



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Közlekedéstechnológiai és Közlekedésgazdasági Tanszék

DIPLOMATERV

**Gyűjtőpont-kijelölő és hatáselemző módszer
kidolgozása megosztott autonóm járműves gyűjtő-
elosztó jellegű mobilitási szolgáltatáshoz**

Készítette:

Kulcsár Máté

2021

Köszönetnyilvánítás

EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2020-00001: Tehetséggondozás és kutatói utánpótlás fejlesztése autonóm járműirányítási technológiák területén - A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Köszönöm Munkácsy Andrásnak és Siska Miklósnek, a KTI Közlekedéstudományi Intézet Közlekedésfejlesztési Kutatóközpont vezetőjének és munkatársának, hogy az esettanulmányhoz szükséges forgalmi adatokat rendelkezésemre bocsátották.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	- 1 -
2	A kutatási téma.....	- 3 -
2.1	Aktualitás, jelentőség.....	- 3 -
2.2	Problémafeltárás, alkalmazott módszerek, célkitűzés.....	- 4 -
3	Irodalomkutatás.....	- 7 -
3.1	Gyűjtőpont-kijelölés – Gravitációs modell.....	- 7 -
3.2	Hatásterületek.....	- 9 -
4	Mobilitási szolgáltatás modellje.....	- 17 -
4.1	Mobilitási szolgáltatás.....	- 17 -
4.2	Szerkezeti modell.....	- 22 -
4.3	Funkcionális modell.....	- 25 -
5	Módszertan.....	- 32 -
5.1	Gyűjtőpont-kijelölő módszer.....	- 32 -
5.1.1	Makro szint.....	- 33 -
5.1.2	Mezo szint.....	- 35 -
5.1.3	Mikro szint.....	- 36 -
5.2	Hatásbecslő módszer.....	- 37 -
5.2.1	Jósági fok.....	- 38 -
5.2.2	Változók.....	- 41 -
6	Esettanulmány – módszerek alkalmazása.....	- 48 -
6.1	Gyűjtőpont-kijelölő módszer alkalmazása.....	- 48 -
6.1.1	Makro szint.....	- 48 -
6.1.2	Mezo szint.....	- 49 -
6.1.3	Mikro szint.....	- 51 -
6.2	Hatásbecslő módszer alkalmazása – változatok elemzése.....	- 53 -
6.2.1	Változók, paraméterek értékadása.....	- 54 -
6.2.2	Eredmények.....	- 58 -
6.2.3	Változatok összehasonlítása, értékelése.....	- 62 -
7	Konklúzió.....	- 64 -
	Ábrajegyzék.....	- 66 -
	Táblajegyzék.....	- 66 -
	Felhasznált irodalom.....	- 67 -
	Tudományos cikkek.....	- 67 -
	Webes hivatkozások.....	- 73 -
	Függelék.....	- 74 -
1.	Függelék: Nomenklatúra.....	- 74 -
2.	Függelék: Változatelemzések.....	- 76 -

1 Bevezetés

A nagy városok vonzáskörzetéből naponta érkező ingázó forgalom kezelése, az egyéni gépjárműközlekedésből adódó negatív externáliák (környezetterhelés [1-3], torlódások [4-5], időveszteség [6], területhasználat) mérséklése megoldandó probléma. Nagy kapacitású közforgalmú közlekedési hálózat hiányában a közúti forgalom terhelése még jelentősebb. Alternatív megoldásként egyre népszerűbbek a megosztott mobilitási szolgáltatások (pl. telekocsi). Ugyanakkor számos utazó az egyéni gépjárműhasználattal elérhető rugalmasságot és „kényelmet” nem hajlandó feladni.

Az autonóm járművek fejlesztése a mobilitási szolgáltatások változásához vezet [7]. A szakirodalom többnyire a városi szolgáltatásokkal foglalkozik [8-9], az autonóm járművek városkörnyéki és regionális alkalmazhatóságával kevésbé.

Diploma munkám során elővárosi relációban használható autonóm járműves mobilitási szolgáltatás gyűjtőpont darabszámát meghatározó gravitáció modellen alapuló tervezési módszert, valamint a szolgáltatással elérhető környezeti és forgalmi hatásokat meghatározó módszert dolgoztam ki. Definiáltam a mobilitási szolgáltatás jellemzőit, kidolgoztam a szerkezeti és funkcionális modelleket. A szolgáltatás során az egyéni használatú mikro járművek mozgása „egyesül” egy szakaszon úgy, hogy a járművek az útvonaluk közös szakaszán egy tréleres gyűjtőjárművön utaznak. A közös szakaszt megelőzően a gyűjtőállomáson „felszállnak” a trélerre, majd az elosztóállomáson „leszállnak” a trélerrel. Az átszállási és rágyaloglási kényszer megszűnik, míg az egyéni utazás kényelme megmarad.

A mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálata során a feltárt lehetséges területek elemzéséből megfogalmazott potenciális változásokat vizsgáltam. Az összes lehetséges terület közül kiválasztom azokat a fontosabb területeket, amelyek jelentősebb hatással bírnak a járművek üzemeltetése során a környezetre, a társadalomra és a gazdaság egészére. Az azonosított fontosabb változási területek részletesebb elemzését készítem el. A módszer során az összes ingázói tevékenységet végző járműegységekre számított változásokat határozom meg változási területenként. A mobilitási szolgáltatást a fokozatos, a váltási hajlandóságnak megfelelő bevezetése, az elektromos járművek aránya, a mobilitási szolgáltatás felhasználásának módja és a tréler telítettsége szerinti változatok szerint vizsgáltam. Minden változatra meghatároztam a fontosabb változási területek pontos változási értékét, amely változási értékekből számoltam minden változatra a jósági fok értékét.

A kidolgozott módszereket esettanulmányként Budapest-Budakalász viszonylatában alkalmaztam. A mobilitási szolgáltatás kialakítása és a szükséges Budakalászi gyűjtőpont számának meghatározása mellett megállapítottam, hogy a szolgáltatás jóságát jelentősen befolyásolja az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás modal share értéke és az elektromos járművek részaránya. Például 50%-os váltási hajlandóság esetén a mobilitási szolgáltatással a napi ingázás során összesen megtett járműkilométer 45%-kal, a CO₂ kibocsátás 46%-kal és az üzemanyag-fogyasztás 48%-kal csökkenthető.

A kutatási eredményeim elősegíthetik az autonóm járműves mobilitási szolgáltatások bevezethetőségét és hatásának megértését a környezetre, a forgalomra és a társadalomra. Mindezek által elősegíti ezen szolgáltatások integrálását a közlekedésbe, megteremtve egy fenntarthatóbb, hatékonyabb ingázási módot.

2 A kutatási téma

2.1 Aktualitás, jelentőség

A közeljövőben növekedni fog az autonóm képességekkel rendelkező járművek penetrációja az utakon. Az elvárások alapján az autonóm járművek bevezetésével a forgalmi torlódások kiküszöbölhetők. Akár 5%-os autonóm járműflotta alkalmazásával már jelentősen csillapíthatók a forgalmi torlódások, aminek köszönhetően a CO₂ 15%-kal, míg a NO_x-ok kibocsátása akár 73%-kal mérsékelhető [10].

Az egymással kommunikáló autonóm járművek forgalomba való bevezetése várhatóan számos előnnyel jár. Növekszik:

- a felhasználói kényelem,
- a közúti közlekedés biztonsága,
- a közúti kapacitás.

Csökken:

- az ütközés kialakulásának valószínűsége,
- a forgalmi torlódások száma és nagysága,
- a károsanyag-kibocsátás,
- az üzemanyag-fogyasztás,
- az utazási idő és költség. [11]

A mindennapokban rohamosan növekvő forgalmi igények miatt kialakuló torlódások, növekvő károsanyag-kibocsátás hatására szükséges a mindennapi munkamotivált, elővárosi ingázói forgalom reformja is, alternatív közlekedési módok, lehetőségek bevezetése, ami elősegíti az ingázási folyamat kedvezőbb járműmegoszlásának létrejöttét. Érdemes a személygépjárműves ingázást megszüntetni, helyette új mobilitási szolgáltatásokat bevezetni, elősegíteni a közösségi közlekedés versenyképességét és szolgáltatási színvonalának emelését, hogy a közösségi közlekedéssel is hosszútávon végrehajtható legyen az ingázás.

2.2 Problémafeltárás, alkalmazott módszerek, célkitűzés

A kutatásom során célom egy autonóm járműves mobilitási szolgáltatás kialakítása és az üzemeltetéshez szükséges gyűjtőpont-kijelölő módszer kidolgozása és szolgáltatás használatával elérhető hatások széleskörű vizsgálata volt. Megalkottam a szükséges mobilitási szolgáltatás szerkezeti és funkcionális modelljét, majd kidolgoztam a gyűjtőpont-kijelölő módszert. Ezután megvizsgáltam a megosztott, tisztán elektromos és hagyományos meghajtású autonóm járműves mobilitási szolgáltatás környezetre, a forgalomra és az ingázásra gyakorolt hatásait. Az autonóm járművek jelentős hatással bírnak az ingázás időtartalmára; a magánhasználatú autonóm járművekkel nagyobb ingázási időcsökkenés érhető el, mint a megosztott használattal kapcsolatosan [12].

A kutatás során arra kerestem a választ, hogy a gravitációs modell alkalmazható-e a mobilitási szolgáltatás jövőbeli igényeinek feltárására az ingázás során,
továbbá az autonóm járművek használata hatékonyabbá teszi-e az ingázó közlekedést
és az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás
az ingázás során milyen mértékű változást okoz a CO₂ kibocsátásra,
a megtett járműkilométerre, az ingázás időtartamára és az üzemanyag-fogyasztásra.

Kutatás célkitűzése: a megosztott autonóm járműves mobilitási szolgáltatás kialakítása és bevezethetőségének és üzemeltetésének elősegítése gravitációs modell alapú gyűjtőpont-kijelölő módszer kidolgozásával. Továbbá a napi munkamotivált, elővárosi ingázás során használható autonóm járműves mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálatának elkészítése, amelyben meghatározom, szemléltetem a mobilitási szolgáltatás hatékonyságát a közlekedésszervezésre és a környezetre. A hatásvizsgálathoz rendszerszintű üzemeltetési szempontokat figyelembe vevő jósági fok meghatározási módszer kidolgozása a cél.

A kutatási folyamat fázisait az 1. ábra szemlélteti. Először kialakítottam a mobilitási szolgáltatás működési elveit, összegeztem az előnyeit, hátrányait és összehasonlítottam további más mobilitási szolgáltatásokkal. Ezután megalkottam a mobilitási szolgáltatás szerkezeti és funkcionális modelljét. Végezetül pedig kidolgoztam a mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséhez szükséges gyűjtőpont-kijelölő módszert makro, mezo és mikro elemzési szinteken gravitációs modellen alapulva. A gyűjtőpont-kijelölő módszert alkalmaztam Budakalász területére. Majd a

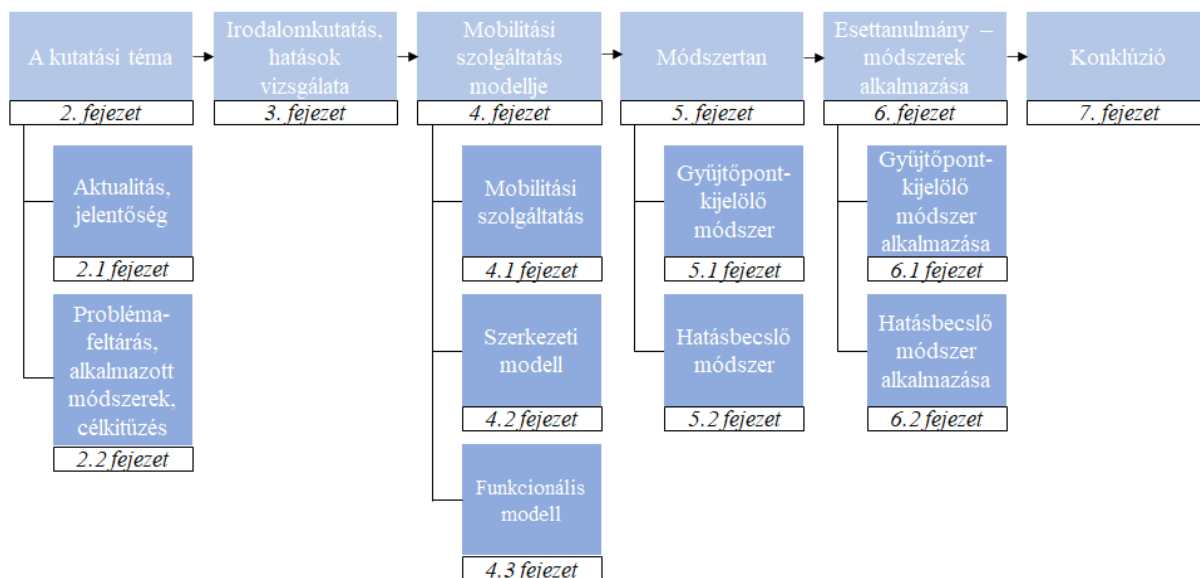
hatásbecslő módszertan kidolgozásához először általánosan megvizsgáltam, hogy az autonóm járművek milyen mértékben okoznak változást a forgalmi paraméterekre, a felhasználó központú megosztott mobilitás szolgáltatására és magára a környezetre.



1. ábra: A kutatás folyamata
(forrás: saját kutatási eredmény)

Ezután megvizsgáltam, hogy a jelenlegi járműflotta bizonyos mennyiségű hagyományos hajtású járművek alternatív hajtású, tisztán elektromos, járművekre való cseréje milyen mértékben okoz változást a lokális, globális környezetre. A megosztott tisztán elektromos autonóm járművek megjelenése jelentősen csökkenti az energiafelhasználást (üzemanyag-fogyasztást), miközben a szolgáltatás színvonala nem csökken [13]. A tisztán elektromos járművek, az autonóm járművek jelentős hatást gyakorolnak az üzemeltetésre. Többszintű hatásvizsgálatot készítettem, amely során változatelemzésen keresztül különböző változók és változatok (amelyek magukba foglalják az autonóm járművek penetrációját, az elektromos járművek arányát, a mobilitási szolgáltatás használati módját) alapján meghatároztam a mobilitási szolgáltatás jósági fokát (mennyire hasznos a mobilitási szolgáltatás a negatív hatások csökkentésére). Ehhez megvizsgáltam a megosztott, igényközpontú mobilitási szolgáltatások hogyan befolyásolják a CO₂ és az üvegházhatású gázok kibocsátásának mértékét. Egy mobilitási szolgáltatás tekintetében különösen a kis- és közepes méretű nagyvárosi területeken, az ingázókra gyakorolt hatást is vizsgálni szükséges. A városi területek, a külvárosok és vidéki területek térbeli változékonyságát is figyelembe szükséges venni.

A dolgozat felépítését a 2. ábra foglalja össze, bemutatva a legfontosabb részfeladatokat és azok egymásra épülését. Az egyes részfeladatoknál feltüntettem a fejezetszámot, ahol a dolgozatban megtalálhatóak.



2. ábra: A dolgozat felépítése

(forrás: saját kutatási eredmény)

3 Irodalomkutatás

3.1 Gyűjtőpont-kijelölés – Gravitációs modell

A mobilitási mintázatok elemzésével alakítható ki az optimális közlekedési hálózat, meghatározható például a töltőállomások [14-15] vagy az autóbusz megállóhelyek [16] száma. A kutatások során számos megközelítést alkalmaztak: honnan-hová mátrixok [17], genetikus algoritmus [18], térinformatika [19-20], gráfelmélet [21]. Az 1. táblázatban meglévő mobilitási mintázatok elemzésével foglalkozó kutatásokat hasonlítottam össze a kutatások célja, a használt módszer és az egyediségük alapján. Az utolsó sorban a jelen kutatás során kidolgozott módszert is feltüntettem.

Gravitációs modelleket, mint térbeli interakciós modellek csoportját, széles körben alkalmazzák közlekedési rendszerek elemzéséhez. A gravitációs modellekkel is i és j területegységek közötti kölcsönhatás vizsgálható [22]. Két fő csoport különböztethető meg: (i) az áramlás irányát figyelembe vevő, honnan-hová mátrixokat alkalmazó modellek [23-24], valamint (ii) a Newton-féle gravitációs törvényen alapuló, irányfüggetlen, kölcsönhatás-orientált modellek. Utóbbiak a két hely tömegéből (pl. lakosságszám) és a közöttük lévő távolságból indulnak ki [25-26], ezzel becsülve a két terület közötti forgalom nagyságát [27]. A modell kiegészíthető alkalmazás-specifikus tényezőkkel, részletesebben leírja az utazók motivációját [28], a meglévő infrastruktúrát vagy a mobilitási szolgáltatást [29]. Jelen kutatásban, mivel a forgalomiránya nem befolyásolja a gyűjtőpontok számát, a Newton-féle gravitációs törvényen alapuló modellt alkalmaztam.

A napi ingázás során az utazók módválasztását leginkább a biztonság, míg legkevésbé az okozott környezetterhelés befolyásolja [30]. A különböző pénzügyi változások (pl. üzemanyagár, közösségi közlekedés díja) sincsenek számottevő hatással a gépjárműről közösségi közlekedésre történő váltási hajlandóságra. Leginkább érzelmi tényezők döntenek [31]. Az egyéni gépjárműves közlekedés egyik rugalmas alternatívája a telekocsi (ride-sharing). Jelen kutatás középpontjában álló autonóm járműves mobilitási szolgáltatás számos hasonlóságot mutat a telekocsi szolgáltatással (pl. utazók összegyűjtése). A telekocsi szolgáltatások számos szempont alapján elemezhetők: felhasználói viselkedés [32], árképzési modellek [33], fenntarthatósági kérdések [34], szolgáltatástervezés [35]. A megosztott járműhasználat befolyásolja az utazási és tulajdonlási szokásokat, ami további pozitív környezeti hatásokkal jár, például torlódás- és a károsanyag-kibocsátás csökkenése [36-37]. Az

autonóm járművek megosztott használatában nagy potenciál rejlik. Az autonóm járművek használatával az üzemeltetési hatékonyság és szolgáltatások rugalmassága fokozható [38], a közös járműhasználat ösztönözhető [39].

1. táblázat:

Mobilitási mintázatokat elemző módszerek összehasonlítása
(forrás: saját kutatási eredmény)

	Megközelítés	Cél	Használt módszer	Egyediség
[17]	Városi közlekedési hálózatok értékelése és optimalizálása	Személyszállítási rendszerek, hálózat felügyelete és optimalizálás fokozása	Utazó-útvonal összerendelő algoritmus	Honnan-hová mátrix, szakaszok és csomópontok, várakozási idő elemzés
[18]	Utazó-jármű összerendelés és jármű újraosztás keresletalapú mobilitási szolgáltatáshoz	Összerendelési feladat megoldása historikus adatokon alapuló becslés alapján	Neurális háló – historikus adat alapú tanulás	Historikus utazási profilok, historikus és valós idejű igények, újraosztás előrejelzése
[19]	Mobilitási minták - kerékpár-alapú közlekedési rendszer elemzése	Felhasználók elégedettség fokozása	Térbeli és időbeli adatok, gyakoriság értékek (hétköznap, óránként), térbeli mobilitási minták	Idősor-elemzés
[20]	Kerékpármegosztó rendszerek gyűjtőállomásainak optimális helyszínei: térinformatikai megközelítés	Térinformatikai alapú módszer fejlesztése	Térbeli és infrastruktúra adatok; potenciális igények meghatározása, változatelemzés, állomáskapacitás elemzés	GIS, potenciális kereslet modellezése, térbeli adatok használata
[21]	Mobilitási minták elemzése a mobilitás szolgáltatás javítása érdekében	városi mobilitás javítása - folyamatos információcsere, újszerű forgalom-irányítás alkalmazása	Úthálózat ábrázolása, útállapot-csoportosítás, torlódás előrejelzése, hőterképek alkalmazása	Gráfelmélet, forgalomszimuláció
-	Gravitációs modellen alapuló megközelítés	Gyűjtőpontok számának meghatározása mobilitási szolgáltatáshoz	Newton-féle gravitációs modell	Nincs honnan-hová mátrix, demográfiai és infrastrukturális adatok felhasználása

3.2 Hatásterületek

Hét hatáspontban foglalható össze az autonóm járművek bevezetését követő változások: közlekedési infrastruktúra, területhasználat, forgalomáramlás, közlekedési módváltás, hozzáférhetőség, közlekedéssel kapcsolatos emberi munkavégzés és a közlekedésbiztonság [40]. Ugyanakkor, az autonóm járművek jövőbeli lehetséges használata számos kérdést vet fel. A leginkább vitatott hatások közé tartoznak a járműhasználat és megtett járműkilométer potenciális növekedése, ezek által a torlódások, a környezetszennyezés, a parkolási területhasználat, a városi terjeszkedés növekedése. További vitatott területek az adatkezelési és adatvédelmi kérdések, az intelligens infrastruktúra kiépítettsége, megfelelősége, a megnövekedett költségek és a társadalmi elfogadásra vonatkozó aggályok, valamint jogi kérdések [41].

A legfontosabb változások egyike az összes futott járműkilométerben, a kereslet növekedésében történhet [42]. A megtett járműkilométer növekedhet, mivel az automatizálás csökkenti a vezetési költségeket (pl. a járművek optimális paraméterein való vezetés minimalizálja a járművek fogyasztását). Ez arra ösztönözheti az embereket, hogy többen válasszák a személygépjárműves utazást és az ingázást, mivel a „járművezetők” a járművekben akár pihenhetnek, dolgozhatnak is [43]. A rendelkezésre álló kutatások azt sugallják, hogy az autonóm járművek hatására csökkenhet a gyaloglás szerepe is [44]. Ezenkívül az autonóm járművek technológiája lehetővé tenné, hogy a fogyatékkal élők teljesen egyedül is utazzanak (mobilitási lehetőséget nyitva a korábban korlátozott társadalmi csoportok számára), amely tovább növelheti a személygépjárművet használók részarányát és növelhetik a közúti járművek számát, így csúcsidőben be + 2%-kal, összességében pedig + 1%-kal is növelhetik a torlódásokat [45]. Továbbá növelhetik a megtett kilométert; a városi térség széléről is lehetővé válik a kényelmes utazás [46]. A forgalomlefolys javulhat, ha a hatékonyabb járműirányításból (pl. nincsen féktávolság, nincsen hirtelen manőver által kialakuló lökéshullám) származó kapacitásbővítés felülmúlja a növekvő keresletet [46]. A potenciális előnyök részben az elért flottaszintű automatizálás szintjétől függenek, valamint attól, hogy a járművek képesek-e kommunikálni egymással és a környező infrastruktúrával [47].

Autonóm járműtechnológia

Az autonóm járművek bevezetése a teljes közúti hálózati teljesítményének, az utazási idő és az átlagsebesség javulásához vezet [48]. Az utazással eltöltött teljes idő csökkenhet (–35% a városon belüli utak és –21% az autópályán történő utazások esetében), és az átlagos hálózati

sebesség nőhet (+48% a városon belüli utak és +37% az autópályán történő utazások esetében) [49]. Bizonyos szimulációs eredmények ennek ellenkezőjét is mutatták, azaz a forgalomlefolrás romolhat is az autonóm járművek megjelenését követően, ha a járművek között nem valósul meg hatékony kommunikáció [50]; a járművek túl óvatosak lehetnek.

Mindemellett az összes járműszám csökkenhet, ha az autonóm járművek technológiája párosul járműmegosztó szolgáltatásokkal [51]. Az utazásmegosztás (ride-sharing) és a járműmegosztás (car-sharing) az automatizálásból származó növekvő megtett járműkilométer potenciális ellenszere. Az egyéni autonóm személygépjármű tulajdonlás drágasága valószínűleg elősegíti az autonóm technológiával működő igény szerinti car-sharing és ride-sharing elterjedését [52]. Ugyanakkor elengedhetetlen olyan szolgáltatások fejlesztése, amely minimalizálja az utazók megosztott használat miatti idővesztését. Ha nem megfelelő az útvonalak megválasztása, az tovább növelheti a megtett járműkilométert is. A speciális szoftverprogramok a leghatékonyabb útvonalak megtervezésével enyhíthetik ezt a negatív hatást [53].

A megosztott autonóm járművek előnyei még alacsony piaci penetráció mellett is jelentkeznek. Szimulációs vizsgálatok során megosztott autonóm járműves flottával helyettesítettek olyan szolgáltatásokat, mint pl. az UberPool, ami egy ún. megosztott ride-sourcing szolgáltatás, amely során az egyirányba utazókat egy személygépjárműben szállítják el, megosztva ezzel a költségeket, csökkentve a járművek számát. Egy megosztott autonóm jármű akár 9,3 hagyományos járművet is képes kiváltani, feltételezve, hogy minden egyes járművet egy személy vezet és három fuvart teljesít egy nap. Ugyanakkor a modellezés kezdeti szakaszán, kis piaci részesedésnél, a megtett járműkilométer növekedése tapasztalható [52]. Minél nagyobb a megosztott autonóm járművek piaci penetrációja, annál nagyobb határfokon üzemeltethető egy mobilitási szolgáltatás [54]. Kis piaci penetráció esetén, ahhoz, hogy egy-egy jármű felvegye az ügyfeleket a különböző „gyűjtőpontokon” sok többlet kilométert szükséges megtenniük rendszer szinten tekintve. A nagyobb piaci penetráció és a sűrűbb városi környezetben nézve a megosztott autonóm járműveknek kevesebb kilométert szükséges megtenniük, hogy elérjék a következő ügyfelet, mivel valószínűleg több autonóm jármű mozog folyamatosan, így az utas-jármű összerendelés gyorsabban és hatékonyabban megvalósítható. Továbbá a megosztott autonóm járműveknek nem szükséges többlet kilométereket megtennie ahhoz, hogy megtalálja az üres parkolóhelyet (ellenben a hagyományos járművezetőkkel szemben, főleg csúcsidőben). Ezáltal tovább csökkenthető a megtett járműkilométer száma [55]. Az autonóm járművek torlódással kapcsolatos csillapítási hatásai szorosan összefüggenek

a piaci penetráció értékeivel. Függetlenül a megosztott autonóm jármű forgalmi penetrációjától, akár 60%-kal is csökkenhet a torlódás [56]. Tehát az első 5 évben az autonóm járművek alacsony piaci penetrációja miatt valójában növekedni fognak a torlódások, viszont jelentős penetráció esetén drasztikusan csökkennek [57].

