

A DEBRECENI SZUBURBANIZÁCIÓ NEGATÍV HATÁSAINAK ENYHÍTÉSE EGY ÚJ KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSI FORMÁVAL, A TRAM-TRAINNEL

MITIGATING THE NEGATIVE EFFECTS OF SUBURBANISATION IN DEBRECEN WITH A NEW FORM OF PUBLIC TRANSPORT, THE TRAM-TRAIN

Havasi Márton Zsombor¹ Karcagi-Kováts Andrea

¹Ökonómia Intézet, Mikro- és Makroökonómia nem önálló Tanszék, Gazdaságtudományi Kar, Debreceni Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

Szén-dioxid kibocsátások;
Fenntarthatóság;
urbanizáció;
ingázás;
forgalomszámlálás

Keywords:

Carbon emissions;
Sustainability;
Urbanisation;
Commuting;
Traffic counting

Összefoglalás

Debrecen a szuburbanizáció és a fejlesztések következtében kiterjedt vonzáskörzettel rendelkezik, ami egyre nagyobb közúti közlekedési gondokat teremt. Megkérdőjelezhetetlen a közlekedési infrastruktúra fejlesztésének szükségessége. A tram-train (elővárosi villamos) egy modern tömegközlekedési forma, ami városon belül, illetve települések között közlekedik, így egyaránt szolgálná Debrecen és elővárosának forgalmát. A kutatás célja, hogy megvizsgáljuk & kizárólag ökológiai szempontból & azt, hogy érdemes-e Debrecenben egy elővárosi villamost kiépíteni. Ehhez fel kellett mérni Debrecen elővárosi forgalmát, amit keresztmetszeti forgalomszámlálással és folthatás módszerrel állapítottam meg.

Abstract

Debrecen has an extensive agglomeration area due to suburbanisation and ongoing developments, which is creating increasing road traffic problems. The need to improve transport infrastructure is unquestionable. The tram-train is a modern form of public transport, which would serve both the city and the suburbs of Debrecen, by providing transport within the city and between settlements. The objective of my research is to assess - from an ecological point of view only - whether it is worthwhile to build a tram-train system in Debrecen. Therefore, I had to study the traffic in the suburbs of Debrecen, which I determined using cross-sectional traffic counts and the staining method.

¹ Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36203706462
E-mail cím: havasi.marton9@gmail.com

1. Bevezetés

A városok fejlődése 4 evolúciós szakaszra osztható: i) urbanizáció ii) szuburbanizáció iii) dezurbanizáció iv) reurbanizáció (Enyedi, 2011). A szuburbanizációs szakaszban a város központi lakosságának száma csökken, a régi lakosok egy része a város peremterületeiben, vagy a vonzaskörzetében telepedik le. A szuburbanizáció során a forgalomáramlás egyre inkább a környéki periféria felé tolódik, ami a belső központi területek rovására nő (Erdős, 2004, Nagy & Hegedűs, 2016, Pengjun & Shengxiao, 2018).

A szuburbanizációnak oka lehet a nyugodt, természethez közeli békés területen való tartózkodás vágya, emellett a szennyezett és zajos belvárostól való elszakadás is. A külső területek gyakran tágasabb privát térrel, illetve olcsóbb lakhatási feltételekkel járnak együtt (Bajmócy & Györki, 2012, Nagy & Hegedűs, 2016, Pengjun & Shengxiao, 2018). A gazdasági és társadalmi fejlődés által elterjedté váltak az infokommunikációs technológiák és a személygépjárművek, amik elősegítették az agglomeráció kialakulását. Ezek az alapvető okok Magyarországon is, de hazánkban a saját ingatlan birtoklása nagyobb befolyásoló tényező, mint máshol (Nagy & Hegedűs, 2016).

A szuburbanizáció miatt a mobilitás megváltozott² (Nagy & Hegedűs, 2016, Pengjun & Shengxiao, 2018), a lakosság többször és nagyobb utakra használja az autóját. Az emberek nagy része autótól függő életstílust követ, ami növeli a légszennyezést, a közlekedési torlódásokat és a balesetek számát (Pengjun & Shengxiao, 2018).

A szuburbanizációs folyamatok Nyugat-Európában már egy ideje elkezdődtek (Enyedi, 2011, Pengjun & Shengxiao, 2018), sőt a fejlett városok között már van olyan is, ami dezurbanizációs vagy reurbanizációs szakaszban tart (Enyedi, 2011). Magyarországon a rendszerváltozás után léptek a nagyobb városok a szuburbanizációs szakaszba, mint például Budapest vagy Debrecen (Nagy & Hegedűs, 2016).

A körülbelül 30 éve tartó debreceni szuburbanizációs szakasz közlekedési gondokat okoz, amit a közösségi közlekedési rendszer fejlesztésével lehetne orvosolni. A város közeli vonzaskörzetében 12 település található, de figyelembe kell venni azokat a külsőbb településegységeket is, melyekkel szorosabb a város kapcsolata (KSH, 2014). A 2011-es és 2022-es népszámlálás között Debrecen lakossága 5,4%-kal csökkent, míg belső vonzaskörzetének lakossága 2,3%-kal nőtt (KSH, 2011, 2022). A munkahelyek, szolgáltatások és kulturális lehetőségek Debrecenben koncentrálnak és emiatt jön létre az ingázás, aminek melléktermékei a közúti torlódások és a közösségi közlekedés (EDC, 2023). A Debrecenbe ingázók száma 42 ezer fő naponta, amiből 35 ezer fő 40 kilométeren belül lakik (DMJV, 2023).

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. TRANZITORIENTÁLT FEJLESZTÉS (Transit Oriented Development)

A viszonylag új keletű tranzitorientált fejlesztés (a továbbiakban TOD) célja, hogy ellensúlyozza a szuburbanizáció hatására kialakuló problémákat, és enyhítse azok kedvezőtlen következményeit. A TOD elmélete először az 1990-es évek elején jelent meg (Calthrope, 1993), ami egy olyan városfejlesztési modell, melynek alap gondolata szerint a városok fejlesztésében az embereket, a közlekedést és a fenntarthatóságot kell elsődleges szempontként kezelni. Célja, hogy fellépjen a város-szétterülés és az értelmetlen urbanizáció ellen, továbbá törekszik a városi beépítettség sűrítésére. Elősegíti a magas minőségű, sűrű, kompakt és többfunkciós területek koncentrációját a közlekedési csomópontok és útvonalak mentén. A koncepció elutasítja a környezetszennyezést és az autófüggőséget, előnyben részesíti a tömegközlekedést, a gyalogos és kerékpáros közlekedést. Egy mobilis, élhető és korszerű várost hoz létre (Feudo & Festa, 2012, Feudo, 2014, Padeiro et al., 2019, Thomas et al., 2018).

A világ számos városában megfigyelhetők a TOD alapú fejlesztések, amelyek jellemzői régióként eltérnek a helyi társadalmi és gazdasági sajátosságok függvényében. A regionális léptékű TOD fejlesztések ritkábbak, inkább a városok és azok közvetlen környezetében jellemzőek (Feudo, 2014). A TOD kialakulását nagymértékben inspirálta az új urbanizmus

² Az emberek helyváltoztatása két okkal történhet; lehet kényszerű és szükséges, azaz hivatásforgalom, illetve lehet saját célú utazás Lenzsér L. & Reider (2017).

mozgalom, amely az intelligens városfejlődés alapelveit követi (Feudo, 2014, Padeiro et al., 2019).

A földhasználat és a közlekedés szorosan összefonódik, így a fejlesztések integrált megközelítést igényelnek. A várossűrűség, funkciók eloszlása és tervezési minőség hatással van az autótulajdonlásra, a torlódásokra, valamint a társadalmi és környezeti fenntarthatóságra (Feudo, 2014, King, 2011, Levinson, 2008, Pengjun & Shengxiao, 2018).

