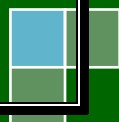


# ECO-Matrix

2024/1.



**ECO-Matrix**

**10 évfolyam, 1. szám (2024/1).**

**Szerkesztő Bizottság:**

Dr. Mannheim Viktória

Dr. Tóthné Dr. Szita Klára

Gröller György

Dr. Karcagi-Kováts Andrea

**Szerkesztő:** Dr. Mannheim Viktória

**Felelős kiadó:** LCA Center - Magyar Életciklus-Elemzők Szakmai Egyesülete, 3519 Miskolctapolca, Iglói u. 2., [lcacenter@lcacenter.hu](mailto:lcacenter@lcacenter.hu)

Az elektronikus folyóirat megjelenik évente 50-70 oldal terjedelemben.

**ISSN 2061-344X**

## **Tisztelt Olvasó!**

Ez a szám a XVIII. LCA Konferencián elhangzott néhány előadás bővebb anyagát tartalmazza. A „Fenntarthatóság- Klímaváltozás – Dekarbonizáció” címet viselő konferencia, egyben egy jubileumi esemény is volt, hiszen 15 évvel ezelőtt alapította meg egy kis csapat az LCA Center - Magyar Életciklus-Elemzők Szakmai Egyesületét, melynek célja - ahogy az Alapszabályunkban is megfogalmazásra került – „az életciklus-elemzés megismertetése, a munkamódszer elterjesztése és továbbfejlesztése, oktatás és kutatás, a környezettudatos gondolkodásmód népszerűsítése”.

Az elmúlt 15 évben folyamatosan e cél érdekében tevékenykedtünk. Megtiszteltetésnek tartottuk, hogy ezt a konferenciát a tudományos rendezvényekhez kapcsolódva, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Fenntarthatósági Intézetével közösen rendezhettük meg, bővítve szakmai együttműködésünket, és egy olyan közös kutatási projekt eredményét is közreadhattuk, ami a digitalizáció mindent átszőtt világában az életciklus-értékelés módszertanára épült.

Szívből reméljük, hogy az itt közreadott előadások olvasása hasznos ismereteket nyújt Önnek, és inspirálhatja Önt arra, hogy a következő konferenciánkon részt vegyen, és erősítse a hazai életciklus-elemzők szakmai közösségét.

**Dr. Tóthné Dr. Szita Klára**

az LCA Center Egyesület elnöke

## Tartalom

<b>V. Nagy Zoltán:</b> Miből építsek? Épületek összehasonlító beépített-karbon-elemzése különböző épületszerkezeti kialakítások esetén.....	<b>5-13</b>
<b>Dr. Matolcsy Károly, Kelemen Viola:</b> BUS-GoCircular Európai Unió projekt: körkörös gazdaság központú képzési programok kidolgozása kiemelt figyelemmel a multifunkcionális zöld tetőkre, homlokzatokra és belső falakra .....	<b>14-18</b>
<b>Gröller György:</b> Az üveg. Környezeti értékelés LCA alapon. ....	<b>19-32</b>
<b>Dr. Cséfalvay Edit, Dr. Kovács Viktória Barbara, Szalainé Kaczkó Orsolya Ibolya:</b> Fázisváltó anyagok összehasonlító életciklus-értékelése .....	<b>33-43</b>
<b>Dr. Tóthné Dr. Szita Klára, Dr. Terjék Anita, Virókné Szilágyi Krisztina:</b> A munkahelyi karbonlábnyom meghatározásának modellezése jelenléti és otthoni munkavégzés esetén	<b>44-59</b>
<b>Dr. Mannheim Viktória, Lovasné Dr. Avató Judit:</b> Helyszíni és online konferenciák dekarbonizációjának vizsgálata.....	<b>60-70</b>

## Miből építsek?

# Épületek összehasonlító beépített-karbon-elemzése különböző épületszerkezeti kialakítások esetén

V. NAGY Zoltán

okl. építőmérnök, vnagyzoltan33@gmail.com

### Abstract

As part of the whole life cycle carbon footprint, in addition to operational carbon, the embodied carbon associated with the production of the building materials, construction, maintenance, and demolition of the buildings, has been the subject of growing interest in recent years. This article describes a simplified parametric analysis method that can be used in the concept design phase of buildings and compares the embodied carbon values of real technical alternatives.

**Keywords:** embodied carbon footprint, benchmarking, parametric analysis method

### Kivonat

A teljes élelciklusra vonatkozó széndioxidlábnyom-számítás részeként az épületek használatához tartozó kibocsájtás mellett az utóbbi években egyre széleskörűbb elemzés tárgya az építéshez, fenntartáshoz, bontáshoz tartozó, úgynevezett beépített karbon figyelembevétele is. Jelen cikk épületek koncepciótervi fázisában használható, valós épületszerkezeti alternatívák beépített-karbon-értékeit összehasonlító, egyszerűsített parametrikus elemzési módszert ismertet.

**Kulcsszavak:** beépített-széndioxid-lábnyom, benchmarking, parametrikus elemzési módszer

## 1 Bevezetés

Hogyan lehet a minden tervezés elején az építető által feltett „Miből építsek?” általános kérdésre minél érthetőbb, részletesebb, ugyanakkor szakmailag tartalmas választ adni? Olyan választ, mely képes befolyásolni őket az alacsony beépített karbonlábnyommal rendelkező műszaki megoldások választására?

Ez a cikk egy olyan egyszerűsített beépített karbonlábnyom-elemzési módszert ismertet, mely megtalálható a nyilvánosan elérhető Környezetvédelmi

Terméknyilatkozatokban (Environmental Product Declarations, EPDs) és a Globális Felmelegedési Potenciál (Global Warming Potential, GWP) értékek felhasználásán alapul (kg CO<sub>2</sub>eq) [1].

A beépített-karbon-adatok az EPD-k révén az építőanyagok egyre szélesebb körében elérhetők [2]. A rájuk irányuló növekvő tervezői, építetői figyelem ösztönzi a gyártókat előállításukra. A beépített karbont figyelembe vevő szabályozások jelentek meg különböző

országokban (Anglia, Hollandia, Németország, Franciaország) a teljes életciklusra vonatkozó karbonszámítást előíró kötelezettségek részeként [3].

A koncepcionális tervezés során műszaki alternatívákat mérlegelünk. Az építési szándékot ekkor többféle szempont tudja befolyásolni. Ilyenkor dől el sok olyan alapvető tervezési kérdés, mely később már nem vagy nehezen változtatható meg. Ha ebben a korai tervezési szakaszban az építés környezeti hatásait szeretnénk felbecsülni, számos önálló, illetve tervezőszoftverekbe integrált megoldás közül választhatunk. (Gabi, SimaPro, OneClickLCA, Umberto) [4]. Ezek lehetővé teszik, hogy tervezés alatt álló épületek széndioxid lábnyomát elemezzünk, illetve műszaki alternatívákat hasonlítsunk össze.

Felmerül a kérdés, hogy lehetséges-e ezen alternatívák számát az összes műszakilag lehetséges megoldásra kibővíteni és ezzel a teljes műszaki palettára ökológiai szempontú áttekintést adni? Jelen

cikk egy ilyen, az adott lakóépület összes műszakilag lehetséges épületszerkezeti megoldásainak kombinációival létrehozott adatbázis elemzésén alapul. A módszer különböző épületváltozatokhoz rendel EPD-ken alapuló beépített-karbon-értékeket, így összehasonlíthatóvá válik a különböző kialakítások egymáshoz viszonyított környezeti terhelése. Az elemzés a beépített-karbon-értékek mellett költség-számítást is tartalmaz, így a karbonszegény építés anyagi vonzatai is összehasonlíthatók. A költségelem megjelenése az ökológiai szempont mellett segíti az LCA-eredmények hiteles kommunikálását.

Az elemzés egyszerűsített épületmodellen és korlátozott részletességű leltárképzésen alapul. Egyszerűsége miatt céljai is korlátozottak: elsősorban a korai építetói döntések befolyásolása, illetve tágabb értelemben vett tervezői és építetói szemléletformálás.

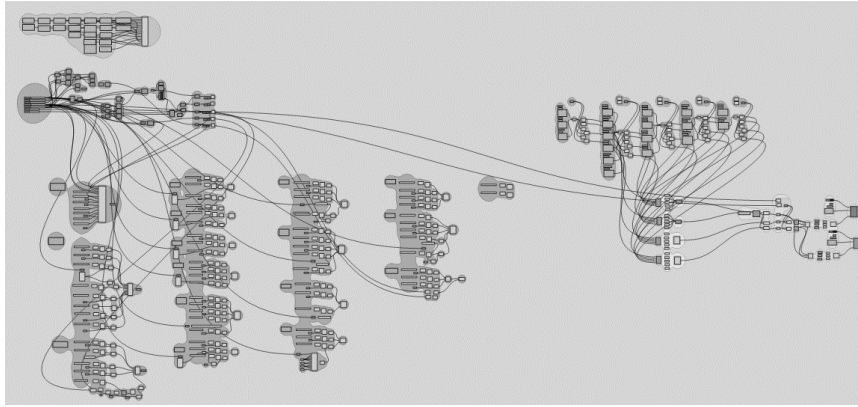
## 2 Elemzési módszer

### 2.1 Az algoritmus felépítése

A fejlesztett parametrikus algoritmus Grasshopperben készült, mely egy vizuális programozási nyelv és környezet, amely a Rhinoceros 3D (CAD) programon belül fut. [5] A programozás egy felhasználóbarát grafikus térben történt, ahol az algoritmus eredményei valós időben értékelhetők, módosíthatók (1. ábra).

Az algoritmus az alábbi fő elemekből áll:

1. Építőanyag-leltár
2. Épületszerkezeti leltár
3. Az épület parametrikus geometriai reprezentációja
4. Megoldásgyűjtemény generálása és szűrése
5. Eredmények összehasonlítása (benchmarking)



1. ábra: Parametrikus algoritmus Rhino/Grasshopperben

## 2.2 Építőanyag-leltár

Az elemzési módszer két leltárt tartalmaz, a felhasznált építőanyagokét, illetve az ezekből összeállított, előre definiált épületszerkezeti megoldásokét.

Az építőanyag-leltárban az 1. táblázatban szereplő anyagokhoz tartozó összesített GWP értékek szerepelnek (A1-A3, A4-A5, B7, C1-C4 fázisokból az EPD-ben megadott értékek). A leltárelemekhez emellett még hozzárendelésre kerültek az

építőanyagok becsült aktuális fajlagos bruttó kereskedelmi árai is.

A fa építőanyagoknál a szénmegkötés kedvező hatása nem került figyelembevételre, összhangban a vonatkozó szakirodalmi gyakorlattal. Amennyiben a szénmegkötés is része az elemzésnek, az kedvezően befolyásolja a faszervezetekre vonatkozó eredményeket [6].

1. táblázat: Építőanyag-leltár-elemek [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, Eft/m<sup>3</sup>]

Hőszigetelés	Beton	Acél	Falazóelem	Fa	Egyéb
EPS (20kg/m <sup>3</sup> ) /m <sup>3</sup> [127.5, 30]	Transportbeton C30/37 /m <sup>3</sup> [200, 50]	Betonacél B500B /ton [884.4, 420]	Üreges agyag falazóelem /m <sup>3</sup> [110, 45]	Fűrészáru C24 /m <sup>3</sup> [110.8, 160]	Cementhabarc /m <sup>3</sup> [327.3, 120]
Kőzetgyapot (36kg/m <sup>3</sup> ) /m <sup>3</sup> [55.2, 70]	Előregyártott feszített vasbeton palló /m <sup>3</sup> [360, 190]	Szerkezeti acél S235 /ton [1131.8, 650]	Mészhomok falazóelem /m <sup>3</sup> [210, 80]	BSH gerenda GL24h /m <sup>3</sup> [114, 350]	Bitumenes lemez/m <sup>2</sup> [2.7, 1.5]
			Pórusbeton falazóelem /m <sup>3</sup> [167.1, 90]	CLT panel C24 /m <sup>3</sup> [113.6, 230]	Gipszkarton /m <sup>3</sup> [120, 90]
				OSB lemez /m <sup>3</sup> [214, 190]	Zúzottkő /m <sup>3</sup> [25.4, 13]
					Agyagcserép /m <sup>2</sup> [13.3, 7.5]

Mivel létrehozott építőanyag-leltár a gyártók konkrét termékeinek publikált EPD szerinti kg CO<sub>2</sub>eq értékeit tartalmazza, az elemzés érvényessége is csak az adott termékekből összeállított épületekre vonatkozik. Ha általánosított eredményeket akarunk kapni akkor figyelembe kell venni a különböző építőanyagok értékeinek szórását, bizonytalanságát [7]. Ennek hiányában egy ilyen elemzés megállapításai nem általánosíthatók.

### 2.3 Épületszerkezet-leltár

Az épületeink általában síkokból állnak: padlóból, falakból, födémekből, tetőből. Ezek réteges szerkezetek, melyektől különböző műszaki tulajdonságokat várunk el: teherbírást, állékonyságot, tartósságot, hőtechnikai és akusztikai paramétereket.

Jelen elemzés a mai magyar tervezési, kivitelezési gyakorlatban előforduló, tipikusnak tekinthető épületszerkezeteket használja (2. táblázat). Ezek összehasonlíthatóságát az teremti meg, hogy műszaki tulajdonságaik hasonlóak, így egymásnak tényleges műszaki alternatívát jelentenek.

A leltárképzés köre korlátozott, nem szerepel benne például az építőanyagok építési területre való szállítása, az építkezés, az építési hulladék. Ezek befolyásolhatják az eredményeket. Például egy könnyűszerkezetes épület esetén az előregyártás alacsony hulladékkal jár, az építés rövid idő alatt történik, ugyanakkor a felhasznált faanyag sokszor sok száz kilométert utazik, mire beépítésre kerül.

Az épületszerkezet-leltárban az alapozás elemei a padlószerkezetet is tartalmazzák. Falaknál a hőszigetelést, illetve külső-belső burkolatot, födémeknél az úsztatott padlószerkezet is figyelembevételre került. Ez egy majdnem „core” szintű leltár, azzal a kivétellel, hogy hiányoznak a belső válaszfalak és ajtók.

Az épületszerkezeti leltárban szereplő teherhordó elemek mérete, az alapozás, falak, födémek esetén, függvénye az épület geometriának. A falköz és szintszám hatását a teherhordó elemekre a fejlesztett algoritmus figyelembe veszi.

2. táblázat: Épületszerkezeti leltárelemek [kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, EFt/m<sup>2</sup>]

Alapozás	Fal	Födém	Tető	Nyílászáró
<b>AL_tcs</b> Talajcsavar (száraz rétegrendű úsztatott padló, CLT padlólemez, BSH gerendaváz, kőzetgyapot hőszigetelés, acél talajcsavar) [32, 51]	<b>FAL_vázk</b> Vázkerámia téglafal hőszigeteléssel (EPS, falazóelem, habarcs, vakolat) [52, 19]	<b>FÖD_vblem</b> (úsztatott rétegrend, vasbeton födémlemez) [80, 24]	<b>TE_ács</b> Hagyományos ácsszerkezetű tető cserépfedéssel (cserép, fa tetőszerkezet, k. gyapot, gipszkarton) [36, 37]	<b>AB_mű</b> Műanyag ablak, 3rtg üvegezés [136, 80]
<b>AL_sáv</b> Beton sávalap (úsztatott rétegrend, beton aljzatok, bitumenes lemez szigetelés, ágyazat, beton sávalap vasalással erősítve) [116, 32]	<b>FAL_mész</b> Mészhomok téglafal hőszigeteléssel (EPS, falazóelem, habarcs, vakolat) [77, 26]	<b>FÖD_fag</b> (száraz rétegrendű úsztatott padló, OSB, BSH fagerenda, gipszkarton) [21, 20]	<b>TE_kop</b> Vasbeton koporsófödém cserépfedéssel (cserép, fa távtartó, k. gyapot vasbeton lemez) [82, 49]	<b>AB_fa</b> Fa ablak, 3rtg üvegezés [542, 40]
<b>AL_lem</b> Vasbeton lemezalap (úsztatott rétegrend, vasbeton lemezalap,	<b>FAL_pbet</b> Pórusbeton téglafal hőszigeteléssel (EPS, falazóelem, habarcs, vakolat) [62, 30]	<b>FÖD_clt</b> (száraz rétegrendű úsztatott padló, CLT panel) [34, 50]	<b>TE_lap</b> Lapostetős rétegrend (bitumenes lemez, EPS, lejtésképző beton) [36, 9]	



aljzatok, bitumenes lemez szigetelés, ágyazat [163, 52]				
	<b>FAL_clt</b> CLT paneles fal hőszigeteléssel (faburkolat, k. gyapot, fa bordaváz, CLT panel) [62, 64]			
	<b>FAL_fab</b> Fa bordaváz szerkezet hőszigeteléssel (faburkolat, k. gyapot, OSB, fa bordaváz, gipszkarton) [25, 30]			
	<b>FAL_vb</b> Vasbeton fal hőszigeteléssel (EPS, v.beton fal) [77, 22]			

A 2. táblázatban szereplő épületszerkezetek a 2.1 pont alatti építőanyag-leltár elemeiből kerültek összeállításra az adott épületszerkezeti rétegrendben szereplő rétegvastagságoknak megfelelően.

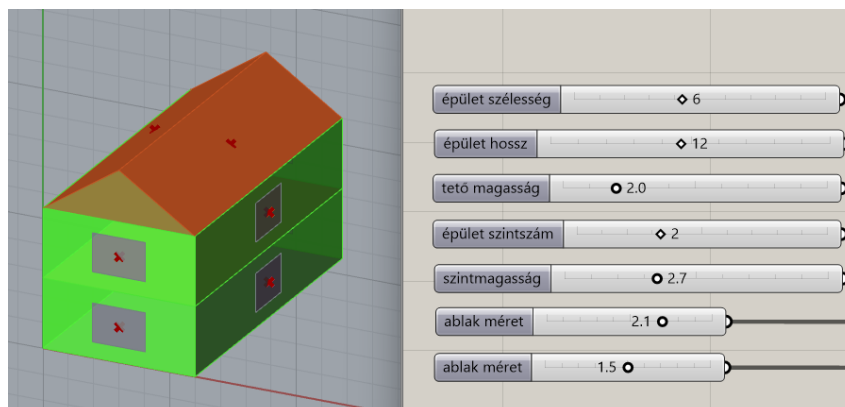
A lapostetős rétegrendben nincs külön tartószerkezet, nincs padlástér és a hőszigetelés anyaga EPS és nem kőzetgyapot, eltérően az ácsszerkezetű és koporsófüdmes kialakítástól.

## 2.4 Épület parametrikus geometriai reprezentációja

A leltárelemek fajlagos mennyiségeket tartalmaznak, ezeket szükséges az elemzett épületmodellből származó mennyiségekkel felsorozni.

A Rhino/Grasshopper programban definiált egyszerűsített épületmodell esetén a 2. ábra szerinti paraméterekkel állítható az épület kialakítása, geometriája. Van lehetőség az egytraktusos épület alaprajzi méreteinek, szintmagasságának, szintszámának és tetőhajlásszögének módosítására.

Az itt bemutatott elemzési módszer elvileg használható BIM-modellből származó, megfelelő beállításokat tartalmazó IFC-modellből kinyert adatokkal is. Azonban ezzel a javasolt módszer az egyszerűségét és könnyű kezelhetőségét veszítené el. Konceptiótervi fázisban egy ilyen egyszerűsített modellel végzett elemzés is képes tükrözni az épületszerkezeti választási lehetőségek sokszínűségét.



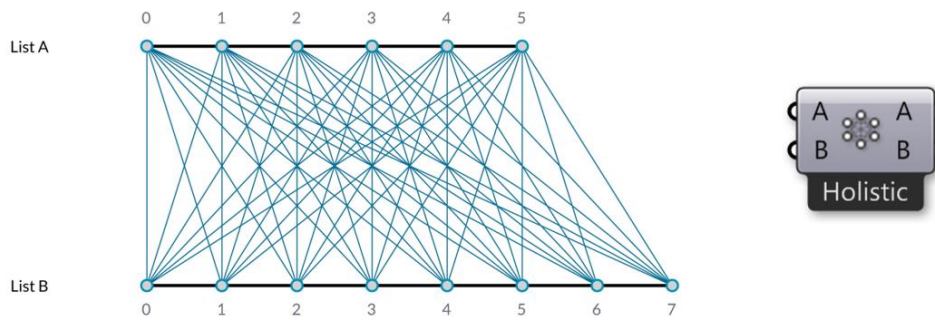
2. ábra: Parametrikus épületmodell Rhino/Grasshopperben

## 2.5 Lehetséges műszaki változatok létrehozása és szűrése

Az épületszerkezeti leltár fajlagos értékeket tartalmazó elemeit felsorozzuk az épület geometriai reprezentációjából származó mennyiségekkel. Ezután minden épületszerkezeti csoportból kiválasztva egy elemet, létrehozuk az összes műszaki alternatívát az épület lehetséges összeállítására. A lehetséges változatok száma  $N=n_1*n_2*n_3*...*n_k$ , ahol  $n_i$  az egyes elemcsoportok elemeinek száma (2. ábra).

Nem minden változat értelmes műszakilag. Például könnyű, fabordás falszerkezet nem képes nehéz vasbeton födém hordozására. Az acél talajcsavar nem alkalmas nehéz falazott vagy vasbeton épület alapozására. Ezért az összeállított kombinációk szűrésre kerültek műszaki kritériumok szerint.

Lehetőség van még a felhasznált épületszerkezeti kialakítások beállítására is, például építetői preferencia alapján. Így a benchmarking egy szűkebb, de releváns elemcsoport felhasználásával történik.



2. ábra: Teljes kombinációk létrehozása Rhino/Grasshopper

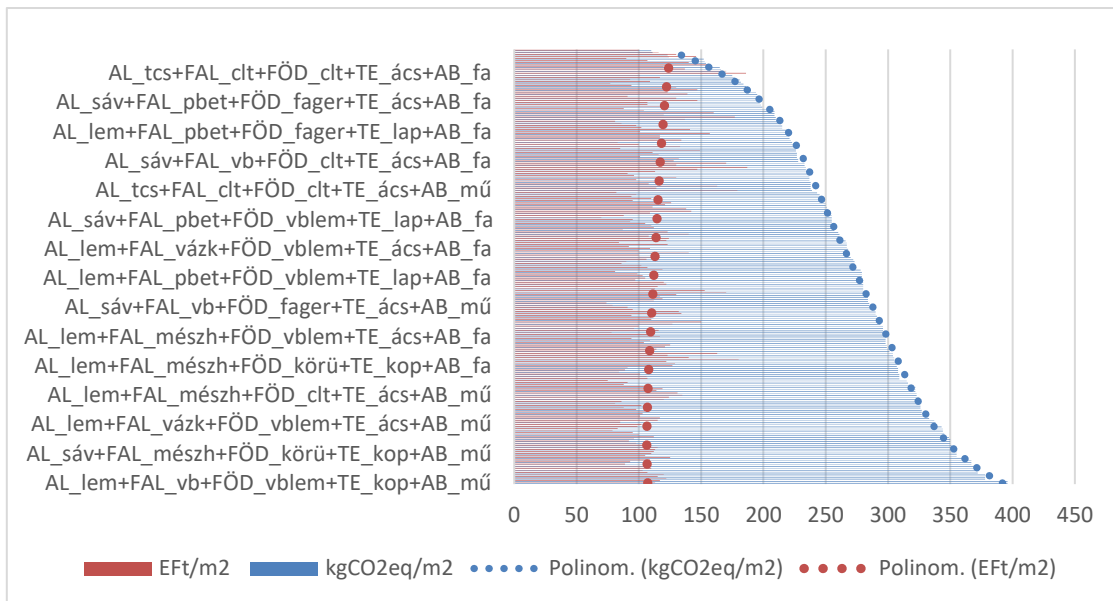
## 2.6 Változatok összehasonlítása (Benchmarking)

A teljes kombináció eredményeként olyan szövegláncokat kapunk, melyekben + jellel elválasztva az adott kombinációt felépítő épületszerkezeti elemek szerepelnek (elnevezések ld. 2. táblázat). Az adott összeállításokhoz a név mellett hozzárendeljük az összesített  $[\text{kg CO}_2\text{eq}/\text{m}^2]$  fajlagos értékeket, illetve az építőanyagok becsült, összesített fajlagos költségét  $[\text{Eft}/\text{m}^2]$  is. A különböző épületösszeállítások eredményei növekvő karbon értékek szerint rendezve a 3. ábrán láthatók. Esetünkben mindösszesen 208 változat került számításra.

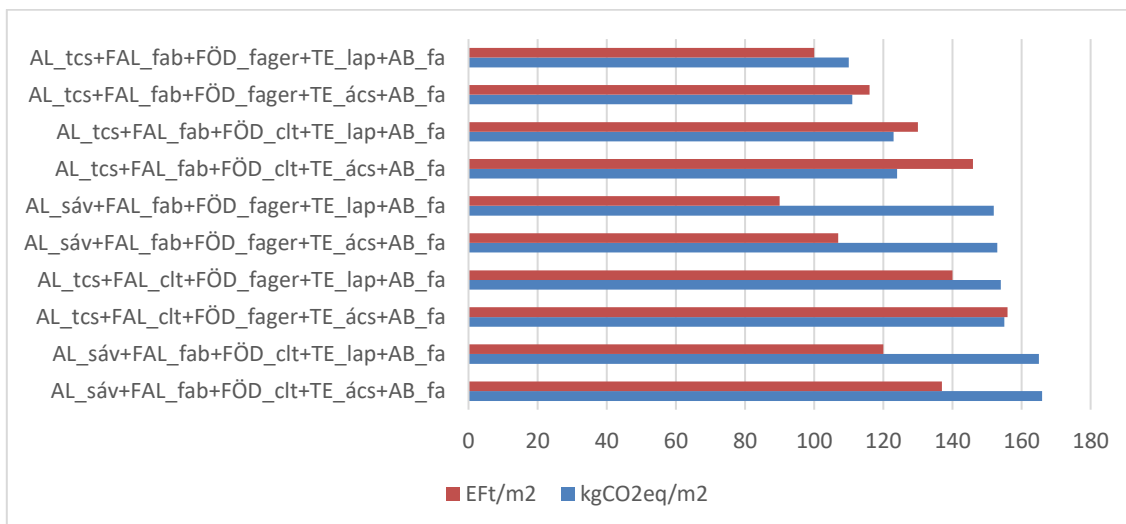
A 4.-5. ábrákon a lista első és utolsó 10 elemét ábrázoltuk. A 6. ábra mutat példát műszaki alternatíva keresésére. Itt

egy tipikusnak tekinthető beton sávalapos, vázkerámia tartófalas, monolit vasbeton födémes, ácsszerkezetű tetővel készülő épülethez képest tekintjük át az épületszerkezeti változatokat. Olyan elemekből, melyek azonos vagy alacsonyabb költség szinten, de kedvezőbb beépített karbon-értékkel építhetők, találtunk 26-ot. Ezekből a 10 legalacsonyabb karbonlábnyommal rendelkezőt tüntettük fel.

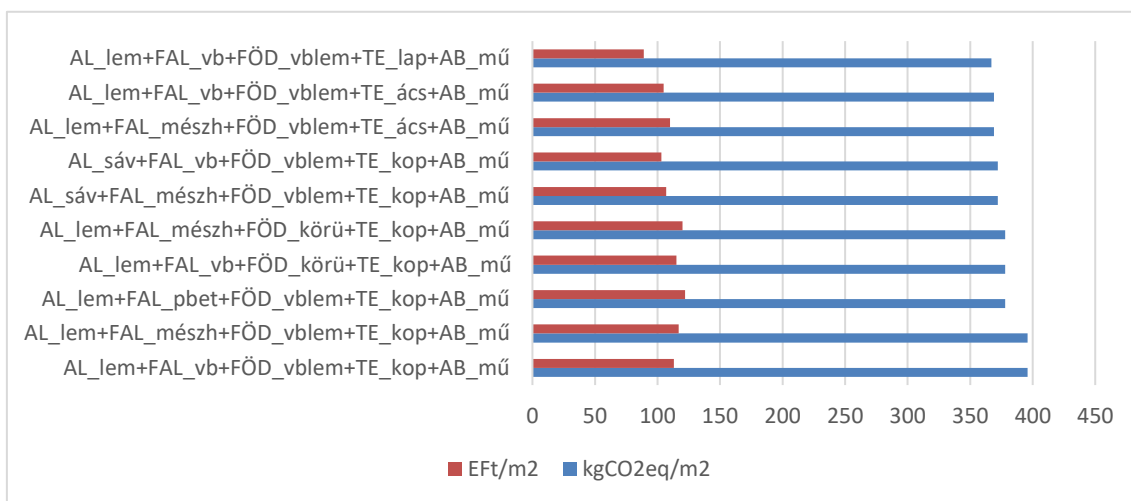
A ismertetett módszer alkalmas új építőanyagok, illetve új épületszerkezeti megoldások beépített karbon alapú összehasonlító értékelésére a meglévő, tipikus anyagokhoz, kialakításokhoz viszonyítva.



