24.00 + 14.00 \times 3.90 +$ $+ 0.70 \times 8.40 + 12.70 \times 0.70 +$ $+ 3.90 \times 5.11 - 0.50 \times 2.30 -$ $1.20 \times 0.90 \times 0.50 + 0.57 \times 2.70 -$ $- 1.10 \times 1.00 \times 5 - 1.10 \times 1.39 -$ $- 0.70 \times 0.70 \times 2 - 0.50 \times 0.60 -$ $- 0.40 \times 0.40 \times 4 - 0.37 \times 1.10 -$ $1.10 \times 0.70 - 3.40 \times 0.16 - 0.31 \times 0.40 -$ $- 1.00 \times 0.20 \times 3 - 0.63 \times 1.00 -$ $- 0.27 \times 0.72$	382.4	382.4		
37	GARDEROOB	$3.08 \times 1.00 + 0.55 \times 1.00$	3.6	3.6		
38	— " —	2.13×3.06	6.5	6.5		
39	VÕRGPUMPAPAE JA VEE PUHASTUSE RUUM	$14.16 \times 33.20 - 1.30 \times 0.50 \times 11 -$ $- 0.42 \times 0.42 \times 5 - 0.25 \times 0.74 -$ $- 3.44 \times 6.26 - 0.80 \times 0.60 \times 0.5$	440.1	440.1		
40	TREPIKODA	$4.96 \times 2.77 + 0.53 \times 0.92$	14.2	14.2		
41	GARDEROOB	3.49×3.17	11.1	11.1		
42	DÜŠIRUUM	$3.17 \times 1.30 - 0.90 \times 0.60 \times 0.5$	3.9	3.9		
43	RUUM	1.42×1.28	1.8	1.8		
44	KODA	1.34×2.46	3.3	3.3		
45	TREPIKODA	2.74×5.74	15.7	15.7		
46	KORIDOR	$5.22 \times 2.31 + 0.26 \times 1.70$	12.5	12.5		
47	LAORUUM	$2.30 \times 4.25 - 0.34 \times 0.39$	9.6	9.6		
48	RUUM	3.25×1.62	5.3	5.3		
49	WC	1.62×0.89	1.4	1.4		
50	RUUM	$1.61 \times 3.28 - 0.27 \times 0.41$	5.2	5.2		
51	DÜŠIRUUM	1.61×0.84	1.4	1.4		
52	TÖÖKODA	$5.93 \times 2.88 - 0.14 \times 0.13 - 0.14 \times 0.40$	17.0	17.0		
53	KABINET	$6.00 \times 2.80 - 0.15 \times 0.40 - 0.14 \times 0.14$	16.7	16.7		
54	RUUM	$8.92 \times 5.83 - 0.75 \times 0.85 \times 2 -$ $- 0.53 \times 0.90 \times 2$	49.8	49.8		

PÜSSI , KOOLI TN.

