



# **PUISTANGU MAHTUDE ARVUTUSED MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKILT TEHTUD AEROFOTODE PÕHJAL**

Kaupo Kokamägi  
Natalja Liba

Tõravere 2018

---

# Uurimistöö

- Mehitamata õhusõiduki abil tehtud aerofotode põhjal puistangu mahtude arvutamise täpsus
- 2018 a juunis Eesti Maaülikoolis kaitstud magistritöö
- Autor: Kaupo Kokamägi
- Juhendajad: dotsent Natalja Liba, *PhD* ja geodeesiainsener Kristo Must, *MSc*

# Uurimistöö ülesehitus

- Mehitamata õhusõidukite fotogramm-meetria teoreetilised alused ja tehtud uurimistööd
- Uurimistöö metoodika ja kasutatud materjalid
- Uurimistöö tulemused ja analüüs

# Töö eesmärk

- Hinnata mehitamata õhusõiduki abil tehtud aerofotode kasutamise sobivust puistangu mahtude arvutamiseks ja saadud tulemuste vastavust sätestatud nõuetele

# Püstitatud hüpoteesid:

- Mehitamata õhusõidukitelt tehtud aerofotode põhjal mahtude arvutamise täpsus jääb Markšeideritöö korras kehtestatud lubatud erinevuse 12% piiresse (Markšeideritöö kord 2012, § 4 lg 3)
- Fotode orienteerimiseks võib kasutada ka aerosoolvärviga tehtud tähiseid
- Mehitamata õhusõidukite kasutamine mahtude määramisel vähendab oluliselt välitöödele kuluvat aega

# Uurimistöö objektid

- Korrapärase kujuga turbaaun Läänemaal, Laiküla turbamaardlas, pindala 463 ruutmeetrit
- Ebakorrapärase kujuga purustatud kruusa puistang Järvemaal, Karude karjääris, pindala 394 ruutmeetrit





Laiküla turbaraba asukoht punasega ja Karude karjääri asukoht sinisega tähistatult. (Maa-ameti kaardirakendus 2018)





Vaade Laiküla turbamaardlale, pildistatud Aibot X6 pardalt.





Aerofoto Karude karjääris välja valitud objektist, pildistatud DJI Phantom 4 pro v2.0 pardalt.



# Kasutatud materjalid

- Laiküla turbarabas GNSS seadmega, terrestrilise laserskanneriga ja kahelt mehitamata õhusõidukilt kogutud andmed (24.10.2017)
- Karude karjääris GNSS seadmega, terrestrilise laserskanneriga ja ühelt mehitamata õhusõidukilt kogutud andmed (10.04.2018)

# Kasutatud riistvara

- GNSS seade Trimble R4-3 ja TSC3 väliarvuti
- Skaneeriv tahhümeeter Trimble SX10
- Mehitamata õhusõiduk DJI Phantom 4 Pro v2.0 integreeritud 20 MP kaameraga
- Mehitamata õhusõiduk Aibotix Aibot X6 koos Sony ILCE-7RM2 42 MP kaameraga



Skaneeriv tahhümeeter Trimble SX10 Laiküla turbamaardlas.





DJI Phantom 4 Pro v2.0 vasakul ja Aibotix Aibot X6 paremal Laiküla turbamaardlas. (Foto: Mart Rae)



# Kasutatud tarkvara

- AiProFlight
- DroneDeploy
- Trimble Business Center
- Autodesk Recap 2019
- Agisoft PhotoScan Professional 1.4.0
- Autodesk Civil 2019
- Microsoft Excel

