

A HÁZTARTÁSOKBAN ELÉGETETT FA-ALAPÚ HULLADÉK MENNYISÉGÉNEK ÉS FŰTŐÉRTÉKÉNEK BECSLÉSE AZ FICM HWP MODELL OUTPUT ADATAI ALAPJÁN

**Király Éva^{1*}, Kis-Kovács Gábor², Börcsök Zoltán³, Kocsis Zoltán³, Kottek Péter⁴,
Németh Gábor³, Polgár András⁵ és Borovics Attila¹**

¹Soproni Egyetem Erdészeti Tudományos Intézet

²HungaroMet Zrt.

³Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

⁴Agrárminisztérium, Erdőrendezési Főosztály

⁵Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

Kivonat

A hazai erdészeti és faipari ágazatban számos vitát generált a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) 2009-ben publikált tanulmánya, mely szerint a szilárd energetikai célú biomassa felhasználását és forrásait szembe állító mérlegben jelentős hiány áll fenn. A REKK tanulmány azt állította, hogy ezt a hiányt jelentős mértékű illegális fakitermeléssel lehet magyarázni. A Bio Screen CCE Projekt keretében a korábbi tanulmányt frissítették, amely a keresleti és kínálati oldalak összevetése alapján 37,2 PJ (43%) forrás oldali hiányt mutatott ki a szilárd energetikai biomassa mérlegben a 2019-es évre vonatkozóan. Jelen tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy a Bio Screen CCE Projekt által becsült 37,2 PJ értékű hiánytétel mekkora része származhat háztartási fa-alapú hulladékok égetéséből. Vizsgálatunkhoz a Forest Industry Carbon Modell HWP részmodelljét használtuk. Becslésünk szerint több, mint 1,2 millió m³ fa-alapú hulladék kerülhet évente eltüzelésre a háztartásokban. A 2019-es évben az eltüzelésre került fa-alapú hulladék fűtőértéke a számításaink szerint 14 PJ-ra tehető. Ez azt jelenti, hogy a Bio Screen CCE Projekt 2021-es jelentésében kimutatott hiány 39%-a a háztartási fa-alapú hulladékok égetésével magyarázható.

Kulcsszavak: energiastatisztika, energiamérleg, körkörös biogazdaság, klímamitigáció, hulladékkezelés

ESTIMATING THE AMOUNT AND HEATING VALUE OF WOOD WASTE BURNED IN HOUSEHOLDS BASED ON FICM HWP MODEL OUTPUT DATA

Abstract

A 2009 study published by the Regional Centre for Energy Policy Research (REKK) sparked significant debate within the Hungarian forestry and wood industry sectors. The study suggested a substantial shortfall in the balance of solid bioenergy biomass usage and sources, which it attributed to large-scale illegal logging. The Bio Screen CCE Project updated this analysis and quantified a 37.2 PJ (43%) deficit in the solid bioenergy biomass balance for 2019. This study investigates the extent to which household wood-based waste burning could account for this shortfall. Using the Forest Industry Carbon Model (FICM) HWP submodel, we estimate that over 1.2 million m³ of wood waste may



be burned annually in households. The heating value of this burned wood-based waste for 2019 is estimated at 14 PJ, explaining 39% of the shortfall identified in the Bio Screen CCE Project's 2021 report.

Keywords: energy statistics, energy balance, circular bioeconomy, climate change mitigation, waste management

BEVEZETÉS

A hazai erdészeti és faipari ágazatban számos vitát generált a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) 2009-ben publikált tanulmánya. E tanulmány az Országos Erdőállomány Adattár (OEA), valamint az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO), a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) és a Magyar Energia Hivatal (MEH) adatait elemezve arra a következtetésre jutott, hogy a biomassa felhasználás és forrás oldali mérleg adatai között jelentős hiány áll fenn. A tanulmány megállapítja, hogy a MEH és KSH statisztikai adatai alapján kimutatható szilárd biomassa felhasználás meghaladja az OEA által jelentett tűzifa kitermelés mértékét. A 2009-es REKK tanulmány Szerzői e hiányt 3-3,5 millió nettó m³ mennyiségűre becsülik, és azt a következtetést vonják le, hogy ez a háztartások tűzifa felhasználásában kimutatott mennyiség illegális fakitermelésből származik. Megállapítják továbbá erre alapozva azt is, hogy az OEA statisztikai adatai megbízhatatlanok.

