

A FAIPARI FOLYAMATOK SZÉNLÁBNYOM-ELEMZÉSÉHEZ KAPCSOLÓDÓ LOGISZTIKAI ÉS ENERGIAFELHASZNÁLÁSI KONVERZIÓS FAKTOROK MEGADÁSA

Kocsis Zoltán¹, Németh Gábor¹, Börcsök Zoltán¹, Polgár András², Király Éva³,
Kóczán Zsófia¹ és Borovics Attila³

¹Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

²Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar

³Soproni Egyetem, Erdészeti Tudományos Intézet

Kivonat

A klímaváltozás napjaink egyik kulcsfontosságú problémaköre. Kialakulásának egyik fő oka a légkörbe kibocsátott üvegházhatású gázok mennyisége, ami jelentős részben ipari-logisztikai tevékenységből származik. Az üvegházhatású gázok közül a legfontosabb és egyben az egyik leggyakoribb a szén-dioxid. A klímaváltozás hatásainak csökkentése érdekében, tehát ismerni kell a szén-dioxid keletkezésének helyeit, mennyiségét és a környezetre gyakorolt hatásait. A kutatás célja a faipari folyamatok szénlábnymeghatározását szolgáló ún. konverziós faktorok megadása, majd egy egységesen alkalmazható számítási módszertan kidolgozása. A szerzők az irodalmi kutatómunka során vizsgálták a közúti szállításból és a faipari vállalatok villamos-, és hőfelhasználásából származó szén-dioxid-kibocsátásokat, majd megadták az ezeket jellemző konverziós faktorokat szén-dioxid-egyenértékben (CO₂e) kifejezve. A bemutatott módszertan a gyakorlat számára adaptálható és hozzájárul a vállalati szén-dioxid-kibocsátás szisztematikus és tudományos alapokon nyugvó meghatározásához.

Kulcsszavak: Szén-dioxid, szén-dioxid-egyenérték, klímaváltozás, szénlábnym, logisztika, villamosenergia

SPECIFYING LOGISTICS AND ENERGY CONSUMPTION CONVERSION FACTORS RELATED TO THE CARBON FOOTPRINT ANALYSIS OF THE WOOD INDUSTRY PROCESSES

Abstract

Climate change is one of the key issues of recent times. One of the main reasons is the increasing amount of greenhouse gases released into the atmosphere, mainly derived from industrial and logistics activities. Carbon dioxide is the most important and also one of the most common greenhouse gases. In order to reduce the effects of climate change, it is therefore necessary to know the places where carbon dioxide is generated, its quantity and its effects on the environment. The aim of the research is to specify the conversion factors for determining the carbon footprint of wood industry processes, and then to develop a uniformly applicable calculation methodology. During the literature research, the carbon dioxide emissions from road transport and the electricity and heat consumption of wood



industry companies were examined, and then the conversion factors that characterize them were given in terms of carbon dioxide equivalent (CO₂e). The presented methodology can be adapted for practice and contributes to the systematic and scientific determination of companies' carbon dioxide emissions.

Keywords: Carbon dioxide, carbon dioxide equivalent, climate change, carbon footprint, logistics, electrical energy

BEVEZETÉS

Napjaink egyik aktuális környezeti, társadalmi és gazdasági problémaköre az éghajlatváltozás. Ennek egyik okozója az ipari szektor és a közlekedésből fakadó károsanyag-kibocsátás, ezen belül is a szén-dioxid (CO₂) kibocsátás mértéke, mivel a globális felmelegedés szempontjából ez a legártalmasabb légkörbe kibocsátott káros anyag (Kuti 2019, Mohamed et al. 2019). Csökkentési lehetőségét folyamatosan, több tudományterületen is kutatják. Az Európai Unió fenntartható fejlődési stratégiája és az Európa 2020 stratégia az ÜHG kibocsátásában 1990-hez viszonyítva 20%-os csökkentést tűzött ki célul. Uniós célkitűzésként pedig 2030-ra 40%-os, 2050-re 80%-os csökkentési mérték szerepel az 1990-es kibocsátási szinthez képest (Európai Parlament 2019). A közlekedés vonatkozásában az EU meghatározta, hogy az 1990-es adatokhoz képest 2050-re a közlekedésből származó szén-dioxid-kibocsátás mértékét 60%-ra kell csökkenteni (forrás: Európai Környezetvédelmi Ügynökség).

A károsanyag-kibocsátások szempontjából a mai modern ellátási láncokban (Supply Chain) az egyik kulcsfontosságú tényező az áruszállítás, azon belül is a közúti szállítás, annak ellenére, hogy a technológia fejlődésének köszönhetően az egy járműre eső CO₂-kibocsátás az elmúlt években csökkent. A keresletnövekedés hatására azonban a teljes CO₂-kibocsátás az elmúlt időszakban is jelentősen nőtt. E növekedést egyrészt a gyártott termékek mennyiségének növekedése, másrészt a globális piacoknak való megfelelési kényszer által előidézett logisztikai döntések generálták. (Cuthbertson 2011). Egy vállalat szén-dioxid-kibocsátása nagymértékben függ attól, hogy melyik iparágban, milyen technológiával, mekkora termékszortimenttel dolgozik és milyen a pozíciója az ellátási láncban.

A legfontosabb üvegházhatású gázok (ÜHG) ismertetése

A következőkben ismertetjük a legfontosabb üvegházhatású gázok környezetre gyakorolt hatáseit (Alan 2019).

- Szén-dioxid (CO₂): A szén-dioxid a legfontosabb üvegházhatású gáz, amely a kibocsátások mintegy 75%-át adja, és kb. 300–1000 évig is a légkörben tartózkodhat. A szén-dioxid-kibocsátás elsősorban szerves anyagok elégetéséből származik, mint a szén, olaj, gáz, fa és a szilárd hulladék.
- Metán (CH₄): A földgáz fő összetevője, a metán a hulladéklerakókból, a földgáz- és kőolaj-iparból, valamint a mezőgazdaságból szabadul fel. A metán molekula légkörben töltött élettartama kb. 12 év. Az üvegházhatást okozó gázok összes kibocsátásának körülbelül 16%-át adja.

- Dinitrogén-oxid (N_2O): A dinitrogén-oxid viszonylag kis részét kb. 6%-át teszi ki az üvegházhatást okozó gázok globális kibocsátásának, a légkörben töltött élettartama meghaladja a 100 évet. A dinitrogén-oxid-kibocsátás legjelentősebb forrása a mezőgazdaság és az állattenyésztés, beleértve a műtrágya, a trágya és a mezőgazdasági maradványok, valamint az üzemanyagok elégetését.
- Ipari gázok: Ilyenek például a fluorozott szénhidrogének, a klór-fluorozott szénhidrogének, a kén-hexafluorid (SF_6) és a nitrogén-trifluorid (NF_3) hőmégkötő potenciállal rendelkeznek. Molekulájuk ezerszer nagyobbak, mint a szén-dioxid molekula, és akár 1000 évig is a légkörben tartózkodnak. Az összes kibocsátás körülbelül 2%-át teszik ki. Hűtőközegként, oldószerként és a gyártás során használják, néha melléktermékként.