Egy szingapúri esettanulmány megállapításai arra utalnak, hogy az autonóm igény-vezérelt közlekedés bevezetése jelentős hatással lehet a hálózati teljesítményre, a megnövekedett futásteljesítményre, az utazási időre és az energiafogyasztásra, miközben csökkenti a járművek kibocsátását [58]. A szimulációs eredmények azt mutatják, hogy az ügyfelek parkolási keresletének akár 90%-át is meg lehet szüntetni, alacsony, 2%-os autonóm jármű penetráció mellett is [59]. Az önparkolási funkciók miatt képesek parkolóhelyeket felszabadítani a városközpontban azzal, hogy a járművek elviszik az igénypontra a felhasználót, ahol „lerakva” őket tovább halad a jármű a következő ügyfélhez, ezzel csökkentve/megszüntetve a parkolási keresési időt és az ehhez kapcsolható többlet futásteljesítményt, a költségeket és a környezetszennyezést [60].

Mindezek mellett a járművek közötti távolság csökkentésével (az autonóm jármű gyorsabb reakcióideje miatt) az utak kapacitása növelhető. A követési távolság ember vezette járművek esetében nagyobb. Ezen reakció idők kiküszöbölése esetén a járművek biztonságosan közel kerülhetnek egymáshoz. Lényegében több jármű könnyebben átjuthat ugyanazon a korlátozott számú sávon az automatizálási technológiával, csökkentve a torlódásokat és racionalizálva az általános vezetési folyamatot. Ezáltal növelhető az utak áteresztőképessége [47].

Mindezen forgalomra gyakorolt pozitív hatások különösen fontosak, mivel a társadalom mobilitási igényei a jövőben tovább nőhetnek. Egy torontói becslés megállapította, hogy Torontóban a népesség növekedése 2017 és 2050 között önmagában közel 60% -kal növelheti a vásárlási, szórakozási vagy étkezéssel kapcsolatos területhasználatot. A megosztott autonóm járművek azonban megduplázhadják vagy megháromszorozhatják ezt a keresletet; nő a szolgáltatások, intézmények felé az érdeklődés, hiszen könnyebben, kényelmesebben, zavartalanul el tud érni azokat a felhasználó [61]. Igényalapú szimulációs modell segítségével becsülhető a megosztott autonóm járművek lehetséges hatása a városi parkolási igényekre.

Az autonóm járművek ösztönözhetik az ingázást, és jelentősen csökkenthetik az ingázók várható oda-vissza utazási költségeit és a megtett járműkilométert a hálózaton [62], amennyiben az autonóm járművekkel ingázók mindig megosztják a reggeli és délutáni utazást a munkahelyre/-ről, ha a munkaidők nem különbözőek.

Károsanyag-kibocsátás

A költségek figyelembevétele során elemezni szükséges az alkalmazott autonóm mikro járművek energiafogyasztását. Az ipari országokban a szén-dioxid kibocsátás legfőbb forrása a közlekedés. 15 évente több, mint 5%-os növekedés tapasztalható a károsanyag-kibocsátásban (CO₂, szén-monoxid, nitrogén-oxidok, szilárd szennyeződések). Ezen gázok hatására nő a lokális és globális környezetszennyezés. Több ember hal meg a levegő minőségéből adódó szövődményekben, mint a közlekedési balesetekben. Az üvegházhatású gázok 1/6-a a közlekedésből eredeztethető [63]. A szén-monoxid kibocsátás 90%-a közlekedésből származik (tökéletlen égés hatására), a közlekedés részesedése a CO₂ kibocsátásból 26%.

A városok légszennyezettségének csökkentésére irányuló ígéretes megoldást általában tisztán elektromos járműveknek tekintik, ami hozzájárul a környezetgazdálkodás hatékonyabb optimalizálásához, mint a jövőbeli alacsony szén-dioxid-kibocsátású mobilitás kulcsa [64]. A tisztán elektromos járművek bevezetése pozitív hatást gyakorol az energiatakarékosságra és a kibocsátáscsökkentésre. A becslések szerint 1,9 milliárd kg villamosenergia és 39,4 millió tonna CO₂ kibocsátás csökkenés érhető el [65]. Kedvezőtlen becslések szerint a tisztán elektromos járművek várhatóan felére csökkenthetik a közúti közlekedésből eredő károsanyag-kibocsátást. Akár 100%-os csökkentés is elérhető, ha a hozzáadott villamosenergia-kibocsátást dekarbonizált módon állítják elő, azaz üvegházhatású gáz kibocsátás nélkül. Mindezek mellett, a tisztán elektromos járművek csökkentik a helyi, lokális környezetterhelést, így a városok levegőminősége drasztikusan javulhat [66]. A tisztán elektromos járművek bevezethetősége és piaci részesedése, elfogadása fontos kérdés a jövőre nézve. A tisztán elektromos járművek várható környezeti hatása fontos tényező a fogyasztói elfogadásuk növelésében. A felhasználható megújuló villamosenergia mennyisége jelentősen befolyásolja a tisztán elektromos járművek környezeti terhelését. Már akár 10%-os tisztán elektromos járműves penetrációnak köszönhetően akár 5%-kal csökkenthet az üvegházhatású gázok kibocsátása 2026-ra [67]. Egy másik tanulmány kimutatta, hogy a személygépjármű vásárlására nyújtott állami adókedvezmény miatt a felhasználók vásárlási hajlandósága növekedhet. A kedvezményeknek köszönhetően a belsőégésű motorral működő járműről való átállás a nagykapacitású akkumulátorral rendelkező tisztán elektromos járműre nagyobb költség csökkenéssel jár, mintha a kisebb kapacitású akkumulátorral rendelkező tisztán elektromos járműre váltanánk át. Továbbá az adókedvezmény 10%-os növekedése átlagosan kb. 3%-kal növelné a tisztán elektromos járművek piaci részesedését [68]. Magasabb jövedelemmel rendelkező utazók, aki már valaha rendelkeztek személygépjárművel, többet tudnak a tisztán

elektromos járművekről. Úgy vélik, hogy a tisztán elektromos járművek javíthatják a levegő minőségét és hajlandóak többet fizetni érte. Ezért a döntéshozóknak érdemes figyelembe venniük a fogyasztók pozitív fizetési hajlandóságát a tisztán elektromos járművek árazása során és újra szükséges gondolniuk a tisztán elektromos járműveknek nyújtott meglévő támogatásokat [69].

Az automatizálási technológiával üzemeltetett mobilitási szolgáltatás ösztönözheti az elektromos járművek bevezetését azzal, hogy a vezérlés- és irányítástechnikát könnyebb a tisztán elektromos meghajtásra elkészíteni, hatékonyabb vezérlés érhető el az elektromotorokkal kapcsolatosan.

Nőhet az autópályán az energiasűrűsége a járműveknek a nagyobb sebesség következtében, viszont az egymáshoz való közvetlen közeli utazás pedig csökkentheti ugyanezt. A hirtelen manővereket kerülő autonóm vezetési stílus során a személygépjárművek 5 százalékkal kevesebb üzemanyagot fogyasztanak [70]. Az egymással folyamatosan kommunikáló járművek következtében akár 6-20% -kal is csökkenthet a kibocsátás [71-72], [73-74]. Az adaptív tempomat, amely automatikusan beállítja a járművek közötti távolságot vezetés közben, tovább növelheti a hatékonyságot. Az EuroFOT nevű, az intelligens közlekedéssel kapcsolatos adatokat összegyűjtő projekt európai tesztjének alapján, ha az Európai Unióban minden jármű adaptív sebességtartó automatikát használna, az évente közel 700 millió liter üzemanyagot takarítana meg és 1,7 millió tonna szén-dioxid-kibocsátást előznek meg [71]. A megosztott autonóm járműflotta folyamatos egésznapos üzemeltetése során a járművek motorja melegen marad. Ennek hatására a legjobb hatásfokon működnek a motorok, ami további károsanyag-kibocsátás csökkenéshez vezet (ez abban az esetben van így, ha a flotta nem tisztán elektromos hajtású, hanem benzines) [52]. Az autonóm járművek alkalmazása a NO_x-koncentráció csökkenését egyaránt elősegíti [75].

A környezetre gyakorolt hatása a megosztott autonóm járműveknek a legjelentősebb. Egy teljes flotta károsanyag-kibocsátása szén-dioxid esetében 15% -kal, míg nitrogén-oxidok esetében 73%-kal csökkenthető, ha a stop-and-go hullámok csökkennek vagy megszűnnek. Ezen eredmények már 5%-os autonóm jármű penetráció esetén elérhetőek [76]. Ezen hatások jelentősebbek, ha az autonóm járműveket „agresszívabb” vezetési stílusra hangolják (pl. kisebb féktávolság) torlódásmentes áramlást feltételezve (pl. autópályán) [77]. Városi autópályafolyosó mentén (nagyvárosi területen) az autonóm jármű-technológiával 5%-os kibocsátáscsökkenés várható [78].

Az autonóm járművek alkalmazása képes javítani a városi levegő minőségét, de további kutatásokra van szükség a pontosabb becslések érdekében. Korábbi kutatások számszerű modellezési megközelítést alkalmazva értékelték az autonóm járművek hatását egy közepes méretű portugál városi terület levegőminőségére (Vissim modellező programban). Megállapították, hogy az autonóm járművek bevezetése elősegíti a nitrogén-oxid koncentrációk növekedését és csökkenését egyaránt, míg a hibrid meghajtású autonóm jármű elősegítette a nitrogén-oxid koncentrációk drasztikus csökkenését. Több változatot kidolgozva megállapították, hogy a hagyományos meghajtású autonóm járművek alkalmazása esetén csekély, míg a tisztán elektromos autonóm járművek esetén drasztikus, mintegy 30%-os az NO_x és a CO_2 kibocsátás csökkenése érhető el [79], [75]. A tisztán a hibrid elektromos járműveket, a plug-in hibrid elektromos járműveket, a tisztán elektromos járműveket és a hidrogén üzemanyagcellás elektromos járműveket a teljes életciklus tekintve összehasonlítva benzines járművel figyelembe véve az üzemanyag használatot, a töltési idővesztéseget, a karbantartási költségeket, és károsanyag-kibocsátást megállapítható, hogy a legkörnyezetkímélőbbek a hidrogén üzemanyagcellás és a tisztán elektromos járművek. Ezen járművek károsanyag-kibocsátása kb. 84%-kal kisebb, mint a belső égésű motorokkal működő járművek kibocsátása. Az életciklusköltség eredménye azt mutatja, hogy a hibrid elektromos járművek rendelkeznek a legalacsonyabb életciklus-költséggel az összes kiválasztott jármű között (0,38 dollár/mérföldes költség). A növekvő szén-dioxid kibocsátásból adódó plusz költségeknek köszönhetően nő a hibrid és a tisztán elektromos járművek piaci részesedése [80].

Üzemanyag-fogyasztás

A megosztott autonóm járművek átlagos energiafogyasztása több tényezőtől is függ, értéke akár elérheti a 60%-os kibocsátáscsökkenést is a hagyományos járművekkel szemben [81]. A legfontosabb szempontok a jármű kialakítása, a meghajtás módja, a vezetési stílus (pl. hogyan tartsa a követési távolságot), a használat gyakorisága és időtartama. Ezen üzemanyag-fogyasztás csökkenés tovább növelhető, ha az igényeknek megfelelően kialakított személygépjárművel tesszük meg az utazásunkat, tehát az igényeknek megfelelően rendelhetnénk kétszemélyes mikro járművet a városi közlekedésben. [82].

Pontosabb információk alapján az autonóm járművek alkalmazásával akár 20 %-kal csökkenhet az üzemanyag-fogyasztás, továbbá a kevesebb dugó és kiegyensúlyozottabb utazósebesség következtében pedig további 4%-os megtakarítás is elérhető. Továbbá ez a technológia lehetővé teszi a minimális követési távolság betartását és mindig a dedikált sávban haladást, aminek következtében további 4 -25 % megtakarítás is elérhető. Emellett az ütközési

kockázatok minimalizálásának köszönhetően a járműfelépítés, a kialakítandó járműszerkezet is készült könnyebb elemekből, aminek köszönhetően további 5 – 23%-os megtakarítás érhető el. Az elképzelések alapján a jövőben a járművezetők kisebb hangsúlyt fektetnek majd az elvárt járműteljesítményre, hiszen nem lesz igényük az állandó előzési manőverekre, ami tovább csökkenti a fogyasztást [82].

Egyéb hatások

A forgalommal, az energiafogyasztással és a környezetterheléssel kapcsolatos hatásterületek mellett az autonóm járművek jelentős hatást gyakorolnak a balesetek számának csökkentésében is. Különösen a 3. és 4. automatizálási szinten csökkenthet a balesetek száma, ezáltal elkerülhetőek az ezzel járó útlezárásokkal, terelésekkel járó többlet kilométer megtétele és csökkenthető a szükséges utazási idő is [47], [83]. A közlekedésbiztonság állapota jelentősen javul a megosztott autonóm járművek arányának növekedésével [84]. A közlekedési konfliktusok még viszonylag alacsony piaci penetráció mellett is jelentősen csökkennek. 80-90%-os csökkenés a közlekedési konfliktusokban 70% körüli piaci penetrációval elérhető [85].

A megosztott autonóm járművek üzemeltetése legalább annyi ponton káros a közegészségügyre (első- és másodrendű közegészségügyi következmények), mint amennyi ponton hasznos [86]. A megosztott autonóm járművek egészségügyi vonatkozásairól szóló vita spekulatív és interdiszciplináris kutatást igényel a hatások számszerűsítéséhez. A közlekedéssel kapcsolatos légszennyezésre gyakorolt autonóm jármű-hatásokról szóló szakirodalom korlátozott, és további lépéseket igényel, beleértve a levegőminőség modellezését és az egészségügyi hatásvizsgálatot [87].

Az autonóm járművek elektromos motorokkal való felszerelésének vizsgálata, a városi területfejlesztés szabályozása, a forgalom-kezelési stratégiák végrehajtása, az autonóm járműtulajdonlás vizsgálata és a fuvarmegosztási politikák bevezetése olyan stratégiák, amelyek megerősíthetik az autonóm járművek társadalomra gyakorolt pozitív hatásait. Ösztönző jellegű politikai intézkedésekre van szükség az egyszemélyes hagyományos járművekről a megosztott tisztán elektromos járművekre való áttérés elősegítéséhez [88].

A politikai döntéshozóknak törvényeket szükséges hozniuk annak érdekében, hogy biztosítsák az autonóm járművek közötti folyamatos kommunikációt. Néhány javasolt politikai döntés [89]:

- integrálni a megosztott autonóm járműveket a tömegközlekedés üzemeltetésével a megfelelő átszállási lehetőségek biztosítása érdekében,

- ösztönözni a ride-sharing használatát a hálózati terhelés csökkentése érdekében,
- megfelelő parkolás-menedzsment kidolgozása a legjobb hatásfok elérése érdekében,
- dugódíj bevezetése az indukált kereslet visszaszorítása érdekében.

Az irodalomkutatás alapján megállapítottam, hogy az autonóm járműves mobilitási szolgáltatások intenzíven kutatott terület, ugyanakkor azok gyakorlati tervezését, például a gyűjtőhelyek kijelölése a kevésbé kutatott területek között van. A gravitációs modellekkel becsülhető a városok, körzetek közötti kapcsolati intenzitás, ami alkalmas a kereslet, így a gyűjtőpontok számának becslésére; legjobb tudomásunk szerint a modellt még nem alkalmazták gyűjtőpontok, megállóhelyek számának meghatározására. A modellezés előnye, hogy új tényezők vezethetők be, amik az alapvető számítási logikát nem befolyásolják; ugyanakkor az eddig alkalmazások többnyire közlekedési (pl. menetrend) és demográfiai (pl. lakosságszám, alkalmazottak száma) jellemzőket vettek csak figyelembe.

A hatások vizsgálata során megállapítottam, hogy sok esetben pozitívan, de van, hogy negatívan befolyásolja a megfogalmazott változási területeket (pl. torlódás, megtett járműkilométer, energiafogyasztás) az autonóm járművek bevezetése. A zöld közlekedés megvalósítása kulcsfontosságú a fenntartható közlekedés és a városfejlesztés szempontjából. A mobilitási szolgáltatás, az egymással kommunikáló, tisztán elektromos autonóm járművek és egyéb innovatív újítások lehetőséget adnak a lokális környezetterhelés minimalizálására. Széleskörű irodalomkutatás során azonosítottam azokat a fontosabb közlekedési, környezeti és gazdasági, társadalmi területeket, amelyekre hatással lehet egy tisztán elektromos autonóm járművekkel üzemeltetett mobilitási szolgáltatás bevezetése. A mobilitási szolgáltatás átalakíthatja az ingázó közlekedést és elősegítheti egy fenntartható, zöld mobilitási forma kialakítását.

4 Mobilitási szolgáltatás modellje

Ebben a fejezetben a kialakított mobilitási szolgáltatás szerkezeti és funkcionális modelljeit ismertetem. A mobilitási szolgáltatás bemutatásakor a résztvevő rendszer komponensek és a közöttük lévő kapcsolatok leírására helyezem a hangsúlyt.

4.1 Mobilitási szolgáltatás

A mobilitási szolgáltatás egy innovatív, automatizált rendszer, amely részlegesen helyettesíti a helyi egyéni személygépjárműves közlekedést és a városok közötti ingázó forgalmat. Az automatizálás autonóm tréler és mikro járművek alkalmazásával valósul meg. A szerkezeti modell kialakításával azt vizsgálom, hogy milyen komponensek találhatók a rendszeren belül és feltárom a közöttük felmerülő logikai kapcsolatokat. A mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséhez szükséges beruházás magas, de hosszútávon az üzemeltetés során kifizetődő lehet, ugyanakkor ennek vizsgálata nem célja jelen kutatásomnak.

Az angol mozaikszóval rövidített autonóm járműves mobilitási szolgáltatás (TCAV – Trailer-based Collected Autonomous Vehicle – Trélerrel gyűjtött autonóm járműves szolgáltatás) célja alternatíva biztosítása az egyéni gépjárműves ingázó forgalom számára. A TCAV háztól-házig nyújt átszállásmentes, az első és utolsó kilométereket, valamint a városok közötti utazást ötvöző, gyűjtő-elosztó jellegű szolgáltatást. Adott település különböző részeiből érkező mikro járművek egy gyűjtőponton „felszállnak” egy trélerre; az úticéljukhoz közeli elosztóponton „leszállnak” a trélerről, ahonnan önállóan teszik meg az utolsó kilométereket.

Ez egy háztól-házig szolgáltatás, ami hatékonyabbá teszi az erőforráskihasználást. A szolgáltatást többféle esetben célszerű igénybe venni. A rendszer összetevői:

- mikro jármű: 2 férőhelyes, kisméretű, alacsony hatótávolságú önvezető jármű; az utazó, vagy a mobilitási szolgáltató tulajdona (megosztott járműhasználat); ráhordó/elosztó funkció,
- tréler: 3-5 mikro járművet szállítani képes önvezető jármű; a szolgáltató társaság tulajdona.

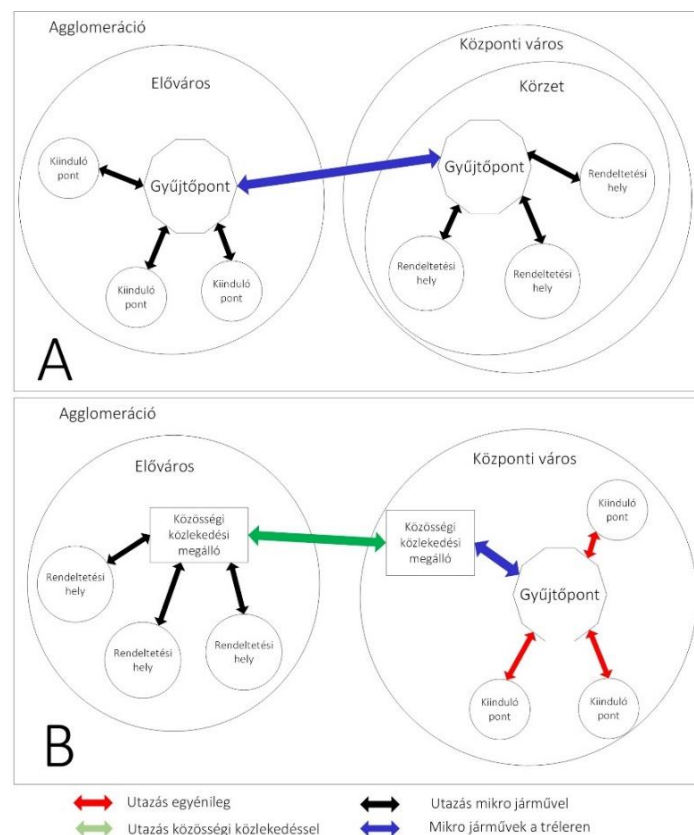
Szolgáltatástípusok:

- A. Városközi, háztól-házig: a tréler városok között szállít (1. ábra felső része). Abban az esetben, ha az ügyfél messze lakik bármilyen nagykapacitású tömegközlekedési megállótól (elsősorban kötöttpályás), akkor a mikro járművel elhalad a gyűjtőpontig,

ahol a tréler elviszi a belvárosba vagy a céljuknak megfelelő helyre, a mikro járművek egy adott ponton „szétszéledhetnek”, ha az összegyűjtött utazók úticélja különböző, vagy teljesen elviszi őket a célállomásig.

- B. Kombinált, ráhordó: a tréler az agglomeráción belül a legközelebbi nagykapacitású tömegközlekedési megállóig (pl. vasútállomás) hord rá. A mikro járművek a jelenlegi P+R rendszerhez hasonlóan a vasútállomáson parkolnak (1. ábra alsó része), vagy megosztott járműhasználat esetén új utast szolgáltatnak ki. Amennyiben az ügyfél közelebb lakik egy nagy kapacitású tömegközlekedési megállóhoz, a tréler csak a vasútállomásig szállítja a mikro járműveket, ahol P+R módon leparkolnak a vasútállomás parkolójába, az ügyfelek átszállhatnak a vonatra. A mobilitási szolgáltatás hatékonyabbá, kényelmesebbé, innovatívabbá teszi az ingázó forgalmat, más útvonalakat kínál az ügyfélnek és kevésbé környezetterhelő a személygépjárműves ingázó forgalomhoz képest.

A 3. ábrán a mobilitási szolgáltatás működését szemléltetem, annak érdekében, hogy pontosabban megfogalmazható legyen a folyamatban résztvevő komponensek.



3. ábra: A mobilitási szolgáltatás működése háztól-házig (A.) és kombinált (B.) utazás esetén

(Forrás: saját kutatási eredmény)

2. táblázat:
A mobilitási szolgáltatás előnyei és hátrányai
(Forrás: Saját kutatási eredmény)

Előnyök	Hátrányok
kényelmes, háztól-házig szolgáltatás	a tréler nagy súlya miatt az útburkolatot nagyobb mértékben károsítja
keresletalapú, nem menetrendszerinti	az üzemeltetési rend függ az ügyféltől, ha késik akkor időbeli csúszás léphet fel, az ügyfelek is függenek egymástól
alacsonyabb környezetterhelés, alacsonyabb közúti zajszint, élhetőbb város	nagy technológiai háttérrel rendelkeznek, így a vezérlők meghibásodási valószínűsége is magas
mobilis, bármikor szükség esetén azonnal igénybevehető	az elektromosság kinyerése is környezetterheléssel jár
dinamikus adatok alapján dolgozik, figyelembe veszi az aktuális forgalmi torlódásokat	az automatizált rendszer erősen függ az infrastruktúrától, tehát ha abban történik meghibásodás, az a mobilitási szolgáltatásban is okozhat bajt
hatékonyabbá teszi az ingázó forgalmat	hosszú időtartamú beruházási megtérülés
magas szolgáltatási színvonalat biztosít, teljesen ügyfélközpontú	az ügyféli igény alapú rendszer időbeli közlekedési szervezése nehéz
innovatív szolgáltatás, egyszerre van jelen a személygépjárműves közlekedés – egyesíti az egyéni gépjárműves privát és tömegközlekedés „szabadidő” tulajdonságait	korlátozott utazási kapacitás, maximum 3-4 jármű szállítható
a mikro járművek töltési ideje minimalizálható azáltal, hogy a tréler akár szállítás közben is tud töltést biztosítani	elektromos üzemeltetése miatt sűrű töltés szükséges, ezáltal a jármű rendelkezésre állása korlátos
a közösségi közlekedés számára is biztosított forgalmi előnyök élvezése (közvetlen a forgalmi irányító központtól)	akkumulátor drága és idővel cserélni kell, ezáltal az üzemeltetés drágul (akkumulátor kapacitása, minősége korlátozza a rendszert)
a mikro járművekben nincsen kormány, nagyobb utazási beltér, kényelmesebb utazás biztosítható	társadalmi aggályok övezik az 5-ös szintű autonóm járműveket

A 2. táblázatban összegyűjtöttem a mobilitási szolgáltatás legfontosabb előnyeit és hátrányait a hagyományos közlekedés, a közösségi közlekedés és az ingázó forgalommal szemben.

A mikro járművekbe alacsony kapacitású, kicsi akkumulátorok telepítése javasolt, amelyek kisebb volumenű szállításra alkalmasak (maximum 20 km), így csak az ún. első/utolsókilométerek tehetőek meg. Ezzel szemben a trélerben egy nagykapacitású akkumulátor található. A tréler és a mikro jármű egyesüléséből adódó közlekedés során energiafelhasználás csökken, a beszerzési és üzemeltetési költségek drasztikusan csökkenhetnek (hiszen elég csak kis akkumulátorokat beszerezni a mikro járművekbe). A tréler üzemeltetése kevésbé helyigényes, mint a hagyományos közlekedés, hiszen a mikro járművek a tréleren vannak rajta, így nem kell számolni a követési távolságokkal, csökken a helyszükséglet, optimalizálhatóbb a forgalomlefolys és növelhető az útkeresztmetszet áteresztőképessége.