# Metoodika

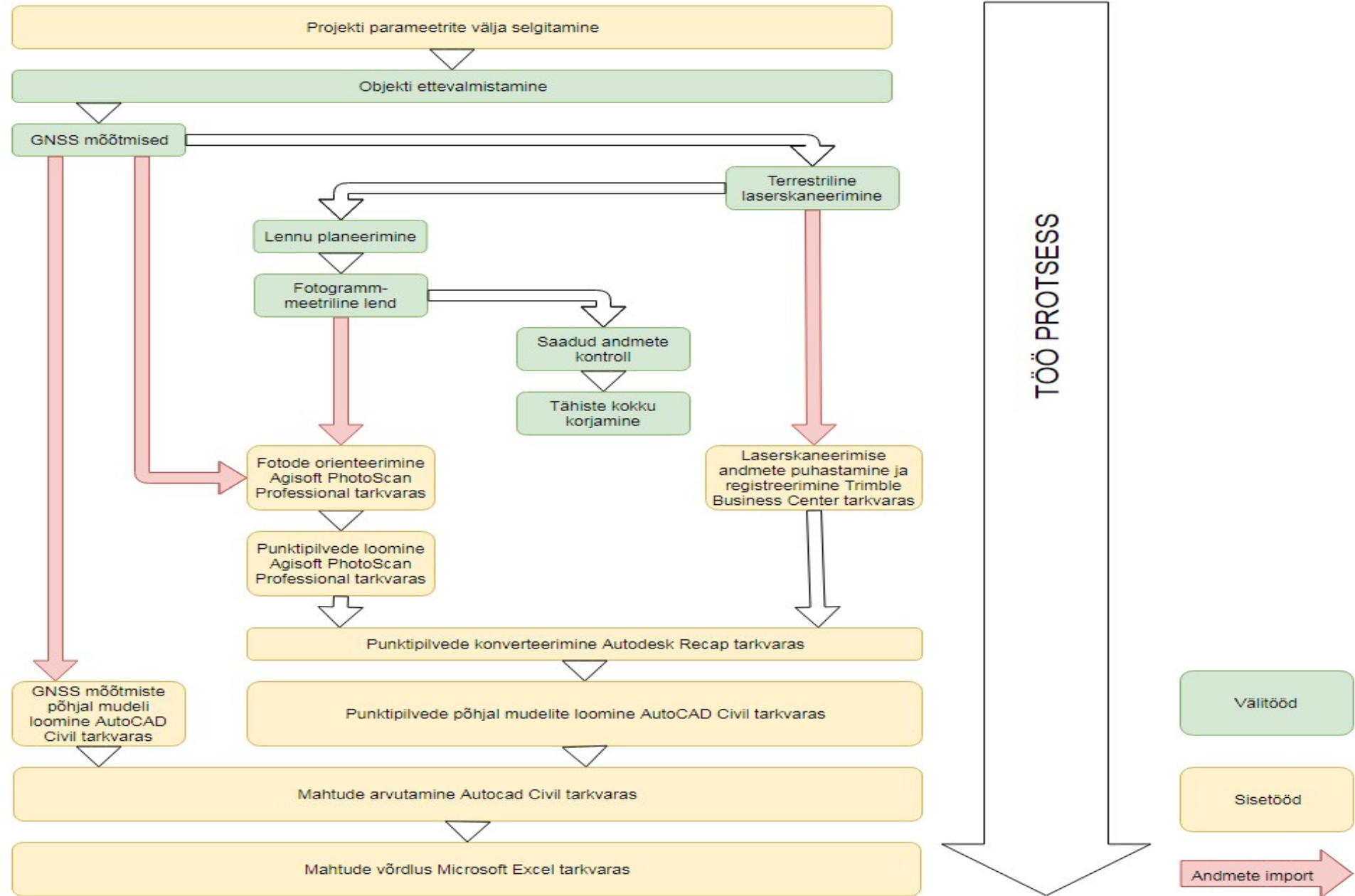
Tööprotsess koosnes järgmistest osadest:

- Sobivate objektide ja instrumentide välja valimine
- Projekti parameetrite välja selgitamine
- Objekti ettevalmistus (tähiste paigaldamine)
- RTK GNSS mõõtmised
- Terrestiline laserskaneerimine
- Lennu planeerimine
- Fotogramm-meetriline lend
- Saadud andmete kontroll
- Tähiste kokku korjamine
- Piltide orienteerimine
- 3D mudelite loomine
- Mahtude arvutamine ja võrdlus



Tähiste paigaldamine ja GNSS mõõdistus. (Fotod: Mart Rae)







Aibot X6 lennuvalmis seadmine. (Fotod: Mart Rae)



# Mõõdistustööde läbiviimine Laiküla turbamaardlas

- Turbaaun oli korrapärase kujuga, mis lihtsustas aluskontuuri mõõtmist
- Mõõdistamine toimus Eesti Maaülikooli, Raxoest OÜ ja geodeedi Kaido Põrk koostööna
- Tähisteks olid 12 aerosoolvärviga tehtud punkti ja 9 spetsiaalset fotogrammeetrilist tähist
- RTK GNSS mõõtmised Trimble R4-3 vastuvõtjaga. Mõõdeti auna kontuur ning selle hari, kokku 20 punkti ning tähiste koordinaadid (20 epohhi)
- Terrestriline laserskaneerimine Trimble SX10 seadme abil. Aun skaneeriti neljast seisupunktist
- Aeropildistamine DJI Phantom 4 abil. Kokku tehti 415 fotot, millest kasutati 76. Lennu kõrgus 33 meetrit. Piksli suurus maapinnal 8 mm
- Aeropildistamine Aibot X6 abil. Kokku tehti 95 fotot, millest kasutati 48. Lennu kõrgus 47 meetrit. Piksli suurus maapinnal 6 mm



Uurimistöobjektiks valitud turbaaun on pildil paremal. (Foto: Mart Rae)





Mõlemal objektil kasutatud spetsiaalne fotogramm-meetiline tähis.

Laiküla turbamaardlas kasutatud aerosoolvärviga tähis.



# Mõõdistustööde läbiviimine

## Karude karjääris

- Purustatud kruusa puistang oli ebakorrapärase kujuga.
- Mõõdistamine toimus Eesti Maaülikooli ja Raxoest OÜ koostöona
- Tähisteks olid 18 spetsiaalset fotogramm-meetrilist tähist
- RTK GNSS mõõtmised Trimble R4-3 vastuvõtjaga. Mõõdeti puistangu ülemine ja alumine kontuur ning suuremad konarused, kokku 100 punkti ning tähiste koordinaadid (20 epohhi)
- Terrestiline laserskaneerimine Trimble SX10 seadme abil. Puistang skaneeriti kaheksast seisupunktist
- Aeropildistamine DJI Phantom 4 abil. Kokku tehti 139 fotot, millest kasutati 55. Lennu kõrgus 28 meetrit. Piksli suurus maapinnal 6 mm





Karude karjääris välja valitud objekt. Pildil toimub RTK GNSS mõõtmine ja tähiste paigaldamine.