A Tier 1 módszertan és a 2006. évi IPCC-iránymutatásai alapján az üvegházhatású gázok szén-dioxid-egyenértékben történő összehasonlítását az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat: CH_4 és N_2O kibocsátás a villamosenergia termelés során¹

Table 1: The CH_4 and N_2O emissions for the electricity generation¹

GHG (üvegházhatású gázok)	100 éves globális felmelegedési potenciálok (GWP) – SAR (IPCC második értékelő jelentés)	100 éves globális felmelegedési potenciálok (GWP) – AR4 (negyedik értékelő jelentés)
Szén-dioxid (CO_2)	1	1
Metán (CH_4)	21	25
Dinitrogén-oxid (N_2O)	310	298

A szén-dioxid GWP-je definíció szerint 1, ami azt jelenti, hogy 1 kg metán átlagosan 23-szor, 1 kg dinitrogén-oxid pedig átlagosan 304-szer nagyobb felmelegedést okoz, mint 1 kg szén-dioxid). Az ipari gázoknak a klíma melegedésére jóval kisebb a befolyásuk. Magyarországon kibocsátott üvegházhatású gázok kb. 70%-a gazdasági tevékenységből származik, a többi a háztartások kibocsátása során, elsődlegesen fűtéssel-hűtéssel és gépkocsihasználattal kerül a légkörbe (KSH 2021).

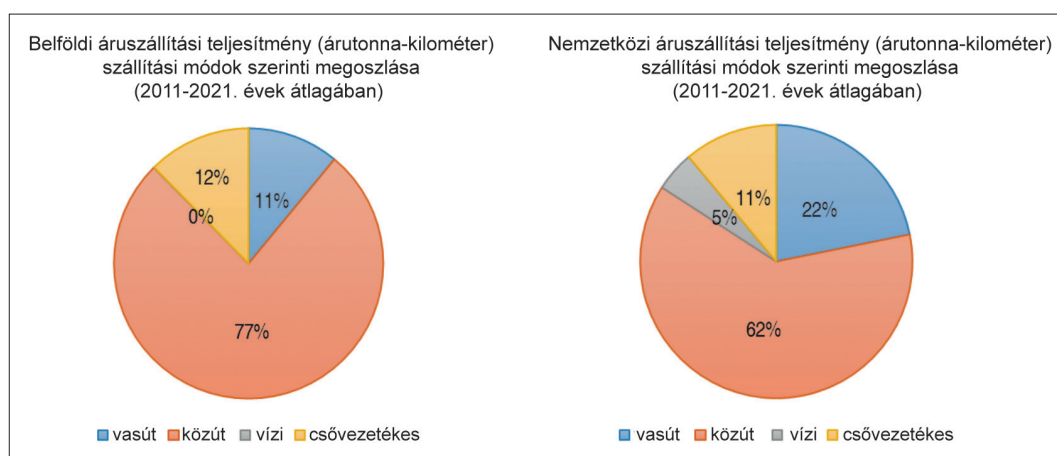
Az ipari-logisztikai folyamatok negatív környezeti hatásainak csökkentésére vonatkozó törekvések egyik lehetősége, hogy a gazdasági szereplők felmérjék és meghatározzák a tevékenységük által produkált szén-dioxid-kibocsátást és az ebből adódó környezetterhelés mértékét. A szakirodalom ezt Carbon Footprint, vagyis szénlábnyom-elemzésnek nevezi. A szénlábnyom (vagy karbonlábnyom) az emberi tevékenység környezeti hatásának egyik mércéje. Azt fejezi ki, hogy például egy ember életmódja, egy termék életciklusa, egy vállalat tevékenysége mennyi közvetlen és közvetett üvegházgáz-kibocsátással jár és ez milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez. Általános definíció szerint, a szénlábnyom valamely termék vagy szolgáltatás teljes élettartama során keletkező szén-dioxid és egyéb üvegházhatású gázok, szén-dioxid egyenértékben kifejezett, együttes mennyisége (Sós 2021). Mértékegysége, tehát a szén-dioxid-egyenérték (CO_2e), ami az összes üvegházhatású gáz (metán, dinitrogén-oxid... stb.) kibocsátását is magában foglalja. Minél nagyobb valamilyen tevékenység vagy egyén szénlábnyoma, annál nagyobb annak a klímaváltozásra (elsősorban a felmelegedésre) gyakorolt hatása.

¹ International Energy Agency: Emission factors 2018 (http://wds.iea.org/wds/pdf/CO2KWH_Methodology.pdf) (megtekintés: 2022. 06. 17.)

AZ ÁRUSZÁLLÍTÁSI TELJESÍTMÉNYEK STATISZTIKAI ELEMZÉSE

A faiparban is egyre nagyobb a szerepe a Just In Time (JIT) elvű szállításnak, amely szerint folyamatosan egyre kisebb mennyiségű áru mozgatása történik, folyamatosan egyre rövidebb határidővel. Ez a készletezési költségek fokozatos csökkenésével jár, azonban növeli a környezeti terhelést. Mivel ennél a rendszernél kiemelt jelentőségű, hogy az áru fuvarozása kellő rugalmassággal és precizitással teljesüljön, ezért az áru mozgása többnyire közúton valósul meg, ami viszont jelentős környezeti terhelést jelent. Az EU-ban a közlekedésből származó szén-dioxid 72%-áért felelős a közúti közlekedés, ebből ~40% köthető az áruszállításhoz.

A továbbiakban a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatait vizsgáltuk az áruszállítási teljesítményekre vonatkozóan Magyarországi viszonylatban belföldi és nemzetközi szinten. Jellemzően hazánkban is a közúti közlekedés a domináns, ezt követi a vasúti és a csővezetékes szállítás (1. ábra).



1. ábra: A belföldi és a nemzetközi áruszállítási teljesítmény szállítási módok szerinti alakulása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 1: The ratio domestic and international goods transport performance according to transport methods (Based on KSH 2021, own editing)

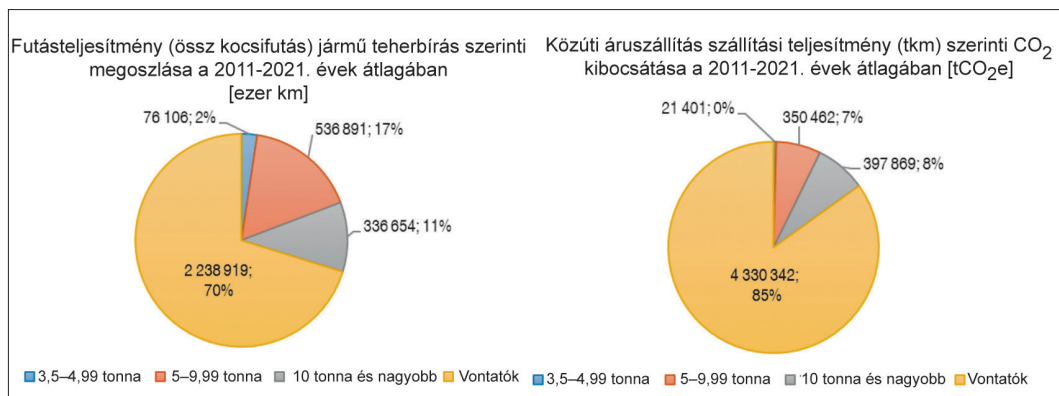
A továbbiakban a közúti és a vasúti áruszállítási módokat elemeztük, hiszen ezek a meghatározóak az ipari-gazdasági folyamatoknál. Összehasonlítottuk a közúti és vasúti szállítási teljesítményeket a 2001–2021., valamint a 2011–2021. időszakokra vonatkozóan, majd megadtuk a szállítási teljesítmények alapján a szén-dioxid-kibocsátási értékeket szén-dioxid-egyenértékben (CO_2e) kifejezve. A CO_2 -egyenérték számításához alapul vett közúti fuvarozás konverziós faktorát a későbbiekben ismertetett irodalmi adatok alapján választottuk meg 0,1391 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$ értékre. A vasúti áru fuvarozás konverziós faktorát pedig a DEFRA (2013) tanulmány alapján vettük figyelembe 0,0308 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$ értékkel (2. ábra).