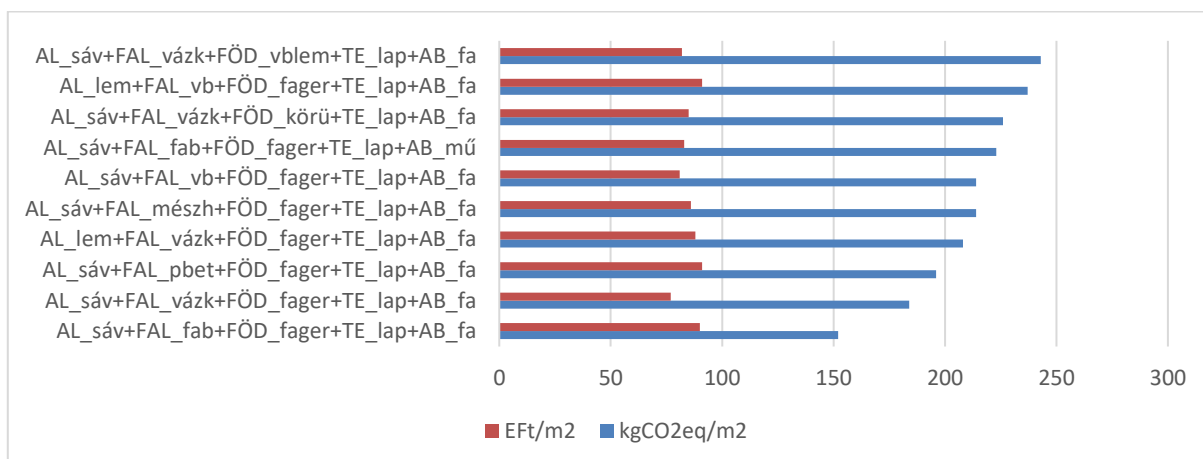
3. ábra: Épület változatok kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> szerint rendezve



4. ábra: Legkevesbé karbonintenzív épületváltozatok



5. ábra: Leginkább karbonintenzív épületváltozatok



**6. ábra:** Épületszerkezeti alternatívakeresés  
(referencia összeállítás:

AL\_sáv+FAL\_vázk+FÖD\_vblem+TE\_ács+AB\_mű 316kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, 91Eft/m<sup>2</sup>)

### 3 Eredmények és következtetések

A bemutatott módszer és az elvégzett elemzések alapján az alábbi megállapítások tehetők.

1. Az adott épületmodell összes műszaki változatára elvégzett beépített-karbon-számítás azt mutatja, hogy az épületek fajlagos karbonintenzitása a különböző változatok mentén egyenletesen változik.
2. A különböző épületszerkezeti megoldásokkal komoly változások érhetők el az épület beépített-karbon-

szintjében. Ez a különbség az összes lehetséges műszaki változat között az elemzett épületnél ~3,6x-es volt.

3. Az elemzés szerint a karbonintenzitás nem közvetlenül arányos az építőanyag-költséggel, azaz azonos vagy kisebb költségszint mellett több alacsonyabb karbonintenzitású műszaki változat is jelentkezik. Ez döntési szabadságot adhat egy ökológiai szempontokra fogékony tervezőnek, építetőnek.

### 4 Összefoglalás

Az ismertetett módszer különböző épületszerkezeti kialakítású épületek beépített karbon alapú egyszerűsített összehasonlítását teszi lehetővé korai, koncepciótervi fázisban. Az EPD-értékek és becsült építőanyag-költségek felhasználásával olyan ökológiai szempontú benchmarking készíthető, mely alkalmas az adott műszaki változatok közti

különbségek felmérésére, könnyen értelmezhető megjelenítésére, és ezzel tervezői, építetői döntések befolyásolására. Azzal, hogy az áttekintett épületszerkezeti kombinációk minden műszakilag reális megoldásra kiterjednek, az épületváltozatoknak az ökológiai szempontú relatív minősége értelmezhetővé válik.

## Irodalom:

1. Institut Bauen und Umwelt e.V (IBU), EPD-Online Platform, <https://epd-online.com/>
2. Marcelo Marzocchini Javier Echazarreta Javier Echazarreta Verónica Gulivart Marina Lago Mathisen - Environmental Product Declarations worldwide: a case study in Argentina – 2023 - *The International Journal of Life Cycle Assessment* 28(8):1-12
3. oneClickLCA webpage, <https://www.oneclicklca.com/regulations-and-policies-driving-embodied-and-whole-life-carbon/>
4. The Institution of Structural Engineers 2022, How to calculate embodied carbon, <https://www.istructe.org/resources/guidance/how-to-calculate-embodied-carbon/>
5. Grasshopper Community, Forum, Grasshopper Algorithmic Modelling, <https://www.grasshopper3d.com/>
6. Will Hawkins Climate emergency - Timber and carbon sequestration, January 2021 | thestructuralengineer.org, <https://www.istructe.org/IStructE/media/Public/TSE-Archive/2021/Timber-and-carbon-sequestration.pdf>
7. oneClickLCA, Quality and consistency for whole-building LCAs using product-specific EPDs, <https://www.oneclicklca.com/quality-and-consistency-for-whole-building-lcas-using-product-specific-epds/>

## Szerzőnk



**V. Nagy Zoltán** okleveles építőmérnök, gyakorló tartószerkezet-tervező 25 éve.

# **BUS-GoCircular Európai Unió projekt: körkörös gazdaság központú képzési programok kidolgozása kiemelt figyelemmel a multifunkcionális zöld tetőkre, homlokzatokra és belső falakra**

**DR. MATOLCSY Károly<sup>1</sup> és KELEMEN Viola<sup>2</sup>**

[1] nemzetközi tudományos főmunkatárs, ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.,  
kmatolcsy@emi.hu

[2] senior nemzetközi projektvezető, ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.,  
vkelemen@emi.hu

## **Abstract**

ÉMI Nonprofit Kft. participates as a consortium partner in the BUS-GoCircular project, the purpose of which is to help overcome the shortage of skilled workers dealing with green energy, stimulate the demand for skilled workers, and promote the increase of practical capacity building in the construction value chain. BUS-GoCircular has developed a qualification system focusing on multifunctional green roofs, facades and interior elements to achieve this goal. BUS-GoCircular wants to stimulate the increase in demand for energy skills through 3 main activities: By analysing abilities related to the circular economy and assessing the gaps, especially in the fields of energy efficiency and BIM; With the training of trainers through modules developed in the circular economy topic; By training mentors, to transfer the acquired knowledge to training institutions. 11 modules were developed within the project. The implementation takes place on a country-specific and regional level, based on measures aimed at stimulating demand, supplemented by the theoretical and practical development of local and regional training capacity and the workforce.

**Keywords:** circular economy, green solutions, train the trainers, energy efficiency

## **Kivonat**

Az ÉMI Nonprofit Kft. konzorciumi partnerként részt vesz a BUS-GoCircular projektben, aminek célja, hogy segítsen leküzdeni a zöld energiával foglalkozó szakképzett munkaerőhiányt, és ösztönözze a szakképzett munkaerők iránti keresletet, valamint elősegítse a gyakorlati kapacitásépítés növelését az építési értékláncban. A BUS-GoCircular a kitűzött cél elérése érdekében kidolgozott egy képesítési rendszert, amely a multifunkcionális zöldsínekre, homlokzatokra és belső elemekre összpontosít. A BUS-GoCircular az energetikai készségek iránti igény növelését a 3 fő tevékenységen keresztül kívánja ösztönözni: Körforgásos gazdasággal kapcsolatos készségek elemzésével, és a hiányok felmérésével, kiemelten az energiahatékonyság és a BIM területén; A képzők képzésével, körforgásos gazdaság témakörben kidolgozott modulokon keresztül; Mentorok képzésével, a megszerzett tudás képzőintézményeknek való továbbadása érdekében. A projekt keretében 11 modul került kidolgozásra. A megvalósítás országspecifikus és regionális szinten történik, a kereslet élénkítését célzó intézkedések alapján, kiegészítve a helyi és regionális képzési kapacitás és a munkaerő elméleti és gyakorlati fejlesztésével.

**Kulcsszavak:** körforgásos gazdaság, zöld megoldások, képzők képzése, energiahatékonyság

## 1 Bevezetés

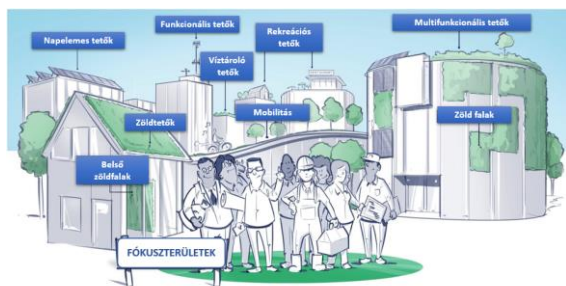
Az ÉMI Nonprofit Kft. konzorciumi partnerként részt vesz a BUS-GoCircular projektben. A projekt célja, hogy segítsen leküzdeni a zöld megoldásokkal foglalkozó szakképzett munkaerőhiányt és ösztönözze a szakképzett munkaerő iránti keresletet, valamint elősegítse a gyakorlati kapacitásépítés növelését az építési értékláncban.

A zöld megoldások tervezése és megvalósítása során szükséges készségek iránti igény növelése az alábbi tevékenységeken keresztül ösztönözhető:

- Körforgásos gazdasággal kapcsolatos készségek elemzésével és a hiányok felmérésével, kiemelten az energiahatékonyság és a BIM területén.
- A képzők képzésével, körforgásos gazdaság témakörben kidolgozott modulokon keresztül.
- Mentorok képzésével, a megszerzett tudás képzőintézményeknek való továbbadása érdekében.

## 2 A projektben alkalmazott módszerek

A konzorcium a kitűzött cél elérése érdekében a multifunkcionális zöldtetőkre, homlokzatokra és belső elemekre (1. ábra) fókuszáló képzési rendszert alkalmazta.



1. ábra: Fókuszterületek.

A különböző körforgásos stratégiák és beavatkozások alapján feltérképezhető, hogy mely szakmák érintettek és vesznek részt a releváns beavatkozások végrehajtásában.

### A projekt megvalósítása

A BUS-GoCircular partnerség három fő lépésben határozta meg a megvalósításhoz szükséges intézkedéseket (2. ábra).



2. ábra: Célkitűzések megvalósításának lépései

A projekt keretében a nemzetközi partnerek kidolgoztak egy általános keretrendszert, amely meghatározza melyek a körforgásos gazdasághoz kapcsolódó beavatkozások az építőipari értékláncban.

A kidolgozott keretrendszer a körforgásos gazdaság hét kulcselemén alapul:

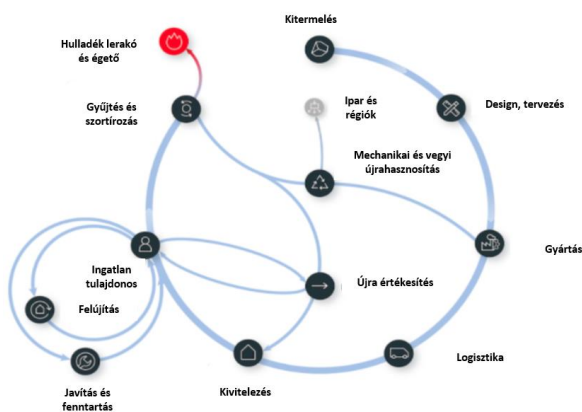
- Megújuló erőforrások előnyben részesítése
- Rendelkezésre álló, kész elemek megőrzése, fejlesztése
- Hulladék újrahasznosítása
- Üzleti modell újragondolása
- Hosszútávra tervezés
- Együttműködés közös értékek megteremtése érdekében
- Digitális technológiák integrálása

A keretrendszer kidolgozásának eredményeként egy sor olyan archetipikus beavatkozás került azonosításra, amelyek



javítják az épületek energiateljesítményét a körforgásos kulcselemek alkalmazásával. A hét kulcselem 25 konkrétabb elemet foglal magában, amelyek meghatározásához feltérképezésre kerültek azok a szakmák és feladatkörök, amelyek részt vesznek az egyes stratégiák végrehajtásában az értéklánc öt kiemelt szakaszában: Tervezés, beszerzés, építés, üzemeltetés és a szolgáltatás vége-újra fogalmazása.

Az építési értéklánc tágabb értelemben vett szakaszai (3. ábra) és az azok közötti lépések meghatározása szintén segítséget nyújtott a körforgásos gazdaságban kulcsfontosságú szerepet betöltő szakmák (építésmérnök, építőmérnök, tájépítésmérnök, villamosmérnök, épületautomatizálási mérnök, környezetmérnök, létesítményüzemeltető, épületenergetikai tanácsadó, ökológus, szigetelő, tetőfedő, villanyszerelő és -technikus, hőszivattyú telepítő, stb.) és szereplők kiemelésére.



**3. ábra:** Az épített környezet értéklánca.  
(Forrás: Circularity Gap Report, Hollandia)

A releváns szakterületek meghatározása alapot szolgáltatott ahhoz, hogy áttekintést nyújtson a körforgásos stratégia megvalósításához szükséges különböző szerepekről a gyári operatív dolgozótól az anyamérnökig. A keretrendszer ezután a többfunkciós körkörös stratégiákhoz kapcsolódóan került alkalmazásra: tetőkre, homlokzatokra és belső elemekre, beleértve az energiahatékonyságot támogató

intézkedéseket is. A kidolgozott keretrendszert az érintett építőipari szakemberekkel folytatott interjúkkal és a BUS-GoCircular projekt konzorcium szakértőivel validálták. A meghatározott keretek alapot szolgáltattak a szükséges készségek és a jelenlegi a körforgásos stratégiák megvalósításához szükséges különböző szerepekhez kapcsolódó készségigények felméréséhez, és a körkörös építőipari képesítési keretrendszer kidolgozásához. A keretrendszert alkalmazó és más érdekelt felek által adott további visszajelzések alapján a különböző körforgásos stratégiák és beavatkozások tekintetében a keretrendszer tovább finomítható a jövőben. Továbbá a körkörös építési keretrendszer alkalmazásából származó tanulságok a multifunkcionális zöld tetők, homlokzatok és belső elemek esetében értékes tanulságokkal szolgálnak arra vonatkozóan, hogy a keretrendszer hogyan alkalmazható más, specifikusabb kapcsolódó fókuszterületekre is, mint például a körkörös hőszivattyú- és szellőztetőberendezésekre. Ezt az általános keretrendszert használták fel konzorciumi partnerek az építőipari szakképzettségi hiányosságok feltárására Európa-szerte. A keretrendszer elemeinek felhasználásával egy készségtáblázat került összeállításra, valamint ezzel együtt egész Európára kiterjedő releváns szakmai tanfolyamok listája is elkészült, amely alapot szolgáltatott a projekt keretében megvalósított képzők képzése programhoz. A készségtáblázat alapján a projekt partnerek feltérképezték a jelenlegi és a jövőben szükséges körforgásos gazdasághoz kapcsolódó készségek felmérését (0-tól - nem alkalmazható - az 5-ig – szakértői szint terjedő skálán) az építőiparban dolgozó szakemberek közreműködésével. A megszerzett információk az építőiparban dolgozók képzését segítik azáltal, hogy megmutatják, milyen a képzettségi szintjük a szükséges elvárható sinthez képest, segítve ezzel a szükséges továbbképzési irányok meghatározását. A szakértők körében



végzett készségszint felmérés egy általános képet adott a körkörös gazdaság fókuszú jelenlegi és szükséges készségekről, amelyre építve a BUS-GoCircular konzorciuma kidolgozott egy képesítési rendszert és a kapcsolódó tananyagot. Az oktatók számára a tananyag az alábbi 11 modulon keresztül nyújt áttekintést a körkörös gazdaságról:

1. Körkörös gazdaság és megvalósítása az építőiparban
2. Körkörös megoldások alkalmazása a tervezés, kivitelezés és bontás fázisában
3. Biobázisú alapanyagok alkalmazása
4. Fejlesztések és fenntartás az építőiparban
5. Víz és körkörös gazdaság
6. Energia és körkörös gazdaság
7. Digitalizáció és „termék útlevelek” az építőiparban
8. Anyagok hatása a körforgásos gazdaságokban
9. Hulladék mint erőforrás
10. Bontás mint az épület életciklusának eleme
11. Körforgásos gazdaság az értékláncban

A 11 modul képzők képzése tanfolyamok keretében került oktatásra személyesen és online formában, ahol bármely európai országban oktató szakember részt vehetett. A tanfolyam olyan képzőintézmények oktatói számára készült, amelyek folyamatos szakmai továbbképzéseket biztosítanak gyakorló építőipari szakemberek számára, és a „körforgásos” épületek tervezéséhez, építéséhez, használatához, karbantartásához és élettartamának meghosszabbításához

szükséges új ismeretekre és készségekre összpontosítanak.

Annak érdekében, hogy a kkv-k egyszerű, vonzó és hatékony módon képezhessék munkatársaikat, és hogy tudatosítsák bennük, hogy hol keressenek képzett munkaerőt, a BUS-GoCircular konzorcium a 11 oktatói modulon felül további nyolc képzési csomagot tervezett, amelyek hatékony eszközként szolgálnak a készségek fejlesztéséhez.

A 8 képzési csomag attraktív és alacsony költségekkel járó képzési formátumot jelentenek az építőipari vállalatok számára. A képzési csomag célja, hogy megkönnyítse a kkv-k számára a munkaerő-képzésüket azáltal, hogy gyors és költséghatékony megoldást kínál, hozzájárul az építőipari szereplők készségeinek fejlesztéséhez a körforgásos gazdaság hét kulcsfontosságú alapelvével kapcsolatban, ezzel is erősítve a képzett munkaerőt foglalkoztató vállalatok piaci szerepét.

### 3 Eredmények

A projektben vállalt feladatok és célkitűzések megvalósítás országspecifikus és regionális szinten történik. A résztvevő partnerországok mindegyike (Hollandia, Írország, Spanyolország, Horvátország, Bulgária, Magyarország és Belgium) a zöld megoldásokkal foglalkozó szakképzett munkaerő iránti kereslet élénkítését célzó intézkedéseket valósított meg, kiegészítve a helyi és regionális képzési kapacitás és a munkaerő elméleti és gyakorlati fejlesztésével.

### Irodalom:

BUS-GoCircular projekt (Támogatási szerződés száma: 101033740)

Circularity Gap Report, Hollandia (Circle Economy Foundation)

## Szerzőink



**Dr. Matolcsy Károly** 1989 óta dolgozik az ÉMI-ben. 2011 és 2015 között kutatási igazgatóként tevékenykedett, jelenleg a nemzetközi kutatás-fejlesztésért felel. Építészmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen. Később posztgraduális vízszigetelési, szigetelési és akusztikai szakértő lett. Több mint 30 éve dolgozik az ÉMI-ben, rengeteg tapasztalattal rendelkezik az épületburkolatok és épületszerkezetek vizsgálatában, szakértői és kutatási gyakorlatában. Emellett oktat a Budapesti Műszaki Egyetemen. Aktívan részt vesz nemzetközi szervezetek munkájában. 2019-ben az European Network of Building Research Institute (ENBRI) elnökévé választották, valamint elnökségi tag a European Construction, built environment and energy efficient building Technology Platform (ECTP) szervezetben.



**Kelemen Viola** 2014 óta dolgozik projektmenedzserként az ÉMI Nonprofit Kft-nél. Tájépítész mesterszakos diplomáját a Budapesti Corvinus Egyetem Tájépítészeti Karán szerezte 2013-ban. Az ÉMI-ben részt vett a CEC5 (Közép-Európa Transznacionális Program 5.), a Build Your English és több, energiahatékonysággal kapcsolatos uniós projektben, valamint több hazai konzorciumban megvalósuló projektben. Projektvezetője volt az ÉMI által koordinált BUS TRAINBUD projektnek (a magyar BUILD UP Skills II. pillére), a NEWCOM (H2020) és egy ERASMUS+ projektnek (BIMZeED), ahol az ÉMI munkacsomag vezetőként vett részt. Jelenleg négy folyamatban lévő projekt METABUILDING LABS (H2020), BUS-GoCircular (H2020), tunES (LIFE) és CapaCITIES (Horizon Europe) projektvezetője.

# Az üveg. Környezeti értékelés LCA alapon

GRÖLLER György

ny. egyetemi docens, Óbudai Egyetem, Kandó K. Villamosmérnöki Kar, Mikroelektronikai és Technológia Tanszék, groller.gyorgy@uni-obuda.hu

## Abstract

Glass is widely used in our daily lives due to its environmentally advantageous properties such as unlimited recyclability, chemical and physiological neutrality, and relative durability. However, glass production requires significant energy, and it is relatively heavy, which are some of its disadvantages. To evaluate the overall environmental impact of glass, it is important to consider its life cycle and various environmental effects. Studies have been conducted on architectural and packaging glass to identify areas where alternative materials may be more beneficial and help to reduce the environmental burden. Based on an overview of these studies, I aim to present such areas.

**Keywords:** glass, Life Cycle Assessment, environmental impact

## Kivonat

Mindennapi életünk során nagyon sok területen használunk üveget. Van néhány környezetileg előnyös tulajdonsága, pl. a korlátlan reciklálhatóság, az, hogy kémiaiilag, élettanilag abszolút semleges, viszonylag tartós, de van néhány hátrányos jellemzője is, pl. az előállítás nagy energiaigénye, a relatíve nagy súlya. Épp ezért célravezető, ha e tulajdonságokat az egész életútra, több környezeti hatás figyelembevételével értékeljük. Az elmúlt évtizedekben nagyon sok elemzés készült mind az építészeti, mind a csomagoló üvegekről. Ezeket áttekintve próbálom bemutatni azokat a területeket, ahol lehetőség van a környezetterhelés csökkentésére, illetve azt, hogy az alternatív anyagok használata hol előnyösebb, hol nem.

**Kulcsszavak:** üveg, életciklus-elemzés, környezeti hatás

## 1 Bevezetés

2022 az üveg nemzetközi éve volt. Ennek apropóján összefoglalom, mit tud mondani az LCA az üvegek környezeti hatásairól. Az üveg egy nagyon változatos, sokoldalúan használható anyag. Szinte pótolhatatlan a háztartásainkban, az építészetben, fontos az italok, élelmiszerek, gyógyszerek csomagolásában. Nagyságrenddel növelte a távközlési hálózatok kapacitását az optikai szál és fontos eleme az üvegborítás a kijelzőknek, napelemeknek. A világon évente több mint 200 millió tonna üveget

állítanak elő, évi 2 – 3%-os növekedés mellett. Ilyen mennyiségű anyag esetében nagyon fontos tudnunk, hogy milyen környezeti hatásokkal számolhatunk, és keresni a terhelés csökkentésének lehetőségeit, mert egy relatíve kicsi javulás is komoly kibocsátás-csökkenést eredményezhet.

A cikkben igyekszem részletesen áttekinteni a technológiát, ha nem is üveges szakemberi szinten, mert hiteles környezeti

értékelést csak a folyamatok ismeretében lehet adni.

Az üveg nem csak hasznos, hanem szép és érdekes anyag. Áttetszősége, sima felülete, lágy vonalai alkalmasak arra, hogy használati tárgyainkat, épületeinket szebbé

tegye. E cikk szebbé tételéhez, az alkotó hozzájárulásával, Kohut-Görömbei Luca üvegművész Kistücsök c. kollekciónak pár darabját használom, amelyeket éttermi hulladék-üvegek újrahasznosításával készített (1. ábra).



1. ábra: Kohut-Görömbei Luca üvegművész Kistücsök c. kollekcója [12].

Az üvegeket csoportosíthatjuk tulajdonságaik szerint, így vannak lágy és kemény üvegek, kvarcüveg és üvegkerámiák. Számunkra azonban praktikusabb, ha a felhasználási terület szerinti tárgyalást választjuk, mert hasonló

használathoz általában hasonló életciklus és hasonló környezeti terhelések tartoznak. A globális termelési adatokat és egyben a fő csoportokat mutatja az 1. táblázat. (Megjegyzendő, hogy a különböző források adatai elég nagy szórást mutatnak.)

2. táblázat: Éves üvegtermelés 2021-ban (millió tonna) [1].

	Síküveg	Öblösüveg	Háztartási üveg	Üvegszál (szigetelő, kompozit)	Egyéb
<b>Világ</b>	106	95	8	n.a.	8
<b>Európa</b>	10,7	23,4	1,3	0,8	0,9

### 1.1 Építészeti üvegek, síküvegek

A legnagyobb tömegben gyártott típus, elsősorban ablakokhoz, de a modern építészetben függönyfalak, teljes homlokzatborítás, belső elválasztók készülhetnek belőle. Fő követelmények:

- legyen tökéletesen sík,

- ne legyenek benne hibák (kő, buborék),
- legyen víztiszta és színtelen, azaz minimális legyen a fényelnyelése a teljes látható tartományban.

### 1.2 Öblösüvegek (csomagoló üveg, container glass)

A gyártott mennyiség alig kevesebb, mint a síküvegeké. Környezeti szempontból sokkal kritikusabb, mert a termékek jelentős részénél a rövid használati idő után gyakorlatilag végtelen hosszú hulladék állapot következik. Enyhébbek az optikai tisztaságra szóló követelmények, több célra megfelel a zöld, barna üveg is. Elvárás a jobb mechanikai ellenállóképesség, azaz bírja a töltés, szállítás, tisztítás, hőkezelés terheléseit.

### 1.3 Háztartási üvegek

A kisebb tömegű termelés mellett azt is kell tudnunk, hogy a sokrétű használat többféle tulajdonságot, üvegtípust igényel, a szokásos lágyüveg mellett kemény boroszilikát tűzálló üvegeket, üvegkerámiát, a poharakhoz néha ólomüveget. Ez az újrahasonosításnál lesz kritikus, mert nagy részük nem keverhető a többi üvegcsereppel, noha egy laikus számára alig látható a különbség.

### 1.4 Üvegszálak

A vékony, tíz-száz mikrométeres üvegszálaknak három fő alkalmazási területe van:

- üveggyapot szigetelőanyagok,
- kompozitokban használt erősítő (mátrix),
- távközlési kábelek, optikai szálak.

Mindhárom különleges gyártási technológiát igényel, ami egyben nagyobb környezetterheléssel is jár, de használatuk során ezt bőven visszahozzák energiamegtakarításban, súlycsökkenésben, más nyersanyag (pl. réz) kiváltásában.

További, itt nem részletezett csoportok:

Optikai, orvosi, laboratóriumi, dísz, villamosipari, elektronikai üvegek (fényforrás, kijelző, szigetelő, napelem).

## 2 Az életút fő szakaszai, az adott szakasz terhelései és a csökkentésre alkalmas eljárások

### 2.1 Nyersanyagok előállítása, kezelése

Az üveg legfontosabb alapanyagai a kvarchomok ( $\text{SiO}_2$ ) a szóda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) és a mészkő ( $\text{CaCO}_3$ ). Szerencsére egyik sem ritka, kimerülőben levő nyersanyag, de figyelembevétel az ipar igényét, ami évi kb. 50 Mt jó minőségű, azaz tiszta, vasmentes kvarchomok, ennek hosszútávú biztosítása kritikus lehet. A homok és a mészkő bányászott nyersanyag, mosás, tisztítás és őrlés után használhatók. A szódát az ún. Solvay technológiával állítják elő, ez egy energia-igényesebb folyamat. Fentiek kivételével, az egyedi tulajdonságok eléréséhez még nagyon sok anyagot használhatnak az üvegben, pl. dolomit, kálium-karbonát, alumínium-oxid, bór-trioxid, szintelenítő, színező anyagok stb. Legtöbbjük környezetileg nem kritikus, nem kimerülő erőforrás és nem is mérgező. Kivétel a szintelenítésre/derítésre használt arzén-trioxid és a ma már alig előforduló ólom-oxid.

Külön ki kell emelni az üvegcserepet az alapanyagok között. Fontos, mert a hulladék visszaforgatható, és fontos, mert a cserép adagolásával az olvasztási energiaigényt tudjuk csökkenteni. 10% cseréparány növelés 2,5-3% os energia-megtakarítást eredményez. Az üvegcserep könnyebben megoldad, már lezajlottak benne az üvegeképződéssel járó, időt és energiát igénylő folyamatok, továbbá segíti a többi alapanyag feltáródását. Sajnos a formázási technológia nagyon érzékeny az olvadék összetételére, a változó összetételű cserép okozta kis ingadozás is hosszú időre elronthatja a kijövő üveget. Különösen a síküveg érzékeny, ezért ott szinte csak az ún. saját cserép (gyáron belüli hulladék) visszaolvasztására van lehetőség, és akkor is inkább 10% alatti arányban, bár a BAT 20%-ot is javasol. [2] Az öblösüvegeknél akár 50-80% is megengedett, de az is inkább csak a színes üvegnél. A

cseréphányad hatását vizsgálta Bogóné Tóth Zsuzsanna és Szilágyi Artúr [3] fehér és színes borosüvegekre nézve, amelyekben a reciklált hányad 57 és 85% között volt. Napjainkban a világon gyártott üveg kicsit több mint 20 %-át hasznosítják újra. Ez az arány a csomagolóüvegeknél kb. 30%, síküvegeknél csak alig több mint 10 %. Még rosszabb a csomagolóüvegek újrahasználatának aránya, ez globálisan 4% körül van.