1	2	3	4	5	6	7
55	KABINET	5.95×2.90-0.43×0.12	17.2	17.2		
56	RUUM	5.92×6.00-0.43×0.14×2-				
		0.14×0.14×2	35.4	35.4		
57	RUUM	2.92×6.00-0.43×0.13-0.14×0.13	17.5	17.5		
58	RUUM	6.00×2.87-0.14×0.41-0.14×0.14	17.1	17.1		
59	RUUM	5.94×6.00-0.42×0.42-0.42×0.14				
		-0.42×0.14-0.14×0.14	35.3	35.3		
60	KORIDOR	23.79×1.93+1.80×4.37+				
		+2.53×5.32+4.00×1.90-				
		-0.40×0.13×4-0.15×1.58-				
		-0.14×0.28	74.4	74.4		
61	LADRUUM	3.51×3.93-0.14×0.40	13.7	13.7		
62	RUUM	4.83×3.98-0.15×0.40	19.2	19.2		
63	- " -	9.70×3.98-0.40×0.40×2	38.3	38.3		
64	- " -	0.92×2.91	2.7	2.7		
65	- " -	2.73×2.04+0.87×0.90-				
		-0.40×0.40	6.2	6.2		
66	- " -	2.04×1.01	2.1	2.1		
67	LADRUUM	6.50×3.47-0.40×0.10	22.5	22.5		
68	- " -	6.53×5.76-0.40×0.19	37.5	37.5		
69	EL.KILBIRUUM	11.73×6.52-0.40×0.40×2-				
		-0.40×0.19-1.25×0.19	75.9			75.9
70	KATLATSEHH	27.05×22.82-1.10×0.40×10-				
		-0.64×0.30×2-0.40×0.40×5-				
		-0.50×0.12-0.18×0.10	611.6	611.6		
71	TÖÖKODA	27.09×7.85-2.43×0.20×2-				
		-6.40×3.49-0.40×0.40×4-				
		-2.05×0.14-0.72×0.08	188.4	188.4		
72	TÖÖKODA	5.61×3.10	17.4	17.4		
		PÕHIKORRUS KOKKU:	3480.5	3267.2		213.3
		<u>II KORRUS:</u>				
1	TREPIKODA	2.70×5.78	15.6	15.6		
2	KORIDOR	2.44×3.64	8.9	8.9		
3	JUHTIMISPULDI RUUM	30.10×18.92-0.40×0.40×11-				
		-0.24×0.18×5-0.33×1.04-				
		-0.40×0.70+0.19×1.66-				
		-7.14×0.15-0.40×0.60	565.9	565.9		
4	KATLATSEHH	48.50×33.90-16.51×12.60-				
		-12.62×20.20-0.76×0.20×3-				
		-0.60×0.60×6-0.60×0.20-				
		-0.55×0.55-0.60×0.60×3-				
		-0.50×0.50×2-0.54×0.66-				
		-0.50×0.60×2-0.66×0.50×2-				
		-0.57×0.25×3-0.54×0.8-				
		-0.72×0.60-0.60×0.15×2-				
		-(0.77+0.77)×0.15	1173.1	1173.1		
5	KEEMILISE VEEPUHASTUSE RUUM	21.60×16.40-0.67×0.28×8	352.7	352.7		

PÜSSI , KOOLI TN.

1	2	3	4	5	6	7
6	EL.KILBIRUUM	16.40×9.70-0.67×0.28	158.9			158.9
7	TREPIKODA	4.66×3.68	17.2	17.2		
8	TUALETT	2.59×1.29	3.3	3.3		
9	— " —	2.90×2.49+0.08×1.00	7.3	7.3		
10	KORIDOR	7.80×1.64-1.02×0.10	12.7	12.7		
11	GARDEROOB	4.25×5.09-0.20×0.12×2	21.6	21.6		
12	DUŠIRUUM	1.79×2.50-0.24×0.15	4.4	4.4		
13	RIIETUSRUUM	2.29×2.53	5.8	5.8		
14	RUUM	5.08×1.61	8.2	8.2		
15	GARDEROOB	2.76×2.45-0.22×0.15	6.7	6.7		
16	RUUM	2.49×1.25	3.1	3.1		
17	GARDEROOB	5.97×5.07-0.43×0.11-0.10×1.01+ +0.12×2.20	30.4	30.4		
		<u>II KORRUS KOKKU:</u>	239.58	2236.9		158.9
		<u>III KORRUS:</u>				
1	TUALETT	2.50×2.62-0.19×0.41	6.5	6.5		
2	KORIDOR	5.10×1.19	6.1	6.1		
3	TREPIKODA	3.68×4.68	17.2	17.2		
4	TUALETT	2.56×1.52-0.14×0.37	3.8	3.8		
5	GARDEROOB	4.22×3.00	12.7	12.7		
6	RIIETUSRUUM	1.93×4.21-0.58×0.40	7.9	7.9		
7	DUŠIRUUM	2.78×2.87-0.54×0.46	7.7	7.7		
8	RUUM	2.16×2.85-0.59×0.42	5.9	5.9		
9	GARDEROOB	5.10×5.97-0.10×1.00-0.26×0.43 -0.41×0.12+0.13×2.20	30.5	30.5		
10	KORIDOR	13.10×1.66-1.06×0.11- -0.42×0.05×2	21.6	21.6		
		<u>III KORRUS KOKKU:</u>	119.9	119.9		
		<u>IV KORRUS:</u>				
1	KABINET	2.67×4.34-0.27×0.76	11.4	11.4		
2	— " —	2.31×4.21	9.7	9.7		
3	— " —	2.52×4.20-0.89×0.43	10.2	10.2		
4	— " —	4.20×5.12-0.88×0.43-0.85×0.40	20.8	20.8		
5	— " —	5.09×5.96-2.53×2.55-0.11×0.42 -0.76×0.25+2.27×0.10	23.9	23.9		
6	TREPIKODA	3.68×4.68	17.2	17.2		
7	KORIDOR	13.06×1.65-1.05×0.10- -0.43×0.05×2-0.14×0.03	21.4	21.4		
8	LADRUUM	2.36×2.39-0.10×1.00	5.5	5.5		
		<u>IV KORRUS KOKKU:</u>	120.1	120.1		
		<u>KATLAMAJA KOKKU:</u>	6116.3	5744.1		372.2