A mikro járművek tulajdonjoga a magánszemélyek/utazók kezében van. Az ügyfelek lízingelhetik vagy akár meg is vásárolhatják azokat. A megvásárolt mikro járművekre nyújt tréleres szolgáltatást a mobilitási szolgáltató vállalat, így maguk a tréleres és a gyűjtőpontok üzemeltetése a vállalatok dolga. A megvásárolt vagy bérelt mikro járművek 5-ös szintű autonóm járművek, amely azt jelenti, hogy képesek minden típusú úton emberi jelenlét nélkül elboldogulni. Ennek köszönhetően a járművekben kormány és pedál nem található, így az utazási kényelem maximális lehet.

A környezetterhelés minimalizálása és a hatékonyságnövelés érdekében a járművek hajtása elektromos. A mikro járművekben kikapacitású akkumulátor található, amely rövid távolságú utazásra alkalmas (első-, utolsókilométerek). Ezzel szemben a trélerben egy nagykapacitású akkumulátor található.

A tréleres szállítással az összesített energiafelhasználás várhatóan alacsonyabb, mintha a mikro járművek önállóan közlekednének. További előny, hogy a tréleres szállítás kevésbé helyigényes, szemben a mikro járműves önálló közlekedésével, ezzel a forgalomlefolys javítható. A mobilitási szolgáltatás ember vezette járművekkel is megvalósítható, ugyanakkor a hatékonyság autonóm járművekkel fokozható üzemeltetési (fel-, leszállás a trélerre/trélerről) és felhasználói oldalról (egyéni utazás lehetősége a vezetési és férőhelymegosztási kényszer nélkül).

A 3. táblázatban a jelenlegi közlekedési módokat hasonlítottuk össze a TCAV szolgáltatással. A pontok száma az adott szempont meglétének erősségét fejezi ki.

3. táblázat:
Közlekedési módok összehasonlítása
(forrás: saját kutatási eredmény)

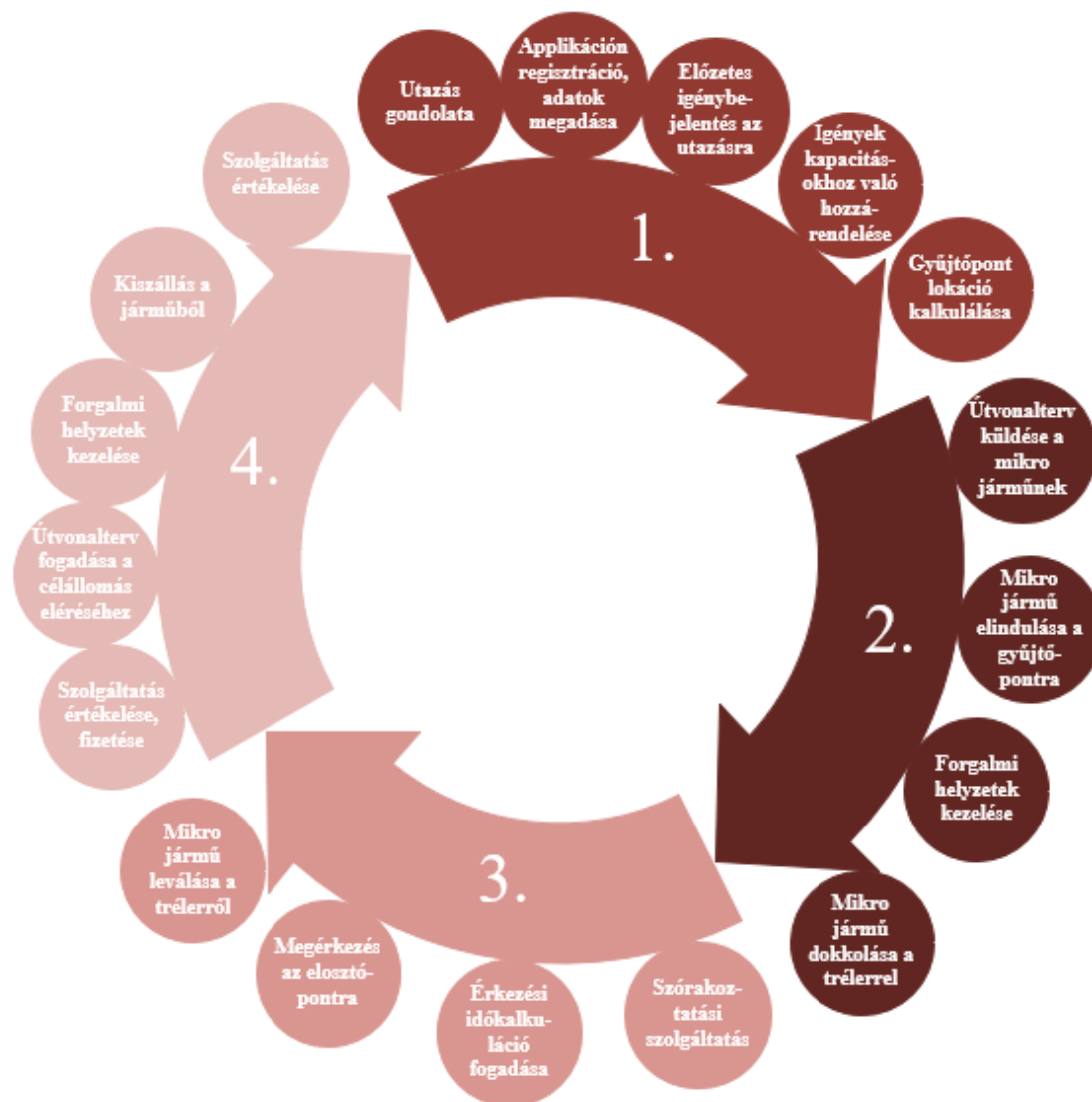
		A	B	C	D
	Szemponatok	Egyéni gépjárműves közlekedés	Menetrend- szerinti közforgalmú közlekedés	Telekocsi	TCAV
<i>a</i>	<i>Háztól-házig</i>	•••••	•	•••	•••••
<i>b</i>	<i>Keresletalapú</i>	•••••	•	•••	•••••
<i>c</i>	<i>Fajlagos energiafelhasználás</i>	•	•••••	••	••••
<i>d</i>	<i>Rugalmasság</i>	•••••	•	•••	••••
<i>e</i>	<i>Individualitás</i>	•••••	•	••	••••
<i>f</i>	<i>Forgalmi előnyök</i>	•	•••••	•	•••
<i>g</i>	<i>Átlagos férőhely kihasználás</i>	••	•••••	••	•••

A TCAV az utazót a célállomásig szállítja, nincsen szükség átszállásra (a), más utazóval egy légtérben történő utazásra (e). A gyűjtő-elosztó szolgáltatás keresletalapú, rugalmas, míg a közösségi közlekedés menetrend szerinti közlekedése miatt kevésbé rugalmas (b, d). Ugyanakkor a közösségi közlekedés előnyben részesítése jellemző, mely előnyben részesítés akár a TCAV szolgáltatás számára is elérhető a tréleres szállítási fázisban (f). A gyűjtő-elosztó jellegű szolgáltatás utaskapacitása kisebb, egy mikro jármű két személyes, tehát egy tréleren maximum 12 ember utazhat (g). Az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás fajlagos energiafelhasználása a tréleresállítás miatt alacsony (c).

A 4. ábrán mutatom be a mobilitási szolgáltatás körfolyamatábráját az utazás gondolatának megszületésétől a mikro járműből való kiszállásáig. A körfolyamatábrán nem jelenítettem meg minden funkciót, leginkább a főbb funkciókat ismertettem, amelyek jól leírják a mobilitási szolgáltatás által nyújtott szolgáltatást az ügyfél oldaláról.

Az utazás fázisai alapján kategorizáltam a cselekvéseket:

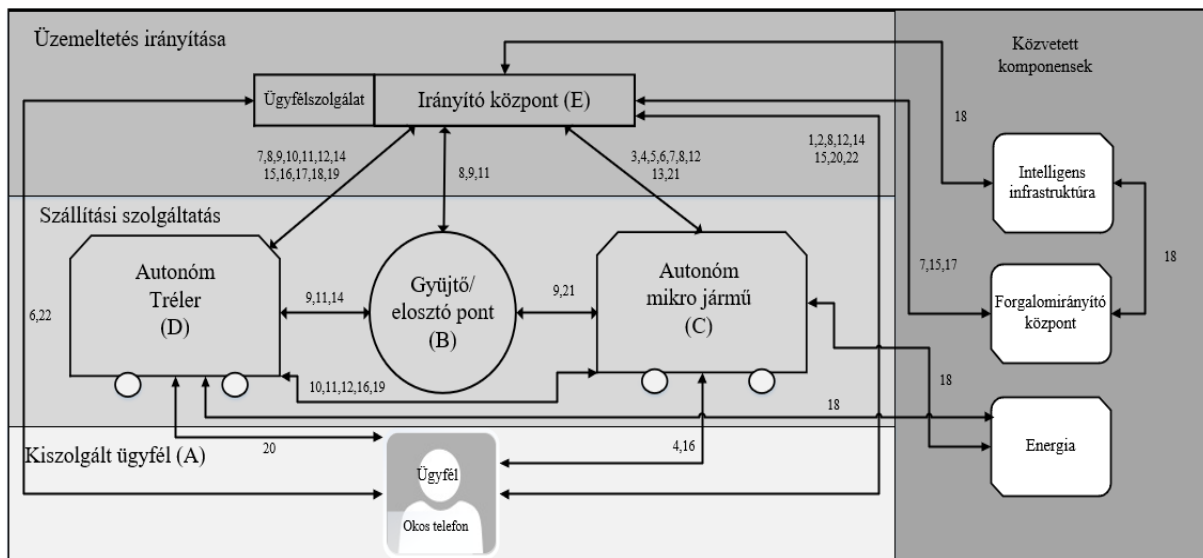
1. a mikro jármű elindulása előtti (világos barna),
2. a mikro jármű elindulása utáni,
3. a tréleren való utazás közben fellépő,
4. a mikro jármű a trélerről való lecsatlakozása utáni.



4. ábra: Körfolyamatábra az utazás gondolatának megszületésétől az ügyfél mikro járműből való kiszállásáig
(Forrás: Saját kutatási eredmény)

4.2 Szerkezeti modell

A mobilitási szolgáltatás szerkezeti modelljét a 5. ábrán mutatom be. A nyilakon a funkciók sorszáma található, amelyeket részletesebben a fejezet végén ismertetek. A rendszert, amelyet a modellel képzek le, négy nagy csoportba bontottam. A különböző csoportok együttesen alkotják a mobilitási szolgáltatás egészét, a csoportok közötti kapcsolat szoros és oda-vissza értendő.



5. ábra: A kidolgozott mobilitási szolgáltatás szerkezeti modellje

(Forrás: saját kutatási eredmény)

Kiszolgált ügyfelek csoportban egyetlen komponens van, az ügyfél (A). Azért vettem külön csoportba az ügyfelet, mivel a szállítási folyamat technikai lebonyolításának nem szerves része. Az ügyfél nem a kiszolgáló, hanem a kiszolgált rétegbe sorolható. Ugyan az ügyfél közvetlen kapcsolatot részesít az ügyfélközponttal és a mikro járművel, de magában a szállítási folyamat elvégzésében nincsen szerepük. Az autonóm jármű SAE5-ös szintű autonómiával rendelkezik, ennek köszönhetően humán beavatkozás szükségtelen, ettől függetlenül vészleállító gomb található a járművekben. A magánszemélyek által birtokolt vagy lízingelt autonóm mikro járműveket az irányító központ szervezi az adott gyűjtőpontra, ahol megtörténik a csatlakozás a trélerre.

Szállítási szolgáltatás csoporton belül három komponens különböztethető meg:

- B. gyűjtő-/elosztópont,
- C. mikro jármű,
- D. tréler.

A **gyűjtő-/elosztópont** (B), amely egy jól megtervezett, némelyik töltőállomással rendelkező, megállóhely, ahova beérkeznek a mikro járművek és ahonnan távozik a tréler. A mobilitási szolgáltatásban a gyűjtő-/elosztópontok nem intelligensek. Ezek kialakítása szükségszerű, hiszen ahhoz, hogy menetközben szálljanak fel a mikro járművek a trélerre, nagyon pontos hangolás szükséges, amelyet az emberi lassúság és a váratlan helyzetek kezelése nem tesz lehetővé, tehát a gyűjtő-/elosztópont közvetlen kapcsolatot létesít a tréler és a mikro jármű között.

A **mikro járművek** (C) kisméretű magánhasználatú vagy lízingelt elektromos autonóm járművek, amelyek maximum két személyt képesek szállítani. A mikro járművek tömege is kicsi, ezáltal kisebb akkumulátorral kevés üzemeltetési költséggel használható. A kicsi méretük miatt szűkebb helyeken is elférnek és a parkolás is sokkal könnyebb folyamat. A kicsi akkumulátora miatt képtelen nagyobb távolságokat megtenni, ezért is szükséges egy tréler bevezetése. A járművek folyamatos kommunikációt létesítenek az ügyféllel, az irányító központtal és a trélerrel. A mikro jármű az irányító központtól kapja meg az aktuális útvonaltervet (pl. gyűjtő-/elosztópont helyszínek koordinátái).

A trélerre való felszállás többféle módon történhet. A tréler lehajt egy rámpát és a mikro járművek felmennek a rámpán és egy fix foglalatba csatlakoznak (beprogramozott markereket követnek a mikro járművek, amelyek felvezetik a trélerre őket), vagy akár a megállóhelyen van egy kisebb daru, ami felemeli őket a foglalatokba (ennek költséges az infrastrukturális kiépítése). A foglalatba való csatlakozás segítségével a két jármű között is folyamatos a kommunikáció.

Abban az esetben, ha a mikro járművek megosztottak, akkor egymás után több ügyfelet is ki tudnak szolgálni. Ebben az esetben a mikro jármű is lehet a szolgáltató társaság tulajdona (hasonlóan a mai autómegosztó szolgáltatásokhoz).

A **tréler** (D) fejlett szenzorai segítségével felügyeli a csatlakozás jelenlétét az adott foglalatokban. A tréler is elektromos autonóm jármű. A trélerre több mikro jármű is felszállhat, ez a kialakítástól nagymértékben függ. Ha egy tréler mérete egyenlő egy mai nagyobb gépjárművel és a mikro járművek mérete akkora, mint egy mai smart kisgépjármű vagy kisebb, akkor nagyjából 3 mikro jármű férhet rá. Abban az esetben, ha a tréler mérete megegyezik egy mai nagyobb tehergépjármű méreteivel, akkor 6-7 mikro jármű is felférhet rá. A tréler mobilitási szolgáltató társaság tulajdona, amely lehet köz- vagy magánvállalat is. (Az üzleti modell kidolgozása a köz- vagy magánvállalatokra nem része a kutatásomnak, ennek a kérdéskörnek a kidolgozására további más kutatások szükségesek)

Üzemeltetés irányítás: Az ügyfélszolgálat az irányító központ (E) része, nem képez külön komponenst. Applikáción keresztül az ügyféllel való kommunikáció folyamatos. Az ügyfélszolgálat csak veszély esetén kommunikál szóban az ügyféllel. Az irányító központ az ügyféli igényeket fogadja és aszerint rendeli ki a trélereket az adott gyűjtő-/elosztó pontokra. Az irányító központ felügyeli a szállítási folyamat egészét. Azoknál a feladatoknál fontos, amelyeknél az emberi tényezők, mint pl. az ítélőképesség, a tanulási hajlandóság nem hanyagolható el. Ilyen feladatok pl. a vészhelyzeti funkciók általi feladatok kiértékelése, a

karbantartási folyamatok szervezése vagy akár az automatizált folyamatok ellenőrzése A szállítási folyamatban résztvevő komponensek közötti kommunikációt az irányító központ biztosítja. Feladata, hogy irányítja a szállítás teljes folyamatát és mindent az ellenőrzése alatt tart. Minden komponenssel szoros és oda-vissza kapcsolatban van, és az applikációt is üzemelteti. A gyűjtő-/elosztó pontok infrastrukturális ellátását és üzemeltetését is az irányító központ felügyeli, irányítja. Az irányító központ rendelkezik egy nagyobb adatbázis rendszerrel, amelyben tárolja és rendszerezi a fontosabb adatokat.

Közvetett komponensek: A résztvevő autonóm járművek közvetlen kapcsolatot tartanak fent az intelligens infrastruktúrával, ezáltal a hatékonyabb működés fellépése miatt energiaspórolás történik. Az intelligens infrastruktúra kiépítése és ezáltal a részvétele elengedhetetlen. A forgalomirányító központ segíti az irányító központ szervezési feladatait. Dinamikus információkat szolgáltat az aktuális forgalomról, aminek segítségével a trélerok és a mikro járművek mozgásának szervezése a szolgáltatott dinamikus információkat figyelembe véve történik meg. Ennek segítségével a várost érő forgalmi terhelések csillapíthatók, időben elhúzhatók és a szállítási szolgáltatás menetideje is jelentősen csökkenthető, nem beszélve a forgalmi torlódások által elszenvedett károsanyag kibocsátások és a plusz üzemeltetési költségek csökkentéséről. A forgalomirányító központ beléptetése a rendszerbe elengedhetetlen az ezzel járó előnyök miatt. A szállítás során résztvevő energiákhoz sorolható az üzemanyag, az áram az üzemeltetéshez a járművek és a töltőállomásokhoz egyaránt.

4.3 Funkcionális modell

A funkcionális modell segítségével a szerkezeti modellben leírt mobilitási szolgáltatás funkcióit és azok kapcsolatait tártam fel. A szállítási folyamatot különböző fázisokra bontottam fel:

- I. a mikro jármű mozgása a gyűjtőpontra
- II. a gyűjtőponton belüli tevékenységek
- III. a tréler mozgása két gyűjtőpont között
- IV. elosztóponton belüli tevékenységek
- V. mikro jármű mozgása az elosztópontról

A különböző fázisokon belül azonosítottam a funkciókat. A számokkal jelölt funkciók összességében írják le a folyamatot. Meghatároztam a komponensek által az egyes funkcióknál végrehajtandó feladatokat is.

A szállítási szándékot az ügyfél jelzi az irányító központ felé adatok megadásával online platformon vagy applikáción keresztül (I.1.). Az adott kapacitásnak megfelelően az irányító központ visszajelez az ügyfél felé, hogy az igényelt szállításra mennyit szükséges várni és ha nagyon sokat, akkor az üzemeltetőnek muszáj „bevállalnia”, hogy a tréleren csak egy mikro jármű lesz (I.2.). A mobilitási szolgáltatás hatékony működéséhez fontos az előzetes igénybejelentés, mert akkor hatékonyabban, előre lehet a jármű-összerendeléseket tervezni. Ha megtörtént az előzetes igénybejelentés a szállításra, akkor ennek megfelelően az irányító központ biztosítja a kapacitásoknak megfelelően a szállítást. Az irányító központ az adatbázisa segítségével megadja a mikro járműnek a gyűjtőpont lokációját, amelyre a szállítási igényt kiszámolta. A mikro jármű megadja az elhelyezkedését az irányító központnak, amely a forgalomirányító központ által folyamatosan szolgáltatott dinamikus információk alapján elkészít az útvonal ajánlást a mikro jármű felé (I.3.), amely minden esetben elfogadja. A tréler és a gyűjtő-/elosztópont az I. fázisban nem vesz részt.

4. táblázat:

A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a mikro jármű mozgása a gyűjtőpontra
(Forrás: saját kutatási eredmény)

Funkciók	Ügyfél (A)	Mikro jármű (C)	Irányító központ (E)
1. Felhasználási jellemzők kezelése	Adatok megadása	-	Felhasználók adatainak tárolása
2. Igényfelvétel és a kapacitáshoz való hozzárendelés	Foglalási adatok megadása	-	Foglalási igények és kapacitások összerendelése
3. Útvonalterv készítése	-	Útvonalterv elfogadása	Útvonal ajánlás az általa megadott gyűjtőponthoz
4. Előkészületek elvégzése	Manuális vizsgálat a jármű körül	Önelemző diagnosztika futtatása	Elindulási értesítés fogadása, továbbítása
5. Forgalmi helyzetek kezelése	-	Adhoc szituációk kezelése	Mikro jármű helyzetének folyamatos értékelése
6. Vészhelyzeti funkciók	Vészjelzés küldése	Vészjelzés küldése	Vészhelyzet fogadása, feldolgozása, értékelése
7. Útvonal módosítás	-	Javasolt útvonalmódosítás elvégzése	A dinamikus forgalmi adatok alapján útvonalterv módosítási javaslat elvégzése

A 4. táblázatban a „mikro jármű mozgása a gyűjtőpontra” fázisnál azonosított funkciók esetében a komponensek által végzett feladatokat összegeztem.

A gyűjtőpontra az utazás megkezdését követően a mikro jármű a vészhelyzeti funkció segítségével jelezheti az ügyfélszolgálat felé, ha balesetet szenved (I.6.). Az ügyfélszolgálat nem alkot külön komponenst, az irányító központ része, így a táblázatokban külön nem jelenítettem meg. A mikro jármű elindulás előtt önelemző diagnosztikát futtat le a rendszerén, amelynek segítségével elemzi a jelenlegi állapotát és alkalmasságát az utazásra (I.4.). A mikro jármű az utazása során megfelelően kezeli az adhoc szituációkat a SAE5-ös szintű automatizálásából fakadóan (I.5.). Az irányító központ dinamikus információk segítségével azonnali útvonal módosítási tervet tud küldeni a mikro járművek részére (I.7.).

5. táblázat:

A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a gyűjtőponton belüli funkciók
(Forrás: saját kutatási eredmény)

Funkciók	Ügyfél (A)	Mikro jármű (C)	Tréler (D)	Irányító központ (E)	Gyűjtő-/elosztópont (B)
8. <i>Érkezési értesítés</i>	Várható érkezési idő fogadása	Megérkezés előtti pozíció küldése	-	Pozíció fogadása, értesítés továbbítása	Érkezéshez infrastruktúra biztosítása
9. <i>Töltési funkció</i>	-	-	A beérkezés pillanatától való töltés	Töltési diagnosztika fogadása	Töltés biztosítása, foglaltságának jelzése
10. <i>Jogosultság kezelése</i>		Személyazonosság igazolása	Igazolás fogadása, továbbítása	Igazolás elfogadása és tovább küldése	-
11. <i>Mikro jármű dokkolása</i>	-	Csatlakozás létesítése	Csatlakozás elvégzése	Értesítés fogadása a csatlakozásról	Infrastruktúra biztosítása
12. <i>Gépjármű hitelesítés</i>	Információ fogadása a dokkolás sikeréről és az indulási időről	Diagnosztika futtatása a helyes csatlakozásról	Diagnosztika futtatása a helyes csatlakozásról	Értesítés fogadása, feldolgozása	-
13. <i>Útvonalterv készítése a trélerre</i>	-	-	Útvonalterv végrehajtása	Útvonal ajánlás	-
14. <i>Tréler indítása</i>	Kalkulált érkezési idő fogadása	-	Elindulás a gyűjtőpontról, a din. információk alapján kalkulált érkezési idő fogadása	Tréler indítása, érkezési idő kalkuláció elkészítése, továbbítása az ügyfelek számára	Zöld jelzés biztosítása az indításhoz

A 5. táblázatban a gyűjtőpontra megérkezett mikro jármű „felszállási” fázisához tartozó funkciókat ismertettem.

Az irányító központ a pozíció adatok alapján értesíti az ügyfelet a várható érkezés időtartamáról (II.8.). A megérkezett mikro jármű közvetlen kommunikációval igazolja magát a tréler számára és üzenetet is küld, hogy megkezdődhet a csatlakozás (II.10.). A tréler tovább küldi az elfogadott igazolást az irányító központnak (a központ ezek alapján tudja, hogy a csatlakozási folyamatok megkezdődtek) (II.11.).

A dokkolást követően a tréler és a mikro jármű egyaránt diagnosztikát futtat le a rendszeren annak érdekében, hogy a gépjárművek rendben legyenek az induláshoz (II.12.). A gyűjtőpont lámpákkal biztosítja az infrastruktúrát a szolgáltatás számára, lámpával jelzi, ha a gyűjtő ponton belül járműmozgás történik a baleset elkerülése érdekében. A gyűjtőponton elhelyezkedő töltőállomások segítségével a megérkezéstől kezdve folyamatos töltésben részesülhet a tréler (II.9.). A töltőállomások kihelyezése nem minden állomásra szükséges, de ennek kijelölése nem célom a kutatás során. A kihelyezett töltőállomások villámtöltők, amelyek képesek pár perc alatt annyi energiát szolgáltatni, hogy a következő töltőállomásig el tudjon jutni a tréler.

Az irányító központ több igény összerendelése után/ közben a tréler útvonalát optimalizálja (II.13.) és az ezáltal elkészült kész útvonaltervvel a tréler elindul a gyűjtőpontról az elosztópontra (II.14.).

A 6. táblázatban a tréler két gyűjtőpont közötti mozgási fázisnál azonosított funkciók esetében az egyes elemek által végzett feladatokat mutattam be.

A pozíció adatok és a dinamikus információkat felhasználva a közúti forgalomirányító központ előrejelzéseket küld az irányító központnak pontosítva a jelenlegi közlekedésről. Ezeket a központ felhasználja, például, ha valami baleset történik és a jármű útvonalterve a baleset helyszínét érinti, akkor azonnal útvonalmódosítási javaslatokat küld a trélernek (III.15.). A tréler ezt az ajánlást megkapva elfogadja az útvonalmódosítást. A tréler rövid időközönként küldi a pozícióját az irányító központ felé, aminek segítségével az érkezési idő nagy pontossággal kalkulálható (III.17.). A forgalomirányító központ folyamatosan biztosíthatja a tréler előnyét a hagyományos forgalommal szemben (III.18.). Ahhoz, hogy az autonóm járművek üzemeltetése, távkarbantartása, az automatizálási folyamatok ellenőrzése a legjobb hatásfokon működjön, szükséges egy valós idejű adatkapcsolat kialakítása, pl. az 5G hálózat kiépítése.