2. ábra: A belföldi és a nemzetközi áruszállítás szállítási teljesítménye és CO₂-kibocsátása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 2: The transport performance and the CO₂ emissions of domestic and the international freight transport (Based on KSH 2021, own editing)

A vasúti áru fuvarozás fajlagosan kevesebb mint negyedannyi szén-dioxid-kibocsátással jár, mint a közúti áruszállítás, tehát a köztötpályás rendszerek fejlesztése környezeti szempontból kiemelt fontosságú. Ehhez kapcsolódó célkitűzés, hogy a logisztikai árumozgatás folyamán a vasúton történő árutovábbítás (intermodiális logisztikai szolgáltatás) egyre nagyobb arányban részesüljön.



3. ábra: A közúti (belföldi és nemzetközi) áruszállítási teljesítmények és a hozzá tartozó CO₂-kibocsátás jármű teherbírás szerinti megoszlása (KSH 2021 alapján, saját szerkesztés)

Figure 3: The distribution of road (domestic and international) goods transport performances and the related CO₂ emissions according to the vehicle capacity (Based on KSH 2021, own editing)

A közúti áruszállítást jellemzően, mintegy 90–95%-ban 7,5 tonnánál nagyobb teherbírású tehergépjárművekkel valósítják meg (3. ábra). A baloldali ábrán az összes koccsifutást szerepeltettük ezer kilométerben, a jobb oldali ábrán pedig a szállítási teljesítmény alapján számított CO₂-kibocsátást tüntettük fel tCO₂e-ben kifejezve. A nagyobb járművek tkm szerinti kibocsátása a nagyobb mennyiségű teher továbbításának köszönhető. A KSH 2021 adatai alapján Magyarországi viszonylatban a belföldi és a nemzetközi fuvarok 75–80%-át rakott, 20–25%-át, pedig üres koccsifutás jellemzi.

AZ IPARI FOLYAMATOK SZÉNLABNYOM-ELEMZÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A (fa)ipari vállalatok egyre nagyobb erőfeszítéseket tesznek az üvegházhatású gázok, benne a CO₂- kibocsátás mértékének megállapítására és csökkentésére. Faipari vonatkozásban éppen ezért az egyik fő törekvés irány az ún. kaszkád rendszerek alkalmazása, ami azt jelenti, hogy a kitermelt ipari fát tartjuk termék formájában, minél tovább őrizzük meg a belé zárt szenet és csak legvégső esetben engedjük azt vissza (elsősorban energetikai hasznosítás révén) a légkörbe szén-dioxid formájában. Az ellátási lánc az együttműködő, egymással piacgazdasági kapcsolatban álló vállalatok sokaságát öleli fel, ezért a környezetszennyezés kérdéskörben felmerül a kibocsátás felelősségének a kérdése is. Időközben kialakult néhány olyan módszer, melyet arra használnak, hogy megállapítsák a szén-dioxid-kibocsátás felelősségének kérdését, kijelöljék a felelősségi kör határait (egy vállalat konkrétan meddig felelős a kibocsátásért) az ellátási láncokon belül. Az ellátásilánc-megközelítés azt feltételezi, hogy egy-egy konkrét vizsgált terméknel egyértelműen megállapítható, hogy mekkora mértékben felelősek az egyes gazdasági szereplők az üvegházhatású gázok kibocsátásáért. E gázok kibocsátása kapcsán az alábbi három típust különböztethetjük meg Lee (2011) nyomán (a GHG Protocol ezeket Scope 1, 2 és 3-ként nevezi meg (Schaltegger & Csutora 2012):

1. *típus (Scope 1)* – direkt kibocsátás, amely az ellátási lánc egy vállalata által saját alapvető tevékenysége során felhasznált fosszilis (üzem) anyagok (pl. szállítás, gyártás energiafelhasználás, stb.) során kibocsátott üvegházhatású gázokat öleli fel.
2. *típus (Scope 2)* – indirekt kibocsátás, mely az adott vállalat által felhasznált (megvásárolt) energiahordozók (pl. villamosenergia, hő) előállításához kapcsolódó kibocsátást jelenti.
3. *típus (Scope 3)* – azokat a kibocsátásokat foglalja magában, melyek az előző kettőből kimaradtak. Úgy is értelmezhetjük, hogy ide tartozik minden, a vizsgált vállalat szempontjából indirekt, a saját közvetlen tevékenységén kívül eső kibocsátás, mint például a vásárolt szolgáltatások (pl. fuvarozás) kibocsátása.

Lee (2011) az alábbi CO₂-kibocsátás számítására vonatkozó módszertant javasolja:

1. Első lépésben ki kell alakítani az egyes partnerekre vonatkozó kibocsátás mérésének módszertanát, annak útmutatóját, valamint a jelentési folyamatot.
2. Ezt követően fel kell építeni a CO₂-kibocsátás folyamatainak térképét, melynek célja, hogy azonosítsa az ellátási lánc működésének összes lényeges elemét (pl. gyártás, disztribúció). Ez alapján meg lehet határozni az összes folyamatra jutó kibocsátás szintjét, valamint a felmerült költségeket. Ily módon az ellátási lánc szereplői közösen tudnak dolgozni azon, hogy csökkentsék a kibocsátás mértékét.

3. A második lépés adatai alapján tudnunk kell, hogy a folyamatok milyen kibocsátással járnak. Ezek lebonthatók egyedi termékek szintjére, amelyeket összegezve az ellátási lánc mentén, meghatározható egy adott termék szénlábnyoma.
4. Összegzés, amely egyrésztől megvalósulhat teljes ellátási lánc-szinten (pl. forgácslapgyártás ellátási láncának teljes kibocsátása), valamint megállapítható termékszinten (pl. natúr forgácslap gyártásából fakadó kibocsátás).
5. Következtetések levonása, ami akkor éri el célját, ha az ellátási lánc valamennyi tagja megfelelően tudja alkalmazni az adott módszert. Ha egy vállalat nem úgy, vagy nem azt méri, mint a többi vállalat az ellátási láncban, akkor az ő adatai nem vagy kevésbé lesznek összehasonlíthatók, ami helytelen döntéseket eredményezhet. Ez pedig rontja az ellátási lánc egészének teljesítményét.

A szénlábnyom kiszámításához számos adat és információ szükséges. Ezeket az adatokat és információkat közvetlen mérésekből vagy műszaki/szakértői becsléssel is megszerezhetjük. Ezek a mért vagy becsült (reálisan becsült) adatok első lépésben az energiafelhasználást jelenítik meg (pl. kWh, üzemanyag fogyasztás... stb.). Ezt az energiafelhasználást fejezzük ki szén-dioxid-egyenértékben (CO_2e). Ehhez szükség van olyan konverziós faktorok ismeretére, amelyek segítenek meghatározni a különböző energiatípusok (villamosenergia, hő, üzemanyag stb.) felhasználásából eredő konkrét kibocsátást. Ezek segítségével tudjuk vállalati szinten meghatározni, hogy egy adott tevékenység (pl. áruszállítás) során elégetett üzemanyag vagy felhasznált energia összességében mennyi szén-dioxid-kibocsátást eredményez.

