Short communication

Järvselja metsade tormikahjustuste seire mehitamata õhusõidukitega

Kaupo Kokamägi[1], Rauno Künnapuu[2] ja Natalja Liba[2]*

Kokamägi, K., Künnapuu, R., Liba, N. 2022. Forest storm damage monitoring in Järvselja, Estonia with unmanned aerial vehicles. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 76, 99–105, ISSN 1406-9954. Journal homepage: http://mi.emu.ee/forestry.studies

Abstract. This paper provides an overview of a small research project. The object of the research was a 16 km^2 forested area located in the territory of Järvselja Study and Experimental Forest, Estonia, which was damaged by storms in June 2021. The aim of the study was to investigate whether it is possible and reasonable to estimate the area of storm damage using orthophotos created from photographs collected from unmanned aircraft. The surveying was carried out on July 13–15, 2021. The data was collected via unmanned aerial vehicles with RGB-cameras on board. A multi-rotor drone DJI Phantom 3 Professional and a fixed-wing unmanned aircraft eBee X were used. In total, the eBee drone was flown 11 times to obtain 11,989 photos and the DJI drone 18 times to obtain 2,471 photos. During the project, it became clear that if there are open fields available, it is more efficient to use a fixed-wing type drone for this kind of research. However, in more difficult conditions where there are no clearances suitable for take-off and landing, a multi-rotor drone, such as the DJI, can be used instead. It can be concluded from the results of the work that although it is possible to use an unmanned aircraft for aerial photography of large forested areas, it takes a considerable amount of time for both photography and post-processing. It took 96 man-hours to collect the data and four working weeks to process the data.

Key words: UAV, storm damage, orthophoto.

Authors' addresses: [1]Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; [2]Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Engineering, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; *e-mail: natalja.liba@emu.ee

Sissejuhatus

Metsade tormikahjustuste seireks kasutatakse palju satelliidiandmeid (Laurin *et al.*, 2021; Tomppo *et al.*, 2021), kuid ka mehitamata õhusõidukitel on eeliseid, nagu näiteks kiire andmete kogumise võimekus ja madalad kasutuskulud, mille tõttu need sobivad hästi metsade tervisliku seisundi seireks (Tang & Shao, 2015). Sarnasel eesmärgil on mehitamata õhusõidukeid kasutatud varem ka näiteks Norras kuusemetsade puhul (Brovkina *et al.*, 2018). Kesk-Euroopas on uuritud tormikahjustusi ja kooreüraskite mõju metsadele, kasutades mehitamata õhusõidukit ja multispektraalkaamerat (Minařík & Langhammer, 2016).

Mehitamata õhusõidukite ja fotogramm-meetria kasutamine suurte alade mõõdistamiseks on säästva arengu põhimõtetega hästi kooskõlas. Mehitamata

DOI: 10.2478/fsmu-2022-0007

© 2022 by the authors. Licensee Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

õhusõiduki abil on võimalik väikese ajakuluga mõõta võrdlemisi suuri objekte. Siinse töö käigus koguti eBee drooniga ühe, keskmiselt 30-minutilise lennuga fotosid umbes 1,5 ruutkilomeetri suuruse ala kohta ning piksli suurus maapinnal oli lendusid planeerides määratud 3,3 cm. Mehitamata õhusõidukiga DJI Phantom 3 Professional koguti ühe, keskmiselt 20-minutilise lennuga fotosid hinnanguliselt 0,5 ruutkilomeetri suuruse maa-ala kohta, piksli suurusega maapinnal 5,1 cm. See hoiab kokku nii tööle kuluvat aega ja inimressurssi kui ka transpordikulusid, kuna mehitamata õhusõiduki abil on võimalik mõõta üsna suur objekt ära paari tööpäeva jooksul, samas kui käsitsi mõõtes kuluks sellele nädalaid või isegi kuid. Mehitamata õhusõiduki kasutamine on kontaktivaba, seega on võimalik mõõta ka väga tundlikke alasid ilma ohustatud alale masinaga sõitmata või isegi astumata. Lisaks sellele on mehitamata õhusõidukilt võimalik pildistada raskesti ligipääsetavaid objekte, mille muul viisil mõõtmiseks oleks vaja rasketehnika abi (Kokamägi *et al.*, 2020).

