

Stratégiai keretrendszer a fenntartható, reziliens és innovatív erdőkezelés megvalósításához

Strategic Framework for Sustainable, Resilient, and Innovative Forest Management

Hunyadi Richárd

NKE Katona Műszaki Doktori Iskola doktorandusz

Email: hunyadirichard24@gmail.com

ORCID: 0009-0003-5052-1760 

Absztrakt:

Az elmúlt két évtizedben a precíziós erdőgazdálkodás technológiai eszköztára különösen az UAV, LiDAR, térinformatikai rendszerek (GIS), a mesterséges intelligencia és IoT rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül. Alkalmazásuk azonban jellemzően továbbra is a faanyagtermelés-központú szemléletet szolgálja, amely egyre kevésbé képes hatékony választ adni a klímaváltozás, az ökoszisztéma-szintű kockázatok és a komplex természeti veszélyek kihívásaira. A tanulmány az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigma hazai bevezetésének lehetőségeit vizsgálja, amely az Ipar 5.0 elveire épülő, emberközpontú, fenntartható és reziliens erdőkezelési keretrendszer.

A megközelítés a Human-Centered Artificial Intelligence (HCAI) elveire támaszkodva biztosítja az átlátható, ellenőrizhető és emberi felügyelet mellett működő döntéstámogatást. A kutatás egy ötkategóriás funkcionális modellt javasol (adatgyűjtés, tervezés, műveletvégzés, logisztika, ellenőrzés), amely a precíziós erdészeti rendszerek fenntarthatósági tényezőinek újra értelmezésével szolgál. A paradigma kiemelt jelentőséggel bír a katasztrófavédelem és iparbiztonság területén is, mivel támogatja az erdőtüzek, viharkárok és aszály okozta degradáció korai észlelését, valamint a gyors és adatvezérelt beavatkozások tervezését.

A kutatás fő következtetése, hogy az Erdőgazdálkodás 5.0 hidat képez a precíziós technológiák és az ökoszisztéma-alapú, reziliens erdőkezelés között, elősegítve egy adatvezérelt, klímaadaptív és biztonsági szempontból integrált erdészeti és kockázatkezelési rendszer kialakítását.

Kulcsszavak: Erdőgazdálkodás 5.0; precíziós erdőgazdálkodás; fenntarthatóság; reziliencia; katasztrófavédelem; mesterséges intelligencia

Abstract:

Over the past two decades, the technological toolkit of precision forestry, particularly Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Light Detection and Ranging (LiDAR), Geographic Information Systems (GIS), Artificial Intelligence (AI), and Internet of Things (IoT) technologies, has undergone significant development. However, their application has remained predominantly focused on timber production. This approach is increasingly unable to effectively address the challenges posed by climate change, ecosystem-level risks, and complex natural hazards. This study examines the potential for introducing the Forestry 5.0 paradigm in Hungary. Based on the principles of Industry 5.0, Forestry 5.0 represents a human-centered, sustainable, and resilient framework for forest management. The approach incorporates the principles of Human-Centered Artificial Intelligence (HCAI), ensuring transparent, accountable, and human-supervised decision support. The research proposes a five-category functional model consisting of data collection, planning, operations, logistics, and monitoring, providing a framework for reinterpreting the sustainability dimensions of precision Forestry systems. The paradigm is also particularly relevant to disaster management and industrial safety, as it supports early detection of forest fires, storm damage, and drought-induced forest degradation while enabling rapid, data-driven planning of response measures. The study concludes that Forestry 5.0 bridges the gap between precision technologies and ecosystem-based, resilient forest management, facilitating the development of a data-driven, climate-adaptive, and safety-oriented Forestry and risk management system.

Keywords: Forestry 5.0; precision forestry; sustainability; resilience; disaster management; industrial safety; artificial intelligence

Az elmúlt két évtizedben az erdőgazdálkodás technológiai háttere gyökeresen átalakult. A hagyományos, gyakran papíralapú terepi becslésekre épülő módszereket fokozatosan felváltják a digitális térinformatikai rendszerek, a műholdas helymeghatározás, a pilóta nélküli légijárművek (UAV), a lézeres légi szkennelés (LiDAR), valamint a mesterséges intelligencia (AI) által támogatott döntéstámogató rendszerek. A precíziós erdőgazdálkodás (precision forestry) fogalma a mezőgazdasági precíziós technológiák mintájára az 1990-es évek végén, a 2000-es évek elején kezdett formálódni. A szakirodalom három jól elkülöníthető technológiai hullámot azonosít: a távérzékelés forradalmát (2000–2010), a geoinformatika és döntéstámogatás integrációját (2010–2020), valamint a mesterséges intelligencia és az Internet of things (IoT) alapú szenzorhálózatok térnyerését (2020–). [1] Mindezidáig azonban a precíziós eszközök alkalmazása túlnyomórészt a faanyag-központú szemléletet szolgálta. A kutatások jelentős hányada az erdőgazdálkodás és tervezés (48%), valamint a kitermelés és szállítás (19,5%) területére koncentrált, míg az erdővédelmi és természetvédelmi alkalmazások aránya mindössze 6,6% volt. [3] A klímaváltozás, az ökoszisztéma-szolgáltatások felértékelődése és a hazai erdőpolitikában 2026-ra stratégiai prioritássá váló természetvédelmi szempontok azonban új megközelítést követelnek. [2]

Jelen tanulmány az Erdőgazdálkodás 5.0 az ökoszisztéma és emberi felelősség központú új erdészeti paradigma, melynek feladata többek között a legújabb tudományos eredmények megfelelő integrációjának az erdőkezelés mindennapjaiba, az Ipar 5.0 erdészeti adaptáció hazai bevezetésének lehetőségeit vizsgálja. Az Erdőgazdálkodás 5.0 egy emberközpontú keretrendszer, amely a mesterséges intelligencia és a digitális technológiák integrálásával nem az ember helyettesítése, hanem szakértelmének kiterjesztése révén a fenntarthatóságot és a rezilienciát helyezi a középpontba. A paradigmaváltás lényege: a termék nem a faanyag, hanem az erdő, mint komplex ökoszisztéma. A megközelítés egyúttal hozzájárulhat a katasztrófavédelmi feladatok támogatásához és a kritikus infrastruktúrák védelméhez is, mivel elősegíti az erdőtüzek, viharok, aszályok és egyéb természeti veszélyek korai észlelését, a kockázatok térinformatikai alapú értékelését, valamint a gyors és megalapozott döntéshozatalt. A tanulmány bemutatja a precíziós erdőgazdálkodás kategorizálási rendszereit, ismerteti az Erdőgazdálkodás 5.0 három pillérét (ember szerepe a folyamatban, fenntarthatóság, reziliencia), valamint gyakorlati és stratégiai javaslatokat fogalmaz meg a hazai alkalmazás lehetőségeire vonatkozóan. [3]