A tranzitorientált fejlesztések ösztönzik az embereket arra, hogy közösségi közlekedési csomópontok közelébe költözzenek, és fenntarthatóbb módon & gyalogosan vagy kerékpárral & közlekedjenek (Pengjun & Shengxiao, 2018). A személygépkocsik számának emelkedésével a korábban gyalogosbarát, tömegközlekedés-központú városok autóvárosokká váltak. Ez a változás városi terjeszkedést, megnövekedett energiafogyasztást és fokozott autófüggőséget eredményezett. A várostervezés elsődleges célja hosszú ideig az autós közlekedés kényelmének növelése volt, főként a forgalmi torlódások elkerülése miatt, azonban ezzel együtt figyelmen kívül hagyták az autóhasználat negatív hatásait. Az autóközpontú társadalom kialakulása mögött számos kiegyensúlyozatlan ipari, gazdasági, energetikai és földhasználati irányelv állt, melyek a nem megújuló erőforrások intenzív, ellenőrizetlen kiaknázását eredményezték. Számos kutatás alátámasztja, hogy az autófüggőség hosszú távon nem fenntartható, és olyan problémákhoz vezet, amelyek megoldásához még több autóhasználat szükséges. Ezt a jelenséget nevezzük az autófüggőség spiráljának. Ez szöges ellentéte annak az egyensúlyon alapuló közlekedési rendszernek, amit a multimodalitás, a tranzitorientált fejlesztések és a magas hozzáférhetőségű mobilitás jellemez. A TOD új alternatívát kínál, szakít az autóközpontú városfejlesztéssel (Feudo, 2014).

A francia Nord-Pas-de-Calais régióban végzett vasúthálózat fejlesztésével kapcsolatos kutatás szerint a TOD modell elősegíti a városi koncentrációt, csökkenti az autópályák forgalmát és gazdasági élénkülést hoz az állomások körüli térségekben. A legsikeresebb hatások ott jelentkeztek, ahol a lakosság nyitottabb volt az alternatív közlekedésre és kormányzati korlátozások csökkentették az autóhasználatot (Feudo, 2014). Az Észak-Amerikában végzett kutatások szintén kimutatták, hogy a vasútállomások környékén az autótulajdonlás mértéke alacsonyabb volt az átlagosnál. Ez nem kizárólag a vasútállomásoknak köszönhető, hanem más TOD-tényezőknek is, mint például a parkolási lehetőségek, a lakástípusok, a környék beépítettsége vagy a helyi buszhálózat jelenléte (Thomas et al., 2018).

A tömegközlekedési megállókat két dimenzióban vizsgálhatjuk: idő és távolság szerint. Általánosságban elmondható, hogy a megálló környéke 10&15 perces séta-távolságában élénkülnek fel. Hasonló alapokon nyugszik a francia Disques de Valorisation des Axes de Transports (DIVAT) módszertana is, ami számos városban alkalmazott gyakorlat. Itt nem az eltelt idő, hanem a gyaloglással megtett távolság alapján határozzák meg a kifejtett hatás mértékét. Minden megálló köré egy 500 méteres sugarú kört képzelnek el, ez az a zóna, ahol a legerősebb hatás várható. A kijelölt zónák vizsgálata lehetőséget ad arra, hogy a várostervezők követhessék a térségben bekövetkező változásokat, és ennek fényében irányíthassák a fejlesztéseket. Mindez természetesen csak akkor lehet hatékony, ha a város sajátos adottságait is figyelembe veszik (Feudo & Festa, 2012) Más kutatások szerint vásárlási szokások esetében ez a befolyási zóna még kisebb: csupán 0,25 mérföld, azaz valamivel több mint 400 méter (Pengjun & Shengxiao, 2018), de egyes vizsgálatok szerint akár 1 mérföldet is hajlandók gyalog megtenni az emberek (kb. 1609 métert) (Cervero, 2006). A gyalogos közlekedés megtervezése tehát elengedhetetlen. Egy francia kutatás, amit a Lille Métropole Communauté Urbaine készített, kimutatta, hogy a metrómegállókhöz az emberek 80%-a, a villamosmegállókhöz több mint 65%-a, míg a vasútállomásokhoz 50%-a gyalog érkezik, és az emberek jellemzően 1000 méteres távolságig szívesen sétálnak, míg 1500 métertől kezdve már egyéb közlekedési eszközök használata a preferált (Feudo & Festa, 2012). A TOD gyakorlati alkalmazását jelentősen befolyásolja az adott ország kulturális környezete is. Egy Hollandiában végzett kutatás arra világított rá, hogy a holland lakosság körében a kerékpározását jobban preferálják a gyaloglásnál. Ezért ott akár 2-3 km-es körzeteket is könnyedén lefednek & így igazítják a városrendezést a TOD alapelveihez (Thomas et al., 2018).

A TOD kialakítása összetett városfejlesztési feladat, és ahhoz, hogy az intézkedések valóban elérjék céljukat, a városnak rendelkeznie kell gazdasági és pénzügyi háttérrel, és szükséges a lakosság és a döntéshozók együttműködése. A tervezésbe be kell vonni a helyieket

és figyelembe kell venni a társadalmi, gazdasági és kulturális sajátosságokat (Feudo & Festa, 2012, Thomas et al., 2018).

Számos tényező akadályozhatja a TOD alapelveinek gyakorlati megvalósítását. Ilyenek a politikai és intézményi nehézségek, működési problémák, valamint a helyi kulturális és területi adottságok kedvezőtlen volta. A föld- és ingatlanpiac dinamizmusának hiánya vagy a magánbefektetők alacsony érdeklődése szintén visszafoghatja a fejlődést (Feudo & Festa, 2012, Thomas et al., 2018). Jelentős gátat jelenthet továbbá egy elhúzódó gazdasági válság, a TOD-hoz kapcsolódó tudományos és politikai konszenzus hiánya, a gyenge regionális kormányzati struktúrák, az irodaterületek túlzott kínálata, valamint az eltérések a lakóingatlanok kínálata és kereslete között. A földterületek és ingatlanok szétagolt tulajdonviszonyai szintén akadályt jelenthetnek az állomásövezetek fejlesztésében (Thomas et al., 2018).

Fontos megjegyezni, hogy a TOD alapelvei már jóval az elmélet hivatalos megfogalmazása előtt megjelentek a várostervezésben. A 20. század elején több olyan város is létrejött, melyek szerkezete kompakt volt és tömegközlekedési csomópontok köré szerveződött (Feudo & Festa, 2012). A gépjárműállomány drasztikus növekedése ösztönözte a tranzitorientált területhasználat és a közlekedéstervezés tudatosabb alkalmazását (Feudo, 2014). Az Európai Unióban a TOD-IS-RUR (Transit Oriented Development for Inclusive and Sustainable Rural-Urban Regions) nevű kezdeményezés célja a zöld közlekedés népszerűsítése és a gépjárműhasználat csökkentése. A projekt kiemelten foglalkozik a vidéki városokkal, mivel az európai lakosság jelentős része ilyen térségekben él. A projekt célja a befogadó, innovatív, intelligens, zöld, integrált és fenntartható közlekedési politikák kialakítása (European Commission, 2012).

A TOD témakörében született kutatások többsége Észak-Amerikában, Európában és Ausztráliában zajlott, így eredményeik nem feltétlenül érvényesek más térségekre. Kínában a központi és helyi kormányzatok aktívan ösztönzik a TOD alkalmazását, világos iránymutatásokat tartalmaznak, és sok kutató szerint a TOD hatékony eszköz lehet Kína fenntartható közlekedésének biztosítására (Pengjun & Shengxiao, 2018).

Számos város foglalkozik a sikeres külföldi gyakorlatokat adaptálva a TOD megvalósításával. Ezek a példák nemcsak a lehetséges sikereket mutatják meg, hanem rávilágítanak a megvalósítás során felmerülő problémákra is. Noha léteznek általánosítható eszközök és folyamatok, melyek kiindulási alapot nyújthatnak a várostervezők számára, egyetlen modell sem alkalmazható általánosan. Éppen ezért elengedhetetlen a nemzetközi gyakorlatok kritikus elemzése, a sikerek és kudarcok figyelembevétele, hogy a helyi alkalmazás során elkerülhető legyenek a hibás lépések (Thomas et al., 2018).