A Fagazdasági Országos Szakmai Szövetség (FAGOSZ) nyolc oldal terjedelmű vélemény (Mócsényi 2009) megfogalmazásával reagált a REKK tanulmány kijelentéseire. Ebben megállapítja, hogy a REKK tanulmány számos módszertani hibával és bizonytalansággal terhelt, illetve nem számol az erdőkben végbemenő természetes mortalitás jelenségével. Összességében valószínűtlennek tartja, hogy a mérlegben kimutatott hiány illegális fakitermelésből származhat. Emellett rámutat arra, hogy a módszertan bizonytalansága miatt a kimutatott hiány akár 2 millió m³ mennyiséggel is kevesebb lehet, ami azt jelentené, hogy csak 1-1,5 millió m³ értékű. Emellett rámutat arra a jelenségre, hogy a véghasználatok során a gazdálkodók az Erdőtervek szerinti lehetőségeiket sem használják ki, így számos túltartott, már vágásérett állomány marad lábon, és a túltartott élőfakészlet volumene a 90-es évek óta folyamatosan nő. Ez a jelenség is valószínűtlennek teszi a REKK által feltételezett nagyarányú illegális fakitermelés létét. Borovics et al. (2023) részletesen elemzi a túltartás jelenségét, és megállapítja, hogy a túltartott állományok élőfakészlete a vizsgált időszakban folyamatosan növekedett, és 2021-ben már 45,6 millió m³-t tett ki.

A Bio Screen CCE Projekt 2021-es jelentése (Bódis et al. 2021) újra nyitja a szilárd biomassa mérleg keresleti és kínálati oldala eltéréseinek kérdését. A jelentés a keresleti oldal számszerűsítéséhez a KSH és a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) adatait használja fel. A jelentés a 2000-2019-es időszakot vizsgálja. Számol az OEA tűzifa kitermelés adatokkal, a tűzifa importtal, emellett becslést tartalmaz a nem erdőtervezett fás területekről származó fakitermelésre is, emellett számol az apadék mennyiségével, illetve a szalma és egyéb nem fás biomassa felhasználással is. A keresleti és kínálati oldal összevetése alapján 37,2 PJ (43%) forrás oldali hiányt számszerűsít.

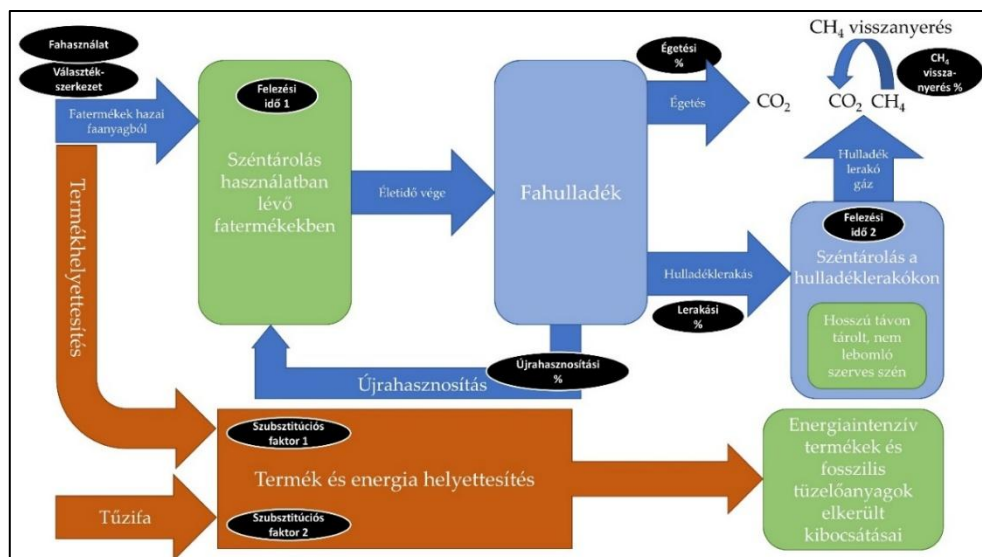
A jelentés részletesen elemzi a keresleti oldalra vonatkozó számítások lehetséges bizonytalanságait. Leírja, hogy a háztartások szilárd biomassa felhasználásának megállapítása becsléssel történik a KSH által végzett háztartási költségvetési és életkörülmény adatfelvételhez (HKÉF) hozzáadott energiamodul eredményei, valamint a MEKH által végzett épületenergetikai számítások alapján. Az erre vonatkozó új módszertan a 431/2014/EU rendelet alapján 2016-ban került bevezetésre. A jelentés szerint az éves HKÉF a háztartások biomassa felhasználásával kapcsolatban két kérdést