6. táblázat:

A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a tréler két gyűjtőpont közötti mozgási fázisa

(Forrás: saját kutatási eredmény)

Funkciók	Ügyfél (A)	Mikro jármű (C)	Tréler (D)	Irányító központ (E)	Forgalomirányító központ
15. Dinamikus információk szolgáltatása	Pontosabb érkezési idő fogadása	-	Aktuális pozíció küldése	Dinamikus információk és a pozíció adatok feldolgozása, érkezési idő értesítés küldése	Dinamikus forgalmi adatok átadása
16. Szórakoztató szolgáltatások nyújtása	Szolgáltatás élvezése	Szolgáltatás közvetlen nyújtása	Szolgáltatás közvetett nyújtása	Szolgáltatáshoz szükséges hozzáférések továbbítása	-
17. Üzemirányítás	-	-	Pozíció küldése, információk fogadása a jelenlegi közlekedésről	Pozíció fogadása, előrejelzések fogadása, küldése	Előrejelzések küldése
7. Útvonal módosítás	-	-	Útvonal változások végrehajtása	Útvonal módosítási javaslat küldése	Din. információk küldése a közlekedés helyzetéről
18. Infrastruktúra kommunikáció	-	-	Kommunikáció az infrastruktúrával az irányító központra keresztül	Kapcsolatteremtés az AV és az infrastruktúra között	Infrastruktúraelemek befolyásolása

Az összekötött tréler-mikro jármű kapcsolat segítségével a tréler szórakoztatási szolgáltatásokkal láthatja el a mikro járműveket, aminek köszönhetően a szolgáltatási színvonal növelhető és hosszútávra jobban megfoghatóak az ügyfelek (III.16.).

Az 7. táblázatban az elosztóponton belüli tevékenységek fázisnál azonosított funkciók esetében az egyes elemek által végzett feladatokat mutattam be.

A tréler elküldi az megérkezés előtti pozíciót az irányító központ számára. A megérkezést követően a tréler csatlakozik egy töltőpontra és ezzel párhuzamosan megkezdődik a mikro járművek leválasztását (IV.19.). A leválasztást követően diagnosztikát futtat a rendszeren, hogy sikeresen megtörtént-e a leválás. A leválási folyamat sikerességének értesítését elküldi a mikro járműnek és az ügyfélnek egyaránt. Az elosztópont elhagyását követően az ügyfél applikáción keresztül bankkártyával fizeti a szolgáltatást, ami az irányító központhoz megy (IV.20. és IV.21.). A fizetést követően az ügyfél értékelheti a szolgáltatás minőségét (IV.22.). Az értékeléseket az irányító központ tárolja és statisztikai elemzést készít,

aminek köszönhetően az általa nyújtott szolgáltatás fejleszthető (IV.23.). A mikro jármű számára további útvonaltervet készít az irányító központ az elosztópont elhagyásával. Az elosztópont lámpákkal jelzi a ponton belüli mozgásokat és biztosítja a zöld jelzést az elhagyási művelet elvégzéséhez.

7. táblázat:

A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: az elosztóponton belüli funkciók
(Forrás: saját kutatási eredmény)

Funkciók	Ügyfél (A)	Mikro jármű (C)	Tréler (D)	Irányító központ (E)	Gyűjtő-/ elosztópont (B)
8. Érkezési értesítés	-		Megérkezés előtti pozíció küldése	Pozíció fogadása, feldolgozása, értesítés továbbítása	Érkezéshez infrastruktúra biztosítása
9. Töltési funkció	-	-	A beérkezés pillanatától való töltés	Töltési diagnosztika fogadása	Töltés biztosítása, foglaltságának jelzése
19. Mikro jármű leválása a tréleről	-	Leválási művelet támogatása	Leválás elvégzése, értesítés küldése	Értesítés fogadása a leválásról	-
12 Gépjármű hitelesítés	Információ fogadása a leválás sikeréről	Diagnosztika eredmények fogadása	Diagnosztika futtatása a helyes leválásról	Értesítés fogadása, feldolgozása	-
20. Értékesítés, fizetés	Fizetés elvégzése kártyával/alkalmazáson keresztül/stb...	-	-	Fizetés elbírálása, a pénzüsszeg tovább küldése az illetékesnek	-
13. Útvonalterv készítése a mikro jármű részére	-	Útvonalterv végrehajtása	-	Útvonalterv ajánlás	-
21. Mikro jármű elhagyja az elosztópontot	-	Mikro jármű elindul a tervezett útvonalon	-	Mikro jármű utazásának támogatása	Zöld jelzés biztosítása az elindulás részére
22. Szolgáltatás értékelése	Szolgáltató értékelése applikáción keresztül	-	-	Értékelések feldolgozása, panaszok menedzselése	-
23. Statisztikai elemzés	-	-	-	Minőségi értékelés fogadása, statisztika készítése	-

Az utolsó fázist, a mikro járművek mozgását az elosztóponttól nem elemeztem részletesen, hiszen egyrészt ebben a fázisban a funkciók nagy része megegyezik az első fázisban leírt funkciókkal, másrészt pedig a mikro jármű innentől szabad tevékenységet folytathat, az ügyfél üti be a célt a mikro járműbe. (Ekkor nem az irányító központ adja meg az utazási célt, hanem

az ügyfél, továbbá ebben a fázisban az irányító központ csak útvonal javaslatot készít, hogy segítse az ügyfelet)

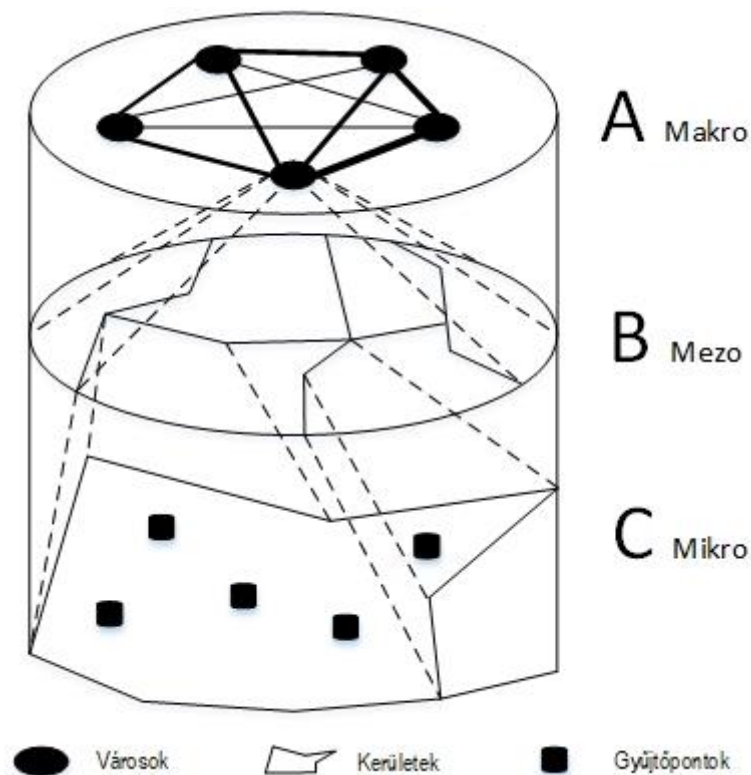
A kidolgozott mobilitási szolgáltatást és a feltárt funkciókat figyelembe véve, az elektromos autonóm járműveket bevezetve, forradalmasítható az ingázó forgalom a városok között. Az ingázó forgalomból fakadó környezetterhelés (sok ingázó esetén nagyobb torlódások keletkezése, ami nemcsak rettentően magas fogyasztást, hanem koncentrált környezetszennyezést is eredményez) is egyaránt csökkenthető. A mobilitási szolgáltatáshoz szükséges gyűjtőpont-kijelölő módszerének kidolgozását a következő fejezetben mutatom be.

5 Módszertan

A fejezetben bemutatom a kidőgoyott gyűjtőpont kijelölő és hatásbecslő módszereket. A módszerekben használt változók jelölését az 1. Függelékben foglaltam össze.

5.1 Gyűjtőpont-kijelölő módszer

A fejezetben ismertetem a gyűjtőpontok helyszínét kijelölő módszert. Újszerű, a Newton-féle gravitációs modellen alapuló gyűjtőpontszám meghatározó módszert dolgoztam ki. Modellezési szintek: (A) makro szint a városok elemzésére, (B) mezo szint adott városban a körzetek elemzésére (6. ábra). Egy harmadik, ún. (C) mikro szint is megkülönböztethető a gyűjtőpontok közvetlen helyszínének meghatározására; jelen kutatásomnak ezen szint részletes kidolgozása nem volt fókusz.



6. ábra: Az elemzési szintek

(forrás: Saját kutatási eredmény)

A gravitációs modell általánosan i és j területegységek közötti kapcsolat intenzitásának (A_{ij}) kifejezésére használható (1). Az intenzitás kifejezésére ún. tömeg és távolság változók alkalmazandók. Az általánosan alkalmazandó gravitációs modellbe új tényezőket vezettem be.

$$A_{ij} = g \cdot \zeta \cdot \frac{m_i \cdot m_j}{\theta \cdot r^2} \quad (1)$$

ahol:

m tömeg,

r távolság,

g gravitációs állandó,

ζ, θ tényezők, ahol ζ egyenesen arányos, míg a θ fordítottan arányos az intenzitásértékkel.

Makro szinten és mezo szinten gravitációs modellt dolgoztam ki. Az eredményül kapott intenzitás értékek a TCAV szolgáltatás szükségességét fejezik ki adott relációban. Az intenzitás értékéből következtethető a gyűjtőpontok szükséges száma. Abból a feltételezésből indultunk ki, hogy a vonzásérték és a szükséges gyűjtőpontok száma között összefüggés van. Tömegértékeknek a munkavállalók és diákok, valamint a lakosok számát tekintettem, mint az ingázó forgalmat, így a keresletet leginkább kifejező jellemzők. A menetrendszerinti közösségi közlekedést jellemző új tényezőket vezettem be; makro szinten a megállóhelyek és gerinchálózatok megléte, míg mezo szinten a városon belüli kapcsolatokat leírva. Feltételeztem, hogy a közforgalmú közlekedéssel ellátott területeken a TCAV szolgáltatás léte kevésbé indokolt, így kevesebb gyűjtőpont elhelyezése szükséges. A változók értékeinek beállítása a helyi viszonyok ismeretében lehetséges.

5.1.1 Makro szint

A két város közötti becsült kölcsönhatást az (2) egyenlet írja le.

$$A_{ij} = G' \cdot E_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot \frac{m_i \cdot m_j}{\tau_{ij} \cdot r_{ij}^2} \quad (2)$$

ahol:

A_{ij} kapcsolati intenzitás i és j város között,

m_i, m_j i és j városban a foglalkoztatottak és diákok száma ($m_i = n_{fogl.,i} + n_{diák,i}$) [fő],

r_{ij} legrövidebb közúti távolság i és j városok középpontja között, $r_{ij} \in \mathbb{N}^+$,

τ_{ij} időszorzó tényező, kifejezi i és j város közötti jellemző utazási időt; értéke függ a jellemző közúti torlódás nagyságától (fordítottan arányos). 1-nél magasabb érték esetén az utazás általában lassabban tehető meg, mint az elméleti utazási idő $\tau \in [1,$

E_{ij} kereslet mértéke tényező i és j város között: leírja i és j város közötti egyéb kereslet mértékét; értéke függ a szabadidős (pl.: színház, mozi, zöldterület) és egyéb létesítmények (pl.: egészségügy, közigazgatás) számától és méretétől (egyenesen arányos). $E_{ij} \in]0,5 \cdot 1,5[, 0,5$; ha nincs egyéb kereslet; 1,5; ha az egyéb kereslet mértéke

nagy.

G' módosított gravitációs állandó makro szinten, $G' = 0,1 \cdot 10^{-5}$,

Y_{ij} közösségi közlekedési erőssége: kifejezi az i és j város közötti közösségi közlekedés jelenlétét (egyenesen arányos). $Y_{ij} \in]0,5..1,5[$, 1,5, ha gyenge; 0,5, ha erős a közösségi közlekedési kapcsolat.

Az i és j város közötti kapcsolati intenzitás értékek kategorizálhatók a maximum kapcsolati intenzitás A_{ij}^{max} arányában. A szükséges gyűjtőpontok számát a kapcsolati intenzitás mellett alapvetően befolyásolja a szolgáltatás iránti kereslet nagysága és a gyűjtőpontok csúcsidei kapacitása. A várható kereslet nagyságát a járműszám és az egyéni gépjárművet használók TCAV szolgáltatásra történő váltási hajlandóságának függvényében határoztam meg. A gyűjtőpontok darabszáma az $\underline{S}$ mátrix alapján határozható meg (3). Az érték a motorizációs fok és kapcsolati intenzitás függvényében változik: $(\kappa + 1) - \kappa = 200$, $(\lambda + 1) - \lambda = 50$.

$$\underline{S}_i = \begin{bmatrix} \frac{H_{11} V_j b}{\varphi} & \dots & \frac{H_{1\lambda} V_j b}{\varphi} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{H_{\kappa 1} V_j b}{\varphi} & \dots & \frac{H_{\kappa \lambda} V_j b}{\varphi} \end{bmatrix} \quad (3)$$

ahol:

S_j : a j városban szükséges gyűjtőpontok darabszáma,

κ : a mátrix sora,

λ : a mátrix oszlopai,

V_j : a j város lakosságszáma/1000,

H : motorizációs fok [jármű/1000 lakos],

φ : gyűjtőpontok csúcsórai kapacitása [kiszolgált mikro jármű/óra],

b : az egyéni gépjárműhasználók váltási hajlandósága [%].

A mátrix alkalmazását paraméteresen a 8. táblázat mutatja be.

8. táblázat:

Gyűjtőpontok darabszáma vonzásérték kategóriák és a motorizációs fok függvényében
(forrás: saját kutatási eredmény)

	Motorizációs fok [jármű/1000 lakos]				
<i>vonzásérték kategóriák</i>	0-200	201-400	401-600	601-800	801-1000
$0 A_{ij}^{max} - 0,2 A_{ij}^{max}$	$\frac{0 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{200 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{400 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{600 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{800 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$
$0,2 A_{ij}^{max} - 0,4 A_{ij}^{max}$	$\frac{50 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{250 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{450 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{650 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{850 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$
$0,4 A_{ij}^{max} - 0,6 A_{ij}^{max}$	$\frac{100 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{300 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{500 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{700 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{900 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$
$0,6 A_{ij}^{max} - 0,8 A_{ij}^{max}$	$\frac{150 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{350 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{550 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{750 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{950 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$
$0,8 A_{ij}^{max} - A_{ij}^{max}$	$\frac{200 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{400 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{600 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{800 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$	$\frac{1000 \cdot V_j \cdot b}{\varphi}$

5.1.2 Mezo szint

A j város körzetei közötti kapcsolati intenzitás a (4) egyenlet alkalmazásával számítható. A körzetek kijelölhetők adminisztratív egységek (pl.: kerület, városrész) szerint vagy a terület egyenlő méretű, homogén egységekre való bontásával. Amennyiben hivatalos területi egységek nem állnak rendelkezésre, vagy a vizsgálat nagyobb felbontást igényel természeti, infrastrukturális vagy funkcionális határok mentén is körzetekre bontható a város.

$$A_{xy} = G'' \cdot E_{xy} \cdot \alpha_{xy} \cdot \beta_{xy} \frac{m_x \cdot m_y}{\tau_{xy} \cdot r_{xy}^\mu} \quad (4)$$

ahol:

A_{xy} kapcsolati intenzitás x és y körzet között,

m_x, m_y x és y városrész tömege, vagyis a körzetek lakosság száma [fő],

μ elérhetőség [-]: körzetek elérhetőségét, azok központi, vagy periférikus fekvését jellemző érték [90]: $b \in [1,5..2,5]$, 1,5, ha jellemzően más körzetekbe, 2,5, ha jellemzően más települések irányába történnek az utazások,

G'' módosított gravitációs állandó mezo szinten, $G'' = 0,1 \cdot 10^{-2}$,

α nagykapacitású közösségi közlekedés erőssége; kifejezi a körzetek közötti járatsűrűséget (egyenesen arányos). $\alpha \in [0,5..1,5]$, 1,5; ha a követési idő >30 perc, 0,5;

ha <10 perc,

β kiskapacitású közösségi közlekedés erőssége; kifejezi a körzetek közötti járatsűrűséget (egyenesen arányos). $\alpha \in]0,5..1,5[$, 1,5; ha a követési idő >20 perc, 0,5; ha <5 perc.

r_{xy} x és y körzet közötti távolság

Adott körzetre vonatkoztatott kapcsolati intenzitás értékek átlagolásával megadható a körzetre jellemző vonzás (5).

$$\sum_{y \in z} f(y) = A_x \quad (5)$$

ahol:

$$f(y) = \frac{A_{xy}}{c-1} \quad (6)$$

z a körzeteket tartalmazó halmaz, amely a vizsgálandó körzetet nem tartalmazza; $z = \{1,2 \dots \infty\} \setminus x$,

x a vizsgálandó körzet; $x = \{1,2 \dots \infty\}$,

y a viszonyított körzet, a vizsgált körzet,

c körzetek darabszáma.

A körzetekre kiszámolt A_x vonzásértékek alapján arányosan oszthatók szét a körzetekben a gyűjtőpontok. Az x . körzetekre szükséges gyűjtőpontok darabszáma (S_x) az (7) egyenlet alapján határozható meg.

$$S_x = \frac{A_x}{\sum_{x=1}^c A_x} \cdot S_j \quad (7)$$

5.1.3 Mikro szint

Ezen a szinten olyan változókat azonosítottam, amelyek egy adott városon belüli pár utcányi területen relevánsak és változhatnak. Az egyik legfontosabb elemzési változó a forgalomnagyság az adott utcára, főútra nézve.

További figyelembe veendő tényező, hogy az adott útszakaszon, ahol elég nagy a forgalom ahhoz, hogy indokolt legyen egy gyűjtőpont elhelyezése, az útszerkezetet és a forgalomtechnikai változókat figyelembe véve kiépíthető-e egy gyűjtőpont.

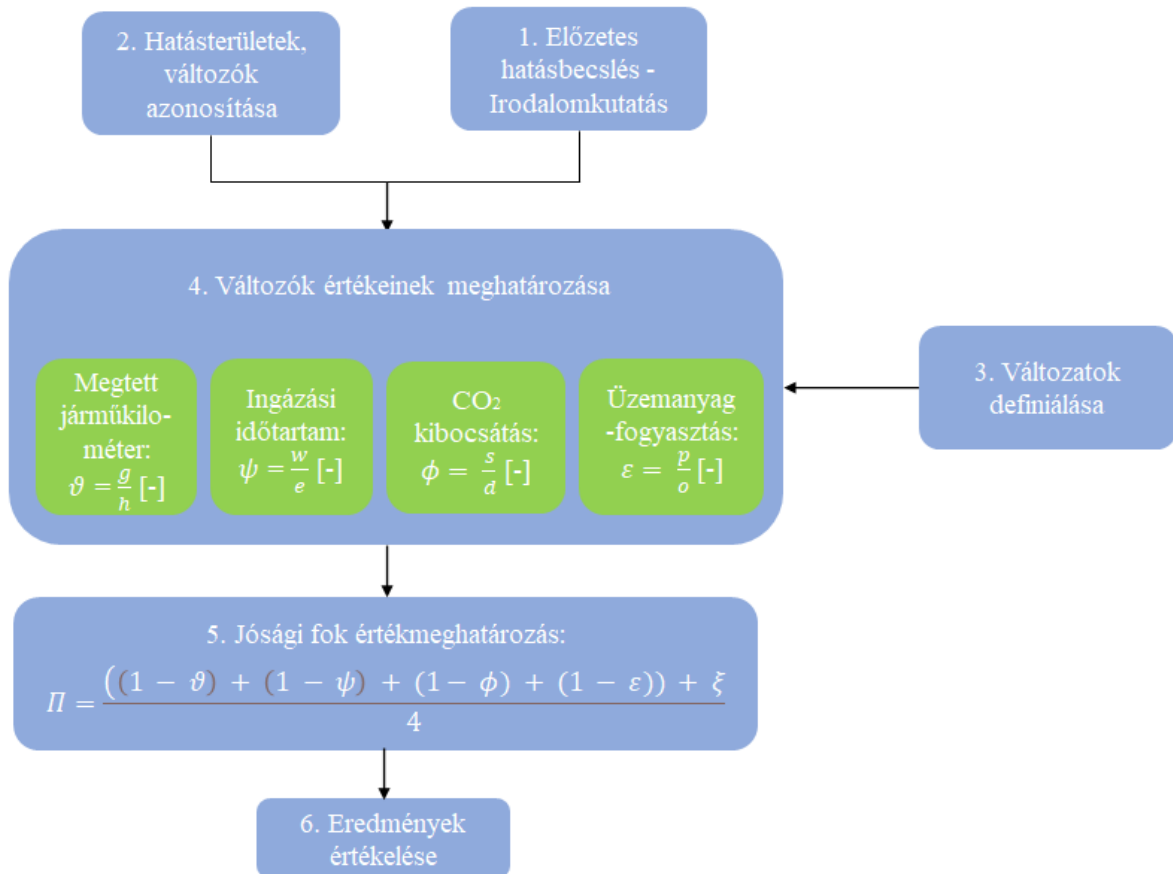
Figyelembe veendő a tömegközlekedési megállóhelyek és gerinchálózatok elhelyezkedése is. Ezek vizsgálata kulcsfontosságú ahhoz, hogy indokolni lehessen az adott gyűjtőpont elhelyezésének fontosságát. Az olyan lakónegyedeknél nem célszerű kiépíteni gyűjtőpontot, ahol jól kiépített közösségi közlekedési gerinchálózat található vagy olyan megállóhelyek vannak kijelölve, amire a rágyaloglási idő kevés és az ügyfél szívesen meg is teszi. Ezáltal

figyelembe veendő a rágyaloglási hajlandóság. Azaz, ha egy nagy kapacitású közforgalmú közlekedési eszköz, jellemzően belvárosi kapcsolattal bíró kötöttpályás eszköz megállója (HÉV megálló) gyaloglási távolságon belül van, akkor feltételezhető, hogy az utazók nagyobb arányban azt választják utazásukhoz, így a nagykapacitású eszköz megállójának környezetében gyűjtőpont létrehozása nem szükséges, kivéve, ha kombinált utazás megvalósítása is cél. Ekkor, a trélerrel megtett utazás nem a nagyobb városig tart, hanem csak egy nagykapacitású közforgalmú közlekedési eszköz külvárosi megállójáig. A kidolgozott mobilitási szolgáltatásnak nem célja a nagy kapacitású közforgalmú közlekedésről elvonzani az utasokat.

5.2 Hatásbecslő módszer

Az autonóm járművek bevezetése jelentős változásokat eredményez. Az autonóm járművek bevezetése szorosan összefügg a társadalmi normákkal, az elfogadási hajlandósággal. Mindezek mellett a jelenlegi ingázási folyamat nem fenntartható, az ingázók számára stresszes, időigényes és kényelmetlen.

A mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálatának részletes elkészítéséhez részletes irodalomkutatás segítségével megbecsültem a tisztán elektromos és hagyományos hajtású autonóm járművek hatásait a környezetre, a gazdaságra, az ingázás folyamatára. A kutatások fő eredménye a jósági fok számító módszer kidolgozása. A jósági fokhoz tartozó konstans változók értékeit szintén az irodalomkutatás alapján becsültem, amelyek jól leírják az egyes hatásterületek összesített változását az autonóm járművek bevezetésének hatására. Megvizsgáltam, hogy egy adott forgalomnagysághoz tartozó igényekhez mennyi hagyományos jármű társul, amelyet mennyi autonóm mikro járművel lehetne helyettesíteni, ennek hatására mennyi az üzemeltetett flotta (tehát a trélerrek, mikro járművek és a maradék hagyományos járművek összessége) károsanyag-kibocsátás és üzemanyag-fogyasztás csökkenése, továbbá, ha már meg van a szükséges járműszám, akkor ebből eredeztethető egy makró szintű elemzés végrehajtásával a flotta által megtett járműkilométer különbség is. Mindemellett vizsgáltam az ingázás időszükségletét is. A 7. ábrán a mobilitási szolgáltatás hatáselemzésének fontosabb lépéseit foglaltam össze.



7. ábra: Mobilitási szolgáltatás hatásbecslési módszertan lépései
(forrás: saját kutatási eredmény)

5.2.1 Jósági fok

A jósági fok leírja a mobilitási szolgáltatás bevezetésének összhatását. A jósági fok meghatározása során figyelembe vettem minden olyan tényezőt, amely kvantitatív módon hozzájárulhat a hatások kifejezéséhez, mint például a megtett járműkilométer változás, az ingázási időtartam, az üzemanyag-fogyasztás és a károsanyag-kibocsátás.

