

A HAZAI ERDŐÁLLOMÁNY FAHASZNÁLATI LEHETŐSÉGEINEK ELŐREJELZÉSE ÉS A TÚLTARTOTT FAÁLLOMÁNYOK VIZSGÁLATA

Borovics Attila¹, Mertl Tamás¹, Király Éva¹ és Kottek Péter²

¹Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet

²Agrárminisztérium Erdőrendezési Főosztály

Kivonat

Tanulmányunkban a 2023–2100 közötti időszakra vonatkozóan egyszerű hozamvizsgálatot végeztünk a körzeti erdőtervekben előírt vágásérettségi korok alapján. Eredményeink szerint még az új erdőtelepítések nélkül is évente több faanyag válik kitermelhetővé a 2023–2100 közötti időszakban, mint az elmúlt tíz év átlagos fakitermelési szintje. A 2023–2050 közötti időszakban a kitermelési lehetőségek várhatóan a jelenlegi fakitermelési szint 153%-át teszik majd ki. Ez a mostani szint fölött további 4 millió m³-es fahasználati potenciált jelent anélkül, hogy a már 2023-ban is túltartott állományokat kitermelnék. A projekciós időszak első felében a kitermelésre elérhető iparifa hozam várhatóan meghaladja az iparifa termelés átlagos historikus szintjét. Azonban a projekciós időszak második felében az iparifa hozam csökkenő tendenciát mutat, és még a 2014–2023-as évek átlaga alá is eshet. Az iparifa hozam előre jelzett csökkenése rávilágít a faipari innováció kiemelt fontosságára.

Tanulmányunkban a hazai túltartott erdőállományok jellemzőit és élőfakészletét is vizsgáltuk. Eredményeink szerint a hazai erdőállomány élőfakészletének 12,2%-a túltartott, és a túltartott erdőállományok élőfakészlete az elmúlt 43 évben megháromszorozódott, és 2023-ra 50,2 millió m³-re emelkedett. A túltartott erdők olyan faanyag-tartalékokat képviselnek, amely rendelkezésre állhat a növekvő faanyag-kereslet kielégítésére. Ugyanakkor, ha a jelenlegi körülmények és erdőgazdálkodási gyakorlatok folytatódnak, élőfakészletük jelentős része minőségi romlásra van ítélve, és akár piacképességét is elveszítheti. Ezen megújuló és megújítható természeti erőforrás mozgósításához az erdőgazdálkodási gyakorlatok megváltoztatására és új faipari innovációkra lesz szükség.

A cikk a Borovics et al. 2023 (Estimation of the Overmature Wood Stock and the Projection of the Maximum Wood Mobilization Potential up to 2100 in Hungary) eredeti közlésnek az Országos Erdőállomány Adattár 2023. évi statisztikai állapota szerint aktualizált és részben átdolgozott fordítása.

Kulcsszavak: hozamvizsgálat, választékszerkezet, túltartott állományok, HWP, klímamitigáció, széntárolás

ESTIMATION OF THE OVERMATURE WOOD STOCK AND THE PROJECTION OF THE WOOD MOBILIZATION POTENTIAL UP TO 2100 IN HUNGARY

Abstract

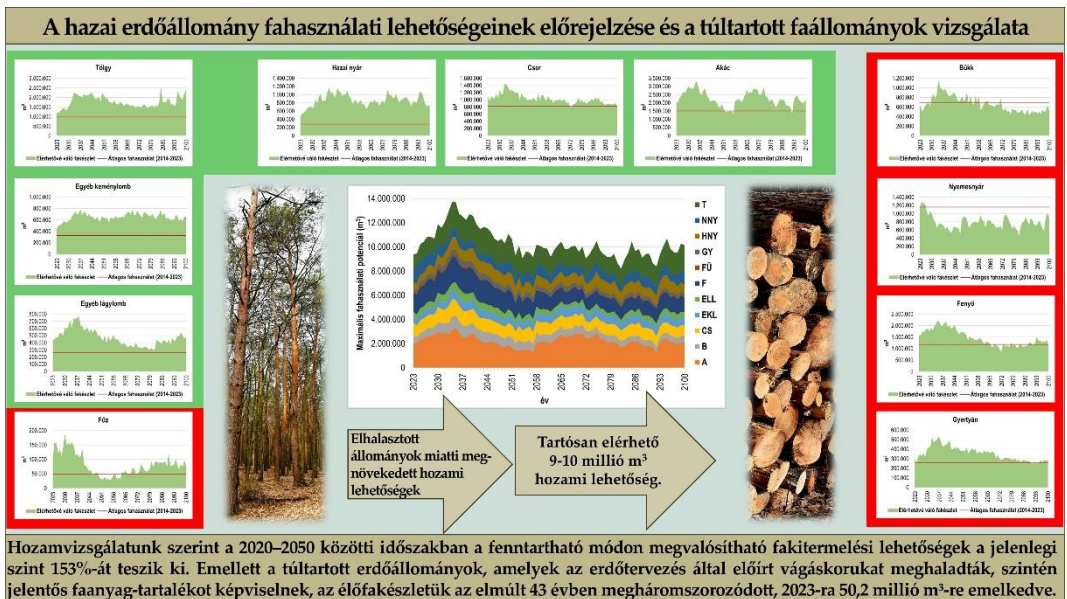
In our study, we conducted a simple yield projection for the period 2023–2100, based on the cutting ages prescribed in Forest Management Plans. According to our findings, even without new afforestation, more timber will become available for harvest annually between 2023 and 2100 than the average annual harvest level of the past decade. During the period 2023–2050, the wood mobilization potential is expected to reach 153% of the current harvesting level, representing an additional utilization potential of 4 million m³, without including the already overmature stands as of 2023. In the first half of the projection period, industrial wood yield is expected to exceed the historical average of industrial wood production. However, in the second half, a declining trend is forecasted, with yields potentially falling below the 2014–2023 average. The projected decline in industrial wood yield underlines the increasing importance of innovation in the wood industry.

We also analyzed the characteristics and growing stock of Hungary's overmature forest stands. Our results indicate that 12.2% of the growing stock is overmature, and this stock has tripled over the past 43 years, reaching 50.2 million m³ by 2023. Overmature forests represent a reserve of timber that could be mobilized to meet increasing demand. However, if current conditions and forest management practices persist, a significant portion of this stock will suffer quality deterioration and may even lose its market value. Mobilising this renewable natural resource will require a change in forest management practices and new innovations in the timber industry.

This article is a revised and updated translation of the original publication by Borovics et al. 2023 (Estimation of the Overmature Wood Stock and the Projection of the Maximum Wood Mobilization Potential up to 2100 in Hungary), this version is based on the 2023 statistical state of the National Forestry Database.

Keywords: yield projection, assortment composition, overmature stands, HWP, climate change mitigation, carbon storage

Grafikai absztrakt



BEVEZETÉS

A fenntartható erdőgazdálkodás kulcsfontosságú fogalom, amely a modern erdészeti gyakorlat alapját képezi azáltal, hogy megteremti az erdők társadalmi, ökológiai és gazdasági funkcióinak egyensúlyát (MCPFE 2003; Duncker et al., 2012). A gazdasági hatékonyság és a természetvédelem egymásnak sokszor ellentmondó céljai, valamint a faanyag különböző felhasználási lehetőségei – in situ erdei széntárolóként, iparifaként, vagy megújuló energiaforrásként – csak gondos tervezéssel és előrelátással egyensúlyozhatók ki (Kottek et al., 2023a).

Az EU Bioökonómiai Stratégiája célul tűzte ki a faanyag bioenergetikai célú felhasználásának növelését, illetve a fa beépítését hosszú élettartamú termékekbe, különösen az építőiparban (EC 2018). A bioökonómia fejlődésével párhuzamosan a faalapú nyersanyagok iránti kereslet jelentős bővülése prognosztizálható, amely a hagyományos fakitermelési és ellátási struktúrák újragondolását teszi szükségessé. A növekvő igény fokozott kitermelési intenzitáshoz, új beszerzési stratégiák kialakításához, valamint a választékarányok és -összetételek átrendeződéséhez vezethet (Joelsson et al., 2016; Tuomasjukka et al., 2018). E kihívások kezelése az erdei biomasszára alapuló ellátási láncok technológiai és logisztikai megújítását teszi szükségessé, új innovatív ellátási láncok kialakítása érdekében. Az erdőkben akkumulálódó túltartott faanyag készletek és a piaci szereplők közötti kapcsolat kialakításához új típusú szolgáltatói kapacitás létrehozása szükséges. Ehhez kötődően az új beszerzési források bevonásának egyik központi eleme lehet a nem működő magánerdő kitermelési lehetőségeinek feltárása és lehetőség szerinti mobilizálása, például erdészeti szakirányítói hálózat megszervezésével. Az ellátási lánc hatékonyságának növelésében szerepet játszhatnak geográfiai adatokra támaszkodó beszerzési modellek, amelyek figyelembe veszik az adott régió erőforrás-eloszlását, a biomasszakészletek elérhetőségét, valamint a szállítási távolságokat és logisztikai viszonyokat, ezzel hatékonyan támogathatják új beszerzési utak kialakítását. A Tuomasjukka et al. (2018) által vizsgált négy régió példája jól mutatja, hogy az egyes térségek sajátosságaihoz igazított modellalkotás nélkülözhetetlen az ellátási láncok kiépítéséhez. Az így létrehozott, régióspecifikus faellátási láncok nemcsak gazdasági szempontból versenyképesek, hanem környezeti mutatóik alapján is kedvezőbbek, amit életciklus-elemzéssel, üvegházhatású gázkibocsátási leltár adatokkal és energiafelhasználás indikátorokkal is alátámasztanak (Tuomasjukka et al. 2018).

A faellátás biztonsága a növekvő kereslet miatt egyre fontosabb kérdéssé válhat. Emellett problematikus a fenyő alapanyagok helyettesíthetősége lombos fafajokkal is (Auer et al., 2020). A biogazdaság kibontakozása során a faanyag iránti globális kereslet az előrejelzések szerint 4,2 milliárd m³-rel növekedhet 2030-ig (World Wide Fund for Nature and International Institute for Applied Systems Analysis 2012; UNECE/FAO 2021), az EU-országok esetében pedig még ennél is magasabb növekedési ütem várható (Bell et al., 2018).

A bioökonómiai célkitűzések és a növekvő faigény ellenére az Európai Erdőstratégia (EC 2021) és a Biodiverzitási Stratégia (EC 2020) nem támogatja a fakitermelés növelését, mivel 2050-ig nem tartják valószínűnek, hogy az előállított faipari termékekhez kapcsolódó anyag- és energiahelyettesítési hatások ellensúlyozhatják az erdei széntároló kapacitás csökkenését (Lerink et al. 2023). Ez a gondolatmenet azonban figyelmen kívül hagyja, hogy az erdei biomasszából felszabaduló szén-dioxid a földi szénkörforgás része. Az éghajlatváltozás egyre növekvő fenyegetést jelent az európai erdei ökoszisztémák stabilitására (Verkerk et al., 2022), ami miatt az in situ erdei széntárolás korlátokba ütközhet. Az erdőben hagyott holt szerves anyag nem jelent tartós megoldást, mivel néhány évtizeden belül visszajut a légkörbe a lebontó szervezetek tevékenysége folytán. Mindezek miatt bizonyos klímamitigációs útvonalak kiemelt ösztönzése helyett a politikai és gazdálkodási



stratégiáknak figyelembe kellene venniük az összes lehetséges erdő-alapú mitigációs stratégiát annak érdekében, hogy maximalizálni lehessen az éghajlatváltozás mérsékléséhez történő hozzájárulást (Verkerk et al., 2022). Magyarországon a fatermékek jelentős mennyiségű szénem tárolnak, és élettartamuk meghosszabbítása, valamint a megfelelő hulladékgazdálkodás, újrahasznosítás és újrafelhasználás jelentős mértékben hozzájárulhat a klímacélok eléréséhez (Király et al., 2022, 2023).

A nemzetközi klímaegyezmények előírják, hogy az országoknak nyomon kell követniük és jelenteniük kell az erdei széntárolók változásait (Kurz et al., 2009). A Párizsi Megállapodás és az EU 2018/841 számú rendelete – amely a földhasználati, földhasználat-változtatási és erdészeti tevékenységekből származó üvegházhatású gázkibocsátások és szénmegkötések integrálását célozza meg az EU 2030-as mitigációs keretrendszerébe –, azt tükrözik, hogy az erdészeti szektor fontos szerepet játszhat az éghajlatváltozás mérséklésében (Pilli et al., 2016; Grassi és Pilli, 2017).