2. A PRECÍZIÓS ERDŐGAZDÁLKODÁS FOGALMA ÉS FEJLŐDÉSI HULLÁMAI

2.1. A precíziós erdőgazdálkodás fogalma

A precíziós erdőgazdálkodás fogalma a mezőgazdasági precíziós technológiák mintájára az 1990-es évek végén, a 2000-es évek elején kezdett formálódni. Az egyik legkorábbi és legtöbbet idézett meghatározás szerint a precíziós erdőgazdálkodás „olyan tervezési és kivitelezési rendszeren alapuló gazdálkodás, amely egy adott területre vonatkozóan a legmegfelelőbb műveleteket a legmegfelelőbb helyen, a legmegfelelőbb időben és a legmegfelelőbb intenzitással végzi el”. Ez a definíció máig érvényes, ugyanakkor a technológiai eszköztár bővülésével a fogalom jelentős átalakuláson ment keresztül. [1] Corona és munkatársai (2017) több meghatározást is összegyűjtöttek. Bruce Bare és Dean (2001) szerint a precíziós erdőgazdálkodás nagy pontosságú érzékelő- és elemző eszközöket alkalmaz a helyspecifikus, gazdaságos, környezetbarát és fenntartható döntéshozatal támogatására az erdészeti értéklánc teljes egészében. Kovácsóvá és Antalová (2010) pedig úgy fogalmaznak, hogy a precíziós erdőgazdálkodás modern technológiák és módszerek alkalmazása, amelyek célja a valós idejű információk mennyiségének és minőségének növelése, ezáltal a döntéshozatal javítása. [2]

E meghatározások alapján a precíziós erdőgazdálkodás nem egyetlen technológia, hanem integrált rendszerszemlélet, amely az alábbi alapelvekre épül:

- Helyspecifikusság: a beavatkozások (pl. telepítés, pótlás, gyérítés, kitermelés) nem egységesek, hanem akár egyedenként vagy foltokban történnek.
- Adatvezéreltség: a döntéshozatal nagy felbontású, térben és időben sűrű adatokon alapul (UAV, LiDAR, IoT, harveszter-adatok). Talán itt kezdődik az egész precíziós elmélet validálása.
- Folyamatpontosság: nemcsak a mérés, hanem a kivitelezés is ellenőrizhető és optimalizálható. Fontos előrelépés, sokszor csak viszonyítási eszközökkel történik önellenőrzés.
- Integrált rendszerszemlélet: a technológiai elemek (szenzorok, szoftverek, döntéstámogatás) egységes rendszerként működnek.

2.2. A precíziós erdőgazdálkodás három fejlődési hulláma

Vatandaşlar és munkatársai (2025) a Web of Science adatbázisban indexált 210 szakcikk szisztematikus elemzésével kimutatták, hogy a precíziós erdőgazdálkodás fejlődése három jól elkülöníthető technológiai hullámban fejezhető ki. A hullámok időbeli elhatárolása a publikációs aktivitás csúcspontjait tükrözi, ugyanakkor a technológiák fejlődése folyamatos és egymásra épülő. [3]

Az első hullámot, amely 2000-2010-ig tartott a távérzékelési technológiák alkalmazhatóságának vizsgálata jellemezte. A kutatások középpontjában a LiDAR és a nagy felbontású műholdfelvételek álltak, amelyek lehetővé tették az erdőállományok háromdimenziós szerkezetének feltérképezését. Ebben az időszakban az UAV-k még kísérleti eszközök voltak, főként szenzorhordozó és technológiai validációs platform szerepben. [3]

A második hullám (2010-2020-ig) távérzékelési adatok GIS-rendszerekbe és döntéstámogató rendszerekbe (DSS) történő integrációját hozta. Észak-Európában elterjedt a harveszter-fedélzeti adatgyűjtés, amely valós idejű kitermelési adatok rögzítését tette lehetővé. Ebben az időszakban a UAV-k operatív adatgyűjtő platformmá váltak. Mérőföldkő volt az új-zélandi Scion kutatóintézet 2015-ös kísérlete, amely során LiDAR szenzort integráltak drónra, megalapozva a nagy felbontású erdészeti felméréseket. 2020-ra az új-zélandi erdészeti vállalatok több mint 80%-a alkalmazott drónokat. Ezáltal lehetőség nyílt arra, hogy valid adatokat rendszerszinten integrálják egy globális döntéstámogató rendszerbe. [3]

A jelenleg is zajló harmadik hullámot a mesterséges intelligencia (AI), az IoT-alapú szenzorhálózatok térnyerése határozza meg. Az AI lehetővé teszi a nagymennyiségű adat feldolgozását és mintázatok azonosítását, míg az IoT rendszerek valós idejű környezeti információkat szolgáltatnak. Ebben a fázisban a drónok már nemcsak adatgyűjtő eszközök, hanem részben autonóm, AI-alapú beavatkozó rendszerek (pl. célzott permetezés, magvetés, 3D modellezés, állapotfelmérés, stresszhatás vizsgálat). Holzinger és munkatársai (2024) szerint is itt kezdődik az a fejezet a 21. században, ahol a precíziós beavatkozások nem az automatizáció maximalizálását jelenti, hanem az emberi szakértelem kiterjesztését a mesterséges intelligencia biztonságos, átlátható és ellenőrizhető alkalmazásával. [4]

3. A PRECÍZIÓS ERDŐGAZDÁLKODÁS KATEGORIZÁLÁSA

A precíziós erdőgazdálkodás, mint tudományterület gyors fejlődésével párhuzamosan felmerült az igény a terület egységes szempontok szerinti kategorizálására. A szakirodalomban két, egymást kiegészítő megközelítés létezik az élvonalban.

Az egyik tematikus [3], amely arra válaszol, hogy *milyen erdőgazdálkodási feladatokban* használják a technológiákat. A másik szemléleti/alkalmazási, amely arra válaszol, hogy *hogyan* építik be az embert a technológiai folyamatokba. Jelen fejezet e két kategorizálási rendszert mutatja be részletesen, majd azokat ártértékelve, bemutat egy egyedi átlátható és integrálható szintézisként egy funkcionális, erdőgazdálkodási folyamatokat követő ötkategóriás modellt a hazai szakemberek igényeihez igazodva. [4]

3.1. Vtandaszlar és munkatársai (2025): tematikus kategóriák

Vatandaslar és szerzótársai a Web of Science adatbázisban indexált 210 szakcikk szisztematikus elemzésével hat fő kategóriát és nyolc technológiai komponenst azonosítottak. A vizsgált publikációk időbeli eloszlása egyértelmű növekedést mutat a 2010-es évek elejétől, ami egybeesik a kisebb méretű UAV-k és a mobil szenzortechnológiák robbanásszerű fejlődésével.

