

Villamos vasúti pályaszerkezetek ökológiai lábnyomának elemzése

HORVÁTH Róbert¹, MAJOR Zoltán², SZENNAY Áron³, SZIGETI Cecília⁴

DOI: [10.29180/978-615-6342-76-8_18](https://doi.org/10.29180/978-615-6342-76-8_18)

Absztrakt

Napjaink egyik legnagyobb fenntarthatósági kihívása a városok komplex, fenntartható fejlesztése, amelynek egyik központi eleme a városi mobilitás infrastruktúrájának átalakítása (Rydin et al. 2012, Czédli 2017, Varga et al, 2021). A villamoshálózat fejlesztésének jelentősége jóval nagyobb, mint a szerepe az autómentes közlekedésben. A villamoshálózatok megbízható mobilitást tesznek lehetővé skálázható módon, viszonylag alacsony élettartam költségek mellett és emissziómentesen. Cikkünkben egy, a nagyvárosok villamos vonal hálózatában gyakran előforduló úgynevezett kiöntött síncsatornás pályaszerkezet lehetséges két, a zaj és rezgéscsökkentést szolgáló elasztomer paplannal kiegészített és az anélkül épült variánsát hasonlítjuk össze műszaki paraméterek és ökológiai lábnyom tekintetében. Eredményeink szerint az elasztomer paplan alkalmazása kb. 20 százalékkal növeli a pályaszerkezet ökológiai lábnyomát. Ennek megfelelően alkalmazását – a zaj- és rezgéscsökkentő hatását kiaknázva sűrűn lakott belvárosi zónákban, illetve műemléki / leromlott állapotú épületek közelében javasoljuk.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, ökológiai lábnyom, fenntartható városi környezet

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A globalizált világ megköveteli, hogy a városainkban, országainkban és országaink között fenntartsuk, illetve a folyamatosan változó igények mellett bővítsük, korszerűsítsük mind a személy, mind az áruszállítást (Varga et al., 2015). A fenntartható városi mobilitás jobb megértése, előmozdítása és kezelése nagyon fontos eszköz éghajlati válság kezelésére (Chatziioannou 2023). A városi személyszállítási szerkezet optimalizálása hatékony módja a városok alacsony szén-dioxid-kibocsátású fejlesztésének, amelyhez jelentős innováció szükséges (Li et al. 2023, Csiszárík-Kocsir – Dobos, 2023; Csiszárík-Kocsir – Varga, 2023a, 2023b) A nagyvárosi és az agglomerációs környezetterhelés egy egyre inkább elterjedt, jól értelmezhető mutatószáma az ökológiai lábnyom. Harangozó et al. (2019) tanulmánya rávilágít arra, hogy a közlekedés, illetve a mobilitás meghatározó a várostérségek ökológiai lábnyoma szempontjából.

A vasúti közlekedéssel szemben támasztott fokozódó követelményeknek, így a zaj és rezgés jelentette terhelés, valamint az élettartam-költségek csökkentése következtében hazánkban is egyre nagyobb teret hódítanak a kiöntött síncsatornás felépítmények. Ezeket Magyarországon elsősorban hidakon, útátjárókban, alagutakban, valamint városi vasúti pályákban alkalmazzák. A kialakítás előnyös tulajdonságai közé tartozik, hogy (1) kedvező zaj- és rezgéscsillapító képességgel bír, (2) homogén, rugalmas megtámasztást biztosít a sín hossza mentén mind vízszintes, mind függőleges értelemben, (3) minimális a fenntartási igénye, ezáltal kedvező

¹ H-Planer Kft., e-mail: hplanerkft@gmail.com

² Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék, e-mail: majorz@sze.hu

³ Budapesti Gazdasági Egyetem, Budapest LAB Vállalkozásfejlesztési Iroda, e-mail: szennay.aron@uni-bge.hu

⁴ Budapesti Gazdasági Egyetem, CESIBUS/Budapesti Metropolitan Egyetem, Fenntarthatósági Tanulmányok Intézete, e-mail: cszigeti@metropolitan.hu

élettartam-költséggel rendelkezik, valamint (4) a közúti vasúton jellemző egyenáramú vontatás esetén a kőboráram a beágyazott sínszálat védi a korrózió ellen. Fontos ugyanakkor megemlíteni, hogy a pályaszerkezet rendkívül pontos kivitelezést, a kivitelezés során nagyfokú technológiai fegyelmet igényel, továbbá a kiöntő anyag költséges. Ez a pályaszerkezet terhelhetősége és kialakítása révén kiválóan alkalmas a városi környezet élhetőbbé tételére.