A nyersanyagok gyárig történő szállítása általában elég nagy távolságról történik. A XVII – XVIII. században a hutákat oda telepítették, ahol elegendő nyersanyag és tüzifa volt. Később a vasúti szállítással ez kevésbé lett fontos szempont. Ma újra érzékenyebbek vagyunk a szállítás környezetterhelésére, de a helyzet adott, a gyárak elég messze vannak a nyersanyag lelőhelyektől. A szállítás így is csak 1-2 százaléka a teljes életút terhelésének. Az alapanyagokat az összetételnek megfelelő arányban össze kell keverni, ez villamos energiát igényel. Emellett a keveréket elő is melegítik, erre a kemence hulladékhője jól megfelel.

## 2.2 Olvasztás

Ez magasan a legtöbb energiát igénylő művelet, a teljes életút fogyasztásának több mint 75%-a itt használódik fel. Így természetesen a környezetterhelése is ennek a lépésnek a legnagyobb. Az olvasztókemence csúcshőmérséklete az olvasztótérben kb. 1550°C, és a munkatérben is 1100°C fölött van. Egy modern nagyobb kemencében folyamatosan 2-500 t anyag van, ami 1 - 3 nap alatt halad át a kemencén, mert ennyi idő kell a nyersanyagok feltáráshoz, homogenizálódásához és tisztulásához. Az olvasztás elméleti energia-igénye 2,7 GJ/t, a mai legjobb eredmények 5 GJ/t körüliek.

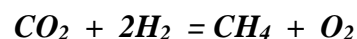
A legtöbb helyen földgázzal fűtik a kemencét, kisebb részben olajjal. Régóta ismert és használt az elektromos fűtés is, de inkább a kisebb – közepes kemencéknél,

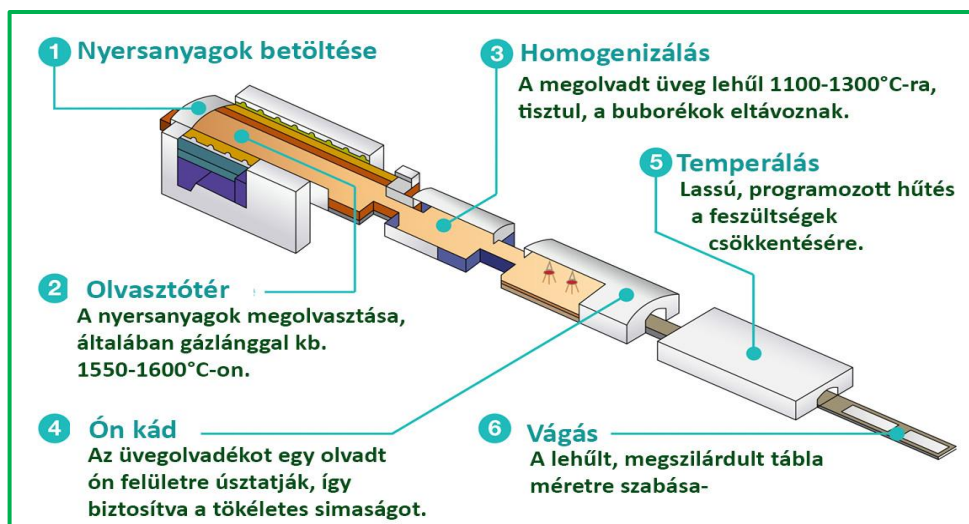
ezért az össztermelés kevesebb, mint 10% készül ezzel a technológiával.

A földgáz tüzeléses kemencékben mindig alkalmaznak hővisszanyerő rendszert, ez lehet regeneratív vagy rekuperatív. Mindkettő az égéslevegő előmelegítésével juttatja vissza füstgáz hőjének egy részét. A regeneratív hővisszanyerőben 1200 – 1400°C-ra melegíthető elő a levegő, a rekuperatívban csak 800°C-ra, de ezeknél a hulladékhő további hasznosítása könnyebb. A fosszilis tüzelésű kemencék legfontosabb emissziói:

### CO<sub>2</sub>:

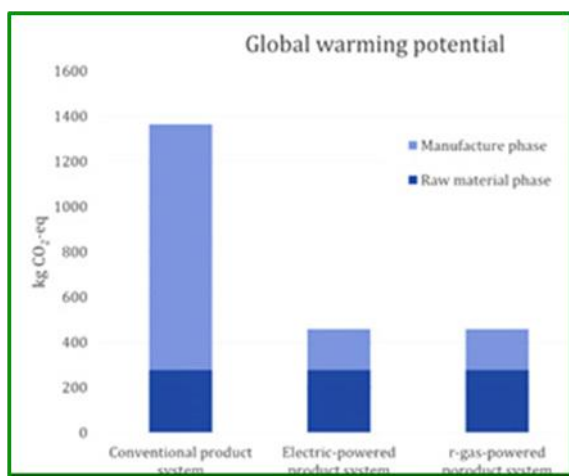
Fő forrása az olvasztáskor elégetett tüzelőanyag. Ez adja a teljes életút kibocsátásának 60 – 65%-át. További 15–18% származhat a karbonátként beadagolt nyersanyagok bomlásából. A fennmaradó 20–25% az egyéb energiahasználat következménye. A kibocsátás-csökkentés legfontosabb útja az olvasztási folyamat hatásfokának javítása. Az elmúlt évszázad fejlesztései során kb. tizedére csökkent az üvegolvasztás fajlagos energiafogyasztása, és a nagy kemencéknél ma 40 – 45%-os hatásfokot értek el. A legkézenfekvőbb javítási mód a cseréparány növelése, mint korábban már írtam, ez jelentős energiamegtakarítással jár. Másik lehetőség a tüzelési mód korszerűsítése. Egyrészt a földgázt vagy inkább annak egy hányadát lehet hidrogénre cserélni. Másrészt az ún. oxyfuel technológiával az égéslevegőt lehet akár 90%-ig oxigénnel dúsítani. Ez látszólag nem csökkenti a CO<sub>2</sub> mennyiségét, de javul a hatásfok és a füstgáz mennyisége csökken, amivel így hevesebb (hulladék)hő távozik. Különösen ígéretesek azok a fejlesztések, amelyek a CO<sub>2</sub> megfogásával illetve visszaforgatásával próbálkoznak. Alternatív forrásból származó villamos energiával vizet bontva, a keletkezett H<sub>2</sub>-t a visszavezetett CO<sub>2</sub>-vel reagáltatják, részben a kemence hulladékhőjét is hasznosítva. A





**2. ábra:** Egy float üveget gyártó kemence elemei (forrás: <https://www.glassonweb.com/>)

reakcióban újra fűtőanyag keletkezik. Így a rendelkezésre álló alternatív energia függvényében a széndioxid bizonyos része a körforgásban marad, és a CO<sub>2</sub> emissziót az elektromos olvasztás szintjére lehet csökkenteni [4].



**3. ábra:** A CO<sub>2</sub> emisszió a nyersanyagkezelés és az olvasztás során, három különböző fűtési technológia esetében [4].

A füstgáz hasznosítás másik módja, ha azt a földgáz előmelegítésére is felhasználják (a hagyományos használatban csak az égéslevegőt melegítik elő). A magas hőmérsékleten a metán és a CO<sub>2</sub> reagálnak és szintézisgáz (CO + H<sub>2</sub>) keletkezik. Ez is jó égéshővel ég és mellékesen a szénmonoxid csökkenti a habképződést az olvadék felületén, ezzel javul a hőátadás,

csökkennek az üveghibák. A technológiát a Linde cég dolgozta ki, és kb. 20%-os energiamegtakarítás érhető el vele.

#### NO<sub>x</sub>:

A kibocsátott nitrogén oxidok (NO és NO<sub>2</sub>) döntő része termikus eredetű, azaz a magashőmérsékletű égés során a levegő nitrogénjének oxidálódása során képződik. A képződő NO<sub>x</sub> mennyisége a hőmérséklettől, a magas hőmérsékleten való tartózkodás idejétől valamint az O<sub>2</sub> és N<sub>2</sub> koncentrációjától függ. Az égők, fűvőkák beállításával azt kell elérni, hogy ne legyenek túl forró zónák az égéstérben, de az olvasztáshoz 2000°C feletti láng hőmérséklet kell. Ez úgy érhető el, ha jól megtervezett lángalakat használnak, több helyen elosztott levegőbefújással. Emellett fontos tényező a légfelesleg, ami max 5-10% lehet (1 – 2 % oxigénfelesleg). Ez esetben kevés oxigén marad a NO képzésére, de ha még kisebb a légfelesleg, a CO kibocsátás fog megnőni. Az egyéb célokra is hasznos oxyfuel tüzelés esetében a NO<sub>x</sub> kibocsátás is csökkenni fog. Csekély mennyiség még hozzáadódhat a kibocsátáshoz, ha valamelyik üvegalkotót nitrát formájában adagolják a keverékbe, ez bomlik, fémoxidként épül az üvegszerkezetbe és a NO<sub>2</sub> gázként távozik.



## SO<sub>2</sub>:

A földgáz tüzelésű kemencékben minimális a kibocsátás, csak a nyersanyag szulfát-tartalma bomlik, hasonlóan a nitrátokhoz. Az egyre kisebb jelentőségű olajtüzelésű kemencékben lehet ez magasabb, kb. 1000 – 1500 mg/m<sup>3</sup>.

## Por:

A nyersanyagokat az olvasztótérbe porkeverék formájában adagolják. A finom frakció könnyen bekeveredik a füstgázba, részben lerakódva a hőcserélőkben, részben távozna. Ennek megakadályozására porleválasztóval kell ellátni a kéményeket. Fentiekén kívül még szénmonoxid, klór/sósav, fluor/hidrogén-fluorid, továbbá a keverékben előforduló illékonyabb fémek (bór, szelén, ólom, színezésre használt fémek) kerülhetnek a füstgázba.

## Elektromos olvasztás

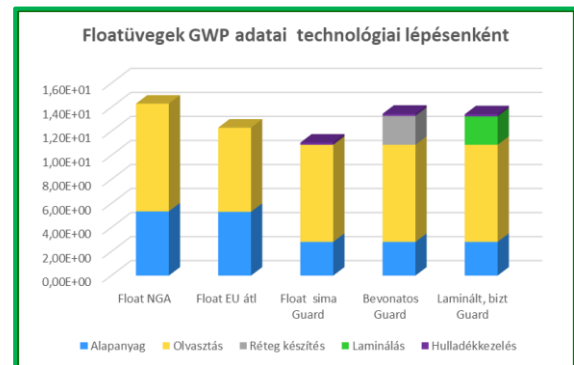
A technológia lényege, hogy egyenletes elrendezésben elektródokat merítenek az olvadékba, és a vezetőképes olvadékban folyó áram melegíti azt a szükséges hőmérsékletre. Így sokkal jobb hatásfokú az olvasztás, magában a kemencében alig keletkezik emisszió, a terhelések attól függenek, milyen villamosenergia forrást használnak. Inkább csak kisebb, közepes méretű kemencék üzemelnek így. Nagy részben használják az elektromos olvasztást az üvegyapot előállításánál, ahol főképp üvegcserepet dolgoznak fel.

## 3. Formázás

Az olvasztókemencéből kikerülő üveget először formázzák. Az öblösüvegeket fúvással, esetleg préseléssel alakítják. Itt a gépek üzemeltetése és a kenőanyag jelentenek környezetterhelést. Síküvegeket ma már szinte csak float technológiával gyártanak. Itt az üvegolvadék a kemencéből egy nagy kád olvadt ón felületére úszik rá és itt nyeri el végső vastagságát és sima felületét (ld. 1. ábra). A formázás végére az üveg már a transzformációs hőmérséklet közelébe hűl és alaktartó marad. (A transzformációs hőmérséklet a túlhűtött

olvadék és az üveges állapot közötti átmenet hőmérséklete, lágyüvegeknél 650 – 700°C)

A gyártás további lépései már jóval kisebb energiaigényűek és a többi hatáskategóriában sem kiemelkedőek a terhelések. Ezért erről a szakasról már viszonylag kevés adat található. Az elérhető adatokból összeállított diagram látható a 4. ábrán. Itt a táblahúzást az olvasztási folyamat részeként kezelték. Látható, hogy a bevonat készítés ill. a kétrétegű üveg laminálása az össz-kibocsátás kb. 10 %-át adja.



**4. ábra:** A síküveg gyártásának CO<sub>2</sub> kibocsátása a technológiai lépések szerint. (FU: 10 kg üveg = 1 m<sup>2</sup>, 4mm vastag tábla (rövidítések: NGA: National Glass Association USA, Guard: Guardian) forrás: saját összeállítás irodalmi LCA és EPD adatokból).

## 2.3 A síküveg gyártás további lépései:

### Feszültségcsökkentő hűtés, temperálás:

az ónfüldőről lejövő táblát még tovább hűtik, olyan sebességgel, hogy a hűlési feszültségek a megengedett érték alatt maradjanak. Ez némi fűtési energiát igényel, ami jó esetben a hulladékhő hasznosításával kielégíthető.

**Darabolás:** környezeti szempontból a vágási hulladék és az esetleges selejt említendő, de ezek maradéktalanul visszaforgathatók.



**Felületkezelések:** Az utóbbi évtizedekben igen nagy volt a növekedés, mennyiségre és bevonattípusokra nézve is. A fényáteresztési és reflexiós tulajdonságok szinte tetszőlegesen változtathatók. Fémek, fémoxidok alkotják az egytől 10-12 rétegből álló rétegrendszert. Mivel a rétegvastagság az egyik legkritikusabb paraméter, ezt legpontosabban a vákuumtechnikai leválasztási módszerekkel lehet megvalósítani. Ilyen nagy felületre a magnetronos katódporlasztás ill. a PECVD eljárás (plazmával segített leválasztás gőzfázisból, kémiai reakcióval) alkalmas. Ezek a berendezések nagyméretűek, a különlegesen nagy tisztaság és a szükséges nagyvákuum előállítása, fenntartása elég sok energiát igényel. Kevésbé pontos igények esetén lehet bemeztetéses, (folyadék)porlasztásos eljárással is bevonatot készíteni. A rétegrendszerben használt anyagok: ezüst, arany (az infraszugárzás blokkolására), dielektrikumok, pl.  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , (főképp a reflexió szabályozására), átlátszó vezetők, pl. ITO, FTO (indium-ón-oxid, fluorozott ón-oxid) egyéb fémek, pl. Ni, Cr, Al. A rétegvastagság pár 10, pár 100 nm, antireflexiós rétegeknél a kiválasztott hullámhossz negyede ill. fele. A 3 diagramon mutatott kép kissé elnagyolt, annyit mutat, hogy a rétegekészítés hasonló terheléssel jár, mint a laminálás. A döntő hozzájárulást a vákuumtechnikai eljárások adják. A használt anyagok tömege annyira kevés a  $\mu\text{m}$  alatti rétegvastagság miatt, hogy a terhelésük elég csekély marad, jóllehet nemesfémek és környezetileg kritikus más anyagok is vannak köztük.

**Laminálás:** a biztonsági üvegek egyik típusa a többrétegű, laminált. Ezzel tetszőleges rétegszám és vastagság érhető el, különlegesen nagy szilárdság mellett. Az üvegtáblákat PVB (polivinil-butirát) vagy EVA (etilén-vinil-acetát) fóliával ragasztják össze, nagy nyomáson, kb.  $150^\circ\text{C}$  hőmérsékleten. Láthatóan a polimer használata és az energia-igény hasonló

nagyságú terhelést eredményez, mint a felületkezelés.

**Temperálás, edzés:** Két ellentétes jellegű hőkezelés, de mindkettő a szilárdság, törékenység csökkentését célozza. Mindkét folyamatban először az ún. transzformációs hőmérséklet fölé, kb.  $600-650^\circ\text{C}$ -ra melegítik az üveget. Ezeket a lépéseket az elemzések az olvasztáshoz tartozó hőkezelésnek tekintik, így sem LCA-kban sem EPD-kben nem található róluk külön adat.

**Temperálás** akkor kell, ha a sorvégi (kötelező) feszültségcsökkentő hűtés után maradó feszültség még túl sok. Ilyenkor a transzformációs hőmérsékletéről egy lassú hűtés következik, kb.  $400^\circ\text{C}$ -ig, hogy a hűlési feszültségek a tervezett mérték alatt maradjanak. Minél lassúbb a hűtés, annál kevesebb a maradék feszültség, de a vastagsággal exponenciálisan nő a szükséges hűtési idő. Emiatt is gondosan meg kell tervezni a temperálási profilt a felhasználási igények figyelembevételével, azaz tudni kell, mennyi a megengedett belső feszültség, mert a feleslegesen lassú hűtés felesleges energiafogyasztással jár. Optikai üvegeknél hetekig is eltarthat, 2-4 mm-es síküvegnél párszor 10 perc, vastagabb falú öblösüvegeknél fél óra fölötte.

**Az edzés** során a felmelegített üveget gyorsan, hideg levegő ráfújásával hűtik és ezzel a felületi nyomófeszültséget növelik meg, ami szintén növeli a szilárdságot és ha mégis törik, akkor apró, nem éles szemcsékre esik szét.

## 2.4 Az öblösüveg formázása

Elég nehéz pár soros összefoglalót írni erről az igen látványos és nagy teljesítményű folyamatról. A két nagy környezetterhelő lépés a gyártósor működtetése és a temperálás. Utóbbi jóval lassúbb, mint a síküvegeknél, mert nagyobb a falvastagság, és csak kívülről (egy oldalról) történhet a hűtés. Ezekhez képest jóval kisebb hatása

van a formák készítésének és a formákban szükséges kenőanyagoknak. Kézi formázásnál ez döntően víz, de a gépi formázáshoz leginkább grafitos szuszpenziót használnak.



**5. ábra:** Formázott üvegek

### 3 Használat

Általában a használat során maga az üveg nem okoz környezetterhelést. Kémiaileg inert, nincs semmilyen kibocsátás. Teljesen más a használat és annak környezeti értékelése a sík és az öblösüvegeknél, úgyhogy ezeket itt is külön érdemes tárgyalni.

#### Síküvegek:

A szokásos LCA-s kérdésfeltevés az, hogy hogyan változnak a környezeti hatások, ha a vizsgált anyagunkat/termékünket más hasonló használati tulajdonságú anyaggal/termékkel helyettesítjük. Első közelítésre ez itt rossz kérdés, hiszen a síküveg legtöbb alkalmazása olyan, ahol nincs alternatív anyag. Az üveg szilárdsága, kopásállósága, tisztasága olyan jó kombináció, ami sem építészeti üvegeknél sem napelem borításnál sem járművekben nem könnyen helyettesíthető műanyagokkal. Az utóbbi időben a PC-al és kisebb mértékben a PMMA-val folynak fejlesztések. Főképp üvegházi, és beltéri alkalmazásnál van sok előnye a

polikarbonátnak. Életciklus elemzést Kua és Lu végzett. [5] Malajziai adatokat felhasználva arra a következtetésre jutottak, hogy az edzett üveg PC-ra történő cseréje a hatáskategóriáktól függően különböző eredménnyel jár, de a legtöbb kategóriában 1% alatti a különbség. Egyedül a tengeri ökotoxicitás esetében javul a környezeti mutató közel 75%-ot.

Másképp feltéve a kérdést már jobb válaszokat várhatunk. Pl. ha a falazóanyag egy részét üveggel helyettesítjük (vagy fordítva), milyen környezeti előnyöket érhetünk el? Összehasonlítva egy 3 rétegű, korszerű ablakot egy jó hőszigetelésű falazattal, az ablak hőátbocsátó képessége a nagyobb (kb. 0,2 ill. 0,7 W/m<sup>2</sup>K). Tehát a hővezetési veszteség az ablakon keresztül nagyobb lesz. Ezzel szemben számolhatunk a szoláris nyereséggel, tehát a nap sugárzó energiájának a hasznosításával, továbbá a természetes világítás jobb kihasználásával. Itt már nem csak az egyszerű anyagparaméterek számítanak, hanem a

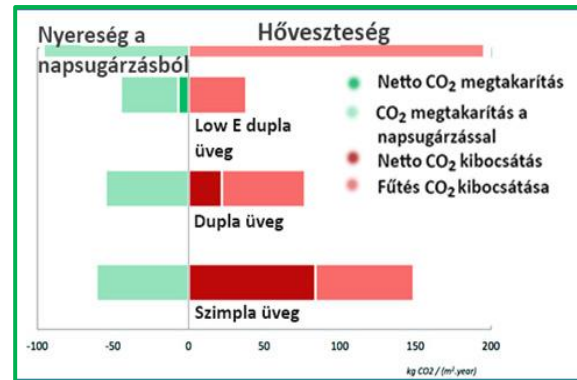
földrajzi hely, az épület tájolása, az árnyékolási lehetőségek és az alkalmazott üvegevek. Egy jól megtervezett rétegrendszerrel szabályozható, hogy a bejövő napsugárzásból a spektrum mely tartománya jusson be az épületbe, ill. a benti hőmérsékletnek megfelelő hosszú hullámú infrásugárzás ne jusson ki.

További előny, hogy korszerű, jó szigetelési jellemzőkkel bíró építőanyagok jelentősen megnövelik az épületek ún. beépített karbon tartalmát, más szóval az építőanyagok és az építés környezetterhelését. Ebből üdítő kivétel az ablak, mert annak minden hatáskategóriában jelentősen kisebb a terhelése, mint bármely más falazóanyag.

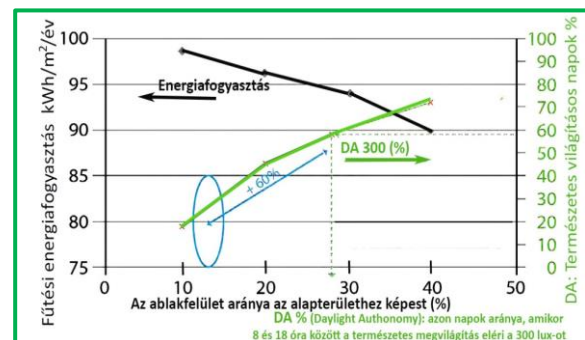
A 6. ábra azt mutatja, hogy egy ún. Low-E bevonatos dupla üveg is elég, hogy a szoláris nyereség nagyobb legyen, mint a vezetési veszteség. A 7. ábrán azt láthatjuk, hogy az üvegezett felületek növelése energiamegtakarítást hoz és így a CO<sub>2</sub> kibocsátást is csökkenti. Egészségi és közérzeti szempontból is pozitív, ha minél hosszabban tudjuk biztosítani a természetes világítást a lakásunkban, munkahelyeken, de itt is számít az energiafogyasztás csökkenése. (Ezekben a számításokban nem közölték a modellek részleteit, milyen épületre, milyen éghajlati viszonyok közt jöttek ki ezek az eredmények.)

A gyakorlati szempontból leginkább használható kérdés az, hogy milyen környezeti és milyen gazdasági előnyökkel jár, ha a meglévő ablakainkat cseréljük jobban hőszigetelő 2 – 3 rétegű üvegezésre. E téren a szakirodalom azért szegényesebb, mert csak nagyon hasonló házakra, háztípusokra lehet számítását végezni, általánosítható válasz nincs. Egy korábbi tanulmányunkban a Kádár kocka energetikai korszerűsítési lehetőségeit vizsgáltuk. [6] Az egyik lépése a nyílászáró csere, ennek környezeti hatásait számoltuk 30 évre. Itt több hatáskategóriát vizsgáltunk, a GWP mellett és 2021-es adatokra építve életciklus költséget is.

Sajnos az utóbbi két év drasztikus energia és építőanyag áremelkedései miatt már az 1–2 éves LCC adatok sem érvényesek, de az elég határozottan látszik, hogy a megtérülési idő hosszabb lett.

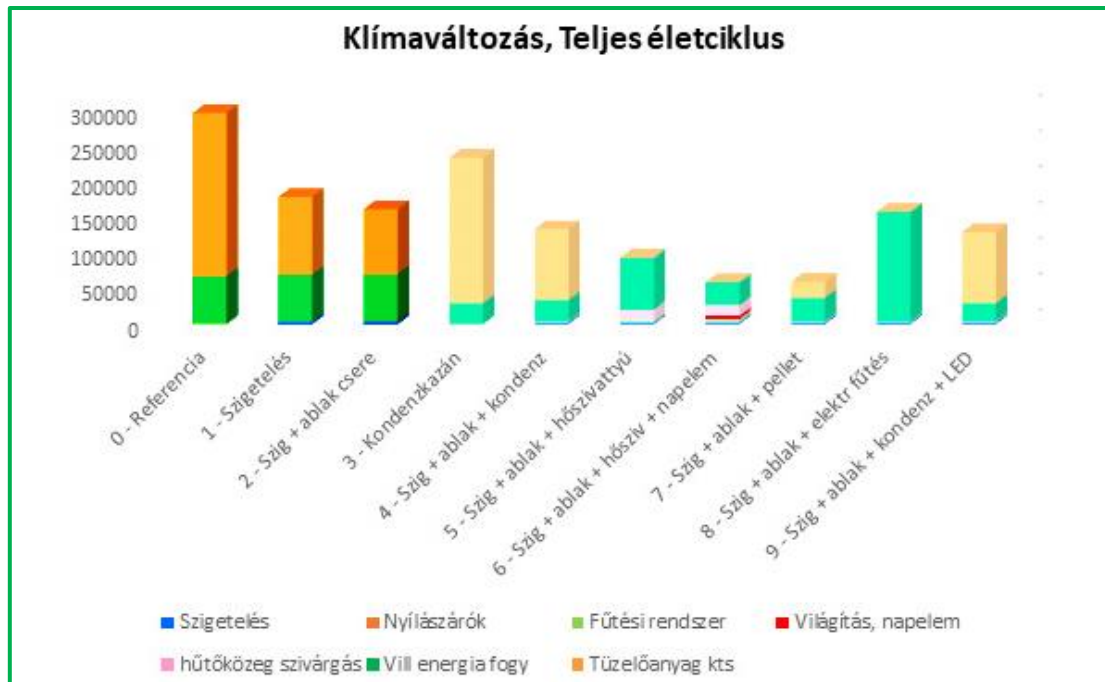


6. ábra: A hővezetési veszteség és a szoláris nyereség alakulása különböző ablakok esetében. (forrás: <https://www.agc-glass.eu/en/sustainability/environment-friendly-products/energy-saving-products>)



7. ábra: A (korszerű) ablakfelület növelésének hatása az épület fűtési energiafogyasztására, ill a természetes világítás használatára (forrás: Glass for Europe: The energy Performance of Buildings directive <https://glassforeurope.com/publications/>)

A 8. ábrán a Kádár kocka energetikai felújításának hatása látható a ház CO<sub>2</sub> kibocsátására, a különböző felújítási lépések során. Az épülettípus kis ablakai miatt az ablakcsere kisebb környezeti javulást okoz, mint a szigetelés, viszont ennél a léptéknél a beépítés terhelése is szinte észrevehető.

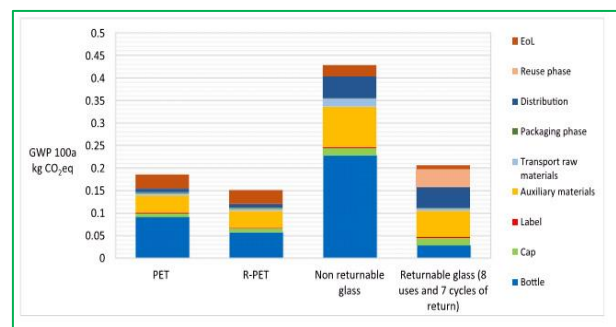


8. ábra: Egy Kádár kocka felújításával elérhető környezeti megtakarítások, a 3. oszlop mutatja az ablakcsere hatását (forrás: <https://howtobuildgreen.eu/images/cs2-hu.pdf>)

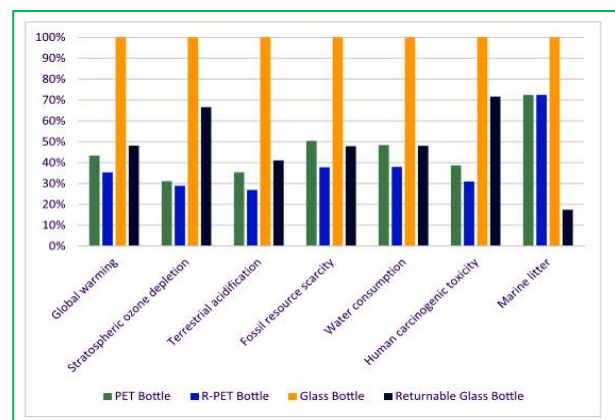
### Öblösüvegek, csomagolóüvegek

Egész máshol vannak a környezeti hangsúlyok, mint a síküvegeknél. A fő gond, hogy a használati szakasz aránytalanul rövidebb, mint ami az anyagban meglévő lehetőség. Ez más csomagolóanyagok esetében is így van, de az üveg előállítása jelentősen nagyobb környezetterheléssel jár, mint bármelyik másik tömegesen használt csomagolóanyagé. Ha környezeti szempontból is versenyképes megoldásként szeretnénk az üveget ajánlani, egyedül az újrahasználat segíthet. Ebből a szempontból az üveg ideális anyag, szinte minden jellemzője alkalmassá teszi a többszörös használatra; kémiaileg ellenálló, hőálló, tehát fertőtleníthető, hosszú élettartamú, még úgy is, hogy néhány eltörik. Egyedül a nagyobb súlya problémás, ami a szállítás során okoz többletterhelést.