3.1.1. A hat fő kategória

A táblázatból jól látható, hogy a precíziós erdőgazdálkodás kutatásának túlnyomó része (közel 70%) az erdőgazdálkodás és tervezés, valamint a kitermelés és szállítás területére koncentrálódik. Az erdővédelmi és természetvédelmi alkalmazások aránya mindössze 6,6% (1. táblázat). Ez a megoszlás azt jelzi, hogy a fejlődést hosszú ideig a gazdasági, faanyag-központú megközelítés dominálta, ami a klímaváltozás és az ökoszisztéma-szolgáltatások felértékelődése miatt egyre kevésbé fenntartható.

Kategória	Magyarázat	Publikációk aránya
1. Forest management and planning (Erdőgazdálkodás és tervezés)	LiDAR-alapú leltár, növekedésmodellezés, ütemezés	48,0%
2. Harvesting operations and transportation (Kitermelés és szállítás)	Harveszter-adatgyűjtés, útvonaloptimalizálás	19,5%
3. Other (Egyéb – több kategóriát érintő)	Több kategóriába tartozó vagy általános jellegű	12,9%
4. Silvicultural operations (Erdőművelési műveletek)	Ültetés, gyomirtás, ápolás	8,6%
5. Forest conservation (Erdővédelem)	Talajtömörödés vizsgálata, kár és kórokozók felmérése, élőhelyterképezés, tüzmgelőzés	6,6%
6. Technologies to meet forest industry demand (Faipari igények)	Rönkminőség-értékelés, CT-szkennelés	2,9%

1. táblázat: Vtandaslar és munkatársai által azonosított precíziós erdőgazdálkodás kategorizálása (2025) (Forrás: [3])

3.1.2. A nyolc technológiai komponens

A fő kategóriákat kiszolgáló eszközök, rendszerek és precíziós eszközrendszerek meghatározása fontos tényezője annak, hogy megértsük a kategorizálás lényegét. Kategórián belül több komponens is lehet, úgy ahogy egy művelet során a lehető legmegfelelőbb technológiát alkalmazva törekszünk a precizitásra, itt értelmezhető a precíziós erdőgazdálkodás paradigmája. A szisztematikus áttekintés során Vtandaslar és munkatársai a következő nyolc technológiai komponenst azonosították a precíziós erdőgazdálkodásban:

1. Távérzékelési platformok és szenzorok - Remote sensing platforms and sensors (pl; LiDAR, multispektrál kamerák – a leggyakrabban használt komponens (a vizsgált cikkek több mint fele)
2. Helymeghatározás és vezeték nélküli kommunikációs technológiák (GNSS and wireless systems)
3. Térinformatikai és tervezőszoftverek - GIS and CAD software
4. Valós idejű folyamatvezérlő szkennerek - (pl. RFID, talajszenzorok, szondák, meteorológiai állomások)
5. Robotikai technológiák – a legkevésbé használt (a cikkek mindössze 1,4%-a)
6. Vizualizációs / megjelenítő eszközök (VR, AR, digitális ikrek (nem össze keverendő a pontfelhőkkel)) – szintén nagyon ritka
7. Kiterjedt tudásbázisok– Power BI, Power Apps, Trello (döntéstámogató rendszerek, növekedési modellek)
8. (több komponens kombinációja)

Vatandaşlarék kiemelik, hogy a robotika és a valós idejű folyamatvezérlés alulhasznosított, elsősorban a szélsőséges erdei körülmények és a magas implementációs költségek miatt. Ugyanakkor a távérzékelés különösen a drónok és a LiDAR dominanciája egyértelmű, ami a terület jelenlegi kutatási fókuszát is meghatározza.

3.2. Holzinger és munkatársai (2024) által meghatározott kategorizálás

Holzinger és munkatársai a kategorizálást nem témák, hanem konkrét alkalmazási területek és ember–gép interakciós minták szerint csoportosítják. Minden kategória az „ember a hurokban” (human-in-the-loop) elvére épül, amely az Erdőgazdálkodás 5.0 egyik alapvető jellemzője. Az alábbi táblázat összefoglalja a legfontosabb alkalmazási eseteket (2. táblázat):

Alkalmazási terület	Mit jelent?	Ember szerepe
Fajazonosítás (Tree species identification)	AI segíti a fajfelismerést (LiDAR, multispektrál kamerák)	Ellenőrzi és validálja az AI eredményeit
Fa minőségének értékelése (Tree quality assessment)	Automatizált minőségbecslés, osztályozás	Dönt a termelésről az AI javaslata alapján
Automatizált gyérítés ((thinning) Automated tree selection)	Algoritmus javasol beavatkozási pontokat	Jóváhagyja vagy módosítja a kiválasztást
Automatizált kitermelés (Automated harvesting)	Távvezérelt vagy részben autonóm gépek	Operátor a hurokban, felügyeli a folyamatot
Faanyag-szállítás optimalizálása (Wood transport optimization)	AI optimalizál útvonalat, terhelést, ütemezést	Logisztikus irányít, beavatkozik szükség esetén
Erdőkárok detektálása (Forest damage detection)	Korai előrejelzés (tűz, kártevő) szenzorok és AI alapján	Ember dönt a beavatkozásról és a védekezésről
Erdőfelújítás (Reforestation)	Drónos magvetés AI által kijelölt helyeken	Emberi felügyelet, helyi ökológiai ismeretek integrálása
Tápanyag-utánpótlás (Fertilizing)	Célzott tápanyag-kijuttatás AI-alapú állapotfelmérés alapján	Szakember ellenőrzi a javaslatot

2. táblázat: Holzinger és munkatársai (2024) által azonosított kategóriák a precíziós erdőgazdálkodás területén (Forrás: [3])

Holzingerék hangsúlyozzák, hogy a fenti alkalmazások mindegyikében a technológia az emberi szakértelmet egészíti ki, nem pedig helyettesíti. Ez a megközelítés különösen fontos az erdőgazdálkodásban, ahol a döntéseknek számos szempontot (ökológiai, gazdasági, társadalmi) kell figyelembe venniük, és ahol a terepi munka kockázatai és az infrastruktúra-hiány miatt a teljes automatizáció nem járható út. A fenti kategorizálás erősen faanyag hasznosítás orientált, itt a tudományos művek túlnyomó része ültetvényszerű gazdálkodás optimalizálását tartja szem előtt.