PÜSSI, KOOLI TN.

1	2	3	4	5	6	7
	<u>2. PUMBAJAAM</u>					
1.	KODA	2,10 x 1,45	3.1	3.1		
2.	RIIETUSRUUM	4,37 x 2,09	9.1	9.1		
3.	PESEMISRUUM	2,07 x 0,82	1.7	1.7		
4.	WC	2,07 x 0,84	1.7	1.7		
5.	DUŠIRUUM	2,05 x 0,84	1.7	1.7		
6.	EL. KILBIRUUM	4,07 x 4,42	18.0			18.0
7.	PUMBARUUM	6,86 x 8,69	59.6	59.6		
8.	—"	9,50 x 9,00	85.5	85.5		
9.	KABINET	2,46 x 1,89	4.7	4.7		
10.	KODA	2,03 x 1,58	3.2	3.2		
11.	KILBIRUUM	2,03 x 4,45	9.0			9.0
	PUMBAJAAM KOKKU:		197.3	170.3		27.0
	<u>3. PÄÄSLA</u>					
1.	KODA	1,10 x 1,18	1.3	1.3		
2.	VALVERUUM	6,12 x 4,92 - 1,23 x 1,46	28.3	28.3		
	PÄÄSLA KOKKU:		29.6	29.6		
	<u>4. MASUUTHEITVETE LADU</u>					
	RUUM	16,25 x 9,55	155,2	155,2		

Leht 18

Toimik nr.

EHITISTE EKSPLIKATSIOON

EHITISE NR.	EHITISE NIMETUS	PÕHIKORRUSTE ARV	PINNAD, m ²					HOONE MAHT, m ³	MÄRKUSED
			HOONE-ALUNE PIND	SULETUD NETOPIND	KASULIK PIND	ELU-RUUMIDE PIND	ELAMIS-PIND		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	KATLAMAJA	4	3945,4	6116,3	5744,1	-	-	65584	
2	PUMBAAJAM	1	231,8	197,3	170,3	-	-	950	
3	PÄÄSLA	1	40,1	29,6	29,6	-	-	119	
4	MASUUTHEITVEETE LADU	1	161,5	155,2	155,2	-	-	710	
5	ALLMAREHITIS								
6	MASUUTIMAHTUDEPLATS								
7	LADPLATS								
8	ALLMAREHITIS								
9	SETTE BASSEIN								
10	KORSTEN								
11	PUNKER								

		KINNISVARABÜROO "PELIKAN"	
		MAJAVALDUSE ASUKOHT: IDA-VIRU, PÜSSI,	
		KOOLI TN.	
OMANIK	NIMI:	AS REPO PÜSSI VABRIKUD	
	ADDRESS:	PÜSSI, MAIDLA TEE 7	
HALDAJA	NIMI:		
	ADDRESS:		
KRUNDI PIND		m ²	TÄISEHITUS %
OMANIK	/nimi/	/allkirj/	/kuupäev/
PLAANISTAJA	/nimi/ E. KÖZULINA N. SERBEJEVA	/allkirj/	/kuupäev/ 15.05.96.a.
JUHATAJA	/nimi/ A. KARAFIN	/allkirj/	/kuupäev/ 20.05.96a.

PRIMEX • tel. 95326

Majavalduse hoonete pindade ja mahtude arvutamise leht

Majavalduse asukoht PÜSSI
KOOLI TN.