A LOGISZTIKAI FOLYAMATOKKAL ÉS AZ ENERGIAFELHASZNÁLÁSSAL ÖSSZEFÜGGŐ KONVERZIÓS FAKTOROK MEGADÁSA

Logisztikai vonatkozásban a közúti áruszállítás konverziós faktorának meghatározását tűztük ki célul, hiszen a faiparban ez a releváns szállítási mód. A szállítás CO_2 -kibocsátásának számítása során első lépésben a szállítójármű típusa, a kapacitáskihasználtság (raktérkihasználtság), alapján meg kell határozni az adott egységre (kilométer /km/, vagy tonna-kilométer /tkm/) vonatkozó konverziós faktor értékeket. A 2. táblázatban egyrészt a DEFRA (2013) részletes tanulmánya alapján, másrészt pedig saját átfogó irodalmi kutatómunkánk és szakmai tapasztalataink alapján adtuk meg a közúti áruszállítás leggyakoribb formáira vonatkozó konverziós faktor értékeket. A 2. táblázatban láthatjuk, hogy nagy a szórás az egyes kategóriákhoz tartozó értékek között. Ennek oka, hogy nagyon sok tényező van befolyással a CO_2 -kibocsátásra (pl. gépjármű típusa, műszaki állapota, vezetési stílus, úthálózat minősége, földrajzi adottságok... stb.). Éppen ezért a legtöbb szakirodalom intervallumot (tól-ig) ad meg lokálisan a rájuk jellemző szállítási viszonylatban konkrét földrajzi helyre (ország vagy régió) vonatkoztatva. Irodalmi kutatómunkánk során áttanulmányoztuk az egyes kutatások eredményeit, melyek közül részletesebben az említett DEFRA 2013-as tanulmányt közöljük táblázatos formában, mert ez a feldolgozás tükrözi talán legjobban a valóságot, hiszen konkrét, az Európai Unióra vonatkozó átfogó méréseken alapszik.

Egy további tanulmány (IPCC 2014) szerint a nehézgépjárművek kibocsátása 0,076–0,178 $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{tkm}$ közötti tartományban van. Egyes adatbázisok (pl. Network for Transport Measures



adatbázis) a járműtípustól függően az előzőnél szélesebb tartományban (0,064–0,812 kgCO₂e/tkm) adják meg a károsanyag-kibocsátás értékeket. A kutatások azt mutatták, hogy a nagyobb (teherbírási) járművek fajlagos károsanyag-kibocsátása alacsonyabb. Tovább nehezíti a helyzetet a járművek raktérkihasználtsága, McKinnon & Piecyk (2010) kutatása 0,0397–0,151 kgCO₂e/tkm közötti kibocsátást eredményezett 50% és 100% raktérkihasználtság mellett. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség honlapján elérhető legfrissebb információk szerint a kamionos szállítás (>7,5 tonna) átlagos környezeti terhelése 0,1398 kgCO₂e/tkm. Figyelembe véve a fenti statisztikai adatokat, valamint a kapcsolódó szakirodalmi háttérrel hazai viszonylatban reálisan 0,1391 kgCO₂e/tkm súlyozott értéket vehetünk alapul a közúti fuvarozás környezeti terhelésének számítása során.

2. táblázat: A közúti áruszállítás konverziós faktorainak összefoglaló táblázata

(A km alapú faktorok forrása: DEFRA (2013), a *-gal jelölt adatok saját kutatómunka eredményei)

Table 2: The summary table of the conversion factors for the road freight transport

(Source of the km-based factors: DEFRA (2013), data marked with * are the results of own research)

Dízel üzemű nehéz teherautók konverziós faktora (kf _{sz})				
Típus	Egység	0%	50%	100%
		raktérkihasználtság	raktérkihasználtság	raktérkihasználtság
		kgCO ₂ e	kgCO ₂ e	kgCO ₂ e
Pótkocsis teherautó (3,5 – 7,5 tonna)	km	0,6561	0,7126	0,7692
	tkm*	–	0,0565*	0,1192*
Pótkocsis teherautó (7,5 – 17 tonna)	km	0,7849	0,8960	1,0069
	tkm*		0,0776*	0,1374*
Pótkocsis teherautó (>17 tonna)	km	0,9449	1,1500	1,3552
	tkm*		0,0956*	0,1825*

Az ipari folyamatok CO₂-kibocsátás számításához az alábbi kulcsfontosságú teljesítménymutatókat (key performance indicator, KPI) célszerű meghatározni Barna & Gelei (2014) nyomán:

- KPI 1: a szállítás energiaszükségletéből adódó teljes CO₂-kibocsátás (tCO₂e-ben kifejezve);
- KPI 2: a vállalat hő-, és villamosenergia-felhasználásából adódó teljes CO₂-kibocsátás (tCO₂e-ben kifejezve);
- KPI 3: egy tonna eladott termékre jutó CO₂-kibocsátás (kgCO₂e/tonna-ban kifejezve);
- KPI 4: a szállítás tonna-kilométerenkénti (tkm) CO₂-kibocsátása (kgCO₂e-ben kifejezve).

KPI 1: Ebbe a kategóriába tartozik az ún. elsődleges és másodlagos szállítás energiaszükséglete. Az elsődleges szállítás a vállalat és a raktárak közötti áruáramlást, míg a másodlagos szállítás a vállalat raktáraiból a vevőkhöz való árueljuttatást jelenti. A szállítmányozás teljes CO₂-kibocsátása az alábbiakban számítható (1. képlet):

$$KPI\ 1 = \frac{\sum \text{szállítási távolság (km)} \cdot kf_{sz} \text{ (kgCO}_2\text{e/km)}}{1000}, \quad [tCO_2e] \quad (1)$$

ahol, kf_{sz} – a konverziós faktor érték (2. táblázat alapján)

KPI2: A vállalat felhasznált villamosenergia és hőfelhasználását kell alapul venni. A villamosenergia esetében a hálózatról nyert energia, míg a hő esetében a földgáz és a faalapú energiatermelés konverziós faktorait fogjuk bemutatni.

A faipari félkész- és késztermékek gyártása során az üzemekben jelentős villamosenergia, hő, valamint üzemanyag felhasználás történik. Legtöbb esetben az egyes technológia lépésekhez tartozó energiafelhasználások nem ismertek külön-külön, mivel ezek nem kerülnek külön mérésre, regisztrálásra a termelés során. Ha technológiai lépésenként, vagy termékenként is kíváncsiak vagyunk az energiafelhasználásra és így a környezeti terhelésekre, akkor csak műszaki becslésekre tudunk hagyatkozni.