A városokban megjelenő, közlekedéssel összefüggő környezetterhelésre jó példa, hogy jelenleg Budapest minden bevásárlóközpontja, illetve a városfejlődési sajátosságok miatt a belvárosban “ragadt” nagy kapacitású gyárak is közúti áruszállítással kerülnek kiszolgáltatásra. Ezt a logisztikai kapacitást, legalábbis részben, akár tehervillamosok segítségével is ki lehetne váltani. A tehervillamos versenyképes alternatíva lehet a közúti szállítással szemben és a fenntartható városi teherszállítás megvalósításának eszköze lehet (Pietrzak – Pietrzak, 2021, Zilka et al 2021). Erre a megoldásra talán az egyik legismertebb példa a Volkswagen logisztikai központja és a gyára között közlekedő drezdai tehervillamos, amely naponta 200, a belvároson keresztülhaladó teherautómozgást vált ki (Quak, 2011). Hazánkban Budapesten a BKV Zrt. vonalain is elérhető volt hasonló szolgáltatás, de az ezredfordulóra gyakorlatilag eltűnt, átadva helyét a sokkal környezetszennyezőbb közúti szolgáltatásnak.

Ezen felül megemlítendő az is, hogy a nagyvárosokban egyre gyakrabban korlátozzák a személyautók behajtását a belvárosokba. Ezáltal a meglévő úthálózat kihasználatlanná válna, miközben a közlekedési igények nem csökkennének, illetve ezekben a belvárosi részeken is meg kell teremteni annak a lehetőségét, hogy különleges járművekkel (pl. hulladékszállítás, mentők, tűzoltók stb.) meg lehessen őket közelíteni. Ennek feloldására kínálkozik az a lehetőség, hogy a belvárosi úthálózat újragondolásával a pályaszélesség újbóli felosztásával élhetőbb környezetet alakíthassunk ki. A közlekedési igények és a szükséges megközelíthetőség a burkolt villamosvasúti pályán megoldható, míg a fennmaradó területeket át lehet adni a gyalogos és kerékpáros közlekedésnek, illetve akár a zöldterület számára is, mely az egészséges lakókörnyezet megteremtésének alapjául szolgál. A kiöntött síncsatornás felépítmények építési költségeinek optimalizálásával kapcsolatos diskurzus Magyarországon 2014-ben jelent meg. Annak ellenére, hogy a helyesen megválasztott paraméterek jelentős költségmegtakarításhoz, a környezeti terhelési követelmények pontosabb teljesítéséhez vezethetnek, a kiöntött síncsatornás pályaszerkezetek gyakorlati tervezése jelenleg egy-egy variáns vizsgálatával, költséges laborvizsgálatok alapján történik, optimalizálásukkal a hazai gyakorlat pedig egyáltalán nem, de a nemzetközi is csak ritkán foglalkozik (Major, 2014). A pályaszerkezetekhez kapcsolódó környezetterhelés rendkívül összetett, az előállításához és a használatához kapcsolódó ökológiai lábnyom összetevők mellett jelentős tényező lehet még a zajterhelés, amelyet a pályaszerkezetek típusa és állapota nagymértékben befolyásol (Harangozó & Marjainé Szerényi, 2012). Markine et al. (2000) cikkükben mutatják be a kiöntött síncsatornás szerkezetek több paraméterre történő optimalizálását.

