

Tudományos cikk

# Határ- és életciklusköltségek a közúti közlekedésben

Beküldve: 2022.10.13.  
Elfogadva: 2022.10.14.  
Online közzétéve: 2022.10.24.



**ID DR. TÖRÖK ÁDÁM** kutatóprofesszor, Közlekedéstudományi Intézet, Közlekedésmenedzsment Osztály, torok.adam@kti.hu

**ID DR. SIPOS TIBOR** vezető kutató, tudományos főmunkatárs, Közlekedéstudományi Intézet, Mobilitás Kutatóközpont, sipos.tibor@kti.hu

**Absztrakt:** Ebben a cikkben a szerzők a mikroökonómia elemzési eszközeivel vizsgálták a határkölség és az életciklusköltség közötti kapcsolatot. A szerzők összegyűjtötték a legrelevánsabb szakirodalmat, hogy szilárd összehasonlítási alapot biztosítsanak munkájuknak. Az előzetes eredményként megfogalmazható, hogy a határkölséget ki lehetett terjeszteni az életciklusköltségre, és ezt a matematika eszközeivel támasztják alá. A szerzők algebrai kapcsolatokat találtak a határkölség és az életciklusköltség-elmélet között, amely megállapítás segíti az életciklusköltség könnyebben becslését.

*Kulcsszavak:* határkölség; életciklusköltség; közúti közlekedés

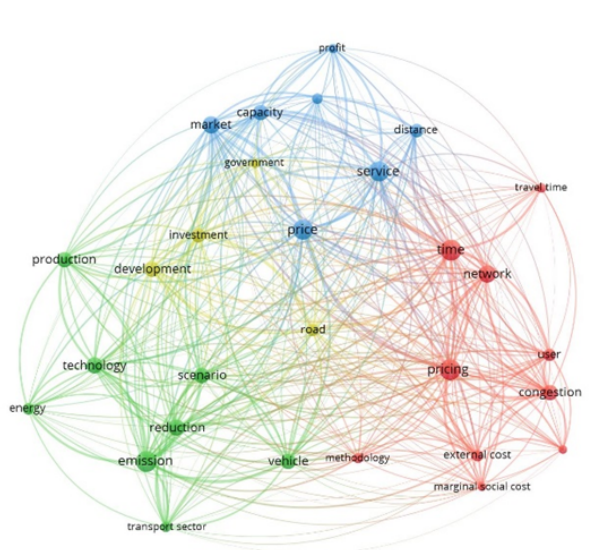
## Marginal and life cycle cost in road transport

**Abstract:** In this article, the authors studied the connection between marginal cost and life cycle cost by the analytic tools of microeconomics. They collected the most relevant literature to have a solid basis for comparison. Firstly, the marginal cost was derived and defined later than the life cycle cost. The preliminary result is that the marginal cost could be extended to life cycle cost based on our hypothesis. The extension of this theory has been supported by tools of mathematics. The authors have found algebraic connection between marginal cost and life cycle cost theory. These findings may make the estimation of life cycle cost easier.