Artikkel põhineb SA Järvselja Õppe- ja Katsemetskonnas tormikahjustusega alade ja ulatuse kindlakstegemisel ning alade pildistamisel mehitamata õhusõidukitega, mille põhjal valmistati ortofotomosaiigid. Tegu on rakendusuuringuga, mille eesmärgiks on töötada välja mehitamata õhusõidukite ja muudel kaugseire meetoditel põhinev metoodika metsaalade monitoorimiseks.

Projekti käigus analüüsiti erinevaid droonimõõdistuse meetodeid, nende täpsust ja operatiivsust. Mehitamata õhusõidukite kasutamine tormikahjustuste (joonis 1) määramisel toimus Lõuna-Eestis (joonis 2) 2021. aasta juulis.

Artiklis kirjeldatakse andmete kogumist ja nende põhjal ortofotomosaiikide loomist. Selle töö tulemuste põhjal leiti hiljem kahjustatud alade pindala.

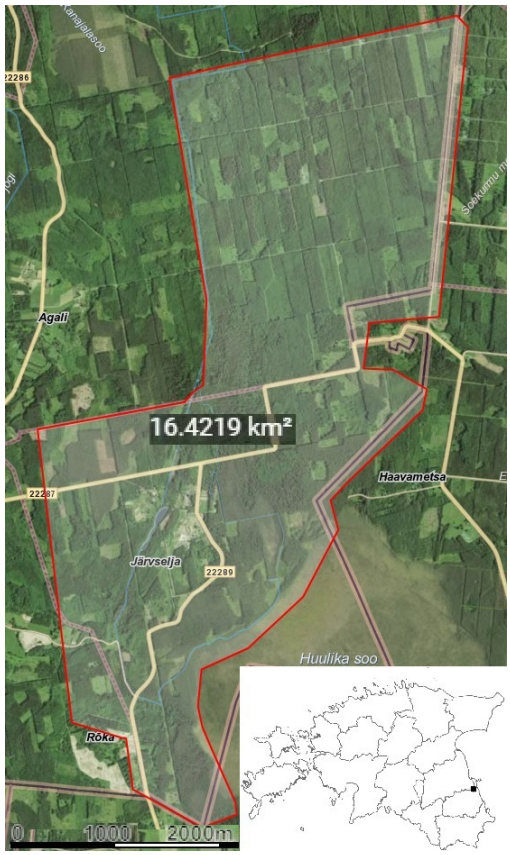


Joonis 1. Tormikahjustused Lõuna-Eestis.

Materjal ja metoodika

Uurimistöö objektiks oli Lõuna-Eestis Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna territooriumil asuv metsamassiiv (joonis 2). Uuritava objekti pindala oli umbes 16 km², mis oli saanud kahjustada tormi käigus juunis 2021. aastal.

Järvselja looduskaitseala paikneb Tartu maakonna kaguosas Peipsiäärsel madalikul, Tartust umbes 50 km kaugusel ning 6 km kaugusel Peipsi rannajoonest. Kaitseala asub administratiivselt Kastre vallas Järvselja ja Agali külades. Järvselja looduskaitseala iseloomustavad jääpaisjärvede tasandikud ning madal- ja siirdesootasandikud (Keskkonnaamet, 2010). Kaitseala pindala on 187 ha ja see kuulub Järvselja loodusalana tervikuna ka Natura 2000 võrgustikku (Keskkonnaamet, 2010).



Joonis 2. Pildistatav ala ja uuritava ala asukoht Eestis.