Ahogy Böttcher et al. (2008) hangsúlyozza, a korosztályszerkezet a múlt tükre; a múltbeli erdőgazdálkodási gyakorlatok öröksége hosszú évtizedekig fennmaradhat az erdőgazdálkodási rendszerek megváltozását követően is (Canadell et al., 2007). A fák növekedése, mortalitása és az erdőrézset szintű szénkészletek dinamikája az állomány korának függvénye, ahogy ezt számos empirikusan jól alátámasztott fatermési függvény leírja (Pregitzer és Euskirchen, 2004; Zaehle et al., 2006), emellett az ökoszisztéma nettó produkciója is korfüggő (Goulden et al., 1998; Schulze et al., 1999; Mund et al., 2002; Law et al., 2003; Desai et al., 2005). Különböző kezdeti korosztály-eloszlásokkal és gazdálkodási forgatókönyvekkel végzett szimulációk során kiderült, hogy a korosztályszerkezet öröklött hatása rendszerint erősebb, mint magának a jelenben folytatott erdőgazdálkodásnak a hatása. Így ugyanaz a gazdálkodási rezsim (kezelési stratégia) eltérő korosztály-struktúrájú állományokban teljesen eltérő szénegyenleget eredményezhet (Böttcher et al., 2008). Ugyanazzal a gazdálkodási rendszerrel egy fiatal erdővel rendelkező országban növelhető az erdei széntárolás, míg egy idősödő erdővel rendelkező országban nem. Tehát a jelenlegi erdőgazdálkodási tevékenységek módosíthatják ugyan a szénmegkötés vagy -kibocsátás mértékét, de alapvetően az öröklött korosztályszerkezet fogja meghatározni azt, hogy az erdők nettó kibocsátók vagy megkötők lesznek-e (Böttcher et al., 2008).

EU szinten az erdők folyónövedéke az elmúlt 25 évben meghaladta a fakitermelés szintjét, az erdők szénmegkötése jelenleg az EU összes üvegházhatású gázkibocsátásának körülbelül 10%-át ellensúlyozza (Ceccherini et al., 2020; Wernick et al., 2021). Az EU erdeiben tárolt szén mennyisége jelenleg is növekszik (Ceccherini et al., 2020; Wernick et al., 2021). Ez a növekedés elsősorban az erdők hektáronkénti élőfakészletének növekedéséből adódik, nem pedig az erdőterület bővüléséből (Wernick et al., 2021; Lerink et al., 2022). Az európai erdők korosztályszerkezetét az idősebb erdők túlsúlya jellemzi, ezért a jelenlegi erdőgazdálkodási gyakorlat folytatása mellett megnövelt fakitermelés is lehetséges, mivel az idősebb erdők képesek magasabb fakitermelési szintet fenntartani (Nabuurs et al., 2018). Az erdők idősödése és az élőfakészlet országos léptékű jelentős növekedése, amely számos EU-országban tapasztalható, elkerülhetetlenül nagyobb sérülékenységet jelent az erdőkárokkal szemben (Lerink et al., 2023). A biotikus- és abiotikus károk és az éghajlatváltozás súlyos problémát jelentenek az európai erdőgazdálkodás számára (Verkerk et al., 2022; Lerink et al., 2023). A klímaváltozás Magyarországon is egyre kedvezőtlenebb termőhelyi viszonyokat teremt az erdők számára. Ezt számos klímakutatásra épülő hazai erdészeti klímaosztályozás is igazolta (Führer et al. 2022, Mátyás et al. 2022, Illés & Móricz 2022, Gálos & Führer 2018, Mátyás et al. 2018, Führer 2018, Führer et al. 2013, Führer et al. 2011, Führer 2010). Emellett az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) adatai alapján is kimutatható, hogy 2006 és 2016 között jelentős kedvezőtlen változás volt megfigyelhető az erdőállományok klímabesorolásában (Kottek & Király 2019).

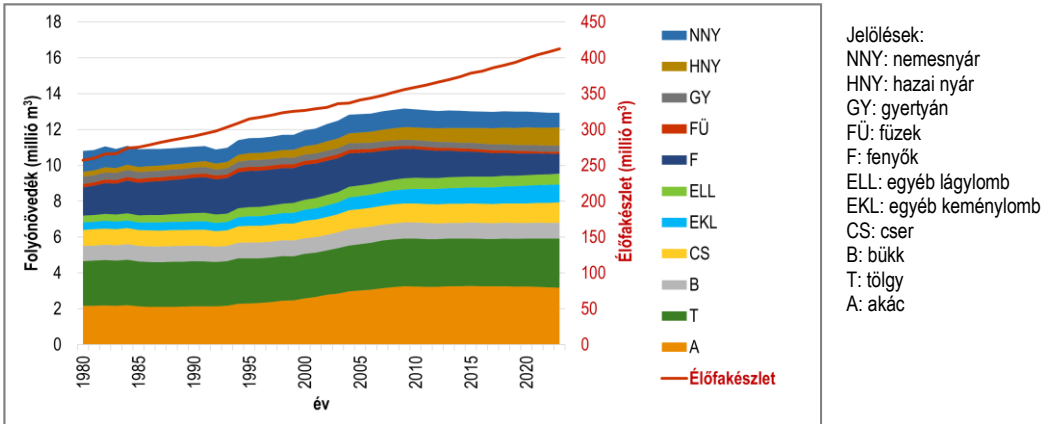
Az éghajlatváltozással és a fosszilis energiahordozók ellátásbiztonságával kapcsolatos aggodalmak új látásmódot teremtettek az erdőalapú gazdaságban. Mivel a faanyagot a bioökonómia klíma-barát erőforrásának tekinti (Hetemäki et al., 2017; Verkerk, 2022), amely hozzájárulhat az éghajlatváltozás mérsékléséhez a faipari termékekben, faépületekben történő hosszú távú széntároláson, illetve a fosszilis termékek és üzemanyagok helyettesítésén keresztül, ezért kiemelten fontos felmérni, hogy mennyi faanyag termelhető ki a fenntarthatósági szempontok sérülése nélkül. Az európai erdészeti szektorra vonatkozó prognózis szerint az iparifa kihozatal 25%-os növekedése várható 2040-ig (UNECE/FAO, 2021). Nabuurs et al. (2018) előrejelzése szerint pedig az európai fakitermelés akár 33%-kal is növekedhet. Lerink et al. (2023) 90 millió m³/év további fakitermelési potenciált prognosztizálnak európai szinten.

Ugyanakkor az erdők különböző funkciói közötti ellentétek akadályt jelenthetnek a fokozott fakitermelés számára (Verkerk et al., 2014; Lerink et al., 2023). Az Európai Erdészeti Intézet jelentése (Verkerk et al., 2022) kiemeli, hogy az erdőalapú klímamitigációs potenciál maximalizálása érdekében az egyes mitigációs tevékenységeket optimális módon kell kombinálni, figyelembe véve a szinergiákat és a negatív kölcsönhatásokat is. Kottek et al. (2023a) szerint ez az erdőterületek funkciók szerinti elkülönítése útján valósítható meg leghatékonyabban. E megközelítés szerint a magas természetvédelmi értékű, védett erdők szerepe elsősorban a biodiverzitás védelme, az ökoszisztéma-szolgáltatások biztosítása és az éghajlatváltozás mérséklése a fákból, holt faanyagból és a talajban történő széntárolás útján, ezzel szemben a természetvédelmi oltalom alatt nem álló, és az alacsonyabb természetességi állapotú erdők és faültetvények szerepe a szénmegkötés és ezáltal alapanyag biztosítása a magas minőségű faipari termékekben megvalósuló széntároláshoz (Kottek et al., 2023a).

Jelen tanulmányunk célja a hazai fakitermelési potenciál előrejelzése a 2023-2100 időszakra. Az elemzés során az erdőtervezés által meghatározott vágásérettségi korokat használtuk. A vágásérettségi előírások hivatalos ajánlások a véghasználat időpontjára vonatkozóan, amelyek meghatározzák azt a kort, amely kor felett az állomány kitermelése szakmailag javasolható és engedélyezett. Tanulmányunkban először azt vizsgáltuk, hogy a vágásérettségi koroknál idősebb, azaz túltartott állományokban felhalmozódott élőfakészlet milyen nagyságrendű. Másodsorban pedig előre jeleztük a 2100-ig terjedő időszakban rendelkezésre álló hozami lehetőségeket. A prognózis során a fajösszetétel, az erdőterület, a korosztály-dinamika változatlanosságát feltételeztük, valamint az Erdészeti Hatóság által az Erdőtervekben meghatározott eredeti vágásérettségi előírásokat mindvégig változtatlanul hagytuk.

ADAT ÉS MÓDSZER

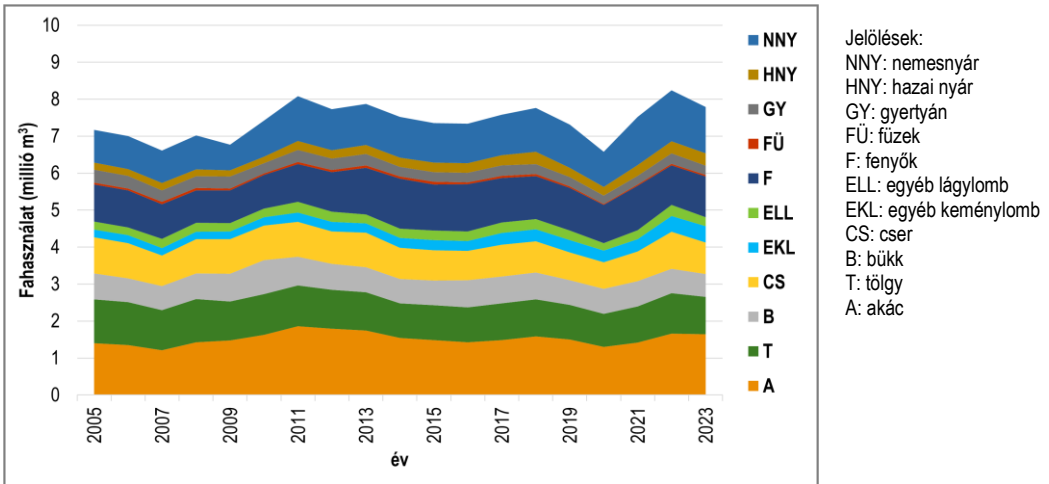
A 2023-as statisztikák szerint Magyarország területének 22,3%-át erdők borítják. A hazai erdők élőfakészlete 2023-ban 412 millió m³ volt, míg az éves folyónövedék átlaga az elmúlt tíz évben 13,0 millió m³-t tett ki (1. ábra).



1. ábra: A hazai erdők élőfakészlete és fajcsoportonkénti folyónövedéke az 1980-2023 időszakban

Figure 1: Total standing volume and annual increment of the Hungarian forests by tree species groups between 1980 and 2023

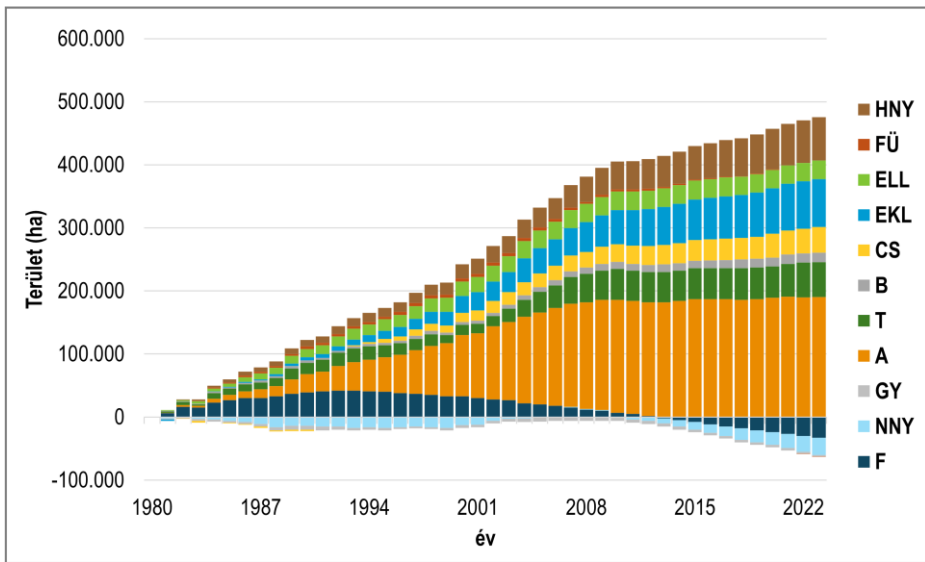
Az éves folyónövedék nagysága az 1980-as 10,8 millió m³-es szintről 2023-ra 13,0 millió m³-es szintre nőtt (AM 2025). Az éves fakitermelés mennyisége az elmúlt tizenöt évben viszonylag stabil volt, és körülbelül 7 millió m³ körül mozgott (2. ábra; AM 2025).