3.3. A két kategorizálás viszonya

Vatandaşlar kategóriái megadják a „mit”: azokat a feladatköröket, amelyekben a precíziós technológiák megjelennek. Holzinger kategóriái megadják a „hogyan”: és azt, hogy ezek a technológiák hogyan kapcsolódnak az emberi döntéshozatalhoz. A kettő nem verseng, hanem kiegészíti egymást. Egy gyakorlati példával élve: Vatandaşlar „harvesting operations” kategóriája szerint az automatizált kitermelés is úgy valósul meg, hogy az emberi kezelő, mint döntéshozó a folyamatban végig a hurokban marad. [4]

3.4. A hazai erdőkezelésre, mint kritikus infrastruktúrára kivethető szintézis: funkcionális, ötkategóriás modell

Mivel a fent megfogalmazott két kategorizálási mód a hazai viszonylatokban és globálisan sem kivethető elemeket tartalmaz, így ezek integrálhatósági szempontok szerinti felülvizsgálása indokolt és előremutató. Saját szintéziseként (3. táblázat) a hazai szakemberek igényeihez igazodva, integrálási nehézségeket figyelembe véve a fenti két nemzetközi keretrendszerre [3,4] építve egy funkcionális, erdőgazdálkodási folyamatokat követő ötkategóriás rendszer megfogalmazása szükséges. Ez a modell nem technológia-centrikus, hanem folyamat-centrikus, ami azt jelenti, hogy minden erdőkezelési tevékenység könnyen elhelyezhető az öt lépcső valamelyikében.

Kategória	Magyarázat	Példatechnológiák
1. Adatgyűjtés és monitoring	Térbeli és időbeli adatok előállítása a vegetációról.	UAV, LiDAR, multispektrális kamera, IoT szenzorok
2. Tervezés és döntéstámogatás	Az adatok feldolgozása, elemzése, kimutatások és előrejelzések készítése. Az adatgyűjtési szakaszt követően az adatok nem adatsílokból végzik, hanem integráltan beépülnek.	GIS, AI-alapú modellek, digitális ikrek, DSS, Microsoft Power BI, Power Apps
3. Műveletvégzés és kivitelezés	Beavatkozások végrehajtása a tervek alapján.	Autonóm traktor, csemete ültetőgép, RTK adatvezérelt ápoló-tisztító gép, harveszter, drónos permetezés/magvetés
4. Logisztika és anyagmozgatás	Anyagmozgatás, készletkezelés útvonaltervezés, útkarbantartás és építés.	RFID, útvonaloptimalizáló AI, kéméletesség
5. Ellenőrzés, nyomon követés és jelentés	A végrehajtott műveletek hatásainak értékelése, jogszabályi megfelelés	Változásfigyelő rendszerek, blokklánc-alapú nyomon követhetőség

3. táblázat: Nemzetközi keretrendszerek alapján, a hazai viszonyokra tekintve adaptálható precíziós erdőgazdálkodási kategorizálás (Forrás: saját táblázat)

Továbbá egy műveleti sorrendet is meghatároz, amely mentén végig haladva kategóriánként állnak rendelkezésre a rendszerezett és az adott műveleti szakaszra legmegfelelőbb innovációs eszközök és döntéstámogatási rendszerek. A kategóriák értelmezhetőek külön egységekként is, mindegyik szakasz komplex és ehhez mérten igényel széleskörű látásmódot a megfelelő hatékonyság eléréséhez. Az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmája mindegyik szakaszban érvényesül, mivel az emberi döntéshozatal és felügyelet minden lépésben jelen van („ember a hurokban”). A modell a hazai erdőkezelési gyakorlatban is könnyen alkalmazható, mivel illeszkedik a meglévő integrálatlan rendszerek áthidalhatóságához és egyéb nyilvántartási folyamatokhoz, miközben lehetővé teszi az ökoszisztéma számára fajsúlyos kezelési szempontok integrálását is.

4. ERDŐGAZDÁLKODÁS 5.0 PARADIGMÁJA

4.1. Az Erdőgazdálkodás 5.0 fogalma és kialakulása

Az Erdőgazdálkodás 5.0 kifejezés az Ipar 5.0 erdészeti adaptációjaként értelmezhető. Míg az Ipar 4.0 paradigmáját az automatizáció és a mesterséges intelligencia térnyerése jellemezte, amelynek egyik fő iránya az emberi munkaerő kiváltása volt, addig az Ipar 5.0 egy emberközpontú megközelítést képvisel, amely nem az ember helyettesítésére, hanem képességeinek kiterjesztésére törekszik. Ennek megfelelően értelmezhető annak kivetítése az erdőgazdálkodásra is.

Ahogy Holzinger és munkatársai fogalmazták [4]:

„Whilst Industry 4.0 was driven by the great successes in AI and the associated urge to automate everything to replace humans, Industry 5.0 propagates a human-centred AI approach that no longer wants to replace humans but rather augment them.”

Az Erdőgazdálkodás 5.0 ennek megfelelően nem az automatizáció maximalizálását jelenti, hanem az emberi szakértelem kiterjesztését a mesterséges intelligencia biztonságos, átlátható és ellenőrizhető alkalmazásával. Ez a megközelítés különösen releváns az erdőgazdálkodásban, ahol a döntéseknek egyszerre kell ökológiai, gazdasági és társadalmi szempontokat integrálniuk, miközben a terep és környezet korlátozottan automatizálható. [4] A hazai erdőgazdálkodás eszközzrendszere mint a drónok, a távérzékelés és a különböző térinformatikai rendszerek már jelen vannak, de ezek integrált, az embert középpontba állító alkalmazása a Erdőgazdálkodás 5.0 szellemiségében még gyerekcipőben jár. [5] A robotizáció és az autonóm gépek széles körű elterjedése, valamint a mesterséges intelligencia döntéstámogató rendszerekbe való integrálása hazánkban még várat magára. Az Erdőgazdálkodás 5.0 nem a technológiai fejlődés tagadása, hanem annak újrapozicionálása: a technológia az emberi döntéshozatalt támogatja, nem helyettesíti. Ez a szemléletváltás különösen fontos a természetvédelmi szempontok előtérbe kerülésekor, ahol a szakmai döntéseknek számos, nehezen számszerűsíthető tényezőt kell figyelembe venniük. Mindent összevetve a Erdőgazdálkodás 5.0 egy olyan emberközpontú keretrendszer az erdőgazdálkodás számára, amely a mesterséges intelligencia és a digitális technológiák integrálásával nem az ember helyettesítése, hanem szakértelmének kiterjesztése révén a fenntarthatóságot és a rezilienciát helyezi a középpontba, miközben az ember végig a döntési folyamat része marad (human-in-the-loop), melynek célja nem a faanyag maximalizálása, hanem az erdő, mint komplex ökoszisztéma hosszú távú stabilitásának és szolgáltatásainak fenntartása.

