



Finnország területének körülbelül 75%-át borítják erdők, ami arányai-ban a legnagyobb Európában. A leggyakoribb fafajok az erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), a norvég luc (*Picea abies*) és a közönséges nyír (*Betula pendula*). Kiemelt fontossága miatt a Helsinki Egyetemen 1856-ban elkezdődött az erdészeti oktatás, ahol később dr. Johan Wilhelm Cajander, az erdőosztályozás megalkotója is dolgozott 1913–1937 között. Cajander jelentőségét jelzi, hogy később Finnország miniszterelnöke lett.

Az erdészeti kutatásokat a Finn Erdészeti Tudományos Intézet (Metla) végzi 1917-től, mai formájában 2014-től a LUKE (Finn Természeti Erőforrások Központja) részeként. A finn erdészeti kutatás napjainkban is a világ élvonalába tartozik, úttörő technikai megoldásokat bemutatva.

A legmodernebb 4D-s erdészeti kutatásokat a finn Erdészeti Erőforrás-gazdálkodási és Geoinformatikai Laboratórium munkacsoportja végzi, ennek tagja a Helsinki Egyetem, a Kelet-finnországi Egyetem, az Aalto Egyetem és a Finn Térinformatikai Kutatóintézet is többek közt.

A lézerszkennelt 3D-s digitális pontfelhők felhasználásával a precíziós erdőgazdálkodást támogatják, továbbá erdőegészségi és faanyagtulajdonság-modellezéssel, föld feletti biomasszaméréssel és biodiverzitás-értékeléssel foglalkoznak.

Ezek a téradatok kulcsfontosságúak a fenntartható természeti erőforrás-gazdálkodáshoz, ahol a földi (*TLS* és *MLS*) és légi lézerszkennelt (*ALS*) adatok rendkívül pontos 3D pontfelhőket biztosítanak, amelyek részletes méréseket tesznek lehetővé az erdő különböző tulajdonságairól.

A téradatok időbeli kiterjesztésével jön létre a 4D geoinformatikai adatbázis, amely nemcsak a múltbeli változásokat képes nyomon követni, hanem a jövőbeli folyamatok modellezésére is alkalmas, egyesfa-szintű információkat biztosítva (pl. *fafaj, törzsátmérő, magasság, fatérfogat*).

Az erdőmonitoring keretében az aszálykárok, szélkárok, rovarkárok és regenerációs folyamatok térbeli és időbeli mintázatait is kutatják (Junttila et al, 2024) (*1. ábra*).

Világszínvonalú újítás a nyolcsávos hiperspektrális Lidar erdészeti célú la-

A finn erdőmonitoring világszínvonalú innovációi

Molnár Tamás¹

boratóriumi teszt alkalmazása, mely által a digitális pontfelhőből vegetációs index (*NDVI*) és vízindex (*WI*) volt számítható luc- és erdeifenyő mintákra (Junttila et al, 2015).

A sikeres tesztek kimutatták a negatív elváltozásokat (*elszíneződés, nedvességtartalom-csökkenés*), így a módszert később széles körű, operatív alkalmazásra adaptálják. A 0,5 m-es felbontású ortofotókon futtatott objektumalapú mélytanulási osztályozás szintén hatalmas jelentőségű, amely az ország erdőterképein betanított programként, vagy egy másik ország erdeinek kárfelmérésére is alkalmazható egyesfa szinten.

Külön kutatás foglalkozik a csemete- és fiatalok állományok monitoringjával. A korábbi helsinki csoporttársam által leírt új módszer célja olyan távérzékelési módszerek kifejlesztése és értékelése volt, amelyek képesek megbecsülni ezen állományok fafajait, sűrűségét, magasságát és törzsátmérőjét (Imangholiloo et al, 2023).

Ehhez drón-fotogrammetriai pontfelhőket, a hiper- és multispektrális felvételeket, valamint a multispektrális és egyfotonos légi lézeres szkennelési adatokat kombináltak.

Az egyfotonos LiDAR olyan újdonság, ami a lézersugarakat egy foton formájában bocsátja ki, így kisebb az energiafelhasználása és nagyobb a hatótávja a hagyományos szkennerekhez képest.

A szkennelt téradatokat konvolúciós neurális hálózatokba táplálták, amelyeket a fafajok osztályozására és leíró adatok felismerésére tanítottak be. A 1–5 cm terepi felbontású térképeken négy famagassági osztályt tudtak elkülöníteni <1,5 m, 1,5–2m, 2–4m, 4m<.

Az eredmények azt mutatták, hogy a drónfelvételek pontosabb állománysűrűség-adatokat adtak, míg a multispektrális ALS adatok jobban teljesítettek a fák magasságának becsülésében, így ezen módszerek alkalmazhatóak az operatív erdőleltárakban, kiegészítve vagy akár helyettesítve a terepi felméréseket, növelve az erdőgazdálkodás hatékonyságát és fenntarthatóságát.

