

Közösségi közlekedési módok súlyszámának meghatározása városi környezetben – egy lehetséges módszertan

A különböző városi közlekedési módok rangszámfüggésének vizsgálatánál a rangszám azt reprezentálja, hogy az adott település milyen szintű régiónak a központja. A vizsgálat során egy lineáris regressziós modellt építettek fel a különböző közlekedési módok súlyszámának a meghatározásához.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.6.1>

Sipos Tibor Ph.D. – Szabó Zsombor

adjunktus

tanársegéd

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar,

Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

Mobilitás Kutatóközpont Közszolgáltatási Központ

e-mail: sipos.tibor@kjk.bme.hu, szabo.zsombor@kjk.bme.hu

1. BEVEZETÉS

A gazdasági fejlettség növekedésében jelentős szerepet játszik a még mindig rohamosan növekvő közlekedési igények kielégítése. Kérdés, hogy ez meddig folytatható annak tudatában, hogy a szén-dioxid-kibocsátás 24 százaléka a közlekedés számlájára róható fel. Talán Magyarországon még szerencsésnek mondhatjuk magunkat, ugyanis a kontinensen belül magas a közösségi közlekedést használók aránya, és részben ennek is köszönhető, hogy egyelőre „élhető” minőségű levegő áll rendelkezésünkre. Azonban ez közel sem jelenti azt, hogy hátradőlhetünk. A szemléletformálás és a zöld technológiai lehetőségek kihasználása mellett a közlekedésben rejlő fejlesztési potenciált is ki kell használnunk.

A gazdasági fejlődést támogató közlekedésfejlesztési projekteket zöld közlekedési mód alkalmazásával kell megvalósítanunk, így végterményben a gazdasági növekedés az ökoló-

giai lábnyom csökkenése mellett következik be. A megközelítés alkalmazása azonban megköveteli, hogy a tervezett közlekedési hálózaton a hagyományos és a zöld közlekedési módok kibocsátásának összehasonlítása elvégezhető legyen. Alapvetően azt gondolnánk, hogy az elemzés egyszerűen végrehajtható, azonban jelenleg igen csekély azon kutatások száma, amelyek erre a kérdéskörre adnak választ.

Önmagában a közösségi közlekedés fejlesztése is a fenntartható kategóriába sorolható, amennyiben eredményeképpen az egyéni közlekedési módokkal szemben a versenyképessége növekszik. A Fehér Könyv [1] ebben a kérdésben egyértelműen fogalmaz, miszerint a „*hagyományos tüzelőanyaggal működő gépjárművek használatát 2030-ig felére kell csökkenteni, 2050-re pedig teljesen ki kell küszöbölni; a jelentősebb városközpontok logisztikáját alapvetően szén-dioxid-mentesíteni kell 2030-ra*”. Emiatt a zöld közlekedési módok közé a

trolibuszt, a villamost és a metrókat soroljuk. Bár meg lehet említeni az elektromos buszok térhódítását is, azonban városi környezetben (sok jármű kis helyen), valamint az elektromos járművek akkumulátorkapacitásával szemben megfogalmazott kritikák miatt célszerűbbnek tűnik a trolibuszhálózat fejlesztése kis kapacitású akkumulátorokkal közlekedő járművekkel.

Kutatásunk kiemelt célja emiatt olyan arányszámok meghatározása az egyes városi közlekedési módokra, amelyekkel azok közvetlenül összehasonlíthatóvá válnak. Ehhez az elsődlegesen alkalmazni kívánt eszköz a lineáris regressziós modell, amelynek előnye, hogy a változók megfelelő megválasztásával a modellek paraméterei a kívánt arányszámokat eredményezik. Hátránya, hogy ezen modellekben a közösségi közlekedés mutatószámai leggyakrabban a függőváltozó szerepét veszik fel, amelyek nem rendelkeznek paraméterrel, így a hagyományostól eltérő megközelítések válnak szükségessé.

A teljesítménymutató, amelyet alkalmazunk, az a hálózatban jelenlévő egyes módok vonaldarabszáma. Ezzel a módszerrel szemben felmerülhet kritikaként, hogy a mutatószám nem veszi figyelembe azok hosszát, járatszámát, valamint utasszámát, azonban előzetes számítások azt mutatják, hogy indulásszámmal való súlyozás után sem kapunk lényegesen pontosabb képet (például: [2]), az adatok előállítására viszont lényegesen bonyolultabbá válik. Alkalmazhatóságát bizonyítja, hogy számos kutatás beemeli valamilyen formában a Smart City mutatók közé [3], azonban azt is hozzá kell tenni, hogy jogosan kritikák is fogalmazódnak meg jelen formájában használhatóságával kapcsolatban [4]. Egy esetleges súlyozási rendszer előállításával a kritikák egy része semlegesíthetővé válna.

2. IRODALOMKUTATÁS

Kutatásunk egy korábbi munka továbbfejlesztése [5]. Ebben azt vizsgáltuk, hogy a rangszám és a közösségi közlekedési hálózat között városi szinten milyen összefüggés mutatható ki.

Megállapítottuk, hogy a rangszám van annyira jó mutatószám, mint a GDP alapúak. A rang fontosságát, – igaz nem számszerűsíthető módon –, csupán empirikus úton, Lénár is megemlítette könyvében [6].

Amennyiben a városok szerepét elemezzük, kiemelten fontos kérdés, hogy lehet azokat lehatárolni? Egyrésztől Friedman [7] megemlítette, hogy a város elemzése nem történhet meg az azt körülvevő agglomeráció figyelembevétele nélkül. Másrészt viszont számos olyan település van, amely önmagában is értelmezhető. A [8] több mint 50 várost vett figyelembe és hasonlított össze, kialakítva egy listát a világ nagyvárosairól. Továbbá [9] megállapította, hogy London annyira különleges város, hogy sokkal inkább hasonlít New Yorkra, mint bármely más európai vagy angol városra [10].

A közlekedéstudománnyal foglalkozó szakirodalomban számos tanulmány hasonlítja össze az egyes városokat [11], [12], valamint ugyanez igaz a városi közösségi közlekedési rendszerekre is [13], [14]. A közlekedési módok közti összehasonlítás Cats munkáiban figyelhető meg, aki számos modellt állított fel, amelyekben az egyes közlekedési módok kialakulását és fejlődését vizsgálja, például [15].