4.2. Az Erdőgazdálkodás 5.0 három pillére

Három alapvető pillér határozható meg: emberközpontúság (human-centric), fenntarthatóság (sustainable) és reziliencia (resilient). Ezek egymással szorosan összefüggő, egymást erősítő rendszerelemek.

4.2.1. Human-centric (emberközpontú megközelítés)

Az emberközpontúság az Erdőgazdálkodás 5.0 alapelve.

Ennek lényege, hogy:

- a technológia a szakembert támogatja, nem helyettesíti;
- az AI-rendszerek definiálhatóak (értelmezhető AI);
- az AI döntései minden esetben felülbírálhatók (ellenőrizhető AI);
- a rendszerek megbízhatóak és biztonságosak (biztonságos és megbízható AI);
- az ember végig a döntési folyamat része marad (human-in-the-loop).

Ez biztosítja, hogy a technológiai támogatás ne csökkentse, hanem erősítse a szakmai felelősséget. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy amikor egy AI-alapú döntéstámogató rendszer például művelet végrehajtási javaslatot tesz, a szakember saját terepi ismeretei alapján felülbírálhatja azt, ha a helyi ökológiai viszonyok mást kívánnak.

4.2.2. Sustainable (fenntarthatóság)

A fenntarthatóság pillére azt jelenti, hogy a döntéshozatal nem kizárólag gazdasági, hanem ökológiai és társadalmi szempontokat is integrál:

- Ökológiai fenntarthatóság: biodiverzitás, ökoszisztéma, talaj- és vízkészletek védelme
- Gazdasági fenntarthatóság: a gazdálkodás terméke egyre inkább az erdő, mint sem a faanyag, ugyanakkor elengedhetetlen a faanyagtermelés fenntartása, de nem kizárólagos célként
- Társadalmi fenntarthatóság: rekreációs, kulturális és egészségügyi funkciók megőrzése, fokozása, mérlegének átgondolása

Ebben a megközelítésben az erdő nem csupán erőforrás, hanem komplex ökoszisztéma, amelynek működőképessége elsődleges érték. Ez a pillér szorosan kapcsolódik a „termék az erdő” paradigmához, amely a jelen tanulmány egyik központi üzenete, tudományos publikációk között első tudományos megfogalmazása.

4.2.3. Resilient (reziliens rendszer)

A reziliencia az erdészeti rendszerek alkalmazkodóképességét jelenti:

- klímaváltozáshoz való alkalmazkodás (aszály, szélsőséges időjárás);
- kártevők és betegségek gyors felismerése és kezelése;
- tűz- és viharkockázatok előrejelzése;
- ökoszisztéma-szintű stabilitás fenntartása.

A reziliens erdőkezelés lényege, hogy a rendszer nemcsak reagál a változásokra, hanem előre is képes azokat modellezni és kezelési javaslatot szolgáltatni [3][4]. Vatandaşlar és munkatársai (2025) kutatása szerint a precíziós erdőgazdálkodás kutatásának mindössze 6,6%-a foglalkozik erdővédelmi témákkal [3], ami azt jelzi, hogy a reziliencia kérdésköre különösen a klímaváltozás kontextusában további kutatásokat igényel.

A tűz- és viharkockázatok előrejelzése kiemelt katasztrófavédelmi jelentőséggel bír, hiszen az erdőtüzek egyre gyakrabban jelentenek veszélyt az erdei ökoszisztémákra és a lakott területekre egyaránt. A precíziós monitoring rendszerek (pl. IoT szenzorok, drónos felderítés) lehetővé teszik a tűzveszélyességi indexek valós idejű számítását és a korai figyelmeztető rendszerek működtetését. [7]

Előremutató célként tartom fontosnak egy olyan erdő-reziliencia index kidolgozása után annak kivetítését az erdőkezelés egészére, ami előtérbe helyezi az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájának egyik meghatározó üzenetét, *miszerint az ökoszisztéma-reziliencia pozitívan korrelál a rendelkezésre álló megfelelő tudás birtokában meghozott döntések következményeivel*. Amint azt több releváns szakirodalom is alátámasztja, a kritikus infrastruktúra elemek védelmében többek között a jogi szabályozás és a felsőoktatási képzés összhangja elengedhetetlen a szervezetek hosszú távú ellenálló képességének kialakításához. Ez a felismerés az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájában is központi szerepet játszik, ahol az emberi döntéshozatal és a technológiai támogatás szintén a rendszer rezilienciáját erősíti. [6]

4.4. Human-Centered Artificial Intelligence az erdőgazdálkodásban

Az Erdőgazdálkodás 5.0 sikeres megvalósításának kulcsa a Human-Centered Artificial Intelligence (HCAI), amely az emberi felhasználó köré épített mesterséges intelligencia rendszereket jelenti. Ez a megközelítés biztosítja, hogy az AI ne autonóm döntéshozóként, hanem szakmai asszisztensként működjön. A hazai erdőgazdálkodásban a HCAI elveinek alkalmazása még kezdeti stádiumban sincs, a meglévő rendszerek (pl. Erdészeti Szakmai Rendszer (ESZR)) döntően adatrögzítő, nem pedig döntéstámogató funkciókat látnak el. [5]

4.5. A paradigmaváltás lényege

Az Erdőgazdálkodás 5.0 nem csupán technológiai, hanem szemléleti fordulat is. Lényege három alapvető tételben foglalható össze:

„A termék nem a faanyag, hanem az erdő”

A központi gondolat szerint az erdőgazdálkodás célja nem a faanyag maximalizálása, hanem az erdei ökoszisztéma hosszú távú működőképességének fenntartása. A faanyag csupán egy az ökoszisztémában keletkezett hasznosítható anyag a számos kimenetel közül. Ez a szemléletváltás különösen időszerű, ugyanis az ökológiai szempontok stratégiai prioritássá válnak.

A kitermelés, mint eszköz

A kitermelés nem önálló cél, hanem az erdődinamika szabályozásának eszköze. Csak akkor indokolt, ha az az erdő egészségi állapotát, természetes felújulását vagy rezilienciáját szolgálja. Ez a megközelítés gyökeresen eltér a hagyományos, hozamoptimalizáló szemlélettől, amely Vatanaslar és munkatársai (2025) szerint a precíziós erdőgazdálkodási kutatások túlnyomó részét jellemezte. Kihangsúlyoznám, hogy Magyarország berendezkedése nem megfelelő a drasztikus paradigmaváltások bevezetésére, ugyanakkor a folyamatok rendezettsége és a hazai szakemberek szemléletformálása kell, hogy az első lépés legyen a megfelelően biztosított átállás esetleges megkezdéséhez is.