2. ábra: Fahasználat fajcsoportonként a 2005-2023 időszakban

Figure 2: Total harvested volume by tree species groups between 2005 and 2023

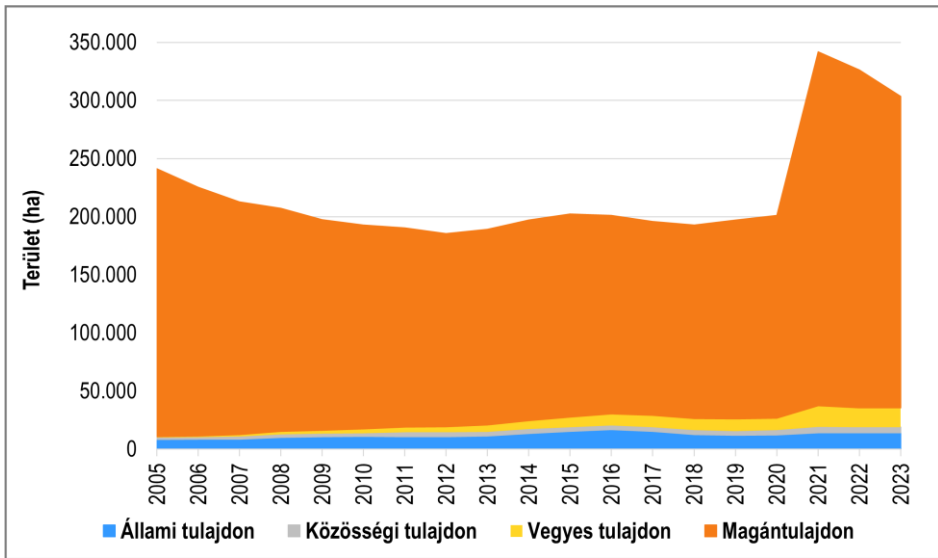
Magyarország erdőterülete 1980 óta 349 ezer hektárral nőtt (3. ábra). Az elmúlt évtizedek erdőtelepítéseit jellemzően kedvezőtlen termőhelyi körülmények között végezték. Magyarországon az erdők több mint 40%-át idegenhonos fafajok alkotják.



3. ábra: A hazai erdőterület változásai fafajcsoportonként az 1980-2023 időszakban
 Figure 3: Changes in the Hungarian forest area between 1980 and 2023 by tree species groups

Az állami tulajdonban lévő 1,1 millió hektár erdő döntő többségét 21 állami erdőgazdaság kezeli, míg a magánerdők 450 000 magánszemély tulajdonában vannak, és közel 34 000 gazdálkodó kezelésében vannak, akik jellemzően kis, fragmentált területeket kezelnek (az átlagos gazdálkodási terület nagysága körülbelül 17 hektár). Magyarországon a rendszerváltást követően a mezőgazdasági földek és erdők privatizációja kárpótlási jegyek segítségével és részben a termelőszövetkezetek területének vagyonnevesítésével történt (Mertl és Schiberna 2022). Azonban sok esetben a kárpótlási jegyeket idős személyek kapták, akik nem voltak képesek a földet megművelni, vagy olyanok, akik csak történelmi kapcsolatban álltak a földdel, és nem rendelkeztek a kezeléséhez szükséges szakértelemmel (Udvarhelyi 2018).

A másik probléma az volt, hogy a kárpótlási jegy alapú privatizáció osztatlan közös tulajdont hozott létre, így a magánerdőket számos esetben sok magánszemély közösen birtokolja (Mertl és Schiberna 2022). Ennek eredményeképpen a magánerdő-birtok jelentős része gazdálkodó nélkül maradt. Több mint 30 évvel a politikai rendszerváltás után a magánerdő-területek szétagolt tulajdon-szerkezetének konszolidációja továbbra is kihívást jelent, és sok magánerdő továbbra is kezeletlen (4. ábra). A gazdálkodó nélküli területek 2021-es hirtelen növekedése (4. ábra) egy új jogi rendelkezésnek, azaz a megbízási szerződésen alapuló erdőgazdálkodás megszüntetésének tulajdonítható.



4. ábra: A gazdálkodó nélküli erdők területe a 2005-2023 időszakban
 Figure 4: Area of unmanaged forests in Hungary between 2005 and 2023

Jelen vizsgálatunkhoz az Országos Erdőállomány Adattár (OEA) használtuk adatforrásként. Az OEA a hazai erdészeti szakigazgatás hivatalos adatbázisa, amely az erdőkre vonatkozó adatokat erdőrészlet szinten tárolja. Az erdőrészletek átlagos területe hazánkban 4 hektár, és viszonylag homogén faállománnyal rendelkeznek (Tobisch és Kottek 2013). Az OEA-ben digitális térképek és több mint 300 numerikus attribútum érhető el minden erdőrészlethez. Többek között rendelkezésre állnak adatok az egyes erdőrészletek tulajdonforma szerinti besorolásáról, az erdőgazdálkodó nevééről, a területről és a védettségi státuszról, termőhelyi jellemzőkről, talajmintavételek eredményeiről, dendrometriai paraméterekről, fajaj-összetételről, fakitermelési előírásokról, erdősítési előírásokról, valamint a végrehajtott fakitermelésekről és erdősítésekről is.

A fajasor az erdőrészlet aleggysége. Az azonos részleten belüli fajasorok legalább egy attribútumukban különböznek egymástól, mely leggyakrabban a faj, az eredet, a kor vagy a szint. Az egyes erdőrészletek élőfakészletére vonatkozó adatok fajasorokra bontva kerülnek tárolásra. Az OEA több mint egymillió fajasor adatait tartalmazza.

Magyarországon az erdőterület körülbelül egytizedén történik évente erdőtervezés. Az Erdőtervek terepi felmérések alapján készülnek, és tartalmazzák a következő 10 évben elvégzendő feladatokat és azok javasolt ütemezését. Az erdőtervező minden fajasorra vonatkozóan meghatározza a vágásérettségi kort a helyi viszonyok és a fenntartható erdőgazdálkodás feltételeinek figyelembevételével. Tanulmányunkban az erdőtervi vágásérettségi korokra vonatkozó adatokat használtuk fel a fakitermelési potenciál meghatározásához.

Vizsgálatunk első célja az volt, hogy megállapítsuk a túltartott állományokban felhalmozódott faanyag mennyiségét, amely megnövekedett kereslet esetén kitermelhető lenne. Az erdőtervekben meghatározott vágásérettségi előírásokat használtuk, amelyeket az OEA minden fajasorra vonatkozóan tárol. A vágásérettségi előírások hivatalos véghasználati ajánlások, amelyek meghatározzák a faállomány azon korát, mely felett az kitermelhető, bár ezen életkorban a fakitermelés nem

kötelező. Túltartottnak tekintettük azokat az állományokat, amelyek tényleges kora meghaladta a vágásérettségi kort. Így a túltartott állományokat az alábbi kritérium szerint határoztuk meg:

$$\text{túltartott} = \text{igaz, ha vágásérettségi kor} < \text{kor,} \quad (1)$$

$$\text{túltartott} = \text{hamis, ha vágásérettségi kor} \geq \text{kor,} \quad (2)$$

ahol:

túltartott: a túltartottnak tekintett fafajsortok;

vágásérettségi kor: az Erdőtervben előírt vágásérettségi kor;

kor: a fafajsort kora.

Az OEA 2023-as statisztikai állapotából lekérdeztük a túltartott fafajsortok területét és élőfakészletét, majd fafajcsoportok szerint összegeztük azokat. Emellett lekérdeztük a túltartott állományok tulajdonforma szerinti (állami, magán, közösségi, egyes) megoszlását is.

A következő lépésben előre jeleztük a fakitermelésre rendelkezésre álló faanyag maximális mennyiségét 2100-ig változatlan fajösszetétel, erdőterület, korosztály-dinamika, valamint az Erdőtervekben meghatározott eredeti vágásérettségi előírások megőrzése mellett. Az ehhez a vizsgálathoz alkalmazott módszer az OEA-ban használt egyszerű hozamvizsgálati riport kiterjesztése volt. Ez a „Vágásérett állományok 30 éven belül” elnevezésű riport az OEA-ban standard lekérdezőként szerepel (Kovácsévics 2017) és a következő 30 évben véghasználatra előírt állományok fakészletét és területét adja meg. A módszert 77 évre terjesztettük ki, és a hozamszámítást éves bontásban végeztük a Gál (1988) által kidolgozott függvényesített fatermési táblák segítségével. A vizsgálatban a kiinduló állapot az OEA 2023-as statisztikai állapota volt.

$$\text{Kezdő év} = 2023. \quad (3)$$

$$\text{Befejező év} = 2100. \quad (4)$$

A 2023-as statisztikai állapotban tárolt fafajsortok közül kiválasztottuk azokat, amelyeknél az állomány vágásérettségi kora 300 év alatti volt, és ahol tarvágás, fokozatos felújítívágás, vagy a fahasználati nyilvántartás szerint egyéb termelésnek nevezett véghasználat volt előírva. A hagyásfákat nem vettük figyelembe, mivel az OEA nem rendel élőfakészletet ezekhez az állományalkotókhoz. A túltartott állományokat, amelyeknél a vágásérettségi kor alacsonyabb volt, mint az állomány tényleges életkora, kizártuk a vizsgálatból. Az egyes fafajsortok véghasználatának évét az alábbi módon számítottuk ki:

$$\text{VH}_\text{év}(0) = \text{kezdő év} + \text{vágásérettségi kor} - \text{kor,} \quad (5)$$

ahol:

VH_év: a véghasználat éve;

vágásérettségi kor: az Erdőtervben előírt vágásérettségi kor;

0: kezdő ciklus.



A véghasználatkor elérhető fakészletet Gál (1988) függvényesített fatermési tábláival határoztuk meg.

$$VH_fak(0) = Fak_ftt(fafaj, eredet, fto, vágásérettségi kor) * sűrűség(0) * terület(0), \quad (6)$$

ahol:

VH_fak: a véghasználatkor elérhető élőfakészlet;

Fak_ftt: a fatermési táblában meghatározott fakészlet;

sűrűség(0): elméleti sűrűség (az élőfakészlet és a fatermési tábla szerinti fakészlet aránya);

terület(0): az erdőrészlet területe.

$$Sűrűség(0) = elegyarány * záródás * lambda, \quad (7)$$

ahol:

lambda: sűrűség-korrektív tényező.

A lambda segítségével határozható meg a mért lombkorona záródás alapján az állomány sűrűsége a fatermési táblás becslés során. Egyszerű hozam-előrejelzési modellünkben a sűrűséget állandónak tekintettük. A rövid vágásfordulóú fajok esetében szükséges volt az állományok felújításának szimulálása, hogy reális becsléseket kapjunk a teljes 77 éves időszakra. Ennek érdekében a rövid vágásfordulóú fajcsoportokat véghasználat után visszavittük a modellciklusba azonos fajfajjal, fatermőképességgel, sűrűséggel, területtel és vágásérettségi korról. Ez azt jelenti, hogy egy leegyszerűsített módszert alkalmaztunk, és feltételeztük, hogy minden véghasználatra kerülő állományt ugyanazzal a fajfajjal újítanak fel, és a teljes előrejelzési időszak alatt azonos fatermőképességű marad. Ez a módszertan tehát nem vette figyelembe az éghajlatváltozás hatásait, sem más zavarásokat, amelyek hozamosztály-változást okozhatnak, emellett nem számolt az erdőfelújítás során alkalmazott fajcserékkel sem.

A további ciklusokat (i) az alábbiak szerint vettük figyelembe:

$$i = 1 \dots i_{max}, \quad (8)$$

ahol:

$$VH_év(i) + i_{max} * vágásérettségi kor \leq \text{záró év}. \quad (9)$$

A ciklus „i”-edik ciklus véghasználatának éve és elérhető fatömege az alábbiak szerint került kiszámításra:

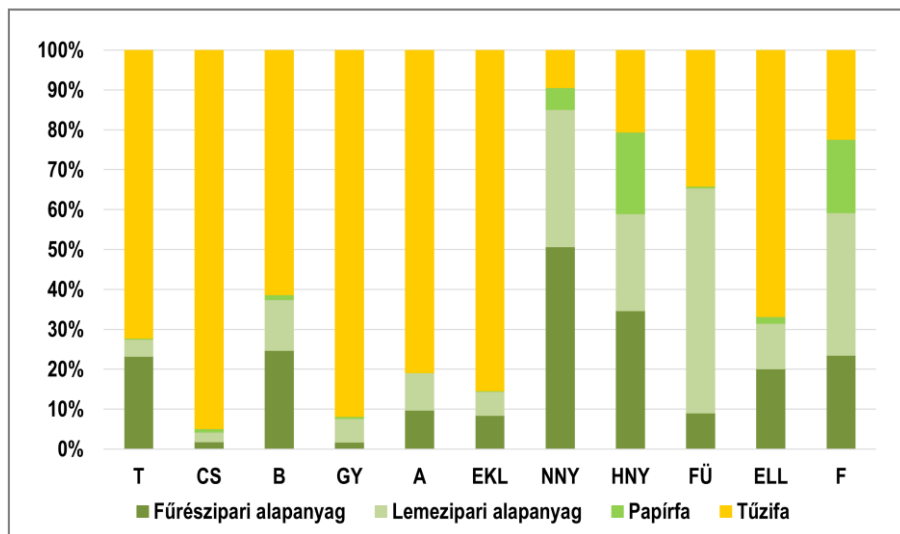
$$VH_év(i) = VH_év(0) + i * vágásérettségi kor, \quad (10)$$

$$VH_fak(i) = VH_fak(0). \quad (11)$$

Ezek után a becsült hozamokat fajcsoportok és a véghasználat éve (VH_év) szerint összegeztük. Az előrejelzett hozamok idősorain nem alkalmaztunk simítást. Az előhasználatból származó hozamokat a 2014–2023 közötti időszak átlagértékei alapján becsültük.