I. HOONETE HOONEALUNE PIND JA MAHT

Tähistus asendi- plaani järgi	Nimetus	Pindade arvutamine välismõõtude järgi	Pind m ²	Kõrgus m	Maht m ³
1	2	3	4	5	6
1	KATLAMAJA	$19.35 \times 6.67 - 12.75 \times 0.13 +$ $+ 4.08 \times 4.80 + 0.08 \times 1.35 +$ $+ 0.10 \times 0.20$	147.1	15.30	2251
		$22.10 \times 29.40 + 20.30 \times 22.20 +$ $+ 12.30 \times 12.60$	1255.4	20.08	25208
		33.50×14.62	489.8	17.35	8498
		$16.80 \times 32.50 + 0.61 \times 0.10 \times 7$ $6.50 \times 3.50 + (6.00 - 3.50) \times$ $\times (6.50 - 2.28)$	546.4	14.66	8011
		19.33×30.60	591.5	11.33	6702
		$(13.55 - 5.00) \times 27.73$	237.1	8.10	1920
		5.00×27.73	138.7	9.94	1378
		27.73×18.25	506.1	22.40	11336
		KATLAMAJA KOKKU:	3945.4		65584
2	PUMBAJARM	12.37×18.74	231.8	4.10	950
3	PÄÄSLA	5.75×6.98	40.1	2.96	119
4	MASUUTHEITVEETE	9.79×4.51	44.2	5.45	241
	LADU	9.79×11.98	117.3	4.00	469
		KOKKU:	161.5		710

II. HOONETE TÄISEHITATUD PIND

Tähistus asendi- plaani järgi	Nimetus	Pindade arvutamine välismõõtude järgi	Pind m ²	Märkused
1	2	3	4	5
1	KATLAMAJA	$3945,4 + 5,90 \times 5,62$	3978,6	
2	PUMBATAAM		231,8	
3	PÄÄSLA	$40,1 + 1,30 \times 0,98$	41,4	
4	MASUUTHEITVEETE LADU		161,5	
5	ALLMAAEHITIS	$2 \times 5,00 \times 4,00$	40,0	
6	MASUUTIMAHTUDE PLATS	$36,90 \times 25,00 + \pi \times 12,50^2$	1413,1	
7	LADUPLATS	$14,15 \times 5,60$	79,2	
8	ALLMAAEHITIS	$5,50 \times 14,50$	79,8	
9	SETTEBASSEIN	$5,60 \times 30,65$	171,6	
10	KORSTEN	$6,17 \times 6,17 - 2 \times 1,84 \times 1,84$	31,3	
11	PUNKER	$5,63 \times 4,26$	24,0	

