

Major Zoltán¹, Horváth Róbert², Szennay Áron³, Szigeti Cecília⁴

KIÖNTÖTT SÍNCSATORNÁS PÁLYASZERKEZETEK ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMÁNAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE ECOLOGICAL FOOTPRINT OF EMBEDDED RAIL STRUCTURES

KIVONAT / HUN

A hazai városokban a közelmúltban nagyvolumenű villamos beruházások zajlottak le, illetve állnak tervezés alatt. A projektek többsége meglévő vonalszakaszok korszerűsítéséről szólt, de új nyomvonalak építésére is találunk példát. Az újabb fejlesztések esetén hazánkban is egyre nagyobb teret hódítanak a kiöntött síncsatornás felépítmények. Cikkünkben bemutatjuk az előregyártott vasbetonlemezben kialakított kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek ökológiai lábnyom számítását, és javaslatokat fogalmazzunk meg a pályaszerkezetek környezettudatosabb kialakítására. Ez a megközelítés segíthet a klímacélok elérésében, valamint a gyártók, tervezők és kivitelezők számára is kiindulási alapot szolgáltathat termékeik és szolgáltatásaik komplexebb vizsgálatához és azok környezettudatosabbá tételéhez.

Kulcsszavak: ökológiai lábnyom, közúti vasúti pályák, kivitelezési projektek, kiöntött síncsatornás pályaszerkezet, merevlemez palya

ABSTRACT / ENG

In the Hungarian cities, large-scale investments have recently taken place or are being planned on urban railway networks. Most of them concerned the modernization of existing lines, but we can also find examples of construction of new tracks. Recently, embedded rail structures are gaining more space in Hungary as well. In this paper, we present the ecological footprint calculation of the track structures with embedded rails in prefabricated reinforced concrete slabs, and we formulate suggestions for a more environmentally conscious design of track structures. This approach can help to achieve both climate goals and could support manufacturers, designers and construction firms to examine their products and services more complexly and make them more environmentally conscious.

Keywords: ecological footprint, tram tracks, construction projects, embedded rail structures, slabtrack

¹ okleveles infrastruktúra-építőmérnök, gazdálkodási és tűzvédelmi szakmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, e-mail: majorz@sze.hu

² okleveles infrastruktúra-építőmérnök, ügyvezető, H - Planer Mérnökiroda Kft., e-mail: hplanerkft@gmail.com

³ okleveles közgazdász, PhD, tudományos munkatárs, Budapesti Gazdasági Egyetem, Budapest LAB, e-mail: szennay.aron@uni-bge.hu

⁴ mérnök-tanár, PhD, habil., tudományos főmunkatárs, Budapesti Gazdasági Egyetem, CESIBUS, e-mail: szigeti.cecilia@uni-bge.hu

1. | BEVEZETÉS

A 21. század egyik legnagyobb kihívása a társadalom folyamatos fejlődésének fenntartása a környezet megóvása mellett, ezen belül is a kitűzött klímacélok teljesítése [1]. A globalizált, iparosodott világ megköveteli, hogy a városainkban, országainkban és országaink között fenntartsuk, illetve a folyamatosan változó igények mellett bővítsük, korszerűsítsük mind a személy, mind az áruszállítást. A közlekedéssel kapcsolatos aggályok a 2015-ben induló, az ENSZ 193 tagállama által aláírt Fenntartható Fejlődési Keretrendszer 2030 – Agenda 2030-ban szereplő 17 fenntartható fejlődési cél (sustainable development goal, SDG) közül öt (al)célhoz kapcsolódnak:

- 3.6. alcél, a közúti közlekedésbiztonsággal kapcsolatban;
- 7.3. alcél, az energiahatékonyságra vonatkozóan;
- 9.1. alcél, a fenntartható infrastruktúrára vonatkozóan;
- 11.2. alcél, a városok megközelítésével kapcsolatban;
- 12.c. alcél, a fosszilis tüzelőanyagok támogatásának racionalizálására vonatkozóan [2].