2.2. SMART CITY

Debrecen életében egy másik városfejlesztési modell is releváns jelenleg, a SMART City, melynek stratégiáját jelenleg a DKV ZRT.³ berkeiben fejlesztik.

Ez a városfejlesztési modell az infokommunikációs technológiák elterjedésével alakult ki. Egy intelligens, innovatív, élhető, hatékony, fenntartható, igazságos, okos, egészséges és tehetős várost vizionál. Eszközei közé tartoznak az infrastruktúra bővítése, a városi szolgáltatások megújítása, a fenntartható zöld szemlélet kialakítása, a városmenedzsment fejlesztése (DMJV, 2023).

2.3. TRAM-TRAIN

A tram-train egy helyközi közösségi közlekedési forma, feladata a városok közötti közlekedés megteremtése úgy, hogy integrálja a távolsági és regionális személyszállító vasút és a városi villamosok rendszerét. A városok között a vasúti síneken közlekedik, majd a város szélétől villamosként halad tovább a centrumba, így elkerülve az állomásokon való átszállást. Ez a közlekedési módszer ellensúlyozni tudná a szuburbanizáció negatív hatásainak egy részét.

Az első ilyen rendszert Kalsruhe-valósították meg (1990) (Boray et al., 2024, Crosbee & Allen, 2015), azóta Európában több ilyen konstrukció is létezik (Crosbee & Allen, 2015). Mivel a tram-train a belvárosi villamosvonalakon közlekedik, így sok ember számára

³ Debrecen helyi közlekedését szolgáltató vállalat.

elkerülhetővé válik az átszállás, ezzel időt spórolva (Metelka & Janoš, 2021). Az idő megtakarításában segít, ha a frekvenciált úticélok a jelenlegi közlekedési csomópontoktól távol találhatóak (Potěšil & Moloková, 2006). Ha a kiépítés előtt már van villamos a városban, az a költségeket is csökkenti, mivel nem kell új infrastruktúrát kiépíteni, csak a villamos és vasúti síneket kell összekötni (Metelka & Janoš, 2021). Fontos feltétel, hogy a villamos és vasút rendszerét közvetlenül, könnyen és alacsony költséggel lehessen összekapcsolni (Potěšil & Moloková, 2006). Mivel Magyarországon a villamos és vasúti sínek ugyanolyan normál nyomtávúak (Lenzsér & Reider, 2017) így a két rendszer összekötése okoz nagyobb gondot.

2.4. Környezetvédelmi szempontok

A városi környezet nagymértékben szennyezett, jelentős a levegő- és zajszennyezés, ami a személygépkocsik túlzott használatából is ered. A nagyvárosok egyik legsúlyosabb problémája, hogy nem képesek visszaszorítani az autóval történő közlekedést. Fontos megvizsgálni, hogy milyen hatással van az autóközpontúság a mindennapi életünkre, valamint azt is, hogy milyen lépéseket kell megtenni a helyzet javítása érdekében. Központi kérdés, hogy milyen kompromisszumokat kell vállalni a környezetvédelem érdekében (idő, kényelem, pénz stb.), és a környezetszennyezés mértékét is vizsgálni kell (Bartus & Szalai, 2014).

A közlekedésből származó károsanyag-kibocsátás komoly problémát jelent. A közúti közlekedés felel a légszennyezés legnagyobb részéért, így jelentősen nagyobb környezeti terhelést jelent, mint a villamosok vagy a vasúti közlekedés. A személygépjárművek ráadásul nehézfémeket is kibocsátanak, melyek az esővízzel bejutnak a talajba, majd a növényeken keresztül az emberi szervezetbe is (Lenzsér & Reider, 2017). Azonban nemcsak a használat, hanem a gyártás és a forgalomból való kivonás is szennyezéssel jár (Bartus & Szalai, 2014).

A zajszennyezés leginkább a hangos motorokból származik, de a gumiabroncs és az útburkolat találkozására is jelentős hanghatással jár (60&70 km/h sebesség felett ez már meghatározó zajforrásnak számít). Lakott területeken a zajterhelés közel egyharmadáért az autók felelősek. A vasúti közlekedés ezzel szemben & teljesítményarányosan számolva & csupán a közúti közlekedés zajszintjének negyedét produkálja (Lenzsér & Reider, 2017).

Minden közlekedési mód igényli a saját infrastruktúrát, ezek közül a vasút (villamos) sáv szélessége a legkisebb, így kevésbé avatkozik be a természetes környezetbe. Egy kétsávos vasúti pálya általában 13,7 méter széles, míg egy ugyanolyan áteresztőképességű közút esetén ez az érték eléri a 37,5 métert (Lenzsér & Reider, 2017).

Hajdú-Bihar vármegyében a személygépjármű-állomány az elmúlt 20 évben közel a duplájára emelkedett, ami hozzávetőleg 83 ezer járművel való gyarapodást jelent (összesen kb. 197 ezer). Ez a növekedés jelentős mértékű károsanyag-kibocsátást és egyre súlyosbodó közlekedési torlódásokat eredményez. A környezeti terhelés növekedéséhez hozzájárul a személygépjárművek átlagéletkorának emelkedése: hazánkban az elmúlt két évtizedben 35,04%-kal nőtt az autók átlagos kora. Ugyanakkor pozitív tendencia, hogy az elektromos és hibrid járművek száma folyamatosan emelkedik, ezek 2023-ban már az országos állomány közel 6%-át tették ki (KSH, 2024).

2.5. KIBOCSÁTÁS

A közlekedési eszközök károsanyagkibocsátása nagyban eltérhet egymástól, így fontos megvizsgálni a pontos környezeti terhelését. Közismert, hogy a tömegközlekedés egy főre eső kibocsátása kedvezőbb, de ezt érdemes pontosan megállapítani a későbbi összehasonlítások miatt.

2015-ben a globális közlekedésből származó CO₂ kibocsátás 4,2%-áért a vasút, míg 72,6%-áért a személygépjárművek feleltek (IEA & UIC, 2017). Ugyanebben az évben az EU-ban a személygépjárművek a teljes szén-dioxid kibocsátás 15%-át adták (Fontaras et al., 2017).

A vasutakat három nagy csoportba lehet sorolni üzemanyagfajta alapján: i) fosszilis üzemanyaggal, ii) nukleáris technológiával megtermelt villamosenergiával és iii) megújuló energiaforrással megtermelt villamosenergiával közlekedő vonatot. Az egész világon az a tendencia volt megfigyelhető 1990 és 2015 között, hogy a nem fosszilis üzemanyagot használó vonatok aránya nőtt, ez az arány az EU-ban még kedvezőbb volt (IEA & UIC, 2017).

Legtöbb esetben úgy hasonlítják össze a közlekedési eszközök környezetkárosítását, hogy a szén-dioxid-kibocsátást osztják az utaskilométerrel. Az utaskilométer (Utaskm) a személyszállítás teljesítménymutatója, amit úgy állapítanak meg, hogy az utasokat és az általuk megtett távolságot összeszorozzák (Lenzsér & Reider, 2017).