A jósági fok értéke 0 és 1 között mozog; minél nagyobb az érték, annál kedvezőbb az elérhető hatás. A Π jósági fok az (8) egyenlet alapján határozható meg:

$$\Pi = \frac{((1 - \vartheta) + (1 - \psi) + (1 - \phi) + (1 - \varepsilon)) + \xi}{4} [-] \quad (8)$$

Ahol:

- ϑ – az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséből fakadó megtett járműkilométer változás (9).

$$\vartheta = \frac{g}{h} [-] \quad (9)$$

ahol:

- g = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően a megtett teljes járműkilométer az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve) (10), ami a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások összege.

$$g = g_{mikró} + g_{tréler} + g_{hagy.jmű} [járműkilométer] \quad (10)$$

- h = a hagyományos járművekkel megtett járműkilométer az ingázás során (a mobilitási szolgáltatás nélküli ingázás során megtett járműkilométer).
- ψ – az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséből fakadó ingázási időtartam változás az összes utazást figyelembe véve (11):

$$\psi = \frac{w}{e} [-] \quad (11)$$

ahol:

- w = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően az utazások összhőidőtartama az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve), ami a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások összhőidőtartama (beleértve a mobilitási szolgáltatás használatából eredeztethető plusz ingázási időtartamot (jele: t_{plusz})) (12),

$$w = (w_{mikró} + w_{hagy.jmű}) + e \cdot t_{plusz} [járműperc] \quad (12)$$

- e = Csak a hagyományos járművel lebonyolított ingázási utazások összhőidőtartama (oda-vissza) a járművek számával súlyozva (a mobilitási szolgáltatás nélküli ingázás során az utazások összhőidőtartama).
- ϕ – a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás változása (13):

$$\phi = \frac{s}{d} [-] \quad (13)$$

ahol:

- s = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően a CO₂ kibocsátás az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve) (14-15-16), ami a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások CO₂ kibocsátásának összértéke;

$$s = s_{mikró} + s_{tréler} + s_{hagy.jmű} \left[\frac{g}{f_{lotta}} \right] \quad (14)$$

ahol:

$$S_{mikró} = S_{elekt. mikró} + S_{hagy. mikró} \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (15)$$

$$S_{tréler} = S_{elekt. tréler} + S_{hagy. tréler} \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (16)$$

- d = a hagyományos járművek üzemeltetéséből eredeztethető, jelenlegi CO₂ kibocsátás mértéke (a mobilitási szolgáltatás nélküli ingázás során eredeztethető CO₂ kibocsátás összértéke).
- ε – az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados (17):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} [-] \quad (17)$$

ahol:

- p = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetésének hatására bekövetkező rendszerszintű energia-/üzemanyag-fogyasztás mennyiségéből számolt költségérték az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve), ami a különböző járművek, a szolgáltatás részét képező mikro járművek és trélerok, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművek összenergia-/üzemanyag-fogyasztásuk mennyiségéből számolt költségérték (18-19-20),

$$p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jmü} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (18)$$

ahol:

$$p_{mikró} = p_{elekt. mikró} + p_{hagy. mikró} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (19)$$

$$p_{tréler} = p_{elekt. tréler} + p_{hagy. tréler} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (20)$$

- o = a jelenlegi ingázás során eredeztethető összenergia-/üzemanyag-fogyasztás mennyiségéből számolt költségérték (a mobilitási szolgáltatás nélküli ingázás során eredeztethető össz energia-/üzemanyag-fogyasztás mennyiségéből számolt költségérték).
- ξ – a típusmutató [-]. Értéke 0 „A” szolgáltatástípus esetén (háztól házig utazás); értéke 1 „B” szolgáltatástípus esetén (ráhordó utazás – a tréler a mikro járműveket csak egy nagyobb kapacitású közösségi közlekedési eszközhöz viszi).

Ahhoz, hogy együtt lehessen vizsgálni a teljes rendszer üzemanyag-fogyasztását, szükséges egy közös tényező figyelembevétele. A jósági fok érték meghatározásánál az üzemanyag-fogyasztás változást kifejező változó értékének meghatározása a 100 km-en történő üzemanyag-fogyasztásból kalkulálható üzemanyag költségéből lehetséges.

Az összes meghatározandó változóra igaz (tehát kivéve a típusmutatóra), hogy az értékük a váltási hajlandóság függvénye: x % esetén a maradékot $(1-x)$ %-os hagyományos ingázással

számolom. Tehát változók meghatározásához szükséges hányadosok számlálójának értékei (g , w , s , p) változatoként más, hiszen a változatokon belül értelmezett paraméterek (autonóm járműves penetráció, elektromos járművek aránya) szerint változik az értékük. Ugyanezen hányadosok nevezőnek (h , e , d , o) értéke pedig minden változatban megegyezik, mivel azok a jelenlegi helyzetet írják le.

5.2.2 Változók

Megtett járműkilométer

A mobilitási szolgáltatás hatását a megtett járműkilométerre (jele: ϑ) változatoként határoztam meg (fix ingázói jármű darabszám szerint).

A változó meghatározásához szükséges az megtett összjárműkilométer a két város közötti általános távolsággal számolható ki. Főbb lehatárolások:

- Az ingázási forgalom nagysága (jele: q) a városok között adott.
- A megtett járműkilométer számításánál feltételezhető, hogy az ingázás során egy járműben átlagosan 1,5 személy tartózkodik (reggeli és délutáni csúcsidőben is). Ezek alapján meghatározható az autonóm járműves szolgáltatás flotta nagysága (jele: F).
- Előzetes feltételként meghatározandó, hogy egy személygépjárművet hány mikro jármű tud kiváltani és hány mikro járművet tud egy tréler elszállítani. Ha 1,5 személy tartózkodik egy járműben, akkor egy 2 fős mikro jármű is képes elszállítani az átlagosan értelmezett 1,5 főt. Tehát 1 mikro jármű 1 személygépjárművet tud helyettesíteni az ingázás folyamata alatt.
- Az, hogy mennyi hagyományos járművet szükséges helyettesíteni az adott változatban (tehát, hogy mekkora lesz a flotta nagysága), azt a váltási hajlandóság (jele: b) adja meg: $b(F)$.

A megtett járműkilométer változója a mobilitási szolgáltatás bevezetését követően a megtett teljes járműkilométer (mikro jármű – tréler – egyéni tulajdonosú jármű) (jele: g) és a szimplán csak hagyományos járművekkel megtett jelenlegi járműkilométer (jele: h) hányadosa; arányszám, mértékegység nélkül. A jelenleg hagyományos járművekkel megtett járműkilométer állandónak tekinthető.

Ennek megfelelően a két város közötti forgalomnagyságot szorozva a váltási hajlandósággal megadható a mobilitási szolgáltatás keretein belül üzemelő járművek számát (21).

$$b \cdot q = F \quad (21)$$

Először mindig az aktuális járműflotta (F) meghatározása szükséges. Mivel lehatárolásként 1 darab személygépjárművet 1 darab mikro jármű tud kiváltani, így az egyenlettel meghatározott személygépjárművek száma megegyezik a szükséges mikro járművek számával.

A mikro járműveket el szükséges szállítani A városból B városba. Lehatárolásként feltételeztem, hogy maximum 5 db mikro jármű fér el egy tréleren és a mobilitási szolgáltatás üzemeltetésének leképezéséhez szükséges számolni a tréler átlagos telítettségével (jele: η) így figyelembe szükséges venni a tréler kapacitását (jele: $k = 5$) és a tréler átlagos foglaltságát (jele: f) (22).

$$\eta = \frac{f}{k} \quad (22)$$

A szükséges trélerek számának meghatározása a következő (23):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} \quad (23)$$

Fontos szempont, hogy a mikro jármű nem teszi meg az ingázási utat. Becsülendő a mikro járművek által városon belüli átlagosan távolság (jele: a). Mivel a mikro járművek két városban végeznek mozgást, a mikro az átlagos városi távolság kétszeresen kerül figyelembevételre. Csak a tréler teszi meg az ingázás távolságát. Ezeknek megfelelően pl. a mikro járművek által megtett járműkilométer a következő (24-25). Minél pontosabban rendelkezésre áll a gyűjtőpont hálózat, annál pontosabban meg lehet becsülni az a értékét. Ugyanakkor nem minden esetben a legközelebbi gyűjtőpont a globális optimum szempontjából a legjobb, így az a értéke a kereslet függvényében is változhat napszakok, útirányok, stb. függvényében.

$$g_{mikró} = F_{mikró} \cdot (2 \cdot a) \quad (24)$$

$$g_{tréler} = F_{tréler} \cdot l \quad (25)$$

Továbbá a mobilitási szolgáltatás típusa is befolyásoló hatással bír, ha a B szolgáltatástípussal üzemel a mobilitási szolgáltatás, akkor csak egy nagy-/ kikapacitású közösségi közlekedésre történik a ráhordás, tehát a tréler nem végez ingázási tevékenységet, azt a közösségi közlekedés végzi. Tehát ha mindkettő használati módban működik a szolgáltatás 50 – 50 %-ban, akkor a trélerek fele végzi el csak az ingázást. A mobilitási szolgáltatás felhasználása (jele: z) mutatja a TCAV-on belüli A és B szolgáltatás típus arányát. Ez befolyással van minden $g_{tréler}$ változó értékére is; ennek pontos meghatározásához az alkalmazási terület fontos feltérképezése szükséges.

Ingázás időtartama

Ezen változó meghatározása érdekében az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséből fakadó ingázási időtartamot (jele: T_f) szükséges figyelembe venni. Az ingázási változó ψ meghatározása a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások összeitartamának (jele: w) és a hagyományos járművekkel lebonyolított ingázási utazások összeitartamának (jele: e) hányadosa.

Az ingázási időtartam meghatározásánál figyelembe veendő az egy napi össz ingázási időtartam csúcsidőben két város között (nem egységjárműre nézve, hanem flotta szinten). A csúcsidőket érdemes figyelembe venni, hiszen a szűk keresztmetszetek kiszolgálása a cél a méretezés során.

Az ingázással kapcsolatos össz időtartam kiszámítása a következő (26): a délelőtti (jele: $C_{s.d.e.}$) és délutáni (jele: $C_{s.d.u.}$) csúcs idejű két város közötti utazási idő átlag értéke (jele: T) szorozva a mikro járműves flotta nagyságával (mikro járművek számával) adja meg a flottában értelmezett össz. ingázási időtartamot:

$$\frac{C_{s.d.e.} + C_{s.d.u.}}{2} \cdot F_f = T_f \quad (26)$$

Ebből kiindulva a tréler utazási idejét nem szükséges figyelembe venni, hiszen jelen esetben a magánszemélyek összesített idejét szükséges vizsgálni és a mikro járművek utaztatása közben a mikro járművekben ülő magánszemélyek idejének összértékének kiszámítása a cél.

A mikro járművek átlagos sebességéből (v_{mikro}) feltételezhető, hogy egy adott mikro jármű mennyi idő alatt jut el a kezdőhelytől a gyűjtőpontig (jele: t_{ij}), továbbá egy másik városban az elosztóponttól a rendeltetési helyig (jele: t_{ji}). Az átlagos sebesség városokban eltérő lehet. Ehhez figyelembe szükséges venni egy városon belül a mikro járművek maximális megtett távolságát (a) (27):

$$\frac{a}{v_{mikró}} = t_{ij} \quad (27)$$

Ezen t_{ij} és t_{ji} értékek összege adja a mikro járműves összesített helyváltoztatással járó időt (28):

$$t_{ij} + t_{ji} = t_{mikró} \quad (28)$$

Mindezek mellett azt is feltételeztem, hogy a tréler ugyanannyi idő alatt teszi meg az ingázás folyamatát két város között, mintha ugyanezt hagyományos járművekkel végeznénk.

Továbbá a hagyományos járművekkel végzett ingázási időtartamhoz képest bizonyos plusz ingázási időtartamot (jele: i) szükséges feltételezni a szolgáltatás igénybevétele során, hiszen felmerülhet a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során számos plusz időtöbblet, aminek forrása lehet pl. a gyűjtőponton való plusz várakozás a többi utasra vagy a trélerre.

Ráhordó „B” szolgáltatástípus esetén is jelentkezik plusz idő az átszállás miatt. Azonban egy nagykapacitású közösségi közlekedés két város között koncentráltabb és rendezettebb, tehát valószínűsíthetően rövidebb idő alatt teszi meg az utat, ezáltal csökkentve az átszállási idő miatti utazási idő növekményt. Viszont a B használati mód esetén nagyobb ingázási plusz időtartamot feltételezek.

Az elhordó utazás is megvalósulhat mikro járművel; nagykapacitású közösségi közlekedési megállójában található igénybevehető mikro járművel.

Ezeknek megfelelően minden járműtípusra, ami a flottában megtalálható (tehát a mikro járművekre, trélerekre és a megmaradó egyéni járművekre), szükséges kiszámolni az adott járműtípusra értelmezett össz ingázási időtartamot. Ez a mikro járművekre nézve és az egész flottára nézve (29-30):

$$w_{mikró} = F_{mikró} \cdot (T + t_{mikró}) \quad (29)$$

$$e = F_{hagy.jmũ} \cdot T \quad (30)$$

Károsanyag-kibocsátás

A mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás változás változó (jele: ϕ) a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművekkel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások CO₂ kibocsátásának összértékének (jele: s) és a hagyományos járművek üzemeltetéséből eredeztethető, jelenlegi CO₂ kibocsátás mértékének (jele: d) hányadosa.

Az esettanulmánynál a jósági fokok számításánál a károsanyag-kibocsátással kapcsolatos változó értékeinél figyelembe szükséges venni a rendszerben bármely járműtípus kibocsátását (mikro jármű, tréler, hagyományos jármű), tehát az összes lehetséges járműtípusok különböző kibocsátásaival szükséges számolni.

A hagyományos járművek CO₂ kibocsátás (jele: K_{szj}) értékeit az új típusú, az újabb kibocsátási norma értékeknek megfelelően működő járművek műszaki tartalmában leírt kibocsátás értékekkel számoltam, hiszen amikor majd ez a mobilitási szolgáltatás bevezethető lesz, akkor ezek a járművek lesznek európai szinten az idősebb járművek, amik magyar viszonylatban nagyrészt használatban lesznek. Továbbá a vegyes használatához (autópályán is

és városban is) leírt CO₂ kibocsátás értékeket vehető figyelembe (a katalógus ezt külön részletezi). A volvo katalógusában megtalálható legújabb T4, T5, T6 modellek vegyes használatú CO₂ kibocsátás értékek átlagát érdemes figyelembe venni a rendszerben működtetett hagyományos járművek CO₂ kibocsátás értékek számításánál [91]. A katalógus figyelembe veszi a használati sebességet is, ezek alapján is megad egy kibocsátás értéket, ezek átlagát nézve figyelembe szükséges venni, hogy a hagyományos járművel ingázó személyek autópályán és városban is használják a járművet, továbbá azt is, hogy a használat átlagos sebességen történik.

Feltételezések:

- Egy mikro jármű műszaki paraméterei megegyezik egy jelenlegi nagyobb motorkerékpár műszaki paramétereivel,
- Egy tréler műszaki paramétereit pedig egy közepes/nagy teherbírású tehergépjármű paramétereirehasonlítható.
- Egy közepes tehergépjármű fogyasztása (jele: $\ddot{U}_{kt}$) nagyjából $\frac{3}{4}$ -e a nagytehergépjármű fogyasztásának (jele: $\ddot{U}_{nt}$) 100 km-en (ez igazi a károsanyag-kibocsátásra is) [92] (31).

$$\ddot{U}_{nt} \cdot \frac{3}{4} = \ddot{U}_{kt} \quad (31)$$

- A személygépjármű fogyasztása (jele: $\ddot{U}_{szj}$) fele annyi, mint a közepes tehergépjármű fogyasztása (32):

$$\frac{\ddot{U}_{kt}}{2} = \ddot{U}_{szj} \quad (32)$$

- Mivel egy személygépjármű fogyasztása fele annyi, mint a közepes tehergépjármű fogyasztása és katalógusból adott egy átlagos személygépjármű átlagos CO₂ kibocsátása (jele: K_{szj}), akkor a személygépjármű CO₂ kibocsátása is fele annyi lesz a közepes tehergépjármű CO₂ kibocsátásához (jele: K_{kt}) képest (33).

$$k_{szj} \cdot 2 = K_{kt} \quad (33)$$

- Továbbá katalógus adat alapján a motorkerékpárok átlagos CO₂ kibocsátása (jele: K_m) is adott [93].

Az elektromos járművek CO₂ kibocsátás (jele: K_{ej}) értékeit nem tekinthető nullának, hiszen az energiakitermelése is jár CO₂ kibocsátással (jele: K_a). A katalógus adatok figyelembe veszik a dízel/benzin előállításánál keletkezett CO₂ kibocsátást is. Katalógus adatok alapján 1 kWh áram termeléséből fakadó CO₂ kibocsátás (K_a) is adott [92]. Az elektromos járművek CO₂ kibocsátását a fogyasztásuk mértékéből szükséges kiszámolni (34-35-36).

Hagyományos elektromos jármű fogyasztásának (jele: $\ddot{U}_{ej}$) a Nissan Leaf nevű jármű fogyasztását vettem. A járműnek vegyes használat (város-autópálya) esetén a fogyasztása adott

[94]. Közepes elektromos tehergépjárműveknek is adott a fogyasztása (jele: $\ddot{U}_{et}$), ebből pedig következtethető a CO₂ kibocsátása (jele: K_{et}) is [95]. Az elektromos motorkerékpár fogyasztásával (jele: $\ddot{U}_{em}$) kapcsolatosan elmondható, hogy 100 km megtétele 1 eurónyi fogyasztásnak megfelelő áramot használ fel [96]. Ehhez szükséges hasonlítani az elektromos mikro jármű CO₂ kibocsátását. A mai árfolyamon 1 euró nagyjából 364 forint. Körülbelül 40 forinttal számítható 1 kWh áramtöltést, ha a töltés otthon valósul meg. Ingázás esetén most ezt a lehetőséget veszem figyelembe [97]. Ebből következtetve egy elektromos motorkerékpár fogyasztása ($\ddot{U}_{em}$) is adott, amiből számítható a CO₂ kibocsátása (jele: K_{em}) is. Az elektromos járművek (motorok, tehergépjárművek, személygépjárművek) fogyasztásából számolom a CO₂ kibocsátásuk értékét.

$$K_{ej} = \frac{\ddot{U}_{ej} \cdot K_{\dot{a}}}{100} \quad (34)$$

$$K_{em} = \frac{\ddot{U}_{em} \cdot K_{\dot{a}}}{100} \quad (35)$$

$$K_{et} = \frac{\ddot{U}_{et} \cdot K_{\dot{a}}}{100} \quad (36)$$

Ebből kiindulva szükséges meghatározni a rendszerben értelmezett járműtípusok CO₂ kibocsátások mértékét (K értékeket), amit a megtett távolsággal (két város közötti ingázói távolság, jele: l) és a járművek darabszámával (jele: F) megszorozva meghatározható a megtett távolságon értelmezett rendszerszintű CO₂ kibocsátás mértékét (s).

Például az elektromos mikro járművekre értelmezett s_{em} (37-38):

$$s_{em} = F_{em} \cdot K_{em} \cdot 2a \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (37)$$

$$d = F_{hagy.jm\ddot{u}} \cdot K_{szj} \cdot l \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (38)$$

Üzemanyag- és energiafogyasztás

Az üzemanyag-fogyasztás csökkenése változó (jele: ε) a mobilitási szolgáltatás bevezetésének hatására bekövetkező rendszerszintű (az ingázást végző mikro járművek, a trélerek és a megmaradó egyéni gépjárművek) üzemanyag költségértékének (jele: p) és a csak hagyományos járművekkel végzett ingázás üzemanyag költségértékének (jele: o) hányadosa. Ezen üzemanyagköltségek hányadosából kapható az üzemanyag-fogyasztás változását kifejező változó értékét. A váltási hajlandóság által megadott mobilitási szolgáltatás jármű-flotta hajtási technika aránya is változatónként különböző.

Meghatározandó a bevezetést követően a rendszerben lévő járműtípusok fogyasztása 100 km-en ($\ddot{U}$ értékeket), amit a megtett távolsággal (két város közötti ingázói távolság, jele: l), plusz a járművek darabszámával (jele: F) és az üzemanyag/energia 1 literre/1 kWh-ra

értelmezett árával (jele: \$) megszorozva megkapható a megtett távolságon értelmezett fogyasztási költségértéket egy adott járműtípusnak (p). Például az elektromos mikro járművekre értelmezett p_{em} (39):

$$p_{em} = \frac{F_{em} \cdot \ddot{U}_{em} \cdot 2 \cdot a \cdot \$}{100} \left[\frac{f_{orint}}{f_{flotta}} \right] \quad (39)$$

Az üzemanyag árak katalógusból adottak [98]. A személygépjárműves ingázás lebonyolításánál egyszerűsítésképp a dízel és benzin árak átlaga használható, hiszen a valóságban az ingázó személyek vegyesen benzines vagy dízel hajtású személygépjárművekkel teszik meg az ingázást mindennap.

Meghajtás: A tréler hajtása dízel, ha nem elektromos, hiszen a közepes teherbírású járművek hajtása dízel. Tehát a tréleres költségérték számításánál a dízel hajtással kapcsolatos árat veendő figyelembe. A motorkerékpárral kapcsolatosan a dízel hajtás nem jellemző, tehát a mikro járművek hajtását benzinesnek és/vagy elektromosnak tekinthető.

Töltés: Az autonóm járműves szolgáltatás esetében a flotta üzemeltetése vagy saját töltőrendszer van kiépítve, vagy a felhasználók maguknak töltik otthon a mikro járműveket, a tréler töltése pedig a kiépített, dedikált hálózaton történik. Ezek alapján az otthoni töltésnek megfelelő díjtarifákat veszem figyelembe.

Fogyasztás: A motorkerékpárok üzemanyag-/energiafogyasztása a mikro járművek üzemanyag-/energiafogyasztásával azonos.

6 Esettanulmány – módszerek alkalmazása

A módszerek validálása és az alkalmazhatósága érdekében alkalmaztam azokat Budakalász településre, mint esettanulmány. A település a fővárosi agglomeráció része, a budapesti ingázó forgalom jelentős. A település kötöttpályás közösségi közlekedési kapcsolattal rendelkezik (H5 HÉV). Ugyanakkor, van direkt budapesti közösségi közlekedési kapcsolattal nem rendelkező településrésze is. A bemeneti adatok forrása: KSH és egyéb statisztikai adatbázisok, nyílthozzáférésű térképes alkalmazások, KTI-től kapott forgalmi adatok.

6.1 Gyűjtőpont-kijelölő módszer alkalmazása

A gyűjtőpont-kijelölő módszertan és eredményeit magyar és angol nyelvű konferenciákon bemutattam, illetve konferencia kiadványokban publikáltam [99], [100].

6.1.1 Makro szint

Definiáltam a változók és tényezők értékét Budakalász és kapcsolataira vonatkozóan (9.táblázat). A táblázat utolsó oszlopában a kapcsolati intenzitás számított értéke olvasható. Budakalászon a foglalkoztatottak, diákok száma (m_j) 4000 körülire tehető.

Ezeknek megfelelően Budapest és Budakalász városok közötti előre látható kölcsönhatás (forgalombecslés) a következő (40):

$$A_{BB} = 0,1 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \frac{680000 \cdot 4000}{1,2 \cdot 17^2} = 5,8823 \quad (40)$$

9. táblázat:

Változók értéke és a számított kapcsolati intenzitás városok között (kivonat)

i	m_i [fő]	r_{ij} [km]	τ_{ij}	E_{ij}	Y_{ij}	A_{ij}
<i>Dunakeszi</i>	16000	12,4	1,2	1	1,5	0,5203
<i>Szentendre</i>	9000	8,7	1	0,8	0,5	0,1902
<i>Békásmegyer</i>	14500	3,5	1	1	0,5	2,3673
<i>Göd</i>	16000	22,5	1	1	1,5	0,1896
<i>Veresegyháza</i>	8200	26,3	1	0,8	1,5	0,0569
<i>Órbottyán</i>	3500	28,7	1	0,7	1,5	0,0178
<i>Fót</i>	8200	14,6	1,2	0,8	1,5	0,1539
<i>Budapest</i>	680000	17	1,2	1,5	0,5	5,8823
<i>Pilisborosjenő, Üröm</i>	4200	4,7	1,2	0,7	1,5	0,6655
<i>Solymár</i>	4100	13,4	1,2	0,7	1,3	0,0693
...	...	...	...	...	...	...

A kiszámolt kölcsönhatás alapján is megállapítható Budapest méretéből és jelentőségéből adódó nagy vonzó hatása. A legnagyobb kapcsolati intenzitás Budapest - Budakalász között adódott ($A_{ij} = 5,88$), ez alapján A_{ij}^{max} értéke 5,88.

A gyűjtőpont darabszám meghatározáshoz szükséges további változók értéke:

b feltételeztem, hogy az egyéni gépjárműhasználók 5%-a váltana; $b = 0,05$,

φ feltételeztem, hogy egy gyűjtőpont maximálisan 15 járművet képes kiszolgálni csúcsidőben; $\varphi = 15$,

H Budapest agglomerációjában jellemző motorizációs fok; $H=406$ jármű/1000 lakos.

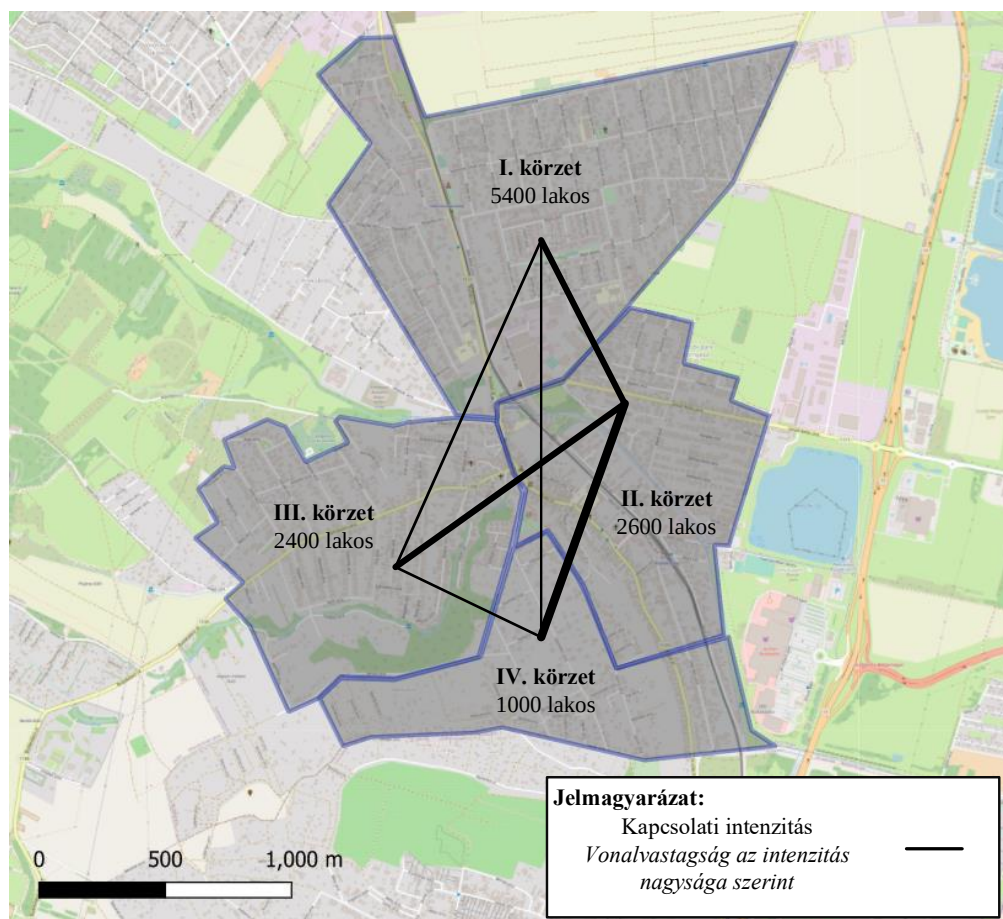
Budakalászon a szükséges gyűjtőpontok darabszáma $S_j = 23$.