tesz fel az adatszolgáltató háztartásoknak: az egyik a felhasznált biomassza tüzelőanyagok mennyiségére, a másik pedig a velük kapcsolatos pénzügyi kiadásokra vonatkozik. A jelentés szerint fontos bizonytalansági tényező az esetleges hulladékégetés a háztartásokban. Noha a KSH felmérésében részletes kérdések foglalkoztak a felhasznált szilárd biomassza típusával és forrásával, beleértve a fa-alapú hulladékot is, mégis feltételezhető, hogy az alacsony jövedelmű vidéki területeken gyakori a hulladékkal való fűtés. Azonban valószínűsíthető, hogy az elégetett hulladék és fa-alapú hulladék mennyiségét nem hajlandók a válaszadók jelenteni, hiszen a levegőminőségre gyakorolt káros hatásai miatt tilos háztartási hulladékot égetni, és e rendelkezés megszegése az önkormányzatok vagy a Katasztrófavédelem által kiszabott pénzbírságot vonhat maga után.

Jelen tanulmány célja annak feltárása, hogy a háztartásokban elégetett fa-alapú hulladék mennyisége milyen mértékben járulhat hozzá a hazai szilárd biomassza mérleg keresleti és kínálati oldala között tapasztalt eltéréshez. Ehhez a Forest Industry Carbon Modell (Borovics et al. 2024) HWP részmodelljét (Király et al. 2024) alkalmazzuk a hulladékká váló fatermékek mennyiségének és az égetésükből származó fűtőértéknek a becslésére. Vizsgálatunk célja annak meghatározása, hogy a Bio Screen CCE Projekt által 2019-re azonosított 37,2 PJ forrás oldali hiány mekkora része vezethető vissza a lakosság által eltűzelt fa-alapú hulladékokra. Fontos hangsúlyozni, hogy jelen tanulmány kifejezetten az elégetett fa-alapú hulladék mennyiségének és energetikai potenciáljának számszerűsítésére irányul, nem pedig a kapcsolódó légszennyezőanyag-kibocsátások részletes meghatározására.

ADAT ÉS MÓDSZER

Vizsgálatunk során az ErdőLab projekt (Borovics 2022) keretében létrehozott Forest Industry Carbon Modell HWP részmodelljét alkalmaztuk (1. ábra).



1. ábra: Az FICM HWP részmodelljének folyamatábrája
Figure 1: Flowchart of the HWP submodel of the FICM

A HWP modell a Nemzeti Üvegházhatású Gázleltár jelentés (ÜHG leltár, NIR 2023) készítésében is alkalmazott, az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete (IPCC) által kidolgozott módszertant használja az emissziók számításához. Az IPCC hulladéklerakókra vonatkozó modelljét (IPCC 2006) kombinálja a fatermékek széntárolását és kibocsátását leíró IPCC egyenletekkel (IPCC 2013, 2019), mindezt kiegészítve egy saját fejlesztésű újrahasznosítási és hulladékút-választó modullal. A modell fatermék modulja modellezi a használatban lévő fatermékek szénmérlegét, valamint az újrahasznosítás hatásait a szénmérlegre. A hulladék modul számítja a hulladékká váló fatermékek mennyiségét, és ezek égetéséből, valamint hulladéklerakással történő ártalmatlanításából keletkező szén-dioxid- és metán-emissziókat. Emellett számolni tud a hulladéklerakón történő metánvisszanyerés hatásával, és mértékének változásaival is. A modell itt a fa- és papírhulladék mellett elsősorban fa-alapú hulladékok (pl. bútorlapok, parketta) életútját követi. Tehát elsősorban kezelt, ragasztott fával kevert anyagokról van szó, melyek háztartási égetése tilos. A fa-alapú hulladékok életút végi kibocsátásainak számszerűsítése mellett a modell számítja a tűzifa eltüzelése során keletkező kibocsátásokat is.