# Andmete töötlus

- GNSS andmete töötlemine tarkvaras Autodesk Civil 3D
- Laserskaneerimise käigus saadud andmete töötlemine tarkvarades Trimble Business Center, Autodesk Recap ja Autodesk Civil 3D
- Mehitamata õhusõidukitelt saadud andmete töötlemine tarkvarades Agisoft PhotoScan Professional, Autodesk Recap ja Autodesk Civil 3D
- Mahtude võrdlus tarkvaras Microsoft Excel



- Kuna laserskaneerimist loetakse mudelite loomisel teistest kasutatud meetoditest täpsemaks, loeti uurimistöö huvides mõlemal objektil õigeks laserskaneerimise tulemustest saadud mudelite mahud
- Civil 3D tarkvaras tõsteti iga mudeli loomisel GNSS seadmega mõõdetud puistangu alumine kontuur kõrguslikult ühe välja valitud tähise järgi paika ja kasutati seda aluspinnana
- Ülemise pinna loomisel kasutati ainult aluskontuuri sisse jäävaid punkte, pilve hõrendati nii, et punktivaheks jäi 5 cm ning võrgu loomiseks kasutati *kriging* meetodit. Seejärel võrreldi nende pindade kõrgusi ning arvutati välja puistangu ruumala
- Saadud tulemustest leiti nii absoluutne ruumala erinevus, kui ka suhteline ning jälgiti, kas suhteline erinevus mahub eespool välja toodud lubatud piiridesse

- Lisaks suhtelisele erinevusele leiti ka mõlemal objektil erinevate fotogramm-meetrilisel teel loodud mudelite keskmised ruutvead
- Keskmise ruutvea arvutamiseks kasutati Gaussi keskmise ruutvea valemit (Randjärv, 1997):

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$$

- Keskmise ruutvea täpsuse hindamiseks kasutatud valem (Randjärv, 1997):

$$m_m = \pm \frac{m}{\sqrt{2n-1}}$$

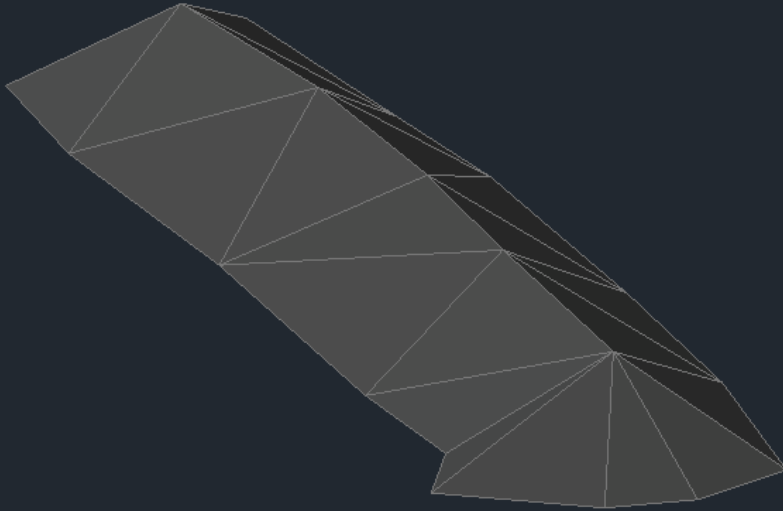
- Lisaks sellele analüüsiti erinevatel meetoditel mahtude määramise viiside erinevatele etappidele kulunud aegu ning võrreldi neid omavahel

Objekt	Mehitamata õhusõiduk	Orienteerimisel kasutatud tähised
Laiküla turbamaardla	Aibotix Aibot X6	Ilma tähisteta
		Aerosoolvärviga tähised
		Fotogramm-meetrilised tähised
		Kõik tähised
	DJI Phantom 4 Pro	Ilma tähisteta
		Aerosoolvärviga tähised
		Fotogramm-meetrilised tähised
		Kõik tähised
Karude karjäär	DJI Phantom 4 Pro	Ilma tähisteta
		7 fotogramm-meetrist tähist
		9 fotogramm-meetrist tähist
		16 fotogramm-meetrist tähist

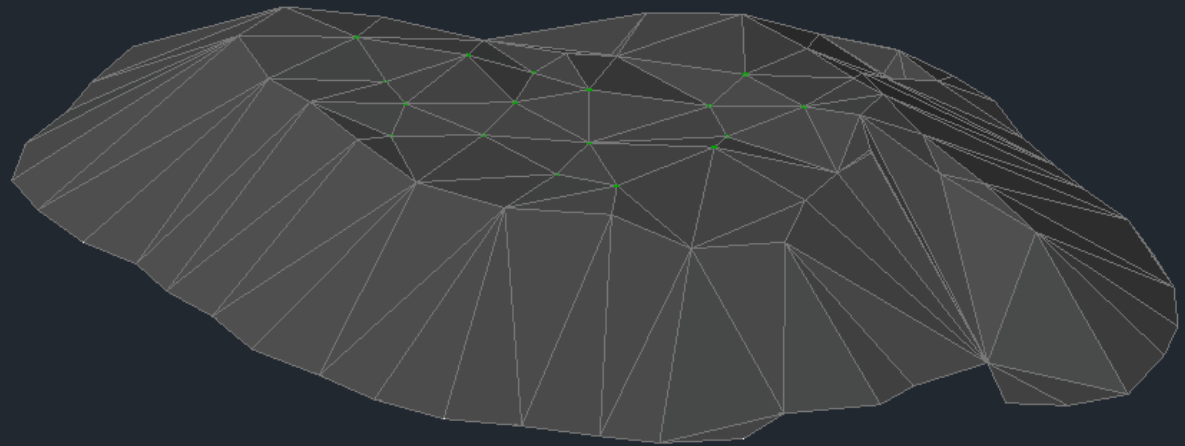
Fotogramm-meetrilisel meetodil loodud erinevad mudelid.