Fontos megemlíteni, hogy az erdeifenyő, luc és nyír hármas mellett számos lombhullató fajt is vizsgáltak, pl.: madárberkenyét (*Sorbus aucuparia*), füzeket (*Salix* spp.), rezgő nyárat (*Populus tremula*), hamvas égert (*Alnus incana*), borókát (*Juniperus communis*) és szibériai vörösfenyőt (*Larix sibirica*).

A Finn Természeti Erőforrások Központja (LUKE) egy vezető kutatóintézet, amely a természeti erőforrások fenntartható hasznosításával foglalkozik Finnországban. Korábban Metla néven a finn ERTI-nek felelt meg. Tevékenységei az erdőgazdálkodás, mezőgazdaság, halászat, biodiverzitás és bioenergia területeire terjednek ki, célja az éghajlatváltozás hatásainak enyhítése és a körforgásos gazdaság támogatása.

Az erdők fenntartható kezelése során azt vizsgálják, hogyan lehet az erdők faanyagtermelő kapacitását maximalizálni a biodiverzitás és az ökoszisztéma-szolgáltatások megőrzése mellett, majd stratégiákat dolgoznak ki a klíma-mitigációra és a szénmegkötésre.

Az új erdészeti technológiák kapcsán innovatív megoldásokat fejlesztenek a faanyagok hatékonyabb felhasználására és új, bioalapú termékek előállítására.

A biodiverzitás és természetvédelem témakör alatt erdei ökoszisztémák sokféleségét megőrző módszereket dolgoznak ki.

Az agrárerdészeti vizsgálatok során az erdők és mezőgazdasági rendszerek kombinációjának előnyeit kutatják, beleértve a talajvédelmet, vízgazdálkodást és az élelmiszertermelést.

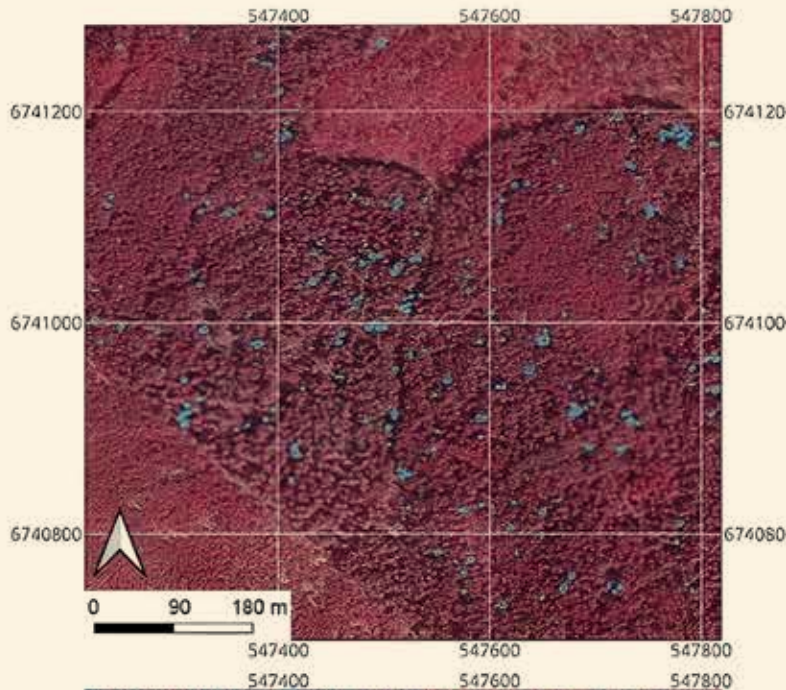
Ottjártamkor részt vettem a LUKE-ban tartott távérzékelési szimpóziumon, amit Balázs András kolléga szervezett. A finn erdészeti ágazat rövid távú előrejelzési rendszerét (*MESU*) mutatták be, majd a LiDAR pontfelhők alkalmazását az erdőleltározásban (*3D-CNN módszer*), 3D-s állományszerkezet-térképek létrehozását légi lézerszkenneléssel és földi mérésekkel, valamint az erdészeti gyérítések felismerését optikai műholdképek idősorai alapján.