6.1.2 Mezo szint

Körzeteket határoztam meg a lakosságszám és területi jellemzők (főutak elválasztó hatása, természeti határok – parkok) alapján (8. ábra). Csak lakófunkciójú területeket soroltam be. Az ábrán a körzetek közötti vonalvastagság a kapcsolat intenzitás erősségét fejezi ki.

A körzetek között definiált változók értékét a 10. táblázat tartalmazza. A táblázat utolsó oszlopában a számított kapcsolat intenzitás értéke olvasható. A körzetek lakosságszáma: $n_I =$

5400 fő, $n_{II}= 2600$ fő, $n_{III}= 2400$ fő, $n_{IV}= 1000$ fő. α_{xy} magas azon körzetek között, ahol lehetséges HÉV-vel utazni, közepes, ahol a HÉV csak a körzet szélén áll meg, és alacsony, ahol nincs HÉV megálló. β_{xy} értéke magas, mivel nincs kiskapacitású közösségi közlekedés városon belül.



8. ábra: Budakalász körzetei és a körzetek közötti intenzitás mértéke
(Forrás: saját kutatási eredmény)

10. táblázat:

Változók értéke és a kapcsolati intenzitás a körzetek között
(forrás: saját kutatási eredmény)

x	y	$r_{xy} [km]$	E_{xy}	α_{xy}	β_{xy}	τ_{yy}	μ	A_{xy}
I.	II.	1,1	1,2	0,5	1,5	1,2	2,5	0,8274
I.	III.	1,35	1	1,2	1,5	1,2	2,5	0,3719
I.	IV.	1,6	1	1,5	1,5	1,2	1,5	0,3243
II.	III.	1,1	1,2	1,2	1,5	1,2	2,5	0,8510
IV.	III.	0,85	1	1,5	1,5	1,2	1,5	0,3589
IV.	II.	0,75	1	1,5	1,5	1,2	1,5	1,1547

Az egyes körzetek vonzása és a körzetekben szükséges gyűjtőpontok számát az 11. táblázat tartalmazza. A táblázatban a körzetek méretét is feltüntettem.

11. táblázat:

Körzetek összesített kapcsolati intenzitása és a szükséges gyűjtőpont száma
(forrás: saját kutatási eredmény)

x	zónák mérete [km ²]	A_x	σ_x
I.	1,47	0,5078	5
II.	0,53	0,9444	8
III.	0,73	0,5273	5
IV.	0,99	0,6126	5

Bár a II. körzet a legkisebb területű, az összesített kapcsolati intenzitása a legnagyobb, így a körzetben szükséges gyűjtőpontok száma is a legmagasabb. Ennek oka, hogy a körzet a városközpontjában helyezkedik el, a lakosságszám magas, a többi körzettel a kapcsolati intenzitása jelentős. Ezzel szemben a legnagyobb területű I. körzetben a legkisebb a kapcsolati intenzitás, a szükséges gyűjtőpontok száma a legkevesebb. Ennek oka, hogy a körzet főként kis beépítettségű, a lakosságszám alacsony, a többi körzettel a kapcsolati intenzitása nem számottevő.

6.1.3 Mikro szint

A mikro elemzés során megvizsgáltam Budakalász közösségi közlekedésének elhelyezését, térképen bejelöltem a városban elhelyezett megállóhelyeket (feltérképeztem a városi közösségi közlekedést). A megállóhelyek előfordulási sűrűsége nagyobb a városok súlypontjainál ezért elemzés során kikötöttem, hogy a belvárosban, függetlenül a megállóhelyek számától, szükséges legalább 1 db gyűjtőpont létesítése, ennek megfelelően jelöltem a gyűjtőpontokat a térképeken. Azaz az általam megítélt súlypontoknál a megállóhelyek száma magas, tehát maximum 1 db gyűjtőpontot helyeztem el a súlypontokra.

Az elemzés során figyelembe vettem a gyűjtőpontok egymástól való távolságát (gyűjtőpontok között legalább 100-150 m legyen). A KIRA (Közlekedési Információs Rendszer és Adatbázis) forgalmi adatai alapján meghatároztam a városok főbb forgalmi útvonalait és azok forgalmát, a gyűjtőpontok nagy részét ezeken az útvonalakon helyeztem el. A főútvonalakon ott helyeztem el, ahol a közelben nincsen közösségi közlekedési megállóhely.

A 9. ábrán Budakalász látható. A térképen bejelöltem a helyi közösségi közlekedési járatok útvonalait, megállóhelyeit (ellipszis), a főútvonalak forgalmát és az elhelyezett gyűjtőpontokat (piros pont) és elosztópontokat (kék pont) és a körzetek határait.

Budakalász esetében a belvárosban a megállóhelyek száma magas, így ebben az esetben maximum 1 db gyűjtőpontot helyeztem el ezekre a területekre. A megállóhelyekre való rágyaloglási hajlandóságokat vizsgálva jutottam arra, hogy a megállóhelyek közelébe nem rakok gyűjtőpontot. Csak abban az esetben rakok gyűjtőpontot egy megállóhely közelébe, ha oda súlypontot ítélt meg.



9. ábra: Budakalász mikro szintű elemzési térképe a bejelölt gyűjtőpontokkal (piros pontok)
(forrás: Saját kutatási eredmény)

Az ábrán a HÉV megállóhely körül jelöltem a megállóhelyek vonzáskörzetét. Ezen körzeteken belül nem helyezek gyűjtőpontot, hiszen akik a vonzáskörzeten belül élnek, nagy eséllyel a HÉV-et választanák ki az utazásuk céljából. Minden megállóhely számára jelöltem egy adott vonzáskörzetet, amelyeken belül csak akkor helyezek gyűjtőpontot, ha oda súlypontot

ítéltem meg. A várost népessége alapján négy körzetre bontottam szét, amelyekbe meghatároztam a szükséges gyűjtőpontok darabszámát és kijelöltem a gyűjtőpontokat a körzeteken belül.

6.2 Hatásbecslő módszer alkalmazása – változatok elemzése

A mobilitási szolgáltatás hatásainak előbecslésének vizsgálatához változatelemzést végeztem. Az elemzés során minden változathoz kiszámoltam a mobilitási szolgáltatás jósági fokát, amely megmutatja, hogy a mobilitási szolgáltatás bevezetése milyen mértékben okoz változást. Esettanulmány során a jósági fok értékek meghatározását Budakalász és Budapest közötti napi járműdarabszám alapján végeztem.

A 10. ábrán a változatelemzés során figyelembe vett változatképző szempontokat foglaltam össze. A változatok képzése során figyelembe vett szempontok: váltási hajlandóság, az elektromos járművek aránya a szolgáltatáson belül és a szolgáltatástípusa. Változatelemzés segítségével megadható, hogy az autonóm járművek penetrációja, a tisztán elektromos járművek aránya és a szolgáltatás használati módja hogyan és milyen mértékben befolyásolja a mobilitási szolgáltatás változási területekre gyakorolt hatását és a jósági fok mértékét.



10. ábra: Változatelemzés alapját biztosító változatképző szempontok
(forrás: saját kutatási eredmény)

A mobilitási szolgáltatás üzemeltetési hatásának vizsgálata szempontjából elengedhetetlen szempont a mobilitási szolgáltatás használati hajlandósága, hiszen az, hogy mennyien használják erősen befolyásolja az előzetesen becsülhető, értékelhető hatásokat. Mindemellett a mobilitási szolgáltatás környezeti hatásának mélyebb vizsgálata során fontos szempont, hogy a flottának hány %-a elektromos hajtású. A mobilitási szolgáltatás bevezetése nem csak az autonóm járművek bevezetését jelenti, hanem az elektromos járművek nagyobb

penetrációjának elősegítését is. Így ezen szempont megjelenése a változatokban sem elhanyagolható.

Továbbá fontos szempont a mobilitási szolgáltatás igénybevételi módja is (szolgáltatástípus), hiszen ezen mobilitási szolgáltatás hatását megváltoztatja, ha a mobilitási szolgáltatással teljes mértékben elvégezhető az ingázás és nem „csupán” a közösségi közlekedést szolgálja ki ráhordó funkcióban.

Végezetül pedig változatonként fontos vizsgálni a tréler átlagos telítettségét, hiszen nem mindig teljes kapacitáson üzemel a mobilitási szolgáltatás, így figyelembe szükséges venni, hogy átlagosan a kiszolgálás határfoka mekkora és ennek hatására milyen mértékű hatások érhetőek el a vizsgálati területeken.

Négy változatot különböztettem meg (pesszimista, realista, bizakodó, optimista) a változatképző szempontok mértéke alapján. A megkülönböztetett változatok jellemzőit a 12. táblázatban foglaltam össze.

12. táblázat:
A változatelemzés felépítése
(forrás: saját kutatási eredmény)

Szempontok	Pesszimista	Realista	Bizakodó	Optimista
<i>Váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé (b)</i>	10 %	25 %	50 %	100 %
<i>Elektromos meghajtás aránya a tréler és mikro járművek között</i>	50 %	75 %	100 %	100 %
<i>Szolgáltatástípusok megoszlása (c)</i>	A: 100 % B: 0 %	A: 50 % B: 50 %	A: 0 % B: 100 %	A: 0 % B: 100 %
<i>Tréler átlagos telítettsége (η)</i>	60 %	70 %	80 %	100 %

6.2.1 Változók, paraméterek értékadása

Az esettanulmány során az alfejezetben részletezett változó és paraméter értékekkel számoltam.

Megtett járműkilométer számításokhoz:

- a városon belül a mikro járművek maximális megtett távolsága: $a = 0,5 \text{ km}$
- két város között megtett ingázói távolság: $l = 15,7 \text{ km}$

- a tréler ráhordási távolsága a közösségi közlekedésre: $l = 3 \text{ km}$
- a tréler kapacitása: $k = 5 \text{ db jármű}$
- A tréler átlagos foglaltsága (f értéke) változatónként változó.
- Az ingázási forgalom nagysága két város között: $q = 824 \text{ db jármű}$
- Ingázással kapcsolatosan feltételezett plusz időtartam: $t_{plusz} = 10 \%$, a mobilitási szolgáltatás A használati módjánál
- Ingázással kapcsolatosan feltételezett plusz időtartam: $t_{plusz} = 15 \%$, a mobilitási szolgáltatás B használati módjánál

Ingázói időtartam számításokhoz:

- A délelőtti (jele: $C_{s.d.e.}$) és délutáni (jele: $C_{s.d.u.}$) csúcs idejű két város közötti utazás megtett utazási idejének átlag értéke (41):

$$\frac{70 \text{ perc} + 55 \text{ perc}}{2} = 62,5 \text{ perc} \quad (41)$$

- A mikro járművek eljutási ideje (42-43):

$$t_{ij} = t_{ji} = \frac{0,5 \text{ km}}{15 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \cdot 60 = 2 \text{ perc} \quad (42)$$

$$t_{mikró} = 2 \text{ perc} + 2 \text{ perc} = 4 \text{ perc} \quad (43)$$

CO₂ kibocsátás mértéke változó számításaihoz:

- Energiatermeléssel járó CO₂ kibocsátás mértéke (44):

$$K_a = 350 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} [92] \quad (44)$$

- Hagyományos hajtású személygépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (45):

$$K_{szj} = \frac{161+181+161+181+171+197+173+203}{8} = 178,5 \frac{\text{g}}{\text{km}} \quad (45)$$

- Hagyományos hajtású közepes tehergépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (46):

$$K_{szj} \cdot 2 = K_{kt} = 357 \frac{\text{g}}{\text{km}} \quad (46)$$

- Elektromos személygépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (47):

$$K_{ej} = \frac{18,7 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \cdot 350 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{100} = 66,45 \frac{\text{g}}{\text{km}} \quad (47)$$

- Elektromos motorkerékpár CO₂ kibocsátásának mértéke (48):

$$K_{em} = \frac{9,1 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \cdot 350 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{100} = 31,85 \frac{\text{g}}{\text{km}} \quad (48)$$

- Elektromos közepes tehergépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (49):

$$K_{et} = \frac{84,72 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \cdot 350 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}}{100} = 296,52 \frac{\text{g}}{\text{km}} \quad (49)$$

Ezeknek megfelelően a kibocsátásokkal kapcsolatos számítási értékek az 13. táblázatban találhatóak. Ezen számítási értékeket vettem figyelembe a jósági fok értékek kiszámításánál.

13. táblázat:
A különböző járműtípusok CO₂ kibocsátásai
(forrás: saját kutatási eredmény)

Járműtípusok	CO ₂ kibocsátás	Forrás:
<i>Hagyományos jármű</i>	178,5 $\frac{g}{km}$	(45) egyenlet alapján [91] irodalom felhasználásával
<i>Motorkerékpár – mikro jármű</i>	94 $\frac{g}{km}$	[93] irodalom felhasználásával
<i>Közepes tehergépjármű - tréler</i>	357 $\frac{g}{km}$	(46) egyenlet alapján [91] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos hagyományos jármű</i>	66,45 $\frac{g}{km}$	(47) egyenlet alapján [92] és [94] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos motorkerékpár – Mikro jármű</i>	31,85 $\frac{g}{km}$	(48) egyenlet alapján [92] és [96] és [97] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos közepes tehergépjármű - tréler</i>	296,52 $\frac{g}{km}$	(49) egyenlet alapján [92] és [95] irodalom felhasználásával

Üzemanyag-fogyasztással kapcsolatos számításokhoz:

Hagyományos elektromos jármű fogyasztásának a Nissan Leaf nevű jármű fogyasztását vettem. A járműnek vegyes használat esetén $18,7 \frac{kWh}{100 km}$ a fogyasztása [94]. A közepes elektromos tehergépjárművek esetén 136,8 km útra a tervezett fogyasztás 115,9 kWh, ami azt jelenti, hogy 100 km-en 84,72 kWh a fogyasztása (50) [95]. Az elektromos motorkerékpárral kapcsolatosan elmondható, hogy 100 km megtétele 1 eurónyi fogyasztásnak megfelelő áramot használ fel [96]. A mai árfolyamon 1 euró nagyjából 364 forint. Az elektromos töltés ára változó. Otthon töltés esetén alacsony (ma kb. 40 forint), viszont állomáson és más vállalatok töltőoszlopát igénybe véve drasztikusan megnőhet (például mai állapot szerint akár plusz 500 forint vagy 100 forint minimum 1 kWh töltés). Körülbelül 40 forinttal kalkulálhatunk 1 kWh áramtöltést, ha otthon töltjük. Ingázás esetén most ezt a lehetőséget veszem figyelembe [97]. Ebből következtetve egy elektromos motorkerékpár 100 km-en 9,1 kWh -ot fogyaszt (51). A motorkerékpár paraméterekhez viszonyított mikro járművek fogyasztása 100 km-en nagyjából 2,5 liter, ami megegyezik egy átlagos, jó fogyasztású motorkerékpár fogyasztásával (52).

Ebből fakadóan:

- Elektromos közepes tehergépjármű energiafogyasztása (50):

$$\dot{U}_{et} = \frac{136,8 \text{ km}}{115,9 \text{ kWh}} = \frac{100 \text{ km}}{x} \rightarrow x = 84,72 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \quad (50)$$

- Elektromos motorkerékpár energiafogyasztása (51):

$$\dot{U}_{em} = \frac{364}{40} = 9,1 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \quad (51)$$

- Hagyományos hajtású motorkerékpár üzemanyag-fogyasztása (52):

$$\dot{U}_m = \dot{U}_{mikró} = 2,5 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (52)$$

- Hagyományos hajtású személygépjármű üzemanyag-fogyasztása (53):

$$\dot{U}_{szj} \frac{7,1+8+7,1+8+7,5+8,7+7,6+9}{8} = 7,875 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (53)$$

- Hagyományos hajtású közepes tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása (54):

$$\dot{U}_{kt} = \dot{U}_{szj} \cdot 2 = 15 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (54)$$

A 14. táblázatba foglaltam össze a flottában üzemeltett járműtípusok fogyasztását 100 km-en. Ezekkel a fogyasztásokkal számolok az esettanulmányban.

14. táblázat:

A különböző járműtípusokhoz értelmezhető üzemanyag-fogyasztás értékek 100 km-en.
(forrás: saját kutatási eredmény)

Járműtípusok	Üzemanyag-fogyasztás 100 km-en	Forrás:
<i>Hagyományos jármű</i>	$7,875 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(53) egyenlet alapján [91] irodalom felhasználásával
<i>Motorkerékpár – mikro jármű</i>	$2,5 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(52) egyenlet alapján [93] irodalom felhasználásával
<i>Közepes tehergépjármű - tréler</i>	$15 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(54) egyenlet alapján [92] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos személygépjármű</i>	$18,7 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$	[94] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos motorkerékpár – mikro jármű</i>	$9,1 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$	(51) egyenlet alapján [96] irodalom felhasználásával
<i>Elektromos közepes tehergépjármű - tréler</i>	$84,72 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$	(50) egyenlet alapján [95] irodalom felhasználásával

Az esettanulmány elkészítéséhez szükséges a számítások alapjául szolgáló ingázási forgalomnagyságok (q) meghatározása két város között¹.

Az esettanulmány szempontjából releváns Budakalász, Pomáz és Budapest közötti csúcsidei (reggeli, délutáni) ingázói forgalom értékeit a 15. táblázat tartalmazza. A településeken belüli forgalmakat nem vettem figyelembe. A kapott adatok napi személy- és kistehergépjármű mozgásokat tartalmazza a városok között. Az egyszerűség kedvéért egybe számítottam a személygépjárművek és a kistehergépjárművek darabszámát, feltételezve, hogy a kistehergépjárművek száma nem befolyásolja jelentősen az csúcsidei ingázási arányokat.

15. táblázat:

A városok közötti napi ingázói forgalom (a járművek darabszáma alapján)
(forrás: KTI adatai alapján)

[jármű]	Budapest	Budakalász
Budapest	-	824
Budakalász	824	-

6.2.2 Eredmények

Az alfejezetben részletesen a realista változat számításait mutatom be. A pesszimista, bizakodó és optimista változatok számításait a 2. Függelék tartalmazza.

Realista változat:

A realista változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 25 % ($b = 0,25$) (55).

$$b \cdot q = F_{hagy.jmü} = 0,25 \cdot 824 = 206 \text{ db} \quad (55)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 206 db mikro jármű üzemel, amely 206 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (56).

$$F_{mikró} = F_{hagy.jmü} = 206 \text{ db} \quad (56)$$

A 206 db mikro járművet el szükséges szállítania a trélereknek. Az II. változatban a trélerek átlagos telítettsége 70% ($\eta = 0,7$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5$ db), ennek megfelelően egy tréler átlagos telítettsége (57):

¹ Adatok forrása a KTI

$$\eta = \frac{f}{k} \rightarrow f = \eta \cdot k = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ db jármű} \quad (57)$$

Ennek megfelelően 3,5 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításhoz (58):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} = \frac{206 \text{ db}}{3,5 \text{ db}} = 58,8571 \text{ db} \cong 59 \text{ db tréler szükséges} \quad (58)$$

A közösségi közlekedésre való ráhordás távolságát átlagosan 3 km-re vettem (ez egy Budakalász sajátosságú adat). Az első szükséges változó a megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (59):

$$\vartheta = \frac{g}{h} = \frac{10453,9 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,81 \quad (59)$$

Ahol:

- $g = g_{mikró} + g_{tréler} + g_{hagy.jmű}$
- $h = h_{hagy.jmű}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$\begin{aligned} g_{mikró} &= 206 \text{ dbjármű} \cdot 1 \text{ km} = 206 \text{ járműkilométer} \\ g_{tréler} &= 29 \text{ dbjármű} \cdot 15,7 \text{ km} + 30 \text{ dbjármű} \cdot 3 \text{ km} = 545,3 \text{ járműkilométer} \\ g_{hagy.jmű} &= 618 \text{ dbjármű} \cdot 15,7 \text{ km} = 9702,6 \text{ járműkilométer} \\ g &= 206 + 545,3 + 9702,6 = 10453,9 \text{ járműkilométer} \end{aligned}$$

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (60):

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{60049 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,166 \quad (60)$$

Ahol:

- $w = (w_{mikró} + w_{hagy.jmű}) + e \cdot 0,15$
- $e = e_{hagy.jmű}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$\begin{aligned} w_{mikró} &= 206 \text{ dbjármű} \cdot (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 13699 \text{ járműperc} \\ w_{hagy.jmű} &= 618 \text{ dbjármű} \cdot 62,5 \text{ perc} = 38625 \text{ járműperc} \\ w &= (13699 \text{ járműperc} + 38625 \text{ járműperc}) + 51500 \text{ járműperc} \cdot 0,15 = 57474 \text{ járműperc} \end{aligned}$$

Az elektromos járművek aránya a mobilitási szolgáltatásra nézve 75 %, ami azt jelenti, hogy a 206 db mikro járműből 155 db és az 59 db trélerből pedig 45 db elektromos hajtású.

Így a flotta összetétele a következő:

- 51 db hagyományos hajtású mikro jármű (jelen esetben benzines),

- 155 db elektromos hajtású mikro jármű,
- 14 db hagyományos hajtású tréler (jelen esetben dízel-es),
- 45 db elektromos hajtású tréler,
- 618 db hagyományos hajtású személygépjármű.

Az ismert járműflotta jellege alapján a harmadik változó, a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás csökkenése a következő (61):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{1911254,04 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,823 \quad (61)$$

Ahol:

- $s = s_{mikró} + s_{tréler} + s_{hagy.jmű}$
- $d = d_{hagy.jmű}$, (ez minden változatban ugyanannyi)
- $s_{mikró} = s_{elekt. mikró} + s_{hagy. mikró}$
- $s_{tréler} = s_{elekt. tréler} + s_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

$$\begin{aligned} s_{mikró} &= 155 \text{ dbjármű} \cdot 31,85 \frac{g}{km} \cdot 1 \text{ km} + 51 \text{ dbjármű} \cdot 94 \frac{g}{km} \cdot 1 \text{ km} \\ &= 4936,75 \frac{g}{flotta} + 4794 \frac{g}{flotta} = 9730,75 \frac{g}{flotta} \\ s_{tréler} &= 7 \text{ dbjármű} \cdot 357 \frac{g}{km} \cdot 15,7 \text{ km} + 7 \text{ dbjármű} \cdot 357 \frac{g}{km} \cdot 3 \text{ km} + 22 \text{ dbjármű} \cdot 296,52 \frac{g}{km} \\ &\quad \cdot 15,7 \text{ km} + 23 \text{ dbjármű} \cdot 296,52 \frac{g}{km} \cdot 3 \text{ km} \\ &= 39234,3 \frac{g}{flotta} + 7497 \frac{g}{flotta} + 102418,008 \frac{g}{flotta} + 20459,88 \frac{g}{flotta} \\ &= 169609,188 \frac{g}{flotta} \\ s_{hagy.jmű} &= 618 \text{ dbjármű} \cdot 178,5 \frac{g}{km} \cdot 15,7 \text{ km} = 1731914,1 \frac{g}{flotta} \\ s &= 9730,75 \frac{g}{flotta} + 169609,188 \frac{g}{flotta} + 1731914,1 \frac{g}{flotta} = 1911254,04 \frac{g}{flotta} \end{aligned}$$

A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása a következő (62):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{409254,196 \frac{forint}{flotta}}{512442,8 \frac{forint}{flotta}} = 0,7987 \quad (62)$$

Ahol:

- $p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jmű}$
- $o = o_{hagy.jmű}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

- $p_{mikró} = p_{elekt. mikró} + p_{hagy. mikró}$
- $p_{tréler} = p_{elekt. tréler} + p_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

$$\begin{aligned}
 p_{mikró} &= \frac{155 \text{ dbjármű} \cdot 9,1 \frac{kWh}{100km} \cdot 1 \text{ km} \cdot 40 \frac{\text{forint}}{kWh}}{100} \\
 &+ \frac{51 \text{ dbjármű} \cdot 2,5 \frac{\text{liter}}{100km} \cdot 1 \text{ km} \cdot 513 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 564,2 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 654,075 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
 &= 1218,275 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
 p_{tréler} &= \frac{22 \text{ dbjármű} \cdot 84,72 \frac{kWh}{100km} \cdot 15,7 \text{ km} \cdot 40 \frac{\text{forint}}{kWh}}{100} \\
 &+ \frac{23 \text{ dbjármű} \cdot 84,72 \frac{kWh}{100km} \cdot 3 \text{ km} \cdot 40 \frac{\text{forint}}{kWh}}{100} \\
 &+ \frac{7 \text{ dbjármű} \cdot 15 \frac{\text{liter}}{100km} \cdot 15,7 \text{ km} \cdot 492 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} \\
 &+ \frac{7 \text{ dbjármű} \cdot 15 \frac{\text{liter}}{100km} \cdot 3 \text{ km} \cdot 492 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} \\
 &= 11704,9152 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 2338,272 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 8110,82 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 1549,8 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
 &= 23703,81 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
 p_{hagy.jmű} &= \frac{618 \text{ dbjármű} \cdot 7,875 \frac{\text{liter}}{100km} \cdot 15,7 \text{ km} \cdot 503 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 384332,114 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
 p &= 1218,275 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 23703,81 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 384332,114 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 409254,196 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}
 \end{aligned}$$

Mivel ebben a változatban a felhasználó a mobilitási szolgáltatást nem csak A, hanem B azaz nem csak háztól-házig módon, hanem a közösségi közlekedést kiszolgálva használja, így $\xi = 0,5$.