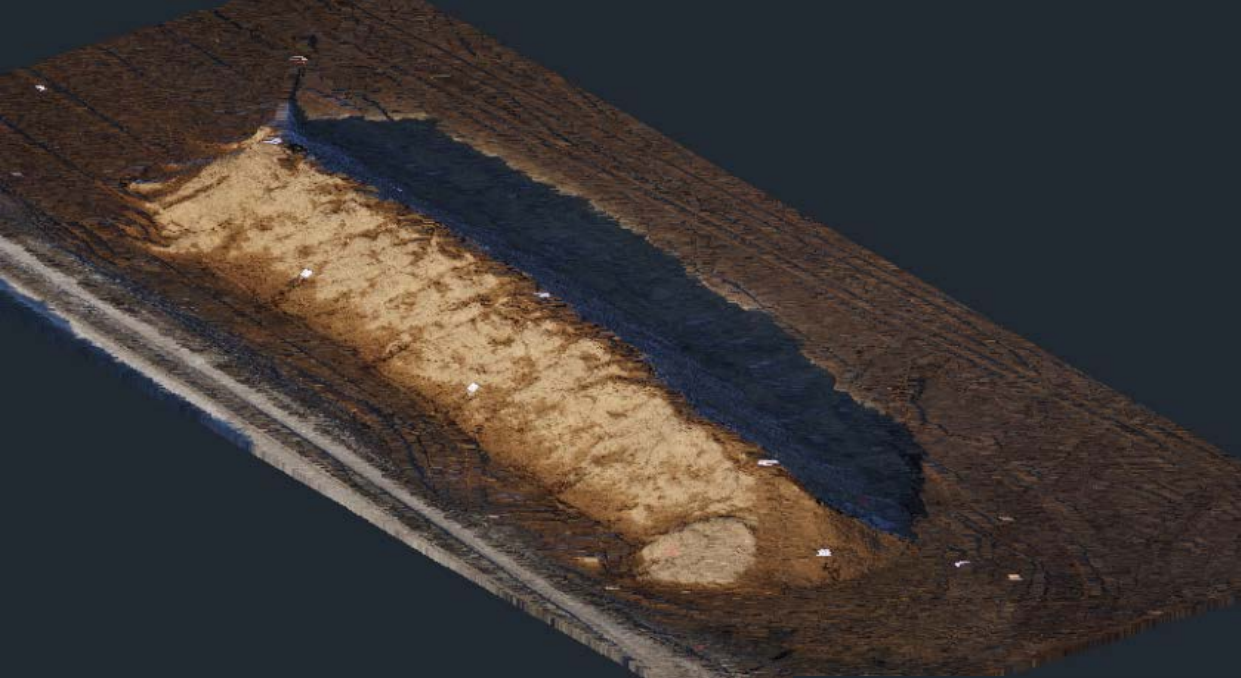


Tarkvaras Civil 3D 2019 GNSS mõõtmise tulemustest moodustatud Laiküla objekti mudel.



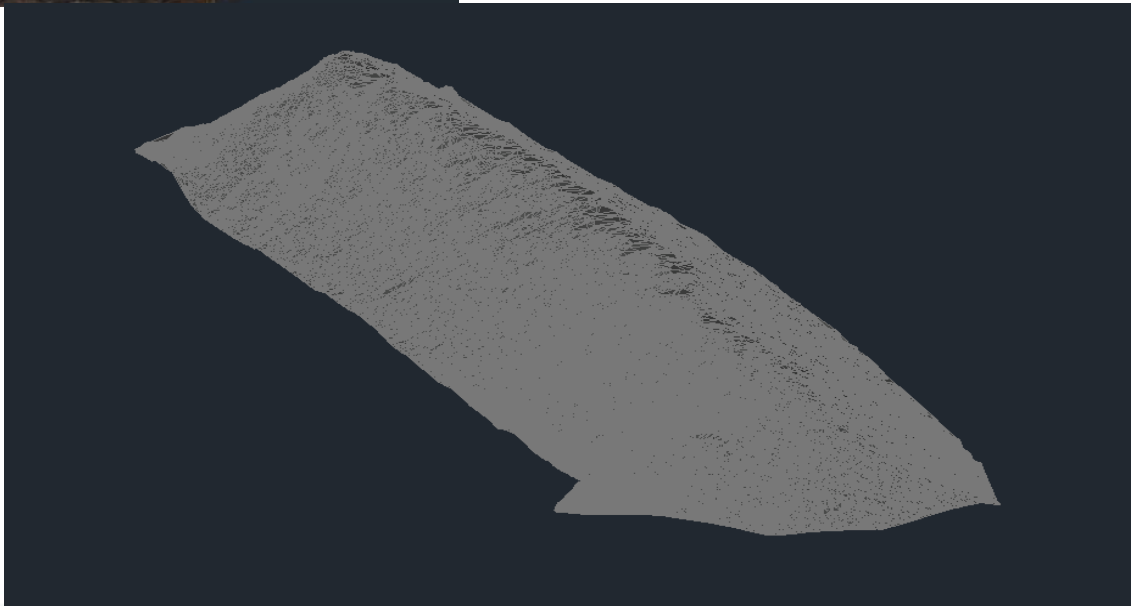
Tarkvaras Civil 3D 2019 GNSS mõõtmise tulemustest moodustatud Karude objekti mudel.