A termékhelyettesítési modul számszerűsíti a termék- és energia helyettesítés útján az ÜHG leltárak Ipar és Energia szektorában elkerült kibocsátásokat. A HWP modell tehát lefedi és számszerűsíti a faanyag teljes életútját egészen a megsemmisülésig, és számot vet az összes lehetséges kimenettel.

A HWP részmodell országspecifikus paraméterezése a KSH faipari termelési és kereskedelmi statisztikái (Király et al. 2022 szerint), a Nemzeti Üvegházhatású Gázleltárjelentés, az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer, illetve az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (ITM 2021) alapján történt meg a Király et al. (2023a,b, 2024) által részletesen leírtak szerint.

A modell a KSH faipari termelési statisztikáit és az IPCC által meghatározott fatermék-életidőket alapul véve számszerűsíti a hulladékká váló fatermék mennyiséget (outflow) az alábbi egyenletrendszer szerint:

$$\Delta C(i) = C(i + 1) - C(i)$$

$$C(i + 1) = e^{-k} \cdot C(i) + \left[\frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \cdot \text{inflow}(i)$$

$$\text{outflow}(i) = (1 - e^{-k}) \cdot C(i) + \left[1 - \frac{(1 - e^{-k})}{k} \right] \cdot \text{inflow}(i)$$

ahol:

i : év;

$C(i)$: az adott HWP termékkategória szénkészlete az i év kezdetén, t C;

k : az elsőrendű bomlási egyenlet bomlási állandója, mely minden HWP termékkategóriára külön számítható. Mértékegysége év^{-1} ($k = \ln(2)/HL$, ahol HL az adott termékkategória felezési ideje években kifejezve);

$\text{inflow}(i)$: a szénbeáramlás az adott HWP termékkategóriába i évben, t C év^{-1} ;

$\Delta C(i)$: adott HWP termékkategória szénkészlet változása i évben, t C év^{-1} ;

$\text{outflow}(i)$: az i évben a használatból kikerülő, azaz hulladékká váló HWP mennyiség adott termékkategórián belül, t C év^{-1} .

A használt felezési időket és konverziós faktorokat az 1. táblázat mutatja be részletesen.

1. táblázat: Alapértelmezett felezési idők és konverziós faktorok az IPCC (2019) szerint
Table 1: Default half-lives and conversion factors according to IPCC (2019)

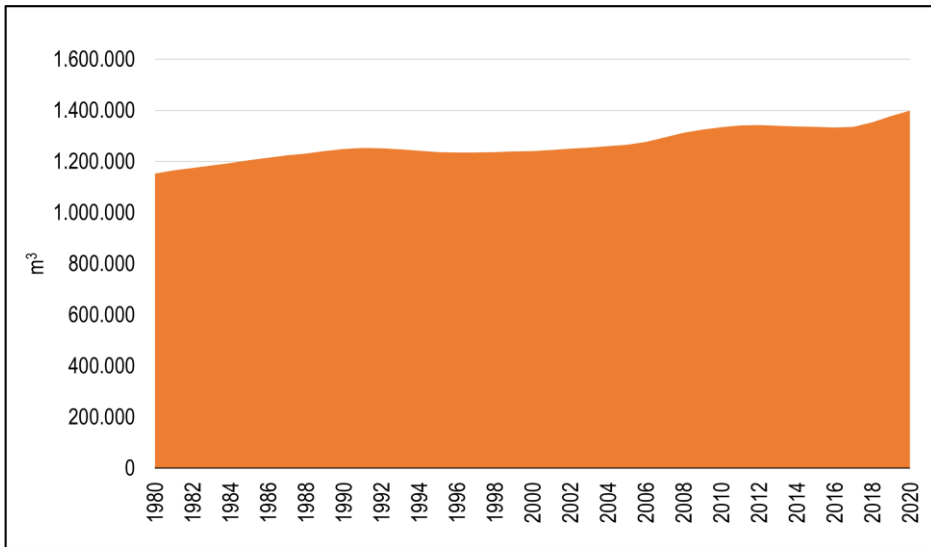
	Felezési idő (év)	Sűrűség (abszolút száraz tömeg légszáraz térfogatra vetítve) [Mg/m ³]	Széntartalom	C konverziós faktor (C tartalom légszáraz térfogatra vetítve) [Mg C/m ³]
Fenyő fűrészáru	35	0,45	0.5	0,225
Lombos fűrészáru	35	0,56	0.5	0,280
Furnér	25	0,505	0.5	0,253
Rétegelt lemez	25	0,542	0.493	0,267
Forgácslap	25	0,596	0.451	0,269
HDF	25	0,788	0.425	0,335
MDF	25	0,691	0.427	0,295
Farostlemez	25	0,739	0.426	0,315
Egyéb lemez	25	0,159	0.474	0,075
	Felezési idő (év)	Relatív száraz tömeg (abszolút száraz tömeg légszáraz tömegre vetítve) [Mg/Mg]		C konverziós faktor (C tartalom légszáraz tömegre vetítve) [Mg C/m ³]
Papír és karton	2	0,9	-	0,386