PRINTEX • Teil. 95086

Koostas B. KOZULINA *N. SERGEJEVA*
 Kontrollis A. KARAFIN *[Signature]*

15.05.96.a.
20.05.96.a.
kuupäev
kuupäev

LISA 2 Agisoft Metashape koostatud raport mudelist

AS Repo Vabrikute katlamaja

**Processing
Report 26 April
2023**



Survey Data

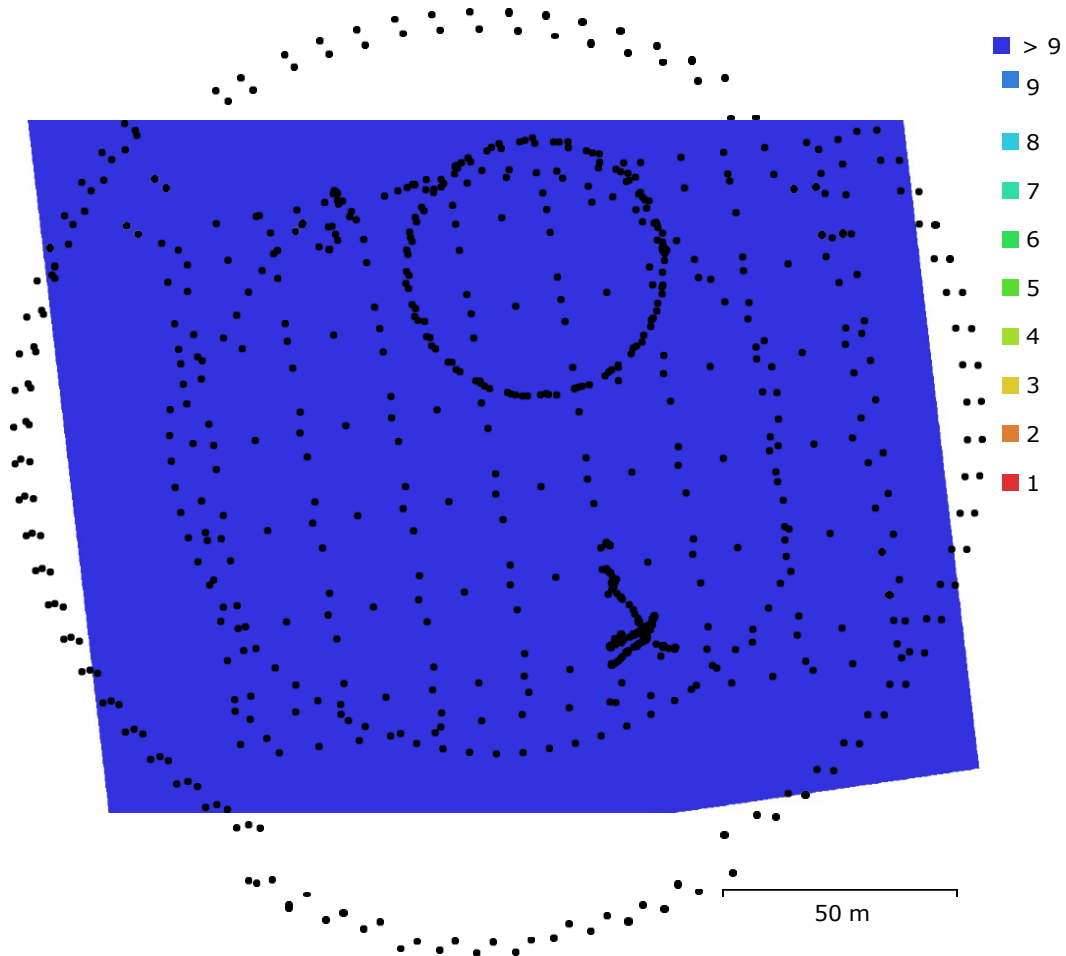


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	873	Camera stations:	870
Flying altitude:	79.5 m	Tie points:	179,677
Ground resolution:	1.44 cm/pix	Projections:	1,638,685
Coverage area:	0.0129 km ²	Reprojection error:	2.36 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

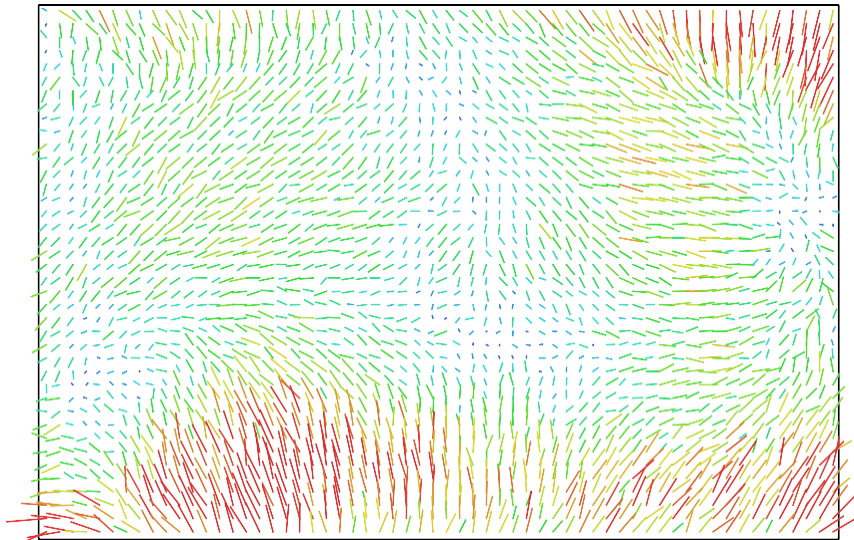


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (10.26mm). 1 pix

Test_Pro (10.26mm)

873 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	4313.74	0.06	1.00	-0.03	-0.43	-0.23	0.27	-0.24	-0.01	-0.29
Cx	15.6693	0.078		1.00	0.03	-0.00	-0.00	0.01	0.94	-0.01
Cy	-4.74515	0.069			1.00	-0.09	0.04	-0.04	0.02	0.76
K1	-0.0140648	7.1e-05				1.00	-0.96	0.91	-0.01	-0.08
K2	0.0345461	0.00028					1.00	-0.98	-0.00	0.04
K3	-0.0368498	0.00034						1.00	0.01	-0.03
P1	0.00164981	6e-06							1.00	-0.01
P2	-0.0010593	4.6e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