Ebben a tanulmányban elsődlegesen a 9.1. alcélra fókuszálunk. Az EU-ban fokozott figyelmet szentelnek a kötött-pályás szállítás és a közösségi közlekedés fejlesztésére az egyéni közlekedéssel szemben. Az ilyen fejlesztések egyik hazai példája a budapesti 1-es villamos vonalának bővítése **(1. és 2. ábra)**. A közlekedési hálózatok építése és üzemeltetése során jelentős a CO₂ kibocsátás, mely alatt nem a közlekedő járművek kibocsátását értjük. Az építés és üzemeltetés során a kibocsátást elsősorban a beépített anyagok előállítás, azok szállítása és beépítése generálja. Cikkünkben egy a nagyvárosok villamos vonal hálózatában gyakran előforduló úgynevezett kiöntött síncsatornás pályaszerkezet lehetséges két variánsát hasonlítjuk össze műszaki paraméterek és ökológiai lábnyom (ecological footprint, EF) tekintetében.



1. ÁBRA: Hosszgerendában kialakított kiöntött síncsatornás felépítmény mint „füves” vágány a budapesti 1-es villamos vonalán (SzÁ)

2. | AZ ALKALMAZOTT MÓDSZERTAN BEMUTATÁSA

A vizsgálat pályaszerkezetek ökológiai lábnyom számítását – a módszertan későbbi standardizálhatóságának szándékával – a pályaszerkezetet alkotó komponensek figyelembevételével, négy lépésben végeztük el. Elsőként meghatároztuk, a komponensekhez rendelt anyagféleségeket, illetve átszámítottuk azokat egy preferált természetes mértékegységre. Az átszámítás lehetővé teszi bonyolultabb szerkezetek esetén a különböző komponensekben felhasznált anyagok összeadhatóságát. Vagyis amennyiben több komponensben is előfordul betonacél, akkor azokat a tényleges számításban összegezve kezelhetjük. A második lépésben az anyagfelhasználást projektszinten összegezzük. A harmadik lépés opcionális – egyes tételek esetén a preferált mértékegység ugyan segíti az összegzést (pl. folyóméterben megadott adatok), de nem kompatibilis a beépített karbon adatokat tartalmazó adatbázisban szereplő mértékegységgel, így további mértékegység konverzióra lehet szükség. A negyedik lépés a tulajdonképpeni lábnyomszámítás, ahol a természetes mértékegységben kifejezett anyagféleségekhez hozzárendeljük a beépített karbon fajlagos mennyiségét, majd ez alapján meghatározzuk előbb az egyes anyagféleségek, majd a teljes projektbe beépített karbon mennyiségét. Az anyagféleségek fajlagos karbontartalmát az Inventory of Carbon and Energy (ICE) 3.0 változata (Embodied Carbon Footprint Database [3]) alapján vettük figyelembe, amely az anyagféleségek szűkebb körét tartalmazza, mint a korábbi verziók. Háttérszámításaink alapján az új és a régebbi adatbázissal számolt eredmények közötti eltérés a legtöbb anyagféleség esetén nem jelentős, az eredmények nagyságrendjét nem befolyásolja. A beépített karbon tömegének (tonna CO₂) Lin és szerzőtársai [2018] [4] alapján a Magyarországra vonatkozó egyenértékes felhasználásával váltottuk át ökológiai lábnyomra (globális hektár).