A HWP modell segítségével számított outflow értékeket m³ és tonna mértékegységekben adtuk meg. Az outflow értékéből az OKIR (2024) és az ÜHG leltár (NIR 2023) adatai alapján becsültük a hulladéklerakással ártalmatlanított mennyiséget. Mivel az OKIR adatai szerint a háztartási fa-alapú hulladék nem kerül égetéssel ártalmatlanításra az OKIR által nyilvántartott hulladékégető művekben, feltételezhető, hogy a fennmaradó mennyiség a háztartásokban felhalmozódik vagy elégetik a háztartási tüzelőberendezésekben. A hulladéklerakással csökkentett outflow hulladékmennyiség fűtőértékének kiszámítását is elvégeztük, amihez 15 GJ/tonna fűtőértéket használtunk szakértői becslés alapján.

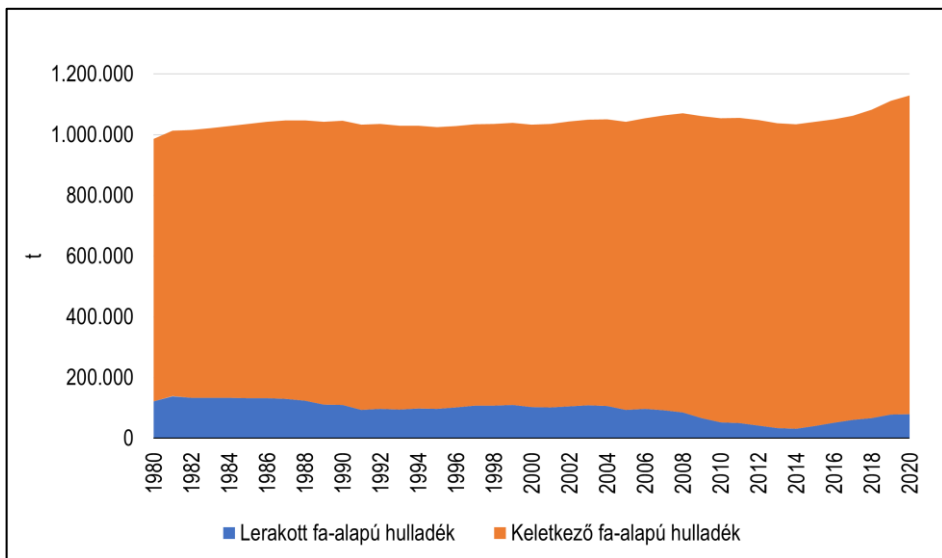
EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Eredményeink szerint a háztartásokban keletkező fa-alapú hulladék mennyisége 1,1 és 1,4 millió m³ között mozgott az 1980-2020 időszakban, a 2019-es évben pedig 1.378.126 m³ értékű (2. ábra). A vizsgált időszakban a keletkezett háztartási fa-alapú hulladéknak átlagosan 10%-a került hulladéklerakókra (3. ábra). A 2019-es évben a lerakott mennyiség a keletkezett mennyiség 8%-át tette ki. A fennmaradó 92% sorsáról nincs regisztrált információ, ugyanis ez a mennyiség az OKIR nyilvántartásában nem jelenik meg. Az FICM modell HWP modulja úgy számol, hogy ezt a hulladékmennyiséget elégetik, ami szén-dioxid kibocsátást eredményez. Ennek jelentősége az ÜHG leltár szénmérlege szempontjából sem elhanyagolható, hiszen e mennyiség jelentős emisszió forrása. Így a konzervatív becslés IPCC szerinti követelménye mindenképp megkívánja ennek az emisszióknak a kiszámítását és elszámolását.