A szakemberek szerepének átalakulása

A szakember szerepe a megszokottaktól eltérően egyfajta ökoszisztéma-menedzserré alakul. Feladata az erdő állapotának fenntartása és javítása, amelyhez a precíziós technológiák (UAV, LiDAR, AI, IoT) adatokat és döntéstámogatást biztosítanak, de a felelősség továbbra is emberi marad. Ez a szerepváltás megkívánja a képzési rendszerek átalakítását is, hogy a jövő erdőkezelői rendelkezzenek a szükséges ökológiai tudás mellett, a megfelelő digitális kompetenciákkal. Az eddigi feladatok fontossága nem hagyható figyelmen kívül, ugyanakkor a paradigmaváltás részeként azokat újraértékelve arra törekvés és megfelelő motiváció elengedhetetlen. Erdőgazdálkodás 5.0 olyan integrált paradigma, amely a precíziós erdőgazdálkodás technológiai eszköztárát az emberközpontúság, a fenntarthatóság és a reziliencia elvei mentén újrapozicionálja. A technológia nem a humán erőforrások kiváltását, hanem szakmai képességeinek kibővítését szolgálja.

A végső cél nem a faanyag maximalizálása, hanem az erdei ökoszisztéma hosszú távú stabilitásának és sokrétű szolgáltatásainak megőrzése. Az Erdőgazdálkodás 5.0 eszközrendszere már sok esetben rendelkezésre áll, drasztikusabb lépésként szükséges ezen technológiák szellemiségében történő integrált alkalmazása, ahol az ember a folyamat középpontjában marad. Ez a következő évtized egyik legnagyobb kihívása és lehetősége a hazai erdőgazdálkodás számára. [5]

5. GYAKORLATI ÉS STRATÉGIAI JAVASLATOK AZ INTEGRÁCIÓ SORÁN

Az előző fejezetekben bemutatott elméleti keret a precíziós erdőgazdálkodás három hulláma, a Erdőgazdálkodás 5.0 paradigma, valamint az ökológiai célú újraértelmezés csak abban az esetben válik valódi változás forrásává, ha gyakorlati, stratégiai szintű javaslatokká fogalmazódik. A következőkben négy szinten (stratégiai, operatív, személyzeti és jogszabályi) fogalmazok meg konkrét, megvalósítható javaslatokat az Erdőgazdálkodás 5.0 hazai bevezetésére.

5.1. Stratégiai szint

Erdőgazdálkodás 5.0 integrálása a Nemzeti Erdőstratégiába (NES 2016-2030)

A Nemzeti Erdőstratégia következő felülvizsgálatakor az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmát explicit módon be kell építeni a stratégiai dokumentumba. Ennek részeként:

- A faanyag-központú mutatók mellé **ökoszisztéma-szolgáltatási mutatókat** kell bevezetni (erdő reziliencia index).
- A stratégia rögzítse, hogy a precíziós technológiák alkalmazásának elsődleges célja a reziliencia-növelési feladatok támogatása.
- Határozzon meg országos szintű indikátorokat az Erdőgazdálkodás 5.0 előrehaladásának mérésére.

Digitális monitoring rendszerek kiépítése elsődlegesen a védelmi rendeltetésű erdők esetében

A védelmi rendeltetésű erdők (pl, nemzeti parkok területei, Natura 2000 területek) számára kötelezővé kell tenni egy digitális monitoring rendszert, amely magában foglalja:

- Évente legalább egyszeri légi (drónos, repülőgépes, műholdas) ortofotó-felvétel átlali felülvizsgálat a kritikus területeken, stresszhatás vizsgálat beavatkozási műveletek előtt és után, 3-5 évenkénti LiDAR-alapú állapotfelmérést.
- IoT szenzorok telepítését a legsérülékenyebb területeken (talajnedvesség, tűzveszély, mikroklíma). Az így nyert adatok közvetlenül támogathatják a katasztrófavédelmi szervek munkáját, biztosítva a tűz- és aszálykockázatok korai felismerését és a riasztási rendszerek működtetését.

Adatvezérelt tervezés

Az Országos Erdőállomány Adattár által nyilvántartott adatok, valamint a kapcsolódó művelési előírások és kezelési tervek jövőbeni aktualizálását célszerű adatvezérelt módszertanra alapozni. Ennek lényege, hogy a döntéshozatal ne kizárólag szakmai becsléseken, hanem nagyméretű, kvantitatív és térben explicit adatokon nyugaljon.

Az adatvezérelt megközelítés lehetővé teszi, hogy az erdészeti és természetvédelmi tervezés során:

- a beavatkozások és állapotértékelések térinformatikai és szenzoros adatokra épüljenek,
- a kezelési tervek objektív, mérhető indikátorok alapján kerüljenek meghatározásra (NDMI, NDWI, NDVI indexek),
- a monitoring rendszerek pedig egységes adatgyűjtési, feldolgozási és értékelési protokoll szerint működjenek.

A monitoring adatok feldolgozásához és kiértékeléséhez standardizált eljárásrend kialakítása szükséges, amely biztosítja az adatok összehasonlíthatóságát, reprodukálhatóságát és hosszú távú elemezhetőségét. A végrehajtott műveleteket és beavatkozásokat követően minden esetben indokolt az utólagos hatásvizsgálat, amely precíziós technológiák alkalmazásával objektíven értékeli a beavatkozások ökológiai és szerkezeti hatásait.

5.2. Operatív szint

Országos erdészeti drónrendszer kiépítése

Javasolt egy központi koordinációjú, de decentralizáltan működő országos erdészeti drónrendszer létrehozása:

- A rendszer az állami erdőgazdaságok és a nemzeti park igazgatóságok drónkapacitásait fogja össze.
- A felvételek és feldolgozott adatok egy központi adatbázisba kerülnek, amelyhez minden érintett hozzáfér, jogosultsági körök meghatározásával.

AI-alapú döntéstámogató platform fejlesztése

A jelenlegi erdészeti informatikai rendszerek (pl, ESZR) mellett szükség van egy AI-alapú döntéstámogató platformra, amely:

- Integrálja a távérzékelési, IoT adatokat.
- Képes előre jelezni a kockázatokat (tűz, kártevő, aszály).
- Javaslatokat tesz a beavatkozásokra (gyérítések, inváziós fajok visszaszorítása, természetes felújulás támogatása) a végső döntés azonban az emberé marad (human-in-the-loop)

IoT szenzorhálózatok kiépítése a legsérülékenyebb területeken

A klímaváltozás által leginkább veszélyeztetett erdőterületeken (pl. alacsony tengerszint feletti magasságon fekvő bükkösök) IoT szenzorhálózatokat kell kiépíteni:

- Talajnedvesség-mérők.
- Hőmérséklet- és páratartalom-érzékelők.
- Tűzveszélyességi indexet számító automatizált állomások, példának okáért a hagyományos tűzvédelmi monitoring tornyokat DJI Dock 3 Station biztosította megfelelő drónjárőr szolgálattal leváltani.