Uurimuse eesmärk on välja selgitada, kas mehitamata õhusõidukilt pildistatud fotodest loodud mudelite ja ortofotode abil on võimalik hinnata tormikahjustuste pindala. Projekti käigus selgitati välja kahte erineva tüübi mehitamata õhusõidukite (k.a lennukitüüpi droon) sobivus suurte metsamassiivide mõõtmiseks. Pandi paika mõõtmiste ajagraafik ning selgitati välja parim periood mõõtmiste läbiviimiseks. Valiti välja testobjektide jaoks vastav pildistamise meetod. Sooritati testobjektil andmete kogumiseks fotogramm-meetrilised lennud mehitamata õhusõidukitega. Seejärel teostati andmetöötlus erinevate tarkvarade abil. Analüüsiti kahe erineva metoodika kasutamist suurte metsamassiivide pildistamiseks ja ortofotode loomiseks. Kogutud andmete ja loodud ortofotode põhjal koostati ja kaitsti 2022. aastal Eesti Maaülikoolis magistritöö, milles hinnati tormikahjustuse ulatust (Rahu & Siim, 2022). Saadud tulemusi kajastatakse siinses artiklis.

Andmete kogumine uuritaval objektil

Mõõdistustööd toimusid 13.–15. juulil 2021. aastal. Objekti ettevalmistuse käigus tehti aerosoolvärviga 30 kontrollpunkti objekti sisse ja selle lähiümbrusesse. Seejärel mõõdeti nende punktide asukohad RTK GNSS seadme abil. Kontrollpunktide koordinaate on võimalik kasutada pärast pildistamist andmetöötluse käigus.

Kuna objekt oli mehitamata õhusõidukiga mõõtmiseks võrdlemisi suur, kasutati pildistamisel samal ajal kahte mehitamata õhusõidukit: DJI Phantom 3 Professional (DJI, 2022) ja SenseFly eBee X (SenseFly, 2022) (joonis 3).

Andmete kogumine

Maapealsete kontrollpunktide koordinaadid mõõdeti Trimble R4 RTK GNSS seadme abil ning igal punktil mõõdeti 30 epohhi. Maapealsed kontrollpunktid tähistati aerosoolvärviga.

SenseFly eBee X lendude planeerimine toimus tarkavaras eMotion. Kokku teostati



Joonis 3. Vasakul mehitamata õhusõiduk DJI Phantom 3 Professional ja paremal SenseFly eBee X.

11 lendu, iga lend kestis vahemikus 15 kuni 35 minutit. Lendude kõrgus oli umbes 150 meetrit maapinnast ja oodatav piksli suurus maapinnal 3,3 sentimeetrit. Fotode pikikattuvus oli 90% ja põikikattuvus 65%. Lennuki kiirus oli 11 m $\cdot s^{-1}$. Kokku koguti 11 989 fotot. Lennud teostati 13. ja 15. juulil 2021. aastal, mis olid selge, päikesepaistelise ilmaga päevad. Lennud toimusid vahemikus kell 09.00 kuni 19.00.

Lennukitüüpi drooni kasutamiseks on õhku tõusmiseks ja maandumiseks vaja sobivat lagedat ala. Kasutatud eBee X õhusõiduki puhul on vaja takistusteta lagedat ala, läbimõõduga umbes 200 meetrit, mida metsases piirkonnas oli väga raske leida. Seetõttu kasutati objekti mõõtmisel ka vertikaalselt tõusvat väiksemat drooni DJI Phantom 3 Professional.