A közösségi közlekedés közgazdasági szempontú megközelítése igen sokrétű. Egyrészt a közösségi közlekedés egy olyan termék, amelyért a felhasználók a pénzük mellett az idejükkel is fizetnek. És mivel egyre több közösségi közlekedést állítanak elő, a befektetett idő csökken a megnövekedett járatgyakoriság, a jobb lefedettség és a közvetlen útvonalak miatt [16]. Ezáltal megállapítható, hogy nagyobb és szélesebb kínálat mellett, a városokban megnő a közösségi közlekedést használók aránya [17]. Azonban a nagyobb kínálat értelemszerűen nagyobb költséggel is jár, amelynek jelentős részét az államnak, valamint a helyi önkormányzatnak kell állnia, hiszen az utazási díjak növelése könnyen az utasszám csökkenéséhez vezethet [18]. Másrésztől viszont a városi lakosság növekedésével egyre nagyobb igény mutatkozik a közösségi közlekedési rendszerekre [19], [20].

A közösségi közlekedési rendszerek elemzésénél mindig nagyon fontos kérdés, hogy milyen módszertant, eljárást alkalmazhatunk a hatékonyság mérésére. A [21] összefoglalja a legfontosabb eljárásokat, amelyekkel a közösségi közlekedési rendszerek legjellemzőbb paraméterei meghatározhatók. Budapest esetében Gaal és munkatársai elemezték a közösségi közlekedési rendszer teljesítményét [22]. A [23] a DEA elemzés módszertanát alkalmazta katalóniai városokra. Murray és munkatársai az elérhetőséget vizsgálták Brisbane-ben, valamint az agglomerációjában [19], [24]. Kim és munkatársai a szöuli metró esetében végeztek fraktálanalízist [25]. Xi'an városában a metró rendszer hatékonyságát vizsgálta a [26]. A közösségi autóbusz közlekedés hatékonyságának a korlátait Borhan és munkatársai mutatták be a malajziai Putrajaya példáján keresztül [27].

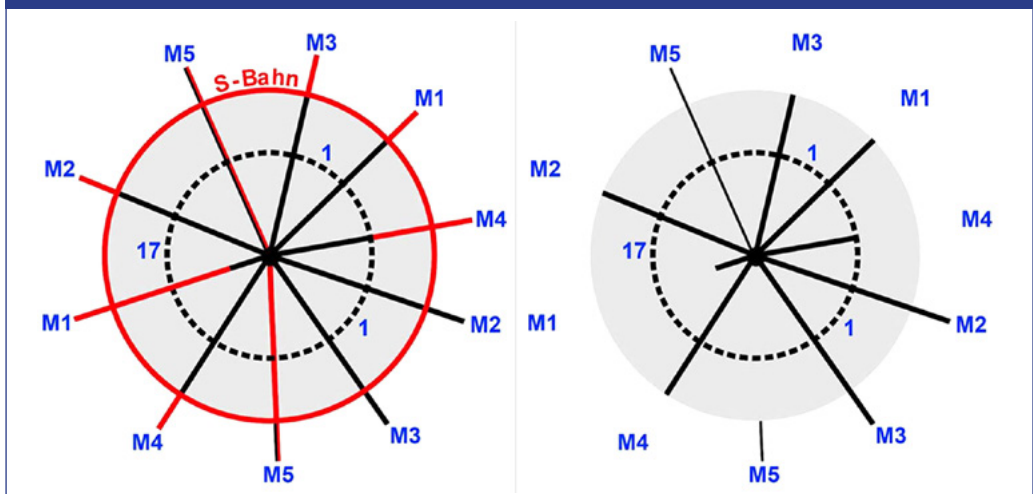
Természetesen számos olyan cikk készült, amely jelen elemzésben lévő városok esetét mutatja be. Budakeszi közösségi közlekedési rendszerét vizsgálták a klasszikus négylépcsős forgalmi modell segítségével [28]. A hozzáférhetőség szempontjából Yatskiv és munkatársai [29] vizsgálták meg Riga, valamint Šipuš and Abramović Sziszek (Sisak) városát [30]. Zágráb városát is számos elemzés vizsgálja [31], [32].

3. PROBLÉMAFELVETÉS

Az általunk kialakított módszertan arra az alapvető kérdésre keresi a választ, hogy ki lehet-e alakítani a városi közösségi közlekedési módokra is egy súlyszámot, mint ahogyan az a helyközi közlekedés esetében megoldható [33]. Alapfelvetés, hogy a közlekedéstudományokon belül minden egyes közlekedési módnak megvan a jól meghatározott szerepe, ami függ az utasszámtól, a helyközi közlekedésben az utazási távolságtól, míg helyi közlekedésben a követési időköztől [34]. Azonban ezt a szerepet számos paraméter befolyásolja. Például Budapest méreteiből adódóan a metrónak kellene azt a szerepet felvennie, hogy átmérős viszonylatokkal gyors eljutást biztosít a város egyik végéből a másikba, jelenleg azonban csupán négy olyan metrómegálló van, amely az 1950-ben a városhoz csatolt területen fekszik. Emellett a HÉV vonalak feltárják a külvárosi területeket, viszont azok egy kivételével nem érik el a belvárost. A jelenlegi, valamint az ideális hálózatbeli állapotok közti különbséget az 1. ábra szemlélteti.

A jövőre vonatkozóan az Európai Unió közlekedéspolitikai céljait összefoglaló Fehér Könyv [1] kimondja, hogy 2050-ig el kell érni a kibocsátásmentes városi közlekedést– vagyis a

1. ábra: Budapest gyorsvasúti rendszerének ideális felépítése és jelenlegi állapota
(forrás: [35])



hagyományos tüzelőanyaggal működő gépjárművek használatát 2030-ig felére kell csökkenteni, 2050-re pedig teljesen ki kell küszöbölni, valamint a jelentősebb városközpontok logisztikáját alapvetően szén-dioxid-mentesíteni kell 2030-ra. Ennek a kézenfekvő módja a közösségi közlekedési rendszerek intenzív fejlesztése, és a zöldnek tekinthető közösségi közlekedési módok alkalmazása. Az autóbushálózatok tekintetében az átállásra három lehetőség van, az elektromos buszok alkalmazása, a trolibuszhálózatok fejlesztése, a villamosok szerepének újradefiniálása.

A trolibuszhálózat Budapesten az 1950-es években alakult ki. 1933-ban kialakításra került egy trolibuszvonala, ami azonban az a II. világháborús szőnyegbombázások következtében megsemmisült. A trolibuszhálózat koncepciója a kislevegű villamosvonalak felváltására irányult. Ez először a belvárosban ment végbe, majd a Budai-hegyekre vonatkozóan is voltak tervek, ezek azonban nem valósultak meg. A folyamat végül Zuglóban fejeződött be. Így Budapesten két külön hálózat alakult ki, amely a Keleti pályaudvar – Puskás Ferenc Stadion vonalban áll összeköttetésben egymással. Hagyományosan trolibuszvonalat két esetben érdemes kiépíteni, egyrészt sűrűn beépített belvárosi részeken, ahol a károsanyag-kibocsátás elmaradása a legnagyobb előnyt biztosítja, a másik pedig a hegyvidéki terpen, ahol az elektromotor kedvezőbb karakterisztikája érvényesülhet.