Nagyon sok elemzés született az üveg és más csomagolóanyagok összehasonlításáról, kezdve az „ős-LCA”-nak tartott Coca Cola riporttal. Az eredmények



9. ábra: Egy és többutas PET ill. üveg tejespalack CO<sub>2</sub> kibocsátása, az életút szakaszaiban [7].



10. ábra: A fenti tejespalackok terhelése hatáskategóriák szerint, utolsó helyen a Tengeri szemét kategória: [7]

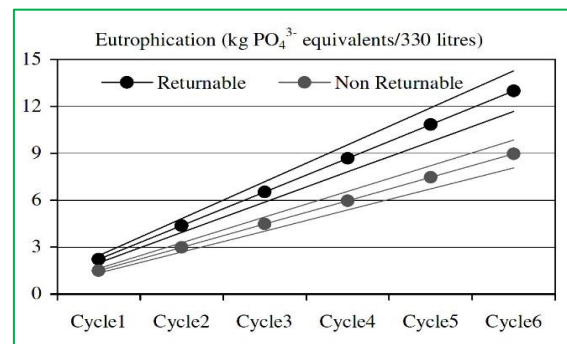
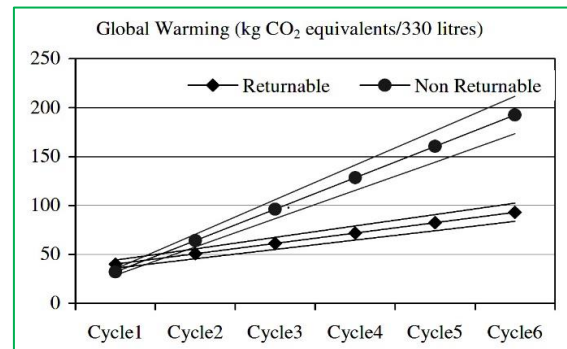
elég nagy szórást mutatnak, de vannak összecsengő konklúziók:

- Az egyszer használt üveg okozza a legnagyobb terhelést.
- A többutas üvegpalackok már összemérhetők a többi, általában egyszer használatos csomagolóanyaggal (PET, Alu, karton).
- A többutas üvegeknél jelentkező új terhelések a tisztítás és a szállítás. Előbbi vegyszer, energia és vízhasználattal jár, és ennek megfelelően szennyvíz kibocsátással. A szállításnál a távolság és a súly a két kritikus paraméter. A szállítási távolságot a töltő/elosztó hálózat jó megtervezésével lehet optimalizálni. A palackok tömege csak egy bizonyos határig csökkenthető. Az üveg ridegsége miatt vastagabb falú palackok kellene, ráadásul a nagyobb sűrűsége miatt még nehezebbek lesznek. Az ezirányú fejlesztések eredménye, hogy az USA-ban 25 év alatt típustól függően 22-33%-kal csökkent a csomagolóüvegek tömege, Európában 40 év alatt kb. 40%-kal. Felületkezeléssel, pontosabb technológiával még további tömegcsökkenés érhető el.
- Az újratöltés ciklusszáma nagy szórást mutat, források, országok és italtípusok függvényében 5-től 50 töltésig. A 7-10. ciklustól viszont már jelentéktelen a javulás, mivel a szállítás és mosás terhelései kb. azonosak a palack előállítás terhelésének hetedével-tizedével.

A többszörös újratöltéssel is csak azt lehet elérni, hogy kb. hasonló szintre csökkenthető a terhelés, mint a többi csomagolóanyagé, egyes kategóriákban kicsit több, egyesekben kisebb a terhelés. Ugyanakkor a csomagolási hulladék egyre nagyobb környezeti problémát jelent, különösen a tengeri műanyagszennyezés. Ugyanakkor az LCA-ban a lerakott, nem veszélyes hulladéknak viszonylag kicsi a hozzájárulása az összehatáshoz, az eldobott szemét nem is szerepel. Ennek megoldására

javasolta R. Stefanini és mts-i a „Tengeri szemét” hatáskategória bevezetését. [7] Ezzel a többutas üveg valamivel jobb pozícióba kerül az LCA-ban is jobban közelítve a környezettudatos közvélemény értékeléséhez.

Az újratöltésnek fontos feltétele, hogy szabványos méretű és minél kevesebb típusú üveg legyen forgalomban, ahogy az pl. a sörösüvegeknél megvalósult. Sajnos a többi italnál a logisztikai és a marketing szempontok erősebbnek tűnnek a környezetinél. A másik fontos feltétel lenne a lakosság motiváltsága. Ettől, és kevésbé a törekenységtől függ az újratöltési ciklusszám, amit fentebb már említettünk. Sajnos elég szűk azoknak a palacktípusoknak a köre, amire van újratöltési rendszer. Így összességében az EU-ban gyártott öblösüvegeknek mindössze 7%-a kerül újrahataltra.



**11. ábra:** A környezetterhelés változása az újratöltések száma szerint, két hatáskategóriában. a): GWP, b): EP Mint látható, az eutrofizációs hatáskategóriában pont az egyutas palack okoz kisebb terhelést, de ez a kivétel [8].



#### 4 Az életút vége

Ahogy már korábban is szóba került, elvileg soha nem kellene az üvegnek hulladéklerakóba kerülni. Az öblösüvegek újrahasználata mellett minden fajta reciklálható, még hozzá minőségromlás nélkül. Jól bevált technológiák állnak rendelkezésre a válogatásra, összetétel ellenőrzésre, bekeverésre, a nagy cseréptartalmú üvegek olvasztására. Néhány kritikus anyag távoltartására kell ügyelni, pl. háztartási kerámiák, üvegkerámiák, egyes fémek vagy a ma már nem használható ólomüvegek. Arra azért figyelemmel kell lenni, hogy, bár az alapösszetétel mindenhol nagyon hasonló, de 1–2 százalékos ingadozás, egy-egy sajátos adalékanyag használata módosíthatja az olvadék viszkozitását, így a gépi formázás paramétereit is. Egy esetleg több száz tonnás kemencében igen nehéz egy kis változást is korrigálni, tehát már a cserép bekeverésekor biztosítani kell annak stabil összetételét. A hulladék-hierarchia a következőképpen néz ki:

- gyári, saját cserép visszaolvasztása, sík, öblös egyaránt
- gyűjtött hulladék törése, szín szerinti válogatása (fehér, színes)
- fehér üveg visszaolvasztása öblösüveg gyártásban
- fehér üvegből szigetelőanyag készítése, főképp üveggyapot, habosított panel vagy granulátum
- színes üveg visszaolvasztása öblösüveg gyártásban (Magyarországon nem)
- üvegpor egyéb felhasználási területei: adalék festékekben, csiszolóanyagokban, építőanyagokban, útburkolatban stb.
- különleges összetételű üvegek lerakása, pl. katódsugárcsővek, tükrök, tűzálló üvegek stb.

Fentiekből is látszik, hogy technológiai akadálya nincs a szinte teljes recyclingnek, csak az adott ország/régió visszagyűjtési rendszere korlátozza azt. Ennek megfelelően a környezettudatosabb európai országokban 90 – 100% visszagyűjtési

arányt értek el, Magyarországon csak 30%-ot. (forrás: Wikipédia, 2020)

#### 5 Összefoglalás:

A korántsem teljes áttekintésből is látszik, hogy az üveg nem csak változatos alkalmazásaiban, hanem környezeti szempontból is sokarcú anyag. Legkritikusabb az előállítás nagy energiaigénye. Mivel ennek csökkentése gazdasági és környezeti érdek egyaránt, ezért az ezirányú fejlesztések már a környezeti problémák felvetődése előtt is eredményesen zajlottak. A mai legfontosabb irányok: az elektromos olvasztás, a megújuló források növekvő használata, cseréphányad növelése, a CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentése/megkötése. Az olvasztási lépésen túl fontos a mechanikai tulajdonságok javítása, mert ezzel tömegcsökkenés érhető el. A csomagolóüvegeknél a 7% körüli újrahasználati arány még bőven javítható lenne, ehhez szabványos méretű palackok, jobb logisztika és tudatosabb lakossági hozzáállás kellene.

Végül egy rövid áttekintés azokról a területekről, ahol az üveg jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy egy termék környezetileg jóval pozitívabb legyen.

- Legelső természetesen az ablak, különösen az utóbbi pár évtizedben elért fejlesztések, de ezt korábban részletesen ismertettem.
- Napelemek, napkollektorok: itt az üveg átlátszósága, szilárdsága és 30 -40 évi tartóssága kell ahhoz, hogy a napelem/kollektor megbízhatóan szolgáltassa a megújuló energiát.
- Szigetelőanyagok: az üveggyapot, habosított üveg használatával jelentős energia-megtakarítás érhető el. Ezek előállítása hasonló környezetterheléssel jár, mint a többi PS, PUR alapú szigetelőanyagoknak, de hosszabb élettartama alatt többszörösen visszahozza a gyártási terhelést.
- Optikai üvegszálak: ennek különleges technológiája viszonylag nagyobb

környezetterheléssel jár, de a kis tömeg miatt (~ 100 µm-es szál) a fajlagos terhelés kicsi. A rézkábelnél nagyságrenddel nagyobb átviteli kapacitás miatt a távközlési adatátvitel egy bit-re jutó energiaigénye, környezeti hatása csökken. Persze tudjuk, hogy az adatforgalom rohamosan nő, tehát az össz-terhelés növekedését csak mérsékelni lehet.

- Veszélyes, radioaktív hulladékok beágyazása üvegbe. Itt az üveg hosszútávú stabilitását használják ki. A beolvasztott anyag így 10000 éves

távlatban „mozdulatlan” marad, nem lúgozódik ki, nem kerül ki a lerakóhelyről.

- Üvegszál erősítésű kompozitok. Sok fémes szerkezeti anyagot lehet kiváltani a jóval könnyebb kompozitokkal. Így azok mozgatása kisebb energiát igényel. Az is igaz, hogy a kompozitoknak van árnyoldala, az újrahasznosításuk problematikus.

## Irodalom:

- [1] Glass Alliance Europe  
<https://www.glassallianceeurope.eu>
- [2] Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához az üvegyártás engedélyeztetése során  
[https://ippc.kormany.hu/download/d/31/c0000/Üvegipari%20BAT%20útmutató%202012\\_frissített%202014.pdf](https://ippc.kormany.hu/download/d/31/c0000/Üvegipari%20BAT%20útmutató%202012_frissített%202014.pdf)
- [3] Bógóné Tóth Zsuzsanna, Szilágyi Artúr: Csomagoló üvegek környezeti hatásvizsgálata, *Eco-Matrix 8 (2020)*
- [4] Anna Grané Anglarill: Life Cycle Assessment of a conventional float glass production and comparison with regenerative alternatives 2018 Thesis
- [5] Harn Wei Kua, Yujie Lu Environmental impacts of substituting tempered glass with polycarbonate in construction An attributional and consequential life cycle perspective, *Journal of Cleaner Production* 137 (2016)  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.171>
- [6] Is-Sus-Con: Esettanulmány – Családi ház energetikai korszerűsítése  
<https://howtobuildgreen.eu/images/cs2-hu.pdf>
- [7] Roberta Stefanini, Giulia Borghesi, Anna Ronzano, Giuseppe Vignali: Plastic or glass: a new environmental assessment with a marine litter indicator for the comparison of pasteurized milk bottles *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2021)  
<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01804-x>
- [8] Teresa M. Mata and Carlos A. V. Costa: Life Cycle Assessment of Different Reuse Percentages for Glass Beer Bottles, *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2021)  
<http://dx.doi.org/10.1065/lca2001.06.056>
- [9] Simon, B., Amor, M. B., & Földényi, R. Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: Focus on the collection of post-consumer bottles. *Journal of Cleaner Production*, (2016).  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.008>
- [10] T Gallucci, G Lagioia, P Piccinno, A Lacalamita, A Pontrandolfo A Paiano: Environmental performance scenarios in the production of hollow glass containers for food packaging: an LCA approach *The International Journal of Life Cycle Assessment* volume26, (2021)
- [11] G. Vinci, F. Ascenzo, A. Esposito, M. Musarra, M. Rapa, A. Rocchi: A sustainable innovation in the Italian glass production: LCA and Eco-Care matrix evaluation, *Journal of Cleaner Production* Volume 223, 20 June 2019  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.124>
- [12] <https://hungarianglass.com/hu/luca-kohut-gorombei/>

## Szerzőnk



**Gröller György** az Óbudai Egyetem, illetve elődintézményeinek oktatója 1976 óta. 2018-tól nyugdíjas. Fő szakterületei az anyagtudomány és az elektronikai ipar technológiái. A 90-es évek végétől foglalkozik az LCA-val, ezen belül a villamosipar és a világítástechnika környezeti hatásaival. Az LCA Center Egyesület alapító tagja.



## Fázisváltó anyagok összehasonlító életciklus-értékelése

DR. CSÉFALVAY Edit<sup>1</sup>, DR. KOVÁCS Viktória Barbara<sup>2</sup> és SZALAINÉ KACZKÓ Orsolya Ibolya<sup>3</sup>

[1] docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest Műegyetem rkp. 3., csefalvay@energia.bme.hu

[2] adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest Műegyetem rkp. 3., kovacs@energia.bme.hu

[3] PhD hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, 1111 Budapest Műegyetem rkp. 3., kaczko@energia.bme.hu

### Abstract

The need for heat storage has a long history related to heat ventilation and air cooling systems. In this research, the evaluation of the environmental impact of phase change materials for latent heat storage using life cycle assessment was investigated. In addition to the commonly used fossil-based paraffins, salt hydrates (Glauber's salt and calcium chloride hexahydrate), which can be produced from natural raw materials at a reasonable price, were analysed. The present study aims to determine which thermal storage medium, i.e. phase change material, is environmentally preferable to store the same amount of heat. Therefore, the environmental impact of the production and transport to the studied thermal storage media site was modelled using the Professional database in the "Sphera LCA for Experts" life cycle assessment software. The missing database elements were extracted from the Ecoinvent 3.4 database available in the openLCA software. The functional unit of comparison was defined as 1 GJ of stored heat. The environmental impacts were assessed using the EU-recommended Environmental Footprint 3.0 impact assessment method. Except for a few impact categories (paraffin being the most favourable), Glauber's salt has the most favourable environmental impact regarding climate change since it has the highest latent heat; therefore, the least amount is needed to store the same heat. Moreover Glauber salt occurs naturally on Earth. Thus, it could be produced with minimal technological intervention, i.e. with low environmental impact. From an environmental point of view, using salt hydrates for waste heat storage should be considered a better option because they are technically and thermotechnically favourable.

**Keywords:** life cycle assessment, phase change material, heat storage

### Kivonat

A hőtárolásra való igény már régóta jelen van az épületgépészeti rendszerekkel kapcsolatban. Kutatásunkban a látenshő tárolásra alkalmas fázisváltó anyagok környezeti hatásait vizsgáltuk az életciklus-értékelés módszerével. Az elterjedt fosszilis alapú paraffinok mellett a szintén kedvező árú, természetes alapanyagból előállított sóhidrátokat (Glauber-só és kalcium-klorid hexahidrát) vizsgáltuk. Jelen vizsgálat arra irányul, hogy meghatározzuk, hogy azonos betárolandó hőmennyiség esetén környezeti szempontból melyik hőtároló anyag kedvezőbb,

ezért a választott hőtároló közegek előállításának és helyszínre történő szállításának környezetterhelését a „Sphera LCA for Experts” életciklus értékelő szoftverben a Professional adatbázist felhasználva modelleztük. A hiányzó adatbázis elemeket az openLCA szoftverben elérhetőecoinvent 3.4 adatbázisból emeltük át. Az összehasonlítás alapját képező funkcionális egységnek 1 GJ betárolandó hőt határoztunk meg, a környezeti hatások értékelését az EU által ajánlott Environmental Footprint 3.0 hatásértékelési módszerrel végeztük. Néhány hatáskategóriát kivéve (ezekben a paraffin a legkedvezőbb) a klímaváltozásban is a Glauber-só rendelkezik a legkedvezőbb környezeti hatással, mely egyrészt abból adódik, hogy legmagasabb látens hője, révén ebből kell a legkevesebb mennyiség az azonos mennyiségű hő tárolásához, illetve abból, hogy a természetben is megtalálható az alapanyaga, így minimális technológiai beavatkozással, vagyis csekély környezetterheléssel állítható elő. Környezetvédelmi szempontból érdemes megfontolni a sóhidrátok használatát hulladék hő tárolásra, amennyiben műszaki és hőtechnikai szempontból is kedvezőek.

**Kulcsszavak:** életciklus értékelés, fázisváltó anyag, hőtárolás

## 1 Bevezetés

A hőtárolásra való igény már régóta jelen van az épületgépészeti rendszerekkel kapcsolatban. Erre már számos megoldás vált széleskörben elterjedté, amelyeket működési elvük szerint négy csoportba lehet sorolni.

Elsőként a szenzibilis hő formájában történő hőtárolás kerül bemutatásra. Ezeknél a megoldásoknál a hőtárolás a közeg hőmérsékletváltoztatásával valósul meg. A legelterjedtebb, hétköznapiakban is gyakran alkalmazott megoldás a vízben való hőtárolás [1]. Ez főként alacsony hőmérséklet határokra belüli alkalmazásra felel meg, ideálisan 25-90°C közötti tartományban. A vizet magas fajhője teszi megfelelő tárolóközeggé, emellett pedig alacsony áron és könnyen beszerezhető. A megfelelő hőmérséklettartományon túl a sűrűség is döntő szempont lehet az anyagválasztásnál, mivel a térfogati hőkapacitás határozza meg egy adott hőmennyiség tárolására alkalmas berendezés méreteit, így a helyigény minimalizálható a fajhő és sűrűség alapján történő körültekintő kiválasztással. A víz mellett további folyadék halmazállapotú anyagok is széleskörben használatosak,

mint a napsugárzást koncentráló kollektorok hőhordozó közegei, például a szolár só, ami 60%  $\text{NaNO}_3$  és 40%  $\text{KNO}_3$  olvadáka [2]. A folyadékok kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a tárolóközeg kijutása esetén milyen kedvezőtlen esemény fordulhat elő, így a toxikus vagy korrózió-veszélyes anyagokat lehetőség szerint ne alkalmazzunk.

A folyadék halmazállapotú szenzibilis hőtárolást biztosító közegek mellett szilárd halmazállapotú közegeket is alkalmaznak általában nagyobb térfogatban. Ilyen megoldásokhoz zúzottkővet, agyaggranulátumot, fémeket, betont, homokot, illetve téglákat alkalmaznak. Ennek előnye lehet, hogy széles hőmérsékleti skála érhető el ezeknél az alkalmazásoknál.

A második megoldás a kémiai formában történő hőtárolás. Ez minden megfordítható kémiai folyamattal megvalósítható, amiknél nagy a reakcióentalpia abszolút értéke. Endoterm reakció esetén a hőbevitelt követően a reakció megfordításával a betárolt hő az exoterm reakció lejátszódásakor felszabadul. Ekkor jellemzően nagyon magas az energiasűrűség és hosszú ideig,

alacsony veszteséggel tárolható a hő, viszont komplex technológia és magas beruházási költség jellemző. A termokémiai energiatárolásnál széles az alkalmazható hőmérsékleti skála, 20-200°C, az energiasűrűség pedig 0,5-3 GJ/m<sup>3</sup> [3]. A kémiai tároláshoz sorolható emellett az adszorpciós hőtárolás, amikor a nagy fajlagos felülettel és pórusréteggel rendelkező anyaggal gázt vagy gőzt kötnek meg, mely során a megkötött anyag kondenzációs hőjének nagyságrendjébe tartozó hő szabadul fel. Ilyen megfelelő adszorbens lehet a zeolit és a szilikagél [4].

A harmadik technológia a látenshő tárolás. Ennél a megoldásnál általában elmondható, hogy nagy energiatárolási kapacitással rendelkeznek, így alacsony fajlagos térfogatú rendszereket eredményeznek. A víz esetén például a látenshő nyolcvanszorosa a fajhőnek. Emellett lehetőséget ad arra, hogy kis hőmérsékletváltozás mellett alkalmas hőtárolásra, így nem szükséges nagy hőmérsékletkülönbség a hőforrás és a végfelhasználás hőmérséklete közt. A szenzibilis hőtároláshoz hasonlóan ennél a megoldásnál is több halmazállapotú tárolás fordulhat elő, a fázisváltó anyag (Phase Change Material, PCM) keresztül mehet szilárd-szilárd, folyadék-gáz, szilárd-folyadék fázisváltásokon. Viszonylag kevés alkalmazás van, ahol szilárd-szilárd fázis változás (kristályszerkezet módosulása) zajlik le, a folyadék-gáz halmazállapotváltozás során pedig a nagy látenshő ellenére nagy a térfogatváltozás, így kevésbé alkalmas tárolási célra. Leggyakrabban a szilárd-folyadék változáson alapuló megoldások használatosak, mivel ebben az esetben a nagy látenshő viszonylag kis térfogatváltozás mellett hasznosítható.

Az PCM-ek a halmazállapotokon túl besorolhatók még a következő kategóriákba: szervetlen vegyületek, szerves vegyületek, illetve ezek eutektikumai. A szervetlen vegyületek közé tartoznak a sóhidrátok, sók, fémek és ötvözeteik, még a szerves vegyületeket

paraffinok, zsírsavak, észterek, glikolok és alkoholok alkotják.

A többi hőtároló anyaghoz képest a paraffinok nagy mennyiségben állnak rendelkezésre és kedvező áruknak köszönhetően igen elterjedt megoldásnak számítanak. Nagy tárolási kapacitással rendelkeznek, emellett adott hőmérsékletig kémiaiilag inerte és stabilak, így nem kell a tárolórendszer anyagválasztásakor erre gondot fordítani. Hosszú távú magas hőmérsékleten való tárolás esetén levegőtől elzárva tartandók, ugyanis oxidációra hajlamosak, vagyis öregsznek. Nem hajlamosak az aláhülésre, a fázisváltásra és kereskedelmi forgalomban könnyen hozzáférhető anyagok. A paraffinok hátránya az alacsony hővezetőképesség és a fázisváltás során végbemenő térfogatváltozás lehet. Az előbbit a megfelelő hőcserélőkialakítással hatékonyan lehet kompenzálni. A paraffinos hőtároló berendezések kialakítása általában nem bonyolult, egy hőcserélő található egy tartályban, amit feltöltenek a fázisváltó anyaggal, a töltés, illetve kisütés a hőcserélőn keresztül történik. Mivel a paraffinok hővezetési tényezője jellemzően alacsony, így bordákkal vagy fémhabos szerkezettel célszerű javítani a hővezetést a tárolón belül, így elkerülve a fázisváltásban nem résztvevő térrészek kialakulását. Mivel a hőtárolásra alkalmazott paraffinok általában több szénhidrogén keverékből állnak, így nem egy olvadáspontjuk van, hanem egy fázisváltási tartományuk, vagyis választásál ez a hőmérséklettartomány a preferált – de lehet tágabb is [1].

A sóhidrátok is kedvező áron beszerezhető anyagok, így ezeket az anyagok számos alkalommal vizsgálták. Ilyen anyag a kalcium-klorid hexahidrát (CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), illetve a nátrium-szulfát dekahidrát – Glauber-só (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O) [5]. Megjegyzendő, hogy a Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a sósavgyártás melléktermékeként is keletkezik, illetően a vegyipari eredetű melléktermékek hasznosítása a körforgásos gazdaság szemléletnek teljes mértékben

megfelel. Az alapvetően megfelelő hőtechnikai paraméterek mellett viszont kedvezőtlen viselkedés is megfigyelhető ezeknél az anyagoknál, mint például az aláhűlés és a fázisátváltás. Aláhűlés esetén a hőmérséklet tovább csökken a fagyáspontnál, mivel a kristályosodás nem indul meg. Ez elkerülhető kristályosodást elősegítő úgynevezett kondenzációs mag anyagok hozzáadásával, valamint durva tartályfalak kialakításával, amelyek nagy relatív érdessége elindítja a kristályosodást. A fázisátváltás megakadályozására is több technológiát alkalmaznak, ilyen a tárolóberendezések forgó kialakítása, sűrítő-anyagok bekeverése és a direkt kontakt hőátvitel. Emellett kapszulás felhasználás esetén is csökken a fázisátváltás gyakorisága és nő a hőátadás is. A kapszulák és a tartály anyagának megválasztásakor viszont érdemes kerülni a korrózióra hajlamos fémeket.

A sóhidrát töltése előtt a kristályos szilárd anyag  $AB \cdot nH_2O$  formában van. A

hőfelvétel során a szilárd kristályszerkezet leadja a víz molekulát, majd a sókristály a leadott vízzel oldatot képez. Ekkor előfordulhat, hogy a teljes oldhatósághoz nem elegendő a kristályszerkezetből származó vízmennyiség, ez rontja a fajlagos hőkapacitást. A sóhidrátok működése alapján látható, hogy ez a tárolóközeg a fázisváltó jelleg mellett a kémiai hőtárolási megoldások közé is sorolható.

A sóhidrátok hőtárolási alkalmazásakor a fázisváltó kapszulákba töltésére van szükség, hogy a kedvezőtlen korróziós hatástól megvédje a tárolóberendezés hőcserélő és burkoló felületeit [6]. A kapszulázás a szállítást és technikai kivitelezést segíti. Hőtani szempontból nézve a hőátadási folyamatok intenzifikálását áramlással növelhetjük, a PCM tartalmú kapszulákat a hőtároló tartályba töltik, majd a hőhordozó közeget átkeringtetik a kapszulákkal töltött tárolón.

## 2 Életciklus-értékelés (LCA)

A fosszilis forrású paraffinok mellett két sóhidrát,  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$  és  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ , ismertebb nevén a Glauber-só, környezeti hatásait vizsgáltuk meg az életciklus értékelés (LCA) módszerével. A három anyag hőtechnikai tulajdonságait az *1. táblázatban* foglaltuk össze.

Első lépésben a három választott hőtároló közeg előállításának és helyszínre

történő szállításának környezetterhelését modelleztük a „Sphera LCA for Experts” életciklus értékelő szoftverben a Professional adatbázist felhasználva az Environmental Footprint (EF) 3.0 hatásértékelési módszerrel. A hiányzó adatbázis elemeket az openLCA szoftverben elérhető ecoinvent 3.4 adatbázisból emeltük át (*1. ábra*).

**3. táblázat:** A vizsgált fázisváltó anyagok hőtechnikai tulajdonságai

Anyag	Fázisváltás hőmérséklete	Látens hő	Referencia
kalcium-klorid hexahidrát: $CaCl_2 \cdot 6 H_2O$	29 °C	170 kJ/kg	[5]
Glauber-só: $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$	32 °C	254 kJ/kg	[7]
Paraffin (RubiTherm RT 80 HC)	78 °C	220 kJ/kg	[8]



**1. ábra:** Hőtároló anyagok gyártásának és szállításának "LCA for Experts" modellje

Az összehasonlítás alapját képező funkcionális egységnek 1 GJ betárolandó hőt határoztunk meg. Nem vettünk figyelembe betárolás/kisütési ciklusokat, illetve a hulladék hő forrása sem adott még. Jelen vizsgálat arra irányul, hogy meghatározzuk azonos betárolandó hőmennyiség esetén környezeti szempontból melyik hőtároló anyag kedvezőbb, ezért a funkcionális egységet

kielégítő hőtároló anyag mennyiségeket és ennek 500 km-re történő szállítását vettük figyelembe a modellben. Az 500 km-es szállítással egy átlagos európai távolságot feltételeztünk, amely a keletkezés és a felhasználás helyének távolsága. A LCA modellezhez szükséges funkcionális egységre (1 GJ betárolt hő) skálázott leltár adatokat a 2. táblázatban foglaltuk össze.