*Keywords:* marginal cost; life cycle cost; road transport

## Bevezetés

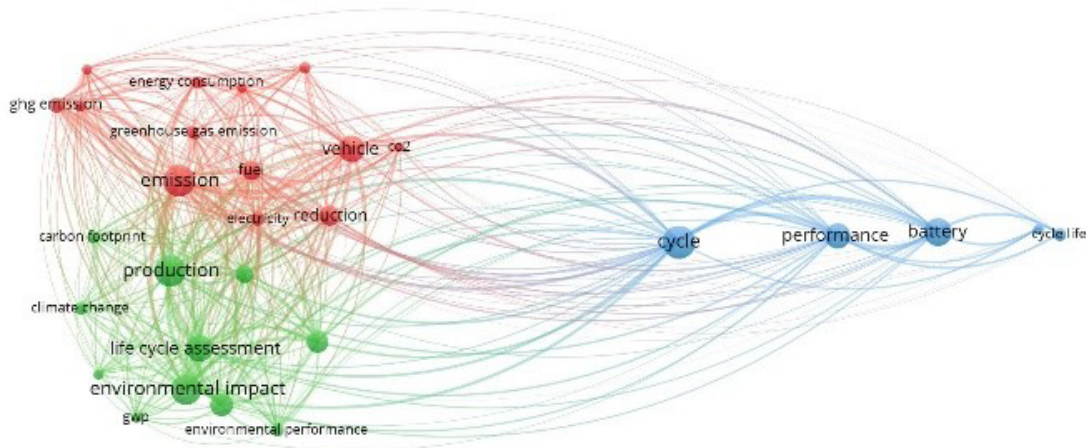
A szerzők a határkölségfüggvényhez kapcsolódó kutatási hiányosságok feltárása érdekében a Scopus adatbázisban 1964 és 2022 között 1004 olyan nyílt hozzáférésű cikket vizsgáltak, amelyek kapcsolatban állnak a határkölséggel. A VoSViewer vizualizálta az exportált adathalmaz tudományos kapcsolati hálóját az összefüggések feltárása érdekében (1. ábra):



1. ábra A Scopus adatbázisból kiválasztott határkölség témájú cikkek bibliográfiai kapcsolata (VosViewer segítségével vizualizálva)

Forrás: saját szerkesztés

A cikkek statisztikai elemzése azt mutatta, hogy a tudományos kiadványok négy csoportját lehetett megkülönböztetni. Zöld színnel a kibocsátás- és energiacsökkentésről szóló klaszter látható. A második, piros színnel jelölt csoport a torlódási díjakkal és az utazási idővel foglalkozik. A harmadik, kék színnel jelölt csoport a kapacitás optimalizálásáról és az árképzésről szól. A legkisebb negyedik klaszter pedig a közúti infrastruktúra fejlesztéséről. Ezek voltak azok a kulcsfontosságú területek, ahol a Scopus adatbázis alapján a határköltségszámítás 1964 óta fontos szerepet játszik. Ezt követően a szerzők a Scopus adatbázisában található 1225 nyílt hozzáférésű cikket is megvizsgálták 1988 és 2022 között, amelyek az életciklushoz kapcsolódnak. A VoSViewer vizualizálta az exportált adathalmazt a tudományos kapcsolat feltárása érdekében (2. ábra):



2. ábra A Scopus adatbázisból kiválasztott életciklus témájú cikkek bibliográfiai kapcsolata (VosViewer segítségével)

Forrás: saját szerkesztés

A cikkek statisztikai elemzése azt mutatta, hogy a tudományos kiadványok 3 csoportba sorolhatók. A zöld színnel jelölt klaszter az életciklus-értékelésről és a környezeti hatásokról vagy a környezeti teljesítményről szól. A második, piros színnel jelölt csoport a kibocsátáscsökkentéssel, a villamos energiával, az üvegházhatású gázok kibocsátásával és az energiafogyasztással foglalkozik, míg a harmadik, kék színnel jelölt, elkülönített klaszter az akkumulátorok életciklusáról szól. A Scopus alapján ezek voltak azok a kulcsfontosságú területek, ahol az életciklus költség 1988 óta fontos szerepet játszott.

A szakirodalom áttekintése alapján e két gazdasági jelenségnek közös metszetei lehetnek, amelyek a közlekedési ágazatban is felmerülhetnek. Ezekkel meg lehetne határozni egy átfogó és egyértelmű költségmodellt, amely tükrözné a szállítási költségeket és a szállítás hatásait. Az összetett költségmodell használatát nagymértékben befolyásolhatja a nyersanyagár, a munkatermelékenység és az átlagbérek változása, de a költségfüggvény a költségfelosztási egységtől is függ (Zöldy – Zsombók, 2018). A teherfuvarozó vállalatok számára felállított költségmodelleket érdemes a flottaszerkezetnek megfelelően felépíteni, például a járműsúly-kategória szerint (Ďurišová, 2011). Az alábbiakban összefoglaljuk a határköltséggörbe alapjait. Ehhez először is meg kell határozni a fix költséggörbék (FC) görbét (1):