Ezzel együtt elképzelhető, hogy e hulladékmennyiség nem teljes egészében kerül elégetésre a háztartásokban, hiszen a fa-alapú hulladékot udvarokban, pincékben akár hosszabb távon is tárolhatják. Emellett elméletileg az is lehetséges, hogy hazánkban a fatermékek élettideje jóval magasabb az IPCC által megadott alapértelmezett értékeknél. Ellenben, ha a fentiek közül egyik sem igaz, akkor azt kell feltételeznünk, hogy e fa-alapú hulladék mennyiségét a háztartásokban eltüzelik.

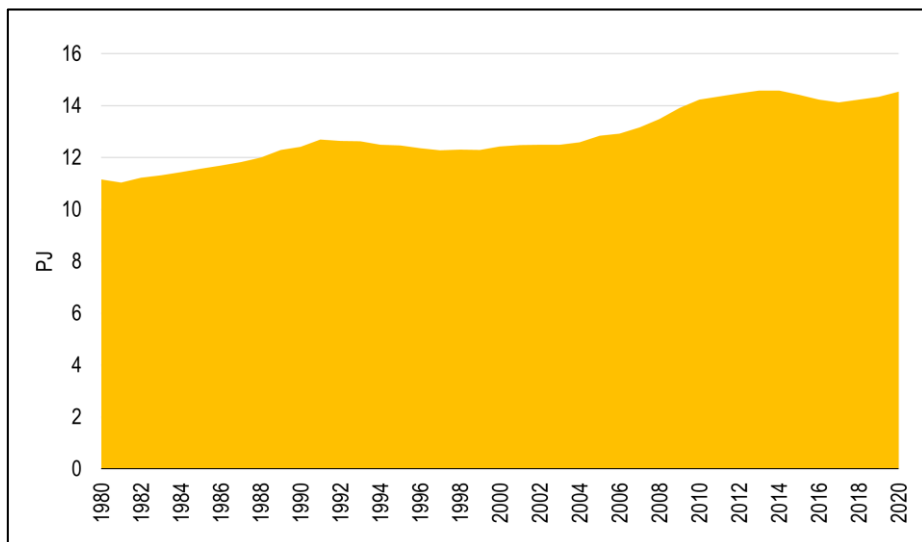


2. ábra: A háztartásokban keletkező fa-alapú hulladék évenkénti mennyisége köbméterben kifejezve
Figure 2: Annual volume of household wood-based waste expressed in cubic metres



3. ábra: A keletkező és a lerakással ártalmatlanított fa-alapú hulladék évenkénti mennyisége tonnában kifejezve
Figure 3: Annual amount of generated and landfilled wood-based waste expressed in tonnes

A lerakással nem ártalmatlanított hulladékmennyiség PJ mértékegységben kifejezett fűtőértékét a 4. ábra mutatja be. A vizsgált időszakban a háztartásokban feltételezhetően elégetett fa-alapú hulladék fűtőértéke átlagosan évi 13 PJ értékűre tehető. A fűtőérték 11 és 15 PJ értékek között mozog, a 2019-es évben számításunk szerint 14 PJ, míg 2020-ban pedig 15 PJ volt.



4. ábra: A háztartásokban évente elégetett fa-alapú hulladék fűtőértéke PJ mértékegységben kifejezve
Figure 4: Heating value of wood-based household waste burned annually, expressed in PJ

Eredményeink szerint a Bio Screen CCE Projekt 2021-es jelentésében (Bódis et al. 2021) kimutatót, 2019-re vonatkozó 37,2 PJ-os hiány 39%-a háztartási fa-alapú hulladék égetéséből eredhet. Ez azt jelenti, hogy a Bio Screen CCE Projekt jelentésben kimutatott hiány értékéből így már csak 23 PJ (azaz a teljes keresleti oldali szilárd biomassa felhasználás 26%-a) szorul további magyarázatra. Ugyanakkor tekintettel arra, hogy mind a kereslet oldali biomassa felhasználás becslése jelentős bizonytalansággal terhelt, mind pedig az általunk az FICM HWP modellel számított outflow érték is, így ez a 26%-os hiány már akár a hibahatáron belül is lehet.