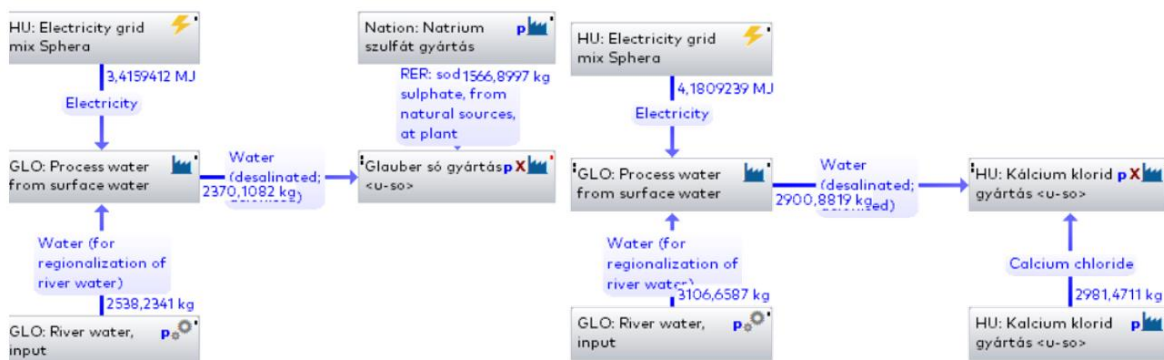
**4. táblázat:** Leltáradatok

Anyag-, energiaáram	Mennyiség	Mértékegység
kalcium-klorid hexahidrát: CaCl <sub>2</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	5882,4	kg
- kalcium klorid anhidrid	2981,5	kg
- tisztított víz	2900,9	kg
- felszíni víz	3106,7	kg
- villamosenergia	4,18	MJ
Glauber-só: Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10 H <sub>2</sub> O	3937,0	kg
- nátrium szulfát anhidrid	1566,9	kg
- tisztított víz	2370,1	kg
- felszíni víz	2538,2	kg
- villamosenergia	3,4	MJ
Paraffin (RubiTherm RT 80 HC)	4545,5	kg
Szállítási távolság	500	km

A sóhidrátok előállítását (2. ábra) külön modelleztük, mivel csak az anhidrid változatuk volt az adatbázisokban megtalálható. A sóhidrát formákhoz a funkcionális egységet kielégítő mennyiségű sókat a felvett kristályvíznek megfelelő

mennyiségű tisztított vízzel kevertük (2. táblázat).

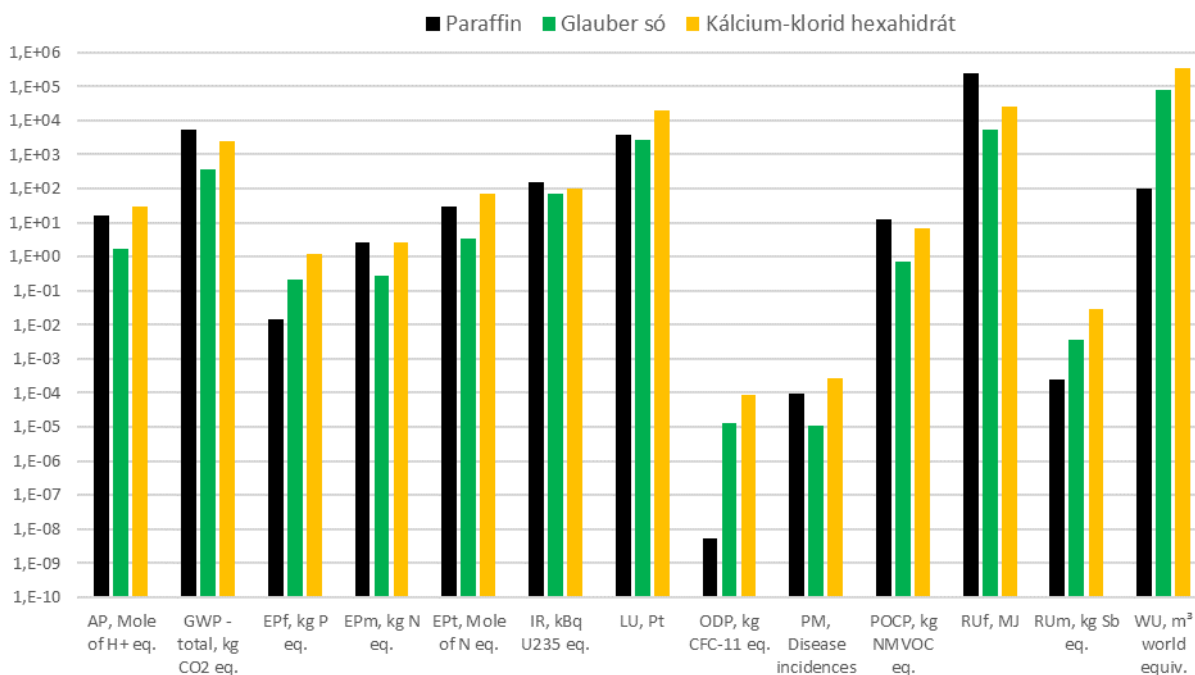
A sóhidrátok kapszulázását és adalékolását, illetve a hőtároló közegekre a megfelelő hőcserélő és tároló berendezés kialakítását egyelőre nem vettük figyelembe a modellben.



2. ábra: Sóhidrátok előállításának „LCA for Experts” modelljei

A 3. ábrán a hőtároló közegek gyártásának és szállításának környezeti hatása látható a vizsgált hatáskategóriákban. A hatásértékelést az EF 3.0 EU szakértői által ajánlott hatásértékelési módszerrel végeztük, mellyel számos hatáskategóriában lehetséges a környezetterhelés meghatározása [9, 10]. Jelen vizsgálat során toxicitási hatáskategóriákon kívül a

klimaváltozás (GWP) savasodás (AP), édesvízi, sósvízi, és szárazföldi eutrofizáció (EPf, EPm, EPt), részecske kibocsátás (PM), fotokémiai szmog (POCP), fosszilis- és ásványi anyagok kimerülése (RUF, RUM), ózontató potenciál (ODP), földhasználat (LU), ionizáló sugárzások (IR) és víz használat (WU) kategóriákban hasonlítottuk össze a vizsgált hőtároló anyagokat.



3. ábra: A hőtároló közegek gyártásának és szállításának környezeti hatása a vizsgált hatáskategóriákban.

Látható, hogy néhány hatáskategóriát kivéve (ezekben a paraffin a legkedvezőbb) a Glauber-só rendelkezik a legkedvezőbb környezeti hatással. Mely egyrészt abból

adódik, hogy legmagasabb látens hője révén ebből kell a legkevesebb azonos mennyiségű hő tárolására, illetve abból, hogy a természetben is megtalálható az

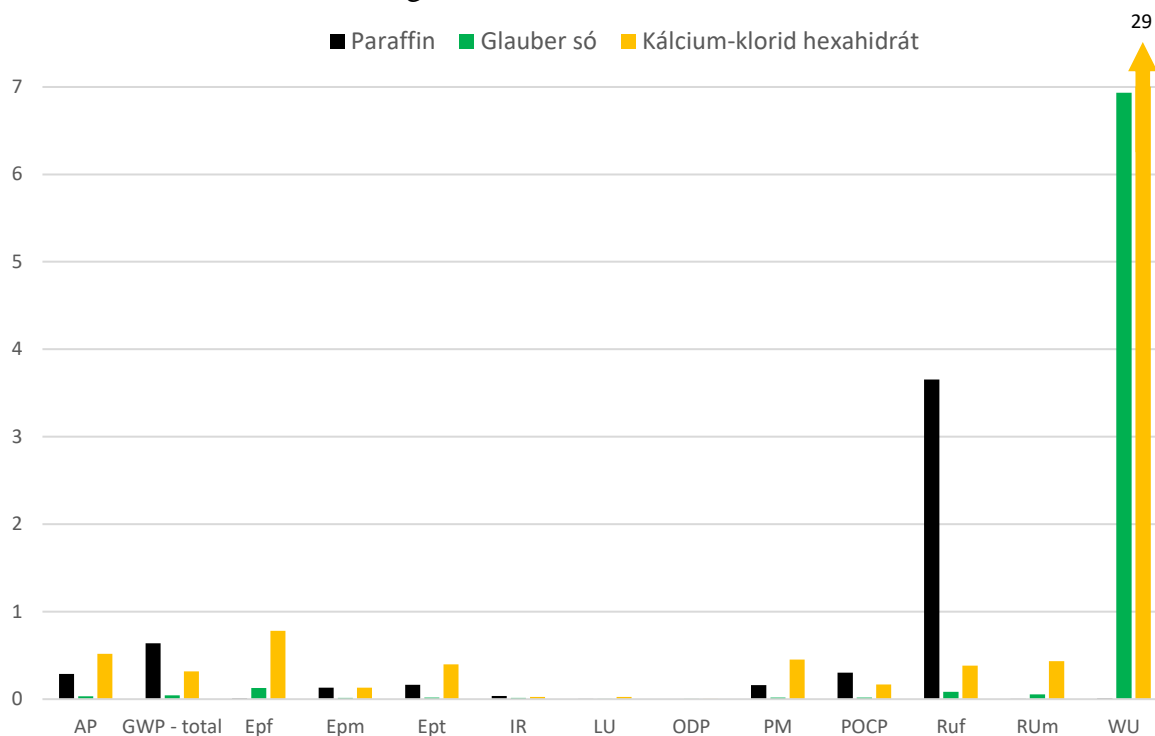
alapanyaga, így minimális technológiai beavatkozással, ezáltal csekély környezetterheléssel állítható elő.

A paraffin az édesvízi eutrofizáció (EPf), az ózontontó potenciál (ODP), az áványi anyagok kimerülése (RUM) és a víz használat (WU) esetén a legkedvezőbb, viszont a klímaváltozás (GWP), fotokémiai szmog (POCP), a fosszilis anyagok (RUF) kimerülése, a sós vízi eutrofizáció (EPM) és az ionizáló sugárzások (IR) terén ez a fázisváltó közeg a legkedvezőtlenebb, a fennmaradó hatáskategóriákban a kalcium-klorid hexahidrát a legkedvezőtlenebb választás.

A klímaváltozásra gyakorolt hatást kiemelve 1 GJ hő tárolására alkalmas paraffin előállításának és 500 km-re történő szállítása 5185 kg CO<sub>2</sub> egyenértékű kibocsátásnak felel meg, míg a Glauber-sót alkalmazva mindössze 366 kg CO<sub>2</sub>,

kalcium-klorid hexahidrátot alkalmazva pedig 2557 kg egyenértékű kibocsátás adódik. Tehát klímavédelmi szempontból egyértelműen érdemes a paraffinról Glauber-sóra váltani, ha egyéb műszaki és hőtechnikai paraméterek is kedvezőek.

Ha minden környezeti hatást figyelembe veszünk akkor nem egyértelműen a legkedvezőbb a Glauber-só. Az egyéb környezeti hatások fontosságának meghatározásához érdemes normalizálni az egyes környezeti hatásokat, hogy lássuk melyik mennyire jelentős, hiszen egy kis vagy nagy érték önmagában még nem elhanyagolható vagy kiemelendő. Az EF 3.0 hatásértékelési módszer rendelkezik normalizációs készlettel is [12-13]. Az átlagos földi lakos környezeti hatásaival normalizált hatások lakos egyenértékben (LE) a 4. ábrán láthatók.



**4. ábra:** A hőtároló közegek gyártásának és szállításának normalizált környezeti hatása a vizsgált hatáskategóriákban, LE

Látható, hogy az 1 GJ hő tárolására alkalmas mennyiségű hőtároló közegek normalizált környezeti hatásai hatáskategóriát kivéve mindenhol 1 LE-n belül vannak, vagyis egy átlagos földi lakos

éves környezeti hatásánál kisebbek. A legkevésbé jelentősnek tűnő hatások az ODP és LU. A paraffin esetén az RUF jelentős, hiszen fosszilis forrásból állítjuk elő. A sóhidrátok esetén a WU

kiemelkedően magas a többi hatáskategóriához képest: 7 LE, illetve 29 LE a Glauber-sóra és a kalcium-klorid hexahidrátra, amit hozzávetőlegesen 80%-ban a sók előállításánál felhasznált vízenergia okoz.

Ahhoz, hogy eldönthessük összességében a paraffin vagy a Glauber-só

kedvezőbb környezeti szempontból a környezeti hatásokat aggregálni kell, azonban mivel ezek fontossága nem azonos, ezért a normalizált értékeket aggregálás előtt súlyozzuk azok egymáshoz viszonyított relatív fontosságával az EF 3.0 súlykészletével [11, 13].

**5. táblázat:** A hőtároló közegek gyártásának és szállításának normalizált, súlyozott aggregált környezeti hatása, LE

Anyag	Aggregált eredmények, LE	Legkisebb hatás
kalcium-klorid hexahidrát: $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	2,9 (WU 2,63)	
Glauber-só: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	0,66 (WU 0,63)	AP, GWP, EPm, EPt, IR, LU, PM, POCP, RUF
Paraffin (RubiTherm RT 80 HC)	0,53 (WU 0,00)	EPf, ODP, RUm, WU

A 3. táblázatban látható, hogy minden hatást figyelembe véve és aggregálva a paraffin adódik a legkedvezőbbnek a 0,53 lakos egyenérték (LE) eredményével, míg a Glauber-só 0,66 LE aggregált környezeti hatással rendelkezik. A kalcium-klorid hexahidrát egyértelműen a legkedvezőtlenebb választás, mivel az aggregált környezeti hatása 2,9 LE, ami több, mint ötszöröse a paraffinénak, és több, mint négyszerese a Glauber-sóénak.

Azonban a Glauber-só aggregált hatásából 0,63 LE a vízenergia előállítás vízhasználatból adódik, ami nem feltétlenül kerülendő, ezt figyelembe véve összességében mégis kedvezőbbé válhat a Glauber-só a paraffinhoz képest, hiszen a vízhasználatától eltekintve a Glauber só aggregált környezeti hatása mindössze 0,03 LE, a paraffiné pedig 0,53 LE.

Felmerül a kérdés, hogy eltekinthetünk-e a vízhasználatától, és alapozhatjuk-e a döntést a többi mutatóra. Ehhez segítséget nyújt, ha megvizsgáljuk az EF 3.0 hatásértékelési módszer egyes hatáskategóriáinak, illetve a normalizációs és súlykészletek megbízhatóságát

(robosztus mivoltát) [10, 12]. Ez alapján három csoportra sorolhatjuk az EF 3.0 hatáskategóriákat:

- I. GWP, ODP, PM hatáskategóriák használata ajánlott, és kielégítően megbízhatók,
- II. AP, EP, POCP, IR hatáskategóriák használata ajánlott, de megbízhatóságuk fejlesztést igényel,
- III. LU, WU, RU hatáskategóriák használata is ajánlott, de nagyobb figyelemmel, óvatosan kell alkalmazni ezeket, vagyis pusztán ezekre döntést nem célszerű alapozni.

A fentiek alapján, ha az aggregált mutatóba csak az I és II csoportba sorolt hatáskategóriákat számoljuk bele, akkor a Glauber só aggregált környezeti hatása 0,02 LE szemben a paraffin 0,21 LE vagy a kalcium-klorid hexahidrát 0,20 LE értékével. Tehát elmondható, hogy a Glauber-só környezeti szempontból kedvezőbb alternatíva a paraffinnal szemben.



### 3 Konklúzió

A hőtárolóanyag-választás mindig egy összetett szempontrendszer alapján történik, amelyben jelentős befolyásoló tényező a rendelkezésre állás, a bekerülési költség (mind a hőtároló anyag, mind a berendezés tekintetében), és a legfontosabb a technológiai megvalósíthatóság a környezetvédelmi szempontok mellett. Környezetvédelmi, elsősorban klíma-védelmi, szempontból jelen elemzés szerint a Glauber-só tűnik legkedvezőbbnek 1 GJ hő eltárolására, így alkalmas lehet a jelenleg preferált paraffin mint nagy mennyiségben és olcsón rendelkezésre álló fosszilis eredetű fázisváltó anyag kiváltására. Azonban a sóhidrátos technológia

megvalósíthatóságában is meghatározó tényező az adott hőcserélő konstrukciója, a felhasznált hővezető anyag minősége, valamint a sóhidrát stabilitása, és adott hőtartományban vett korróziós tulajdonságai.

A kutatás további feladata i) a Glauber sóval történő hőtárolás megvalósíthatóságának elemzése, ii) a Glauber só hőtechnikai és egyéb fizikai-kémiai tulajdonságait figyelembe véve a megfelelő műszaki paraméterekkel rendelkező hőcserélő berendezés kialakítása és iii) a felhasználás körülményeinek és módjának azonosítása.

### 4 Köszönetnyilvánítás

A munka a 2021-2.1.2-HŐ-2021-00004 számú projekt keretében kapcsolódva, a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alap részleges támogatásával, a

2021-2.1.2-HŐ pályázati program részfinanszírozásában valósult meg.

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.

## Irodalom:

1. S. M. HASNAIN (1997): Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part I: Heat Storage Metals And Techniques, Energy conversion, Vol.: 39, No.: 11.
2. D. Kearney, B. Kelly, R. Cable, N. Potrovitza, U. Herrmann, P. Nava, R. Mahoney, J. Pacheco, D. Blake, H. Price (2003): Overview on use of a Molten Salt HTF in a Trough Solar Field, NREL Parabolic Trough Thermal Energy Storage Workshop
3. Ali H. Abedin, Marc A. Rosen (2011): A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems, The Open Renewable Energy Journal 4, 42-46
4. Borbély Tibor (2014): Szilárd töltetű hőtároló optimális kialakítása, PhD értekezés, Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki- és Agrártudományok Doktori Iskola.
5. Jason HIRSCHHEY, Kyle R. GLUESENKAMP, Anne MALLOW, Samuel GRAHAM (2018): Review of Inorganic Salt Hydrates with Phase Change Temperature in Range of 5°C to 60°C and Material Cost Comparison with Common Waxes, 5th International High Performance Buildings Conference at Purdue.
6. Samer Sawalha, Tianhao Xu: Thermal energy storage with PCM for energy systems in buildings, 2018
7. Xin Liu et al: Improved thermal conductivity and stability of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O PCMs system by incorporation of Al/C hybrid nanoparticles, Journal of Materials Research and Technology, Volume 12, May–June 2021, Pages 982-988, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.096>
8. RubiTherm RT80HC online katalógus, [https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata\\_RT80HC\\_EN\\_19052021.PDF](https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_RT80HC_EN_19052021.PDF)
9. Commission Recommendation (EU). 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. Off J Eur Union 2021;64:L 471/1.
10. European Commission, Joint Research Centre, Sala, S., De Laurentiis, V., Zampori, L. et al., Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods – Version 2, from ILCD to EF 3.0, Publications Office, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/002447>
11. Sala S, Cerutti AK, Pant R. (2018). Development of a weighting approach for Environmental Footprint. European Commission, Joint Research Centre, Publication Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-68041-0.
12. Crenna E, Secchi M, Benini L, Sala S (2019) Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalisation factors. International Journal of LCA, p.1-27, DOI: 10.1007/s11367-019-01604-y
13. Normalisation\_Weighting\_Factors\_EF\_3.0, <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/EF-v3.0.zip>

## Szerzőink



**Dr. Cséfalvay Edit** környezetmérnöki tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) végezte. 2009-ben szerzett PhD fokozatot Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki tudományterületen a zöld technológiák technológiai vízkezelésben való alkalmazása témakörben, ugyanezen az egyetemen. 2015-től a BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszékén dolgozik, 2021-től habilitált egyetemi docensként. Jelenlegi kutatási tevékenysége a termodinamikai alapon nyugvó környezeti fenntarthatósági mérőszámok kidolgozása, biomassa alapú gyűjtőfolyadékok emissziójának vizsgálata, valamint erőművi póttápvíz előállítására környezetbarát eljárásokkal.



**Dr. Kovács Viktória Barbara** környezetmérnöki tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) végezte. 2013-ban szerzett PhD fokozatot Műszaki tudományok tudományterületen, Gépészeti tudományok tudományágban alternatív gáznemű tüzelőanyagok gázmotoros energetikai hasznosíthatósága témakörben, ugyanezen az egyetemen. 2007-től a BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszékén dolgozik. Jelenlegi kutatási területe hagyományos és megújuló, illetve karbon semleges energiatermelő rendszerek Életciklus értékelése (Life Cycle Assessment – LCA) és Életciklus energiaanalízise (Life Cycle Energy Analysis – LCEA).



**Szalainé Kaczkó Orsolya Ibolya** energetikai mérnöki tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) végezte. 2023-ban szerzett oklevelet, jelenleg doktori képzésben vesz részt ugyanezen az egyetemen a Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszékén. Kutatási témája a magyarországi hulladékkezelés karbonsemlegességének és körforgásos gazdaságba illesztésének vizsgálata az életciklus - értékelés módszerével.

# A munkahelyi karbonlábnyom meghatározásának modellezése jelenléti és otthoni munkavégzés esetén

DR. TÓTHNÉ DR. SZITA Klára<sup>1</sup>, DR. TERJÉK Anita<sup>2</sup> és VIRÓKNÉ SZILÁGYI Krisztina<sup>3</sup>

[1] senior kutató, ÉMI Nonprofit Kft., kszita@emi.hu

[2] senior kutató, ÉMI Nonprofit Kft., ATerjek@emi.hu

[3] BIM menedzser, ÉMI Nonprofit Kft., virokneszilagyikrisztina@gmail.com

## Abstract

Due to the COVID-19 pandemic, working from home has been expanded with innovative elements on a global scale, and these working methods have also appeared in Hungary. Although remote work is not a new phenomenon, with the spread of digital technologies, they have appeared in many sectors and several jobs. In work-related analyses, the impact on the environment and climate change is receiving more and more attention. Our present research aimed to quantify the environmental impact of office work, namely at determining the carbon footprint, based on which decarbonization paths emerged as possible development directions. Carbon dioxide emissions are experienced in various areas during office work, and they are also closely related to the building providing the workplace itself, as built-in or operational carbon content. Therefore, our primary task was to set up the model on which the calculations were based. We collected data for the office building that forms the basis of the reference model for two periods (February 2020 and February 2021), according to input-output currents. The data determining the evolution of the carbon footprint were considered based on the measured data of the investigated workplace (operations, IT, HR), and the allocation considered the actual area and personnel data. According to the nature of the work, we analysed three scenarios based on the working hours: 1. 100% attendance work.

**Keywords:** carbon footprint, decarbonization, life cycle assessment (LCA), office working vs. home working

## Kivonat

A COVID-19 világjárvány miatt az otthonról való munkavégzések világméretben innovatív elemekkel bővültek, és ezek a munkamódszerek hazánkban is megjelentek. Habár a távmunka nem újkeletű jelenség, de a digitális technológiák elterjedésével számos ágazatban megjelentek, több munkakörben. A munkavégzéssel összefüggő elemzésekben egyre nagyobb figyelmet kap a környezetre és az éghajlatváltozásra gyakorolt hatás. Jelen kutatásunk az irodai munka környezeti hatásának számszerűsítésére, nevezetesen a karbonlábnyom meghatározására irányult, amire építve a dekarbonizációs utak, mint lehetséges fejlesztési irányok is kirajzolódtak. Szén-dioxid-kibocsátást az irodai munkavégzés során különböző területeken tapasztalunk, és magához a munkahelyet biztosító épülethez is szorosan kapcsolódik, mint

beépült karbon tartalom vagy az üzemeltetéssel összefüggő. Ezért elsődleges feladtunk volt a számításokat megalapozó modell felállítása. A referencia modell alapját képező irodaépületére vonatkozó adatgyűjtést két időszakra (2020. február és 2021. február), input-output áramok szerint végeztük. A karbonlábnyom alakulását meghatározó adatokat a vizsgált munkahely mért adatai alapján (üzemeltetés, IT, HR) vettük számításba, a valóságnak megfelelő terület és létszámadatokat figyelembe vevő allokáció mellett. A munkavégzés jellege szerint 3 scenáriót elemeztünk a munkaidő alapján: 1. 100 % jelenléti munkavégzés; 2. 90 % otthoni és 10 % jelenléti munkavégzés; 3. 20 % otthoni és 80 % jelenléti munkavégzés. A kutatás eredményeképpen megállapítható, hogy a munkavállalók közlekedési szokásai, az energiafogyasztás, az IT és egyéb munkához kapcsolódó eszközök használata, valamint a távoli munkavégzés jövőbeli kilátásai kulcsfontosságúak a dekarbonizáció eredményeit tekintve. Ezekre az eredményekre építve lehet olyan stratégiákat felállítani, amelyek jelentősen csökkenthetik a széndioxid kibocsátást.

**Kulcsszavak:** karbon lábnyom, dekarbonizáció, életciklus-értékelés (LCA), jelenléti vs. otthoni munkavégzés

## 1 Bevezetés

A COVID-19 világjárvány hazánkban is teljesen átformálta munkamódszereket. 2020 óta az otthonról dolgozó alkalmazottak munkáját az egész világon számos innováció segítette, és teljesen átformálta a munkavégzést. Az új távmunkában rejlő lehetőségeket sok kutató elemzi, és vizsgálataikban egyre nagyobb figyelmet kap a környezetre és az éghajlatváltozásra gyakorolt hatás, tágabb értelemben pedig a gazdaság zöldebbé tétele.

Habár a távmunka nem újkeletű jelenség, de a digitális technológiák előretörésével számos ágazatban megjelent, több szakmát érintve, és sokféle formát öltve. A világjárvány pedig jelentősen felgyorsította a fejlődést, és olyan iparágban és ágazatban is bevezették a távmunkát, amely korábban nem alkalmazta, mert a karanténok és a bezárások miatt erre a lépésre kényszerült.

## 2 A munkavégzés környezeti szempontú elemzéseinek jelentősége

Az építőipar felelős a globális szén-dioxid-kibocsátás 39 %-áért (WBCSD, 2021) és a globális anyagfelhasználás nagy részéért, aminek 50 %-át a beton és téglá, 40 %-át pedig az acél teszi ki. Figyelembe véve a

Egyrészt a távmunkával együtt jár a ritkább munkába járás, a kevesebb utazás és karbon lábnyom csökkenés, másrészt a módosult munkabeosztás miatt megnövekszik a nem munkába járáshoz köthető utazások és/vagy a szabadidős tevékenységek száma a munkavállalók saját ökológiai lábnyom növelését eredményezve. Ezen túlmenően, az otthoni munkavégzés nagyobb otthoni energia igénnyel párosul, amit az általános környezeti hatások értékelése során figyelembe kell venni.

Tekintettel a korlátozott adatszolgáltatásra, a bonyolult összefüggésekre, a környezeti hatások sokféleségére és arra, hogy a távmunka milyen következményekkel járhat a környezetre, kutatásunk során eltekintettünk a megtestesült karbontartalom számbavételétől, csak a tevékenységhez kapcsolódó üvegházhatású gázokkal számoltunk. A különböző scenáriók alapján meghatározott karbonlábnyom alapján a lehetséges dekarbonizációs stratégiákra is javaslatot fogalmaztunk meg.

városi épített környezet 2050-re várható 60 %-os növekedését (UNEP, 2013) és a jelentős keresletet a városi lakások felújítására (Európai Bizottság, 2019), a dekarbonizáció (azaz a folyamatokból

származó üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, megszüntetése és/vagy eltávolítása) kritikus fontosságú a Párizsi Megállapodásban meghatározott éghajlatváltozás-mérséklési célok teljesítéséhez. Az épületek teljes életciklusa során több ponton is megjelenik a szén-dioxid-kibocsátás, ami lehet beépített (az anyagkitermelés és -gyártás, építőanyagok szállítása, az épület építése, karbantartása, cseréje, felújítása, javítása és az életút végi kezelése), de származhat az üzemeltetésből (az épületek használata fűtés, hűtés, világítás, elektromos eszközök használata).

A munkavállalók közlekedési szokásai, az energiafogyasztás, az IT és egyéb munkához kapcsolódó eszközök használata, valamint a távoli munkavégzés jövőbeli kilátásai kulcsfontosságúak a dekarbonizáció szempontjából. Ahhoz, hogy a távmunka fenntartható legyen és pozitív hatást fejtsen ki, a kutatás során tisztázni kell annak tényleges környezeti hatásait, összehasonlítva a világjárvány előtti időszak munkavégzési szokásaival.

Dingel és Neiman (2020) szerint világszerte a foglalkozások mintegy 20 %-a otthonról is elvégezhető lenne. Míg ez az arány Afrikában a Szaharától délre fekvő országokban 10 %-ra csökken, addig Európa gazdagabb országaiban meghaladja a 45 %-ot. A munkavállalók számára az alternatívát gyakran a központi munkahelyekre való hosszú ingázás jelenti, ami hozzájárul a városok amúgy is magas szén-dioxid-kibocsátásához és légszennyezéséhez. A szén-dioxid-kibocsátás és az energiafelhasználás csökkentése bárhol is realizálódik, pozitív fejlődésként tekinthető, de a környezeti hatások mindig globális problémát jelentenek. A környezetvédelmi gyakorlatok nemzetközi különbözőségei sokszor korlátozzák a hatások hosszú távú fenntarthatóságának kilátásait. A távmunka környezeti hatásainak értékelésénél számos tényező játszik közre, és ezek hatásai gyakran összefonódnak. Akgüç, Galgóczi és Mei (2023) kutatása alapján az ökológiai hatások 3 csoportba sorolhatók (1. táblázat).