A villamoshálózat Budapesten az 1800-as évek vége óta elérhető. Fejlődése a II. világháborúig töretlen, azonban utána elindult a felszámolási hullám, az európai trendek, valamint az 1968-as közlekedéspolitikai koncepció továbbgyűrűző hatásai miatt. A közút térnyerése, valamint a metróüzem iránti igény a villamoshálózat csökkenését eredményezte. Ezzel kapcsolatban Lénár [6] fogalmazott meg egy kritikát, amely szerint a közút fejlődésével, elmaradt a vasút feladatainak újrapozicionálása. Bár kutatásában a Hegyközi Kisvasúttal kapcsolatos észrevételeit írta le, az ott megfigyelt anomáliák akkoriban az egész országot terhelték. Az 1968-as közlekedéspolitikai koncepció nagy fejlődést hozott

a hazai közösségi közlekedésben, azonban a későbbi történelmi események mai szemmel nézve az elért eredményeket némiképp megkérdőjelezzik. Az kijelenthető, hogy a villamos számára máig nem alakult ki egyértelmű szerep a városi közlekedésben. Bár a korábban bemutatott szabályrendszer ([34]) továbbra is rendelkezésre áll, így a forgalomnagyság és a követési időköz egyértelműen determinálja a villamoshálózat iránti igényt, a gyakorlatban ez az elv nem teljesül, és ez nemcsak Magyarországra, hanem a teljes fejlett világra igaz [36]–[38].

Városi szinten vizsgálva kétféle modell figyelhető meg, a klasszikus állagmegóvás, vagyis az eddig megmaradt villamosviszonylatok üzemeltetése mellett. Az egyik az a turisztikai célú felhasználás, aminek leghíresebb képviselője Lisszabon. Itt a villamoshálózat teljes mértékben a turisták igényeit szolgálja ki, a legtöbb felhasználó vonaljeggyel utazik, valamint a pályasebesség is rendkívül alacsony [39].

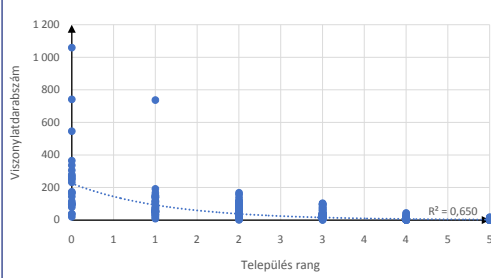
A másik a Stadtbahn- vagy Light Rail koncepció –, amelynek lényege, hogy a villamosok a külvárosokban emelt pályasebességgel, külön pályán közlekednek, míg a belvárosban „hagyományos” villamusként. Ennek egyik példája Dublin, ahol egy két vonalból álló hálózat van, amely teljesen átszeli a várost [37]. Ezzel a megközelítéssel az a probléma, hogy egy nagyon vékony határvonal van, ahol ez üzemeltethető, hiszen nagyvárosokban inkább metró, míg kisebb városokban autóbushálózatot vagy BRT (Bus Rapid Transit) rendszert építenek [38], ennek oka, hogy az emelt pályasebesség megköveteli a különböző forgalombefolyásoló eszközök telepítését, aminek beruházási költségnövelő hatása van.

A másik probléma, amibe beleütköztünk, hogy az elemzés során a közlekedési módok súlyozása a cél. A hálózatot leíró paraméterek függőváltozóként vesznek részt a modellben. A függőváltozó viszont egy adott érték minden egyes megfigyelésre, nem rendelünk hozzá paramétert. Így némileg másfajta megközelítést alkalmazunk, amelynek lényege, hogy a magyarázó változók közti arányokból következtetünk a közlekedési módok súlyszámaira.

4. AZ ADATOK ELEMZÉSE

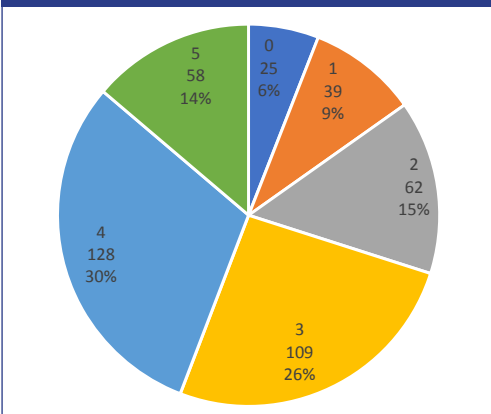
Az [5] lényege, hogy egy adott településen lévő közlekedési viszonylatok darabszáma hogyan magyarázható a települések rangszámával. Az eredmények azt mutatják, hogy egy negatív exponenciális függvényt kell keresni, eredményként a 2. ábra adódott.

2. ábra: A összesített viszonylatdarabszám a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



Az elemzéshez 421 európai települést vettünk alapul Európa minden országából (a kaukázusi országokat nem ide számítva) a Vatikánt kivéve. Ezekre építünk egy linearizált regressziós modellt, amely a viszonylatdarabszámok, valamint a rangszámok közötti kapcsolatot vizsgálja. A rangszámok ebben az esetben is azt jelentik, hogy melyik az a legrangosabb NUTS

3. ábra: Az egyes rangú települések darabszáma és gyakorisága
(forrás: saját szerkesztés)



régió, amelynek az adott település még a központja, azzal a megkötéssel, hogy amennyiben az ország NUTS-1 szinten még nem bontható, akkor a főváros rangja nem 0, hanem 1 lesz. Amennyiben NUTS-2 szinten sem bontható, akkor a főváros rangja 2, és így tovább. A másik megkötés, hogy az Európai Uniói szeptember köré is igyekeztünk figyelembe venni, amennyiben az rendelkezésre állt. A rangszámok megoszlását a 3. ábra szemlélteti.

Az egyik különbség a korábbi kutatásokhoz képest, hogy a rangszámot átskáláztuk 1-6-ig terjedő skálára, így nemcsak negatív exponenciális, hanem negatív hatványkitevős modell is építhető.

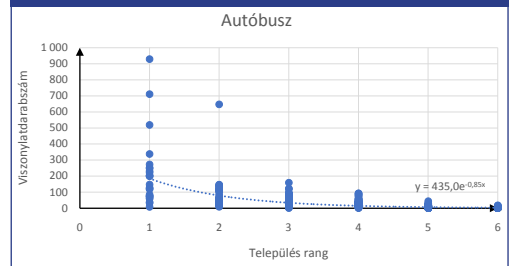
Ahhoz, hogy a kitűzött célhoz közelebb kerüljünk, meg kell vizsgálni az egyes közlekedési módokat. Öt közlekedési módot különböztettünk meg, úm.:

- autóbusz,
- trolibusz,
- villamos (és a Stadtbahn rendszerek),
- metró és elővárosi vasút,
- valamint az egyéb kategória.