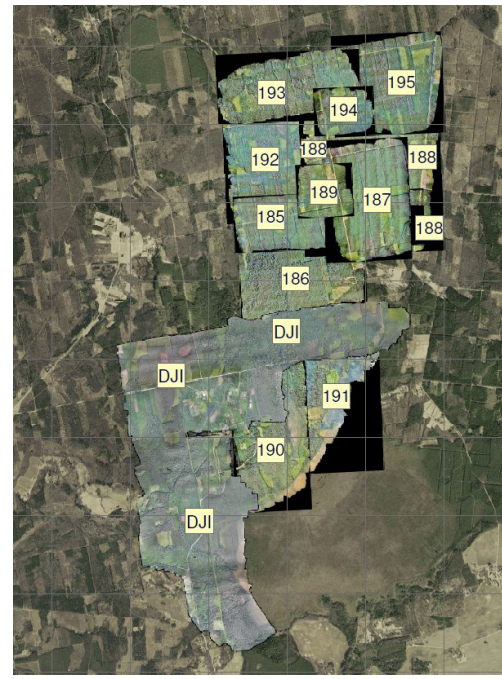
Multirootor drooniga DJI Phantom 3 Professional lendude planeerimine toimus tarkvara DJI GS PRO abil, kus valiti iseseisvalt välja optimaalseim lennutrajektoor. DJI lend kestis umbes 20–30 minutit sõltuvalt objekti suurusest. Lendude jooksul koguti 2471 fotot (joonis 4). Ülelennud teostati pikikattuvusega 70% ja põikikattuvusega 70% ning kiirusega 10 m $\cdot s^{-1}$. Lennu kõrgus oli 120 meetrit ja piksli suurus maapinnal 5,1 sentimeetrit. Mehitamata õhusõidukit DJI Phantom 3 Professional kasutati ennekõike metsasemates piirkondades, kus puudusid vajalikud lagendikud mehitamata õhusõidukiga SenseFly eBee X õhkutõusmiseks ja maandumiseks. Vertikaalseks õhkutõusuks ja maandumiseks võimelised mehitamata õhusõidukid on olulised maastikutingimustes, kus ei ole võimalik õhku tõusta ja maanduda lennukitüüpi õhusõidukitega. Andmete kogumisele kulus kokku 96 inimtundi.

Andmete töötlus

Mehitamata õhusõidukiga eBee X kogutud andmeid töödeldi tarkvarades eMotion ja Pix4D. Lisaks kohapeal kogutud andmetele laeti alla lendudega samal ajal kogutud Maa-ameti Mehikoorma GNSS baasjaama andmeid ning neid kasutati tarkvaras eMotion 3.15.0 fotode georeferentsimiseks PPK (*Post-Processed Kinematic*) meetodil ning esmaseks mosaiikimiseks. Eelnevalt kirjeldatud protsessile kulus kaks tööpäeva, kuid suurem osa ajast kulus protsessidele, mille ajal inimene ei pea arvuti taga olema. Järgmiseks loodi iga lennu andmetest eraldi ortofoto Pix4D 4.3.27 tarkvaras. Pix4D tarkvaras andmetöötluse käigus kasutati originaalsuurusega fotosid ning vaikesätteid. Andmetöötluse käigus loodi ka iga lennu andmetest punktipilv. Sellele protsessile kulus 14 tööpäeva, kuid



Joonis 4. Üks mehitamata õhusõidukiga DJI Phantom 3 Professional kogutud fotodest.



Joonis 5. Andmetöötluse tulemusel saadud ortofotod lendude numbritega.

suurem osa ajast kulus samuti arvutusprotsessidele, mille käigus ei pea inimene arvuti taga olema. Andmetöötluse järgne piksli suurus maapinnal ehk GSD (*Ground Sampling Distance*) on umbes 3,6 cm.

Mehitamata õhusõidukiga DJI Phantom 3 Professional kogutud fotode orienteerimine ja ortomosaiigi loomine toimus vaikesätteid kasutades veebitarkvaras DroneDeploy 2.177.0, kus eelpool nimetatud protsessid teostatakse pilves, mistõttu puudub vajadus võimsa arvuti olemasoluks. Andmetöötluse järgne piksli suurus maapinnal on 20 sentimeetrit. Andmetöötlusele kulus hinnanguliselt 12 tundi, millest suurema osa ajast puudub vajadus inimese kohaloluks.

EBee andmete põhjal loodi iga lennu kohta eraldi ortofoto ja DJI andmete põhjal kõigist lendudest kokku üks ortofoto (joonis 5).