A Kelet-finnországi Egyetemen is több világszínvonalú munkacsoport tevékenykedik. A Globális Ökoszisztéma

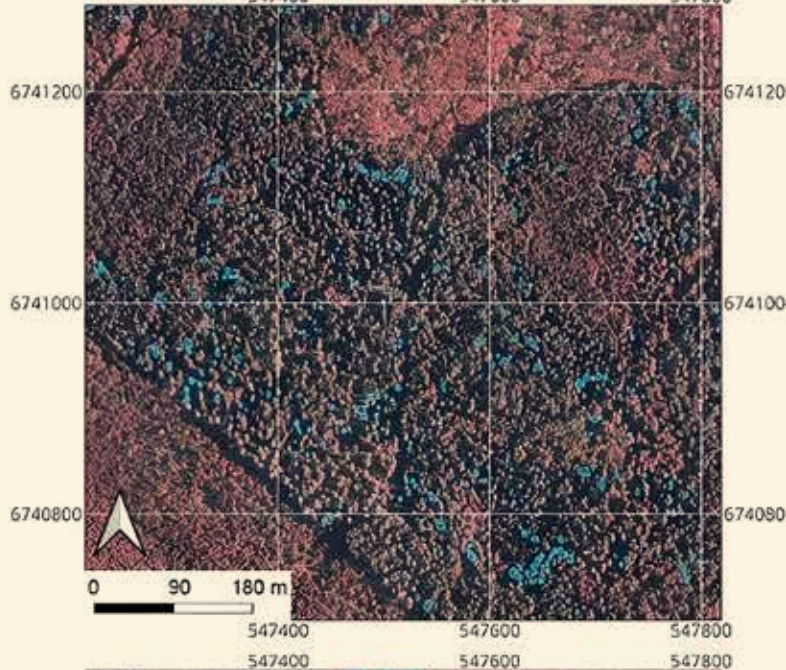
¹ SoE ERTI Ökológiai és Erdőművelési Osztály

SITE A

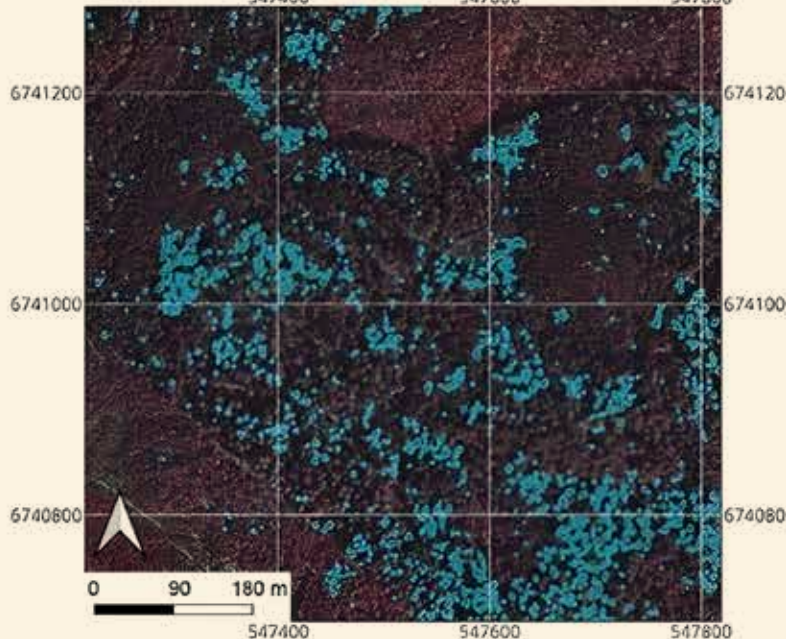
2017



2020



2023



Egészségmegfigyelő Központ (GEHO) egy interdiszciplináris kutatócsoport, mely az erdők egészségének és az erdőpusztulások okainak megértésével foglalkozik.

A hangsúly az ökoszisztémák jelenlegi és jövőbeli állapotának értékelésén van, hogy növeljék ellenálló képességüket a változó éghajlattal szemben.

Többféle, erdőkkel kapcsolatos kutatást folytatnak, különös tekintettel az erdők egészségének megfigyelésére szolgáló távérzékelési algoritmusokra, a globális fapusztulás feltérképezésére és az erdőket érintő éghajlati kockázatok modellezésére.

A munka célja, hogy információt és módszert biztosítson az ökoszisztémák kezelésének támogatásához és az ökoszisztémák éghajlatváltozással szembeni ellenálló képességének növeléséhez Európa és Észak-Amerika számos országában.

A digitális technológiákkal és kockázatkezelési eszközökkel segítséget nyújtsanak az erdei szűkárók és viharok mérséklésében. Ezt többek közt világ szinten újdonságnak számító multispektrális lézerszkennelt és optikai adatok fúziójával érték el.

Egy másik, szintén vadonatúj fejlesztés a fenyőerdőket pusztító kártevők felmérésére készített *pilóta nélküli Kelluu léghajó*. A Koli Nemzeti Parkban használták először a 11x2 m kiterjedésű Kelluu eszközt (2. ábra) az ottani erdőkárok felmérésére (Turkulainen et al, 2024).