4.1. Autóbusz

A települések kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy rendelkezzenek közösségi közlekedési hálózattal. Így csak olyan települések kerültek be, ahol van autóbushálózat. Az autóbuszviszonylatok darabszámát az egyes települések rangjának függvényében a 4. ábra szemlélteti.

4. ábra: Autóbusz-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

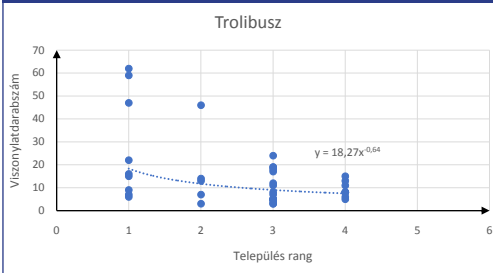


Mint az látható, az autóbuszokra inkább egy negatív exponenciális görbe illeszthető, amely az R^2 alapján jól jellemzi az adatsort.

4.2. Trolibusz

A trolibuszüzemeket tekintve a vizsgált településeken 39 található. A viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra: Trolibusz-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



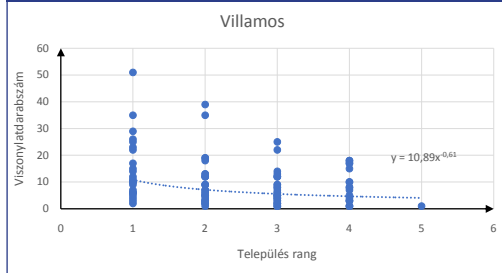
Az 5. ábrából látható, az adatokra inkább egy negatív hatványkitevős görbe illeszthető, amely nem fedi le megfelelően az adatsort. Ami látható még, hogy a trolüzemek a nagyvárosokban terjedtek el, mint egy kiegészítő szolgáltatásként. Míg az autóbuszüzemek esetén az illesztett görbe alapján egy 1 rangú városban $435,09 * e^{-0,857} = 184,67$ autóbuszviszonylat jár, addig trolibuszból ugyanez a szám 18,272.

4.3. Villamos

A vizsgált települések közül 100 esetben üzemelt villamoshálózat. Ezekben a városokban a viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 6. ábra szemlélteti.

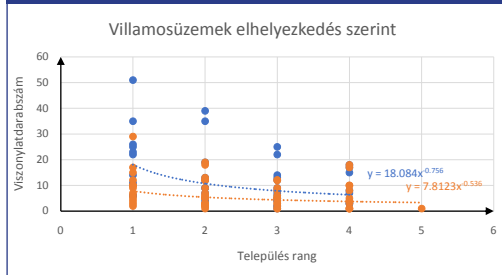
Ami látszik, hogy az adatsort itt is a negatív hatványkitevős függvény jellemzi a legjobban, amellett, hogy a görbe itt sem írja le megfelelően az adatsort. Amennyiben megvizsgáljuk a kiugró értékeket, azt láthatjuk, hogy Bécs kivételével ezek az egykori keleti blokk területén találhatóak. Ennek oka való-

6. ábra: Villamos-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



szerűsíthetően, hogy a 60-as és 70-es évekbeli hálózatcsökkentés a vasfüggönyön innen kevésbé volt jellemző. Ha az adatsort ennek megfelelően szétbontjuk, a 7. ábrát kapjuk.

7. ábra: Villamos-viszonylatdarabszámok a rangszám és az elhelyezkedés függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

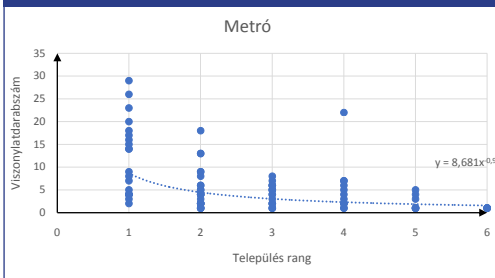


Mint az látható, a volt keleti blokk országaiban (kékkel) sokkal magasabb metszésponthoz sokkal meredekebb görbe tartozik, amely jobban is írja le az adatsort, mint a nyugati országok településeinél (narancssárga), azonban az R^2 érték még mindig nem tekinthető különösebben magasnak.

4.4. Metró

A vizsgált települések közül 86 esetben üzemelt metró vagy valamilyen város által megrendelt elővárosi vasúthálózat. Ezekben a városokban a viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 8. ábra szemlélteti.

8. ábra: Metró-viszonylatdarabszámok a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

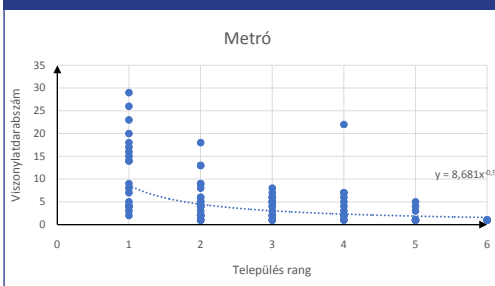


A 8. ábrából látható, és előzetesen várható is volt, itt a legmagasabb (abszolútértékben) a meredeksége a görbének, vagyis a rang csökkenésével (rangszám növekedésével) itt csökken legjobban a hálózatnagyság, és a legkisebb településekre esetleg egy-egy hálózati elem jut el.

4.5. Egyéb

Az egyéb kategóriába soroltuk azon közlekedési módokat, amelyek részei valamilyen módon a közösségi közlekedési hálózatnak, azonban egyik fenti módnak sem részei. Ezen hálózati elemek általában kevésbé veszik ki részüket a mindennapi közlekedés lebonyolításában, sokkal inkább turisztikai szerepkörrel rendelkeznek. A viszonylatok darabszámát a rangszám függvényében a 9. ábra szemlélteti.

9. ábra: Az egyéb közlekedési módok viszonylatdarabszáma a rangszám függvényében
(forrás: saját szerkesztés)



Mint ahogyan az látható, ezen adatokat is negatív hatványkitevős görbével lehet közelíteni, amelynek R^2 értéke azonban kifejezetten alacsony.