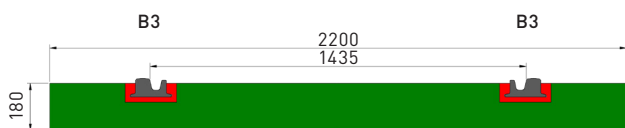


2. ÁBRA: Peron melletti pályakialakítás kiöntött síncsatornás felépítménnyel a budapesti 1-es villamos vonalán (SzÁ)

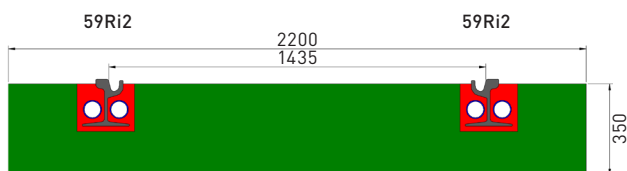
3. | A KÉT VILLAMOSVASÚTI PÁLYASZERKEZET MŰSZAKI SZEMPONTÚ ELEMZÉSE

Összehasonlító elemzésünk tárgyát az **3. és 4. ábrán** látható két felépítményszerkezeti kialakítás képezi. A bemutatott műszaki megoldások eleget tesznek a Budapesti Közlekedési Vállalat vonalhálózatára érvényben lévő előírásoknak. Műszaki szempontból egyenértékűnek tekinthetők, hiszen mindkét kialakítás azonos terhelésre méretezett és élettartamuk is megegyezőnek tekinthető, hiszen azonos kopásértékig tarthatóak a vizsgált sínszálak a pályában.

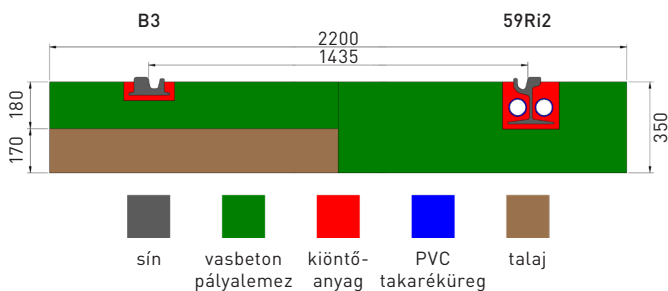
A két variáns jellemző különbségei az alkalmazott sínrendszer magasságából fakadnak, ennek megfelelően a B3 típusú tömbsínnel kialakított variáció gazdaságosabb szerkezetet eredményez. Az ábrán szürke színnel a sínszálakat, pirossal a kiöntőanyagot, kékkel a PVC takaréküregeket, míg zölddel a vasbeton pályalemezt jelenítettük meg. A takaréküregek beépítésére a kiöntőanyag mennyiségének csökkentése érdekében van szükség, így a pályaszerkezet bekerülési költsége csökkenthető. A pályalemez alatt feltételezzük, hogy mindkét esetben azonos műszaki paraméterű teherviselő rétegszerkezet épül be, így az 59Ri2-es sínnel kialakított pályaszerkezet esetén a lemez alsó síkja (tükörszint) 170 mm-rel mélyebbre kerül, ami többlet földmunkát igényel, ahogy azt az összehasonlító **5. ábra** is szemlélteti barna színezéssel.



3. ÁBRA: B3 sínnel történő kialakítás (anyagjelölés az 5. ábrán)



4. ÁBRA: 59Ri2 sínnel történő kialakítás (anyagjelölés az 5. ábrán)



5. ÁBRA: A két típusú pályaszerkezet összehasonlítása (mértékek mm-ben), bal oldalon: kialakítás B3 sínekkel, jobb oldalon: kialakítás 59Ri2 sínekkel