$$(1) \quad FC = \text{állandó}$$

Az FC független a függő változótól, ami lehet például az idő [h], a teljesítmény [pkm] vagy a távolság [km] szállításában. Ezután másodsor a változó költséget (VC) kell meghatározni - a legegyszerűbb esetben lineáris (2):

$$(2) \quad VC(q) = a * q$$

ahol VC a q-tól függ, a regressziós paraméter (lineáris esetben a meredekség). Kérjük, vegye figyelembe, hogy ez a legegyszerűbb lineáris modell. Minden bonyolultabb modell befolyásolja a költségmodellezést. A változó és az állandó költséget együttesen tekintjük a teljes költségnek (TC), amelyet algebrailag (3) írhatunk fel:

$$(3) \quad TC = VC + FC = a * q + FC$$

A Microeconomic Theory for Social Sciences című könyv szerint az átlagos költségeket átlagos állandó költségekre (AFC) és átlagos változó költségekre (AVC) lehet osztani. Az átlagos fix költséget egy termelési egységre jutó állandó költségnek, az egy termelési egységre jutó változó költséget pedig átlagos változó költségnek nevezzük. A további elemzés szempontjából az átlagos költséggörbék nem kritikusak, ezért az egy termelési egységre jutó

növekményes költséget kell elemezni (Ficzere, 2021), (Ficzere et al., 2013). Ez a határkölség (MC) (4):

$$(4) \quad MC(q) = TC(q)' = \lim_{q_0 \rightarrow q_1} \frac{TC(q_1) - TC(q_0)}{q_1 - q_0}$$

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy mivel a fix költségrész (3) a deriválásnál eltűnik, a fix költség nem befolyásolja a határkölséget. Továbbá itt a legegyszerűbb lineáris változó költség modell került bemutatásra, amelynek deriváltja leegyszerűsödik konstansra, a lineáris meredekségére. Térjünk most rá az életciklusköltségre (Nadanyiova et al., 2020). Manapság az életciklus fenntarthatósági értékelésében (LCSA) a környezeti szempontok mellett a társadalmi, gazdasági szempontokat is figyelembe veszik (Klöpffer, 2008); (Zamagni, 2012); (Nadanyiova et al., 2020) (5):

$$(5) \quad LCSA = LCA + LCC + SLCA$$

Az LCA az életciklus-elemzés rövidítése, amelynek célja az összes környezeti költség számszerűsítése. Az LCC az életciklus-költségek rövidítése, és célja a termék teljes életciklus-költségének számszerűsítése. Az SLCA a Social Life Cycle Assessment (társadalmi életciklus-értékelés) rövidítése, amelynek célja a társadalmi hatások értékelése az életciklus során (Fauzi et al., 2021). A szakirodalom szerint az LCC több változatát különböztethetjük meg. A környezeti LCC a rendszerhatárok, a funkcionális blokkok és a módszertani lépések tekintetében megfelel az LCA-nak. Végül a társadalmi LCC magában foglalja az egyéb externáliák monetarizálását, beleértve a környezeti és társadalmi hatásokat is (Pomucz – Csete, 2015). Mivel az LCC definíció szerint tartalmazza az élettartam során felhalmozott költségeket, figyelembe kell venni, hogy a pénzáramlások különböző időpontokban jelentkeznek. Ez két okból is megnehezíti az elemzést és az összehasonlítást. Először is, az árak a piaci dinamika alapján változnak, például valószínű, hogy az összes költség, a nyersanyag, a munkaerő és az üzemanyag évről évre változik, másodsor pedig hosszú távon az árak összára is folyamatosan változni fog. Az LCC a költségeket a különböző bázisúak alapján akarja összehasonlítani, ezért az összehasonlítás során minden költséget ugyanazon bázisúhoz kell igazítani, ezért diszkontrátát vezettek be.