4.6. Előzetes elvárások

A módszertanban ismertetett folyamatok során minden egyes módhoz kapcsolunk egy tengelymetszetet, valamint egy meredekséget. Így az egyes közlekedési módok vizsgálata alapján, a következő előzetes elvárásokat tehetjük. A trolibusz esetében a kiegészítő szerepnek köszönhetően alacsony tengelymetszetet, valamint alacsony meredekséget várhatunk, ugyanis feltételezhető, hogy a hálózatnagyság kevésbé függ a rangszámtól. A metrók esetében egy szignifikáns negatív meredekséget várunk a rangszám emelkedésével, ami abszolútértékben a legnagyobb. Az egyéb kategóriánál szintén nem várhatunk markáns hatásokat, kis meredekségű lefolyásra lehet számítani.

Az előzetes elvárásokat a villamosüzemek esetében a legnehezebb megfogalmazni. Egyrészt egy a metróénál alacsonyabb tengelymetszetet, valamint egy kisebb meredekséget várunk el. Azonban a problémafelvetésben megfogalmazott kritikák alapján korántsem biztos, hogy a leírt karakterisztikát fogjuk visszakapni.

5. MÓDSZERTAN

Amint az az adatok elemzéséből látható, valamilyen negatív exponenciális vagy negatív hatványkitevős modell építhető fel az egyes módokra. Tehát legyen $y_1 \dots y_5$ az egyes módokként megfigyelhető viszonylatok száma a korábbi felsorolás sorrendjében, vagyis:

- autóbusz,
- trolibusz,
- villamos,
- metró,
- egyéb.

Minden egyes közlekedési módhoz rendelkezésre áll egy függvény, amely negatív exponenciális alakban (1), míg negatív hatványkitevős alakban (2) formát vesz fel.

$$y_{ij} = a_j e^{b_j x_i} \quad \forall i = 1..421, j = 1..5 \quad (1)$$

$$y_{ij} = a_j x_i^{b_j} \quad \forall i, j \quad (2)$$

ahol:

- a_j és b_j módokra jellemző paraméterek (tengelymetszet és meredekség),
- x_i a település rangja,
- i a település sorszáma,
- j az adott mód sorszáma.

Az egyes görbék mind a metszéspontjukban, mind a meredekségükben különböznek egymástól, így definiálni kell dummy változókat, mind konstans értékkel, mind a független változótól függő értékkel [40]. A viszonyítási alap az autóbuszviszonylatok darabszáma lesz, hiszen azok minden településen jelen vannak. A többi módhoz konstans értékű dummy változót definiálunk, hogy értéke akkor egy, ha az adott településen az adott közlekedési mód előfordul, egyébként pedig 0. Jelölési rendszerük a következő:

- t : trolibuszra jellemző konstans dummy változó

$$\left(t = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_2 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_2 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- v : villamosra jellemző konstans dummy változó

$$\left(v = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_3 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_3 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- m : metróra jellemző konstans dummy változó

$$\left(m = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_4 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_4 \neq 0 \end{cases} \right),$$

- e : egyéb közlekedési módokra jellemző konstans dummy változó

$$\left(e = \begin{cases} 0, & \text{ha } y_5 = 0 \\ 1, & \text{ha } y_5 \neq 0 \end{cases} \right).$$

A magyarázó változótól függő dummy változót $d_j x$ alakban definiáljuk, ha az adott közlekedési módot inkább negatív exponenciális alakban lehet közelíteni, ellenkező esetben $d_j \ln x$ alakban ($\forall j=2,3,4,5$). Ebben a felírásban a d_j értékétől függően valamelyik közlekedési módhoz tartozó dummy változót jelöli. Mivel

az adatok elemzésénél bebizonyosodott, hogy az autóbuszok viszonylatdarabszámán kívül minden más negatív hatványkitevős alakban lehet felírni, így a $d_j \ln x$ forma szerepel a végső modellben.

A villamosok elemzésénél megjelent, hogy más tényező is befolyásolhatja a viszonylatdarabszámok és a rangszám viszonyát, mégpedig, hogy az adott település az egykori keleti blokk valamely országába tartozik-e vagy sem. Legyen s az ennek megfelelő változó, amely 1 értéket vesz fel, amennyiben az adott település a keleti blokkban volt. Ekkor a villamosok viszonylatdarabszáma a következő képlettel adódik (3).

$$y_3 = \begin{cases} a_{D3} x^{b_{D3}}, & \text{ha } s = 0 \\ a_{S3} x^{b_{S3}}, & \text{ha } s = 1 \end{cases} \quad (3)$$

ahol:

- a_{D3} és b_{D3} a nyugati blokk városaira,
- a_{S3} és b_{S3} pedig a keleti blokk településeire jellemző paraméterek.

Ebben az esetben y_3 felírható a következő alakban (4), ami logaritmizálás után lineáris regressziós modellel becsülhető.

$$y_3 = a_{D3} x^{b_{D3}} \left(\frac{a_{S3} x^{b_{S3}}}{a_{D3} x^{b_{D3}}} \right)^s = (a_{D3} x^{b_{D3}})^{(1-s)} (a_{S3} x^{b_{S3}})^s \quad (4)$$

Sajnos azonban az előzetes számítási eredmények azt mutatják, hogy a villamosok számának szétbontása a települések elhelyezkedése alapján nem vezet eredményre, így ezt nem alkalmazzuk a továbbiakban.

Mindezek alapján a következő modellt kívánjuk megbecsülni (5):

$$y_{i1} y_{i2}^t y_{i3}^v y_{i4}^m y_{i5}^e = a_1 e^{b_1 x_i} a_2^t x_i^{b_2} a_3^v x_i^{b_3} a_4^m x_i^{b_4} a_5^e x_i^{b_5} \quad \forall i \quad (5)$$

Ennek a függvénynek hátránya, hogy egyrészt nem lefedettség mérték, másrészt pedig ha egy adott településen egy adott közlekedési mód nem elérhető akkor a bal oldalon 0^0 sze-

repe, ami definíció szerint nem értelmezhető. Ezeket a problémákat úgy oldjuk fel, hogy egyrészt az előnyök felülírják a hátrányokat, vagyis az egyes görbék külön-külön becsülhetők, ami cél. Ugyanakkor viszont, az R^2 értéket, ami a teljes modellt minősíti, nem tudjuk értelmezni. Másrészt a modellt úgy definiáljuk, hogy $0^0 \equiv 1$, ebben az esetben azt a függőváltozót kapjuk, amit szeretnénk. Ez a modell, ezen feltételekkel logaritmizálás után becsülhető, a következő, átrendezett alakban (6).

$$\ln y_i = \ln a_1 + t \ln a_2 + v \ln a_3 + m \ln a_4 + e \ln a_5 + b_1 x_i + b_2 t \ln x_i + b_3 v \ln x_i + b_4 m \ln x_i + b_5 e \ln x_i \quad \forall i \quad (6)$$

ahol:

- $\ln y_i = \sum_j \ln Y_{ij} = \ln \prod_j Y_{ij}$, ahol $Y_{ij} \in \{y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5}\}_{0^0 \equiv 1} \quad \forall i, j$

Ezt a többváltozós regressziós modellt általánosan a következő összefüggéssel lehet felírni [41]:

$$y_i = \alpha + \sum_{l=1}^q \beta_l x_{li} + u_i, \quad i = 1..n \quad (7)$$

ahol:

- y_i : az i -edik magyarázott változó,
- x_{li} : az i -edik magyarázott változóhoz tartozó l -edik magyarázó változó,
- α : a konstans tag,
- β_l : a l -edik magyarázó változóhoz tartozó együttható,
- k : magyarázó változók száma,
- n : ismérvek száma,
- u_i : i -edik hibatag.