Vannak „egységesített” alapadatok is az energetikában, melyek például az alábbiak:

- Az egyes energiatípusokhoz tartozó *kibocsátási tényezőket* (az üvegházhatású gáz átlagos kibocsátását a forrásanyag tevékenységére vonatkozó adatokhoz képest, az égetés során teljes oxidációt és más vegyi reakciók esetében teljes átalakulást feltételezve) hazai és nemzetközi irányelvek és országos kibocsátási adatok alapján határozzuk meg, így úgynevezett 1. meghatározási szintről beszélhetünk.²
- Az egyes energiatípusokhoz tartozó *nettó fűtőértéket* (a tüzelőanyag vagy más anyag oxigénnel szabványos körülmények között történő teljes égetése során hő formájában kibocsátott energia pontos mennyisége, mínusz a létrejött víz párologtatásának hője) hazai és nemzetközi irányelvek, valamint például biomassza esetén a rendelkezésre álló vizsgálati jegyzőkönyvek alapján határozhatjuk meg, ennek megfelelően 1., illetve biomassza esetén 3. meghatározási szinteknek megfelelően járunk el.²
- *Oxidációs tényezők* esetében az 1. meghatározási szintet alkalmazzuk. Az oxidációs tényező nem más, mint az égetés eredményeképpen szén-dioxidra oxidált szén és a tüzelőanyagban lévő szén mennyiségének aránya hányadosként kifejezve, tekintve a CO₂ egyenértékű moláris mennyiségként a légkörbe kibocsátott szén-monoxidot (CO). A tüzeléshez felhasznált tüzelőanyagok széntartalma tehát többnyire nem ég el teljes mennyiségben. Az oxidációs tényező az elégés arányát fejezi ki százalékban. Pontos értéke mérésen alapuló számítással határozható meg.²

Célunk, hogy a vállalat teljes szén-dioxid kibocsátását meghatározzuk szén-dioxid-egyenértékben (CO₂e) kifejezve a mérnöki pontosság határai belül (a hő előállításakor $\pm 7,5$ %-ot – 1. meghatározási szint –, illetve $\pm 2,5$ % – 3. meghatározási szint vehetünk figyelembe az adatok bizonytalansága miatt).

Villamos energia felhasználással összefüggő CO₂ kibocsátás

A vállalatok éves szinten jól mérhető mennyiségű villamos energiát (úgynevezett szekunder energiahordozót) használnak a termelés, vagy az azzal összefüggő folyamatok során. Az ehhez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátás nem közvetlenül a vállalatnál történik, tehát egy közvetett kibocsátásról beszélhetünk, melyet a magyarországi kibocsátási tényező segítségével lehet meghatározni.

² EURÓPAI BIZOTTSÁG: A BIZOTTSÁG 601/2012/EU RENDELETE (2012. június 21.) A Bizottság 601/2012/EU rendelete (2012. június 21.) az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről



A villamos energiára vonatkozó kibocsátási tényező értéke, országonként és évenként eltérő. Az elmúlt években számos irodalmakban és jelentésekben különböző értékek láttak napvilágot, ezézt ezekből néhány fontosabbat az alábbiakban közlünk:

- 2010-ben kiadott „A fenntartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány” útmutatójának technikai mellékletében az alábbi értékek találhatóak:
 - Szabványos kibocsátási tényező: 0,566 tCO₂/MWh;
 - LCA (Life Cycle Assessment, életciklusra vetített) kibocsátási tényező: 0,678 tCO₂e/MWh³
- A fent szereplő 0,566 tCO₂/MWh-a értéket adták meg irányadó értéknek az IEE 2013 dokumentumában is.⁴
- Számos energetikai szakreferenci jelentésben és vállalatoknak készített tanulmányokban (2017–2020 között) találkozhatunk számításokkal, melyek jellemzően 0,32–0,35–0,37 tCO₂e/MWh_e értéket használnak Magyarországon.
- Egy 2018-as nemzetközi kiadványban⁵ 0,3040 tCO₂e/MWh-al kalkulálnak.
- 2019-es Carbon Footprint kiadványban 0,314 kgCO₂e/kWh-t kapunk.⁶
- Interaktív online felületeken a pillanatnyi állásokról függően 0,25–0,31 kgCO₂e/kWh értékkel találkozhatunk, de bruttó termelési adata vonatkozóan.⁷

A fentiek alapján elmondható, hogy a kibocsátási tényezők nagymértékű eltéréseket mutatnak. Az ilyen nagymértékű változásokat nem lehet indokolni a villamos energia előállításán belüli megújuló energia térnyerésével.

Az adatok bizonytalansága miatt saját kalkulációkat/számításokat végeztünk 2019-es (jelenleg ezen adatok a megbízhatóak) adatokkal, amiket az alábbiakban ismertetünk:

1. kalkulációs lehetőség: 2019-ben bruttó 33.518 GWh⁸ villamos energia termelés történt Magyarországon, melyből 27.469 GWh előállítása valósult meg nagyerműveknél (>50MWe). Nagyerművekhez összesen 8,31 millió tonna CO₂ kibocsátás⁸ társult, mely alapján ezeken a helyeken 1kWh villamosenergia előállítása során átlagosan 0,303 kg szén-dioxid kibocsátás történt. Figyelembe véve a bruttó és nettó termelési értékek közötti arányt (melyek közötti különbséget a termelő egység önfogyasztása generálja), 0,323 kgCO₂/kWh-val számolhatnánk, azonban a nettó fogyasztási értékeket (hiszen a hálózati veszteség is fontos tényező, ha a felhasználói oldal kibocsátási tényezőjét szeretnénk meghatározni) figyelembe véve 0,348 kgCO₂/kWh érték áll közelebb a valósághoz. Jelenleg tehát, ezen MAVIR által szolgáltatott adatok tekinthetők a legfrissebbnek. Korábbi években a MAVIR adatai alapján a kibocsátás ~0,3 – 0,4 kgCO₂/kWh között változott, így elmondható, hogy a 2019-es év kapcsán számított érték megfelelőnek mondható. Ezt az értéket azonban nagyban befolyásolja még az, hogy a Magyarországon felhasznált villamos energia és az importenergia aránya 27%⁸ volt 2019-ben, valamint az, hogy az 50 MWe-nál kisebb teljesítményű erőművek kapcsán nem állnak rendelkezésre MAVIR által publikált szén-dioxid kibocsátási értékek. A különböző országokból bejövő villamos energiához társított kibocsátási tényező értékei eltérőek, így szintén bizonytalan-

³ https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/technical_annex_en.pdf (megtekintés: 2022. 06. 18.)

⁴ Intelligent Energy Europe: Guidelines for the calculation of the IEE Common Performance Indicators (CPIs); March 2013; <https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/guidelines-ieee-common-performance-indicators.pdf> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

⁵ Carbon Footprint Ltd. által közölt kiadvány és Association of Issuing Bodies (AIB) adatok alapján: https://www.carbonfootprint.com/docs/2018_8_electricity_factors_august_2018_-_online_sources.pdf (megtekintés: 2022. 06. 18.)

⁶ https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf (megtekintés: 2022. 06. 18.)

⁷ <https://app.electricitymap.org/zone/HU/>; <https://www.nowtricity.com/country/hungary/> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

⁸ MAVIR Zrt: Magyar Villamosenergia-rendszer (VER) 2019. évi adatai alapján (Data of The Hungarian Electricity System 2019)

ságot eredményeznek és erre vonatkozó adatok nem állnak rendelkezésre hiteles formában, így feltételezzük, hogy átlagban közel azonos kibocsátási paraméterekkel rendelkező villamos energia importálása történik a környező országokból is. A kiserőművi tartományban (melyekkel 6.049 GWh energiát állítottak elő és 50 MWe alatti, de háztartásinál nagyobb méretű egységek) többek közt megújuló energiaforrások is vannak. Figyelembe véve, hogy a megújuló energiaforrások esetében alacsonyabb kibocsátás tényezők vehető figyelembe⁹, így a műszaki becslések és a megújulók részaránya alapján elmondható, hogy a magyar villamosenergia-felhasználás során figyelembe vehető kiinduló érték 0,26 kgCO₂/kWh körülire tehető.