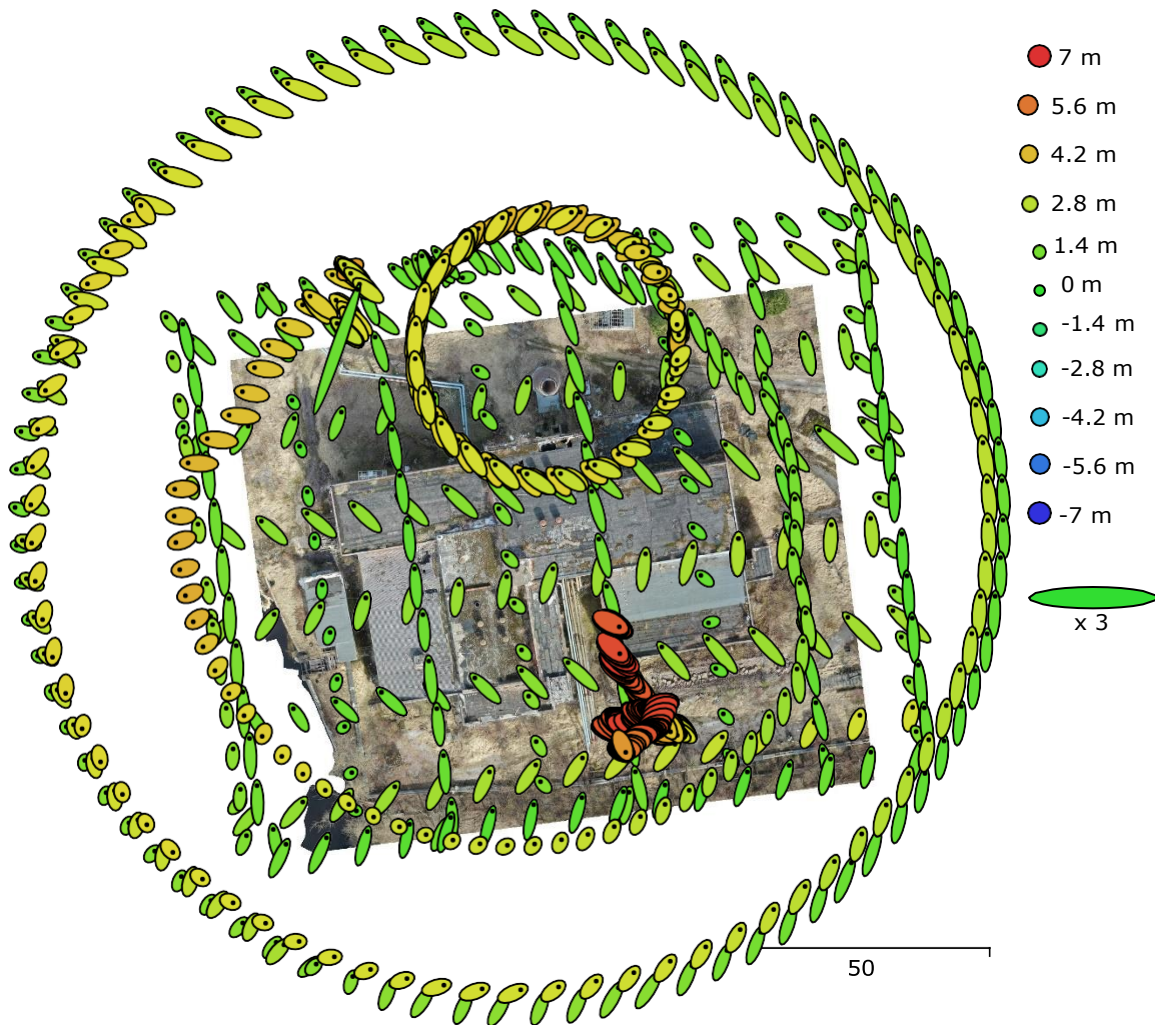


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.976308	1.38061	3.68766	1.69093	4.05686