6. EREDMÉNYEK

Az eredmények értékeléséhez a (6) képlettel adott modell a_j és b_j paramétereit becsültük. A paraméterbecslésnél a Hybrid-, a Fisher-, és a Newton-Raphson-módszert felváltva alkalmaztuk. Az iterációk számát legtöbbször 200-ban határoztuk meg, és az iterációkhoz tartozó konvergenciakritériumot a paraméterbecslésekben bekövetkező minimum $1E-006$ változáshoz kötöttük. Minden esetben Type III modell hatáselemzést alkalmaztunk, Wald

Chi-négyzet statisztikát és konfidencia-intervallumot választva. A konfidencia-intervallum értékét 95%-ban határoztuk meg.

Mivel a magyarázó változó önmagában nem határoz meg lefedettséget, így a modell tulajdonságaira nem térünk ki, csak a magyarázó változók paramétereinek elemzését mutatjuk be. Ezért csak a koefficiensek táblázatát közöljük. Megjegyzendő azonban, hogy az ANOVA eredményeképp az F -próba szignifikáns lett ($F=271,54$), vagyis azon nullhipotézis, miszerint minden együttható paraméter 0, elvethető [41]. A szignifikanciaszint jelölése a t -próba esetén a következő: ***, ha $p < 0,001$; **, ha $p < 0,01$; *, ha $p < 0,05$; és ., ha $p < 0,1$.

1. táblázat: A modell koefficienstáblázata
(forrás: saját szerkesztés)

	Koefficien- sek	Standard hiba	t érték
Tengely- metszet	5,4006	0,3233	16,7025***
t	3,2283	0,4622	6,9846***
v	0,4245	0,5069	0,8375
m	4,3649	0,4618	9,4513***
e	1,2974	0,4016	3,2305**
x	-0,7449	0,0682	-10,9252***
t*lnx	-0,6448	0,4423	-1,4579
v*lnx	1,6264	0,4239	3,8364***
m*lnx	-2,2445	0,3718	-6,0362***
e*lnx	-0,5504	0,3202	-1,7189.

A modell sajátosságaiból adódóan a t , v , m , valamint e változókhoz tartozó paraméterekre tengelymetszetként, míg a többire meredekségként fogunk hivatkozni. Mint az látható, a modell teljesíti az előzetes elvárásainkat. A zöld közlekedési módok közül kiemelnénk a trolibuszt, valamint a metró. A trolibusz esetén látható, hogy az előzetes elvárásainknak megfelelően a görbe meredekség-paramétere nem különbözik szignifikánsan nullától, vagyis a trolibuszüzemek kiegészítő szolgáltatásként rangtól függetlenül jelennek meg.

Emellett, szintén az előzetes elvárásoknak megfelelően, a metró meredeksége abszolút értékben a legnagyobb. Így beigazolódtott, hogy a viszonylatok darabszáma ebben az esetben csökken a legjelentősebben, a rangszám növekedésével.

Mint ahogyan azt korábban is említettük a villamos kérdésköre a legérdekesebb, mert a tengelymetszet sokkal alacsonyabb, mint bármely másik közlekedési mód esetében, viszont az is igaz, hogy nem tér el szignifikánsan nullától. Viszont a meredeksége mellett, hogy szignifikánsan eltér nullától, pozitív, ami ellentmond az előzetes elvárásainknak. Ennek oka abban keresendő, hogy a klasszikus villamoshálózatok felszámolása után, a napjainkban tapasztalható újjáépítés egy-egy vonalra koncentrálódik. Nagyon kevés a kialakított egységes hálózat, különösen igaz ez a nagyobb városokra.

Ha az így megbecsült görbéket ábrázoljuk, a 10. ábra diagramját kapjuk. Megállapítható, hogy az megfelel az előzetes elvárásainknak, habár a metró tengelymetszete talán túl magas lett. Ami még jól látszik a diagramon, hogy a villamoshoz tartozó görbe ellentétes irányú, ennek okait a korábbiakban már igyekeztünk összefoglalni.

Mindezek alapján kialakítható a válasz a cikk elején feltett kérdésre. A közlekedésfejlesztés körében van lehetőség olyan fejlődés kialakítására, amely a kibocsátás csökkenésével jár. Ennek a lehetséges módja pedig, ha a közlekedéspolitikát olyan

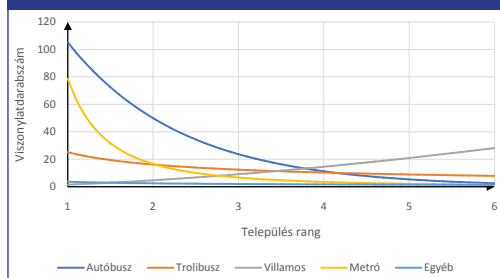
mértékben alakítjuk, hogy lehatároljuk az egyes közlekedési módok szerepét, és annak megfelelő hálózatot alakítunk ki, akár Budapest, Magyarország vagy az Európai Unió szintjén.

7. KIÉRTÉKELÉS

A fejezetekben egy új módszertant mutatunk be a közlekedési módok súlyozására. Ehhez felállítottuk egy lineáris regressziós modellt, amelyben az egyes közlekedési módok viszonylatdarabszámaikat negatív exponenciális, valamint negatív hatványkitevős görbékkel közelítettük. Megállapítottuk, hogy a trolibusz, valamint a metróhálózatok esetében az előre elvárt eredményt kaptuk, vagyis, hogy a trolibuszhálózatok csekély jelentőséggel bírnak, általában kiegészítő szerepkörben helyezkednek el. Ehhez mérten alacsony tengelymetszet, valamint alacsony meredekség jellemző rájuk. A metró ezzel szemben mind közül a legmeredekebb, hiszen csak a legnagyobb városokban figyelhető meg.