## Az elméletek egyesítése



3. ábra Egy termék lineáris életciklusa

Forrás: saját szerkesztés

Az elméletek összevonásához meg kell jegyezni, hogy a határkölség-elmélet a felhasználásra, a termelésre vagy a fogyasztásra vonatkozik (Rothengatter, 2003). Ilyen például a szennyező fizet elv vagy a határkölség-alapú útdíjszedés (Martin – Thoresen, 2015). Így a (4) egyenletet tekinthetjük a közúti gépjárműforgalomba belépő új gépjárműegyednek vagy a közlekedési teljesítmény egységnyi növekedésének járulékos költségének (Maffii et al., 2010). Kiterjeszthető-e ez az elmélet a teljes életciklusra? A szerzők véleménye alapján lehetséges. Megjegyzendő azonban, hogy a határkölséget napjainkig csak a termelésre vagy a fogyasztásra vonatkozóan alkalmazták (Simoni et al., 2015) (6):

$$(6) \quad \int_0^T MC(t)dt = \int_0^{t_1} MC_1(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} MC_2(t)dt + \dots + \int_{T-1}^T MC_T(t)dt$$

MC az életciklus-határkölség [€/egység].

MC<sub>i</sub> a határkölség része [€/egység].

t<sub>i</sub> az életciklus időtartama [h].

ahol [0..T] intervallum a teljes életciklus, [0..t<sub>1</sub>] intervallum lehet a tervezés, [t<sub>1</sub>..t<sub>2</sub>] intervallum lehet a nyersanyag előállítása... stb. Az időintervallumok eltérhetnek egymástól.

## Eredmények

Eredetileg az életciklusköltség-elmélet gyakran kumulálja az adatokat, de nem monetáris alapon, hanem inkább természetesen, mint [toe] (tonna kőolajegyenérték) vagy [ÜHG-kibocsátás MtCO<sub>2</sub>e] (szén-dioxid-egyenérték) (Asghar et al., 2021), (Hawkins et al., 2013). A közlekedési rendszer a gazdaság kritikus eleme, ezért a fenntarthatóság szempontjából is fontos szerepet játszik. A fenntartható közlekedés értékelésében meghatározóak az eltérő mutatók (Buzási – Csete, 2015).

A mobilitást elsősorban a technológiai fejlődés befolyásolja. A közlekedés jövőbeli formája számos kérdést tartogat a kialakulóban lévő mobilitási megoldások (autonóm járművek, megosztott mobilitás, villamosítás) várható szerepével és lehetőségeivel kapcsolatban, és magában foglalja a társadalmi-gazdasági és környezeti szempontokat (Miskolczi et al., 2021).

A határköltség-elmélet kiterjesztése az életciklusköltség-elméletre megoldható, mivel amíg a határköltség-elmélet egy pontra összpontosít, amikor az extra egységet előállítják vagy használják, addig az életciklus-elmélet a teljes termékéletet veszi figyelembe. Az LCC-ben a költségeket egy kiválasztott referenciaév alapján szeretnénk összehasonlítani, ezért az összehasonlítás során minden költséget ehhez az évhez kell igazítani. Ez a diszkontfaktor használatával történik. A 6. egyenletet tehát a következőképpen módosítjuk a diszkontráta segítségével (7):