4. | A BEMUTATOTT MŰSZAKI MEGOLDÁSOKRA JELLEMZŐ CO₂ KIBOCSÁTÁS MEGHATÁROZÁSA

A 3. fejezetben bemutatott műszaki megoldások fő komponenseinek (pl.: kiöntőanyag) CO₂ kibocsátását két szempontból vizsgáljuk. Az első szempont a komponens anyagára jellemző úgynevezett saját kibocsátás, míg a második az anyag szállításából származó kibocsátás. A beépítésből származó CO₂ kibocsátással cikkünkben nem foglalkozunk, mivel annak technológiai lehetőségei szerteágazóak és a vizsgálandó variációk számát a terjedelmi korlátokon túl növelné. Az egyszerűsítés másik oka, hogy mivel összehasonlítást végzünk számunkra a két variánsra jellemző CO₂ kibocsátás különbsége az érdekes, melyben ez érdemi változást, azonos építési módot feltételezve, nem okozna. Mindazonáltal a módszertan alkalmas a technológiák közötti kibocsátás különbségének számszerűsítésére. Hasonló megfontolások alapján ugyancsak eltekintünk a pályalemez alatti teherviselő rétegszerkezet vizsgálatától. Elemzésünkben az üzemidő alatti teljes kibocsátást az egyes komponensek feltételezett élettartamának megfelelően fajlagosítjuk és kgCO₂/vágányméter/év dimenzióban adjuk meg (vágányméter a továbbiakban „vgm”).

4.1. A VIZSGÁLAT TÁRGYÁT KÉPEZŐ KOMPONENSEK BEÉPÍTETT CO₂ TARTALMA

Az összehasonlító elemzés elvégzéséhez az alábbi öt alponthban megjelenő komponenszt vizsgáltuk részletesen. Az anyagokra jellemző fajlagos CO₂ kibocsátást egységesen az ICE 3.0 [3] alapján vettük figyelembe.

4.1.1. Sínacél

A vizsgálat során elsőként meghatároztuk az 1 vágányméterre vonatkoztatott sínanyag tömegét mindkét vizsgálati esetre. Ennek értéke B3-as sín esetén 109,22 kg/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 116,28 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 1,27 kgCO₂/kg (szerkezeti acél). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített sínacélra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 138,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 147,7 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített acél anyagban és az abból eredő CO₂ kibocsátásban mintegy 6% különbség tapasztalható csupán.

4.1.2. Rugalmas kiöntőanyag

A rugalmas kiöntőanyag mennyiségének meghatározásakor feltételeztük, hogy az alkalmazott alóöntési vastagság egységesen 20 mm. Ezt az értéket figyelembe véve az átlagos kiöntési geometriákhoz meghatároztuk a kiöntőanyag fajlagos térfogatát 1 vágányméterre. Az 59Ri2-es sín esetén 2 db 70 mm átmérőjű takaréküreg alkalmazását is figyelembe vettük. A fajlagos térfogat B3-as sín esetén 16,22 l/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 52,61 l/vgm. Mivel a rugalmas kiöntőanyagok esetén több gyártó különböző anyagai is műszakilag alkalmasak lehetnek a pályaszerkezetbe építésre, ezért a kiöntőanyag tekintetében egy átlagos 0,9 kg/l sűrűségértéket vettünk figyelembe. Az ez alapján számítható fajlagos tömeg értéke B3-as sín esetén 14,6 kg/vgm, míg 59Ri2-es

sín esetén 47,3 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 4,84 kgCO₂/kg (poliuretán rugalmas hab). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített rugalmas kiöntőanyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 70,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 229,2 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített rugalmas kiöntő anyagban és az abból eredő CO₂ kibocsátásban jelentős, mintegy 224,2% különbség tapasztalható.

4.1.3. PVC takarékküreg

Az 59Ri2-es sínnel kialakított szerkezet esetén alkalmazott PVC csövek 70 mm névleges átmérőjűek és 2,2 mm falvastagságúak. Súlyuk 0,73 kg/m. A 4 db beépített cső tömege 1 vágányméterre vonatkoztatva 2,92 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 3,23 kgCO₂/kg (PVC cső). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített PVC csőre jellemző CO₂ kibocsátás értéke 9,43 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. A B3-as sínrel kialakított szerkezet esetén PVC csövek alkalmazására nincs lehetőség, így ott a CO₂ kibocsátás értéke 0,00 kg/vgm.