3. táblázat: Bruttó villamosenergia termelési mix alapján meghatározott CO₂e értékek
Table 3: The CO₂e values determined by based on the gross electricity production mix

Energiahordozó	Bruttó villamosenergia termelés 2019	LCA alapú kibocsátási értékek	Forrás
	GWh	gCO ₂ e/kWh	
Nukleáris	16288	12	IPCC 2014
Szén és széntermékek	4184	820	IPCC 2014
Földgáz	8566	490	IPCC 2014
Kőolajtermékek	70	650	UK POST 2014
Biomassza	1769	230	IPCC 2014
Biogáz	318	230	IPCC 2014
Kommunális hulladék megújuló része	137	700	https://app.electricitymap.org/zone/HU
Víz	219	24	IPCC 2014
Szél	729	11	IPCC 2014
Nap	1497	45	IPCC 2014
Geotermikus	18	38	IPCC 2014
Egyéb	359	700	https://app.electricitymap.org/zone/HU
Összesen	34154	–	
Súlyozott átlag	–	257	

Mivel a hivatalos statisztikák nem nevesítik, hogy egyenértékű CO₂ kibocsátásról van-e szó, ezért az ebből fakadó növekmény meghatározásához egy korábban már említett dokumentum („A fenn tartható energiával kapcsolatos cselekvési tervhez (SEAP) kapcsolódó formanyomtatvány”) alapján számítható arányt használtuk fel. A 0,678/0,566 arányt figyelembe véve esetünkben az egyenértékű kibocsátási tényező 0,357 tCO₂e/MWh-ra adódik a 0,26 kgCO₂/kWh kiinduló értéket, valamint az erőművi önfogyasztást (bruttó, nettó termelési érték közötti különbséget), valamint a hálózati veszteséget (termelés és felhasználás közötti különbség) is alapul véve. Ez az érték megfelelően illeszkedik az irodalmakban és hivatalos jelentésekben közölt értékekhez.

2. kalkulációs lehetőség: A MEKH adatait¹⁰ felhasználva megvizsgálhatjuk a bruttó villamosenergia termelésünk során bevont energiahordozók részaránya alapján történő kibocsátást is (Itt meg kell

⁹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf (megtekintés: 2022. 06. 18.)

¹⁰ <http://mekh.hu/eves-adatok> (megtekintés: 2022. 06. 18.)

jegyezni, hogy kismértékű eltérés van a MEKH és a MAVIR kiadványában szereplő összesített adatok között, mely az adatok véglegesítéséből fakad.

Ha a 0,257 tCO₂e/MWh értéken felül figyelembe vesszük még a bruttó és a nettó termelési értékek közötti arányt, valamint a hálózati veszteséget, akkor az egyenértékű kibocsátási tényező 0,295 tCO₂e/MWh-ra adódik.

A kalkulált tényezők konklúziója: Látható, hogy a számított értékek között is jelentős különbség adódhat, ami a bemenő adatok, valamint az energetikai és a környezetvédelmi mutatók körüli bizonytalanságából ered. Ennek megfelelően akkor járunk el a legbiztosabban, ha az általunk számolt két érték átlagával vesszük figyelembe a későbbi számításainkat. Ennek megfelelően az egyenértékű kibocsátási tényező 0,326 tCO₂e/MWh-ra adódik Magyarországon a 2019-es év vonatkozásában. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az adatok időben és térben nagy szórást mutatnak.

Hő előállítással összefüggő CO₂ kibocsátás

A technológiai (pl. szárítás, préselés) és infrastrukturális hőigények (pl. csarnokok és irodák fűtése) fedezésére a vállalatok többségénél földgázt és/vagy dendromassza alapú energiahordozókat használ fel, melyek hővé történő átalakítását a telephelyen végzik. A tüzelésből származó CO₂ kibocsátás meghatározása a következő (2) általános képlet segítségével történik:

$$\text{CO}_2 \text{ kibocsátás [tCO}_2\text{]} = \text{tevékenységi adat kibocsátási tényező oxidációs tényező} \quad (2)$$

Tevékenységi adat: a tüzeléshez felhasznált tüzelőanyagok mennyisége energiatartalommal kifejezve (TJ), valamint a termelésbe bevitt alap- és segédanyagok, illetve a termelést jellemző termékek mennyisége (pl. tonna fa/év) lehet. Energiatartalommal történő meghatározásában az alábbi (3) képlet nyújt segítséget:

$$\text{Energiatartalom [TJ]} = \text{felhasznált tüzelőanyag mennyisége [t, vagy m}^3\text{]} \cdot \text{tüzelőanyag (nettó) fűtőértéke [TJ/t, vagy TJ/m}^3\text{]} \quad (3)$$

Az országspecifikus tüzelőanyag oxidációs tényezőt 1-nek vehetjük fel a jelenlegi jogi szabályozás alapján¹¹

Földgáz felhasználással összefüggő CO₂ kibocsátás

A földgáz felhasználása esik talán az egyszerűbb megítélés alá, mivel fosszilis energiahordozó lévén nem tekintjük CO₂ semleges energetikai alapanyagának. A villamos energiánál bemutatott kibocsátási tényezők itt is fellelhetők, azonban itt már sokkal egyértelműbb értéket kapunk, hiszen nem egy szekunder energiahordozóról beszélünk, hanem egy primerről, melyhez kapcsolódó energetikai

¹¹ 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételről szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól.

adatok többé-kevésbé állandónak, azonosnak tekinthetők a világ bármely részén. Az 601/2012/EU bizottsági rendelete lehetővé teszi országspecifikus fűtőérték és kibocsátási tényező alkalmazását. Az alábbi táblázat (4. táblázat) a 410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet 5. mellékletben és a 601/2012/EU bizottsági rendelet VI. melléklet 1. pont 1. táblázatában található értékeket veszi alapul.

4. táblázat: *Néhány jellemző tüzelőanyag fűtőértéke és kibocsátási tényezője*¹²
Table 4: *The calorific value and the emission factors of the some typical fuels*¹²

Tüzelőanyag	Fűtőérték	Kibocsátási tényező
		tCO ₂ /TJ
Tűzifa, fa "hulladék"	15,6 MJ/kg ^a	110–120 ^b
		0 ^c
Fűtőolaj	42 MJ/kg	74,1
Benzin	44,3 MJ/kg ^a	69,3 ^a
Dízel	43 MJ/kg ^a	74,1 ^a
Földgáz – 15 °C, 1013,25 hPa	34 MJ/m ³	56,1
Földgáz – 0 °C, 1013,25 hPa	35.87 MJ/m ³	
LPG	47,3 MJ/kg ^a	63,1 ^a

^a A jelölt adatok forrása a rendelet iránymutatása alapján: Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete¹³

^b Irodalmi adatok és a fa égésével összefüggő sztöchiometria egyenletek alapján figyelembe véve, ha úgy kalkulálunk, hogy a biomassa tüzelés nem tekinthető semlegesnek

^c A tiszta biomassa tüzelőanyagokat nulla kibocsátási tényezővel kell figyelembe venni

^a Source of the candidate data based on the guidelines of the regulation: European Commission Regulation 601/2012/EU¹³

^b Based on the literature data and the stoichiometry equations related to the wood burning, if we calculate that the biomass burning cannot be considered neutral

^c The clean biomass fuels shall be the considered with a zero emission factor

A földgáz kibocsátási tényezőjére tehát 56,1 tCO₂/TJ (0,202 gCO₂/MJ) értéket vehetünk fel a számítások során.