**1. táblázat:** A távmunka környezeti hatásainak csoportosítása (Akgüç, Galgóczi és Mei, 2023)

<b>Környezeti hatások</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● a távmunka földrajzi elhelyezkedése (vidéki vagy városi fejlődés)</li> <li>● zaj- és légszennyezés</li> <li>● ásványi és más természeti erőforrások felhasználása</li> </ul>
<b>Energiafelhasználás</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● az irodahelyiségek használati módja (pl. fix vagy rugalmas távmunka napok, hotdesking és az energiafogyasztási rendszerek tervezése ez idő alatt).</li> <li>● az iroda- és lakóépületek energiateljesítménye</li> <li>● a lakások és az irodahelyiségek mérete</li> <li>● az iroda- és lakóépület fűtési vagy hűtési rendszereinek típusa</li> <li>● a háztartásban otthonról dolgozó személyek száma</li> <li>● a helyszínek földrajzi jellemzői és szezonális dimenziók (pl. a téli vagy nyári hónapok hossza) hatással vannak az épületek fűtési vagy hűtési igénybevételére</li> <li>● a felhasznált energia általános szén-dioxid-intenzitása (IT) az irodában és otthon használt készülékek energiafogyasztása</li> <li>● fogyasztási szokások</li> </ul>
<b>Mobilitás</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● a munkahely és a lakóhely közötti távolság</li> </ul>

- a (fenntartható) tömegközlekedés elérhetősége
- a közlekedési mód energiateljesítménye munka közben
- a személygépkocsik üzemanyag-hatékonysága
- a munkahelyen kívüli mobilitási szokások

## A távmunka alkalmazásának szakirodalma

A távmunkával kapcsolatos szakirodalom környezetvédelmi szempontból még nem teljes, de a meglévő tanulmányok elsősorban a CO<sub>2</sub>-kibocsátásra összpontosítanak (Bachelet et al. 2021; Cerqueira et al. 2020; Eurofound 2022; Carbon Trust 2021; Ecoact 2020), amely a csökkentett közlekedéshez kapcsolódik, és általában a személygépkocsi használatra vonatkozik, mint a fenntartható tömegközlekedést.

Míg a CO<sub>2</sub>-kibocsátásra vonatkozó részletes adatok egyre inkább rendelkezésre állnak aggregált szinten, ami megkönnyíti a távmunkával való kapcsolat becslésére szolgáló mennyiségi modellek kidolgozását, ugyanez nem mondható el a fent említett egyéb környezeti mérőszámokról, ami részben indokolja a kibocsátásra való összpontosítást. A távmunka másik egyszerűsítése, ha csak otthoni munkavégzést veszünk figyelembe, hiszen ez a távmunka egyik, de nem egyetlen típusa. Ha a környezeti hatások megértése érdekében az otthoni munkavégzésre összpontosítunk, az csökkenti a globális értékláncok mentén kiszervezett távmunkához kapcsolódó összetett dimenziók számát, ami megnehezíti a környezeti nyomon követhetőséget.

Az IEA (2020) által végzett átfogó globális elemzés szerint a Covid-19 első szakaszában a záratok után a benzin felhasználása több mint 9 millió hordóval csökkent naponta (plusz 6 millió hordó gázolajjal). Ráadásul a világ számos nagyvárosában ennek következtében a csúcsforgalomban kialakult torlódások jelentős, például 65-95 %-os csökkenését

tapasztalták. Az átfogó korlátozások és lezárások ezen hatásai a távmunka révén a mobilitás csökkenésének hatásait jelzik, de csak kiindulópontnak tekinthetők.

A bezárások első szakaszában végzett átfogó globális elemzés kimutatta, hogy az otthonról megvalósuló munkavégzés egy napja a háztartások energiafogyasztásának 7-23 % közötti növekedésével jár, ami számos tényezőtől függ, többek között a lakások energiahatékonyságától, de attól is, hogy hány ember dolgozik távolról egy háztartásban. Kimutatták azt is, hogy a távmunkával a munkahét során az energiafogyasztás aránya hasonlít a vasárnapi átlagos energiaigényhez, amikor a legtöbb ember szabadnapos és otthon van (IEA 2020).

Bachelet et al. (2021) a német mikrocenzust, valamint a megfelelő energia- és szén-dioxid-árakat felhasználva arra utal, hogy míg a távmunka munkavállalóként 110 euróval növeli az éves fűtési energiaköltségeket, addig munkavállalóként 840 euróval csökkenti az éves közlekedési kiadásokat.

Az ökológiai lábnyom szempontjából a távmunka általános hatása nem egyértelmű. Lachapelle et al. (2018) kanadai tanulmányából származó megállapításai szerint, ha a távmunka növeli a termelékenységet, és ezáltal a gazdasági növekedést, akkor ezáltal valószínűleg a termelés és a jövedelem növekedéséhez, és ezáltal a fogyasztási szokások növekedéséhez is vezet (pl. több szabadidős utazás, az alapvető szükségleteken túli javak fokozott fogyasztása stb.) Ez pedig növeli az általános energiaigényt. Ebben az

esetben, bár a távmunka elvileg csökkentené a kibocsátást az ingázás csökkenésével, mint elsőrendű hatás, a megnövekedett fogyasztás és a nagyobb energiaigény miatt végül mégis nagyobb teljes ökológiai lábnyomot eredményezhet.

Ezenkívül a telekommunikáció fokozott használata és az otthonok fűtése gyakran negatív hatással van az éghajlatra. Kérdéses, hogy a vállalatok kidolgoznak-e stratégiákat irodaterületeik (és ezáltal az energiafogyasztásuk) csökkentésére. Korábbi kutatások már kimutatták az IT-berendezések igen dinamikus energiafelhasználását az elmúlt néhány évben. A témával kapcsolatos szakirodalom még kialakulóban van, de Efovi-Hess (2019) szerint a digitális technológiák már a világméretű szén-dioxid-kibocsátás közel 4 százalékát tették ki már a világjárvány előtt is - többet, mint a légi közlekedés -, és hatásuk minden évben 8 százalékkal nőtt. Más szóval a távmunkához nélkülözhetetlen IKT-eszközök jelentős kibocsátási források. Ehhez kapcsolódóan Obringer és társai (2021) rámutatnak az internethasználat (az adat- és felhőközpontok energiafogyasztásához kapcsolódó) szénlábnyomára, amely gigabájttonként 28 és 63 gramm CO<sub>2</sub>-egyenérték között mozog.

A különböző internetszolgáltatások közül a leggyakrabban használt eszközök, például a videokonferenciák a legnagyobb energiaigényű lehetőségként azonosítottak. A technológiai fejlődés azonban ezen a területen folyamatos, és egyre energiahatékonyabb megoldások születnek (Obringer et al. 2021).

A távmunka fő potenciális előnye leginkább a mobilitás csökkentésében játszott szerepéhez kapcsolódik. Köztudott, hogy a közlekedés nagymértékben hozzájárul az üvegházhatású gázok kibocsátásához, és hogy az ingázás (otthonról a munkahelyre és vissza) ennek nagy részét teszi ki. A távmunka növekedése és szerepe egyre nagyobb jelentőséget kap a fenntartható

mobilitásban (Aguilera és Pigalle 2021), mivel a távmunkát vagy a hibrid munkát gyakran a szén-dioxid-kibocsátás csökkentés egyik fő eszközeként emlegetik, vagyis az ingázás mértéke alacsonyabb.

A távmunka környezeti hatásait vizsgáló Bachelet és társai (2021) tanulmánya szerint az autóval történő ingázás csökkenése miatt a kibocsátás csökkenése 4,5 millió tonna CO<sub>2</sub>-t tesz ki, ami a németországi közlekedési ágazat szén-dioxid-kibocsátásának 3 %-ának felel meg. A számok jövedelmi csoportok, valamint a munkavállalók lakóhelye szerint változnak. Az ADEME (2020) becslése szerint Franciaországban személyenként és hetente egy nap távmunkával 271 kg CO<sub>2</sub>-t lehetne megtakarítani évente, megkülönböztetve a különböző kibocsátási módokat (pl. közlekedés, IKT-eszközök, energiaigény relokalizációja), majd ezeket összeadva. Beck et al. (2020) szerint a távmunka fontos szerepet játszik az autós ingázás csökkentésében. Az ADEME jelentéséhez hasonlóan Beck et al. rámutatnak arra, hogy az otthoni munkavégzésben töltött napok száma döntő fontosságú. Az Eurofound (2022) is készített egy esettanulmányt Írországból - ahol a világjárványt követően a távmunka aránya a harmadik legmagasabb volt az EU-ban -, és megállapította, hogy a távmunkának pozitív éghajlati hatása van, ami évi 164 407 tonna CO<sub>2</sub>-kibocsátás megtakarítását jelenti. Kylili et al. (2020) szerint, Cipruson 100 alkalmazottra vetítve legalább 4 liter közlekedési üzemanyag és 7,4 kg CO<sub>2</sub>-kibocsátás takarítható meg a távmunka egy órájával.

Krasilnikova és Levin-Keitel (2022) a németországi Hannover egyik ipari elővárosi területére vonatkozó kutatása szerint a területen dolgozók 59 %-ának van lehetősége arra, hogy távmunka révén hozzájáruljon a gépkocsiforgalom csökkentéséhez. Ez a terület számos vezető nemzeti és nemzetközi és helyi vállalat székhelye. A tanulmány azt is megállapítja, hogy a távmunkásoknak csupán 5 %-a



dolgozik teljes munkaidőben otthonról (a többség heti 1-3 napot vagy kevesebbet). A szerzők kiszámították, hogy két további távmunkában töltött nap 11 %-os CO<sub>2</sub>-kibocsátás-megtakarítást eredményez. A kutatás rámutat arra is, hogy a vállalatok szerepe döntő fontosságú a távmunka támogatásában, lehetővé tételében és előmozdításában. A támogató vállalati kultúra nemcsak a digitális munkát foglalja magában, hanem az üzleti modellek és a

humánerőforrás-politika szélesebb körű átalakítását is.

A távmunka nemcsak a forgalom és az utazás csökkentését eredményezheti, hanem hozzájárul a szabad idő hasznos eltöltéséhez, a rekreációhoz, közösségi programok és aktív társadalmi élet fejlesztéséhez - bevásárlási lehetőségekkel, kulturális kínálattal vagy egyszerűen csak a találkozások miatt.

### Az elemzéshez felhasznált mintaépület és módszertan ismertetése

A vizsgált épület egy energiatakarékos és környezettudatos szerkezeti és gépészeti rendszereket alkalmazó, fszt.+2 szintes irodaház, ami Pest vármegyében, Budapesttől 20 km-re található. Főbb nettó szintterületi adatai: fsz.: 1943 m<sup>2</sup>, I. emelet: 1869 m<sup>2</sup>, II. emelet: 1873 m<sup>2</sup>, összesen 5685 m<sup>2</sup>. A tető egy részén extenzív zöldtető, a homlokzat egy-egy részén zöldhomlokzat, illetve. klímahomlokzat lett kialakítva. A 2013-ban átadott új létesítmény építészeti és technológiai módszereiben is a legmodernebb környezettudatos és energiahatékony megoldásokat valósította meg. Az irodaépület alacsony hőmérsékletű mennyezetfűtéssel készült, szennyvízre épülő hőszivattyús hideg-meleg energiaellátással, gáz tüzelésű kapcsolt elektromos és hőtermeléssel.

Az adatgyűjtés a referencia modell alapját képező iroda épületére, a modellben meghatározott input-output áramokra vonatkozóan valósult meg. A karbonlábnyom alakulását befolyásoló adatokat az illetékes irodák mért adatai alapján (üzemeltetés, IT, HR) vettük számításba, a valóságnak megfelelő terület és létszámadatokat figyelembe vevő allokáció mellett.

A karbonlábnyom számítás módszertana a Greenhouse Gas Protocol és az ISO 14064 szervezeti karbonlábnyomra vonatkozó szabványt követte és a számításokat is aszerint végeztük. Nem vettük figyelembe az épületben megtestesült karbontartalmat, mert annak meghatározása túlmutatna a kutatás keretein.

A dekarbonizációs számításokat megalapozó modell felállításához és a számítás módszertanának meghatározásához szükséges adatokat 2 időszakra vonatkozóan gyűjtöttük össze. 2020. februárjában a munkavállalók jelentős része az irodában dolgozott, néhány esetben volt engedélyezett a távmunka (családi ok vagy közlekedési probléma). Ezzel szemben 2021. februárjában a Covid-19 világjárvány miatti vészhelyzet megszüntetése után lehetőség volt otthoni munkavégzés igénylésére, az irodában dolgozók számának minimalizálása érdekében. Irodahelyiségenként viszont legalább 1 főnek váltásban bent kellett tartózkodni.

A számításnál alkalmazott képlet a következő:

$$CF_M = \sum_{i=1}^n CF_i, \text{ ahol:}$$

**CF<sub>M</sub>**: munkahely szervezeti karbonlábnyoma

**CF<sub>i</sub>**: a karbonlábnyom kialakulásában szerepet játszó tényezők,

Részletezve:

$$CF_M = \sum CF_{\text{direkt}} + \sum CF_{\text{közvetett}} + \sum CF_{\text{egyéb}}, \text{ ahol:}$$

CF<sub>direkt</sub>: közvetlen kibocsátások,

CF<sub>közvetett</sub>: közvetett energiához köthető kibocsátások (villamos áram)

CF<sub>egyéb</sub>: egyéb közvetett kibocsátások, vagyis

$$\sum CF_{\text{egyéb}} = CF_{\text{közlekedés}} + CF_{\text{külföldi út}} + CF_{\text{üzleti partner}} + CF_{\text{étkezés}} + CF_{\text{hulladék}} + CF_{\text{vízfogyasztás}}$$

A szénlábnyomot az alábbi összefüggés szerint lehet kiszámítani:

### A munkavégzés vizsgálatának modellezése és az elemzett scenáriók bemutatása

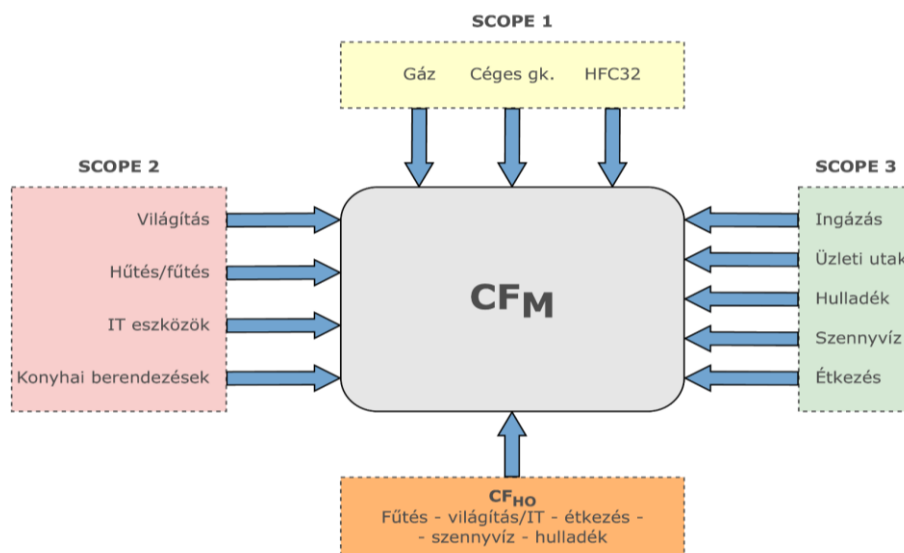
A vizsgálat során a 2. ábrán feltüntetett tényezők kerültek számításba a SCOPE szerinti tagolás szerint. A számításnál az egyes tényezők karbonlábnyomát külön-külön meghatározzuk, majd aggregáljuk. A számításnál alkalmazott emissziós tényezők az ecoinvent adatbázisból származnak, az

$$CF = Q * f_{CF}, \text{ ahol}$$

**Q:** a széndioxidot előidéző tényező mennyisége (kWh, kg, m<sup>3</sup>, km, adag)

**f<sub>CF</sub>:** az adott tényezőre vonatkozó emissziós faktor

IPCC 2021 hatáskategória alapján (GWP 100). Az életciklus leltár input és output mennyiségeit a tényleges vagy számított adatok jelentik, amelyek alapját KSH adatok, adatbázisok, illetve irodalmi adatok biztosították.



**1. ábra:** A dekarbonizációs számítások modellezése (saját szerkesztés)

Az életciklus vizsgálata nem terjed ki az irodai munkához szükséges irodaszerek vizsgálatára, karbantartásra, felújításra, és az irodaépület és az elektronikai eszközök megtestesült karbontartalmára sem.

A funkció egység:

- az irodai munkavégzés karbonlábnyoma, illetve
- az egy fő 1 óra alatt előidézett karbonlábnyoma.

Az elemzést az MSZ EN ISO 14064 szabványt követve, a közvetlen és közvetett kibocsátásokat okozó tényezők SCOPE 1-2-3 besorolása szerint tényleges adatok alapján végeztük, illetve irodalmi források, statisztikai adatok alapján becsültük.

A scenáriókat a 2. táblázat tartalmazza. Az S-1 és S-2 valós adatokra épült az S-3 hipotetikus scenárió. Az összehasonlítást teljes rendszerben végezzük, számításba véve az otthoni munkavégzés azon elemeit is, melyek a munkahelyi munkavégzésénél

számításba kerültek (fűtés, energiahasználat stb.)

A leltár felvétel mindhárom scenárióban adatgyűjtés után a 3. táblázatban meghatározottak szerint történt.

**2. táblázat:** Az egyes scenáriók ismertetése

<b>Alapeset (S-1) scenárió</b>	A munkavállalók 100 %-a bejár dolgozni, nincs otthoni munkavégzésre lehetőség. A 2020. év februári időszakára vonatkozó valós, mért értékek alapján.
<b>Otthoni munkavégzés (S-2) scenárió</b>	A munkavállalók 90 %-a otthon dolgozik, csak 10 %-nak kell jelen lennie a munkahelyen. A 2021. február hónap valós értékei alapján.
<b>Hibrid megoldás (S-3) scenárió</b>	Otthoni munkavégzésre van lehetőség, mely a munkavállalók 20 %-át érinti, tehát a 80 % bejár dolgozni.

**3. táblázat:** A vizsgálatot megalapozó adatok

SCOPE 1	Gázfogyasztás	MJ	tényleges munkahelyi adatok
	Céges kocsik használat	km	mért
	HFC32	kg	becsült
SCOPE 2	Világítás	kWh	teljesítmény és működési idő alapján számított
	IT eszközök	kWh	leltár adatok, teljesítmény és működési idő alapján számított
	Fűtés/hűtés	kWh	számított
	Konyhai berendezések	kWh	számított
SCOPE 3	Üzleti utak	km	nyilvántartás szerint számított adatok
	Ingázás	km	számított
	Étkezés	kcal	becsült
	Hulladék	kg	mért
	Vízfogyasztás	m <sup>3</sup>	mért
Otthoni munkavégzés	OM_S2 fűtés MJ	MJ	KSH adatokból számított
	Világítás/elektromos MJ	kWh	KSH adatokból számított
	Étkezés	kcal	számított
	Hulladék	kg	KSH adatok
	Vízfogyasztás	m <sup>3</sup>	számított

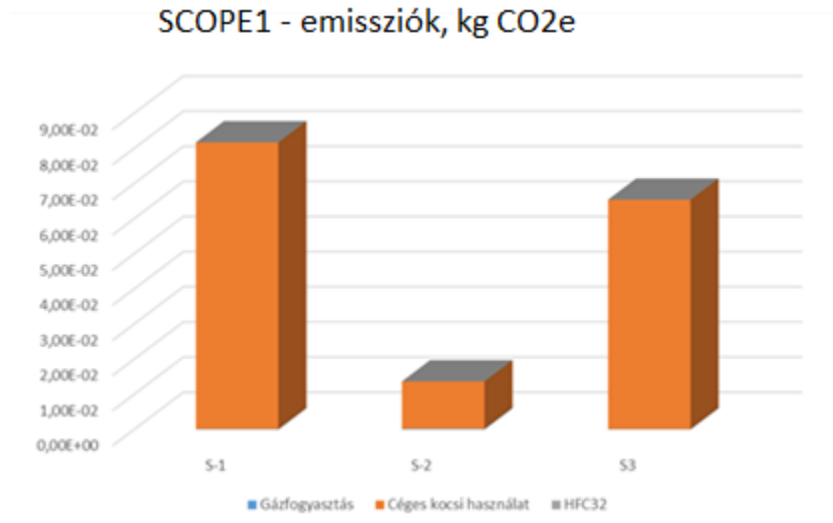
### Az eredmények bemutatása

Először külön csak a munkahelyi szemszögéből mutatjuk be az egyes alternatívák lehetőségeit hatásterületi bontásban. A SCOPE 1 hatásterület, a közvetlen kibocsátásból származó széndioxid egyenértékét (kgCO<sub>2e</sub>)

alapvetően a saját gépjárművek emissziói alakítják, mint az ábrán is látható. Az S-2 scenárióban a saját gépjárművek használata minimális volt, a jelenléti munkavégzés mellett viszonyítva. Az S-3 scenárióban, amikor a dolgozók 20 %-

a otthonról dolgozik, a csökkenés az S-1  
szcenárióhoz viszonyítva 20 %. Az  
eredmények az összehasonlíthatóság

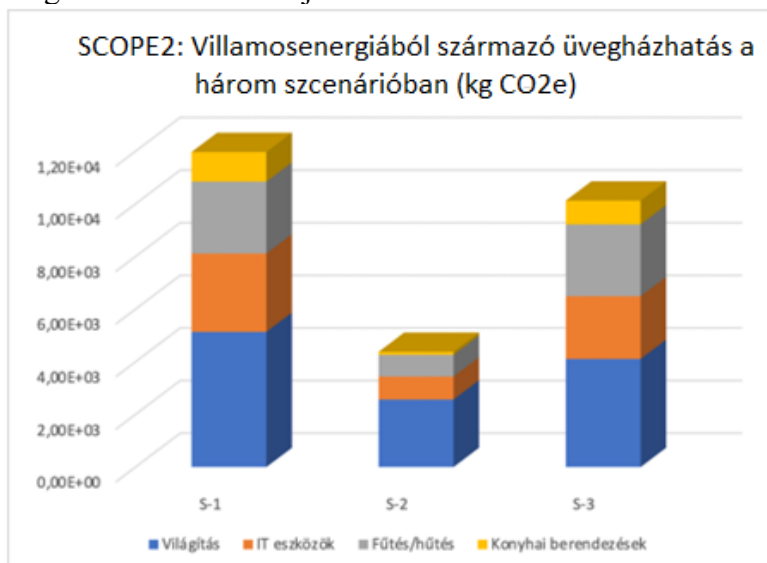
érdekében 1 munkavállaló 1 óra alatti  
munkavégzésére vonatkozik (CO<sub>2</sub>  
egyenérték/fő/óra).



**2. ábra:** SCOPE 1- Közvetlen kibocsátások karbonlábnyoma kg CO<sub>2</sub>e/fő/óra (saját szerkesztés)

A közvetett, energiahasználatból adódó  
kibocsátások (SCOPE 2) alakulását  
vizsgálva megállapítható, hogy a  
munkahely villamosenergia fogyasztási  
értékei az otthoni munkavégzés mellett  
csökkentek, tehát az otthoni munkavégzés  
lehetősége környezeti hasznot  
eredményezhet a cégnek. Az ábra mutatja a

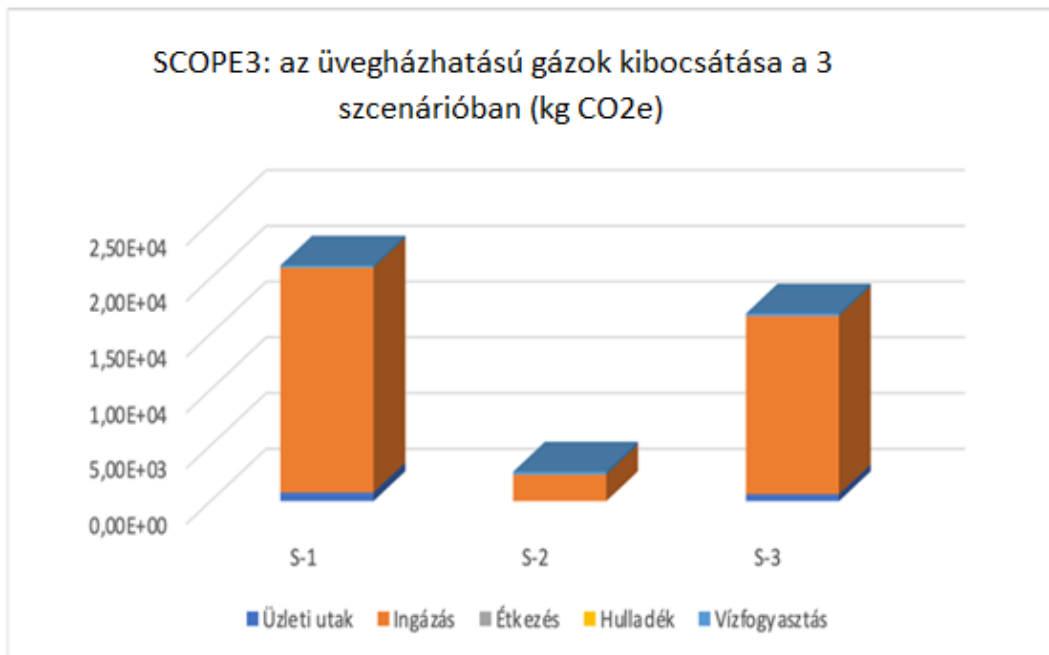
szignifikáns különbségeket. A 90 %-ban  
otthoni munkavégzés a felhasznált villamos  
energiából eredő széndioxid 63,4 %-os  
csökkenését eredményezte, és még a 20 %-  
os távmunka is 15,4 %-os csökkenést  
eredményezett az üvegházhatású gázok  
kibocsátásában a vállalatnak.



**3. ábra:** SCOPE 2 - A villamosenergiából származó üvegházhatás alakulása a 3 scenárióban (saját szerkesztés)

A SCOPE3 területhez tartozó területek - üzleti utak, ingázás, étkezés, hulladék és vízfogyasztás, mint közvetett üvegházhatás előidézői, még nagyobb különbségeket eredményeztek. A 90 %-os otthoni munkavégzés 87,5 %-os csökkenést

eredményezett, míg a jelenléti munkavégzők mellett a 20 %-ban távmunkában történő munkavégzés is 20,4 %-kal csökkentette a szervezet szénlábnyomát.