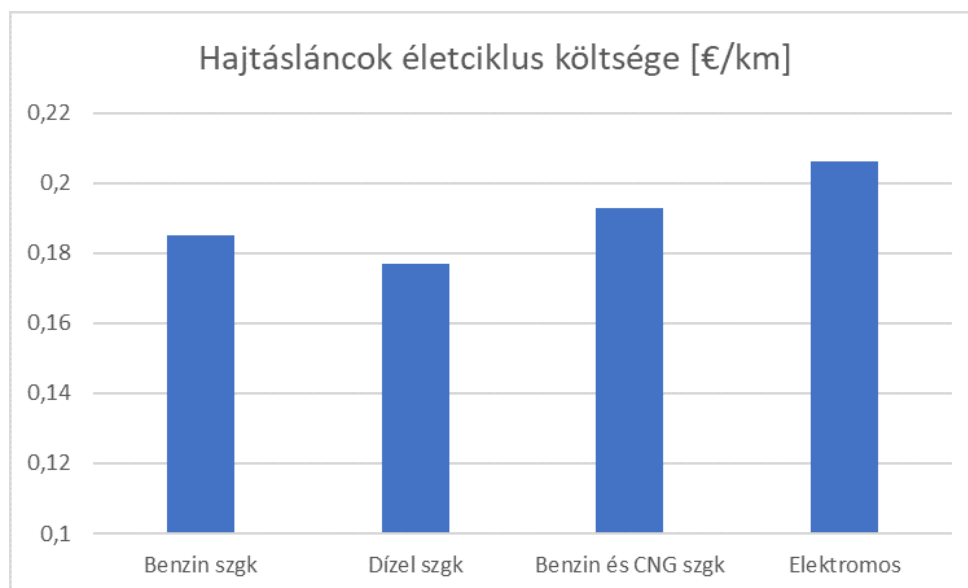
$$(7) \quad \int_0^T \frac{MC(T)dT}{(1+r)^T} \\ = \int_0^{t_1} \frac{MC_1(t)dt}{(1+r)^{t_1}} \\ + \int_{t_1}^{t_2} \frac{MC_2(t)dt}{(1+r)^{t_2-t_1}} + \dots \\ + \int_{T-1}^T \frac{MC_T(t)dt}{(1+r)^{T-(T-1)}}$$

ahol

r a diszkontráta

T<sub>i</sub> a diszkontperiódus

A szakirodalom elemzése kimutatta, hogy az eltérő közúti hajtásláncok eltérő életciklusköltségekkel terhelik a környezetüket (Furch et al., 2022):



4. ábra Hajtáslánc életciklus költségei

Forrás: Furch et al. (2022) alapján saját szerkesztés

## Összegzés

Végül a szerzők megállapítják a határkölség-elmélet kiterjesztési lehetőségét. Ez kiváló megoldás az egész folyamat részfolyamatokra való felosztására és azok kumulatív hatásának leírására, ami a részfolyamatok határkölségeinek kumulálásával valósítható meg. Napjainkig a határkölséget a közlekedési ágazatban többnyire a felhasználási részben veszik figyelembe, az életcikluskölségek becslését csak ritkán alkalmazzák, mivel rendkívül nagy az adatigénye. Ezen elméletek összevonásával a szükséges adatok feloszthatók, így pontosabb becsléseket lehet találni. Az algebrai összevonás tehát a 8. egyenletben írható le:

$$(8) \lim_{\substack{\Delta q \rightarrow 0 \\ t_i \rightarrow 0 \\ t_j \rightarrow T}} \int_{t_i}^{t_j} \frac{\Delta TC(q,t) dt}{\Delta q (1+r)^{t_j-t_i}} = LCC$$

A jelenlegi megfontolások csak a határkölség-elméletnek a környezeti életciklus-elméletre való kiterjesztésére összpontosítanak. További megfontolásokat kell végezni az életciklus fenntarthatósági értékelésére való kiterjesztés biztosítása érdekében.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik az anonim bírálók támogatását és Jana Majerová értékes tanácsait.