Módszertan

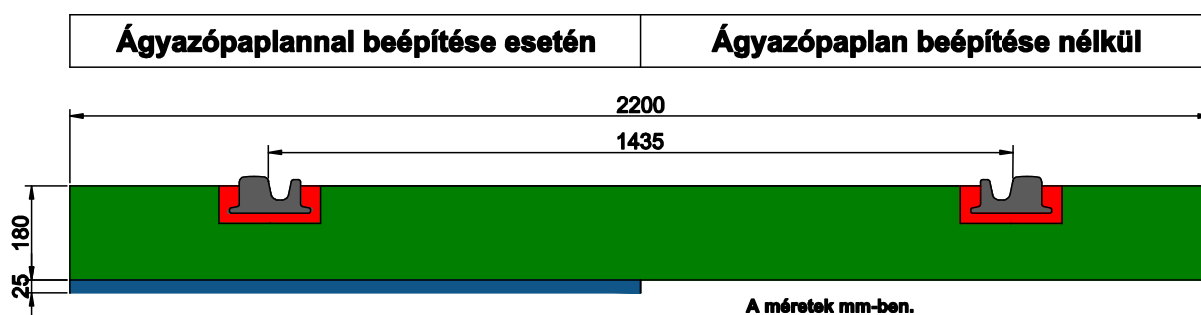
Cikkünkben két szerkezeti kialakítás esetén vizsgáljuk az ökológiai lábnyom alakulását. Míg az etalon szerkezet esetén nem történik releváns beavatkozás, addig a másik szerkezet esetén a rezgésátvitelt rugalmas réteg beépítésével csökkentjük, amely belvárosi környezetben hozzájárul a közelben lakók életminőségének javításához, valamint maguknak az épületek állagának megóvásához. Fontos ugyanakkor hangsúlyozni, hogy a rugalmas réteg beépítése felesleges többlet kiadást is jelenthet, amennyiben a védendő épületek távolsága nagyobb, illetve műszaki állapotuk kedvezőbb. A bemutatott kialakítások ahogy arra korábbi vizsgálatunk is rámutatott, ökohatékony megoldásnak tekinthetők a hagyományos kiöntött síncsatornás pályaszerkezetekhez képest (Major et al., 2023).

Elemzésünk készítése során az Inventory of Carbon and Energy Database (ICE) v3.0 (Embodied Carbon Footprint Database, n.d.). adatait alkalmaztuk a beépített anyagok tekintetében, míg a szállítási kibocsátás elemzését a Mottschall és Schmied (2013) adatai alapján végeztük el. A CO₂ kibocsátásból származó ökológiai lábnyom globális hektárban (gha) kifejezett nagysága a tonnában megadott CO₂ kibocsátás és a Global Footprint Network (GFN) (Lin et al 2018) által közzétett Footprint Intensity of Carbon szorzataként határozható meg. Az elemzés során meghatározott ökológiai lábnyom értékek összehasonlíthatóak a biokapacitással, amely az adott terület eltartóképességét jelenti. Az egy 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 országspecifikus kiigazítás, amely Magyarország esetén a legfrissebb adatok szerint 1,15262-es szorzószám (Lin et al., 2018) 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 a 1-et.

Eredmények és diszkusszió

Az elemzés során vizsgált két felépítményszerkezeti variánst az 1. ábra szemlélteti.

1. ábra: A vizsgált felépítményszerkezeti variánsok



Forrás: saját szerkesztés

A vizsgált két kialakításokra vonatkozó ökológia szempontú elemzésünket az 1. és 2. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Az ökológiai szempontú elemzés -ágyazóaplannal kialakított felépítményszerkezet esetén

Komponens	Anyag (kgCO ₂ /vágány méter)	Szállítás (kgCO ₂ /vágány méter)	ΣCO ₂ (kgCO ₂ /vágány méter)	Élettartam (év)	Fajlagos érték (kgCO ₂ /vágány méter /év)
sín	138,7	1,458	140,158	15	9,344
kiöntőanyag	70,7	1,455	72,155	15	4,810
pályalemez	354,5	47,847	402,347	60	6,706
ágyazóaplan	240,0	4,930	244,930	60	4,080
				Σ	24,940

Forrás: saját szerkesztés

2. táblázat: Az ökológiai szempontú elemzés -ágyazópaplan nélküli felépítményszerkezet esetén

Komponens	Anyag (kgCO ₂ /vágány méter)	Szállítás (kgCO ₂ / vágány méter)	ΣCO ₂ (kgCO ₂ / vágány méter)	Élettartam (év)	Fajlagos érték (kgCO ₂ / vágány méter /év)
sín	138,7	1,458	140,158	15	9,344
kiöntőanyag	70,7	1,455	72,155	15	4,810
pályalemez	354,5	47,847	402,347	60	6,706
ágyazópaplan	0	0	0	60	4,080
				Σ	20,860

Forrás: saját szerkesztés

Az ökológiai lábnyom számítását a 60 éves elemzési időszakra a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat: Az ökológiai szempontú elemzés -ágyazópaplannal kialakított felépítményszerkezet esetén