A létrehozott egyszerű hozam-előrejelzési modell validálása érdekében további modellfuttatásokat végeztünk. Ezek a modellfuttatások az 1980, 1990, 2000, 2010 és 2020 évekből indultak. Az eredményeket összehasonlítottuk egymással, valamint az eltérő modellfuttatások alapján becsült hozamokat a 2017–2021-es időszak átlagos fakitermelésével is összevetettük. Ebben a vizsgálatban az adatsorokat 10 éves mozgóátlaggal simítottuk az eredmények átláthatóságának növelése érdekében.

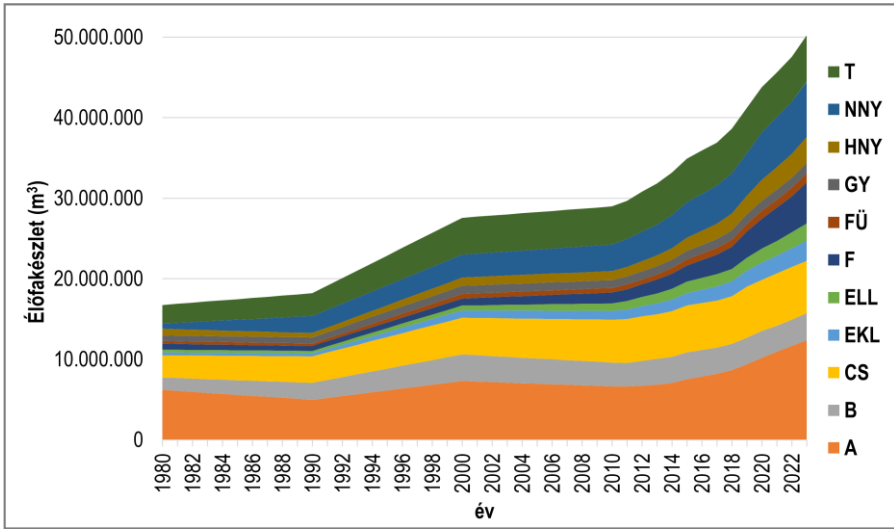
A jövőbeli választékösszetételre vonatkozó előrejelzéséhez a fajtacsoportok szerint rendelkezésre álló választékszerkezet adatokat használtuk az Országos Statisztikai Adatgyűjtési Programból (OSAP 2025). Az egyes fajtacsoportok választékösszetételét a 2019–2023-es időszak historikus átlagos választékösszetétele (5. ábra) alapján vetítettük előre. Ezután a négy fő választékot (fűrészipari alapanyag, lemezipari alapanyag, papírfa, tűzifa) összegeztük. A 2023 utáni új erdőtelepítések hozamaival a vizsgálatban nem számoltunk.



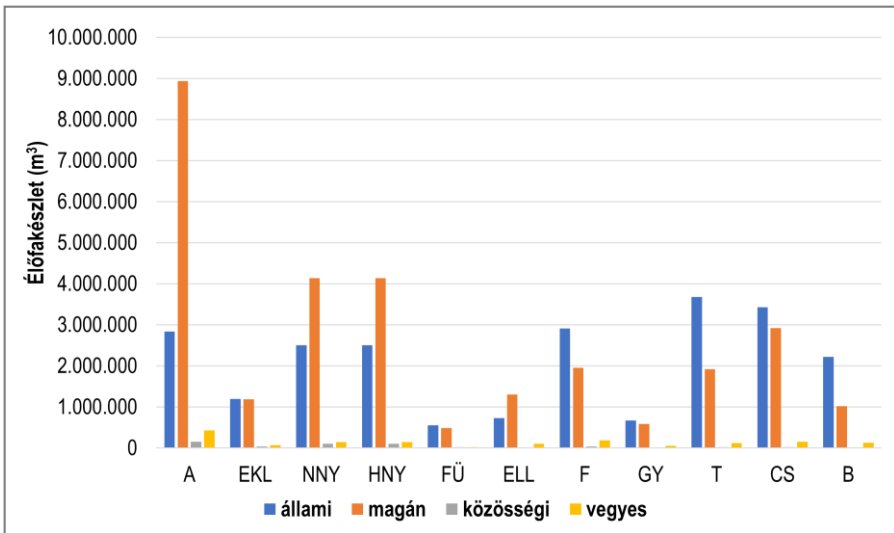
5. ábra: Fajtacsoportonkénti historikus választékszerkezet adatok a 2019-2023 időszakban (OSAP, 2025)
 Figure 5: Assortment composition of harvested wood according to the data of the National Statistical Data Collection Program (OSAP, 2025)

EREDMÉNYEK

Eredményeink szerint a túltartott állományok élőfakészlete jelentősen megnövekedett 1980 és 2023 között (6. ábra). 2023-ban 50,2 millió m³ volt a hazai túltartott erdők élőfakészlete. A rövid vágásfordulójú fajok esetében a túltartott állományok többsége magántulajdonban van, míg a hosszú vágásfordulójú fajok esetében a túltartott állományok nagyobb része állami tulajdonú. Összesen 23,23 millió m³ a túltartott állami tulajdonú erdők élőfakészlete, míg 28,60 millió m³ magántulajdon képez. Községi és egyéb tulajdonban összesen 2,07 millió m³ túltartott élőfakészlet található (7. ábra). A túltartott állományok élőfakészlet-növekedésének trendje 2000 óta egyre meredekebben emelkedő. Az utóbbi két évben több, mint 8 millió m³-rel emelkedett a túltartott élőfakészlet (1. táblázat).



6. ábra: A túltartott állományok élőfakészlete az 1980-2023 időszakban, fajcsoportonként
 Figure 6: Standing volume of overmature stands between 1980 and 2023 by tree species groups



7. ábra: A túltartott állományok élőfakészlete tulajdonforma szerint az OEA 2023-as adatai alapján
 Figure 7: Standing volume of the overmature stands by ownership form as of the 2023 state of the National Forestry Database

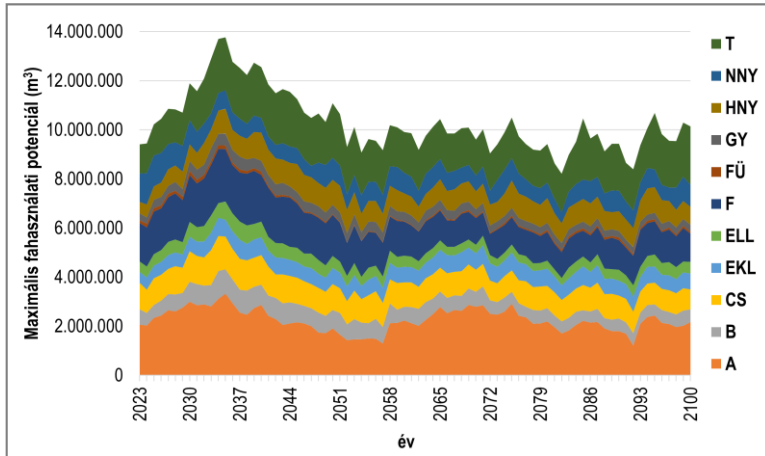
1. táblázat: A túltartott állományok élőfakészletének változása a 2021-2023 közötti két évben tulajdonforma és fafajcsoport szerint az OEA 2023-as adatai alapján

Table 1: Change in the growing stock of overmature stands between 2021 and 2023 by ownership type and tree species group, based on the 2023 state of the National Forestry Database

Élőfakészlet változás 2021->2023 (m ³)	Állami	Magán	Közösségi	Vegyes	Mindösszesen
A	190.202	1.163.771	7.624	28.811	1.390.408
EKL	40.086	221.701	6.629	5.638	274.054
NNY	105.184	563.065	11.038	7.403	686.690
HNY	1.214.754	2.784.196	29.938	56.162	4.085.050
FÜ	53.503	60.714	-195	5.450	119.472
ELL	33.985	264.718	2.997	22.139	323.839
F	479.699	445.072	-3.635	20.374	941.510
GY	25.115	40.840	-2.224	7.149	70.880
T	601	161.128	-2.037	30.700	190.392
CS	-77.783	79.854	-4.224	14.764	12.611
B	115.027	55.571	451	12.042	183.091
Mindösszesen	2.180.373	5.840.630	46.362	210.632	8.277.997

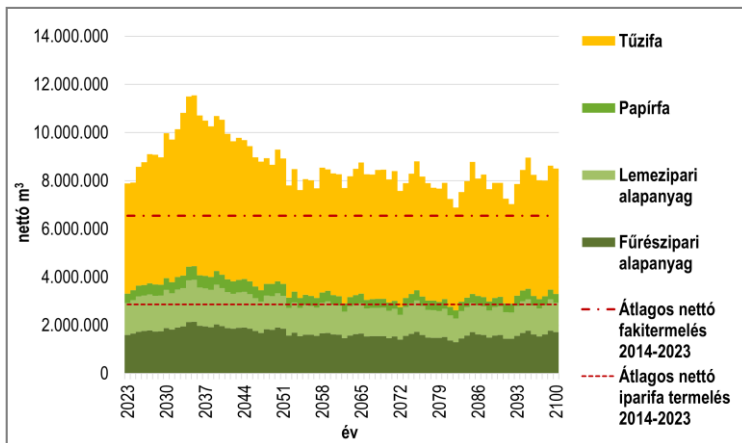
A 8. ábra a fakitermelésre rendelkezésre álló prognosztizált fakészleteket mutatja fafajcsoportonként (beleértve az előhasználati- és a véghasználati hozami lehetőségeket is). Az ábrán nem szerepel a már 2023-ban is túltartott állományok élőfakészlete, sem későbbi hozamai. 2023 és 2035 között jelentős emelkedés figyelhető meg a fakitermelésre rendelkezésre álló faanyag mennyiségében. Az 2035 körüli években az évente rendelkezésre álló faanyag mennyisége meghaladja a 13,5 millió m³-t is. A 2023 és 2050 közötti időszakban évente átlagosan 11,5 millió m³ faanyag válik elérhetővé, ami évente plusz 4 millió m³ kitermelhető faanyagot jelent ebben az időszakban a 2014-2023-as átlagos fakitermelési szinthez képest. Ha ezt a teljes mennyiséget kitermelnék, a fakitermelés és a folyónövedék aránya a jelenlegi 58%-ról 88%-ra emelkedne. Ez 31%-os növekedést jelentene a fakitermelés és a folyónövedék arányának értékében, és 53%-os növekedést a kitermelt mennyiségben. 2050 után a projekció szerint a fahasználati potenciál értéke stabilizálódik körülbelül 9,5 millió m³ körüli szinten.

Bár a prognosztizált időszakban a teljes fakitermelési potenciál értéke nem csökken a historikus fakitermelési szint alá, fafajcsoportonként egyenlőtlenségek figyelhetőek meg a rendelkezésre álló faanyag mennyiségének trendjeiben (8. ábra, M.1–M.11 ábrák). A bükk (*Fagus sylvatica*), a nemesnyárok, a fenyők és a fűzök (*Salix*) esetében jelentős csökkenés várható a kitermelhető faanyag mennyiségében. Vannak olyan fafajcsoportok (pl. *Robinia pseudoacacia*, *Carpinus betulus*), ahol a projekciós időszak során nem figyelhető meg jelentős változás a kitermelésre rendelkezésre álló faanyag mennyiségében. Ugyanakkor a hazai nyárok és más kemény lombos fafajok esetében növekedés várható a potenciálisan kitermelhető mennyiségben.