Emellett fontos hangsúlyozni, hogy amennyiben valóban ilyen nagy arányú a hazai háztartásokban a fa-alapú hulladék égetése, akkor feltételezhetjük, hogy más nem fa-alapú hulladékok is nagy mennyiségben kerülhetnek elégetésre.

Hoffer et al. (2024) PM₁₀ minták elemzése alapján becsülte a Magyarországon és Romániában elégetett háztartási hulladékok típusát és mennyiségét. Eredményeik szerint a polietilén-tereftalát (PET) tartalmú csomagolóanyagok és ruhaneműk égetése volt a legjellemzőbb a vizsgált területeken. Becslésük szerint Magyarországon a teljes keletkező háztartási hulladék mennyiségének 8-13%-át, azaz a KSH (2024) adatai alapján számítva körülbelül évi fél millió tonna hulladékot éget el a lakosság háztartási tüzelőberendezésben. Hoffer et al. (2024) kiemelik, hogy ez a magas hulladékégetési szint a PM₁₀ koncentráció jelentős mennyiségéért felel, ami súlyos környezetvédelmi és népegészségügyi kockázatot jelent. Fontos kiemelni, hogy a fa-alapú hulladékok égetése nemcsak számottevő PM₁₀ kibocsátással jár, hanem számos toxikus szerves vegyület és nehézfém légkörbe jutásával is. Ezeknek

az anyagoknak az egészségkárosító hatása a PM₁₀ szennyezésnél is súlyosabb, különösen a dioxinok, PAH-ok és a bevonatokból származó nehézfémek esetében.

Fentiek alapján tehát arra következtethetünk, hogy a szilárd biomassza mérleg keresleti és kínálati oldala közötti eltérések nem illegális fakitermelésből következnek. Becslésünk szerint több mint 1,2 millió m³ fa-alapú hulladék kerül évente eltüzelésre a magyar háztartásokban. Ez a mennyiség egyenlő a 2017-2021-es évek átlagos nettó tűzifa kihozatalának 38%-ával, azaz igen jelentős mennyiségű.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A fa a körkörös biogazdaság fontos nyersanyaga, mely jelentős klímamitigációs potenciállal bír mind a szén hosszú távú tárolása, mind pedig a fosszilis energiahordozókból származó kibocsátások energiahelyettesítés útján történő elkerülése által (Borovics et al. 2023). Emiatt különösen fontos a fafelhasználás különböző útvonalai közötti optimális egyensúly megtalálása és fenntartása (Verkerk et al. 2022). A fa-alapú hulladék kezelésének legkedvezőtlenebb módja a hulladéklerakás, ugyanis ezesetben a fa-alapú hulladék jelentős metánemisszió forrásává válik, mely a globális felmelegedés szempontjából még sokkal károsabb, mint a szén-dioxid (Király et al. 2023b).

A körkörös biogazdaság szellemében a fa-alapú hulladékok kezelésének legjobb módja az újrahasználatuk, illetve az anyagukban történő újrahasznosításuk. A szennyeződések, mint a bevonatok, kezelőanyagok, kötőanyagok és lángálló szerek határozzák meg az újrahasznosítási technológiák alkalmazhatóságát (Kharazipour & Kües 2007, Harms & Flamme 1999). A kezeletlen tömörfa termékek, illetve a szerves halogénvegyületektől és egyéb káros anyagoktól mentes anyagokkal kezelt fatermékek és kompozitok alkalmasak forgácsolás után fa kompozitgyártásra (Kharazipour & Kües 2007). A halogénezett szerves vegyületekkel bevont és festett bútorok anyagukban történő újrahasznosításra csak a bevonatok és lakkok eltávolítása után használhatóak (Kharazipour & Kües 2007). Az ártalmas vegyi anyagokkal kezelt és magas szennyezőanyag tartalmú fatermékek kizárólag erőművi hulladékhasznosítás keretében, ellenőrzött energetikai hasznosítással ártalmatlaníthatók. A veszélyes PCB tartalmú fa-alapú hulladékokat pedig elkülönítetten szükséges kezelni és ártalmatlanítani (Kharazipour & Kües 2007).