A közlekedési eszközök kibocsátásának meghatározásához több módszert is lehet alkalmazni. A legpontosabb módszer az életciklus-értékelés (LCA). Itt figyelembe kell venni a közvetett kibocsátást („kúttól tankig” történő szennyezés), tehát a teljes ellátási lánc (kitermelés, tárolás, szállítás és átalakítás) által termelt szennyezéseket is vizsgálják. Természetesen, a közvetlen kibocsátás (csővégi emisszió vagy a „tanktól kerékig” történő szennyezés) is idetartozik, tehát a motor szennyezését is beleszámolják. A közlekedési eszközök legyártásával és forgalomból való kivonással létrejövő kibocsátás is beletartozik az LCA módszerbe, ritkán az infrastruktúra megépítésével járó szennyezést beleveszik. A másik módszer a kúttól a kerékig történő elemzés (WTW), ami csak a közvetett és közvetlen kibocsátást adja meg. Noussan-ék LCA módszerrel meghatározták a közlekedési eszközök medián kibocsátásait (WTW kibocsátást is) (1. táblázat). A kutatásuk során több mint 1000 kibocsátási tényezőt használtak fel, és figyelembe vették az elektromos áram előállításának szennyező hatásait is. Bár az áramtermelés is jelentős károsanyag-kibocsátással jár, összességében mégis kedvezőbb környezeti feltételeket biztosítanak a villamosenergiával működő vonatok, mint a személygépjárművek (Noussan et al., 2022). Ritchie (2023) felmérése is hasonló értékeket eredményezett (Ritchie, 2023), és egy Kínában végzett kutatásban is hasonló értékek adódtak a vasúti és közúti közlekedés kibocsátásánál (Wang et al., 2015), illetve egy európai kutatásban a személygépjárműveknél is Noussan-ék értékéhez közeli kibocsátást állapítottak meg (Fontaras et al., 2017).

1. táblázat: A személygépjárművek, villamosok és buszok kibocsátásának értékelése LCA és Kúttól a kerékig történő szennyezéssel módszerrel $gCO_2/utaskm$ -ben mérve

Közlekedési eszköz	Kibocsátások mediánja ($gCO_2/utaskm$)
	Életciklus-értékelés
Személygépjármű	164
Villamos	43
Busz	48

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

2.6. FENNTARHATÓSÁG

Sokáig az a tévhit uralkodott, hogy Föld végtelen erőforrásokkal rendelkezik, de ez az elmélet megbukott, az erőforrások szűkössége lett az új technológiák kifejlesztésének hajtóereje, miközben előtérbe kerültek a környezeti szempontok és az innováció is. Gruyter és munkatársai úgy fogalmazták meg a fenntarthatóságot, mint olyan fejlesztések és fejlődés, amelyek kielégítik a jelen szükségleteit és ezzel egyidőben megtartják a Föld létfenntartó rendszerét, amitől a jelen és jövő generáció léte függ (Gruyter et al., 2017)

A városok életében egyre fontosabbá válik a környezeti externáliák azonosítása a közlekedésben, illetve a mobilitás és az autófűggőség vizsgálata (Padeiro et al., 2019). Éppen ezért fontos, hogy mindenki számára elérhetővé tegyünk a környezetbarát, a gazdaságilag és társadalmilag működőképes tömegközlekedést, ami jelentősen javíthatja a városi életminőséget. Számos kutatás mutat rá arra, hogy ha több a lehetőség a tömegközlekedésre, akkor növekedhet a modális megosztottság a személygépjárművek rovására (Makarova et al., 2017). Modális megosztottság alatt a közlekedési fajták megosztottságát értjük (Erdős, 2004).

3. Anyag és módszer

A tram-train rendszer lehetséges használóinak felmérése érdekében felmértem a város elővárosi forgalmát. Ennek a forgalomnak a zömét a hivatásforgalom teszi ki. Az elővárosi közúti forgalmat vizsgálva a be- és kiáramló forgalmat keresztmetszeti forgalomszámlálással mértem fel önkéntesek segítségével. A csúcsidőszakokban tapasztalható legnagyobb forgalom mérésére külön figyelmet fordítottam, mivel egy közösségi közlekedési eszköz létesítéséhez

elengedhetetlenül fontos tudni, hogy mekkora a maximális egyszerre utazó emberek száma. Ezért a legtöbb mérést reggel 6 és 8 óra között végeztem általában szerdán, mivel ekkor a hétvége forgalomra gyakorolt hatása kisebb. A mérések 8 helyszínen a város szélén zajlottak, és a helyszínek kiválasztásánál figyelembe vettem, hogy ott mérjek, ahol lehetséges lenne tram-train-t kiépíteni. Egy-egy mérési helyszínen általában két forgalomszámláló dolgozott: egyik a beáramló, másik a kiáramló forgalmat mérte, megkülönböztetve a különböző járműtípusokat: kerékpár (roller, elektromos kerékpár), motorkerékpár, személygépkocsi, 3,5 tonna alatti tehergépjármű (terepjáró, furgon, ponyvás), minibusz, busz, 3,5 tonna feletti tehergépjármű (nyerges vontató, IFA). Ezek közül a tram-train szempontjából a személygépkocsik és a buszok (Volán, DKV) voltak a legfontosabbak, mivel ezeknek az utasai lehetnek a potenciális tram-train utazói. A mérési adatokat idősorosan, azaz percre pontosan rögzítettük.

A buszokon utazók számát folthatás módszerrel határoztam meg, melynek lényege, hogy amikor a busz elhaladt a számláló előtt, a jármű telítettségét egy 1-től 5-ig terjedő skálán értékelte, illetve meghatározta annak típusát (szóló vagy csuklós). A skálák jelentése a következő volt a szóló és csuklós buszoknál: 1: üres vagy maximum az ülőhelyek fele foglalt (szóló: 0-10 fő; csuklós 0-15 fő); 2: az összes ülőhely foglalt, egy-két álló utassal (szóló: 11-20 fő; csuklós 16-30 fő); 3: az összes ülőhely foglalt, néhányan állnak (szóló: 21-45 fő; csuklós 31-50 fő); 4: az összes ülőhely foglalt, sűrűn állnak (szóló: 46-60 fő; csuklós 51-90 fő); 5: teljes telítettség, az ajtónál is állnak (szóló: 60+ fő; csuklós 90+ fő). Volt egy nullás kategória is, amely a garázsmentet, illetve az üres kijelzőjű vagy utas nélküli buszokat jelentette. Ez a módszer nem ad pontos számot, csak egy sávot, minimum és maximum értékekkel. A számszerűsítés és a későbbi összehasonlítás érdekében a felső és alsó értékek számtani átlagát tekintem helyszínenként a beutazó emberek számának.

Összesen négy alkalommal mértem fel a forgalmat, egyik mérés során megszámláltam az átlagos utasszámot is és végeztem újramérést is.

Az egyes helyszíneken mért adatok pontosabb értékelése érdekében az ábrázolásnál 3 perces mozgóátlagokat alkalmaztam, melynek lényege, hogy nem reagál a lámpák és az útkörülmények miatt kialakuló ciklikus forgalomkiesésekre, így biztosítva a könnyebb ábrázolhatóságot, átláthatóságot és könnyebb értelmezhetőséget. A számítás módja az, hogy adott időpont értékéhez hozzáadom az előtte és után lévő értékeket majd osztok hárommal. Így mindenhol három perc átlagát ábrázoljuk, kivéve az első és utolsó percekben, így a grafikonokon jól láthatóak mérések közötti különbségek.

Miután meghatároztam az elővárosi forgalmat, a közúti közlekedés károsanyag-kibocsátását is megbecsültem. A pontos CO₂ kibocsátás meghatározása érdekében a szakirodalomban található tényezőket (Noussan et al., 2022) alkalmaztam⁴. A felmérésem adatait utaskilométerre váltottam, majd összevettem a közlekedési eszközökre vonatkozó ismert szén-dioxid kibocsátási értékekkel. A gCO₂/utaskm mértékegység használata azért előnyös, mert a kibocsátást utaskilométerre vetíti, így lehetővé teszi a különböző közlekedési eszközök összehasonlítását. A pontos utaskilométereket a potenciális tram-train szakaszonként úgy kaptam meg, hogy az utasok számát összesoroztam a távolsággal. Az utasok számát a forgalomszámlálási felmérésekből kaptam meg, az átlagos utasszámot megsoroztam az éppen vizsgált szakaszon közlekedő személygépjárművek számával, illetve a buszokkal utazók számát a folthatás vizsgálat segítségével kaptam meg. A megtett távot Debrecen és vizsgált elővárosai között Google Maps segítségével határoztam meg. Fontos, hogy az utaskilométereket közlekedési eszközönként külön kell számítani, mert ezek környezetszennyezése különbözik. A pontos kibocsátás (gCO₂) meghatározásához a közlekedési eszközök kibocsátásának mediánját összesoroztam az utaskilométerekkel (gCO₂ = utaskilométer * (gCO₂/utaskilométer)). Ezen kívül megállapítottam azt is, hogy milyen szennyezést eredményezne, ha a vizsgált helyszíneken kizárólag tram-train közlekedne.