8. ábra: A prognosztizált maximális fahasználati potenciál fajcsoportonként a 2023-2100 időszakban
 Figure 8: Projected standing volume becoming available for harvest by tree species groups in the period 2023-2100

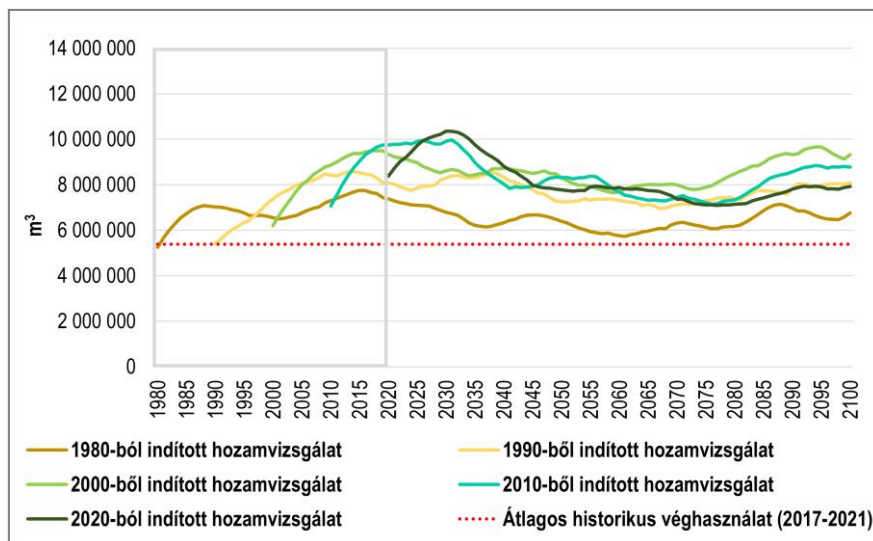
A 9. ábra a prognosztizált időszak (2020–2100) várható választék-összetételét mutatja. Az ábrán a piros szaggatott vonalak a 2014-2023-as időszak teljes átlagos nettó fakitermelési, illetve iparifa termelési szintjét jelölik. Az ábrán látható, hogy a kitermelésre rendelkezésre álló faanyag mennyisége a történelmi kitermelési szint felett van a projekciós időszak egészében. Ugyanakkor az iparifa, különösen a fűrészrönk esetében a tendencia nem ilyen kedvező, mivel az iparifa aránya csökkenő tendenciát mutat a prognosztizált időszakban. Az időszak első felében (2023–2050 között) az iparifa mennyisége várhatóan meghaladja a historikus átlagot, azonban az időszak második felében az iparifa termelés csökkenő tendenciát mutat, és néhány évben (2072, 2081 és 2082) még a 2014-2023-as átlag alá is esik.



9. ábra: A maximális fahasználati potenciál prognosztizált választékszerkezete a 2023-2100 időszakban összevetve a 2014-2023 időszak fahasználatának átlagértékeivel

Figure 9: Projected assortment composition of wood becoming available for harvest as compared to the average level of 2014-2023 wood production

A 10. ábra az eltérő kezdőévekből (1980, 1990, 2000, 2010 és 2020) indított validáló modellfutások eredményeit mutatja. Az ábrán az egyes modellfutások által előrejelzett kitermelhető faanyag mennyiségét összehasonlítottuk a 2017–2021-es időszak átlagos véghasználat szintjével. Noha az erdőterület 1980-ban több mint 300 ezer hektárral kisebb volt, mint a 2020. évi erdőterület, már az 1980-as OEA állapot alapján készült előrejelzésben is meghaladja a kitermelésre rendelkezésre álló faanyag prognosztizált mennyisége a 2017–2021-es átlagos véghasználati szintet. Az 1980-as OEA állapotból indított előrejelzés csak az akkori erdőterület (azaz 1,6 millió hektár) hozamait veszi figyelembe. A későbbi időpontokból indított előrejelzések esetében fokozatos növekedés figyelhető meg a hozami lehetőségekben. Az 1990, 2000, 2010 és 2020 kezdőévekből indított projekciókban fokozatosan megjelenő megemelkedett szintű hozami lehetőség figyelhető meg a 2020 és 2045 közötti időszakban.



10. ábra: Az OEA 1980-as, 1990-es, 2000-es, 2010-es, illetve 2020-as statisztikai állapotából indított hozamvizsgálatok által előre jelzett véghasználati hozami lehetőségek mértéke, összevetve az átlagos (2017-2021) historikus véghasználat volumenével. (A prognosztizált hozamok simított adatait ábráztuk, melyeket 10 éves mozgóátlagokkal készítettünk.)

Figure 10: The results of model runs initiated from the 1980, 1990, 2000, 2010 and 2020 state of the National Forestry Database as compared to the average harvest level of the 2017-2021 years. (The data series are smoothed using a 10-year moving average.)

DISZKUZZIÓ

Eredményeink szerint 50,2 millió m³, azaz a hazai élőfakészlet 12,2%-a túltartott, azaz a faállomány tényleges kora meghaladja az Erdőtervben meghatározott vágásérettségi korát. A túltartott állományok fatérfogata az elmúlt 43 évben háromszorosára nőtt. Ezt a jelenséget részben az magyarázza, hogy a magántulajdonú erdőterület jelentős része, körülbelül 300 ezer hektár (AM 2025) a rendezetlen tulajdoni viszonyok miatt kezeletlen.



A rendezetlen tulajdoni viszonyok mellett a fakitermelést gyakran jogszabályi korlátozások akadályozzák például az egybefüggő vágásterületek kiterjedésének maximalizálásával. Az éghajlatváltozás sok esetben negatívan hat az erdőfelújítás sikerére is, késedelmeket okozva az előírt felújításokban. Az elhúzódó felújítási időszakok pedig blokkolják a véghasználatokat a szomszédos állományokban. Ennek következtében sok vágásérett állomány nem kap kitermelési engedélyt és minőségromlást szenved, mielőtt le tudnák vágni. Sok esetben ezt a területi korlátozást az egykorú nemesnyár ültetvényekre is alkalmazzák, amelyeket nagy területen egyszerre ültettek. Ezen állományok esetében a vágásérettségi kor elérésekor az egész területet egyszerre kellene véghasználni, majd felújítani. Ilyen esetekben még egy-két évnyi kitermelési korlátozás is jelentős értékcsökkenést eredményezhet.

Emellett a gazdaságossági küszöb alatti erdők növekvő aránya is hozzájárulhat a kitermelés elmaradásához és az észlelt fakészlet-felhalmozódáshoz. A gazdasági küszöb alatti szürke nyár erdők esetében a kitermelt fa értéke jelenleg nem fedezi a kitermelés és a felújítás költségeit, emiatt is indokolt ezen fajokra alapozott faipari innováció. A túltartott akác állományok rendkívül magas arányához az is hozzájárul, hogy védett területeken az akácokat őshonos fajokkal kellene felújítani. Emiatt a tulajdonosok elhalasztják vagy feladják a véghasználatot.

A gazdálkodó nélküli túltartott erdők jelentősége óriási, mivel ezek a faállományok felhasználatlan tartalmakat jelentenek, amelyek a fa iránti növekvő kereslet kielégítésére elérhetőek lennének, ha a tulajdoni viszonyok rendezetté válnának. Ha azonban a jelenlegi állapotok és gyakorlatok folytatódnak, a túltartott fakészletek jelentős minőségromlásra mehetnek keresztül, ami piacképességüket nagy mértékben csökkentheti. Ezt a tendenciát csak súlyosítja az, hogy az előhasználatok is rendszerint elmaradnak, az állományok a véghasználat előtt is kezeletlenek, fejlődésük a későbbi faanyag-kihozatal szempontjából nem optimális. Az erdeink jelenleg az erdőnevelési modelltáblákhoz képest sűrűbben tartottak, magas az öngyérülés aránya és az erdőkben felhalmozódó holt faanyag mennyisége. A holtfa fontos az ökoszisztéma működése szempontjából, és a biodiverzitás fenntartásában. Azonban a túlzott mértékű holtfa felhalmozódás kedvezőtlen is lehet a megnövekedett tűzkockázat miatt. Továbbá, mivel az elhalt fa lebomlása szén-dioxid kibocsátást eredményez az erdőkben, a fa beépítése hosszú élettartamú faipari termékekbe klímamitigációs szempontból kedvezőbb megoldás lenne. Összességében elmondható, hogy az elmúlt évtizedekben a magyar erdőkben növekvő fakészlet-felhalmozódás történt, és jelenleg hatalmas mennyiségben állnak rendelkezésre túltartott fakészletek, amelyek a fa iránti növekvő kereslet kielégítésére elérhetőek lennének.

Tanulmányunkban egyszerű hozamprognózis alkalmazásával azt is megvizsgáltuk, hogy 2100-ig mekkora mennyiségű fa válik elérhetővé összességében az elő- és véghasználati lehetőségek alapján. Ebben a vizsgálatban a már túltartott állományokat kizártuk, és csak azokat az állományokat vettük figyelembe, amelyek az elkövetkező években érik el a vágásérettségi korukat. Eredményeink szerint még a problémás tulajdoni viszonyokkal rendelkező túltartott állományok kitermelése nélkül is évente több faanyag válik elérhetővé, mint a 2014-2023-as évek átlagos fakitermelési szintje.

A 2023-2050-es időszakban további 53%-os fahasználati potenciál áll rendelkezésre, ami maximálisan további 4 millió m³ fahasználati lehetőséget jelent évente a 2023-ban már túltartott állományok kitermelése nélkül is. A túltartott állományok figyelembevételével további 50,2 millió m³ faanyag válna elérhetővé. Ha ezt a mennyiséget a 2050-ig tartó időszakban egyenletesen elosztjuk, akkor évente 1,86 millió m³ további fahasználati lehetőséget kapunk a 4 millió m³-es értéken felül, azaz összesen 5,86 millió m³-t.

Derink et al. (2023) tanulmányában a szakirodalom áttekintése, valamint modellezés segítségével kvantifikálta a maximálisan elérhető, illetve a reálisan elérhető többlet hozami lehetőségeket

Európában. Magyarországra vonatkozóan a reálisan elérhető kitermelési potenciált 1,294 millió m³-re, míg a maximális potenciált 3,668 millió m³-re becsülték (Lerink et al. 2023). A mi becslésünk a maximális kitermelési potenciálra (a már túltartott állományok kitermelése nélkül) a Lerink et al. (2023) által becsült érték 109%-a. Mi a vizsgálatunkban nem értékeltük a teljes prognosztizált fakitermelési potenciál mobilizálásához szükséges költségvonzatot.

A magántulajdonú erdők fakitermelési potenciáljának hasznosítása érdekében megfelelő szakmai integrációra, valamint térinformatikai támogatásra is szükség lenne. A kitermelhető faanyag mennyiségére és értékére vonatkozó pontos és földrajzilag meghatározott adatok újszerű vállalalkozói kultúra és innovatív megoldások (például térinformatikai szolgáltatások kialakítása, webes erdőgazdálkodói platformok pl. Metsään.fi, Forest Hub, logisztikai feladatokat támogató mobil alkalmazások, útvonal-optimalizáló rendszerek, közösségi üzleti modellek) elterjedését alapozhatnák meg az erdészeti- és faipari szektorban.

Az OEA 1980-as állapotából indított modellszámítások esetében állandó szintű kitermelési potenciál figyelhető meg a prognosztizált időszakban (10. ábra). Azonban az 1990, 2000, 2010 és 2020 állapotból indított modellszámításokban egy fokozatosan kialakuló „púpot” figyelhetünk meg, amely egyrészt fokozatosan jobbra tolódik az időegyenesen, másrészt egyre magasabb, azaz a 2020-2045-ös időszakra egyre növekvő kitermelési potenciált vetít előre. Az összesített kitermelési lehetőségek növekedése a modellezésben az 1980 és 2020 között végzett erdőtelepítéseknek tudható be. Azonban a 2020-2045 közötti növekvő csúcs nem kapcsolódik az erdőtelepítéshez. Sok esetben, amikor egy állomány eléri az előírt vágásérettségi kort, de nem termelik ki, a következő erdőtervezési ciklusban az erdőtervezés módosítja a véghasználati előírást, és 5-25 évvel megnöveli a vágásérettségi kort. Így ezek az állományok nem szerepelnek a statisztikákban túltartott állományként, bár már meghaladták az eredeti vágásérettségi korukat. Ezek az állományok „elhalasztott” véghasználati lehetőségként definiálhatók, és a túltartott állományok mellett további fakészlet-tartalékokat jelentenek. A 10. ábrán figyelemmel kísérhetjük ennek az „elhalasztott” faállomány-tartaléknak a fokozatos növekedését, amely a 2020-2045-ös időszakban további kitermelési potenciálként jelenik meg.

A jelenlegi korosztály szerkezet öröklött hatása szintén hatással van a prognosztizált kitermelési potenciálra, amit az M.1–M.11 ábrákon figyelhetünk meg. Akác esetében a korosztály szerkezet periodikus hatást gyakorol a kitermelésre elérhető fa mennyiségére, míg a hosszú vágásfordulójú fajok esetében csúcsok figyelhetők meg, amelyek egy adott korosztály túlreprezentáltságának következményei.