Table 3. Average camera location error. X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Ground Control Points

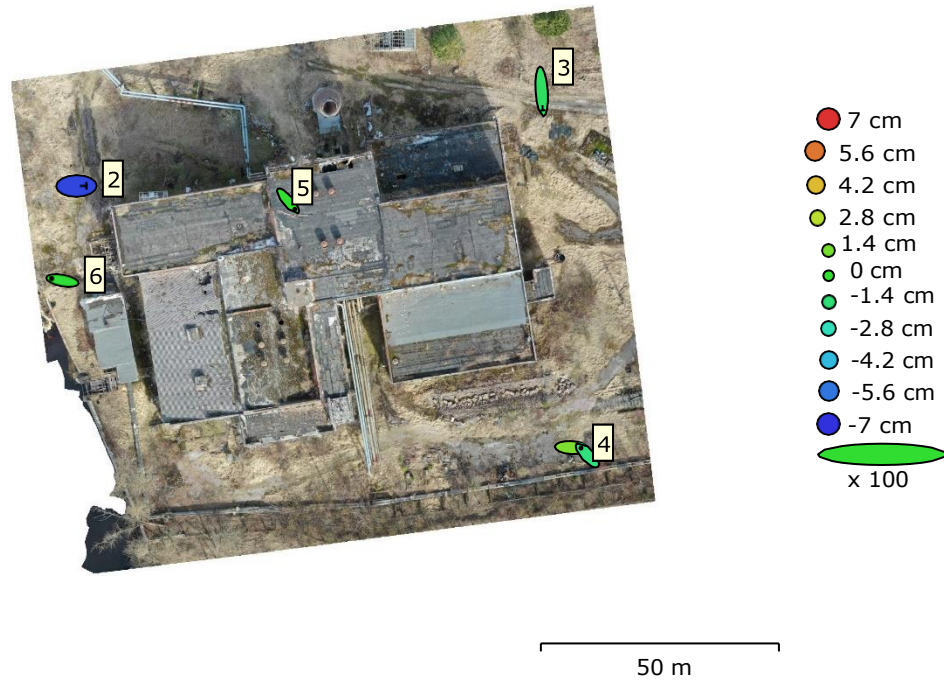


Fig. 4. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
4	3.57527	2.28064	1.10046	4.24074	4.38119

Table 4. Control points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
2	2.8969	5.63494	4.70581	6.33598	7.89235

Table 5. Check points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
1	4.12269	-0.247701	1.5738	4.41981	1.570 (41)
4	-2.65942	2.89942	-1.53249	4.22228	1.414 (32)
5	2.87371	-3.42929	0.0237118	4.47424	2.603 (28)
6	-4.33623	0.759779	-0.134519	4.40435	1.855 (36)
Total	3.57527	2.28064	1.10046	4.38119	1.869

Table 6. Control points.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
2	4.06282	0.0549428	-6.58215	7.73526	0.881 (34)
3	0.526798	-7.96882	-0.982157	8.04638	2.302 (48)
Total	2.8969	5.63494	4.70581	7.89235	1.850