Aibot X6 pardalt kogutud  
fotodest moodustatud Laiküla  
objekti punktipilv.

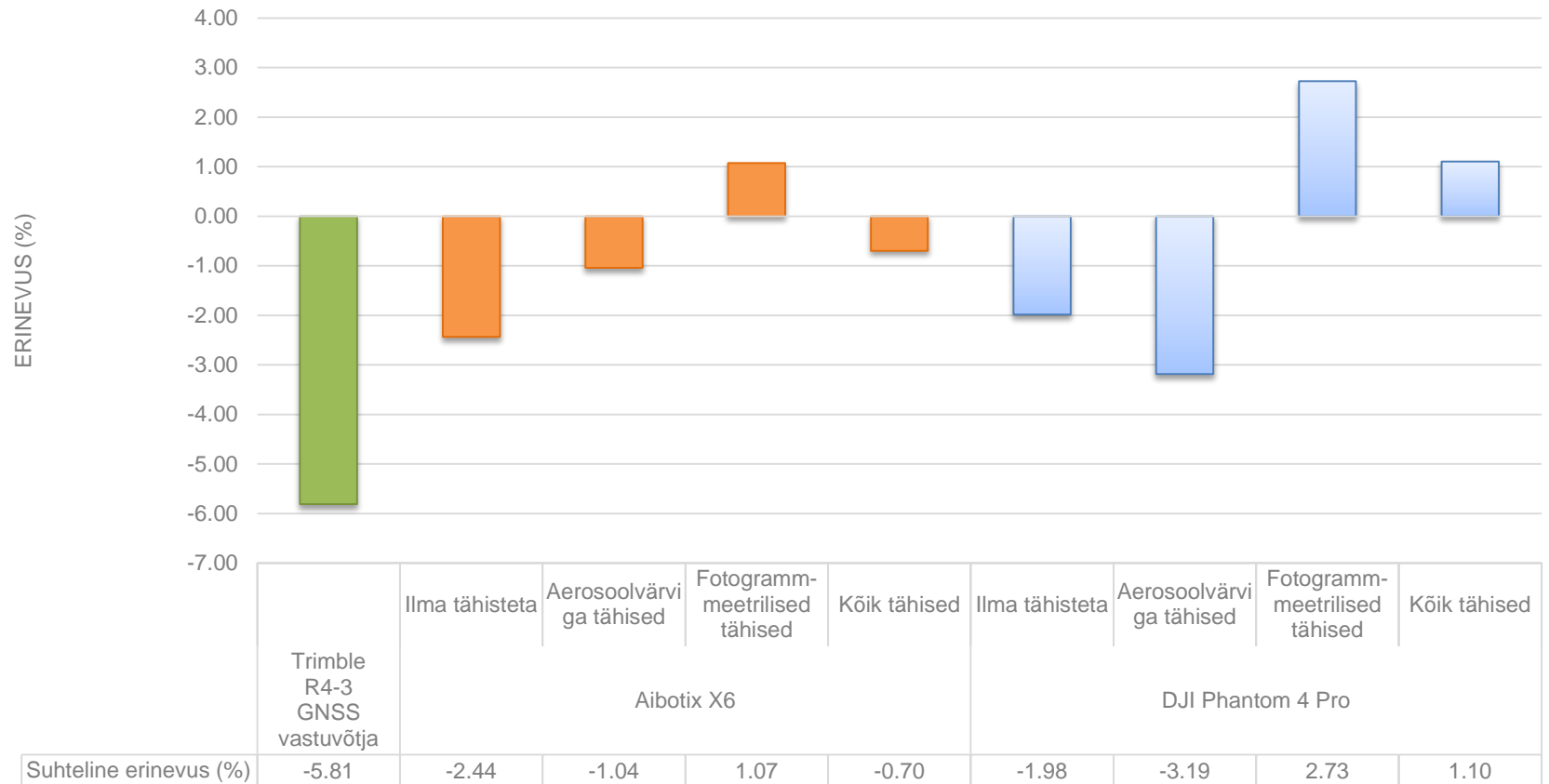
Tarkvaras Civil 3D 2019  
laserskaneerimise tulemustest  
moodustatud Laiküla objekti mudel.