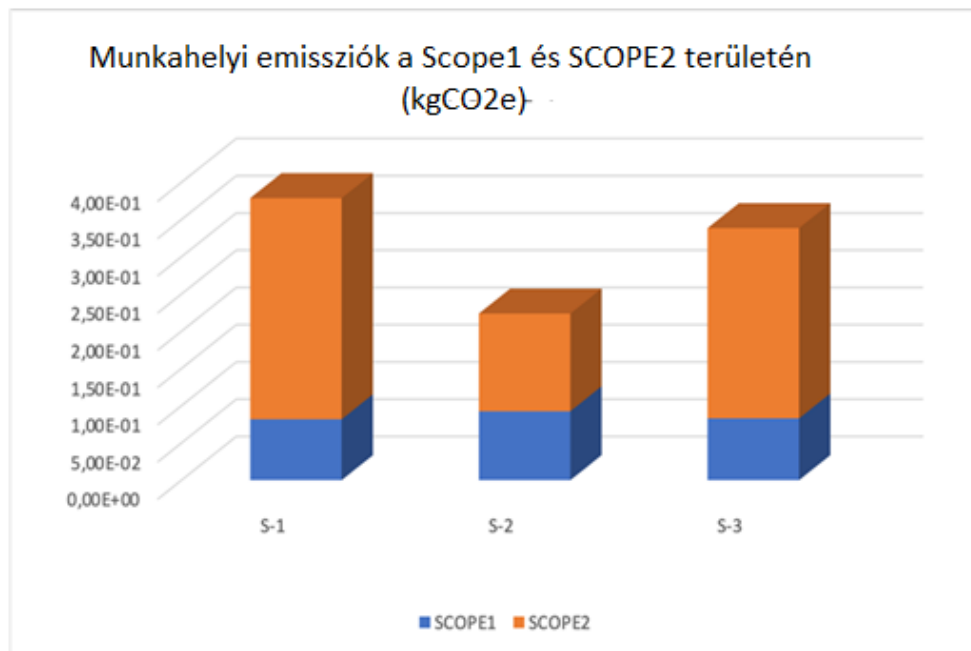


**4. ábra:** SCOPE 3 terület üvegházhatású gáz kibocsátásának alakulása (saját szerkesztés)

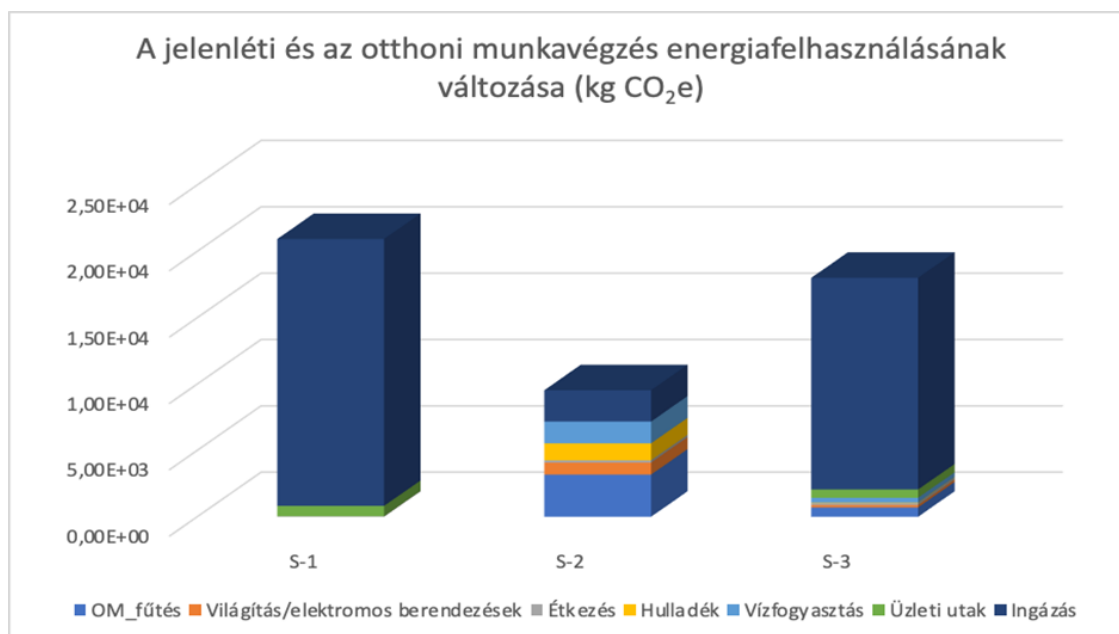
A karbonlábnyom számításnál kötelező SCOPE 1, SCOPE 2 területek együttes vizsgálata (jelenléti+otthoni munkavégzés) azt mutatja, hogy az otthoni munkavégzés felé való elmozdulás előnyös a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentése szempontjából.

Az a feltételezésünk, hogy az otthoni munkavégzés energiafelhasználása semlegesíti az ingázásból származó

üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenését, mint egy visszapattanó vagy bumeránghatást előidézve, teljesen megdőlt. A digitális átállás az üzleti utak és ingázás karbonlábnyomát együttesen vizsgálva látható, hogy az S-2 scenárióban felére, az S-3 scenárióban pedig 10 %-kal csökkent az összesített üvegházhatás.



**5. ábra:** A munkahelyi emissziók a SCOPE 1, SCOPE 2 területén (saját szerkesztés)



**6. ábra:** Az ingázás és az otthoni munkavégzés energiafelhasználásának változása a három szcenárióban (saját szerkesztés)

A szervezeti karbonlábnyom környezeti értékeinek kimutatásánál kötelező a SCOPE1, SCOPE 2 értékeinek meghatározása, mely tartalmazza fűtéshez használt földgáz fogyasztást, a légkondicionáló berendezések emisszióit, a cég tulajdonában lévő járművek adatait,

valamint a villamosenergia fogyasztást. Alap S-1 esetben a SCOPE 2-höz - villamosenergia fogyasztáshoz- kötődő hatások a dominánsok. Az S-2 szcenárióban ez az érték csökken több, mint 40%-kal, még úgy is, hogy a munkavállalók otthon több energiát fogyasztanak, mint az

alapesetben. Amennyiben hibrid megoldás (S-3) megvalósulhatna, úgy az eredeti alapesethez (S-1) viszonyítva, 10%-kal csökkennének a hatások.

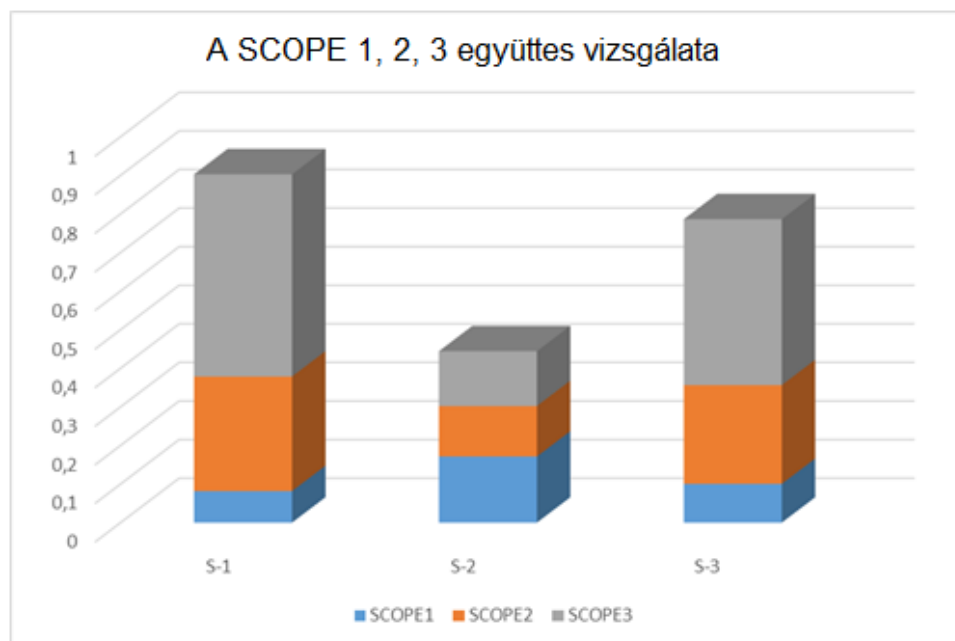
Szétbontva az egyes SCOPE megoszlásokat látszik, hogy

- a SCOPE 1 értékeit nagymértékben nem befolyásolja, hogy hol dolgoznak a munkatársak, sőt az otthoni munkavégzés hatásai még nagyobbak is valamivel, mint a teljes munkavégzésé,
- a SCOPE 2 energiahasználat hatásainak megoszlásánál már jelentős különbségek vannak, egyértelműen az otthoni munkavégzés ad környezeti szempontból jó megoldást,

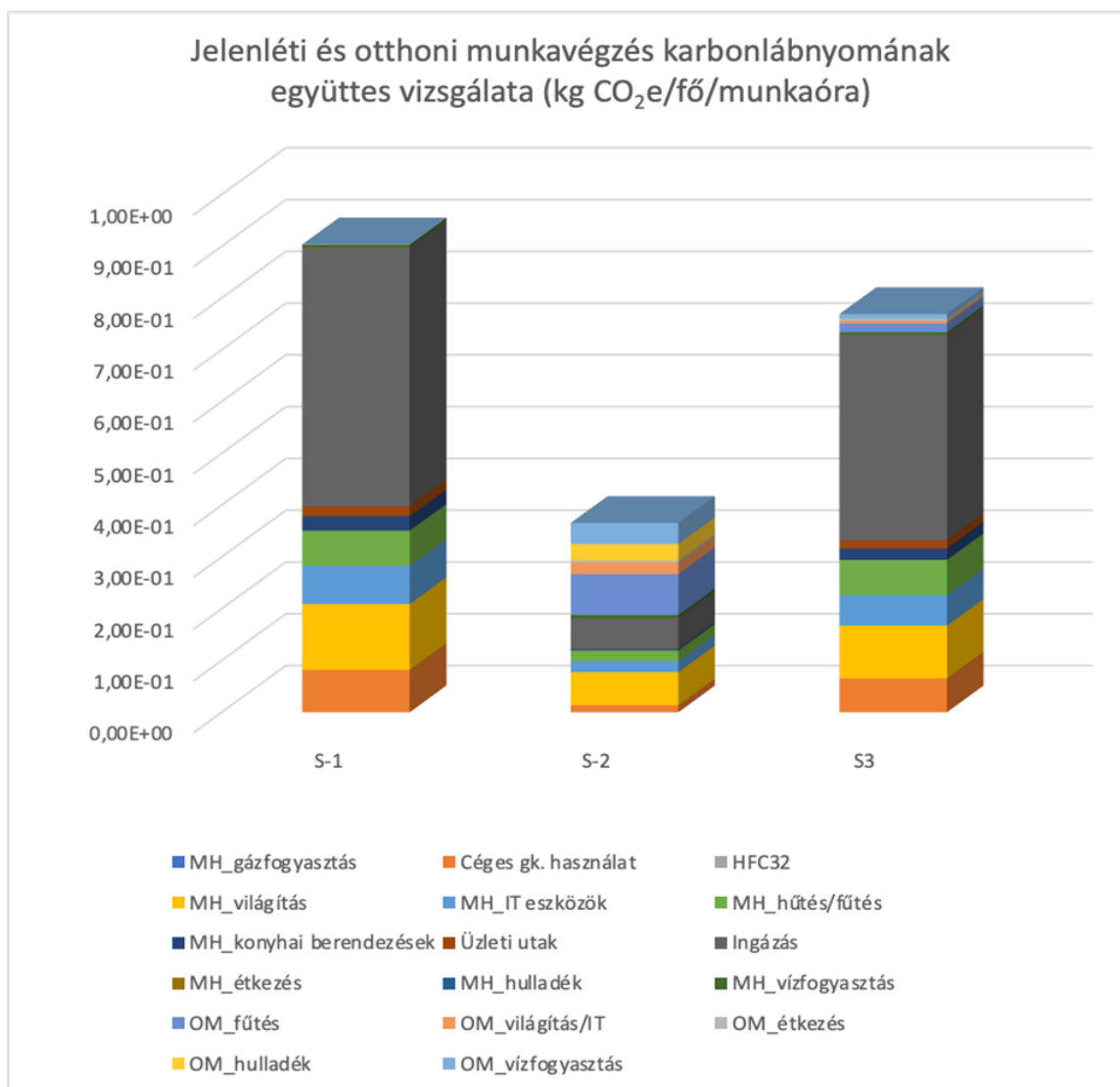
- ebben a vizsgálatban legjelentősebb szerepe a SCOPE 3-nak van, még hozzá azoknál a szcenárióknál, ahol domináns a munkába járás szerepe.

A három vizsgált szcenárió közül egyértelműen az elsőnek van a legmagasabb hatása, nem sokkal a harmadik elképzelés előtt. Mindkettő esetén az ingázásnak a hatásai növelik az eredményeket, de ugyanúgy hatásnövelő a céges kocsik használat is, mely a S-2 esetben minimális volt.

A 4. táblázat a vizsgált irodaépület működésére vonatkozó egy hónapi összes, és az egy főre vetített karbonlábnyom értékeket mutatja 1 óra munkavégzésre vetítve.



**7. ábra:** A három SCOPE 1,2,3 terület széndioxid egyenértékének alakulása jelenléti és otthoni munkavégzés együttes vizsgálatánál (saját szerkesztés)



**8. ábra:** Jelenléti és otthoni munkavégzés karbonlábnyomának együttes vizsgálata (kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő/munkaóra, ahol a MH: munkahely, OM: otthoni munkavégzés (saját szerkesztés)

**4. táblázat:** A vizsgált iroda elemzése alapján kapott egy hónapi összes, és az egy főre vetített karbonlábnyom értékek 1 óra munkavégzésre vetítve

1 fő/1óra			kgCO <sub>2</sub> e/szenáriók		
			S-1	S-2	S3
Jelenléti munkavégzés	SCOPE 1	<b>Gázfogyasztás</b>	1.32E-04	1.93E-04	1.06E-04
		<b>Céges kocs használat</b>	8.16E-02	1.35E-02	6.53E-02
		<b>HFC32</b>	1.46E-07	1.46E-07	1.46E-07
	SCOPE 2	<b>Világítás</b>	1.27E-01	6.37E-02	1.02E-01
		<b>IT eszközök</b>	7.39E-02	2.16E-02	5.91E-02
		<b>Fűtés/hűtés</b>	6.77E-02	2.05E-02	6.77E-02
		<b>Konyhai berendezések</b>	2.79E-02	2.79E-03	2.24E-02
	SCOPE 3	<b>Üzleti utak</b>	1.93E-02	0.00E+00	1.55E-02



		<b>Ingázás</b>	4.99E-01	5.86E-02	3.96E-01
		<b>Étkezés</b>	9.45E-04	4.73E-04	9.45E-04
		<b>hulladék</b>	3.99E-05	4.56E-05	3.65E-05
		<b>vízfogyasztás</b>	4.93E-03	6.47E-03	5.18E-03
Otthoni munkavégzés	SCOPE 1	<b>HO S2 fűtés MJ</b>	0.00E+00	7.88E-02	1.75E-02
	SCOPE 2	<b>világítás/elektromos kWh</b>	0.00E+00	2.25E-02	4.44E-03
	SCOPE 3	<b>étkezés</b>	9.45E-04	4.30E-03	3.78E-03
		<b>hulladék</b>	0.00E+00	3.17E-02	7.04E-04
		<b>vízfogyasztás</b>	0.00E+00	4.07E-02	9.04E-03
Összesen		<b>Mindösszesen</b>	<b>9,03E-01</b>	<b>3,66E-01</b>	<b>7,70E-01</b>

## Következtetések

Bár a távmunka valóban pozitív hatással lehet a környezetre, a valóságban ez számos más tényezőtől és ezek kihasználásának mértékétől függ. Mivel a legtöbb ágazatban és foglalkozásban a távoli otthoni irodák és az irodai jelenlét kombinációja tűnik a legelterjedtebb modellnek, a zöld átmenetre gyakorolt hatások valószínűleg az ingázás redukálására, valamint az irodaházak fenntartásával kapcsolatos energia- és infrastrukturális kibocsátások kisebb mértékű csökkenésére korlátozódnak. Ennek ellenére egyre több szakirodalmi adat bizonyítja, hogy a távmunka pozitív éghajlati és környezeti hatásának fő forrása a munkahely-otthon közötti ingázás csökkenése a kevesebb kibocsátás miatt. Néhány tanulmány azt is kimutatta, hogy a tényleges előnyök a közlekedési módok kombinációjától, a munkaidő-beosztástól (a távmunkanapok száma, teljes vagy részmunkaidő) és a településszerkezettől függenek. Emellett arra is rávilágítanak, hogy ha a távmunka ugyanazon életmód és munkaszervezési keretek között, ugyanazon településszerkezetek és közlekedési infrastruktúra használatával zajlik, mint amit a teljes munkaidős irodai munkára terveztek, akkor nem jelenthet változást a fenntarthatóságban, sőt az ebből adódó karbonlábnyom - vagy tágabb értelemben vett ökológiai - lábnyom akár rosszabb is lehet. Kutatásunk is alátámasztotta, hogy a távmunka energiafelhasználásra gyakorolt

hatása ellentmondásos. Míg az otthoni energiafelhasználás egyértelműen növekszik, az irodai energiafelhasználás csökkenése nem feltétlenül következik be a hibrid megoldások esetében.

Kirajzolódtak a kutatásban a vizsgált iroda dekarbonizációjára vonatkozó lehetőségek. Ezek között szerepel az energetikai felülvizsgálat és fejlesztés, az irodai berendezések energiahatékonyságának javítása, a megújuló energia felhasználása, valamint a környezetbarát világítás, hűtés és légkondicionálás. Továbbá az ingázás zöldítésére vonatkozó javaslat.

A távmunka zöld átmenetre gyakorolt pozitív hatásainak előmozdítására vonatkozó szakpolitikai intézkedések kidolgozásához figyelembe kell venni az olyan kérdések különböző aspektusait, mint az otthon-munkahely közötti ingázás, a mobilitás, az általános energiafelhasználás és a foglalkozási profilok, valamint meg kell érteni azokat a lehetséges kompromisszumokat, amelyek akadályozhatják vagy semmissé tehetik a kívánt hatásokat.

A munkahelyi dekarbonizáció és a mobilitási klímacélok elérése megköveteli a munkáltatók és a munkavállalók bevonását, valamint különböző intézkedések kombinációját. Nem elég, ha a munkáltatók tesznek új kezdeményezéseket vagy új

munkavállalói juttatásokat vezetnek be: a vállalatoknak változtatniuk kell a munkavállalói magatartáson és

biztosítaniuk kell munkatársaik aktív bevonását.

## Irodalom

ADEME (2020) Étude sur la caractérisation des effets rebonds induits par le télétravail. <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/3776-caracterisation-des-effets-rebond-induits-par-le-teletravail.html>

Aguilera A. and Pigalle E. (2021) The future and sustainability of carpooling practices. An identification of research challenges, Sustainability, 13 (21), 11824. <https://doi.org/10.3390/su132111824>

Bachelet M., Kalkuhl M. and Koch N. (2021) What if working from home will stick? Distributional and climate impacts for Germany, IZA Discussion Paper 14642, Institute of Labor Economics. <http://ftp.iza.org/dp14642.pdf>

Beck M.J., Hensher D.A. and Wei E. (2020) Slowly coming out of COVID-19 restrictions in Australia: Implications for working from home and commuting trips by car and public transport, Journal of Transport Geography, 88, 102846.

Carbon Trust (2021) Homeworking report: An assessment of the impact of teleworking on carbon savings and the longer-term effects on infrastructure services. <https://www.vodafone-institut.de/studies/homeworking-report/>

Cerqueira E.V.C., Motte-Baumvol B., Chevallier L.B. and Bonin O. (2020) Does working from home reduce CO<sub>2</sub> emissions? An analysis of travel patterns as dictated by workplaces, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 83, 102338. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102338>

Dingel J.I. and Neiman B. (2020) How many jobs can be done at home?, Journal of Public Economics, 189, 104235.

EcoAct (2020) Homeworking emissions whitepaper. <https://info.eco-act.com/en/homeworking-emissions-whitepaper-2020>

Efoui-Hess M. (2019) Climate crisis: The unsustainable use of online video: The practical case for digital sobriety, The Shift Project. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/2019-02.pdf>

Eurofound (2022) Is telework really 'greener'? An overview and assessment of its climate impacts, WPEF 22031. <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2022/the-rise-in-telework-impact-on-working-conditions-and-regulations#wp-106999>

European Commission. Developments and forecasts on continuing urbanisation. 2019

IEA (2020) Working from home can save energy and reduce emissions. But how much?, Commentary, 12 June 2020, International Energy Agency. <https://www.iea.org/commentaries/working-from-home-can-save-energy-and-reduce-emissions-but-how-much>

Krasilnikova N. and Levin-Keitel M. (2022) Telework as a game-changer for sustainability? Transitions in work, workplace and socio-spatial arrangements, Sustainability, 14 (11), 6765. <https://doi.org/10.3390/su14116765>

Kylili A., Afxentiou N., Georgiou L., Panteli C., Morsink-Georgalli P.-Z., Panayidou A., Papouis C. and Fokaidis P.A. (2020) The role of remote working in smart cities: Lessons learnt from COVID-19 pandemic, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1831108>

Lachapelle U., Tanguay G.A. and Neumark-Gaudet L. (2018) Telecommuting and sustainable travel: reduction of overall travel time, increases in non-motorised travel and congestion relief?, Urban Studies, 55 (10), 2226-2244.

Mehtap Akgüç, Béla Galgóczi and Pamela Meil (2023) Remote work and the green transition in The future of remote work by Nicola Countouris, Valerio De Stefano, Agnieszka Piasna and Silvia Rainone (Eds.) ETUI aisbl, Brussels ISBN: 978-2-87452-672-5 (electronic version)

Obringer R., Rachunok B., Maia-Silva D., Arbabzadeh M., Nateghi R. and Madani K. (2021) The overlooked environmental footprint of increasing Internet use, Resources, Conservation and Recycling, 167, 105389.

UNEP City-Level Decoupling: Urban resource flows and the governance of infrastructure transitions. United Nations Environmental Programme (UNEP) 2013

WBCSD How the built environment must respond to the IPCC's 2021 climate change report. <https://www.wbcd.org/Overview/News-Insights/Member-spotlight/How-the-built-environment-must-respond-to-the-IPCC-s-2021-climate-change-report>

## Szerzőink



**Dr. Tóthné Dr. Szita Klára** a Miskolci Egyetem nyugdíjas egyetemi tanára, az ÉMI Nonprofit Kft. senior kutatója. Vegyész, környezetmérnök, közgazdaságtudomány kandidátusa, és habilitált doktor gazdaság- és szervezés tudományokból. Kutatási területei a fenntarthatóság, az életciklus-értékelés, a körforgásos gazdaság és a jövőkutatás.



**Dr. Terjék Anita, PhD** okleveles építőmérnök, az építőmérnöki tudományok doktora. 2006-tól az ÉMI Nonprofit Kft. munkatársa, több mint 10 éves szakmai tapasztalattal rendelkezik építőanyagok laboratóriumi vizsgálata terén, emellett minőségügyi megbízott és belső auditor. Jelenleg hazai és nemzetközi kutatás-fejlesztési és innovációs projektek szakmai támogatásában vesz részt. Kutatási területe: építési termékek, anyagtani és szerkezeti tulajdonságok, csúszásgátlás; innovatív anyagok és megoldások, valamint fenntarthatóság és életciklus szemlélet az építőiparban; környezeti szempontú termékfejlesztés, termékgyártás környezettudatos kialakítása. Az MSZT Magyar Szabványügyi Testület több műszaki bizottságainak tagja és elnöki feladatokat is ellát.



**Virókné Szilágyi Krisztina** építőmérnök (BSc), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán szerezte diplomáját építményinformációs modellezés és menedzsment specializáción, 2023-tól az ÉMI Nonprofit Kft. BIM menedzsere, a Magyar Szabványügyi Testület Építményinformációs modellezés (BIM) Műszaki Bizottságának tanácskozási jogú szakértője.

# Helyszíni és online konferenciák dekarbonizációjának vizsgálata

Dr. MANNHEIM Viktória<sup>1</sup> és LOVASNÉ DR. AVATÓ Judit<sup>2</sup>

[1] óraadó oktató, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem, alelnök, LCA Center Egyesület, mannheim.viktoria@eng.unideb.hu

[2] egyetemi docens, Kvantitatív Módszertan Intézet, Üzleti Elemzés Módszertan Tanszék, Budapesti Gazdasági Egyetem, LovasneAvato.Judit@uni-bge.hu

## Abstract

This case study provides a detailed description of the life cycle assessment of two different types of conferences - an on-site and an online conference. The study focuses on determining the conference's environmental impact by analysing factors such as food and beverage consumption during program breaks, conference organization, and the decarbonization of energy use. The meals served during the conference were also examined in detail, from preparation to consumption and disposal. The main objective of the research was to conduct a comprehensive life cycle assessment of a two-day (15-hour), 200-participant on-site conference (with and without travel) and an online conference, and compare their carbon footprint values for different functional units.

**Keywords:** sustainability, carbon footprint, conference, life cycle assessment

## Kivonat

Ez az esettanulmány egy helyszíni és egy online konferencia életciklus-értékelését, illetve az elemzések során kapott eredményeket ismerteti részletesen. Az alkalmazott életciklus-értékelések elsősorban a konferencia fogyasztások (ebédek, vacsora, a programszünetekben történő étel-ital fogyasztás), a konferenciaszervezés (szervezésre vonatkozó megbeszélések, levelezések, Abstract füzet, regisztrációs csomag) és az energiafelhasználás dekarbonizációjának számszerű meghatározására fókuszálnak. Az étkezéseket az előkészítési, a főzési, a fogyasztási és az életciklus-vége életciklus szakaszok összekapcsolása által vizsgáltuk meg. Kutatásunk fő célja egy kétnapos (15 órás), 200 résztvevős jelenléti (utazással és anélkül) és online konferencia teljes életciklus-értékelésének elkészítése volt különböző funkcionális egységekre vonatkoztatva, a karbonlábnyom értékeinek összehasonlítása által.

**Kulcsszavak:** fenntarthatóság, karbonlábnyom, konferencia, életciklus-értékelés

## 1 Bevezetés

Az Európai Unió a fenntartható fejlesztési célok és a körforgásos gazdaság keretein belül igyekszik a karbonsemlegességet elérni a jövőben. Ezáltal ma már a termékek és technológiák mellett, a különböző szolgáltatások környezeti hatásainak életciklus-értékelésen alapuló ismerete is elengedhetlenné vált a fenntartható szolgáltatásra és a dekarbonizációra irányuló célok megvalósítása szempontjából. Ugyanakkor az egészségesebb étkezést előtérbe helyező trendek hatására megváltoztak a fogyasztói igények is, ami által a fenntartható fogyasztás is fontosabb szerepet kap napjainkban, már a különböző, szakmai rendezvények keretében is. A fenntartható termelés és fenntartható fogyasztás a körforgásos és klímasemleges gazdaságra való átállás egyik legígéretesebb útja. A konferencia rendezvényeken felszolgálásra kerülő ételek egyes életciklus szakaszaiban vizsgált környezeti terhelései és azok optimalizálása által, az egyes termékek elkészítése során ideális ökológiai hatást érhetünk el az élelmiszerpazarlás elkerülése mellett. A különféle ételek előkészítési és főzési technológiái jelenleg a vendéglátóipar legnagyobb kihívásait és jövőbeli fejlesztési területeit jelentik. Korábbi kutatási tanulmányainkban [1, 2] már állítottunk fel éttermi fogásokra vonatkozó életciklus modelleket. Kezdeti kutatásainkban az életciklus végi forgatókönyvekre fókuszáltunk, továbbá a „sous vide” és a hagyományos főzési technológiák terheléseit hasonlítottuk össze [1]. Egy további kutatás keretében, vegán, vegetáriánus és hagyományos étkezési szokások környezeti terheléseit is megvizsgáltuk és összehasonlítottuk [2]. Eddigi kutatásaink eredményei alapján elmondható az, hogy az egyes ételek előkészítési fázisának karbonlábnyomai mindig magasabb értéket eredményeztek,

mint a főzési szakaszok karbonlábnyoma. Ennek oka elsősorban az volt, hogy magához az alapanyag-előállításához kapcsolódó környezeti terheléseket is alapvetően figyelembe vettük az elemzések során. Egy rendezvényre vonatkozó életciklus-értékelés eredményei a széndioxid-kibocsátás és az egyéb üvegházhatású gázok csökkentését, illetve az energiaforrások tudatos megválasztását és optimalizálását teszik lehetővé. Amikor az online konferenciák dekarbonizációs értékelésére szolgáló modellekről van szó, azok általában olyan számítási eszközöket és szimulációs modelleket jelentenek, amelyek lehetővé teszik az online konferenciák szénlábnyomának és klímahatásainak becslését, valamint a dekarbonizációs intézkedések hatásainak értékelését. Ezek a modellek lehetnek matematikai modellek, számítógépes szimulációk vagy más analitikus eszközök.

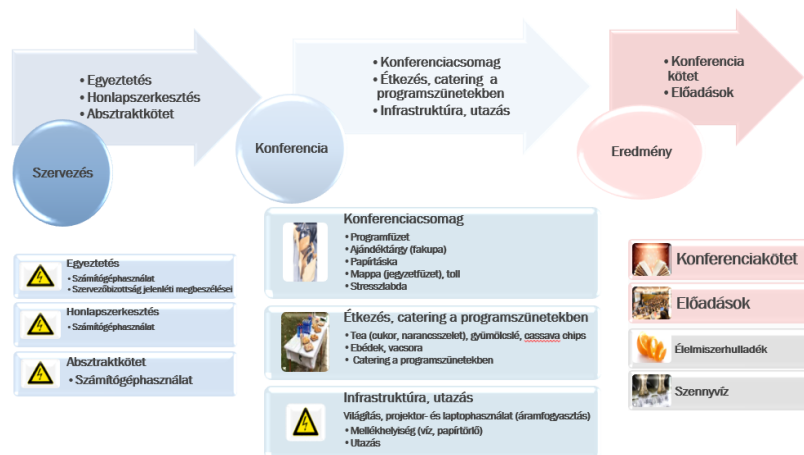
Példaképpen a fenntarthatósági értékeléshez használható modell irányulhat kizárólag a karbonlábnyom számítására, ami figyelembe veszi az online konferenciák teljes életciklusának környezeti hatásait, ideértve az esemény előkészítést, a szervezést, az energia- és vízfelhasználást, az utazási költségeket és az infrastruktúrát. Egy ilyen fenntarthatósági modell képes összehasonlítani a különböző szervezésű konferenciák (helyszíni, online vagy hibrid) kibocsátási szintjeit, azonosítani a legnagyobb kibocsátást okozó területeket, és javaslatokat tehet a dekarbonizációs intézkedések meghozatalára vonatkozóan. Jäckle szerint [3], a helyszíni (offline) és online konferenciák szénlábnyomának összehasonlítása a konferenciák energiafogyasztásán alapul. Azonban a különböző típusú konferenciák dekarbonizációs értékelése az

energiafelhasználáson túlmenően egy összetett feladat, amely számos változóval és kontextussal jár.