Felépítmény	CO ₂ (t/vágány méter)	ökológiai lábnyom (gha / vágány méter – CO ₂ * 0,338)
ágyazó paplan nélküli	1,25160	0,42304
ágyazópaplannal kialakított	1,49640	0,50578

Forrás: saját szerkesztés

Az ökológiai lábnyom és a biokapacitás hányadosának meghatározását a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: Az ökológiai szempontú elemzés -ágyazópaplannal kialakított felépítményszerkezet esetén

Felépítmény	ökológiai lábnyom (gha/ vágány méter – CO ₂ * 0,338)	biokapacitás (gha / vágány méter – 2,2×2,5×1,15262/10 ⁴)	ökológiai lábnyom / biokapacitás
ágyazópaplan nélküli	0,42304	0.000634	667
ágyazópaplannal kialakított	0,50578	0.000634	797

Forrás: saját szerkesztés

Látható az elvégzett számítások alapján, hogy a környezeti igénybevételekhez történő igazodás miatt a két szerkezet között CO₂ kibocsátásban és ezáltal ökológiai lábnyom tekintetében 20 százalék különbség figyelhető meg az által, hogy a pályaszerkezetbe az elasztomer paplant beépítettük.

Az eredményeket keretezi ugyanakkor, hogy az alkalmazott B3 felépítményszerkezet elasztomer paplannal együtt is kedvezőbb környezeti hatással – és feltehetően pénzügyi költséggel – rendelkezik, mint a gyakorlatban elterjedt 59Ri2 típus (ld. Major et al., 2023). Az elasztomer paplan alkalmazásának a célja ugyanakkor a környezeti rezgés és zaj csökkentése. Ennek megfelelően – és a környezeti hatások, illetve a pénzügyi költségek minimalizálása érdekében – eredményeink alapján a kiegészítő réteg alkalmazását elsősorban sűrűn lakott

városi környezetben, illetve műemléki védettségű / rosszabb állapotú épületek közelében javasoljuk.

Következtetések

Cikkünkben bemutattuk, hogy a kiöntött síncsatornás burkolt pályaszerkezetek alkalmazása révén miképp lehet újra revitalizálni a belvárosi kerületeket és miképp lehet a megnövekedett szállítási igényeket is kiszolgálni egy jóval környezetkímélőbb módon, mint a jelenlegi közúti áruszállítás. Ennek megvalósítása megkövetelné a forgalomtechnikusoktól azt is, hogy a villamosvasúti forgalom előnyt élvezzen a közúti forgalommal szemben és ezáltal lényegesen nagyobb lehessen annak kapacitása. Bemutattuk továbbá azt, is, hogy miképp változik meg a kialakított pályaszerkezet ökológiai lábnyoma annak függvényében, hogy azt a környezetterhelés minimalizálása érdekében optimalizáltuk. Egy ilyen változtatás az ökológiai lábnyom tekintetében mintegy 20 százalékos növekedést is eredményezhet. Látható, hogy a környezeti hatások tekintetében az ökológiai lábnyom vizsgálata a rezgésterhelés mellett csupán többkritériumos elemzés révén ítélni lehet meg, ahol a megfelelő súlyszámok figyelembevételével meg tudjuk állapítani egyes hatások fontosságát az adott beépítés mellett.

Finanszírozás: 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.

Irodalomjegyzék

Chatziioannou, I., Nikitas, A., Tzouras, P. G., Bakogiannis, E., Alvarez-Icaza, L., Chias-Becerril, L., Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Wallgren, P., & Rexfelt, O. (2023). Ranking Sustainable Urban Mobility Indicators and their matching transport policies to support Liveable City Futures: A micmac approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 18, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100788>

Embodied Carbon Footprint Database. (n.d.). Circular Ecology. Retrieved 2. december, 2022, from <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html> Hozzáférés dátuma: 2022.12.02

Csiszárík-Kocsir, Á., Dobos, O. (2023). The place and role of research, development and innovation activities in the life of domestic enterprises along business characteristics, In: Szakál, Anikó (szerk.) IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2023: Proceedings, IEEE Hungary Section, pp. 279-286.

Csiszárík-Kocsir, Á., Varga, J. (2023a). Környezetbarát megaprojektek felhasználói megítélése. *Lépések: A Fenntarthatóság Felé* 27:3, pp. 10-12.

Csiszárík-Kocsir, Á., Varga, J. (2023b). Innovation and factors leading to innovative behaviour according to Hungarian businesses. In: Szakál, Anikó (szerk.) IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2023 : Proceedings , IEEE Hungary Section, pp. 291-297.