# Tulemused

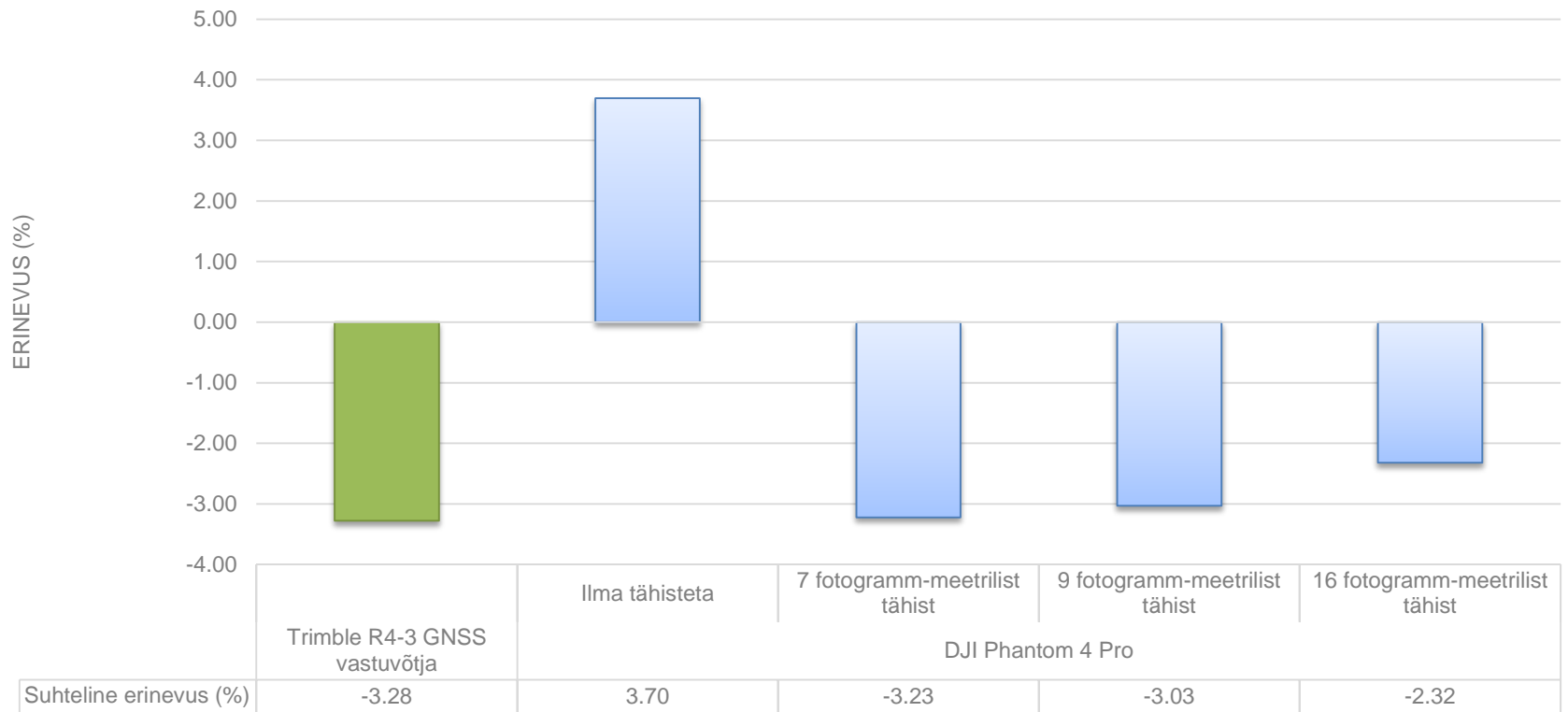
Mahtude suhteline erinevus laserskanneriga saadud mudeli mahust



Laiküla turbarabas tehtud mõõtmiste põhjal loodud mudelite mahtude suhtelised erinevused