4.1.4. Pályalemez

A teherviselő pályalemez két alkotó részből áll, úgymint a beton és az annak megerősítésére szolgáló betonacélváz. Számításunkban jó közelítésként egységesen a pályalemez fajlagos térfogatának 3%-ával vettük figyelembe a betonacél mennyiségét. A pályalemez saját kibocsátásának számítása során annak geometriai méreteiből kiindulva először meghatároztuk annak fajlagos térfogatát. 2200 mm széles panel feltételezésével 180 mm vastag lemez és a B3-as sín esetén ennek értéke 0,396 m³/vgm, míg 350 mm vastag lemez és az 59Ri2-es sín esetén 0,770 m³/m. Számításunkban a síncsatornák figyelembevételétől a biztonság javára tett közelítésként eltekintettünk. A beton esetén 2500 kg/m³ sűrűséggel számoltunk, a térfogat 97%-os mértékével. Így a B3-as sín esetén a beton fajlagos tömege 0,96 t/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 1,87 t/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 0,132 kgCO₂/kg (előregyártott beton burkolat). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített beton anyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 130,7 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 254,1 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. A beépített betonacél tömege a korábbi egyszerűsítések mellett B3-as sín esetén 93,2 kg/vgm, míg 59Ri2-es sín esetén 181,3 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 1,99 kgCO₂/kg (betonacél). Ezt az értéket figyelembe véve a beépített beton anyagra jellemző CO₂ kibocsátás értéke 185,6 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 360,9 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén.

A teljes pályalemezre vonatkozó összesített érték 354,5 kg/vgm a B3-as sín esetén, míg 689,4 kg/vgm az 59Ri2-es sín esetén. Látható, hogy a két rendszer tekintetében a beépített anyagokból eredő CO₂ kibocsátásban jelentős, mintegy 94,5% különbség tapasztalható.

4.1.5. Talaj (többlet földmunka)

A talaj saját kibocsátásának számításánál a két pályalemez vastagság különbségéből adódó talajkitermelési többlettel számolunk csak, amely 59Ri2-es sín esetén 170 mm. Nem vesszük figyelembe a lemez alsó síkja alatti teherviselő rétegszerkezet megépítéséhez szükséges talajkitermelést. Az 59Ri2-es sín esetén 170 mm vastagság és 2200 mm szélesség figyelembevételével a többlet talajkitermelés szükséges mennyisége 0,374 m³/vgm. A talaj sűrűségét 2000 kg/m³ értékkel vettük figyelembe. A kitermelt talaj tömege 748 kg/vgm. Az ICE 3.0 [3] alapján a CO₂ kibocsátás fajlagos értéke 0,024 kgCO₂/kg (döngölt föld). Ez az érték igaz, hogy a beépítésre és tömörítésre vonatkozik, de egyéb adat hiányában a kitermelés esetén is ezzel számoltunk. Ezt az értéket figyelembe véve a CO₂ kibocsátás értéke 17,95 kg/vgm. A B3-as sín esetén 0 mm többlet vehető figyelembe, így a CO₂ kibocsátás értéke vágányméterenként 0,0 kg.

4.2. A VIZSGÁLAT TÁRGYÁT KÉPEZŐ KOMPONENSEK SZÁLLÍTÁSÁBÓL SZÁRMAZÓ CO₂ KIBOCSÁTÁS

Az egyes komponensek szállításából származó CO₂ érték meghatározásához a korábban meghatározott 1 vágányméterre eső fajlagos tömegeket és az **1. táblázatban** összefoglalt adatokat vettük figyelembe. A két kialakításra vonatkozó eredményeket a táblázat két utolsó oszlopa mutatja be. A szállítási távolságok esetén számításunk az alábbi hipotetikus megfontolásokon alapul, mely értékek egy valós vizsgálat esetén ismerve a logisztikai útvonalakat pontosíthatók lennének:

- azon termékek esetén, amelyeket nem hazánkban állítanak elő, 500 km szállítási távolságot vettünk figyelembe,
- azon termékek esetén, amelyeket hazánkban állítanak elő, 250 km szállítási távolságot vettünk figyelembe,
- a talaj esetén a forgalmas belvárosi környezetből kell a város szélén lévő depóniába elszállítani a kitermelt földet, mely jelentős kerülőket eredményezhet és nagyobb fajlagos CO₂ kibocsátást. Itt feltételezésünk alapján 50 km szállítási távolságot vettünk figyelembe.