⁴ Számos kutatást találtam, amelyek a közlekedési eszközök károsanyag-kibocsátását elemzik, és ezek eredményei nagyrészt megegyeznek. Mivel a Noussan és munkatársai által 2022-ben összeállított adatbázis a legáltalánosabb, valamint a legkedvezőbb mértékegységet használja, ezért ezt vettem alapul.

4. Eredmények

4.1. Mérések eredménye

A mérések alapján a Debrecenbe beáramló forgalom a Böszörményi út mentén volt a legnagyobb, több mint 2500 személygépjármű. A többi helyszínen 1000-nél több személygépjármű érkezett a városba (2. táblázat). A kiáramló forgalom & ahogy várhattuk & jóval kisebb volt. Itt is a Böszörményi úton a legnagyobb a forgalom, de a Mikepércsi út és Balmazújvárosi út is hasonló 1000 feletti értéket mutat (2. táblázat)⁵. A buszok esetében is a Böszörményi úton volt a legnagyobb a forgalom (2. táblázat). A busszal kiutazók száma igen alacsony volt, és itt is a Böszörményi úton volt a legnagyobb az érték (2. táblázat).

2. táblázat: Debrecenbe elővárosi forgalmának adatai keresztmetszeti forgalomszámlálással és folthatás módszerrel

Helyszín	Debrecenbe utazók				Debrecen elhagyók			
	Személygépjármű		Busszal utazók	Összesen (fő)	Személygépjármű		Busszal utazók	Összesen (fő)
	Darab (db)	Utazó (fő)	(fő)		Darab (db)	Utazó (fő)	(fő)	
Böszörményi út	2527	3639	1390	5029	1186	1708	225	1933
Mikepércsi út	1457	2099	1250	3349	1170	1685	223	1908
Sámson út	1352	1947	701	2648	574	827	175	1002
Balmazújvárosi út	1235	1779	566	2345	1128	1625	180	1805
Szoboszlói út	1143	1646	436	2082	883	1272	86	1358
Diószegi út	1108	1596	447	2043	470	677	8	685
Vámospércsi út	900	1296	490	1786	311	448	114	562
Kassai út	821	1183	868	2051	139	201	129	330

Forrás: saját szerkesztés

A második mérést már csak a Böszörményi úton végeztem, ennek célja az volt, hogy felmérjem az adatok ingadozását és megfigyeljem a változások mértékét. Az értékek alapján a Böszörményi úton a beáramló forgalom körülbelül 250 személygépjárművel csökkent (-10,84%), de így is több mint 2250 személygépkocsi áramlott be a városba. A kiáramló forgalom körülbelül 90 autóval (-7,76%) volt kisebb. Az autós közlekedésnél sejtethető, hogy a reggeli órákban utazók nem nagy távolságból jönnek, persze itt is lehetnek távolabbról érkezők, de ezektől az értéktől a továbbiakban eltekintettem.

A harmadik mérést 12 és 13 óra között végeztem el, hogy pontosabban meghatározhasam az ingázók számát. Feltételezésem szerint a reggeli forgalomban olyan

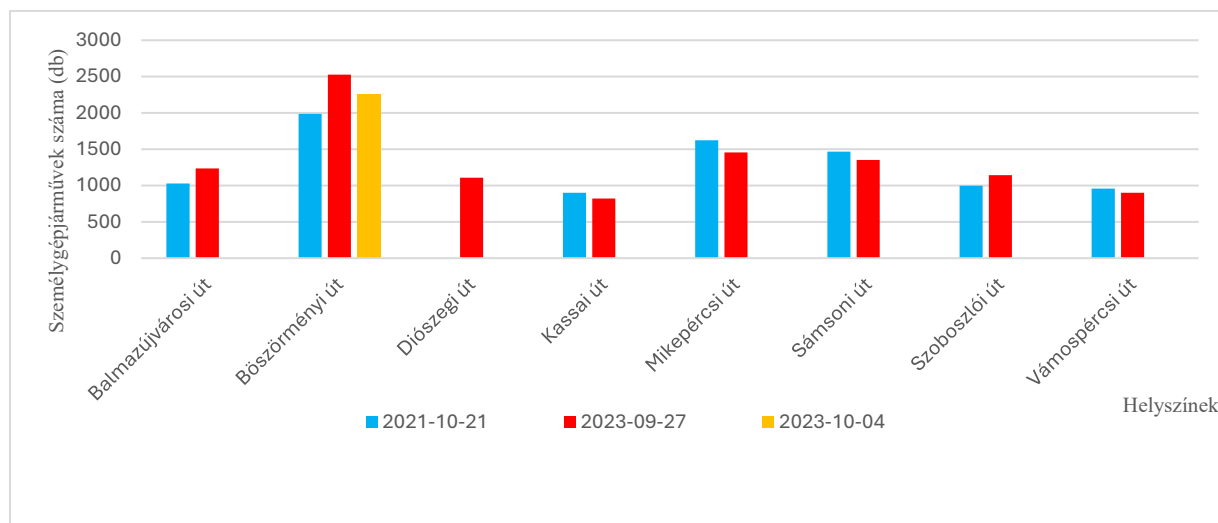
⁵ A Kassai úton csak egy forgalomszámláló volt és a beáramló forgalom mérésére koncentrált, így ezért olyan alacsony a kiáramlás értéke.

utasok is részt vesznek, akik nem rendszeresen használják az adott útszakaszt. A két mérés közötti érték adhatja meg a hivatásforgalom nagyságát. A városba 621 személygépjármű érkezett, míg 692 távozott. Mivel a déli mérést csak egy órán át végeztem el, az értékeket kettővel kellett felszorozni, így a be- és kiáramló forgalom nagyjából 1200 járműre tehető.

A negyedik vizsgálatot ismét reggel 6 és 8 óra között végeztem el annak érdekében, hogy pontos képet kapjak a reggeli forgalomban az autókban ülők számáról. Feltételezhető, hogy ebben az időszakban az utasszám magasabb a szokásosnál. A mérés során 2274 személygépkocsi érkezett Debrecenbe a Böszörményi úton, ami az első mérés eredményét igazolja (kb. 10%-os eltérés). Az összes jármű közül 1423-ban csak a sofőr tartózkodott, 718 autóban ketten ültek, 117 járműben hárman, 15-ben négyen, míg csupán egy autóban volt öt utas. Az autók átlagos utasszáma így 1,44 fő volt. Az Eurostat felmérései alapján az autók átlagos utasszáma országonként eltér, az 1,44 átlagos értéknek tekinthető Európán belül. A legnagyobb érték Európában Romániában 1,87 fő/autó, míg a legkisebb Olaszországban, ahol 1,17 fő tartózkodik átlagosan egy személygépjárműben. A későbbiekben az 1,44 fő/személygépjármű értékével számoltam (2. táblázat) (Eurostat, 2024).

A mérések eredményeiből megállapítottam az egyes útvonalak mentén reggel 6 és 8 óra között be- és kiáramló emberek számát. A Böszörményi úton 5029 fő utazott be az első mérés során, ami a legnagyobb érték (2. táblázat). A kiáramló forgalomnál is a Böszörményi út értéke a legnagyobb, viszont a Mikepércsi úton és a Balmazújvárosi úton is hasonló értékeket kaptunk (2. táblázat). Az adatokból az is jól látható, hogy a városok közötti forgalom főként egy irányba, Debrecen irányába mutat, ami azt jelzi, hogy a város jelentős vonzási központként funkcionál.

A DERKE⁶ 2021. október 21-én egy hasonló vizsgálatot végzett a beáramló forgalomról, így az eredményeimet ezzel is összehasonlítottam. A 2021-es mérés eredményei alapján a Böszörményi úton, Mikepércsi úton és a Sámsoni úton volt a legnagyobb a forgalom. Nagyobb növekedést a 2 év folyamán a Böszörményi úton, Balmazújvárosi úton és a Szoboszlói úton figyelhetünk meg, a legjelentősebb növekedést a Böszörményi úton volt (1. ábra).