E szempontok figyelembevételével javasolt lenne hazánkban a fa-alapú hulladékok visszagyűjtésének, újrahasznosításának és energetikai felhasználásának kaszkád rendszerű megvalósítása. A háztartási tüzelőberendezésekben történő égetésük környezetvédelmi szempontból aggályos. Ugyanakkor fontos biztosítani, hogy minden háztartás elegendő téli tüzelőhöz jusson, így a fa-alapú hulladékok kiterjedtebb visszagyűjtése és újrahasznosítása esetén tűzifa program keretében lenne szükséges a háztartások kieső tüzelőanyagát pótolni. Ez megnövekedett tűzifa kitermeléshez is vezethetne, illetve e célra rövid vágásfordulóú energetikai ültetvényeket is létesíthetők lennének.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú projekt keretében a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bódis P., Gálhidy L., Harmat Á., Szajkó G. & Varga K. 2021: Van-e elég fenntartható biomassza Magyarországon? – Országjelentés a szilárd biomassza keresleti és kínálati oldaláról. Magyarország. Bio Screen CEE projekt. 79 p. https://rekk.hu/downloads/projects/Country_report_Hungary_HU_FINAL.pdf
- Borovics A. 2022: ErdőLab: a Soproni Egyetem erdészeti és faipari projektje: Fókuszban az éghajlatváltozás mérséklése. Erdészeti Lapok 157(4): 114–115.
- Borovics A., Király É. & Kottek P. 2024: Projection of the Carbon Balance of the Hungarian Forestry and Wood Industry Sector Using the Forest Industry Carbon Model. *Forests* 15(4): 600. <https://doi.org/10.3390/f15040600>
- Borovics A., Merti 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>
- Borovics A., Kottek P. & Király É. 2023: Az erdészeti bioenergia hozzájárul a karbonsemlegességhez: Klímavédelmi szempontból valóban jobb gázzal vagy szénnel fűteni, mint fával? Erdészeti Lapok 158(6): 223–226.
- Harms S. & Flamme S. 1999: Wood waste recycling in Germany. R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration), February 1999. <https://www.environmental-expert.com/articles/article434/article434.htm>
- Hoffer A., Meiramova A., Tóth Á., Jancsek-Turóczy B., Kiss G., Rostási Á. et al. 2024: Assessment of the contribution of residential waste burning to ambient PM10 concentrations in Hungary and Romania. *Atmospheric Chemistry and Physics* 24: 1659–1671. <https://doi.org/10.5194/acp-24-1659-2024>
- IPCC 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds.).
- IPCC 2013: Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M., Troxler T.G. (eds.). 268 p.
- IPCC 2019: Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Calvo Buendia E., Tanabe K., Kranjc A., Baasansuren J., Fukuda M., Ngarize S., Osako A., Pyrozhenko Y., Shermanau P., Federici S. (eds.).
- ITM 2021: Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2021–2027). Innovációs és Technológiai Minisztérium. <https://kormany.hu/dokumentumtar/orszagos-hulladeggazdalkodasi-terv-2021-2027>
- Kharazipour A. & Kües U. 2007: Recycling of Wood Composites and Solid Wood Products. In: Kües U. (ed.): Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts. Universitätsverlag Göttingen, 509–533.
- 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., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2023a: A new model for predicting carbon storage dynamics and emissions related to the waste management of wood products: introduction of the HWP-RIAL model. *Acta Agraria Debreceniensis* 2023(1): 75–81.
- Király É., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2023b: 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>
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A. & Borovics A. 2024: Climate Change Mitigation Through Carbon Storage and Product Substitution in the Hungarian Wood Industry. *Wood Research* 69(1): 72–86.
- KSH 2024: Az egyes hulladékfajták mennyisége a kezelés módja szerint. https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0029.html
- Möcsényi M. 2009: Vélemény a REKK illegális fakitermelést taglaló tanulmányáról. <https://rekk.hu/downloads/projects/fagosz-reakcio.pdf>
- NIR 2023: National Inventory Report for 1985–2021. Hungary. Chapter: Land-Use, Land-Use Change and Forestry. Somogyi Z., Tobisch T. & Király É. Hungarian Meteorological Service: Budapest, 486 p.
- OKIR 2024: Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer. <http://web.okir.hu/en/>
- REKK 2009: Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont. https://rekk.hu/downloads/projects/wp2009_5.pdf
- 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.

Érkezett: 2024.09.17.

Közlésre elfogadva: 2025.11.17.