Table 7. Check points.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

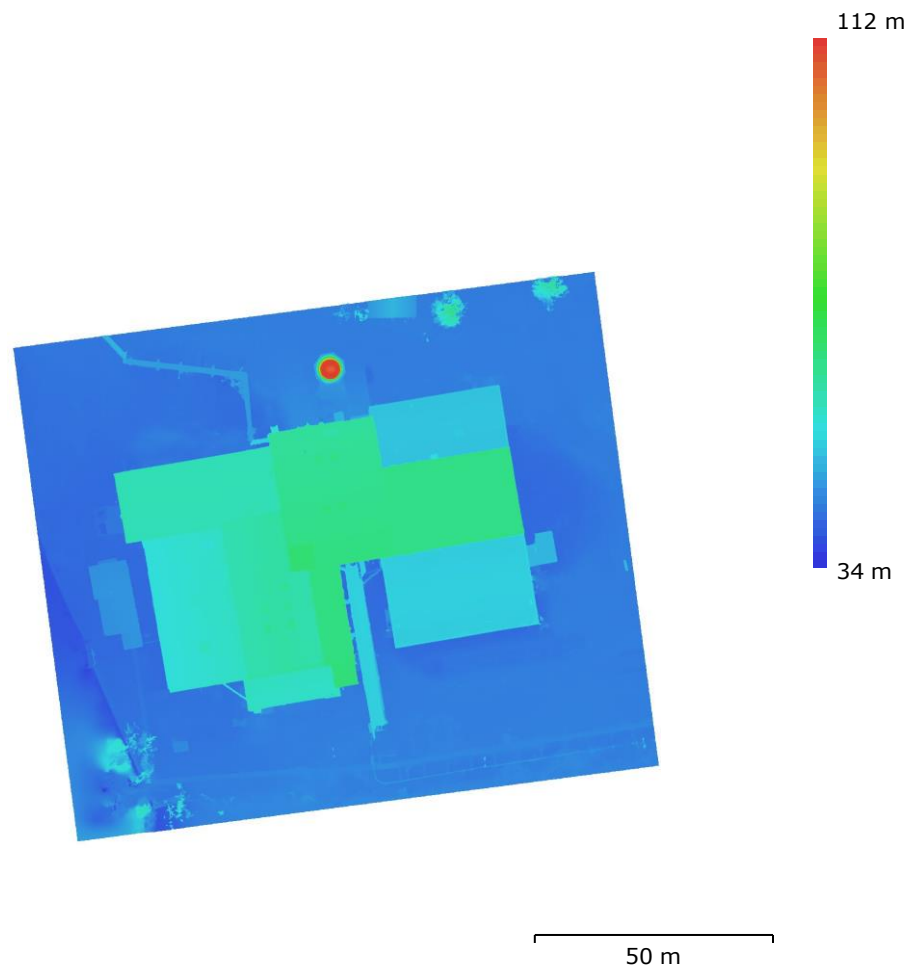


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 2.88 cm/pix
Point density: 0.121 points/cm²

Processing Parameters

General

Cameras	873
Aligned cameras	870
Markers	17

Shapes

Polygon	7
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	179,677 of 315,913
RMS reprojection error	0.29608 (2.36241 pix)
Max reprojection error	0.949141 (123.164 pix)
Mean key point size	6.88012 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	13.0418

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	100,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	7 minutes 26 seconds
Matching memory usage	6.82 GB
Alignment time	17 minutes 30 seconds
Alignment memory usage	1.09 GB
Date created	2023:04:20 11:59:01
Software version	1.8.4.14856
File size	68.00 MB

Depth Maps

Count	331
-------	-----

Depth maps generation parameters

Quality	High
Filtering mode	Moderate
Max neighbors	16
Processing time	20 minutes 45 seconds
Memory usage	5.88 GB
Date created	2023:04:20 16:26:01
Software version	1.8.4.14856
File size	1.92 GB

Dense Point Cloud

Points	30,855,912
--------	------------

Point colors 3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality High
Filtering mode Moder
Max neighbors 16
Processing time 20 minutes 45 seconds
Memory usage 5.88 GB

Dense cloud generation parameters

Processing time 2 hours 35 minutes
Memory usage 20.19 GB
Date created 2023:04:20 19:01:17
Software version 1.8.4.14856
File size 455.06 MB

Model

Faces 759,395
Vertices 381,610
Vertex colors 3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality Medium
Filtering mode Moderate
Max neighbors 16
Processing time 15 minutes 46 seconds

Reconstruction parameters

Surface type Arbitrary
Source data Depth maps
Interpolation Enabled
Strict volumetric masks No
Processing time 4 minutes 56 seconds
Memory usage 3.19 GB
Date created 2023:04:20 15:07:25
Software version 1.8.4.14856
File size 17.41 MB

DEM

Size 4,740 x 4,215
Coordinate system WGS 84 (EPSG::4326)

Reconstruction parameters

Source data Dense cloud
Interpolation Enabled
Processing time 9 seconds
Memory usage 305.85 MB
Date created 2023:04:26 09:14:26
Software version 1.8.4.14856
File size 61.42 MB

Orthomosaic

Size	8,126 x 7,134
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	6 minutes 15 seconds
Memory usage	1.55 GB
Date created	2023:04:20 15:36:45
Software version	1.8.4.14856
File size	4.47 GB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1 8.4 build 14856
OS	Windows 64 bit
RAM	63.78 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-8700 CPU @ 3.20GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 2080