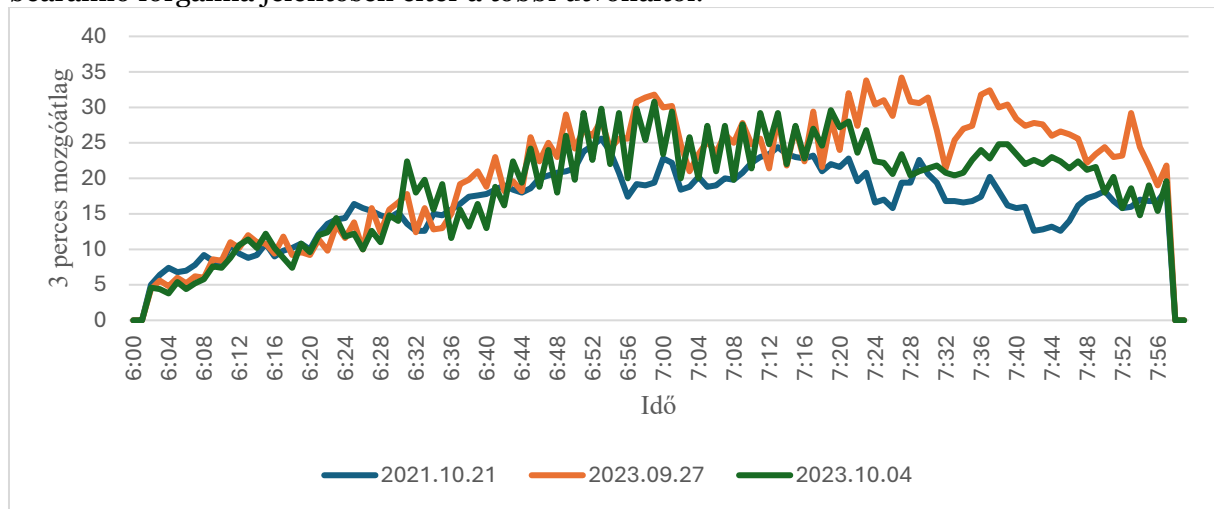
1. ábra: A Debrecenbe áramló személygépkocsik mennyisége 3 mérés alapján. (kék & 2021.10.21., piros & 2023.09.27., narancssárga & a Böszörményi út újrammérése 2023.10.04.)

Forrás: saját szerkesztés, Derke

Az utasszámlálási méréseket alaposabban megvizsgáltam a 3 perces mozgóátlagok segítségével, ezeket az előző, 2021. október 21-i felmérés mozgóátlagaival vettem össze. A Böszörményi úton (2. ábra) 6:50 után egyértelmű forgalomnövekedés figyelhető meg az előző méréshez képest, a forgalom meghaladja a 2021-es értékeket. Hasonló változás figyelhető meg a Balmazújvárosi úton is, bár itt a növekedés nem olyan jelentős. A Mikepércsi úton a 2023-as adatok alapján az elővárosi forgalom nagy, de a 7:00 körüli csúcsidőben a forgalom elmarad a 2021-es értékétől. A többi úton nem figyelhető meg számottevő változás. A mozgóátlagok

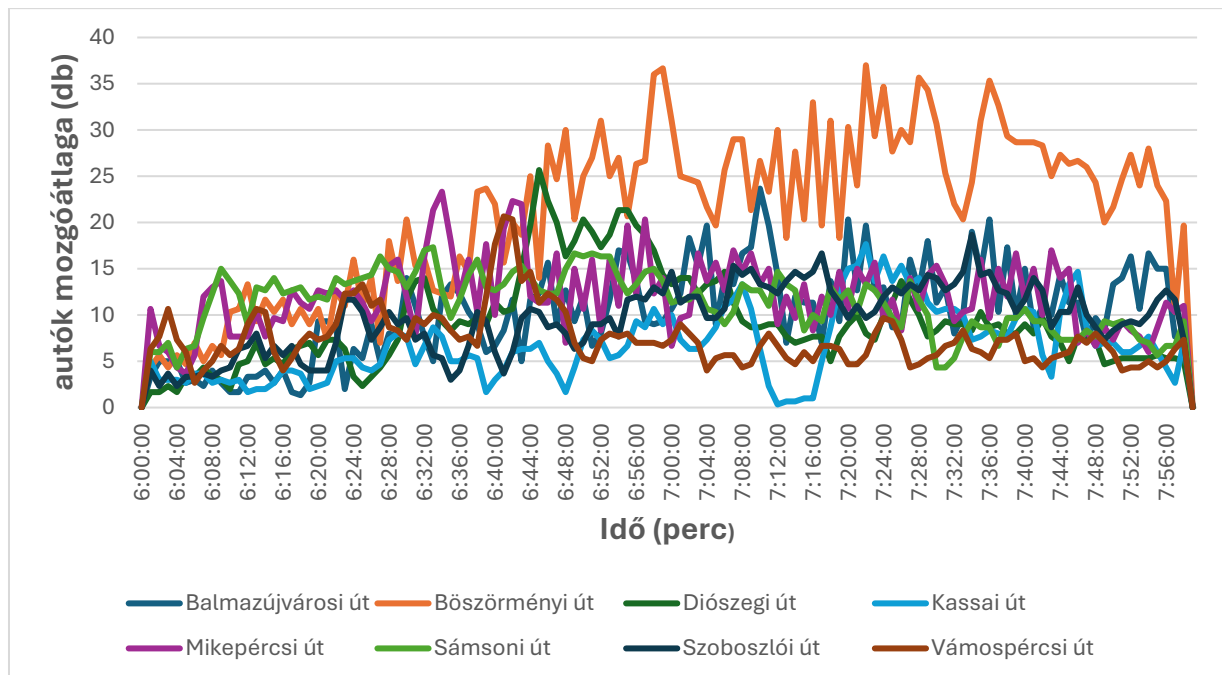
⁶ Debreceni Regionális Közlekedési Egyesület

segítségével látható, hogy 6:45 és 7:15 között tetőzött a forgalom. A 3. ábrán az összes mérés eredményeinek 3 perces mozgóátlagait is ábrázoltam, ahogy várható volt a Böszörményi út beáramló forgalma jelentősen eltér a többi útvonaltól.



2. ábra: Böszörményi út beáramló forgalma reggel 6 és 8 között 3 perces mozgóátlaggal ábrázolva (kék - 2021-es mérés, piros & 2023-es mérés, zöld & a Böszörményi út újrammérése 2023-ban)

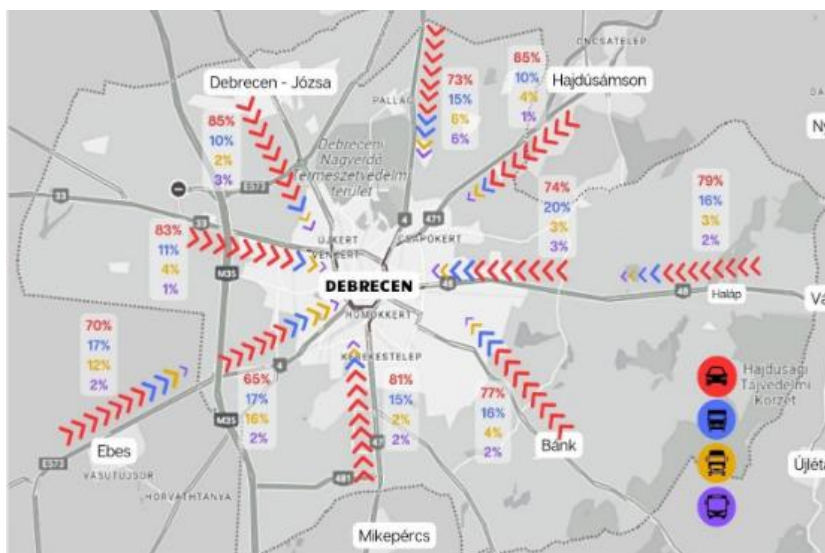
Forrás: saját szerkesztés, Derke



3. ábra: Debrecen beáramló forgalma (általán mért helyszíneknél) 2023-as mérések alapján reggel 6 és 8 között 3 perces mozgóátlagok segítségével ábrázolva