## Felhasznált irodalom

- Asghar, Rafiq et al. (2021): Electric vehicles and key adaptation challenges and prospects in Pakistan: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123375. <https://doi.org/hfm9>
- Für Attila – Csete Mária (2010): Modeling methodologies of synergic effects related to climate change and sustainable energy management. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 18(1), 11-19. <https://doi.org/hbkw>
- Buzási Attila – Csete Mária (2015): Sustainability indicators in assessing urban transport systems. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43(3), 138-145. <https://doi.org/hfrd>
- Đurišová, Mária (2011): Application of cost models in transportation companies. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 19(1), 19-24. <https://doi.org/hfrk>
- Fauzi, Rizal Taufiq et al. (2021): Life cycle assessment and life cycle costing of multistorey building: Attributional and consequential perspectives. *Building and Environment*, 197, 107836. <https://doi.org/gjmxnb>
- Ficzere Péter (2021): Effect Of 3d Printing Direction On Manufacturing Costs Of Automotive Parts. *International Journal For Traffic & Transport Engineering*, 11(1). <https://doi.org/hb76>
- Ficzere Péter – Borbás Lajos – Török Ádám (2013): Economical investigation of rapid prototyping. *International Journal For Traffic And Transport Engineering*, 3(3), 344-350. <https://doi.org/djst>
- Furch, Jan – Konečný, Vlastimil – Krobot, Zdeněk (2022): Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles. *Scientific Reports*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/jgff>
- Hawkins, Troy R. et al. (2013): Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of industrial ecology*, 17(1), 53-64. <https://doi.org/f4q6tx>
- Ivković, Ivan – Čokorilo, Olja – Kaplanović, Snežana (2018): The estimation of GHG emission costs in road and air transport sector: Case study of Serbia. *Transport*, 33(1), 260-267. <https://doi.org/c5cd>
- Klöpffer, Walter (2008): Life cycle sustainability assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 89-95. <https://doi.org/ck2vw5>
- Koltai Tamás (1995): Fixed cost oriented bottleneck analysis with linear programming. *Omega*, 23(1), 89-95. <https://doi.org/fvq7p6>
- Maffii, Silvia – Parolin, Riccardo – Ponti, Marco (2010): Social marginal cost pricing and second best alternatives in partnerships for transport infrastructures. *Research in Transportation Economics*, 30(1), 23-28. <https://doi.org/ddmbns>
- Martin, Tim C. – Thoresen, Thorolf R. (2015): Estimation of the marginal cost of road wear as a basis for charging freight vehicles. *Research in Transportation Economics*, 49, 55-64. <https://doi.org/hfnb>
- Miskolczi Márk et al. (2021): Urban mobility scenarios until the 2030s. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103029. <https://doi.org/gmvfw8>
- Nadanyiova, Margareta – Gajanova, Lubica – Majerova, Jana – Lizbetinova, Lenka (2020a): Green marketing as a part of the socially responsible Brand's communication from the aspect of generational stratification. *Sustainability*, 12(17), 7118. <https://doi.org/hbk8>
- Nadanyiova, Margareta et al. (2020b): Influencer marketing and its impact on consumer lifestyles. In *Forum Scientiae Oeconomia* (Vol. 8, No. 2, pp. 109-120). <https://doi.org/hgcr>
- Pomucz Anna Boglárka – Csete Mária (2015): Sustainability assessment of Hungarian lakeside tourism development. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 23(2), 121-132. <https://doi.org/hf9v>
- Rothengatter, Werner (2003): How good is first best? Marginal cost and other pricing principles for user charging in transport. *Transport policy*, 10(2), 121-130. <https://doi.org/d9gn33>
- Shatanawi, Mohamad – Abdelkhalik, Fatma – Mészáros Ferenc (2020): Urban Congestion Charging Acceptability: An International Comparative Study. *Sustainability*, 12(12), 5044. <https://doi.org/hf9x>
- SSimoni, Michele D. et al. (2015): Marginal cost congestion pricing based on the network fundamental diagram. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 221-238. <https://doi.org/f7hr83>
- Zamagni, Alessandra (2012): Life cycle sustainability assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(4), 373-376. <https://doi.org/hfnf>
- Zöldy Máté – Zsombók Imre (2018): Modelling fuel consumption and refuelling of autonomous vehicles. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 235, p. 00037). EDP Sciences.