Olyan módszert dolgoztak ki, amelyel a légifelvételek alapján hatékonyan felismerhetők a szűk által károsított és elpusztított állományok, illetve amely segítségével kockázati és terjedési modellek kidolgozása válik lehetővé.

Ennek érdekében heti visszatéréssel monitorozzák a szűkpopuláció kártételeit. A robotpilóta által irányított léghajó segítségével gyorsan és költséghatékonyan jutunk információkhoz az erdőkárokról.

A multispektrális kamerával felszerelt léghajó a lombkorona elszíneződését még azelőtt észleli, mielőtt az emberi szem számára látható károk jelentkeznenek. A multispektrális légifelvételeket gépi tanulást használó programba töltik fel, amely a modell

1. ábra A karjalai erdők lombkorona-pusztulása a 2017-es, 2020-as és 2023-as években. A hamisszínes ortofotón világoskékkel jelölték az elpusztult fákat. Forrás: Junttila et al 2024



2. ábra A Kelluu léghajó a Koli Nemzeti Parkban a szúkárokat méri fel. Forrás: Kelluu

alapján osztályozza a fenyők egészségi állapotát.

A Kelluu nagyfelbontású képalkotó kamerája akár 1 cm felbontású feltételeket is tud készíteni. Ha ezzel a szúkárokat időben észleljük, egészségi leterheléssel lassíthatjuk a kártevő terjedését. A léghajó mozgékonyasága és gyorsasága mellett környezetbarát is, a hidrogénnel hajtott eszköz 12 órás repülés után sem szennyezi a levegőt.

A finn kutatási mobilitásom során világszínvonalú, innovatív erdőmonitoring módszereket ismertem meg, melyeket hasznosítani tervezek a hazai TEMRE rendszerben. *A finn tudás és a szakértelem segíthet abban, hogy az együttműködés révén a hazai távérzékelési monitoring fejlődjön, és bővüljön a magyar tudományos kutatók és erdészeti szakértők eszköztára.*

A szakmai programokon túl Magyarország természeti értékeiről is tartottam egy ismertterjesztő előadást magyarul tanuló finn hallgatóknak, a Helsinki Egyetem Finnugor Tanszékén, a Metsätalo (Erdő háza) épületben.

Előadásomban az országot tájegységekre lebontva mutattam be fényképekkel és magyarázattal. Megemlítettem az ERTI és a Soproni Egyetem szerepét az erdészeti kutatásban és oktatásban.

Véleményem szerint a nyelvtanulás, a mobilitás, az ismeretátadás és a kap-

csolatépítés szerepét nem lehet eléggé hangsúlyozni manapság. A mobilitás során szerzett tapasztalatokat szakmai megbeszélések, angol és magyar nyelvű cikkek, illetve előadások formájában tervezem továbbadni a kollégáknak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet a *Kulturális és Innovációs Minisztérium Tempus Közalapítványának és Pannónia Ösztöndíjprogramjának* (azonosító: PANP-00013-001/2024/STR-500) a kutatási mobilitás támogatásáért! *Dr. Markus Holopainennek és Balázs Andrásnak* pedig a fogadásért a Helsinki Egyetemen és a LUKE-ban.

Irodalomjegyzék

Imangholiloo, M.–Luoma, V.–Holopainen, M.–Vastaranta, M.–Mäkeläinen, A.–Koivumäki, N.–Honkavaara, E.–Khoramshahi, E. (2023): A New Approach for Feeding Multispectral Imagery into Convolutional Neural Networks Improved Classification of Seedlings. *Remote Sens.* **2023**, 15, 5233. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15215233>

Junttila, S.–Kaasalainen, S.–Vastaranta, M.–Hakala, T.–Nevalainen, O.–Holopainen, M. (2015): Investigating bi-temporal hyperspectral lidar measurements from declined trees—Experiences from laboratory test. *Remote Sensing*, 7, 13863–13877. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs71013863>

Junttila, S., Blomqvist, M., Laukkanen, V., Heinaro, E., Polvivaara, A., O'Sullivan, H., Yrttimaa, T., Vastaranta, M., & Peltola, H. (2024). Significant increase in forest canopy mortality in boreal forests in Southeast Finland. *Forest Ecology and Management*, 565, 122020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122020>.

Turkulainen, E.–Hietala, J.–Jormakka, J.–Tuviala, J.–Oliveira, R.–Koivumäki, N.–Karila, K.–Näsi, R.–Suomalainen, J.–Peltto-Arvo, M.–Lyytikäinen-Saarenmaa, P.–Honkavaara, E. (2024): Large-area UAS-based forest health monitoring utilizing a hydrogen-powered airship and multi-spectral imaging. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-3-2024, 559–564. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-559-2024>