5.3. Személyzeti és oktatási szint

Képzés modernizálása

A felsőfokú képzések (Soproni Egyetem) tantervét át kell alakítani, hogy a hallgatók az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájának megfelelő tudást kapjanak:

- Digitális kompetenciák erősítése: UAV-kezelés, GIS, LiDAR adatfeldolgozás, AI alapjai.
- Ökológiai rendszergondolkodás: ökoszisztéma-szolgáltatások, biodiverzitás mérése, klímaadaptáció.
- Adatvezérelt döntéshozatal: monitoring adatok értelmezése, előrejelzések használata.

Mivel a hazai erdőgazdálkodásban a precíziós technológiák már jelen vannak, de az integrált alkalmazásukhoz szükséges készségek fejlesztése még várat magára ezért nagy hangsúlyt kell fektetni a potenciális szakemberek továbbképzésére.

Továbbképzési programok az Erdőgazdálkodás 5.0 szemléletre

A már aktív erdőgazdálkodók számára **továbbképzési programokat** kell indítani:

- **Alapszint:** drónkezelés, alapvető térinformatikai rendszerek felhasználó szintű ismeretei, az Erdőgazdálkodás 5.0 szemlélet ismertetése.
- **Középszint:** LiDAR adatfeldolgozás, AI-alapú döntéstámogató rendszerek használata.
- **Felsőfok:** komplex látásmód, projekt alapú szemlélet, ökoszisztéma-menedzsment, prediktív modellezés.

Természetvédelmi szakemberek és erdőgazdálkodók közös képzése

Az Erdőgazdálkodás 5.0 sikeres bevezetéséhez elengedhetetlen a természetvédelmi szakemberek és erdőgazdálkodók közös képzése:

- Közös továbbképző programok, ahol mindkét szakterület képviselői megismerik a másik szempontjait és eszközeit.
- Közös terepi gyakorlatok, ahol a drónos monitoring és a természetvédelmi célú beavatkozás együttműködését gyakorolják.

5.4. Jogsabályi és szabályozási szint

Drónszabályozás, standardizálás a monitoring céljára

A jelenlegi EU-s és hazai drónszabályozás (EU 2019/947) szigorú keretek közé szorítja a drónhasználatot. Javasolt:

- A nemzeti parkok és erdőgazdaságok számára keretengedély biztosítása a rendszeres monitoring repülésekhez a saját területeiken.

Adatkezelési keretek harmonizációja

A különböző természetvédelmi és erdőgazdálkodási adatok jelenleg különböző rendszerekben (ESZR, NÉBIH, nemzeti parki adatbázisok) más szinteken vannak nyilvántartva.

- Egységes **adatformátumok** és **metaadat-szabványok** bevezetése.
- A különböző rendszerek közötti **automatikus adatkapcsolatok** kiépítése.
- Egy **központi, nyílt hozzáférésű adatplatform** létrehozása az Erdőgazdálkodás 5.0 monitoring adatai számára.

Ösztönzők az Erdőgazdálkodás 5.0 technológiák alkalmazására

Az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájának elterjedését **gazdasági ösztönzőkkel** is támogatni kell:

- Pályázati források a precíziós eszközök (drónok, LiDAR szenzorok, IoT hálózatok) beszerzésére.
- Adókedvezmény vagy támogatás azoknak az erdőgazdálkodóknak, akik a faanyag-központú mutatók mellett **ökoszisztéma-szolgáltatási mutatókat** is jelentenek.

5.5. Kapcsolódás az európai uniós stratégiákhoz

Az Erdőgazdálkodás 5.0 hazai bevezetése nemzetközi kontextusban is értelmezhető. Az alábbi uniós stratégiákhoz kell kapcsolódni (4. táblázat):

Stratégia	Kapcsolódási pont a Erdőgazdálkodás 5.0-hoz
EU Forest Strategy 2030	A stratégia célja a fenntartható erdőgazdálkodás és az erdei ökoszisztémák egészségének javítása – a Erdőgazdálkodás 5.0 eszközrendszerrel ad ehhez.
EU Biodiversity Strategy 2030	A biodiverzitás védelme érdekében növelni a védelmi rendeltetésű erdők arányát – az Erdőgazdálkodás 5.0 eszközeivel a bővítés adatvezérelt lehet
Nature Restoration Law	A természet-helyreállítási jogszabály előírja az erdei ökoszisztémák állapotának javítását – az Erdőgazdálkodás 5.0 adatvezérelt alapot biztosít a helyreállítási intézkedésekhez.
EU Digital Strategy	A digitális átállás támogatása – az Erdőgazdálkodás 5.0 a digitális technológiák erdészeti alkalmazása.

4. táblázat: Belépési pontok azonosítása a globális környezetbe az Erdőgazdálkodás 5.0 kapcsán (Forrás: saját szerkesztés)

Magyarország aktívan pályázhat uniós forrásokra az Erdőgazdálkodás 5.0 infrastruktúrájának kiépítéséhez (pl. Közös Agrárpolitika EKV II.).

6. KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. A tanulmány főbb megállapításai

A precíziós erdőgazdálkodás és az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigma hazai bevezetésének lehetőségeit vizsgáló tanulmány a nemzetközi szakirodalom és a hazai gyakorlati tapasztalatok szintézisére építve az alábbi főbb következtetések levonását teszi lehetővé:

A precíziós erdőgazdálkodás technológiai alapjai rendelkezésre állnak

Az elmúlt két évtizedben kiépült egy olyan technológiai eszköztár (UAV, LiDAR, GIS, AI, IoT), amely alkalmas a precíziós erdőgazdálkodás minden feladatának ellátására. Vatandaşlar és munkatársai (2025) szisztematikus áttekintése szerint a távérzékelési platformok és szenzorok a leggyakrabban használt komponensek, míg a robotika és a valós idejű folyamatvezérlés alulhasznosított, elsősorban a változatos erdei körülmények és a magas költségek miatt. A hazai erdőgazdaságok és erdőgazdálkodók többsége rendelkezik alapvető digitális infrastruktúrával (ESZR, GIS), és a drónok használata is egyre elterjedtebb.