1. TÁBLÁZAT: Az egyes komponensek szállítási adatai és a szállításból származó fajlagos CO₂ kibocsátás (adatforrások: * saját feltételezés, ** Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland [5])

komponens	szállítási távolság* [km]	szállítási mód*	fajlagos kibocsátás [gCO ₂ /tkm]**	B3-as sín [kgCO ₂ /vgm]	59Ri2-es sín [kgCO ₂ /vgm]
sín	500	vasút	26,7	1,458	1,552
kiöntőanyag	500	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	1,455	4,718
PVC cső	250	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	0,000	0,145
pályalemez	250	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	47,847	93,036
talaj	50	közút (szóló tkg., >26t)	199,3	0,000	7,450

2. TÁBLÁZAT: A komponensek becsült élettartamával súlyozott CO₂ kibocsátás a B3-as sín alkalmazása esetén

komponens	anyag [kgCO ₂ /vgm]	szállítás [kgCO ₂ /vgm]	ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	élettartam [év]	fajlagos érték [kgCO ₂ /vgm/év]
sín	138,7	1,458	140,158	15	9,344
kiöntőanyag	70,7	1,455	72,155	15	4,810
PVC cső	0	0	0	15	0,000
pályalemez	354,5	47,847	402,347	60	6,706
talaj	0	0	0	60	0,000
				Σ	20,860

3. TÁBLÁZAT: A komponensek becsült élettartamával súlyozott CO₂ kibocsátás az 59Ri2-es sín alkalmazása esetén

komponens	anyag [kgCO ₂ /vgm]	szállítás [kgCO ₂ /vgm]	ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	élettartam [év]	fajlagos érték [kgCO ₂ /vgm/év]
sín	147,7	1,552	149,252	15	9,950
kiöntőanyag	229,2	4,718	233,918	15	15,595
PVC cső	9,43	0,145	9,575	15	0,638
pályalemez	689,4	93,036	782,436	60	13,041
talaj	17,95	7,450	25,4	60	0,423
				Σ	39,647

Ahogy a táblázat is mutatja, az előregyártott betonelemek méreteinek optimalizálásával a szükséges szállítási volumen jelentősen csökkenthető, mellyel arányosan a CO₂ kibocsátás is redukálható.

4.3 A VARIÁNSOKRA JELLEMZŐ EREDŐ CO₂ KIBOCSÁTÁS SZÁMÍTÁSA

A 4.1 és 4.2 pontokban szerkezetenként meghatározott értékeket az egyes komponensek becsült élettartamával súlyoztuk annak érdekében, hogy figyelembe tudjuk venni az élettartamra vetített fajlagos CO₂ kibocsátás értékét. Eredményeinket a **2. és 3. táblázat** foglalja össze. Az élettartamok becsült értéke saját feltételezésünk. Az eredmények alapján könnyen belátható, hogy azonos pályaszerkezeti típusok optimalizálása esetén lehetőség van a CO₂ kibocsátás jelentős csökkentésére a megfelelő felépítményi variáns kiválasztásával.

Ha a feltételezett pályaszerkezetek egy adott elemzési időszaka alatti teljes CO₂ kibocsátását szeretnénk vizsgálni azt az **4. táblázatban** bemutatott módon tehetjük meg. Vizsgálatunkban az elemzési időt célszerűen a 60 éves legnagyobb élettartammal vettük egyenlőnek. A kapott eredmények alapján az elemzési időre meghatározható az ökológiai lábnyom nagysága.