A jósági fok változóinak meghatározása után megbecsülöm a mobilitási szolgáltatás jósági fokát (63):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,81) + (1 - 1,166) + (1 - 0,823) + (1 - 0,7987)) + 0,5}{4} = 0,2225575 \quad (63)$$

6.2.3 Változatok összehasonlítása, értékelése

A változatok főbb eredményeit az 16. táblázat tartalmazza:

16. táblázat:
Változatok főbb eredményei
(forrás: saját kutatási eredmény)

Változók	Pesszimista	Realista	Bizakodó	Optimista
Megtett járműkilométer csökkenés (ϑ)	6 %	19 %	44,4 %	89,8 %
Ingázási időtartam növekedés (ψ)	10,6 %	16,6 %	18,2 %	21,4 %
CO ₂ kibocsátás csökkenés (ϕ)	3,7 %	17,7 %	45,47 %	92,5 %
Üzemanyag-/energiafogyasztás csökkenés (ε)	5,3 %	20,13 %	47,66 %	96,1 %
Jósági fok (II)	1,27 %	22,25 %	54,84 %	89,25 %

A pesszimista változat jósági fok értéke nem túl kedvező. Leginkább a többlet ingázási idő rontja a jósági fok értékét, viszont a pozitív változások, mint pl. a CO₂ kibocsátás csökkenése, a megtett járműkilométer vagy az üzemanyag-fogyasztás csökkenése csekély értékű. A mobilitási szolgáltatás 10 %-os használati hajlandóság mellett kevésbé van hatással a környezetre és a rendszerre. Mindemellett a mobilitási szolgáltatást csak 50 %-os elektromos járműarány jellemzi, plusz a használati mód is kedvezőtlen ebben a változatban, hiszen csak háztól-házig jellegű szolgáltatással üzemel a mobilitási szolgáltatás, tehát az ezekből fakadó pozitív környezeti hatások is drasztikusan kisebbek lesznek.

A realista változat jósági fok érték drasztikusan növekedett a pesszimista változathoz képest. Leginkább a többlet ingázási idő rontja a jósági fok értékét, viszont a pozitív változások, mint pl. a CO₂ kibocsátás csökkenése, a megtett járműkilométer vagy az üzemanyag-fogyasztás csökkenése jelentősebb értékű. A mobilitási szolgáltatás 25 %-os használati hajlandóság mellett hatással van a környezetre és a rendszerre. Mindemellett a mobilitási szolgáltatást 75 %-os elektromos járműarány jellemzi, plusz a használati mód is félig kedvező ebben a változatban, hiszen nem csak háztól-házig jellegű szolgáltatással, hanem a helyi nagy-/kis kapacitású közösségi közlekedéssel együttesen üzemel a mobilitási szolgáltatás, tehát az ezekből fakadó pozitív környezeti hatások is drasztikusan nagyobbak lesznek.

A bizakodó változat jósági fok érték jelentősen növekedett a pesszimista és a realista változathoz képest. A kapott jósági fok érték kimondottan kiváló eredmény. Ez annak köszönhető, hogy a mobilitási szolgáltatás 50%-ban felváltotta a személygépjárműves ingázást és csak fenntartható, elektromos közlekedéssel üzemel. Így az ingázásból származó személygépjárműves megtett járműkilométer 50 %-os használat esetén jelentősen csökken, kb. 45 %-kal. Továbbá amellet, hogy ugyan ingázás időtartama kismértékben nő, az ingázásból származó személygépjárműves CO₂ kibocsátás kb. 46 %-kal, míg az ingázásból származó személygépjárműves üzemanyag-fogyasztás kb. 48 %-kal csökken, hiszen a mobilitási szolgáltatás nem háztól-házig juttatja el a felhasználót, hanem csak egy nagyobb kapacitású közösségi közlekedési eszközre hord rá, aminek köszönhetően tovább javulnak a környezettel kapcsolatos pozitív hatások.

Az optimista változat jósági fok érték drasztikusan növekedett az eddigi változatokhoz képest. A kapott jósági fok érték kimondottan remek eredmény. Ez annak köszönhető, hogy a mobilitási szolgáltatás 100%-ban kiváltotta a személygépjárműves ingázást és csak fenntartható, elektromos közlekedéssel üzemel. Így a személygépjárműves ingázásból származó megtett járműkilométer 100 %-os használat esetén 90 %-kal csökkenthető. Továbbá amellet, hogy ugyan az ingázás időtartama nő 21 %-kal, a személygépjárműves (ingázásból származó CO₂ kibocsátás 92,5 %-kal, míg a személygépjárműves ingázásból származó üzemanyag-fogyasztás 96,1 %-kal csökken, hiszen a mobilitási szolgáltatás nem háztól-házig juttatja el a felhasználót, hanem csak egy nagyobb kapacitású közösségi közlekedési eszközre hord rá, aminek köszönhetően tovább javulnak a környezettel kapcsolatos pozitív hatások.

7 Konklúzió

Kutatásom fő eredménye egy a Newton-féle gravitációs modell-alapú gyűjtőpont-szám meghatározó módszer, valamint a szolgáltatás jósági fokát meghatározó hatásbecslő módszer autonóm járműves mobilitási szolgáltatáshoz.

A szolgáltatás során az autonóm mikro járművek a közös szakaszokon, jellemzően városok között, egy tréleren utaznak; fő alkalmazási terület: agglomerációs ingázó forgalom. A szolgáltatás szükség van gyűjtőpontok létesítésére. Kutatásom során meghatároztam a szolgáltatás főbb jellemzőit és kidolgoztam a szerkezeti és funkcionális modelleket.

A gyűjtőpontok száma a gravitációs modellel, a területegységek közötti kapcsolati intenzitás mértékéből határozható meg. Új tényezőket vezettem be, amelyek jellemzik a városok között és városon belül elérhető közforgalmú közlekedési hálózatot. További figyelembe vett tényezők a váltási hajlandóság, a motorizációs fok, a munkavállalók és diákok száma és a lakosságszám. Három elemzési szintet különböztettem meg; makro szinten a városok közötti intenzitás, mezo szinten a városon belüli körzetek közötti intenzitás határozandó meg, míg mikro szinten a gyűjtőpontok pontos helyszíne határozható meg.

A szolgáltatás használatával elérhető hatások feltáráshoz változatelemzésen alapuló hatáselemző módszert dolgoztam ki, amelynek eredménye az ún. jósági fok. A jósági fok megadja a mobilitási szolgáltatás bevezetésének összhatását. A mobilitási szolgáltatást a fokozatos, a váltási hajlandóságnak megfelelő bevezetése, az elektromos járművek aránya, a szolgáltatástípusa és a tréler telítettsége szerinti változatok szerint vizsgáltam. Minden változatra meghatározható a mobilitási szolgáltatás főbb területekre, úgy mint, a megtett járműkilométerre, az ingázás időtartamára, CO₂ kibocsátásra és az üzemanyag-fogyasztásra gyakorolt hatás. Ezen hatások összességéből határozható meg a jósági fok.

A módszereket esettanulmányként Budapest-Budakalász viszonylatára alkalmaztam Budakalász városára. Megállapítottam, hogy a tizenegyezer lakosú, nagy kapacitású kötöttpályás közforgalmú közlekedéssel rendelkező Budakeszi kiszolgálásához 23 db gyűjtőpont szükséges. A számítási eredmények alapján alacsony váltási hajlandóság, alacsony elektromos járművek aránya és háztól-házi szolgáltatástípus esetén a jósági fok értéke alacsony, a többlet ingázási idő rontja a jósági fok értékét amellet, hogy a többi területen sincsen jelentős változás. A váltási hajlandósági érték növekedésével és az elektromos járművek 100%-os arányával, továbbá nagykapacitású közforgalmú közlekedési eszközre ráhordó szolgáltatástípus esetén a jósági fok értéke drasztikusan növekszik. 50%-os váltási hajlandóság

esetén a mobilitási szolgáltatással a napi ingázás során összesen megtett járműkilométer 45%-kal, a CO₂ kibocsátást 46%-kal és az üzemanyag-fogyasztást 48%-kal csökkenthető. Ha a mobilitási szolgáltatás iránt 100%-os a váltási hajlandóság az összesen megtett járműkilométer 90%-kal, a CO₂ kibocsátás 92,5%-kal, míg az üzemanyag-fogyasztás 96,1%-kal csökkenthető, mivel a mobilitási szolgáltatás 100%-ban kiváltotta a jelenlegi főként hagyományos meghajtású egyéni személygépjárműves ingázást és csak fenntartható, elektromos közlekedéssel üzemel.

A kutatásom során számos nehézséggel szembe kellett néznem. A téma új és innovatív tapasztalati adatok még nem állnak rendelkezésre. Ennek érdekében a témában széleskörű, alapos irodalomkutatást végeztem a változók értékeinek becsléséhez.

A témában rejlő kutatási potenciál jelentős; továbbfejlesztési irányok:

- aktuális díjtarifa és jegyrendszer kialakítása, rendelési folyamatok kidolgozása,
- városi villamoshálózati rendszer feltérképezésének jelenléte a mikro szintű elemzés során,
- pontosítás szükséges arról, hogy hány jármű férhet fel egy trélerre és szükséges a technológiai háttér továbbfejlesztés és tovább gondolása,
- gyakorlatban a szervezési folyamatok tovább gondolása,
- az akkumulátorok közötti energiamegosztások vizsgálata és technológiai koncepciók tovább gondolása,
- az ideális tréler nagysága és a szükséges akkumulátori változók és kapacitások kialakítása,
- a szolgáltatás beruházási és üzemeltetési költségeinek vizsgálata,
- városonkénti körzetek közötti intenzitás értékek intervallumba osztásának további vizsgálata és az ezekhez tartozó gyűjtőpont darabszámok meghatározásának pontosítása,
- modell (pl. Visum modellezés) felépítése, amely segítségével pontosítható a hatásbecslő módszer eredménye, a forgalomra gyakorolt hatások részletezhetők.

Ábrajegyzék

1. ábra: A kutatás folyamata (forrás: saját kutatási eredmény)	- 5 -
2. ábra: A dolgozat felépítése (forrás: saját kutatási eredmény)	- 6 -
3. ábra: A mobilitási szolgáltatás működése háztól-házig (A.) és kombinált (B.) utazás esetén (Forrás: saját kutatási eredmény)	- 18 -
4. ábra: Körfolyamatábra az utazás gondolatának megszületésétől az ügyfél mikro járműből való kiszállásáig (Forrás: Saját kutatási eredmény)	- 22 -
5. ábra: A kidolgozott mobilitási szolgáltatás szerkezeti modellje (Forrás: saját kutatási eredmény)- 23 -	
6. ábra: Az elemzési szintek (forrás: Saját kutatási eredmény).....	- 32 -
7. ábra: Mobilitási szolgáltatás hatásbecslési módszertan lépései (forrás: saját kutatási eredmény)- 38 -	
8. ábra: Budakalász körzetei és a körzetek közötti intenzitás mértéke (Forrás: saját kutatási eredmény)	- 50 -
9. ábra: Budakalász mikro szintű elemzési térképe a bejelölt gyűjtőpontokkal (piros pontok) (forrás: Saját kutatási eredmény)	- 52 -
10. ábra: Változatelemzés alapját biztosító változatképző szempontok (forrás: saját kutatási eredmény).....	- 53 -

Táblajegyzék

1. táblázat: Mobilitási mintázatokat elemző módszerek összehasonlítása (forrás: saját kutatási eredmény).....	- 8 -
2. táblázat: A mobilitási szolgáltatás előnyei és hátrányai (Forrás: Saját kutatási eredmény).....	- 19 -
3. táblázat: Közlekedési módok összehasonlítása (forrás: saját kutatási eredmény)	- 21 -
4. táblázat: A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a mikro jármű mozgása a gyűjtőpontra (Forrás: saját kutatási eredmény)	- 26 -
5. táblázat: A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a gyűjtőponton belüli funkciók (Forrás: saját kutatási eredmény).....	- 27 -
6. táblázat: A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: a tréler két gyűjtőpont közötti mozgási fázisa (Forrás: saját kutatási eredmény)	- 29 -
7. táblázat: A kialakított mobilitási szolgáltatás funkcionális modellje: az elosztóponton belüli funkciók (Forrás: saját kutatási eredmény)	- 30 -
8. táblázat: Gyűjtőpontok darabszáma vonzásérték kategóriák és a motorizációs fok függvényében (forrás: saját kutatási eredmény)	- 35 -
9. táblázat: Változók értéke és a számított kapcsolati intenzitás városok között (kivonat)	- 49 -
10. táblázat: Változók értéke és a kapcsolati intenzitás a körzetek között (forrás: saját kutatási eredmény).....	- 50 -
11. táblázat: Körzetek összesített kapcsolati intenzitása és a szükséges gyűjtőpont száma (forrás: saját kutatási eredmény)	- 51 -
12. táblázat: A változatelemzés felépítése (forrás: saját kutatási eredmény).....	- 54 -
13. táblázat: A különböző járműtípusok CO ₂ kibocsátásai (forrás: saját kutatási eredmény)	- 56 -
14. táblázat: A különböző járműtípusokhoz értelmezhető üzemanyag-fogyasztás értékek 100 km-en. (forrás: saját kutatási eredmény)	- 57 -
15. táblázat: A városok közötti napi ingázói forgalom (a járművek darabszáma alapján) (forrás: KTI adatai alapján).....	- 58 -
16. táblázat: Változatok főbb eredményei (forrás: saját kutatási eredmény).....	- 62 -

Felhasznált irodalom

Tudományos cikkek

- [1]: Lee Changyeon: Metropolitan sprawl measurement and its impacts on commuting trips and road emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020/82/102329 <http://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102329>
- [2]: Fenner Andriel Evandro - Charles Joseph Kibert – Li Jiaxuan – Razkenari Mohamad Ahmadzade – Hakim Hamed: Embodied, operation, and commuting emissions: A case study comparing the carbon hotspots of an educational building. *Journal of Cleaner Production*, 2020/268/122081 <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122081>
- [3]: Wei Peng - Pan Haixiao: Research on individual carbon dioxide emissions of commuting in peri-urban area of metropolitan cities —an empirical study in Shanghai. *Transportation Research Procedia*, 2017/25/ 3459-3478 <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.253>
- [4]: Wu Wenjie - Wang Mark (Xin) - Zhang Fangni: Commuting behavior and congestion satisfaction: Evidence from Beijing, China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019/67/ 553-564 <http://doi.org/10.1016/j.trd.2018.12.023>
- [5]: Yang Hai - Liu Wei – Wang Xiaolei – Zhang Xiaoning: On the morning commute problem with bottleneck congestion and parking space constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2013/58/106-118 <http://doi.org/10.1016/j.trb.2013.10.003>
- [6]: Jun Myung-Jin: Quantifying welfare loss due to longer commute times in Seoul: A two-stage hedonic price approach. In *Cities*, 2019/84/75-82 <http://doi.org/10.1016/j.cities.2018.07.007>
- [7]: Coppola Pierluigi – Silvestri Fulvio: *Autonomous Vehicles and Future Mobility*, Elsevier, 2019 – 1-15, ISBN 978-0-12-817696-2 <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-817696-2.00001-9>
- Konferencia, pp. 1-12, ISBN: 978-615-5837-86-9, URL: <http://real.mtak.hu/126519/>
- [8]: Luke Butler - Tan Yigitcanlar - Alexander Paz: Barriers and risks of Mobility-as-a-Service (MaaS) adoption in cities: A systematic review of the literature. In *Cities*. 2021/109/103036, <http://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103036>
- [9]: Łukasz Owczarzak - Jacek Żak: Design of passenger public transportation solutions based on autonomous vehicles and their multiple criteria comparison with traditional forms of passenger transportation. *Transportation Research Procedia*, 2015/10/472-482, <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.001>
- [10]: Stern Raphael E. és társai (2019): Quantifying air quality benefits resulting from few autonomous vehicles stabilizing traffic, vol. 67, pp. 351-365, DOI: 10.1016/j.trd.2018.12.008
- [11]: Fagnant, D. J. & Kockelman, K., 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, pp. 167-181
- [12]: Zhong, H., Li, W., Burris, M. W., Talebpour, A., & Sinha, K. C. (2020). Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102303., DOI: 10.1016/j.trd.2020.102303
- [13]: Oliver Oliver, Tobias Brandt, Dirk Neumann (2020): Combining analytics and simulation methods to assess the impact of shared, autonomous electric vehicles on sustainable urban mobility, pp. 103285, DOI: 10.1016/j.im.2020.103285
- [14]: Vosooghi Reza – Puchinger Jakob – Bischoff Joschka – Jankovic Marija – Vouillon Anthony: Shared autonomous electric vehicle service performance: Assessing the impact of charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020/81/102283, <http://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102283>

- [15]: Wai Chew Kuew – Rong Yong Yew – Morris Stella: Simulation of a distance estimator for battery electric vehicle, Alexandria Engineering Journal, 2015/54/359-371, <http://doi.org/10.1016/j.aej.2015.04.008>
- [16]: Shatnawi Nawras - Al-Omari Aslam A. - Al-Qudah Haya: Optimization of Bus Stops Locations Using GIS Techniques and Artificial Intelligence. Procedia Manufacturing, 2020/44/52-59., <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.204>
- [17]: Mandl Christoph E.: Evaluation and optimization of urban public transportation networks, European Journal of Operational Research, 1980/5/396-404, [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90126-5](http://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90126-5)
- [18]: Lei Zengxiang – Qian Xinwu – Ukkusuri Satish V.: Efficient proactive vehicle relocation for on-demand mobility service with recurrent neural networks, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2020/117/102678, <http://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102678>
- [19]: Kaltenbrunner Andreas – Meza Rodrigo – Grivolla Jens – Codina Joan – Banchs Rafael: Urban cycles and mobility patterns: Exploring and predicting trends in a bicycle-based public transport system, Pervasive and Mobile Computing, 2010/6/455-466, <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2010.07.002>
- [20]: García-Palomares Juan Carlos – Gutiérrez Javier – Latorre Marta: Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach, Applied Geography, 2012/35/235-246, <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.07.002>
- [21]: Akabane Ademar T. – Gomes Rafael L. – Pazzi Richard W. – Madeira Edmundo R. M. – Villas Leandro A.: APOLO: A Mobility Pattern Analysis Approach to Improve Urban Mobility, GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference, 2017/1-6 <http://doi.org/10.1109/GLOCOM.2017.8253942>
- [22]: C. A. Thompson. – Saxberg K. – Lega J. – Tong D. – Brown H. E.: A cumulative gravity model for inter-urban spatial interaction at different scales. Journal of Transport Geography, 2019/79/102461 <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102461>
- [23]: John Q. Stewart.: Demographic Gravitation: Evidence and Applications. In. Sociometry. 1948/11/31-58. <http://doi.org/10.2307/2785468>
- [24]: O. Z. Tamin - L. G. Willumsen.: Transport demand model estimation from traffic counts. Transportation, 1989/16/3-26 <http://doi.org/10.1007/BF00223044>
- [25]: A. G. Wilson.: A Family of Spatial Interaction Models, and Associated Developments. Environment and Planning A: Economy and Space, 1971/3/1-32. <http://doi.org/10.1068/a030001>
- [26]: Steven Yamarik. - Sucharita Ghosh. (2005) A Sensitivity Analysis of the Gravity Model. The International Trade Journal 19 pp. 83-126 DOI: <http://doi.org/10.1080/08853900590905784>
- [27]: Hong Inho - Jung Woo-Sung : Application of gravity model on the Korean urban bus network. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2016/462/48-55 <http://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.055>
- [28]: Reul Julian – Grube Thomas – Stolten Detlef: Urban transportation at an inflection point: An analysis of potential influencing factors. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2021/92/102733 <http://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102733>
- [29]: S. Nagy - Cs. Csiszár.: Analysis of Ride-sharing based on Newton's gravity model, 2020 Smart City Symposium Prague (SCSP), 2020/1-6. <http://doi.org/10.1109/SCSP49987.2020.9133971>
- [30]: Mayo Francis L. - Taboada Evelyn B.: Ranking factors affecting public transport mode choice of commuters in an urban city of a developing country using analytic hierarchy process: The case of Metro Cebu, Philippines. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2020/4/100078, <http://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100078>
- [31]: Anna Urbanek: Potential of modal shift from private cars to public transport: A survey on the commuters' attitudes and willingness to switch – A case study of Silesia Province, Poland. Research in Transportation Economics, 2020/101008 <http://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.101008>

- [32]: Pranav Shah – Varghese Varun – Jana Arnab – Mathew Tom: Analysing the ride sharing behaviour in ICT based cab services: A case of Mumbai, India. *Transportation Research Procedia*, 2020/48/233-246, <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.018>
- [33]: Yan Pengyu – Lee Chung-Yee – Chu Chengbin – Chen Cynthia – Luo Zhiqin: Matching and pricing in ride-sharing: Optimality, stability, and financial sustainability. *Omega*, 2021/102351, <http://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102351>
- [34]: Alejandro Tirachini – Chaniotakis Emmanouil – Abouelela Mohamed – Antoniou Constantinos: The sustainability of shared mobility: Can a platform for shared rides reduce motorized traffic in cities?. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2020/117/102707. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102707>
- [35]: Jiangping Zhou.: Ride-sharing service planning based on smartcard data: An exploratory study. *Transport Policy*, 2019/79/1-10, <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.04.009>
- [36]: Amatuni Levon – Ottelin Juudit, Steubing Bernhard, Mogollón José M. :Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2020/266/121869 <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121869>
- [37]: Caulfield Brian: Estimating the environmental benefits of ride-sharing: A case study of Dublin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2009/14/527-531 <http://doi.org/10.1016/j.trd.2009.07.008>
- [38]: Hyland Michael, Mahmassani Hani S.: Operational benefits and challenges of shared-ride automated mobility-on-demand services. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020/134/251-270, <http://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.017>
- [39]: Zhao Yan – Guo Xiaolei – Liu Henry X.: The impact of autonomous vehicles on commute ride-sharing with uncertain work end time. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2021/143/221-248, <http://doi.org/10.1016/j.trb.2020.11.002>
- [40]: Sohrabi, S., Khreis, H., & Lord, D. (2020). Impacts of autonomous vehicles on public health: a conceptual model and policy recommendations. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102457., DOI: 10.1016/j.scs.2020.102457
- [41]: Fagnant Daniel J., Kockelman Kara (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations in *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 77., pp. 167-181, DOI: 10.1016/j.tra.2015.04.003
- [42]: Stogios Christos, Kasraian Dena et al. (2019): Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions in *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 76., pp. 176-192, DOI: 10.1016/j.trd.2019.09.020
- [43]: Munkácsy András, Strommer Tamás, Lieszkovszky József (2020): Utazás közbeni tevékenységek leltára
- [44]: Spence, J. C., Kim, Y. B., Lamboglia, C. G., Lindeman, C., Mangan, A. J., McCurdy, A. P., ... & Clark, M. I. (2020). Potential impact of autonomous vehicles on movement behavior: a scoping review. *American journal of preventive medicine*, 58(6), e191-e199., DOI: 10.1016/j.amepre.2020.01.010
- [45]: Maciejewski, M., & Bischoff, J. (2018). Congestion effects of autonomous taxi fleets. *Transport*, 33(4), 971-980., DOI: 10.3846/16484142.2017.1347827
- [46]: Nadafianshahamabadi Razieh, Tayarani Mohammad, Rowangould Gregory (2021): A closer look at urban development under the emergence of autonomous vehicles: Traffic, land use and air quality impacts in *Journal of Transport Geography*, vol. 94, pp. 103113, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103113
- [47]: Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., & Oluwatola, O. A. (2014). *Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers*. Rand Corporation., ISBN: 978-0-8330-8437-8