Az ökológiai szempontok előtérbe kerülése új célrendszert ad a technológiáknak

Magyarország erdőpolitikájában fordulópontot jelent a természetvédelmi szempontok stratégiai prioritássá válása. A hagyományos, faanyag-központú precíziós eszközök erre a kihívásra nem adnak megfelelő választ, szükség van a célrendszer újradefiniálására. Ahogy Corona és munkatársai (2017) már korán felismerték, a precíziós erdőgazdálkodás egyik alapvető célja a fenntarthatóság támogatása kell, hogy legyen. [2]

Az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigma a technológia és természetvédelem közötti híd

Az Erdőgazdálkodás 5.0 olyan keretrendszert kínál, amely a precíziós technológiákat nem a faanyag-kihozatal maximalizálására, hanem az erdei ökoszisztémák stabilitásának fenntartására használja. Holzinger és munkatársai (2024) szerint az Erdőgazdálkodás 5.0 három pillére emberközpontúság (human-centric), fenntarthatóság (sustainable) és reziliencia (resilient) alkalmas arra, hogy a technológiai lehetőségeket a természetvédelmi célokkal összehangolja. [4]

A szemléletváltás középpontjában az ökoszisztéma áll

Az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájának lényege: a termék nem a faanyag, hanem az erdő. Ez nem a faanyag szerepének tagadása, hanem annak rendszerszintű újraértelmezése. Az erdőkezelés célja nem a faanyag maximalizálása, hanem az erdei ökoszisztéma hosszú távú stabilitásának és szolgáltatásainak fenntartása. Taylor és munkatársai (2002) eredeti definíciója, amely a precíziós erdőgazdálkodást a helyspecifikus, gazdaságos és környezetbarát döntéshozatal eszközeként határozta meg ma már kiegészítésre szorul az ökológiai szemlélettel.

A fejlődés építkezés, nem újrakezdés

Az Erdőgazdálkodás 5.0 bevezetése nem igényli a meglévő rendszerek elvetését. A precíziós eszköztár (UAV, LiDAR, GIS, AI, IoT) megőrzendő és továbbfejlesztendő. A hazai erdőgazdálkodásban a precíziós technológiák már jelen vannak, de az integrált alkalmazásukhoz szükséges szemléletváltás még várat magára. A változás nem a technológiában, hanem a szemléletben és a célrendszerben van.

6.2. Záró gondolatok

Az Erdőgazdálkodás 5.0 nem maradhat csupán egy technológiai projekt, hanem nemzeti erdő- és ökoszisztéma-stratégia kell, hogy legyen. Bevezetése nem egy-egy erdőgazdaság vagy nemzeti park feladata, hanem ágazati szintű összefogást igényel. A stratégiai, operatív, személyzeti és jogszabályi szinteken megfogalmazott javaslatok csak akkor válhatnak valódi változássá, ha a döntéshozók, az erdőgazdálkodók, a természetvédelmi szakemberek és a kutatók együttműködnek.

A klímaváltozás korszakában az erdő már nem egyszerűen erőforrás, hanem meghatározó kritikus infrastruktúra, olyan infrastruktúra, amely tiszta levegőt, vízvisszatartást, élőhelyet, védelmet és szén-dioxid-megkötést biztosít. És mint minden infrastruktúra, ez is megfelelő karbantartást, modern technológiát és hosszú távú gondolkodást igényel.

A jelen tanulmányban bemutatott nemzetközi szakirodalmak és hazai gyakorlati tapasztalatok alapján egyértelművé válik, hogy a precíziós erdőgazdálkodás fejlődésének következő lépcsőfoka az Erdőgazdálkodás 5.0 paradigmájának hazai adaptációja. Ez nem csupán technológiai kérdés, hanem egyfajta kötelesség is.

A technológia adott. A tudás részben adott, elsajátítható. A természetvédelem iránytű. A kérdés már csak az: élünk-e a lehetőséggel, és megteremtjük-e Magyarországon az Erdőgazdálkodás 5.0 feltételeit.

Az Erdőgazdálkodás 5.0 hazai bevezetése lehetőséget teremt arra, hogy a magyar erdők hosszútávon fenntartható módon, reziliens szemlélettel és technológiai támogatással kerüljenek kezelésre. Ennek elmaradása ugyanakkor a jelenlegi reaktív kárelhárítási gyakorlat fennmaradását és az ökológiai krízisek súlyosbodását eredményezheti. A paradigmaváltás sikeressége a stratégiai döntések időben történő meghozatalán és a szakmai együttműködés erősítésén múlik.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Taylor, S. E., Veal, M. W., Grift, T. E., McDonald, T. P., & Corley, F. W. (2002). Precision Forestry: Operational Tactics for Today and Tomorrow. In *Proceedings of the International Meeting of the Council on Forest Engineering*, Auburn, Alabama, USA.
- [2] Corona, P., Chianucci, F., Quatrini, V., Civitarese, V., Clementel, F., Costa, C., Floris, A., Menesatti, P., Puletti, N., Sperandio, G., Verani, S., Turco, R., Bernardini, V., Plutino, M., & Scrinzi, G. (2017). Precision Forestry: riferimenti concettuali, strumenti e prospettive di diffusione in Italia. *Forest@*, 14, 1–21. [Online]. Elérhetőség: https://www.researchgate.net/publication/314103811_Precision_forestry_concepts_tools_and_perspectives_in_Italy (2026.07.26.)
- [3] Vatandaşlar, C., Boston, K., Ucar, Z., Narine, L. L., Madden, M., & Akay, A. E. (2025). Precision Forestry Revisited: A Systematic Review of Two Decades of Research. *Remote Sensing*, 17 (20), 3465. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/rs17203465> (2026.07.17.)
- [4] Holzinger, A., Schweier, J., Gollob, C., Nothdurft, A., Hasenauer, H., Kirsits, T., Häggström, C., Visser, R., Cavalli, R., Spinelli, R., & Stampfer, K. (2024). From Industry 5.0 to Forestry 5.0: Bridging the Gap with Human-Centered Artificial Intelligence. *Current Forestry Reports*, 10, 442–455. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00231-7> (2026.07.19.)
- [5] Czupy, I. (2023). Precíziós erdészet – a jövő útja. In Czimber, K. (szerk.), *Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa 2023* (pp. 62–68). Soproni Egyetem Kiadó. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-496-5> (2026.07.17.)
- [6] Kátai-Urbán L., Bleszity J., Vass Gy. “A kritikus infrastruktúra védelmi felsőoktatási tapasztalatok a kritikus szervezetek ellenállóképességéről szóló szabályozás tükrében” Polgári Védelmi Szemle XVII.: 2025 Különszám pp. 220-236., 17 p. (2025) [Online]. Elérhetőség: https://mpvsz.hu/pv_szemle/pvszemle2025/index.html (2026.06.12.)
- [7] Egyed L. (2023). Drónok használatának lehetőségei a katasztrófvédelemben, különös tekintettel a tűzvédelmi prevencióra és a kárelhárításra = Possibilities of using drones in disaster management, with particular regard to fire prevention and damage control. *Védelem Tudomány*, 8(3), 124-143. DOI: 10.61790/vt.2023.13092 [Online]. Elérhetőség: https://real.mtak.hu/188393/1/VT_2023_124_143.pdf (2026.07.26.)