5. | A BEMUTATOTT MŰSZAKI MEGOLDÁSOK ÖKOLÓGIAI LÁBNYOMÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A környezeti számvitel célja az emberi tevékenységek környezeti költségeinek azonosítása, mérése és allokációja. Az ökológiai lábnyom egy környezeti számviteli eszköz, amely a környezetterhelés mérésére általánosan alkalmas [6]. Sokoldalú alkalmazhatósága miatt a pénzhez hasonlóan szinte bármilyen közösség, folyamat vagy anyagfelhasználás kör-

4. TÁBLÁZAT: Az elemzési időszakra vonatkoztatott CO₂ kibocsátás a B3-as sín és az 59Ri2-es sín esetén

komponens	komponens élettartama [év]	elemzési idő (60 év) / komponens élet- tartam [ciklus]	B3-as sín ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	B3-as sín CO ₂ kibocsátás [nΣCO ₂]	59Ri2-es sín ΣCO ₂ [kgCO ₂ /vgm]	59Ri2-es sín CO ₂ kibocsátás [nΣCO ₂]
sín	15	4	140,158	560,632	149,252	597,008
kiöntőanyag	15	4	72,155	288,620	233,918	935,672
PVC cső	15	4	0	0	9,575	38,300
pályalemez	60	1	402,347	402,347	782,436	782,436
talaj	60	1	0	0	25,400	25,400
összesen	-	-	-	1251,599	-	2353,416

5. TÁBLÁZAT: Az elemzési időszakra vonatkoztatott ökológiai lábnyom

pályaszerkezet	CO ₂ kibocsátás [t/vgm]	EF [gha/vgm] (CO ₂ × 0,338)	BC: [gha/vgm] (2,2×2,5×1,15262)/10000	EF/BC
B3-as sín	1,251599	0,42304	0,000634	667,317621
59Ri2-es sín	2,353416	0,79545	0,000634	1254,660265

nyezetterhelésének mérésére és értékelésére alkalmas [7]. Alkalmazási lehetőségei ezért kiterjednek az építés anyagfelhasználásának mérésére is [8] [9]. Az ökológiai lábnyom módszertanon belül a szénlábnyom komponens az a megújuló erdőkapacitás, amely szükséges az antropogén CO₂ kibocsátás megkötéséhez, amelyet az óceánok nem nyelnek el. A szénlábnyom kulcsparamétere az átlagos erdei CO₂ megkötés, amelyet az erdei ökoszisztémák nettó szén-dioxid-megkötő képességéből számítanak ki [10].

A CO₂ kibocsátásból származó ökológiai lábnyom globális hektárban (gha) kifejezett nagysága a tonnában megadott CO₂ kibocsátás és a Global Footprint Network által (GFN) közzétett [4] Footprint Intensity of Carbon szorzataként határozható meg (5. táblázat). Ez az érték összehasonlítható a biokapacitással (BC), amely az adott terület eltartóképességét jelenti. Az 1 vágányméterre jutó biológiai kapacitást úgy tudjuk kiszámolni, hogy a területet megszorozzuk a GFN által megadott átváltási faktorokkal. Ezek közül az ún. ekvivalencia tényező (equivalence factor, EQF) a földhasználati kategóriák közötti átváltást teszi lehetővé, ez ebben az esetben 2,5-es szorzó, a másik, a hozamtényező (yield factor, YF) pedig egy ország-specifikus kiigazítás, amely Magyarország esetén a legfrissebb adatok szerint 1,15262-es szorzószám [4]. Az ökológiai lábnyom és biokapacitás hányadosa azt mutatja meg, hogy hányszorosa az adott terület ökológiai lábnyoma a biokapacitásának. Ez az érték minél kisebb, annál jobb, optimális helyzet az lenne, ha nem haladná meg az 1-et.