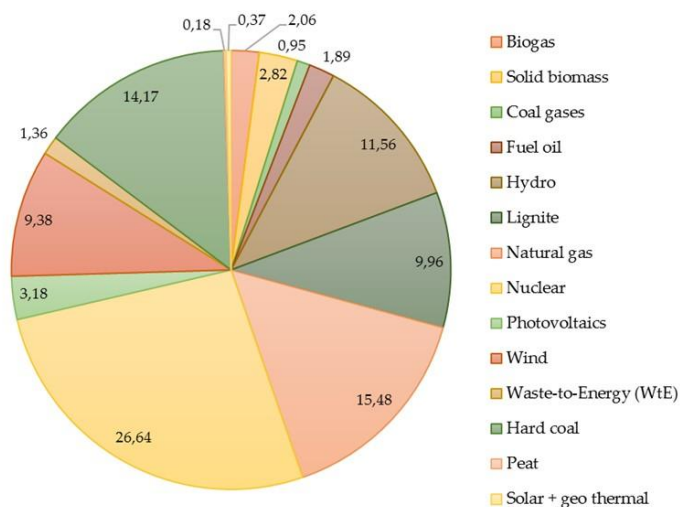
## 2 Anyagok és módszerek

Kutatásunk során, első lépésben, egy helyszíni és egy online kétnapos konferenciárészvétel étkezéseinek, továbbá a két konferenciánap programszünetei (összesen négy alkalom) catering szolgáltatásainak életciklus-értékelését végeztük el bölcsőtől a sírig. Ezt követően, meghatároztuk a konferenciaszervezés és a konferencia megrendezés során fellépő karbonlábnyomokat is. A helyszíni

konferencia környezeti hatásának vizsgálatát megalapozó modellt az 1. ábra mutatja be. Az utazást illetően, a közlekedés módját, az üzemanyag szükségletet és az utazási távolságot vettük figyelembe (oda-vissza). Az online konferencia modellje természetesen nem tartalmazta a konferenciacsomagot és az utazást. A 2. ábra az elemzések során alkalmazott energiamixet szemlélteti.



5. ábra: A helyszíni konferencia környezeti hatásának vizsgálatát megalapozó modell.



2. ábra: Alkalmazott energiamix (GaBi 9.0 szoftver adatbázisa alapján) [4].

## 2.1 Leltárelemzés

A koherens életciklus-leltár összhangban van az ISO 14040:2006 és 14044:2006 szabványokban [5, 6] leírt technikával, és tartalmazza a vizsgált folyamatok anyag- és energiaellátását. Leltárelemzésünk 2022. évi adatokra épül. Az étkezések vizsgálatát illetően, professzionális és élelmiszeripari adatkészleteket társítottunk az előkészítési és főzési adatokhoz annak érdekében, hogy pontosabb életciklus-leltárt állítsunk fel a vizsgált termékek számára. Az általunk alkalmazott GaBi 9.0 szoftver professzionális és „Foods” kiegészítő adatbázisában rendelkezésre álló adatok a legtöbb esetben nem veszik figyelembe a következő paramétereket: berendezések, különféle segédanyagok és adalékok előállítása, valamint a fűtésre és hűtésre felhasznált energia mennyisége, így a berendezések esetén kizárólag azok energiafogyasztását vettük csak figyelembe. A szoftveren belüli LCA folyamatok létrehozásához az input adatok megadásakor csak azokat a paramétereket tudtuk figyelembe venni, amelyek eleve is szerepeltek az adatbázisban. Minden más paramétert cut-off áramoknak tekintettünk.

A helyszíni konferencia leltárelemzéséhez szükséges, ebéd és vacsora fogásokra vonatkozó nagyüzemi konyhai adatokat a berkenyei Szent Anna Étterem bocsátotta a rendelkezésünkre azáltal, hogy foglalkoznak konferencia és esküvő szervezéssel is. Az első konferencianapon a 3 fogásos ebéd kapcsán Cheddar sajtkrémlevesre, rizzsel körített bécsi

## 2.2 Hatásértékelés

A szoftveres elemzéseknél az *1. táblázatban* feltüntetett hatásértékelési

szeletre és tejszínes narancskrémre, a vacsorát illetően pedig sajtszósós gnocchira és paradicsom salátára esett a választásunk. A második konferencianapon ebédre zöldborsókrémleves, párolt tőkehalat thai rizzsel és tápiókapudingot választottunk. Vacsora már a konferencia második napján nem került felszolgálásra, tekintettel arra, hogy ezen a napon a konferenciaprogram 16 órakor zárult. Minden főfogásra megkaptuk a pontos anyag- és energiaáram értékeket az előkészítési és főzési fázisokra vonatkozóan, melyek elsősorban a következő paramétereket tartalmazták: főzési alapanyagok előállítása/termesztése, áramellátás az előkészítéshez és a főzéshez, felhasznált gázmennyiség a főzéshez és a vízmelegítéshez; elektromos áramhasználat a hűtött hús, a tőkehal, a sajt és a tejszín tárolására, ivóvíz mennyisége az alapanyagok megtisztításához, a főzéshez, illetve a használt edények, tányérok és evőeszközök mosogatásához. A levesek, a desszertek és a paradicsom saláta anyagáramait mi magunk mértük le konyhai mérleg segítségével otthonainkban azáltal, hogy az egyes fogásokat személyesen elkészítettük szeptember hónapban.

Az online konferencia leltárelemzéséhez szükséges anyagáramok azonosak voltak a helyszíni konferencia anyagáramaival a következetesség és az összehasonlíthatóság kedvéért, azonban az itt felhasznált víz- és energiaáramokat saját otthonainkban mértük le.

módszereket alkalmaztuk a karbonlábnyom meghatározására.

**6. táblázat:** Alkalmazott hatásértékelési módszerek a szoftveres LCA elemzés során.

Hatásértékelési módszer megnevezése	Hatáskategória megnevezése [kg CO <sub>2</sub> -egyenérték]
CML 2001/2016 aug.	Global Warming Potential (GWP, 100 years) with biogenic carbon, excluding biogenic carbon
IPCC AR6	GWP 100 years, excl. biogenic carbon
ISO 14067	GWP 100, inc. biogenic GHG emissions

### 2.3 Rendszerhatár, allokáció és funkcionális egység

Az életciklus-értékelés rendszerhatárát és az allokációt illetően elmondható az, hogy a felszolgált ételeket és italokat bölcsőtől-sírig terjedő rendszerhatáron belül vizsgáltuk és az életciklus szakaszokat a felszolgált adagok tömegének függvényében határoztuk meg. Minden környezeti terhelést tömegallokációval allokáltunk a vizsgált termékekre és a keletkezett hulladéokra. A felhasznált anyag- és energiaáramok a vizsgált termékkibocsátáshoz kapcsolódnak. Az energiaszükségletet az energiatartalom függvényében határoztuk meg. A berendezések és gépek a rendszerhatáron kívül esnek. Az előkészítési szakaszban az alapanyagok energiaszintű tárolását vettük figyelembe, ami tartalmazza a hús, a hal, a tejszín és a sajt hűtőszekrényben történő hűtéséhez felhasznált energiaértékeit. Ezeket az energiaértékeket az előkészítési szakaszba építettük be. A szállítást teljes mértékben kizártuk elemzéseink során, mivel az egyes alapanyagok nem azonos helyről származnak, és ebben az esetben nem lettünk volna teljesen következetesek a felszolgált ételek környezetterheléseinek összehasonlításában. Az életciklus-elemzés az alapanyagok mosási folyamatából, valamint az előkészítési és főzési fázisban az edények mosogatásából származó szennyvízáramokat és a szükséges bemeneti vízáramokat is tartalmazza.

Ami a keletkezett élelmiszer hulladék mennyiségeket illeti, a helyszíni

konferencia ebéd fogyasztásához kapcsolódóan, 15% élelmiszer maradék keletkezését feltételeztük a fogyasztási szakaszban a levesnél, 26% maradékot a főfogásnál, 5% élelmiszer hulladékot pedig a desszertnél. Az online konferencia ebéd fogyasztásához kapcsolódóan, 5% élelmiszer maradék keletkezését feltételeztük a levesnél, 22% maradékot a húsos főfogásnál, 5% élelmiszer hulladékot pedig a desszertnél. A helyszíni és online konferencia vacsora fogyasztásánál egyaránt 15% élelmiszer maradék keletkezését feltételeztük a főfogásnál és 5% keletkezett hulladékot a salátánál. A maradékanyagokra vonatkozó értékeket egyrészt a Szent Anna Étterem bocsátotta rendelkezésünkre, másrészt irodalmi adatokat átlagoltunk.

Az életciklus végén, az előállítási, a főzési és a fogyasztási fázisokból származó élelmiszer hulladékot települési szilárdhulladék égetőműben ártalmatlanítottuk a szoftveres elemzéseink során.

Az életciklus elemzések során alkalmazott funkcionális egységek az alábbiak voltak:

- CO<sub>2</sub> egyenérték/fő/1óra,
- CO<sub>2</sub> egyenérték/fő/15óra és
- CO<sub>2</sub> egyenérték/200fő/teljes konferencia.



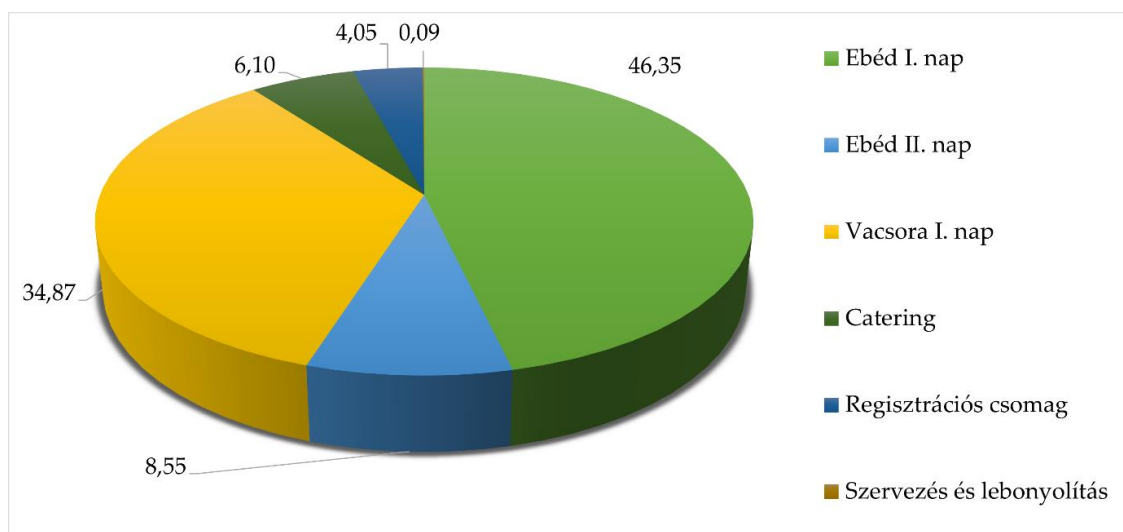
### 3 Eredmények

A kutatási eredményeket összefoglaló 2. táblázat adataiból egyértelműen kitűnik az, hogy a konferencia utazásokból fakadó szénlábnyom rendkívül domináns, ami 11,912 kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő 1 órára

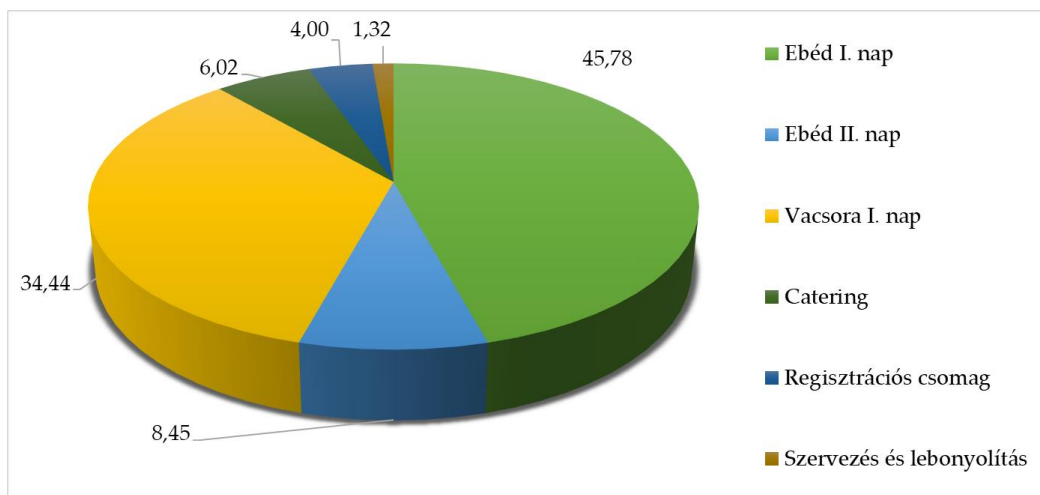
vonatkozóan és 178,68 kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő a teljes konferenciára, azaz 15 órára vonatkozóan. A százalékos megoszlásokat a jelenléti (utazás nélkül) és online konferenciákra a 3-6. ábrák mutatják be CML 2016 hatásértékelési módszer alkalmazásával.

**2. táblázat:** A konferencia jelenléti és online formáinak karbonlábnyom értékei 1 fő/1 órára vonatkozóan (jelenléti konferencia esetén utazással együtt).

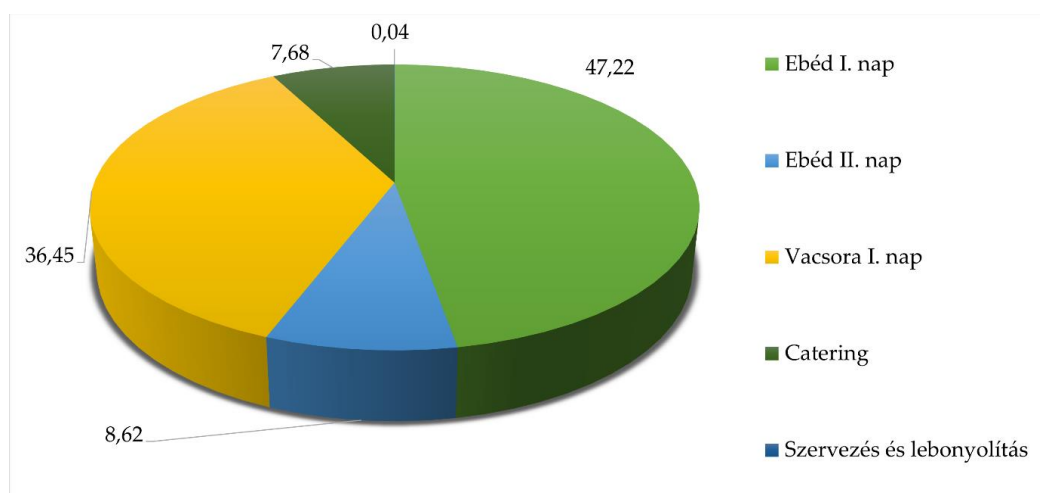
Megnevezés	Jelenléti konferencia, 1 fő/1 óra			Online konferencia, 1 fő/1 óra		
	CML 2016	IPCC AR6 GWP 100	ISO 14067 GWP 100	CML 2016	IPCC AR6 GWP 100	ISO 14067 GWP 100
Ebéd I. nap	4,068	4,213	2,612	4,041	4,187	2,55
Ebéd II. nap	0,7504	0,7711	0,5893	0,7374	0,7551	0,4815
Vacsora I. nap	3,06	3,17	1,85	3,12	3,23	1,86
Catering	0,535	0,551	0,286	0,657	0,673	0,324
Regisztrációs csomag	0,355	0,357	0,24	0	0	0
Szervezés és lebonyolítás	0,0077	0,00774	0,0042	0,00321	0,00323	0,00208
Összesen	8,7761	9,06984	5,5815	8,55861	8,84833	5,21758
Utazás összesen	11,912			-	-	-



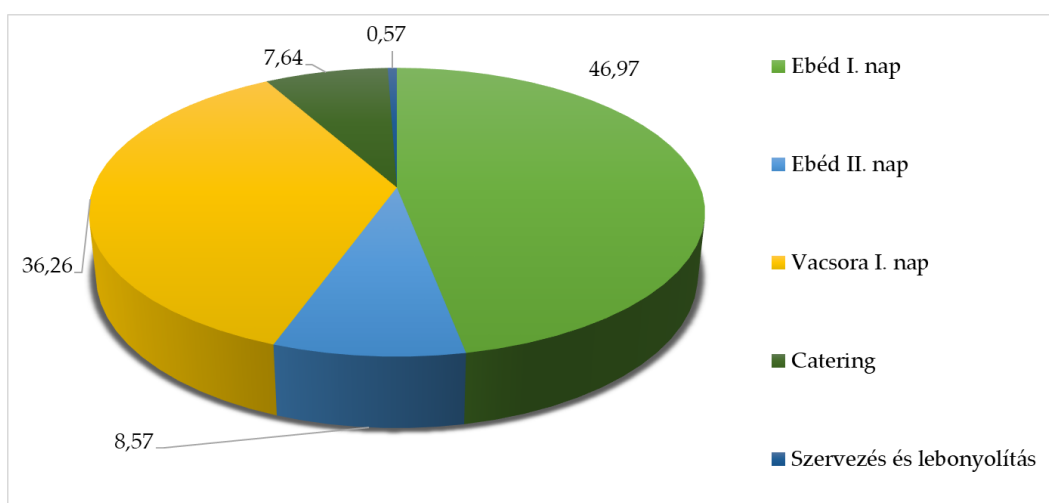
**3. ábra:** A jelenléti konferencia karbonlábnyomának megoszlása százalékban 1 fő/1 órára vetítve utazás nélkül, CML 2016 hatásértékelési módszerrel.



**4. ábra:** A jelenléti konferencia karbonlábnyomának megoszlása százalékban 1 fő/15 órára vetítve utazás nélkül, CML 2016 hatásértékelési módszerrel.



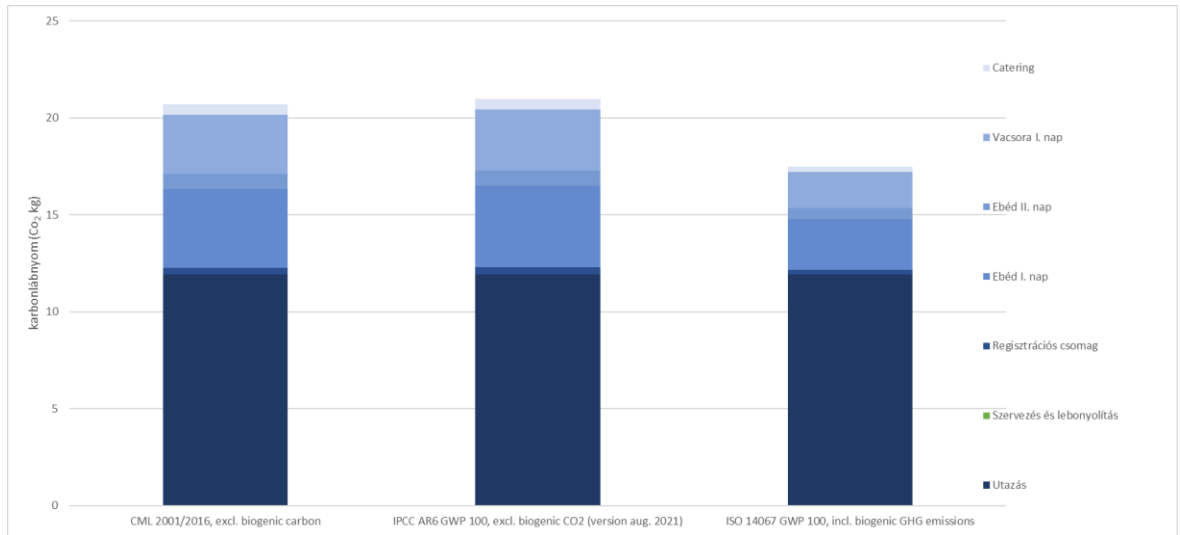
**5. ábra:** Az online konferencia karbonlábnyomának megoszlása százalékban 1 fő/1 órára vetítve utazás nélkül, CML 2016 hatásértékelési módszerrel.



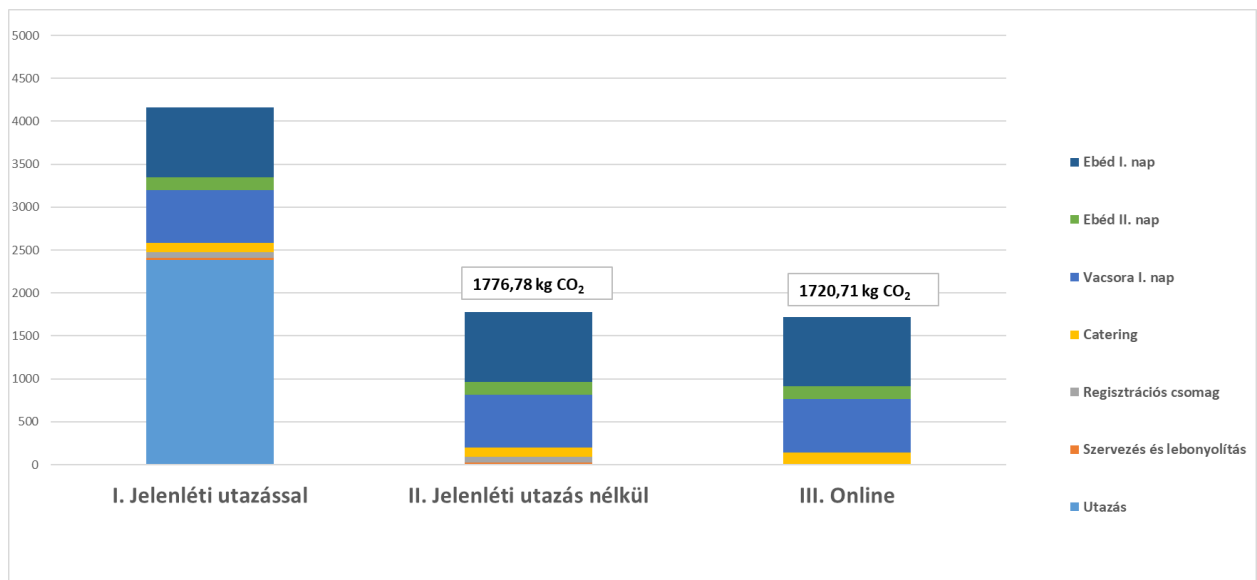
**6. ábra:** Az online konferencia karbonlábnyomának megoszlása százalékban 1 fő/15 órára vetítve utazás nélkül, CML 2016 hatásértékelési módszerrel.

Az egyes hatásértékelési módszerek alapján készítettük el az utazást is tartalmazó összefoglaló oszlopdiagramokat a jelenléti konferenciára 1 fő/1 óra funkcionális egységre vetítve, ahol alapvetően nagyobb környezeti terhelések léptek fel az utazás következtében (ld. 7. ábra). A 8. ábra pedig

a három lehetséges dekarbonizációs forgatókönyvet mutatja be 200 fő/1 óra funkcionális egységre vonatkozóan mindkét típusú konferenciára, ahol a jelenléti konferenciát utazással együtt és utazás nélkül is megvizsgáltuk



7. ábra: Jelenléti konferencia karbonlábnyomainak összehasonlítása három hatásértékelési módszerrel (1 fő/1 óra, utazással együtt).



8. ábra: Dekarbonizációs forgatókönyvek. 200 fő/1 óra, utazással együtt és utazás nélkül.

## 4 Összefoglalás és konklúzió

Összefoglalásként és konklúzióként az alábbi megállapításokat tehetjük:

- A különböző, karbonlábnyomra vonatkozó hatásértékelési módszerek között nincs kiugró különbség.
- A konferencia utazásokból fakadó szénlábnyom domináns, ami 11.912 kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő 1 órára vonatkozóan (57% a teljes konferencia hatásából), amit elsősorban az okozhat, hogy a modellezett, Magyarországon megrendezésre kerülő nemzetközi konferenciára több résztvevő repülőgéppel érkezett külföldről (nem csak Európából). A külföldi résztvevők aránya 19% volt.
- Az étkezések hatása a második legnagyobb hatásértékkel bír (ebédek, vacsora, catering): 8.413 kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő/óra.

Meglepően magas karbonlábnyom értékeket kaptunk az ebédek első fogásaira, a krémlevesekre. A cheddar sajtkrémleves magasabb karbonlábnyomát nemcsak a tejszín, hanem a sajt előállítására vonatkozó környezeti terhelések is okozták. A krémlevesek karbonlábnyoma alapvetően azáltal csökkenthető, ha a tejszínt tejjel helyettesítjük.

- Az étkezéseket és az utazást is figyelmen kívül hagyva, jelenléti konferenciára mindösszesen 0.3627 kg CO<sub>2</sub> egyenérték/fő/óra a karbonlábnyom értéke, vagyis a konferencia előkészítés, a szervezés, a lebonyolítás és a regisztrációs csomag környezeti hatása együttesen [7].
- A karbonlábnyomok meghatározása során nem vettük figyelembe a jelenléti konferencia esetén felmerülő szállodai környezetterheléseket, ami természetesen változtat az eredményeken.

## Irodalom:

1. Avató, L. J. and Mannheim, V. 2022. Life Cycle Assessment of a Catering Product? Comparing Environmental Impacts for Different End-of-Life Scenarios. *Energies* 15, no. 15. 5423. 1067–1073.
2. Mannheim, V. and Avató, L. J. 2023. Life-Cycle Assessments of Meat-Free and Meat-Containing Diets by Integrating Sustainability and Lean: Meat-Free Dishes Are Sustainable, *Sustainability* 15, no. 15: 12014.
3. Jäckle, S. 2020. *Reducing the Carbon Footprint of Academic Conferences by Online Participation: The Case of the 2020 Virtual European Consortium for Political Research General Conference*. University of Freiburg.
4. *GaBi 9.0 (version: 10.6) professional and XXII. extension database*. Budapest Business University.
5. *ISO 14040:2006; Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*. ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
6. *ISO 14044:2006; Environmental Management Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines*. ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
7. Sándor, B. R., Gröller, Gy., István, Zs., Kis, N., Avató, L. J., Mannheim, V., Sasvári, P., Sára, B., Szalay, Zs., Kaczkó, Sz. O., Szilágyi, A. Terjék, A. Szita, T. K. and Szilágyi, V. K. 2024. A digitális dekarbonizáció vizsgálata 3 esettanulmányon keresztül = Analysis of Digital Decarbonization Through 3 Case Studies. *MAGYAR MINŐSÉG*, 33 (2). pp. 27-55. ISSN 1789-5510.

## Szerzőink



**Dr. Mannheim Viktória, PhD** gépészmérnöki, okl. előkészítéstechnika-mérnöki és mérnök-közgazdász okleveleit a Miskolci Egyetemen szerezte meg. Diplomatervét és PhD kutatásait a Berlieni Műszaki Egyetemen készítette. 2000-2008 között a ME Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének oktatója, 2008-2014 között az Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet egyetemi docense. 2018-2023 között a ME tudományos főmunkatársa. 2022 januárjától a „Zöld Ipar Magazin” rovatvezetője, az LCA Center Egyesület alelnöke és a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszékének óraadó oktatója. 2024 októberétől a ZF vállalat CVS fenntarthatósági csoportjának LCA szakértője. Szakterületei: LCA, hulladék előkészítés, eljárástechnika, örlés és környezetmenedzsment.



**Lovasné Dr. Avató Judit, PhD** 1999-től a Külkereskedelmi Főiskola, 2010-től a Budapesti Gazdasági Egyetem adjunktusa, 2022-től főiskolai docense, 2024-től pedig egyetemi docense. A Magyar Statisztikai Társaság, az MTA Statisztikai Bizottság, az IASE (International Association for Statistical Education), a Budapesti Kereskedelmi és Iparkamara és az LCA Center Egyesület tagja. 2024 februárjától a Fenntarthatóság Gazdasági és Társadalmi Hatásai Kiválósági Központ (CESIBUS) tagja. Fenntarthatósággal és LCA szemléletű karbonlábnyom számítással 2018 óta foglalkozik, elsősorban a vendéglátás területén. Ezenkívül, vizsgál demográfiai folyamatokat, statisztikaoktatás módszertani kérdéseit, és részt vett orvosi kutatásokban is.