A prognózis időszakának első részében (azaz 2023-2050 között) a kitermelhető iparifa mennyisége várhatóan meghaladja az iparifa termelés historikus szintjét. Azonban a prognosztizált időszak második felében az iparifa hozam csökkenő tendenciát mutat, és néhány évben még a 2014-2023-as átlag alá is esik. Ez a jelenség részben a magyar erdők öröklött korosztály szerkezetének hatása, ami a tradicionálisan magas iparifa hozamot adó fafajok, mint a fenyők és bükk esetében a kitermelhető fa csökkenését eredményezi. A másik ok a jogszabályi előírás, mely szerint a nemesnyár állományokat hazai nyár állományokkal kell helyettesíteni a természetvédelmi területeken. Ez a rendelkezésre álló iparifa mennyiség csökkenéséhez vezet, mivel az őshonos nyárak jelenleg alacsonyabb iparifa kitermelést produkálnak. Egyes fafajcsoportok esetében (mint például az akác, hazai nyár, egyéb kemény lombos fafajok és a kocsányos tölgy) a kitermelhető fa mennyisége ugyanazon a szinten marad vagy akár nő is, de ez nem kompenzálja az ipari fa hozam csökkenését, mivel ezek a fafajok jelentősen alacsonyabb iparifa kitermelést adnak, és elsősorban tűzifát termelnek a jelenlegi gyakorlat szerint.

Az iparifa csökkenő elérhetősége a prognosztizált időszak második felében kiemeli az innováció fontosságát a fagazdasági szektorban. Ajánlott új terméktípusokat tervezni és új gyártási folyamatokat fejleszteni annak érdekében, hogy a jelenleg ipari célra kevésbé használt fafajokból származó



faanyagot hosszú élettartamú faipari termékek előállítására tudjuk felhasználni. Ezt a következtetést tovább erősíti az a tény, hogy az éghajlatváltozás következtében sok fafaj a jövőben csökkenő elterjedési területtel lesz jellemezhető Európában (Verkerk et al. 2022) és Magyarországon (Illés és Móricz 2022). Jelenleg a magyar erdőkben a leginkább érintett fafajok a bükk és a lucfenyő (*Picea abies*). A bükk populációk hazánkban a szárazsági elterjedési határuk közelében helyezkednek el, és az alacsonyabb fekvésű bükkösök nagy része el fog tűnni a század második felére a hőmérséklet felmelegedése és a szárazodás következtében (Mátyás et al. 2010). A lucfenyő várhatóan majdnem eltűnik az alacsony és középmagas fekvésű területekről Közép-, Kelet- és Dél-Európában (Verkerk et al. 2022), az elmúlt évtizedekben egyre több kár érte a lucosokat Magyarországon is (Mátyás et al. 2018; Ujvári-Jármay et al. 2016; Lakatos 1999). Az érintett erdőket folyamatosan átalakítják stabilabb gyertyános-tölgyes állományokká, és a jövőben a szárazságtűrő fafajok, mint a cser (*Quercus cerris*), az őshonos nyárak és az akác (*Robinia pseudoacacia*) várhatóan nagy területeket nyernek, és domináns fafajokká válnak a faipari termelésben. A tölgyesekhez kapcsolódó elegyfajok fontossága is valószínűleg növekedni fog. Mindezek alapján az erdőipari innováció és az új szárazságtűrő fafajok bevonása a magas minőségű faipari termékek előállításába nagy jelentőséggel bír, és elkerülhetetlennek tűnik.

Az új, innovatív faipari termékek egyik fontos előnye lehetne a nagyobb arányú újrahasznosítás vagy újrafelhasználás lehetősége. Ezenkívül biztosítani kellene, hogy a termékek életciklusának végén keletkező hulladékot költséghatékonyan, alacsony károsanyag kibocsátással lehessen komposztálni vagy elégetni. Ez óriási előnyt jelentene a fa számára a polisztirol vagy kőzetgyapot szigetelőanyagokkal szemben, és versenyképessé tenné a fát más műanyag termékekkel szemben is. Az is fontos, hogy az új típusú, innovatív fatermékeket nagy mennyiségben, versenyképes áron lehessen előállítani, hogy minden piaci szereplő számára előnyösebbek legyenek az alternatíváknál. Erre kínálhat lehetőséget egy speciális támogatási rendszer kidolgozása az új faalapú termék típusok bevezetésére.

Fontos hangsúlyozni, hogy a vizsgálatunk módszertana nem vette figyelembe a folyamatban lévő klímaváltozás hatásait, és nem számolt az erdőfelújítás során történő fafajcserékkel sem. Egy nagyon leegyszerűsített módszert használtunk, és feltételeztük, hogy a véghasználatra kerülő állományokat ugyanazokkal a fafajokkal újítják fel, és a teljes előrejelzési időszak alatt ugyanabban a fatermési osztályban maradnak. A legvalószínűbb forgatókönyvek szerint a klímaváltozás a prognosztizált időszakban az erdők csökkent produktivitásához és fokozott mortalitásához vezethet. Emellett szélsőséges biotikus vagy abiotikus károk is valószínűsíthetőek. A természetes bolygatások intenzitása és gyakorisága növekedhet, ezáltal megzavarva az erdei ökoszisztéma széntárolásához kapcsolható előnyöket. A várható erdőkárok emellett csökkenthetik az ipari feldolgozásra elérhető faanyag mennyiségét és minőségét is. Azonban ezen hatások mértéke és időbeli lefutása még nem került kellően feltárára. Ez a tudáshiány indokolta az ErdőLab projekt (Borovics 2022) elindítását is, amely a magyar erdőipar klímamitigációs és alkalmazkodási lehetőségeivel foglalkozik, megvalósítva az összes releváns tudományterület integratív együttműködését. Az ErdőLab projekt eredményeit egy összetettebb erdőállomány prognózisba fogjuk beépíteni, amely különböző klímaforgatókönyveket és több klímamitigációs és alkalmazkodási intézkedés hatását fogja vizsgálni. A jelenlegi tanulmány összehasonlításai alapként fog szolgálni az ErdőLab projekt keretében vizsgált forgatókönyvek eredményeinek értékeléséhez. Emellett a jövőben azt is tervezzük, hogy megvizsgáljuk a reálisan elérhető fakitermelési potenciál nagyságát, és megoldásokat dolgozunk ki annak mozgósítására.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a tanulmányban először megvizsgáltuk a túltartott állományokban felhalmozódott fakészletek mennyiségét, amely a fa iránti megnövekedett kereslet esetén kitermelésre rendelkezésre állhat. Másodsor, egy egyszerű hozamvizsgálati modell segítségével, az OEA adatai alapján, előrejeleztük az elő- és véghasználati hozami lehetőségeket a 2023–2100 közötti időszakban.

Eredményeink szerint Magyarországon az élőfakészlet 12,2%-a túltartott, és a túltartott állományok élőfakészlete az elmúlt 43 évben megháromszorozódott. A túltartott erdeink jelentősége hatalmas, mivel kihasználatlan fahasználati potenciált képviselnek, amely a faanyag iránti növekvő kereslet kielégítésére rendelkezésre állhat. Azonban, ha a jelenlegi feltételek és gyakorlatok folytatódnak, a nagy mennyiségű túltartott faanyag jelentős minőségromláson mehet keresztül, és akár el is veszítheti piacképességét. Ezen megújuló és megújítható természeti erőforrás mozgósításához az erdőgazdálkodási gyakorlatok megváltoztatására és új faipari innovációkra lesz szükség.

Előrejelzésünk szerint még a gyakran problémás tulajdonosi szerkezettel jellemezhető túltartott állományok bevonása nélkül is több faanyag válik évente kitermelésre elérhetővé a prognosztizált időszakban, mint a 2014-2023-as évek átlagos kitermelési szintje. A 2023 és 2050 közötti években különösen magas kitermelési lehetőségek várhatóak, egyes években akár évi 10–13,5 millió m³ is elérhetővé válhat.

A fakitermelés historikus szintjéhez viszonyítva akár 53%-os növekedést is el lehetne érni, ami azt jelenti, hogy 2050-ig jelentős faanyag-többlet áll majd rendelkezésre, ami lehetővé teszi a fakitermelés fenntartható növelését a növekvő faanyagkereslet kielégítésére.

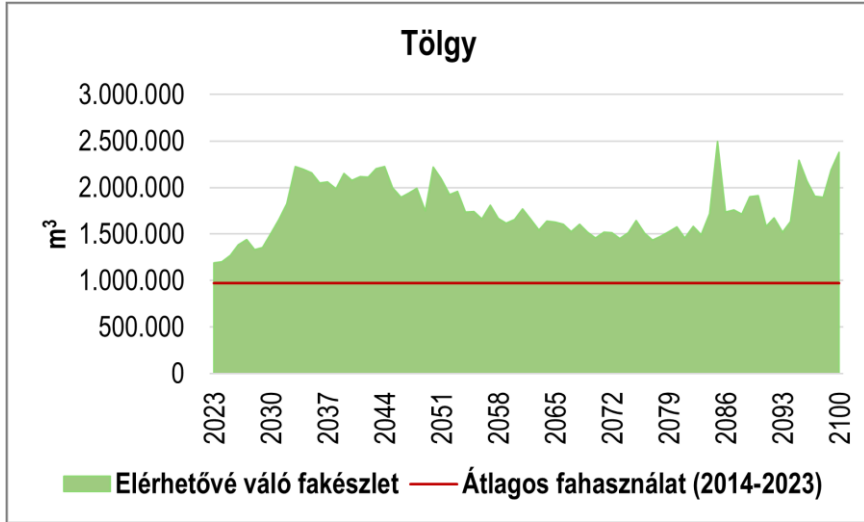
Következtetésként megállapítjuk, hogy ez a kiegészítő kitermelési lehetőség egyfajta „hotspotként” értelmezhető, és ennek az erőforrásnak a hasznosítása az elkövetkező évtizedekben a magyar erdőipar egyik legfontosabb kihívása lesz. A vágásérett állományok nagyobb területű véghasználata egyben lehetőséget kínálna fajajcserékre, valamint preadaptált és klímarezisztens szaporítóanyag források nagy léptékű alkalmazására. Ezek, illetve más adaptációs stratégiák együttes bevetése segíthet felgyorsítani a magyar erdők alkalmazkodását a folyamatban lévő klímaváltozáshoz.

Az előrejelzési időszak első felében (2023–2050 között) az ipari célra kitermelhető faanyag mennyisége várhatóan a történelmi iparifa termelés átlagos szintje felett lesz. Azonban az előrejelzési időszak második felében az iparifa hozam csökkenő tendenciát mutat, és még a 2014-2023-as évek átlagos szintje alá is esik egyes években. Az iparifa csökkenő elérhetősége az előrejelzési időszak második felében rámutat az innováció fontosságára a faiparban. Megállapíthatjuk, hogy ajánlott új terméktípusok tervezése és új gyártási folyamatok fejlesztése annak érdekében, hogy a hosszú élet-tartamú faipari termékekhez felhasználható legyen a jelenleg ipari szempontból alulhasznosított fafajok faanyaga.

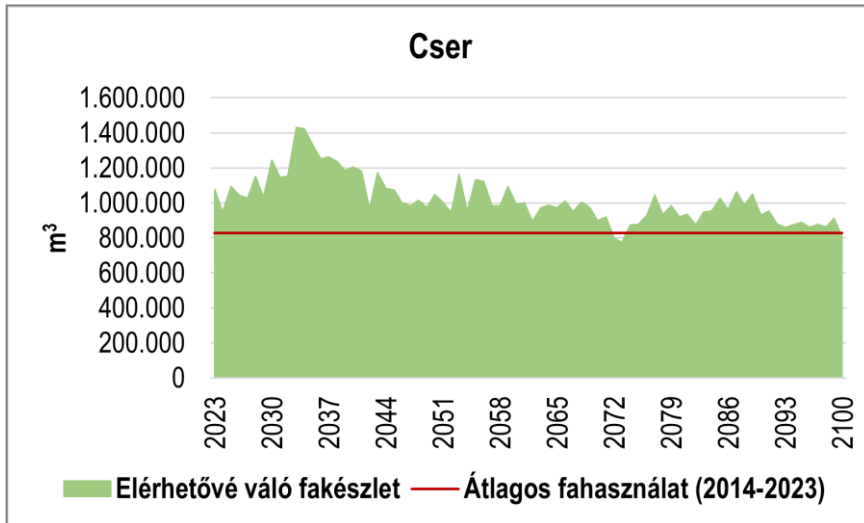
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