Meglepő eredmény egyedül a villamoshálózatok esetében született. Számos indok felmerülhet azzal kapcsolatban, hogy miért kaptuk ezt a végeredményt. Véleményünk szerint azonban a meglepő eredmények oka, hogy nem alakult ki egy egységes keretrendszer, amiben definiálni lehetne a villamosvonalak hálózaton belüli szerepét. Mindenképpen fontos megjegyezni, hogy a közlekedéstudományokban léteznek kritériumok, amelyek közlekedésszakmai paraméterek alapján meghatározzák az egyes közösségi közlekedési módok szerepét [34], azonban ezek a gyakorlatban nem, vagy csak korlátozottan teljesülnek. Számos történelmi, és jelenlegi példát lehetne hozni Budapestről is, ahol az adott közlekedési mód alkalmazása a szakmai paraméterek alapján kérdéses, ettől azonban eltekintően, ugyanis a cikknek nem célja az egyes jelenlegi közlekedéshálózati elemek vizsgálata. Így, amennyiben hatékony közlekedésfejlesztés a cél, mindenképpen szükséges a szerepkörök gyakorlatban is megjelenő lehatárolása.

10. ábra: Az egyes közlekedési módokhoz illesztett görbék ábrázolása
(forrás: saját szerkesztés)



8. ÖSSZEFOGLALÁS

Célunk volt a városi közösségi közlekedési hálózatokban megjelenő módokra felépített súlyszám-rendszer bemutatása, különös tekintettel a módszertanra, amelyen keresztül eljutottunk idáig. A súlyszám-rendszer azonban nem alakítható ki ezek alapján, ugyanis a villamoshálózatok szerepe tisztázatlan. Ez pedig megkérdőjelezi azt a törekvést miszerint lehetséges-e egyáltalán ilyen súlyszám-rendszer városi közösségi közlekedési hálózatokra vonatkozó kialakítása.

A kutatás során egy 421 települést felvonultató adatbázist vizsgáltunk, ebből levonva a következtetéseket. A probléma ezzel a megközelítéssel, hogy nem alkalmaztunk széleskörűen elfogadott mintavételezési eljárásokat, hanem nagy mintával igyekeztünk az eredmények elfogadhatóságát biztosítani. Célszerű lehet egy olyan adatbázis létrehozása, amely még nagyobb mintaelemszámmal, de a mintavételezés szabályainak megfelelően állna elő, és ezen keresztül is alátámasztani a felvetéseket, ugyanis ebben az esetben elképzelhető, hogy egyértelműbb eredményeket kapunk.

A kutatás eredményeképpen két jól meghatározott út áll rendelkezésre, amit követni lehet a jövőben. Az egyik, hogy egy különböző módszertannal mégiscsak előállítjuk a városi közösségi közlekedési módok súlyszámát, annak ellenére, hogy a szerepek nem tisztázottak. A másik lehetséges folytatás, az a villamoshálózatok szerepének megértése, tisztázása, valamint előremutató módszertanok lefektetése arra vonatkozóan, hogy hogyan lehetséges minél hatékonyabb közösségi közlekedési rendszereket kialakítani.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Európai Bizottság, 'Fehér Könyv – Útiter az egységes európai közlekedési térség megvalósításához – Úton egy versenyképes és erőforrás-hatékony közlekedési rendszer felé', Európai Bizottság, Brüsszel, COM/2011/0144, Mar. 2011. Accessed: May 30, 2021. [Online]. Available: <https://eur->

lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&qid=1622382850857&from=HU

- [2] Szabó Z. and Török Á., 'Tranzitforgalmak Magyarországon: Egy térökonometriai elemzés', *Közlekedéstudományi Konferencia*, vol. 8, pp. 201–212, 2018.
- [3] Szalmáné Csete M., 'Smart city koncepciók a fenntartható városfejlesztésben', presented at the *Okos városok és területi statisztika*, Budapest, Feb. 27, 2019. Accessed: Oct. 15, 2019. [Online]. Available: https://www.ksh.hu/okosvarosok_2019_02_27
- [4] Dusek T., 'Az okos városok komplex mutatószámai', presented at the *Okos városok és területi statisztika*, Budapest, Feb. 27, 2019. Accessed: Oct. 15, 2019. [Online]. Available: https://www.ksh.hu/okosvarosok_2019_02_27
- [5] Z. Szabó, Á. Török, and T. Sipos, 'Order of the Cities: Usage as a Transportation Economic Parameter', *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 164–169, 2021, DOI: <https://doi.org/gt43>
- [6] Lénár G., *Az eltékozolt kisvasút*, 2nd ed. Sátorlajújhely: dr. Lénár György, 2015.
- [7] J. Friedmann, 'The Wealth of Cities: Towards an Assets-based Development of Newly Urbanizing Regions: The Wealth of Cities', *Development and Change*, vol. 38, no. 6, pp. 987–998, Nov. 2007, DOI: <https://doi.org/dbd7hw>
- [8] J. V. Beaverstock, R. G. Smith, and P. J. Taylor, 'A roster of world cities', *Cities*, vol. 16, no. 6, pp. 445–458, Dec. 1999, DOI: <https://doi.org/c32fvx>
- [9] P. J. Taylor and M. Hoyler, 'The spatial order of European cities under conditions of contemporary globalisation', *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, vol. 91, no. 2, pp. 176–189, 2000, DOI: <https://doi.org/bctg9h>
- [10] T. Herrschel and P. Newman, *Governance of Europe's city regions: planning, policy & politics*. Routledge, 2003.
- [11] M. Felleson and M. Friman, 'Perceived Satisfaction with Public Transport Service in Nine European Cities', *J Transp Res Forum*, vol. 47, no. 3, Feb. 2012, DOI: <https://doi.org/f23gfb>
- [12] T. Klinger, J. R. Kenworthy, and M.