# Tulemused

Mahtude suhteline erinevus laserskanneriga saadud mudeli mahust

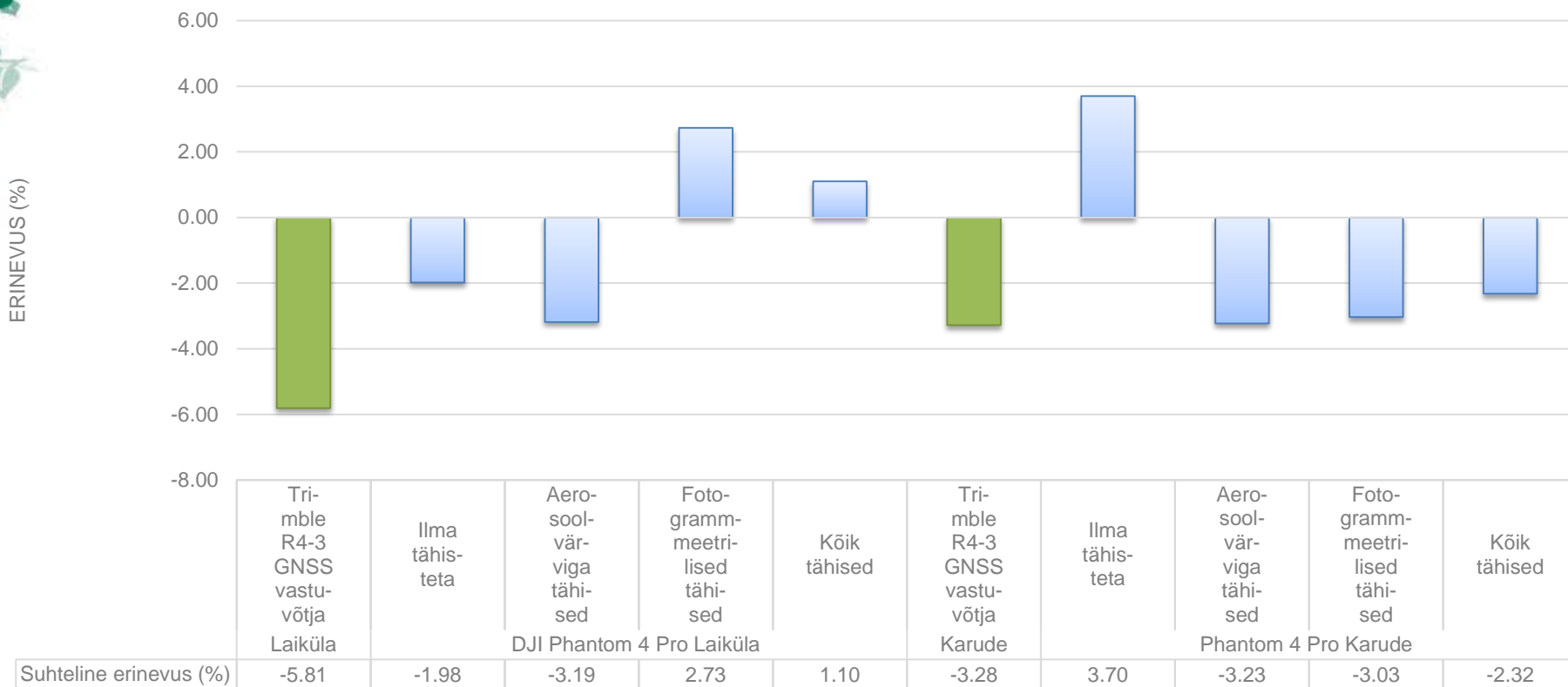


Karude karjääris tehtud mõõtmiste põhjal loodud mudelite mahtude suhtelised erinevused.