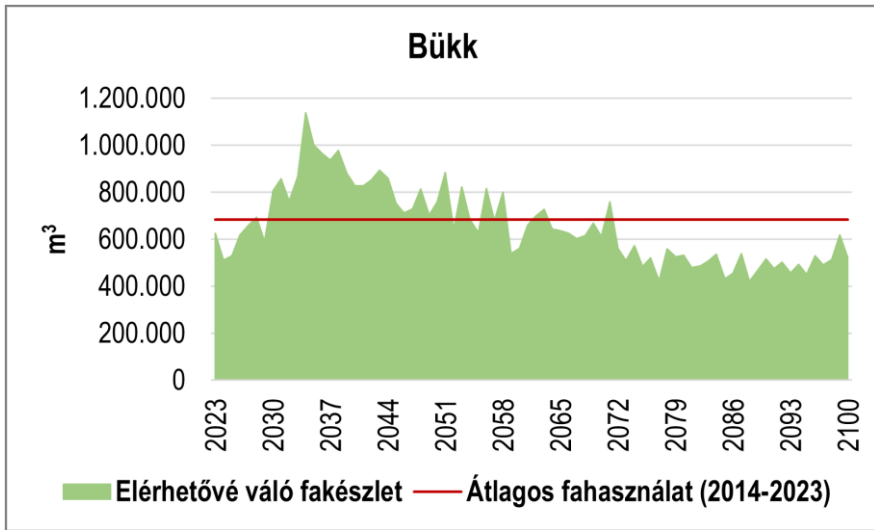
MELLÉKLET



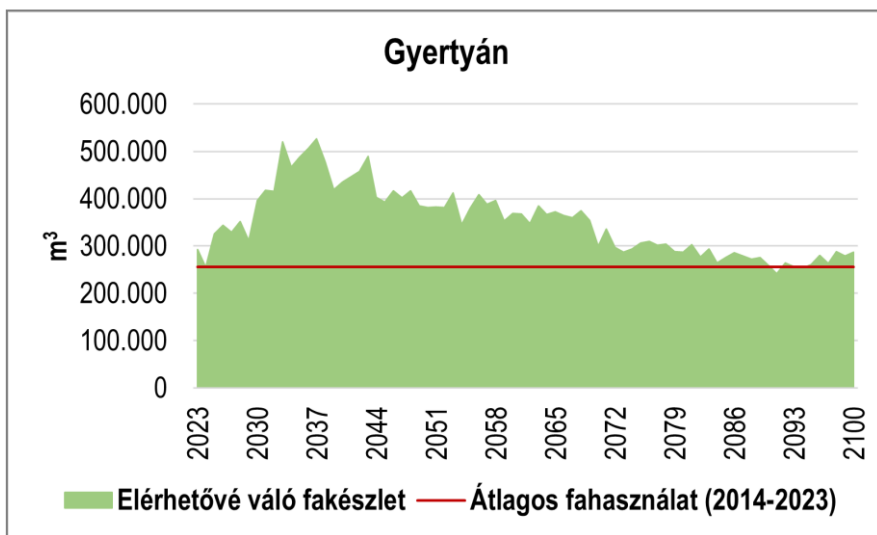
M.1. ábra: Maximális tölgy (*Quercus*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje
 Figure M.1: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of oak species (*Quercus*)



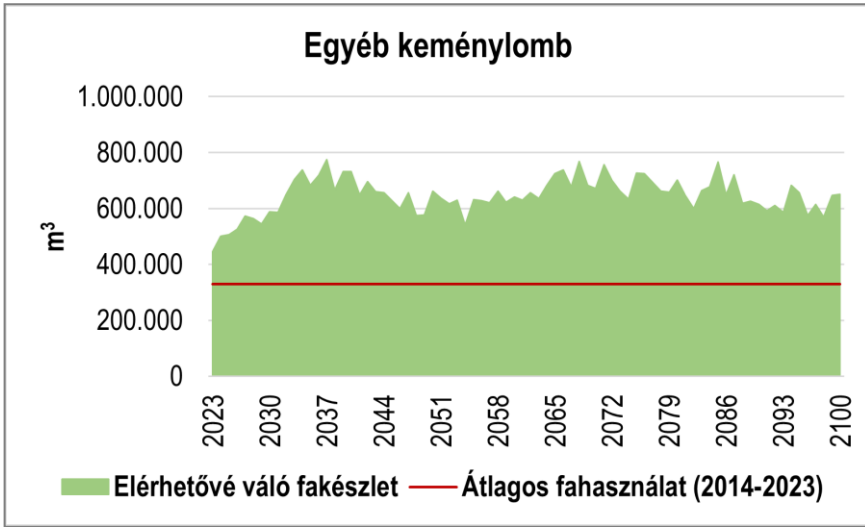
M.2. ábra: Maximális cser (*Quercus cerris*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje
 Figure M.2: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of Tuder oak (*Quercus cerris*)



M.3. ábra: Maximális bükk (*Fagus sylvatica*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágás-
érettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje
Figure M.3: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 har-
vest level in the case of European beech (*Fagus sylvatica*)

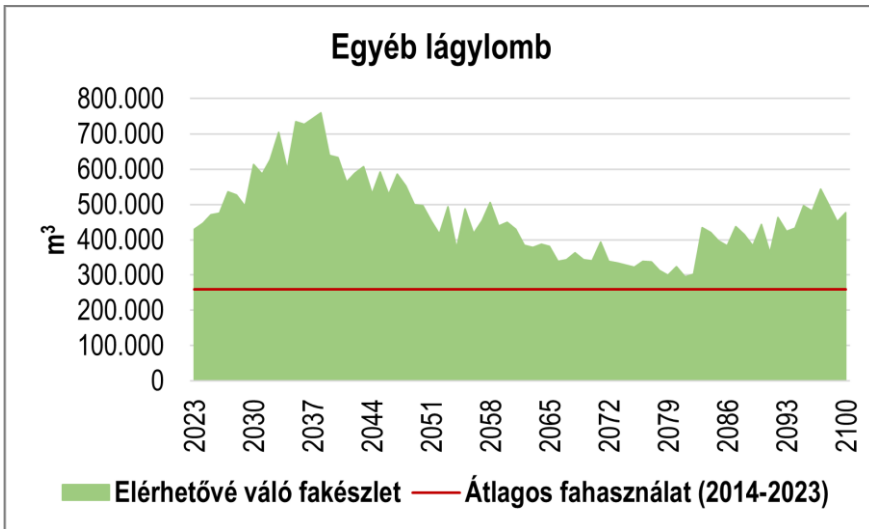


M.4. ábra: Maximális gyertyán (*Carpinus betulus*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi
vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje
Figure M.4: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 har-
vest level in the case of hornbeam (*Carpinus betulus*)



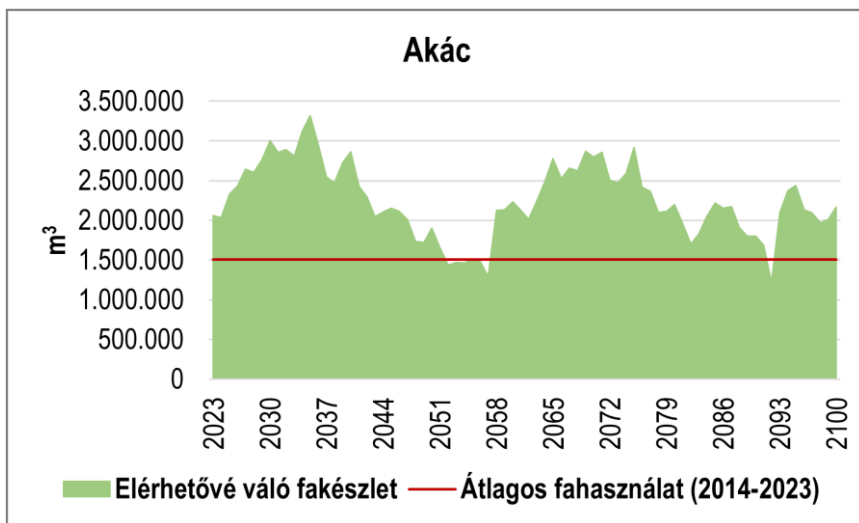
M.5. ábra: Maximális egyéb keménylomb fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.5: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of other hard broadleaved species



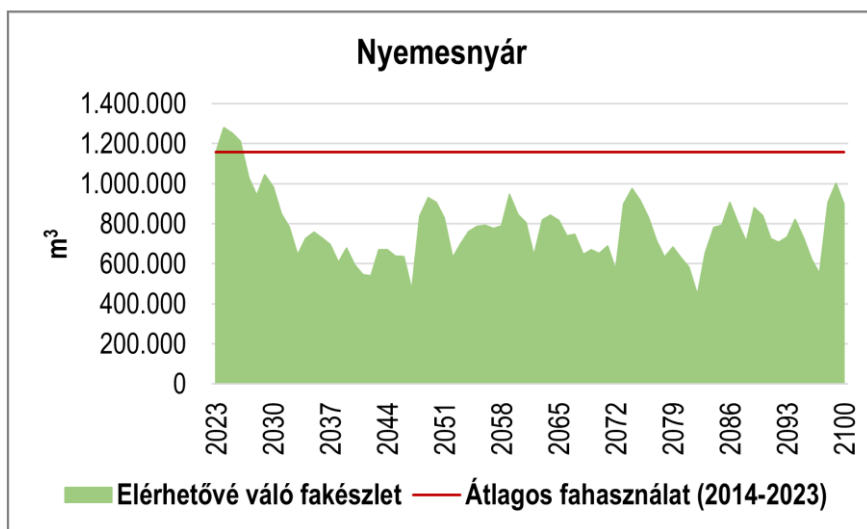
M.6. ábra: Maximális egyéb lágylomb fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.6: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of other soft broadleaved species



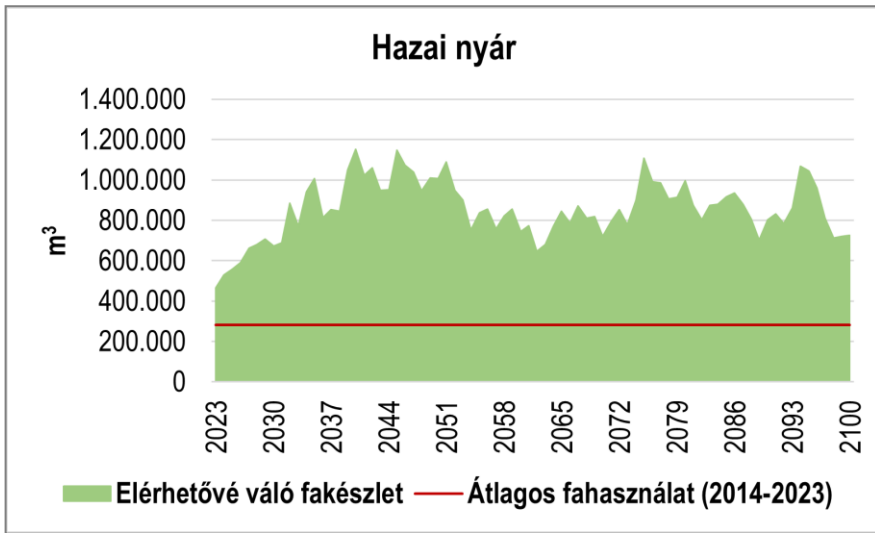
M.7. ábra: Maximális akác (*Robinia pseudoacacia*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.7: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of black locust (*Robinia pseudoacacia*)



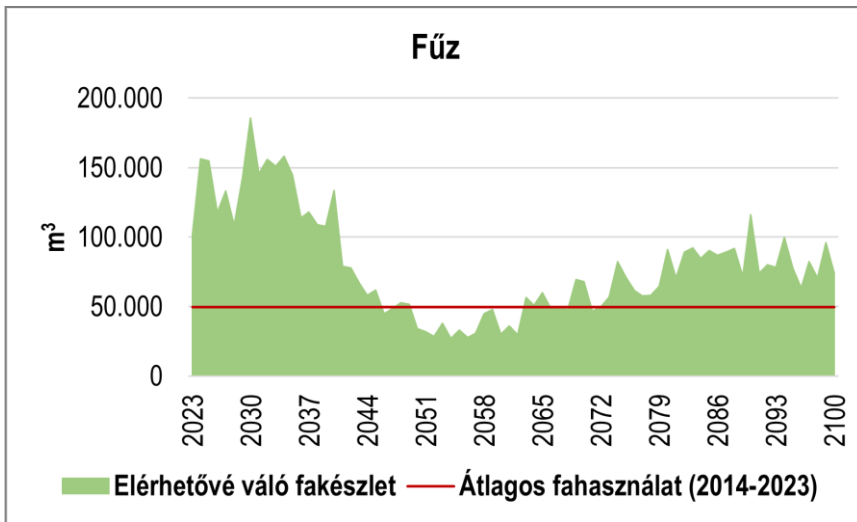
M.8. ábra: Maximális nemesnyár fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.8: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of hybrid poplars