- Lanzendorf, 'Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities', *Journal of Transport Geography*, vol. 31, pp. 18–29, Jul. 2013, DOI: <https://doi.org/f5c363>
- [13] J. Pucher and S. Kurth, 'Verkehrsverbund: the success of regional public transport in Germany, Austria and Switzerland', *Transport Policy*, vol. 2, no. 4, pp. 279–291, Oct. 1995, DOI: <https://doi.org/bnkmrz>
- [14] J. Sienkiewicz and J. A. Holyst, 'Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland', *Phys. Rev. E*, vol. 72, no. 4, p. 046127, Oct. 2005, DOI: <https://doi.org/b43qnm>
- [15] O. Cats, 'Topological evolution of a metropolitan rail transport network: The case of Stockholm', *Journal of Transport Geography*, vol. 62, pp. 172–183, Jun. 2017, DOI: <https://doi.org/gb2vm8>
- [16] J. Preston, 'Public transport demand', in *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*, C. Nash, Ed. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015, pp. 192–211. DOI: <https://doi.org/gt44>
- [17] J. Scheurer and S. Porta, 'Centrality and connectivity in public transport networks and their significance for transport sustainability in cities', presented at the World Planning Schools Congress, Mexico DF, Jul. 13, 2006.
- [18] J.-E. Nilsson, 'Congestion and scarcity in scheduled transport modes', in *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*, Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015, pp. 134–153.
- [19] A. T. Murray, R. Davis, R. J. Stimson, and L. Ferreira, 'Public Transportation Access', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 3, no. 5, pp. 319–328, Sep. 1998, DOI: <https://doi.org/bbtmzx>
- [20] A. A. Schmalz and Á. Török, 'Transportation in Brazil: Joinville', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 46, no. 2, pp. 78–81, 2018, DOI: <https://doi.org/gt45>
- [21] M. A. Saif, M. M. Zefreh, and A. Török, 'Public Transport Accessibility: A Literature Review', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 47, no. 1, pp. 36–43, 2019, DOI: <https://doi.org/gt46>
- [22] G. Gaal, E. Horváth, Á. Török, and M. Csete, 'Analysis of Public Transport Performance in Budapest, Hungary', *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, vol. 23, no. 1, pp. 68–72, 2015, DOI: <https://doi.org/gt47>
- [23] V. Pina and L. Torres, 'Analysis of the efficiency of local government services delivery. An application to urban public transport', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 35, pp. 929–944, 2001, DOI: <https://doi.org/cmjcs2>
- [24] A. T. Murray, 'Strategic analysis of public transport coverage', *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 35, no. 3, pp. 175–188, Sep. 2001, DOI: <https://doi.org/cjfxv9>
- [25] K. S. Kim, L. Benguigui, and M. Marinov, 'The fractal structure of Seoul's public transportation system', *Cities*, vol. 20, no. 1, pp. 31–39, Feb. 2003, DOI: <https://doi.org/fdphq4>
- [26] J. Zhang, J. Li, and Y. Wu, 'A Study of Metro Organization Based on Multi-objective Programming and Hybrid Genetic Algorithm', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 45, no. 4, p. 223, Aug. 2017, DOI: <https://doi.org/gt48>
- [27] M. N. Borhan, A. N. H. Ibrahim, D. Syamsunur, and R. A. Rahmat, 'Why Public Bus is a Less Attractive Mode of Transport: A Case Study of Putrajaya, Malaysia', *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 47, no. 1, pp. 82–90, 2019, DOI: <https://doi.org/gt49>
- [28] F. Gumz and Á. Török, 'Investigation of Cordon Pricing in Budakeszi', *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 43, no. 2, pp. 92–97, 2015, DOI: <https://doi.org/gt5b>
- [29] I. Y. (Jackiva), E. B. (Budiloviča), and V. Gromule, 'Accessibility to Riga Public Transport Services for Transit Passengers', *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 82–88, 2017, DOI: <https://doi.org/gt5c>
- [30] D. Šipuš and B. Abramović, 'The Possibility of Using Public Transport In Rural Area', *Procedia Engineering*, vol. 192, pp. 788–793, 2017, DOI: <https://doi.org/gt5d>
- [31] I. Dadić, G. Štefančić, and M. Rajsman, 'Zagrebačka County and the City of Zagreb as the Centre of the Croatian Transport

- System', *Promet-Traffic-Traffico*, vol. 13, no. S4, pp. 17–24, 2001.
- [32] M. Matulin, Š. Mrvelj, and N. Jelušić, 'Evaluating Public Transport Performances by Utilizing Probe Vehicles', *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 183–193, 2014. DOI: <https://doi.org/gt5f>
- [33] Szabó Z. and Sipos T., 'Ingázás a nagyvárosba – Egy országos igénymodell felállítása', *Területi Statisztika*, vol. 60, no. 5, pp. 581–605, 2020, doi: 10.15196/TS600504.
- [34] Vásárhelyi B. and Szabó D., Eds., *Városi közlekedési kézikönyv*. Budapest: Műszaki Kiadó, 1965.
- [35] L. Á. Molnár, 'Arányok, egyensúlyok, értékek a közlekedésben avagy miként lehet rengő föld idején házat építeni?', presented at the XIX. Városi közlekedés aktuális kérdései, Visegrád, 0 12, 2019.
- [36] M. Börjesson, R. D. Jonsson, and M. Lundberg, 'An ex-post CBA for the Stockholm Metro', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 70, pp. 135–148, Dec. 2014, DOI: <https://doi.org/f3nxx3>
- [37] B. Caulfield, D. Bailey, and S. Mullarkey, 'Using data envelopment analysis as a public transport project appraisal tool', *Transport Policy*, vol. 29, pp. 74–85, 2013, DOI: <https://doi.org/f5c36g>
- [38] P. Hodgson, S. Potter, J. Warren, and D. Gillingwater, 'Can bus really be the new tram?', *Research in Transportation Economics*, vol. 39, pp. 158–166, 2013, DOI: <https://doi.org/gt5g>
- [39] Carris, 'Relatório e Contas 2018 (Reports and Accounts)', Companhia Carris de Ferro de Lisboa, E.M., S.A., Lisszabon, 2018. [Online]. Available: http://www.carris.pt/fotos/editor2/carris_relatorio_e_contas_3.pdf
- [40] G. S. Maddala, *Introduction to Econometrics*, 3rd ed. Chichester, UK: John Wiley&Sons Ltd, 2001.
- [41] Bolla M. and Krámlí A., *Statisztikai következtetések elmélete*, 2nd ed. Budapest: TYPOTEX Kiadó, 2005.



Determining the weighting factor of public transport modes in urban environments – a possible methodology

The authors examine whether it is possible to carry out transport development, and through it economic development, as a result of which emissions are reduced at the system level. This requires a comparison of existing public transport networks by mode, which is very difficult, however, as the appropriate ratios are not available. During the research, a linearized regression model was constructed, which was based on the examination of 421 cities. The model provides information on the role of each mode of transport and, through this, to the considerations to be taken into account in the development of the transport networks.



Bestimmung des Gewichtungsfaktors öffentlicher Verkehrsträger im urbanen Umfeld – eine mögliche Methodik

Die Autoren untersuchen, ob eine Verkehrsentwicklung und damit eine wirtschaftliche Entwicklung durchführbar ist, wodurch die Schadstoffemissionen auf Systemebene reduziert werden können. Dies erfordert einen Vergleich der Verkehrsträger im bestehenden ÖPNV-Netz, was jedoch sehr schwierig ist, da die entsprechenden Kennzahlen nicht vorliegen. Während der Forschung wurde ein linearisiertes Regressionsmodell entwickelt, in dem 421 Städte untersucht wurden. Das Modell gibt eine Auskunft über die Rolle der einzelnen Verkehrsträger und damit über die bei der Entwicklung der Verkehrsnetze zu berücksichtigenden Überlegungen.