6. | ÖSSZEFOGLALÁS

Jól látható, hogy a vasbeton lemez, illetve a kiöntőanyag tekintetében jelentős megtakarítás mutatkozik, amelyek ökológiai lábnyom szempontjából is kedvezőbbé teszik a B3-as sínrel kialakított variánst. Pontos számítás nélkül is könnyen belátható, hogy a szerkezet bekerülési költsége is alacsonyabb lesz, mint a másik összehasonlított variánsé, a szerkezet ezáltal ökohatékonyabbnak tekinthető. Amennyiben teljesíteni kívánjuk a kitűzött klímacélokot, akkor rendkívül fontos az infrastrukturális beruházások ökológia szempontú vizsgálatát is áttemelni a mindennapi gyakorlatba. Jelen cikkünk terjedelmi korlátai miatt kizárólag a vizsgált komponensek anyagából és azok szállításából eredő CO₂ kibocsátást

elemztük. Azonban konkrét beépítésre készített tervek és építési technológiák komplex elemzése során bemutatható egy adott infrastruktúra elem tényleges ökológiai lábnyoma. Az elemzés bármilyen kötöttpályás infrastrukturális hálózatra, illetve bármilyen típusú pályaszerkezetre elvégezhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A TKP2021-NKTA-44 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 (TKP2021-NKTA) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Agnieszka Skala: Sustainable transport and mobility – Oriented innovative startups and business models. Sustainability 2022, 14(9), 5519. <http://dx.doi.org/10.3390/su14095519>
- [2] Mark Brussel, Mark Zuidgeest, Karin Pfeffer, Martin van Maarseveen: Access or accessibility? A critique of the urban transport SDG indicator. ISPRS International Journal of Geo-Information 2019, 8(2), 67. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi8020067>
- [3] Circular Ecology: Inventory of Carbon and Energy database. CE, 2019. <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>
- [4] David Lin, Laurel Hanscom, Jon Martindill, Michael Borucke, Lea Cohen, Alessandro Galli, Elias Lazarus, Golnar Zokai, Katsunori Iha, Mathis Wackernagel: Working Guidebook to the National Footprint Accounts. Global Footprint Network, 2018. 74 p., <https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2018/05/2018-National-Footprint-Accounts-Guidebook.pdf>
- [5] Martin Schmied, Moritz Mottschall: Treibhausgasemissionen durch die Schieninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244). Öko-Institut e.V., 2013. 140 p. <https://www.oeko.de/oekodoc/1852/2013-520-de.pdf>
- [6] Valentina Niccolucci, Luca Coscieme, Nadia Marchettini: Benefit transfer and the economic value of biocapacity: Introducing the ecosystem service yield factor. Ecosystem Services 2021, 48, 101256. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101256>
- [7] David Lin, Laurel Hanscom, Adeline Murthy, Alessandro Galli, Mikel Evans, Evan Neill, Maria Serena Mancini, Jon Martindill, Fatime-Zahra Medouar, Huang Shiyu, Mathis Wackernagel: Ecological footprint accounting for countries: Updates and results of the national footprint accounts, 2012–2018. Resources 2018, 7(3), 58. <http://dx.doi.org/10.3390/resources7030058>
- [8] Bonnie McBain, Manfred Lenzen, Glenn Albrecht, Mathis Wackernagel: Building robust housing sector policy using the ecological footprint. Resources 2018, 7(2), 24. <http://dx.doi.org/10.3390/resources7020024>
- [9] Szigeti Cecília, Major Zoltán, Szabó Dániel Róbert, Szennay Áron: The ecological footprint of construction materials – A standardized approach from Hungary. Resources 2022, 12(1), 15. <http://dx.doi.org/10.3390/resources12010015>
- [10] Maria Serena Mancini, Alessandro Galli, Valentina Niccolucci, David Lin, Simone Bastianoni, Mathis Wackernagel, Nadia Marchettini: Ecological footprint: Refining the carbon footprint calculation. Ecological Indicators 2016, 61, pp. 390–403. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.040>