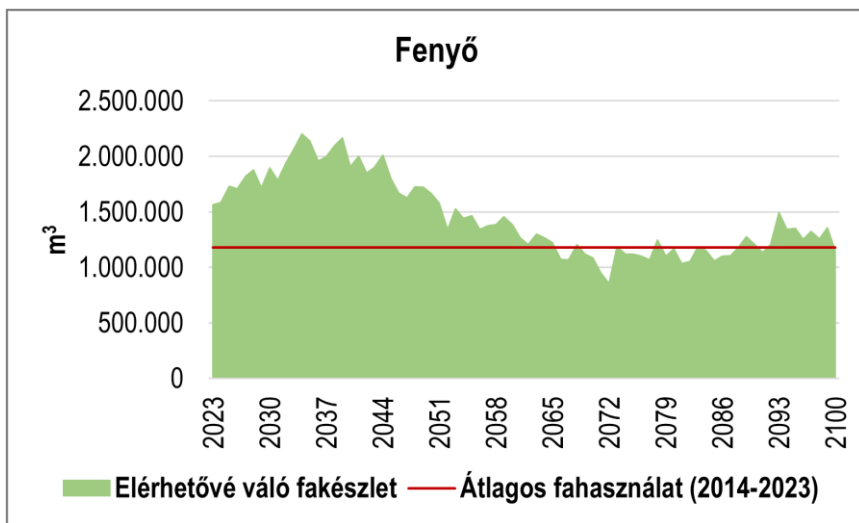
M.9. ábra: Maximális hazai nyár fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.9: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of native poplars



M.10. ábra: Maximális fűz (*Salix*) fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.10: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of willows (*Salix*)



M.11. ábra: Maximális fenyő fahasználati potenciál a 2023 és 2100 közötti időszakban az erdőtervi vágásérettségi korok alapján, illetve a 2014-2023 átlagos fakitermelési szintje

Figure M.11: Standing volume becoming available for harvest according to the projection and the average 2014-2023 harvest level in the case of conifers

FELHASZNÁLT IRODALOM

- AM 2025: Magyarország erdeivel kapcsolatos adatok. https://foldalap.am.gov.hu/Magyarország_erdeivel_kapcsolatos_adatok_news_513.
- Auer V & Rauch P. 2020: Assessing hardwood flows from resource to production through Material Flow Analysis. In: Nemeth R., Rademacher P., Hansmann C., Bak M. & Bader M. (eds.): 9th Hardwood Proceedings, Vol. 9 – Part I: An Underutilized Resource: Hardwood Oriented Research. 13–20.
- Bell J., Paula L., Dodd T., Németh S., Nanou C., Mega V. et al. 2018: EU ambition to build the world's leading bioeconomy – uncertain times demand innovative and sustainable solutions. *New Biotechnology* 40: 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.010>.
- Borovics A. 2022: ErdőLab: a Soproni Egyetem erdészeti és faipari projektje: Fókuszban az éghajlatváltozás mérséklése. *Erdészeti Lapok* 157: 114–115.
- Borovics A., Mertl T., Király É. & Kottek P. 2023: Estimation of the overmature wood stock and the projection of the maximum wood mobilization potential up to 2100 in Hungary. *Forests* 14(8): 1516. <https://doi.org/10.3390/f14081516>.
- Böttcher H., Kurz W.A. & Freibauer A. 2008: Accounting of forest carbon sinks and sources under future climate protocol; factoring out past disturbance and management effects on age-class structure. *Environmental Science & Policy* 11: 669–686.
- Canadell J.G., Pataki D.E., Gifford R., Houghton R.A., Luo Y., Raupach M.R., Smith P. & Steffen W. 2007: Saturation of the terrestrial carbon sink. In: Canadell J., Pataki D. & Pitelka L. (eds.): *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer, Berlin–Heidelberg, 59–78.
- Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Lemoine G., Avitabile V., Pilli R. & Cescatti A. 2020: Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015. *Nature* 583: 72–77. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2438-y>.
- Desai A.R., Bolstad P.V., Cook B.D., Davis K.J. & Carey E.V. 2005: Comparing net ecosystem exchange of carbon dioxide between an old-growth and mature forest in the upper Midwest, USA. *Agricultural and Forest Meteorology* 128(1–2): 33–55.
- Duncker P.S., Barreiro S.M., Hengeveld G.M., Lind T., Mason W.L., Ambrozy S. & Spiecker H. 2012: Classification of forest management approaches: A new conceptual framework and its applicability to European forestry. *Ecology and Society* 17(4): 51.



- EC 2018: A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. European Commission, Brussels.
- EC 2020: EU biodiversity strategy for 2030 – Bringing nature back into our lives. European Commission, Brussels. COM(2020) 380 final.
- EC 2021: New EU Forest Strategy for 2030. European Commission, Brussels. COM(2021) 572 final.
- Führer E. 2010: A fák növekedése és a klíma. *Klíma–21 Füzetek* 61: 98–107.
- Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti vonatkozásai. *Erdészettudományi Közlemények* 8: 27–42. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.002>.
- Führer E., Gálos B., Jagodics A. & Mátyás Cs. 2022: Erdészeti klímaosztályok és meteorológiai jellemzésük. In: Bartha D., Csóka Gy. & Mátyás Cs. (szerk.): *Az erdészeti tudományok története Magyarországon*. Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron, pp. 26–31.
- Führer E., Horváth L., Jagodics A., Machon A. & Szabados I. 2011: Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice. *Időjárás* 115(3): 205–216.
- Führer E., Jagodics A., Juhász I., Marosi Gy. & Horváth L. 2013: Ecological and economical impacts of climate change on Hungarian forestry practice. *Időjárás* 117(2): 159–174.
- Gál J. 1988. *Fatermési függvények bevezetése az üzemtervek számítógépes adatfeldolgozásába*. Kutatási jelentés.; Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőrendezéstani Tanszék, Sopron.
- Gálos B. & Führer E. 2018: A klímaértékelés erdészeti célú előrevetítése. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 43–55. <https://doi.org/10.17164/EK.2018.003>.
- Goulden, M.L.; Wofsy, S.C.; Harden, J.W.; Trumbore, S.E.; Crill, P.M.; Gower, S.T. et al. 1998: Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science* 279 (5348), 214–217.
- Grassi G. & Pilli R. 2017: Method applied by the JRC for projecting forest GHG emissions and removals based on the “continuation of current forest management”. EUR 28623 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/844243>.
- Hetemäki L., Hanewinkel M., Muys B., Ollikainen M., Palahí M. & Trasobares A. 2017: Leading the way to a European circular bioeconomy strategy. *From Science to Policy* 5. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs05>.
- Illés G. & Móricz N. 2022: Climate envelope analyses suggests significant rearrangements in the distribution ranges of Central European tree species. *Annals of Forest Science* 79(1). <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01154-8>.
- Joelsson L., Di Fulvio A., De La Fuente E., Bergström H. & Athanassiadis A. 2016: Integrated supply of stemwood and residual biomass to forest-based biorefineries. *International Journal of Forest Engineering* 27(2): 115–138. <https://doi.org/10.1080/14942119.2016.1184955>.
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2022: Carbon sequestration in harvested wood products in Hungary: an estimation based on the IPCC 2019 Refinement. *Forests* 13(11): 1809. <https://doi.org/10.3390/f13111809>.
- Király É., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G. & Polgár A. et al. 2023: Modelling carbon storage dynamics of wood products with the HWP-RIAL model – projection of particleboard end-of-life emissions under different climate mitigation measures. *Sustainability* 15(7): 6322. <https://doi.org/10.3390/su15076322>.
- Kottek P. & Király É. 2019: A klíma változása kimutatható az Országos Erdőállomány Adattár klímakategóriáiban. *Erdészettudományi Közlemények* 9(1): 7–18. <https://doi.org/10.17164/EK.2019.001>.
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023a: Trends of forest harvesting ages by ownership and function and the effects of the recent changes of the forest law in Hungary. *Forests* 14(4): 679. <https://doi.org/10.3390/f14040679>.
- Kottek P., Király É., Mertl T. & Borovics A. 2023b: The re-parametrisation of the DAS model based on National Forestry Database data. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 19(2), 61–74. <https://doi.org/10.37045/aslh-2023-0005>.
- Kovácsévics P. 2017: Hungary. In: Barreiro S., Schelhaas M.-J., McRoberts R.E. & Kändler G. (eds.): *Forest Inventory-based Projection Systems for Wood and Biomass Availability*. Managing Forest Ecosystems 29. Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56201-8>.
- Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H. & Rampley G.J. et al. 2009: CBM-CFS3: a model of carbon dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecological Modelling* 220: 480–504.
- Lakatos F. 1999: Bark beetles on pine in Hungary. In: Foster B., Knizek M. & Grodzki W. (eds.): *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe*. 248–249.
- Law B.E., Sun O.J., Campbell J., Van Tuyl S. & Thornton P.E. 2003: Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Global Change Biology* 9(4): 510–524.
- Lerink B.J.W., Schelhaas M.-J., Schreiber R., Aurenhammer P., Kies U. & Vuillermoz M. et al. 2023: How much wood can we expect from European forests in the near future? *Forestry: An International Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad009>.

- Mátyás Cs., Berki I., Bidló A., Csóka Gy., Czimer K., Führer E. et al. 2018: Sustainability of forest cover under climate change on the temperate-continental xeric limits. *Forests* 9: 489. <https://doi.org/10.3390/f9080489>.
- Mátyás Cs., Bidló A., Czimer K., Gálos B., Gribovszki Z. et al. 2022: A klímaváltozáshoz alkalmazkodás támogatása az erdészetben: Az Agrárklíma döntéstámogató rendszer. *Légtér* 67(1): 4–11. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.1.1>.
- Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Mórićz N. & Rasztovits E. 2010: Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6: 91–110.
- MCPFE 2003: Improved pan-European indicators for sustainable forest management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting (7–8 October 2002, Vienna, Austria). Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Liaison Unit Vienna & UNECE/FAO. http://www.mcpfe.org/files/u1/publications/pdf/improved_indicators.pdf.
- Mertl T. & Schiberma E. 2022: A privatizáció nehezen múlt öröksége a magánerdőkben. *Erdészeti Lapok* 157: 167–168.
- Mund M., Kummetz E., Hein M., Bauer G.A. & Schulze E.D. 2002: Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management* 171(3): 275–296.
- Nabuurs G.J., Arets E.J.M.M., Lesschen J.P. & Schelhaas M.J. 2018: Effects of the EU LULUCF regulation on the use of biomass for bioenergy. Wageningen Environmental Research rapport No. 2886. Wageningen Environmental Research, Wageningen, 72 p.
- OSAP 2023: National statistical data collection program. <https://agrarstatisztika.kormany.hu/erdogazdalkodas2>
- Pilli R., Grassi G., Kurz W.A., Moris J.V. & Abad Viñas R. 2016: Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. II. EU-level analysis. *Carbon Balance and Management* 11: 20.
- Pregitzer K.S. & Euskirchen E.S. 2004: Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* 10(12): 2052–2077.
- Schulze E.D., Lloyd J., Kelliher F.M., Wirth C., Rebmann C., Lühker B. et al. 1999: Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink—a synthesis. *Global Change Biology* 5(6): 703–722.
- Tobisch T. & Kottek P. 2013: Forestry-related databases of the Hungarian Forestry Directorate. Version 1.1 (October 8, 2013). Budapest.
- Tuomasjukka D., Martire S., Lindner M., Athanassiadis D., Kühmaier M. & Tumajer J. et al. 2018: Sustainability impacts of increased forest biomass feedstock supply; a comparative assessment of technological solutions. *International Journal of Forest Engineering* 29(2): 99–116. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1459372>.
- Udvarhelyi B. 2018: Unlawful acquisition of agricultural and forestry land in the criminal law. *Journal of Agricultural and Environmental Law* 25/2018.
- Ujvári-Jármay É., Nagy L. & Mátyás Cs. 2016: The IUFRO 1964/68 inventory provenance trial of Norway spruce in Nyírjes, Hungary—results and conclusions of five decades. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 12: 178. <https://doi.org/10.1515/aslh-2016-0001>.
- UNECE/FAO 2021: Forest Sector Outlook Study 2020–2040. Geneva Timber and Forest Study Paper 51 (ECE/TIM/SP/51). United Nations.
- Verkerk P.J., Mavsar R., Giergiczny M., Lindner M., Edwards D. & Schelhaas M.J. et al. 2014: Assessing impacts of intensified biomass production and biodiversity protection on ecosystem services provided by European forests. *Ecosystem Services* 9: 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.004>.
- Verkerk P.J., Delacote P., Hurmekoski E., Kunttu J., Matthews R. & Mäkipää R. et al. 2022: Forest-Based Climate Change Mitigation and Adaptation in Europe. From Science to Policy 14. European Forest Institute, Joensuu. ISBN 978-952-7426-22-7.
- Wernick I.K., Ciaís P., Fridman J., Högberg P., Korhonen K.T., Nordin A. & Kauppi P.E. 2021: Quantifying forest change in the European Union. *Nature* 592: E13–E14. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03293-w>.
- World Wide Fund for Nature & International Institute for Applied Systems Analysis 2012: Living Forests Report. Chapter 3. World Wide Fund for Nature.
- Zaehle S., Sitch S., Prentice I.C., Liski J., Cramer W., Erhard M., Hickler T. & Smith B. 2006: The importance of age-related decline in forest NPP for modeling regional carbon balances. *Ecological Applications* 16(4): 1555–1574.

Érkezett: 2025.01.16.

Közlésre elfogadva: 2025.07.15.