A dendromassa energetikai hasznosításával összefüggő CO₂ kibocsátás

Dendromassa esetén biológiai eredetű energiahordozóról beszélünk, mely alatt alapvetően az összes erdei, fás szerves anyag halmazt értjük, vagyis azt az élőfa készletet, melybe a föld alatti és föld feletti részt is beleértjük. Hagyományosan azonban, ha dendromasszáról van szó, és annak energetikai hasznosításáról, akkor értelem szerűen elsősorban a föld feletti dendromasszáról kell beszélnünk, mivel a föld alatti dendromassa (tuskó, gyökérzet) energetikai hasznosításának lehetősége még nem igazán megoldott.

¹²410/2012. (XII. 28.) Korm. rendelet az üvegházhatású gázok közösségi kereskedelmi rendszerében és az erőfeszítés-megosztási határozat végrehajtásában való részvételről szóló 2012. évi CCXVII. törvény végrehajtásának egyes szabályairól

¹³Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete: az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről (<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0601&from=ET>) (megtekintés: 2022. 06. 18.)

Sokszor találkozhatunk azzal a gondolattal, hogy a fa energetikai előkészítése, felhasználása során felszabaduló CO₂ plusz terhelést nem ró a környezetre, hiszen a fa hőhasznosítása (közvetlen tüzelés, elgázosítás) „CO₂ semlegesnek” mondható. Ez a fajta semlegesség feltételezés még a tudományos berkeket is megosztja.

A dendromassza alapú energiahordozók előállítás (vagy épp keletkezése) esetén is bizonyos mértékű energiefelhasználás történik. Ezek alapján azt is látnunk kell, hogy alapból, lokálisan ezen folyamatok CO₂ kibocsátással járnak, így a dendromassza alapú energetikai alapanyagok esetén is csak fenntartásokkal kezelhető a CO₂ semlegességének kérdése. Reálisabb az a megállapítás, miszerint a fa közel CO₂ semlegesnek tekinthető. Kijelenthető viszont, hogy a fosszilis és fisszilis energiahordozókhöz képest jóval környezetkímélőbb módon tudjuk előállítani a faalapú energetikai nyersanyagunkat.

A fatüzelés során legtöbbször a szén-dioxid meghatározáskor a széntartalomtól indulunk ki. Általánosan elmondható, hogy a faanyag elemi összetétele: 50% szén, 43% oxigén, 6% hidrogén, 1% nitrogén és egyéb ásványi anyagok (Zimmer & Wegener 1996). A faanyagok égetése során további tényként kell kezelni, hogy a fák nem olyan ütemben növekednek és veszik fel a légkörből a szén-dioxidot, mint ahogy energetikai felhasználás során azt kibocsátják. Összességében tehát a fatüzelés, fából történő energia előállítás nem lesz CO₂ semleges, de a fa elégetésével kibocsátott szén-dioxid nagy részét a fa CO₂ megkötő képessége ellensúlyozza, amennyiben az elégetett famennyiséggel egyenértékű, vagy annál több fanövekmény keletkezik. EU-s iránymutatás alapján¹⁴ „a biomassza kibocsátási tényezője nulla, amennyiben tartamos erdőgazdálkodásra létrehozott tanúsítási rendszereket alkalmazó erdőkből származó faanyag felhasználásáról van szó”. A fatüzelés során azonban célszerűbb a nettó CO₂ kibocsátást vizsgálni, mely abban különbözik a hagyományos CO₂ kibocsátástól, hogy a fotoszintézis során felvett szén-dioxid levonásra kerül a teljes – a tüzelés és egyéb folyamatok során távozó – kibocsátott szén-dioxid értékéből.

Saját kutatási tapasztalataink és korábbi felmérésünk alapján megállapítható, hogy egységi villamos energia előállításához mintegy 2,4-szer több bevitt energiára (faalapú tüzelőre) van szükség, mint hőelőállítás során, ha az átlagos villamos energia előállítás hatásfokát 35%-kal, és a hőtermelést 85%-kal vesszük figyelembe. Ennek megfelelően az alább megadott kibocsátási értékek átszámíthatók és elemezhetők a hőfelhasználás oldaláról az alábbiak szerint:

1. A Környezetvédelmi Ügynökség¹⁵ megállapította, hogy a bioenergiából származó villamos energia szén-dioxid kibocsátása általában – de nem mindig – alacsonyabb, mint a legkisebb szén-dioxid kibocsátásúként nyilvántartott, fosszilis tüzelőanyagot használó gázüzemű CCGT (combined-cycle gas turbine = kombinált ciklusú gázturbina) esetében. Például a rövid vágás-idejű energetikai faültetvényekről származó aprítékból előállított villamos energia becsült szénlábnyomata 60–270 gCO₂e / kWh,¹⁶ ami minden esetben alacsonyabb, CCGT esetében kapott 365 gCO₂e / kWh érték.
2. Egy korábbi külföldi jelentésben¹⁷ azt mutatták be, hogy a közvetlen égés két alternatívája – elgázosítás és pirolízis – által termelt villamos energia alacsonyabb szénlábnyommal vehető szá-

¹⁴ Az Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a 2003/87/EK európai parlamenti és tanácsi irányelvnek megfelelő nyomon követéséről és jelentéséről

¹⁵ Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science & Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011

¹⁶ Bates J. et al., 2009, Minimising greenhouse gas emissions from biomass energy generation

¹⁷ Elsayed et al., 2003, Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options

mításba. Az erdészeti maradékanyagokból, vagy a rövid vágásfordulóú ültetvényekről származó faanyag gázosításából származó villamos energia esetében a szén-dioxid lábnyomok 25 gCO₂e / kWh-ot tettek ki.¹⁸

3. Kanadai¹⁹ adatok közvetlenül hő előállítását mutatták be 2013-ban: 110 kgCO₂e/tonna biomassza, azaz 0,03 kgCO₂e/kWh nettó kibocsátást feltételeztek biomasszából történő hőelőállítás során.
4. A brit kormány a biomasszából történő villamos energia előállításakor az alábbi táblázat (5. táblázat) kibocsátási tényező értékeit veszi figyelembe.

5. táblázat: *Biomassza alapú villamos energiatermelésnél figyelembe vett szén-dioxid kibocsátása az UK-ban (DEFRA²⁰ adatok)*²¹

Table 5: *The carbon emissions from the biomass electricity generation in the UK (DEFRA²⁰ data)*²¹

Tüzelőanyag	Egység	kg CO ₂ e
Farönk	tonna	61,523
	kWh	0,015
Faforgács	tonna	56,881
	kWh	0,015
Fapellet	tonna	70,473
	kWh	0,015

Ha ezeket az adatokat átszámítjuk, akkor jellemzően 1,7–8 tCO₂e/TJ közötti értékeket kapunk. Ez alapján elmondható, hogy a fenti irodalmi értékek meglehetősen eltérőek.

A faalapú energetika alapanyagok EROEI (Energy Returned On Energy Invested) értékének meghatározására irányuló korábbi kutatásunk alapján (Németh 2014) Magyarországon várhatóan mintegy 2–4 tCO₂e/TJ nettó kibocsátással számolhatunk (hasított, valamint erdőről és ültetvényről származó aprított tűzifa esetén). Figyelembe véve a saját kutatási eredményeinket a faalapú energetikai alapanyagok kibocsátása esetében reálisan 4 tCO₂e/TJ értéket célszerű figyelembe venni.

Üzemen belüli anyagmozgatásból és közlekedésből fakadó CO₂ kibocsátás

Tapasztalataink alapján megállapíthatjuk, hogy a villamos energia felhasználásához és a hő előállításához képest – a benzin, gázolaj, PB alapú – üzemanyag felhasználást tekintve a faiparban elenyésző mértékű kibocsátásról beszélünk a belső logisztika kapcsán. Legtöbb esetben maximum 1–2%-os mértékről beszélhetünk az úgynevezett „CO₂ kibocsátás mix”-en belül. A termékenkénti

¹⁸ Houses of Parliament; Parliamentary Office of Science & Technology: Carbon Footprint of Electricity Generation; Number 383 June 2011

¹⁹ https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_H_WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%207.pdf (megtekintés: 2022. 06. 20.)