Moodustatud ortofotomosaiikide põhjal leiti, et eBee mehitamata õhusõiduki abil pildistatud aladel oli kokku 35,47 hektarit ja DJI õhusõiduki abil pildistatud aladel 18,27 hektarit tuulemurdu. (Rahu & Siim, 2022). Kahe erineva GSD-ga mosaiikide kattuvate alade võrdlemisel leiti, et väiksema GSD-ga eBee ortofotomosaiikidelt on võimalik tuvastada rohkem kahjustada saanud alasid (495 klassifitseeritud polügooni) kui üle viie korra suurema GSD-ga DJI ortofotomosaiigilt (332 klassifitseeritud polügooni). Samas erinevatel ortofotomosaiikidel leitud kahjustatud alade pindalad erinesid vaid ~0,01 ha, olles vastavalt eBee mosaiigil ~1,06 ha ning DJI mosaiigil 1,05 ha (Rahu & Siim, 2022).

Kokkuvõte

Uurimistöö objektiks oli Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna territooriumil asuv metsamassiiv (joonis 2). Uurimuse eesmärk oli välja selgitada, kas mehitamata õhusõidukiga pildistatud fotodest loodud ortofotode abil on võimalik hinnata tormikahjustuste pindala. Eesmärgi täitmiseks läbi viidud

mõõdistustööd toimusid 2021. aasta juulis.

Andmete kogumiseks kasutati ühte kaugseire meetoditest: pildistamine mehitamata õhusõidukite ehk droonidega. Kasutati multirootor drooni DJI Phantom 3 Professional ning lennukitüüpi mehitamata õhusõidukit eBee X.

Kokku lennati eBee drooniga 11 korda ja saadi umbes 12 000 fotot ning DJI drooniga 18 korda ja saadi umbes 2500 fotot. Andmetöötluseks kulus kokku umbes neli nädalat.

Projekti käigus selgus, et kui leidub lagedaid alasid, on pildistamiseks efektiivsem kasutada lennukitüüpi drooni. Samas raskemates oludes, kus ei ole õhku tõusmiseks ja maandumiseks sobilikke lagendikke, saab kasutada ka multirootori tüüpi drooni nagu DJI Phantom 3, mis on üldiselt ka odavamad. Uurides nii suuri alasid oleks soovitatav, et mõlemat tüüpi drooni komplektis oleks vähemalt 6 akut, et akud jõuaksid lendude ajal ka täis laadida. Lisaks oleks väga hea sellise objekti puhul mõõta vertikaalselt lendu tõusva lennukitüüpi drooniga.

Ortofotomosaiikidelt leiti kokku 53,74 ha ulatuses kahjustusi. Väiksema GSD-ga mosaiigilt (eBee X, 3,6 cm) on võimalik tuvastada rohkem väiksemaid kahjustatud alasid kui suurema GSD-ga mosaiigilt (DJI, 20 cm) (Rahu & Siim, 2022). Erinevate mehitamata õhusõidukite andmetest sama ala kohta loodud mosaiikidelt leitud kahjustatud alade kogupindalad on ligilähedased (Rahu & Siim, 2022).

Töö tulemustest saab järeldada, et suurte metsamassiivide aeropildistamiseks on võimalik kasutada ka mehitamata õhusõidukit, kuid nii pildistamiseks kui ka järeltöötluseks kulub arvestatavalt palju aega. Andmete kogumiseks kulus kokku 96 inimtundi ja andmete töötluseks neli töönädalat.

Tänusõnad. Suur tänu Eesti Maaülikooli keskkonnakaitse ja maastikukorralduse õppetoolile, kelle mehitamata õhusõidukit kasutati andmete kogumisel.

Kasutatud kirjandus

Brovkina, O., Cienciala, E., Surový, P., Janata, P. 2018. Unmanned aerial vehicles (UAV) for assessment of qualitative classification of Norway spruce in temperate forest stands. – Geo-spatial Information Science, 21(1), 12–20. https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1416994.

DJI. [WWW document]. – URL https://www.dji.com/ee/phantom-3-pro. [Accessed 7 June 2022].