Forrás: saját szerkesztés

A Debrecen Fenntartható Városi Mobilitási Tervének (2024) összeállításához végzett kutatás során a város vezetése az elővárosi forgalmat is vizsgálta (4. ábra) (DMJV & Teqtos, 2023). Az adatok alapján a Debrecenbe érkező járművek körülbelül 80%-a személygépkocsi, ez az arány a Debrecen&Józsa és Debrecen&Hajdúsámson útvonalakon volt a legmagasabb (85%). Ez azt jelzi, hogy a Debrecen&Hajdúböszörmény vonalon van lehetőség a közösségi közlekedés fejlesztésére, hiszen a személygépjárművek dominanciája miatt itt lenne a legkedvezőbb hatása egy jól kiépített tömegközlekedési rendszernek.



4. ábra: A főbb debreceni bevezetőutak forgalma járműtípusokra bontva (piros: személygépjármű, kék: kistehergépjármű, sárga: nagytehergépjármű, lila: autóbussz
 Forrás: Debrecen Megyei Jogú Város & Teqtos Kft. (2023)

4.2. Szén-dioxid kibocsátás

Korunk egyik legsúlyosabb problémája a környezetszennyezés. A károsanyag-kibocsátás nagy része a közlekedésből ered, azonban az egyes közlekedési eszközök szennyező hatása jelentősen eltér egymástól. A felmérések szerint a közlekedésből származó károsanyag-kibocsátás körülbelül 75%-áért a személygépjárművek felelősek (Fontaras et al., 2017, IEA & UIC, 2017). A szennyezés csökkentése érdekében környezetbarát alternatívákra van szükség, a nem motoros közlekedési módok vagy a közösségi közlekedés előnyben részesítése által. Az Európai Unióban egyre nagyobb arányban alkalmaznak nem fosszilis energiát használó vonatokat (IEA & UIC, 2017), és a tervezett tram-train rendszer is ezt a fenntarthatóbb tendenciát erősítené.

A CO₂-kibocsátás meghatározásához a már ismertetett képletet használtam (utaskilométer * (gCO₂/utaskilométer)). A távolságokat a Google Maps segítségével határoztam meg, ezek az értékek a 3. táblázatban találhatóak. A becsült kibocsátási értékek a 3. táblázatban láthatók, nagyságukat a távolság, az utasok száma és a jármű típusa befolyásolja⁷. A legmagasabb kibocsátás a legnagyobb a forgalmú Böszörményi úton figyelhető meg. A Nyíregyháza-Debrecen szakaszt (Kassai utat) nem vettem figyelembe, mivel ez az egyetlen hosszabb útvonal, és nem lehet pontosan meghatározni, hogy az autók honnan érkeznek.

Kiszámoltam, hogy a kétórás időszak alatt mekkora lenne a kibocsátás, ha kizárólag tram-train közlekedne mindenki (3. táblázat)⁸. A táblázatban azt is feltüntettem, hogy a jelenlegi kibocsátáshoz képest milyen változás következne be. Az eredmények alapján a beáramló forgalom kibocsátása körülbelül 67%-kal, míg a kiáramló forgalom kibocsátása nagyjából 71%-kal csökkenne minden útszakaszon⁹. Ezek az értékek rendkívül kedvezőek, tehát az elővárosi villamos használatával jelentősen csökkenthető lenne a szennyezés. Természetesen nem feltételezhető, hogy mindenki az elővárosi villamosra váltana, azonban érdekes eljárás a gondolattal, és kiszámolni, milyen mértékű lenne a kibocsátáscsökkenés egy teljes átállás esetén. Bár a kibocsátás csökkenésének százalékos változása minden útszakaszon közel állandónak tekinthető, ha a pontos adatokat vizsgáljuk, látható, hogy egyes helyeken sokkal kedvezőbbek az értékek. Ennek oka, hogy a személygépjárművel és busszal utazók száma, valamint a megtett távolság helyszínenként eltér. A legnagyobb változást a Hajdúböszörményi úton eredményezné a tram-train bevezetése. A reggeli csúcsidőszakban, ha

⁷ A személygépjárművek kibocsátását 164 gCO₂/utaskm-nek, míg a buszok kibocsátását 48 gCO₂/utaskm-nek tekintettem

⁸ A tram-train kibocsátását 43 gCO₂/utaskm-nek vettem (villamos kibocsátása)

⁹ A beáramló forgalom kibocsátása azért csökken kisebb százalékkal, mivel ott arányában több ember közlekedik busszal is, aminek a szennyezése kedvezőbb.

mindenki az elővárosi villamost választaná, naponta több mint 5.000.000 gCO₂ kibocsátás szűnne meg a kétórás időszak alatt.

3. táblázat: Debrecen elővárosainak távolsága és az utak mentén létrejött közúti kibocsátás, és ha mindenki tram-train-nel közlekedne reggel 6 és 8 óra között

Helyszín	Debrecentől való távolsága (km)	Beáramló forgalom kibocsátása (gCO ₂)		Kiáramló forgalom kibocsátása (gCO ₂)	
		Jelenlegi helyzet	Csak tram-train	Jelenlegi helyzet	Csak tram-train
Hajdúböszörmény (Böszörményi út)	11,6	7.696.785,6	2.508.465,2 (-67,41%)	3.374.579,2	964.180,4 (-71,43%)
Balmazújváros (Balmazújvárosi út)	18,8	5.995.771,2	1.895.698 (-68,38%)	5.172.632	1.459.162 (-71,79%)
Hajdúszoboszló (Szoboszlói út)	16,4	4.433.851,52	1.468.226,4 (-66,88%)	3.488.870,4	957.661,6 (-72,55%)
Mikepércs (Mikepércsi út)	6,9	2.789.228,4	993.648,3 (-64,38%)	1.980.603,6	566.103,6 (-71,42%)
Létavértes (Diószegi út)	16,6	4.701.120	1.458.293,4 (-68,98%)	1.849.439,2	488.953 (-73,56%)
Vámospércs (Vámospércsi út)	13,1	3.092.438,4	1.006.053,8 (-67,47%)	963.976,6	316.574,6 (-67,16%)
Hajdúsámson (Sámson út)	7,2	2.541.283,2	819.820,8 (-67,74%)	1.037.001,6	310.219,2 (-70,08%)

Forrás: saját számítás

5. Következtetések

Számításaim alapján a legnagyobb CO₂ kibocsátás-csökkenés a Hajdúböszörményi úton érhető el a tram-train bevezetésével. Hangsúlyozni kell, hogy csak a reggeli csúcsidőszakban, és csak ha mindenki az elővárosi villamost választaná, naponta több mint 5.000.000 gCO₂ kibocsátás szűnne meg a kétórás időszak alatt. Ha a 24 órás csökkenést néznénk, akkor ennek az értéknek a többszörösét kapnánk eredményül.

A felmérések során elsősorban a közlekedés károsanyag-kibocsátását vizsgáltam, azonban a jövőben célszerű lenne más szempontokat alapján is elemezni egy esetleges tram-train hatását. Ezek lehetnek a megvalósítás költségei, a technikai feltételek vagy az esetleges társadalmi hatások, például az életminőségben bekövetkezett változások, az iskolások önálló közlekedési lehetősége, a forgalom, zaj csökkenése stb.

Emellett érdemes lenne megfontolni egyéb közlekedésfejlesztési lehetőségeket is. Az mindenesetre egyértelmű, hogy Debrecen közlekedési infrastruktúrájának fejlesztése elkerülhetetlen.