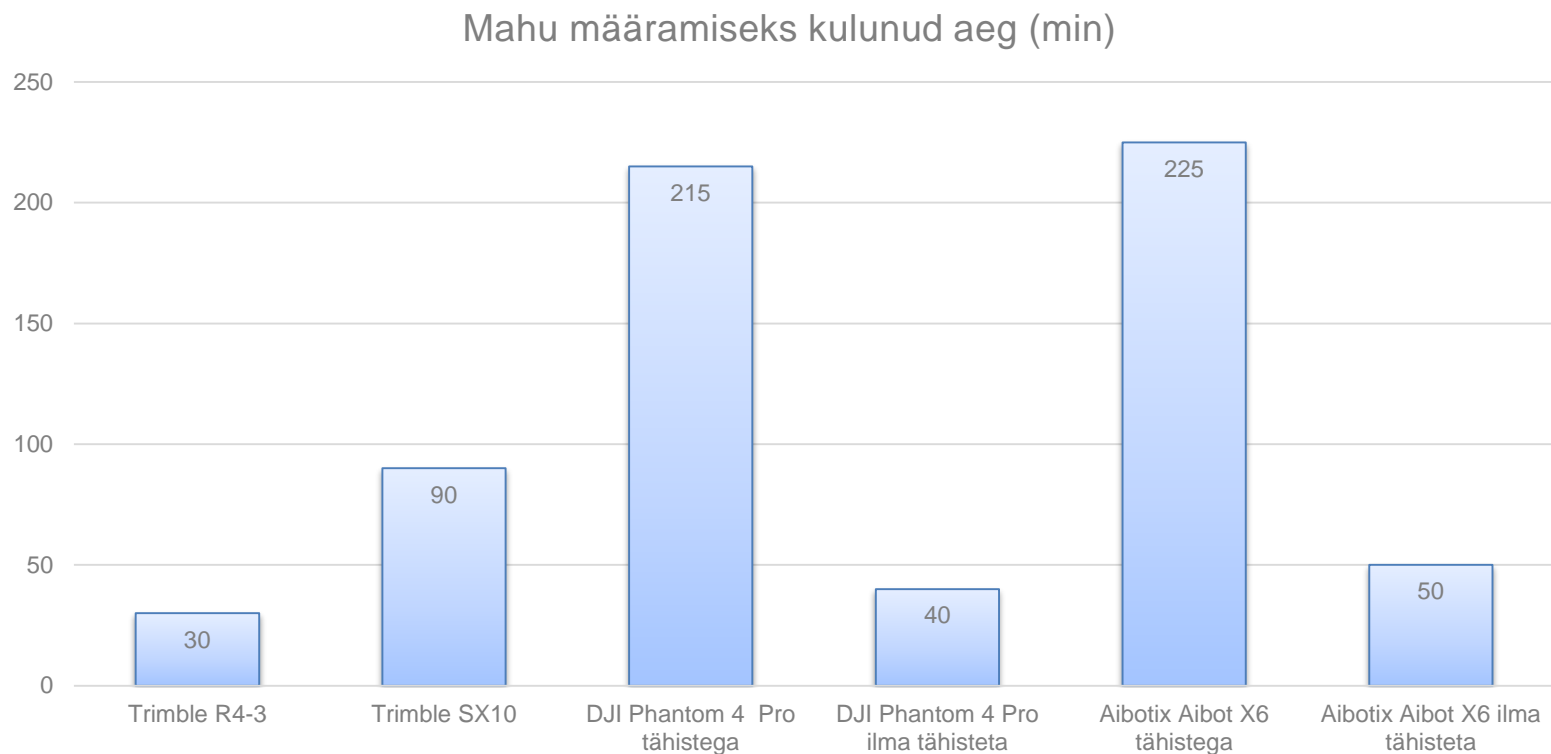
# Tulemused

Mahtude suhteline erinevus laserskanneriga saadud mudeli mahust



Laiküla ja Karude objekti GNSS ja DJI Phantom 4 Pro andmetest loodud mudelite mahtude suhtelised erinevused laserskaneerimise andmetest saadud tulemustest.

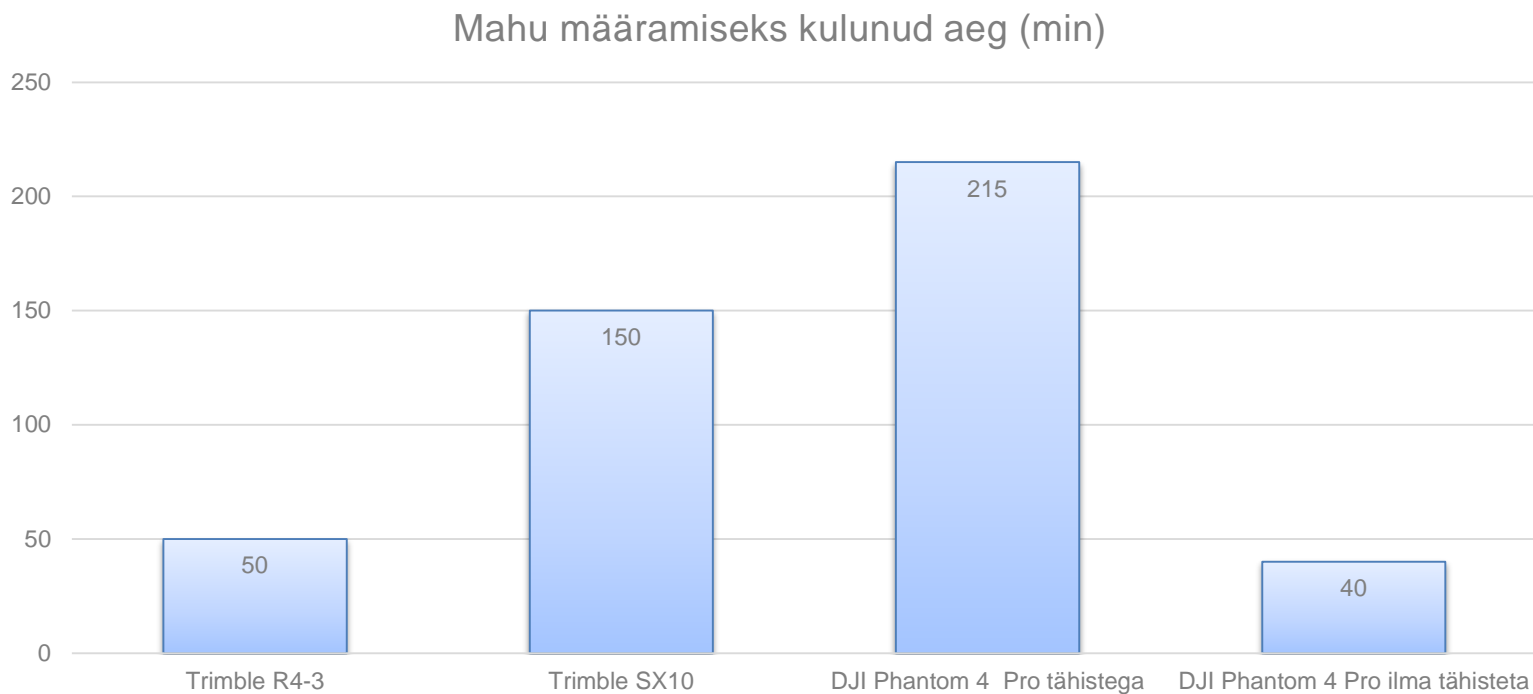
# Tulemused



Erinevatel viisidel Laiküla turbamaardla objekti mahu määramiseks kulunud aeg kokku.



# Tulemused



Erinevatel viisidel Karude karjääri objekti mahu määramiseks kulunud aeg kokku

# Järeldused

- Mehitamata õhusõidukite kasutamine mahtude määramisel annab piisava täpsuse ning selleks sobib ka odavam mehitamata õhusõiduk
- Mahtude määramiseks piisav täpsus saavutati ka ilma tähiseid kasutamata
- Lisaks sellele ei olnud suurt mõju tulemustele sellel kas kasutati aerosoolvärviga või spetsiaalseid tähiseid
- Mehitamata õhusõidukilt kogutud fotode kasutamine mahtude määramisel aitab tunduvalt kahandada välitöödele kuluvat aega eriti suuremate ja keerulisemate objektide puhul
- Objektide erinevad omadused fotogramm-meetrilisel teel mahtude määramisele suurt mõju ei avaldanud



Aitäh tähelepanu eest!