²⁰ Department for Environment Food & Rural Affairs: UK Government GHG Conversion Factors for Company Report in (2018) (<https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting#conversion-factors-2018>) (megtekintés: 2022. 06. 20.)

²¹ <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2018> (megtekintés: 2022. 06. 20.)



felosztás itt már annyira sem számítható, mint a villamos energia és hő kapcsán, így a termelt alapanyag mennyiségének segítségével a teljes üzemre vonatkozóan számolt fajlagos átlagot célszerű figyelembe venni.

KPI 3: A legtöbb vállalat célul tűzte ki, hogy a forgalom növekedése mellett csökkentse a szén-dioxid-kibocsátását. Ehhez azonban szükség van olyan mérőszámra, amely az időszakok eredményeit összehasonlíthatóvá teszi. Egy ilyen mérőszám például az egy tonna eladott termékre jutó szén-dioxid-kibocsátás. Meghatározásához szükség van az adott időperiódusra vonatkozó, a vállalat által értékesített termékek mennyiségére, mely alapján a KPI 3 az alábbiakban számítható (4. képlet):

$$\text{KPI 3} = \frac{(\text{KPI 1 vagy KPI 4}(\text{tCO}_2 \text{ e}) + \text{KPI 2}(\text{tCO}_2 \text{ e}))}{(\text{Termékvolumen (tonna)})} \cdot 1000, \quad [\text{kgCO}_2 \text{ e/tonna}] \quad (4)$$

KPI 4: Célja, hogy nyomon követhetővé és ezáltal menedzselhetővé váljon a kimenő (elsődleges és másodlagos) szállítás energiafelhasználásának hatékonysága. A kiszámításhoz szükséges az elsődleges (vállalat és raktár közti), valamint a másodlagos (raktár és vevő közti) szállítás energiafelhasználásából adódó kibocsátás. A vizsgált időszakra a szállítás hatékonysága meghatározható az alábbiakban (5. képlet):

$$\text{KPI 4} = \sum \text{távolság (km)} \cdot \text{jármű teherbírás (tonna)} \cdot \text{kf}_{\text{sz}} (\text{kgCO}_2 \text{ e/tkm}), \quad [\text{kgCO}_2 \text{ e}] \quad (5)$$

ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben a faipar hő-, és villamosenergia-felhasználásból adódó szén-dioxid kibocsátásokat, valamint az üzemi logisztikai folyamatokhoz kapcsolódó szén-dioxid kibocsátásokat vizsgáltuk és elemeztük. Ismertettük az üvegházhatású gázok környezetre gyakorolt hatásai, kiemelt figyelmet fordítva ezen gázok szén-dioxid-egyenértékben történő megadására. Ehhez ún. konverziós faktorokat adtunk meg a logisztikára (áruszállítás), valamint az ipari hő-, és villamosenergia felhasználására vonatkozóan irodalmi adatok és saját számítási eredményeink, szakmai tapasztalataink alapján. Kidolgoztunk egy szénlábnyom-elemzési módszertant, ami segítségével vállalati szinten meghatározható és menedzselhető a CO₂-kibocsátás. Az általunk megadott faktorok Magyarországi viszonylatban alkalmazhatók a közúti árufuvarozás, az ipari villamosenergia és hőfelhasználás, valamint a dendromassza energetikai hasznosításából származó szén-dioxid-egyenértékek (CO₂e) számítására.

Kutatásunk következő szakaszában konkrétan, az egyes faipari ágazatokra jellemzően végünk termékcsoportonként a teljes ellátási láncra kiterjedő részletes szénlábnyom-elemzést az itt ismertetett adatok és módszertan felhasználásával, kiegészítve mindezt a különböző faipari termékekhez kapcsolódó egyéb specifikus anyagok (pl. alumínium, üveg, ragasztó, festék, lakk... stb.) szénlábnyom elemzésével.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„Jelen publikáció a TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú 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”.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Alan B. 2019: NASA's Jet Propulsion Laboratory: The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide. NASA. Global Climate Change, 2019. október 9.
- Barna Zs. & Gelei A. 2014: A szénlábnym mérése – Fókuszban a közúti áruszállítás és raktározás. Vezetéstudomány – Budapest Management Review, 45. (2014), 7–8. 53–68. Online: <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1667/>
- Cuthbertson R. 2011: The need for sustainable supply chain management. in: Cetinkaya, B. – Cuthbertson, R. – Ewer, G. – Klaas-Wissing, T. – Piotrowicz, W. – Tyssen: Sustainable Supply Chain Management. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA): Online: www.eea.europa.eu/hu (megtekintés: 2022.06.12.)
- Európai Parlament 2019: Amit érdemes tudni a gépjárművek szén-dioxid-kibocsátásáról az EUban. Online: https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20190313STO31218/ami_erdemes-tudni-a-gepjarmuvek-szen-dioxid-kibocsatasarol-az-eu-ban (megtekintés: 2022.06.15.)
- IPCC 2014: A Kiotói Jegyzőkönyvből eredő 2013-as felülvizsgált kiegészítő módszerek és helyes gyakorlati útmutató, Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. & Troxler T.G. (eds.) Megjelent: IPCC, Switzerland
- Központi Statisztikai Hivatal (KSH): Évközi adatok, 2021 – Szállítás, közlekedés. Online: <https://www.ksh.hu/> (megtekintés: 2022.06.17.)
- Kuti R. 2019: A globális felmelegedés hatására kialakuló szélsőséges időjárási jelenségek megjelenési formái és következményei Magyarországon. In: Földi László & Hegedűs Hajnalka (eds.): Adaptációs lehetőségek az éghajlatváltozás következményeihez a közszolgáltat területén. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem
- Lee K-H. 2011: Integrating Carbon Footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. Journal of Cleaner Production 19: 1216–1223.
- Mckinnon A.C. & Pieczyk M. 2010: CO₂-kibocsátás mérése és kezelése az európai vegyipar-szállításban. CEFIC.
- Mohamed A. et al. 2019: Driving factors of CO₂ emissions and nexus with economic growth, development and human health in the Top Ten emitting countries. Resources, Conservation & Recycling 148: 157–169. Online: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.048>
- Network for Transport Measures database: Online: <https://www.transportmeasures.org/en/> (megtekintés: 2022. 06. 12.)
- Németh G. 2014: Decentralizált dendromassza alapú kiserőművek, falufűtőművek elterjedését támogató kutatások” című projekt féléves záró szakmai beszámolója.
- Schaltegger S. & Csutora M. 2012: Carbon Accounting for sustainability and management. Journal of Cleaner Production 36(11): 1–16. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612003186> (megtekintés: 2022. 06. 12.)
- Sós N. E. 2021: A szén-dioxid (CO₂) környezetkárosító hatása és keletkezése az áruszállítási folyamatok során (The Environmental Impact of Carbon Dioxide (CO₂) and its Formation during Freight Transport Processes). Műszaki Katonai Közlöny 31(2): 53–67. <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.2.5>
- Zimmer B. & Wegener G. 1996: Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. Holz als Roh- und Werkstoff 54(4): 217–233.

Érkezett: 2022.október 31.

Közlésre elfogadva: 2023. február 08.