6. Irodalomjegyzék:

- [1] Bajmócy, P. & Györki, A. (2012): A szuburbanizáció virágkora és hanyatlása Magyarországon. Településföldrajzi Tanulmányok. Issue 1. Volume 2. pp. 1-17.
- [2] Bartos G. & Szalai Á. (2014): Környezet, jog, közgazdaságtan. Pázmány Press, Budapest, 375p
- [3] Boray, T., Hegazi, M., Hoffrichter, A. & Lovegrove, G. (2024): Technical Feasibility of a Hydrail Tram&Train in NA: Okanagan Valley Electric Regional Passenger Rail (OVER PR). Sustainability. Issue 16. Volume 3042. pp 1-18.

- [4] Calthrope, P. (1993): *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*, Princeton Architectural Press, New York, 175p
- [5] Cervero, R. (2006): Office Development, Rail Transit, and Commuting Choices. *Journal of Public Transportation*. Volume 9. Issue 5. pp. 41-55.
- [6] Crosbee, D. & Allen, P. (2015): Development of a Tram-Train wheel profile for dual-operation running. pp. 1-16. In: I. International IMechE Stephenson Conference. University of Huddersfield Repository, London, április 21-23.
- [7] Debrecen Megyei Jogú Város & Teqtos Kft. (2023): Debrecen Fenntartható Városi Mobilitási Terve (2024), <https://felho10.debrecen.hu/index.php/s/gCPN77ddqgjadgw?dir=undefined&openfile=960649>, (letöltve: 2024.10.03)
- [8] Debrecen Megyei Jogú Város (2023): DEBRECEN SMART CITY STRATÉGIÁJA, Debrecen Megyei Jogú Város, Debrecen 64p
- [9] EDC Debrecen Nonprofit (2023): do Fenntartható Városfejlesztési Stratégiája 2021-2027 Megalapozó vizsgálata, https://www.debrecen.hu/assets/media/file/hu/46592/debrecen_megyei_jogu_varos_onkormanyzata_nak_fenntarthato_varosfejlesztési_strategiája_2021-2027_megalapozó_munkaresz.pdf, (letöltve: 2024.10.03)
- [10] Enyedi, Gy. (2011): A városnövekedésszakaszai & újragondolva. Tér és Társadalom. Volume 25. Issue 1. pp 5-19.
- [11] Erdős F. (2004): Európa közlekedése és a regionális fejlődés. Dialóg Campus Kiadó, Budapest, Pécs, 640p
- [12] European Commission, CORDIS EU research results (2022): Transit Oriented Development (TOD) for Inclusive and Sustainable Rural-Urban Regions. <https://cordis.europa.eu/project/id/956030> (letöltve:2024.01.26.)
- [13] Eurostat (2024): Passenger mobility statistics, Passenger car occupancy, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics#Passenger_car_occupancy, (letöltve: 2024.10.07)
- [14] Feudo, F.L. & Festa, C.D. (2012): A tram-train system to connect the urban area of Cosenza to its province: A simulation model of transport demand modal split and a territorial analysis to identify adapted transit oriented development prospects. Building the urban future and transit oriented development. HAL open science (hal-00734634). <https://hal.science/hal-00734634/document>, (letöltve:2023.09.17.)
- [15] Feudo, F.L. (2014): How to build an alternative to sprawl and auto-centric development model through a TOD scenario for the North-Pas-de-Calais region? Lessons from an integrated transportation-land use modelling. *Transportation Research Procedia*. Volume 4. pp. 154-177.
- [16] Fontaras, G., Zacharof, N-K. & Ciuffo, B. (2017): Fuel consumption and CO₂ emissions from passenger cars in Europe & Laboratory versus real-world emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*. Volume 60. pp. 97-131.
- [17] Gruyter, D. C., Currie G. & Rose, G. (2017): Sustainability Measures of Urban Public Transport in Cities: A World Review and Focus on the Asia/Middle East Region. *Sustainability*. Volume 9. Issue 1. Article 43.
- [18] King, D. (2011): Developing densely: Estimating the effect of subway growth on New York City land uses. *Journal of Transport and Land Use*. Volume 4. Issue 2. pp. 19-32.
- [19] KSH (2011): 2011. ÉVI NÉPSZÁMLÁLÁS 3. Területi adatok 3.9. Hajdú-Bihar megye, https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/nepsz2011/nepsz_03_09_2011.pdf, (letöltve: 2024.09.26)
- [20] KSH (2014): Magyarország településhálózata 1., Agglomerációk, településgyűttesek, https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mo_telepuleshalozata/agglomeracio.pdf, (letöltve: 2024.09.26)
- [21] KSH (2022): Népszámlálás 2022, <https://nepszamlalas2022.ksh.hu/>, (letöltve: 2024.09.26)
- [22] KSH (2024): A közúti gépjárművek száma vármegye és régió szerint, https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0040.html, (letöltve: 2024.09.26.)
- [23] KSH (2024): A személygépkocsi-állomány átlagos kora gyártmányok szerint, https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0026.html, (letöltve: 2024.09.26)
- [24] KSH (2024): A személygépkocsi-állomány gyártmány és üzemanyag-felhasználás szerint, https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0025.html, (letöltve: 2024.09.26)
- [25] Lenzsér L. & Reider L. (2017): *Közlekedés-Gazdaságtan és Marketing Ismeretek*. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 215p
- [26] Lenzsér L. & Reider L. (2017): *Közlekedési Alapismeretek*. Műszaki könyvkiadó, Piliscsév, Budapest, 392p
- [27] Levinson, D. (2008): Density and dispersion: the co-development of land use and rail in London. *Journal of Economic Geography*. Volume 8. pp. 55-77.
- [28] Makarova, I., Pashkevich, A. & Shubenkova, K. (2017): Ensuring Sustainability of Public Transport System through Rational Management. *Procedia Engineering*. Volume 178. pp. 137-164.
- [29] Metelka, S. & Janoš, V. (2021): PREREQUISITES OF THE SUCCESSFUL TRAM-TRAIN SYSTEM AS A PART OF THE REGIONAL RAILWAY NETWORK. pp. 431-439. In: VI. International Conference Road and Rail Infrastructure, Zágráb, május 20-21.
- [30] Nagy, Gy. & Hegedűs, T. (2016): Urban sprawl or/and suburbanisation? The case of Zalaegerszeg. *Belvedere Meridionale*. Volume 28. pp 106&119.

- [31] Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) & Vasutak Nemzetközi Szövetsége (UIC) (2017): Railway Handbook 2017, IEA, Párizs, 119p
- [32] Noussan, M., Campisi, E., & Jarre, M. (2022): Carbon Intensity of Passenger Transport Modes: A Review of Emission Factors, Their Variability and the Main Drivers. Sustainability. Volume 16. Issue 17. Article 10652. pp. 1-16.
- [33] Padeiro, M., Louro, A. & Costa, N. M. d. (2019): Transit-oriented development and gentrification: a systematic review. Transport Reviews. Volume 39. Issue 6. pp 733-754.
- [34] Pengjun, Z. & Shengxiao, L. (2018): Suburbanization, land use of TOD and lifestyle mobility in the suburbs: An examination of passengers' choice to live, shop and entertain in the metro station areas of Beijing. Journal of Transport and Land Use. Volume 11. Issue 1. pp. 195-215.
- [35] Potěšil, T. & Moloková, T. (2006): The tram-train system application in Olomouc region. Scientific papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty. Issue 12. pp. 91-102.
- [36] Ritchie, H. (2023): Which form of transport has the smallest carbon footprint?, OurWorldinData.org., <https://ourworldindata.org/travel-carbon-footprint#article-citation>, (letöltve: 2024.10.)
- [37] Thomas, R., Pojani, D., Lenferink S., Bertolini, L., Stead, D. & Krabben, E. v. d. (2018): Is transit-oriented development (TOD) an internationally transferable policy concept?. Regional Studies. Volume 52. Issue 9. pp 1201-1213.
- [38] Wang, Z., Chena, F. & Fujiyamac, T. (2015): Carbon emission from urban passenger transportation in Beijing. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Volume 41. pp. 217-227.