Keskkonnaamet. 2010. Nature protection management plan 2012-2021 for Järvselja nature reserve. (Järvselja looduskaitseala kaitsekorralduskava 2012-2021). [WWW document]. – URL https://infoleht.keskkonnainfo.ee/GetFile.aspx?fail=-406250147. [Accessed 7 June 2022]. (In Estonian).

Kokamägi, K., Türk, K., Liba, N. 2020. UAV photogrammetry for volume calculations. – Agronomy Research, 18(3), 2087−2102.

Laurin, G.V., Francini, S., Luti, T., Chirici, G., Pirotti, F., Papale, D. 2021. Satellite open data to monitor forest damage caused by extreme climate-induced events: a case study of the Vaia storm in Northern Italy. – Forestry: An International Journal of Forest Research, 94(3), 407–416. https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa043.

Minařík, R., Langhammer, J. 2016. Use of a multispectral UAV photogrammetry for detection and tracking of forest disturbance dynamics. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8, 711–718. http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-711-2016.

Rahu, O., Siim, K. 2022. Assessment of storm damage in the Järvselja Training and Experimental Forestry District by photogrammetric methods. (Järvselja õppe- ja katsemetskonna tormikahjude hindamine fotogrammmeetriliste meetoditega). – Master thesis. Tartu, Estonian University of Life Sciences. 91 pp. (In Estonian with English summary).

SenseFly. [WWW document]. – URL https://www.sensefly.com/drone/ebee-x-fixed-wing-drone/. [Accessed 7 June 2022].

Tang, L., Shao, G. 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. – Journal of Forestry Research, 26, 791–797. https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y.

Tomppo, E., Ronoud, G., Antropov, O., Hytönen, H., Praks, J. 2021. Detection of forest windstorm damages with multitemporal SAR data – A case study: Finland. – Remote Sensing, 13(3), 383. https://doi.org/10.3390/rs13030383.

Forest storm damage monitoring in Järvselja, Estonia with unmanned aerial vehicles

Kaupo Kokamägi, Rauno Künnapuu and Natalja Liba

Summary

The object of the research was a forest area (Figures 2 and 4), which has an area of 16 km^2 and which was damaged by storms in June 2021, located in the territory of Järvselja Study and Experimental Forest. The aim of the study was to find out whether it is possible to estimate the area of storm damage using models and orthophotos created from photographs collected from unmanned aircraft. The surveying was carried out on July 13–15, 2021.

The data was collected via unmanned aerial vehicles with RGB-cameras on board. A multi-rotor drone DJI Phantom 3 Professional and a fixed-wing unmanned aircraft eBee X were used.

In total, the eBee drone was flown 11 times to obtain 11,989 photos and the DJI drone 18 times to obtain 2,471 photos. It took about four weeks to process the data.

During the project, it became clear that if there are open fields available, it is more efficient to use a fixed-wing type drone for this kind of research. However, in more difficult conditions where there are no clearances suitable for take-off and landing, a multi-rotor drone, such as the DJI Phantom 3, which is generally low-priced, can be used.

When examining such large areas, it would be advisable to have at least 6 batteries in each drone kit so that the batteries can be fully charged during flights.

A total of 53.74 hectares of damage was found on the orthophoto mosaics (Rahu & Siim, 2022). It is possible to detect smaller damaged areas from a mosaic with a smaller GSD (eBee X, 3.6 cm) than from a mosaic with a larger GSD (DJI, 20 cm), while the size of damaged areas found in different orthophoto mosaics of the same area differed only by 0.01 ha, being 1.06 ha for the eBee mosaic and 1.05 ha for the the DJI mosaic, respectively (Rahu & Siim, 2022).

It can be concluded from the results of the work that it is possible to use an unmanned aircraft for aerial photography of large forest areas, but it takes a considerable amount of time for both photography and post-processing. It took 96 man-hours to collect the data and four working weeks to process the data in total.

Received June 27, 2022, revised September 09, 2022, accepted September 09, 2022