Czédli, H., Varga, Zs. (2017): Zöldfelületek környezetegészségügyi hatásainak elemzése városi mintaterületeken = Analysis of environmental health effects of green surfaces in urban areas.

In: LIX. Georgikon Napok Konferenciakiadványa, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, pp. 82-88, 2017. ISBN: 9789639639898

Hamburger, Á., & Harangozó, G. (2018). Factors affecting the evolution of renewable electricity generating capacities: A panel data analysis of European countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(5), 161.

Harangozó, G., Kovács, Z., Kondor, A. C., & Szabó, B. (2019). A budapesti várostérség fogyasztási alapú ökológiai lábnyomának változása 2003 és 2013 között. *Területi Statisztika*, 59(1), pp. 97-123. <https://doi.org/10.15196/TS590105>

Harangozó, G., & Szerényi, Z. M. (2012). A Cost-Benefit Approach for Evaluating Transportation-Based Noise Control Projects. *Logistics & Sustainable Transport*, 3(2).

Lin, D., Hanscom, L., Martindill, J., Borucke, M., Cohen, L., Galli, A., Lazarus, E., Zokai, G., Iha, K., & Wackernagel, M. (2018). Working Guidebook to the National Footprint Accounts. <https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2018/05/2018-National-Footprint-Accounts-Guidebook.pdf> Hozzáférés dátuma: 2022.12.02

Li, X., Zhan, J., Lv, T., Wang, S., & Pan, F. (2023). Comprehensive evaluation model of the urban low-carbon passenger transportation structure based on DPSIR. *Ecological Indicators*, 146, 109849. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109849>

Major, Z. & Kulcsár, N., 2014. Rugalmas ágyazású kiöntött csatornás vasúti felépítmény (2. rész). *Sínek Világa*, 56(1), pp. 22–26.,

Major, Z., Horváth, R., Szennay, Á., & Szigeti, C. (2023). Examination and Optimization of the Ecological Footprint of Embedded Rail Structures. In Z. Nedelko & R. Korez Vide (Eds.), *Conference Proceedings of the 7th FEB International Scientific Conference: Strengthening Resilience by Sustainable Economy and Business—Towards the SDGs*. pp. 20–28. University of Maribor, University Press. <https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/778>

Markine, V. L., de Man, A. P., Jovanovic, S., Esveld, C. (2000): Optimum design of embedded rail structure of high-speed lines PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, RAILWAY ENGINEERING 2000, HELD LONDON, UK, JULY 2000 - CD-ROM

Mottschall, M., & Schmied, M. (2013). Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland. <https://www.oeko.de/oekodoc/1852/2013-520-de.pdf> Hozzáférés dátuma: 2022.12.02

Pietrzak, O., Pietrzak, K. (2021). Cargo tram in freight handling in urban areas in Poland. *Sustainable Cities and Society*, 70, 102902. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102902>

Quak, H. J. H. (2011). Urban freight transport: The challenge of sustainability. In: *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives*. pp. 37–55. Scopus.

Rydin, Y., Bleahu, A., Davies, M., Dávila, J. D., Friel, S., De Grandis, G., Groce, N., Hallal, P. C., Hamilton, I., Howden-Chapman, P., Lai, K.-M., Lim, C., Martins, J., Osrin, D., Ridley, I., Scott, I., Taylor, M., Wilkinson, P., Wilson, J. (2012). Shaping Cities for Health: Complexity and the planning of urban environments in the 21st Century. *The Lancet*, 379(9831), pp. 2079–2108. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(12\)60435-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(12)60435-8)

Varga, Z., Fülöp, F., Czédli, H.: Minőségi és mennyiségi indikátorok szerepe városi zöldfelületek felmérése során. In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 345-347, 2021. ISBN: 9789633189771

Varga, Z., Lóki, J., Czédli, H., Kézi, C., Fekete, Á., Biró, J.: Evaluating the Accuracy of Orthophotos and Satellite Images in the Context of Road Centerlines in Test Sites in Hungary. *Research Journal of Applied Sciences*. 10 (10), pp. 568-573, 2015.

Zilka, M., Stieberova, B., Scholz, P. (2021a). Sustainability evaluation of the use of cargo-trams for mixed municipal waste transport in Prague. *Waste Management*, 126, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.05>