- [48]: Nagalur Subraveti Hari Hara Sharan, Srivastava Anupam et al. (2021): On lane assignment of connected automated vehicles: strategies to improve traffic flow at diverge and weave bottlenecks in *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 127., pp. 103126, DOI: 10.1016/j.trc.2021.103126
- [49]: Patella S. M., Scrucca F. et al. (2019): Carbon Footprint of autonomous vehicles at the urban mobility system level: A traffic simulation-based approach, vol. 74., pp. 189-200, DOI: 10.1016/j.trd.2019.08.007
- [50]: Makridis Michail et al. (2020): The impact of automation and connectivity on traffic flow and CO2 emissions. A detailed microsimulation study in *Atmospheric Environment*, vol. 226, pp. 117399, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.117399
- [51]: Rodier, C. J. (2018). Travel effects and associated greenhouse gas emissions of automated vehicles. In National Center for Sustainable Transportation, URL: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35517>
- [52]: Fagnant, D., Kockelman, K., & Bansal, P. (2015). Operations of a shared autonomous vehicle fleet for the Austin. *Texas market*, 17.,
- [53]: Alexander-Kearns, M., Peterson, M., & Cassady, A. (2016). The impact of vehicle automation on carbon emissions. *Center for American Progress*. Available online: <https://www.americanprogress.org/issues/green/reports/2016/11/18/292588/theimpact-ofvehicle-automation-on-carbon-emissions-where-uncertainty-lies> (accessed on 11 November 2020).
- [54]: Levinson, D. (2015). Climbing mount next: the effects of autonomous vehicles on society. *Minn. J. Sci. & Tech.*, 16, 787.
- [55]: Claudel, M., & Ratti, C. (2015). Full speed ahead: How the driverless car could transform cities. *McKinsey & Company*, August, 14.
- [56]: Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167-181., DOI: 10.1016/j.tra.2015.04.003
- [57]: Cox, C., & Hart, A. (2016). How autonomous vehicles could relieve or worsen traffic congestion.
- [58]: Oh, S., Lentzakis, A. F., Seshadri, R., & Ben-Akiva, M. (2021). Impacts of Automated Mobility-on-Demand on traffic dynamics, energy and emissions: A case study of Singapore. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 110, 102327., DOI: 10.1016/j.simpat.2021.102327
- [59]: Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., & Zhang, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. *Sustainable Cities and Society*, 19, 34-45., DOI: 10.1016/j.scs.2015.07.006
- [60]: Okeke, O. B. (2020). The impacts of shared autonomous vehicles on car parking space. *Case Studies on Transport Policy*, 8(4), 1307-1318., DOI: 10.1016/j.cstp.2020.09.002
- [61]: Bridgelall, R., & Stubbing, E. (2021). Forecasting the effects of autonomous vehicles on land use. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120444. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120444
- [62]: Zhao, Y., Guo, X., & Liu, H. X. (2021). The impact of autonomous vehicles on commute ridesharing with uncertain work end time. *Transportation Research Part B: Methodological*, 143, 221-248., DOI: 10.1016/j.trb.2020.11.002
- [64]: Zhao Jianyu és társai (2021): The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control, vol. 86, pp. 106506, DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106506
- [65]: Ma Ye, Ke, Ruo-Yu és társai (2017): The analysis of the battery electric vehicle's potentiality of environmental effect: A case study of Beijing from 2016 to 2020, vol. 145, pp. 395-406, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.131

- [66]: Fridstrøm Lasse (2020): Who will bell the cat? On the environmental and sustainability risks of electric vehicles: A comment, vol. 135, pp. 354-357, DOI: 10.1016/j.tra.2020.03.017
- [67]: Choi Hyunhong és társai (2018): Effect of electricity generation mix on battery electric vehicle adoption and its environmental impact, vol. 121, pp. 13-24, DOI: 10.1016/j.enpol.2018.06.013
- [68]: Yan Shiyu és társai (2018): The economic and environmental impacts of tax incentives for battery electric vehicles in Europe, vol. 123, pp. 53-63, DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.032
- [69]: Lin Boqiang, Tan Ruipeng (2017): Estimation of the environmental values of electric vehicles in Chinese cities, vol. 104, pp. 221-229, DOI: 10.1016/j.enpol.2017.01.037
- [70]: Berry, I. M. (2010). *The effects of driving style and vehicle performance on the real-world fuel consumption of US light-duty vehicles* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). URL: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/58392>
- [71]: Eugensson, A., Brännström, M., Frasher, D., Rothoff, M., Solyom, S., & Robertsson, A. (2013, May). Environmental, safety legal and societal implications of autonomous driving systems. In *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. Seoul, South Korea (Vol. 334).
- [72]: Liu, J., Kockelman, K., & Nichols, A. (2017). Anticipating the emissions impacts of smoother driving by connected and autonomous vehicles, using the MOVES model. In *transportation research board 96th annual meeting*.
- [73]: Fagnant Daniel J., Kockelman Kara (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, vol. 77, pp. 167-181, DOI: 10.1016/j.tra.2015.04.003
- [74]: Le Hong, Z., & Zimmerman, N. (2021). Air quality and greenhouse gas implications of autonomous vehicles in Vancouver, Canada. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102676., DOI: 10.1016/j.trd.2020.102676
- [75]: Rafael, S., Correia, L. P., Lopes, D., Bandeira, J., Coelho, M. C., Andrade, M., ... & Miranda, A. I. (2020). Autonomous vehicles opportunities for cities air quality. *Science of the Total Environment*, 712, 136546., DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136546
- [76]: Stern, R. E., Chen, Y., Churchill, M., Wu, F., Delle Monache, M. L., Piccoli, B., ... & Work, D. B. (2019). Quantifying air quality benefits resulting from few autonomous vehicles stabilizing traffic. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 67, 351-365., DOI: 10.1016/j.trd.2018.12.008
- [77]: Stogios, C., Kasraian, D., Roorda, M. J., & Hatzopoulou, M. (2019). Simulating impacts of automated driving behavior and traffic conditions on vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 176-192., DOI: 10.1016/j.trd.2019.09.020
- [78]: Tomás Ricardo F. és társai (2020): Assessing the emission impacts of autonomous vehicles on metropolitan freeways, vol. 47., pp. 617-624, DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.139
- [79]: Rafael Sandra és társai (2020): Autonomous vehicles opportunities for cities air quality, vol. 712, pp. 136546, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136546
- [80]: Ahmadi Pouria (2019): Environmental impacts and behavioral drivers of deep decarbonization for transportation through electric vehicles, vol. 225, pp. 1209-1219, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.334
- [81]: Phuleria, H. C., Fine, P. M., Zhu, Y., & Sioutas, C. (2005). Air quality impacts of the October 2003 Southern California wildfires. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D7), DOI: 10.1029/2004JD004626
- [83]: Yang, S., Du, M., & Chen, Q. (2021). Impact of connected and autonomous vehicles on traffic efficiency and safety of an on-ramp. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 113, 102374., DOI: 10.1016/j.simpat.2021.102374

- [84]: Ye, L., & Yamamoto, T. (2019). Evaluating the impact of connected and autonomous vehicles on traffic safety. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 526, 121009., DOI: 10.1016/j.physa.2019.04.245
- [85]: Papadoulis, A., Quddus, M., & Imprialou, M. (2019). Evaluating the safety impact of connected and autonomous vehicles on motorways. *Accident Analysis & Prevention*, 124, 12-22., DOI: 10.1016/j.aap.2018.12.019
- [86]: Soheil Sohrabi (2021): 'Health Impacts of Connected and Autonomous Vehicles', in International Encyclopedia of Transportation, pp. 364-371, DOI: 10.1016/b978-0-08-102671-7.10752-3
- [87]: Sohrabi, S., Dadashova, B., Khreis, H., Sener, I. N., & Zmud, J. (2021). Quantifying the health and health equity impacts of autonomous vehicles: a conceptual framework and literature review. *Journal of Transport & Health*, 22, 101120., DOI: 10.1016/j.jth.2021.101120
- [88]: Pan, S., Fulton, L. M., Roy, A., Jung, J., Choi, Y., & Gao, H. O. (2021). Shared use of electric autonomous vehicles: Air quality and health impacts of future mobility in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111380., DOI: 10.1016/j.rser.2021.111380
- [89]: Narayanan, S., Chaniotakis, E., & Antoniou, C. (2020). Factors affecting traffic flow efficiency implications of connected and autonomous vehicles: A review and policy recommendations. *Advances in Transport Policy and Planning*, 5, 1-50., DOI: 10.1016/bs.atpp.2020.02.004
- [90]: Gábor Nagy: A gravitációs modell alkalmazási lehetőségei a településen belüli mozgások tanulmányozására. *Tér és Társadalom*, 1996/10/149-156, <http://doi.org/10.17649/TET.10.2-3.374>
- [99]: Kulcsár, M., Földes, D., & Nagy, S. (2021, May). Determining the number of collection points for autonomous vehicle-based service using gravity model. In *2021 Smart City Symposium Prague (SCSP)* (pp. 1-6). IEEE., ISBN: 978-1-6654-3033-3, DOI: 10.1109/SCSP52043.2021.9447388
- [100]: Kulcsár, M., Földes, D., & Nagy, S. (2021). Gyűjtőpontok számának meghatározása gravitációs modell alkalmazásával autonóm járműves mobilitási szolgáltatáshoz., XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi

Webes hivatkozások

- [63]: A közlekedés környezeti hatásai, URL: <https://doksi.net/hu/get.php?order=DisplayPreview&lid=4470>
- [82]: HIVER'T-KLOKNER ZSUZSANNA (2016): Növelhetik a forgalmat a vezető nélküli autók. URL: <https://www.origo.hu/kornyezet/20160330-vezeto-nelkuli-auto-kornyezetvedelem-zold-autok-kozlekedes.html>
- [91]: Üzemanyag-fogyasztás és CO₂-kibocsátás | Műszaki adatok | Műszaki adatok | S60 2020 | Volvo támogatás; URL: <https://www.volvocars.com/hu/support/manuals/s60/2019w17/muszaki-adatok/muszaki-adatok/uzemanyag-fogyasztas-es-co2-kibocsatas?fbclid=IwAR0RFu31znLq4sM03F7z5a6SnsamfP8z9QByDENuVrFXwIsx3K0aT8Sr9oM>
- [92]: Aranyi Péter (2018): El sem hiszed mennyit fogyaszt ez a teherautó. URL: https://www.vezess.hu/haszongepjarmu/2018/03/30/el-sem-hiszed-mennyit-fogyaszt-ez-a-teherauto/?fbclid=IwAR00DRKetrWg7yqSrfxSysegAy5np6wMn5C5TV4-B0VecBh2kU2Bs_grZjo
- [93]: A kibocsátások számítása. URL: https://www.co2nnect.org/help_sheets/?op_id=602&%3Bopt_id=98&fbclid=IwAR3T0vfx4D6jlxZEpyYA9xmOP2Xljss3bOgT_nElVGI3pF0CjGcNE8AUp_5U
- [94]: Elektromos Autó Fogyasztása. URL: <http://autoberlesbudapest.net/elektromos-autok/elektromos-auto-fogyasztasa>
- [95]: Antalóczy Tibor (2021): Volvo lett az első sorozatgyártású elektromos teherautó Magyarországon. Villanyautósok, URL: <https://villanyautosok.hu/2021/09/20/volvo-lett-az-első-sorozatgyartasu-elektromos-teherautot-magyarorszagon/>
- [96]: Érkeznek az elektromos robogók: Ez vár rád, ha e-robogóra váltasz - ID. magazin - ID. Hub - E-mobilitás és ID. Hub; Volkswagen Magyarország. URL: <https://www.volkswagen.hu/e-mobilitas-es-id-hub/id-hub/id-magazin/erkeznek-az-elektromos-robogok-ez-var-rad-ha-e-robogora-valt>
- [97]: Elektromos autó töltés ára | EautóTöltőkábel.hu; URL: <https://www.eautotoltokabel.hu/elektromos-auto-informaciok/elektromos-auto-toltes-ara/?fbclid=IwAR0qdcRoxHUIUfn1Lf8FYxA-B-Js32xMYJLpPuGgz0Ci6H94zOW9vp06Fyk>
- [98]: Aktuális üzemanyag árak; URL: <https://fuvinfoiroda.hu/szolgalatasaink/aktualis-uzemanyag-arak>

Függelék

1. Függelék: Nomenklatúra

i, j	város index
x, y	körzet index
$A_{xy}; A_{ij}$	kapcsolati intenzitás
$m_i; m_j$	foglalkoztatottak, diákok, lakosság száma (tömeg)
$n_i; n_j$	körzetek lakosság száma [fő]
$r_{ij}; r_{xy}$	távolság [km]
$\tau_{ij}; \tau_{xy}$	időszorzó
γ_{ij}	közösségi közlekedési erősség
α_{xy}	nagykapacitású közösségi közlekedési erősség
β_{xy}	kiskapacitású közösségi közlekedési erősség
μ	elérhetőség
$E_{ij}; E_{xy}$	kereslet mértéke
$G'; G''$	gravitációs állandó
H	motorizációs fok [jármű/1000 lakos]
φ	gyűjtőpontok csúcsórai kapacitása [kiszolgált mikrojármű/óra]
b	az egyéni gépjárműhasználók váltási hajlandósága [%]
V_j	a j. város lakosság száma [lakos/1000]
κ	S mátrix oszlopai
λ	S mátrix sorai
S_j	j. városra szükséges gyűjtőpont darabszám
c	körzetek száma
σ_x	az x. körzetre szükséges gyűjtőpont darabszám
ϑ	megtett járműkilométer változás
g	az autonóm mobilitási szolgáltatással való ingázás során megtett járműkilométer
h	a hagyományos járművekkel megtett járműkilométer az ingázás során
ψ	ingázási időtartam változás flotta szinten
w	a mobilitási szolgáltatás által lebonyolított egyszeri ingázási folyamat időtartama a flottára nézve
e	a hagyományos járművel lebonyolított egyszeri ingázási folyamat időtartama
ϕ	a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO ₂ kibocsátás csökkenése
s	mobilitási szolgáltatással való ingázásból eredeztethető CO ₂ kibocsátás mértéke
d	a hagyományos járműves ingázás CO ₂ kibocsátás mértéke
ε	az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados
p	mobilitási szolgáltatás általi ingázás költségértéke
o	a hagyományos ingázás költségértéke
ξ	a mobilitási szolgáltatás felhasználását kifejező típusmutató
q	ingázási forgalom nagysága két város között
F_f	flotta nagysága
F_{mikro}	a flottában lévő mikro járművek száma
$F_{tréler}$	a flottában lévő trélerek száma
$F_{hagy.jmü}$	a flottában lévő személygépjárművek száma
b	váltási hajlandóság

η	a tréler átlagos telítettsége
k	a tréler kapacitása
f	a tréler átlagos foglaltsága
a	mikro járművek által megtett maximális távolság
$l_{tréler}$	a tréler ráhordási távolsága a közösségi közlekedésre
z	mobilitási szolgáltatás felhasználása
T	a délelőtti (jele: $Cs_{d.e.}$) és délutáni (jele: $Cs_{d.u.}$) csúcs idejű két város közötti utazás megtett utazási idejének átlag értéke
T_f	flotta szinten értelmezett ingázási időtartam
$Cs_{d.e.}$	két város közötti helyváltoztatási időtartam délelőtti csúcsidőben
$Cs_{d.u.}$	két város közötti helyváltoztatási időtartam délutáni csúcsidőben
v_{mikro}	mikro járművek átlagos sebessége
t_{ij}	mikro járművek eljutási ideje a kezdőhelytől a gyűjtőpontig
t_{ji}	mikro járművek eljutási ideje az elosztóponttól a rendeltetési helyig
t_{mikro}	mikro járműves összesített helyváltoztatással járó idő
$\dot{U}_{nt}$	hagyományos hajtású nagy tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\dot{U}_{kt}$	hagyományos hajtású közepes tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\dot{U}_{szj}$	hagyományos hajtású személygépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\dot{U}_m$	hagyományos hajtású motorkerékpár üzemanyag-fogyasztása
$\dot{U}_{ej}$	elektromos személygépjármű energiafogyasztása
$\dot{U}_{em}$	elektromos motorkerékpár energiafogyasztása
$\dot{U}_{et}$	elektromos közepes tehergépjármű energiafogyasztása
K_{kt}	hagyományos hajtású közepes tehergépjármű CO ₂ kibocsátásának mértéke
K_{szj}	hagyományos hajtású személygépjármű CO ₂ kibocsátásának mértéke
K_m	hagyományos hajtású motorkerékpár CO ₂ kibocsátásának mértéke
K_{ej}	elektromos személygépjármű CO ₂ kibocsátásának mértéke
K_{em}	elektromos motorkerékpár CO ₂ kibocsátásának mértéke
K_{et}	elektromos közepes tehergépjármű CO ₂ kibocsátásának mértéke
$K_{\dot{a}}$	energiatermeléssel járó CO ₂ kibocsátás mértéke
l	két város között megtett ingázói távolság
$\$$	az üzemanyag/energia 1 literre/1 Kwh-ra értelmezett költsége
t_{plusz}	ingázással kapcsolatos feltételezett plusz időtartam

2. Függelék: Változatelemzések

Pesszimista változat

A pesszimista változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 10 % ($b = 0,1$). Budapest és Budakalász között az ingázó járműdarabszám 824 db jármű ($q = 824$ db). A Google Maps szerint Budapest és Budakalász között ez az általános távolság 15,7 km ($l = 15,7$ km). Egyszerűsítésképp nem veszem figyelembe, hogy Budakalász és Budapest között pontosan Budakalászon belül hol száll és Budapesten belül hol száll le a trélerrel fel a mikro jármű; átlag értékkel számolok. A szükséges mikro járművek száma (64):

$$b \cdot q = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 0,1 \cdot 824 = 82,4 \cong 83 \text{ db} \quad (64)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 83 db mikro jármű üzemel, amely 83 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (65).

$$F_{mikr\acute{o}} = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 83 \text{ db} \quad (65)$$

Ezt a 83 db mikro járművet szükséges elszállítania a trélereknek. Az 1. változatban a trélerek átlagos telítettsége 60% ($\gamma = 0,6$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5$ db), ennek megfelelően egy trélerek átlagos telítettsége (66):

$$\eta = \frac{f}{k} \rightarrow f = \eta \cdot k = 0,6 \cdot 5 = 3 \text{ db jármű} \quad (66)$$

Ennek megfelelően 3 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (67):

$$F_{tr\acute{e}ler} = \frac{F_{mikr\acute{o}}}{f} = \frac{83 \text{ db}}{3 \text{ db}} = 27,66 \text{ db} \cong 28 \text{ db tréler szükséges} \quad (67)$$

Megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (68):

$$\vartheta = \frac{g}{h} = \frac{12156,3 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,94 \quad (68)$$

Ahol:

- $g = g_{mikr\acute{o}} + g_{tr\acute{e}ler} + g_{hagy.jm\ddot{u}}$
- $h = h_{hagy.jm\ddot{u}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$\begin{aligned} g_{mikr\acute{o}} &= 83 \text{ dbjármű} \cdot 1 \text{ km} = 83 \text{ járműkilométer} \\ g_{tr\acute{e}ler} &= 28 \text{ dbjármű} \cdot 15,7 \text{ km} = 439,6 \text{ járműkilométer} \\ g_{hagy.jm\ddot{u}} &= 741 \text{ dbjármű} \cdot 15,7 \text{ km} = 11633,7 \text{ járműkilométer} \\ g &= 83 + 439,6 + 11633,7 = \text{járműkilométer} \\ h_{hagy.jm\ddot{u}} &= 824 \text{ dbjármű} \cdot 15,7 \text{ km} = 12\,937 \text{ járműkilométer} \end{aligned}$$

Ingázási időtartam változás flotta szinten:

$$\frac{70 \text{ perc} + 55 \text{ perc}}{2} = 62,5 \text{ perc}$$

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{56982 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,106$$

Ahol:

- $w = (w_{\text{mikró}} + w_{\text{hagy.jmű}}) + e \cdot 0,1$
- $e = e_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$w_{\text{mikró}} = 83 \text{ dbjármű} \cdot (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 5519,5 \text{ járműperc}$$

$$w_{\text{hagy.jmű}} = 741 \text{ dbjármű} \cdot 62,5 \text{ perc} = 46312,5 \text{ járműperc}$$

$$e = 824 \text{ dbjármű} \cdot 62,5 \text{ perc} = 51500 \text{ járműperc}$$

$$w = (5519,5 \text{ járműperc} + 46312,5 \text{ járműperc}) + 51500 \text{ járműperc} \cdot 0,1 = 56982 \text{ járműperc}$$

Az elektromos járművek aránya a mobilitási szolgáltatásra nézve 50 %, ami azt jelenti, hogy a 83 db mikro járműből 17 db és a 28 db trélerből pedig 14 db elektromos hajtású.

Így a flotta összetétele a következő:

- 66 db hagyományos hajtású mikro jármű (jelen esetben benzines),
- 17 db elektromos hajtású mikro jármű,
- 14 db hagyományos hajtású tréler (jelen esetben dízel-es),
- 14 db elektromos hajtású tréler,
- 741 db hagyományos hajtású személygépjármű.

CO₂ kibocsátás csökkenése (69):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{2224004,6 \frac{g}{\text{flotta}}}{2309218,8 \frac{g}{\text{flotta}}} = 0,963 \quad (69)$$

Ahol:

- $s = s_{\text{mikró}} + s_{\text{tréler}} + s_{\text{hagy.jmű}}$
- $d = d_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $s_{\text{mikró}} = s_{\text{elekt. mikró}} + s_{\text{hagy. mikró}}$
- $s_{\text{tréler}} = s_{\text{elekt. tréler}} + s_{\text{hagy. tréler}}$

Amelyekből:

$$s_{\text{mikró}} = 17 \text{ dbjármű} \times 31,85 \frac{g}{\text{km}} \times 1 \text{ km} + 66 \text{ dbjármű} \times 94 \frac{g}{\text{km}} \times 1 \text{ km}$$

$$= 6204 \frac{g}{\text{flotta}} + 541,45 \frac{g}{\text{flotta}} = 6745,45 \frac{g}{\text{flotta}}$$

$$\begin{aligned}
s_{tréler} &= 14 \text{ dbjármű} \times 357 \frac{g}{km} \times 15,7 \text{ km} + 14 \text{ dbjármű} \times 296,52 \frac{g}{km} \times 15,7 \text{ km} \\
&= 78468,6 \frac{g}{flotta} + 65175,096 \frac{g}{flotta} = 140643,696 \frac{g}{flotta} \\
s_{hagy.jmű} &= 741 \text{ dbjármű} \times 178,5 \frac{g}{km} \times 15,7 \text{ km} = 2076615,45 \frac{g}{flotta} \\
s &= 6745,45 \frac{g}{flotta} + 140643,696 \frac{g}{flotta} + 2076615,45 \frac{g}{flotta} = 2224004,6 \frac{g}{flotta} \\
d_{hagy.jmű} &= 824 \text{ dbjármű} \times 178,5 \frac{g}{km} \times 15,7 \text{ km} = 2309218,8 \frac{g}{flotta}
\end{aligned}$$

A dízel (492 forint) és a benzin (513 forint) árak átlaga $\frac{492+513}{2} = 503$ forint. A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása a következő (70):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{485403,552 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}}{512442,8 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}} = 0,947 \quad (70)$$

Ahol:

- $p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jmű}$
- $o = o_{hagy.jmű}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $p_{mikró} = p_{elekt. mikró} + p_{hagy. mikró}$
- $p_{tréler} = p_{elekt. tréler} + p_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

$$\begin{aligned}
p_{mikró} &= \frac{17 \text{ dbjármű} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{kWh}}{100} \\
&+ \frac{66 \text{ dbjármű} \times 2,5 \frac{\text{liter}}{100km} \times 1 \text{ km} \times 513 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 61,88 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 846,45 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
&= 908,33 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
p_{tréler} &= \frac{14 \text{ dbjármű} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{kWh}}{100} \\
&+ \frac{14 \text{ dbjármű} \times 15 \frac{\text{liter}}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 492 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} \\
&= 7448,5824 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 16221,24 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 23669,8224 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
p_{hagy.jmű} &= \frac{741 \text{ dbjármű} \times 7,875 \frac{\text{liter}}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 503 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 460825,4 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
p &= 908,33 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 23669,8224 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 460825,4 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 485403,552 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}
\end{aligned}$$

$$o = \frac{824 \text{ dbjármű} \times 7,875 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 503 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 512442,8 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

Mivel ebben a változatban a felhasználó a mobilitási szolgáltatást csak A típus szerint használja, így $\xi = 0$.

Ezek alapján a mobilitási szolgáltatás jósági foka (71):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,94) + (1 - 1,106) + (1 - 0,963) + (1 - 0,947)) + 0}{4} = 0,01275 \quad (71)$$

Bizakodó változat

A III. változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 50 % ($b = 0,5$) (72).

$$b \times q = F_{hagy.jmű} = 0,5 \times 824 = 412 \text{ db} \quad (72)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 412 db mikro jármű üzemel, amely 412 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (73).

$$F_{mikró} = F_{hagy.jmű} = 412 \text{ db} \quad (73)$$

A 412 db mikro járművet el szükséges szállítania a trélereknek. A III. változatban a trélerek átlagos telítettsége 80% ($\gamma = 0,8$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5 \text{ db}$), ennek megfelelően egy tréler átlagos telítettsége (74):

$$\eta = \frac{f}{k} \rightarrow f = \eta \times k = 0,8 \times 5 = 4 \text{ db jármű} \quad (74)$$

Ennek megfelelően 4 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (75):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} = \frac{412 \text{ db}}{4 \text{ db}} = 103 \text{ db tréler szükséges} \quad (75)$$

Az első szükséges változó a megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (76):

$$\vartheta = \frac{g}{h} = \frac{7189,4 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,5557 \quad (76)$$

Ahol:

- $g = g_{mikró} + g_{tréler} + g_{hagy.jmű}$
- $h = h_{hagy.jmű}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$g_{mikró} = 412 \text{ dbjármű} \times 1 \text{ km} = 412 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{tréler} = 103 \text{ dbjármű} \times 3 \text{ km} = 309 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{hagy.jmű} = 412 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 6468,4 \text{ járműkilométer}$$

$$g = 412 + 309 + 6468,4 = 7189,4 \text{ járműkilométer}$$

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (77):

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{60873 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,182 \quad (77)$$

Ahol:

- $w = (w_{\text{mikró}} + w_{\text{hagy.jmű}}) + e \times 0,15$
- $e = e_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$w_{\text{mikró}} = 412 \text{ dbjármű} \times (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 27398 \text{ járműperc}$$

$$w_{\text{hagy.jmű}} = 618 \text{ dbjármű} \times 62,5 \text{ perc} = 25750 \text{ járműperc}$$

$$w = (27398 \text{ járműperc} + 25750 \text{ járműperc}) + 51500 \text{ járműperc} \times 0,15 = 60873 \text{ járműperc}$$

Az elektromos járművek aránya a mobilitási szolgáltatásra nézve 100 %.

Így a flotta összetétele a következő:

- 412 db elektromos hajtású mikro jármű,
- 103 db elektromos hajtású tréler,
- 412 db hagyományos hajtású személygépjármű.

Az ismert járműflotta jellege alapján a harmadik változó, a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás csökkenése a következő (78):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{1259356,28 \frac{g}{\text{flotta}}}{2309218,8 \frac{g}{\text{flotta}}} = 0,5453 \quad (78)$$

Ahol:

- $s = s_{\text{mikró}} + s_{\text{tréler}} + s_{\text{hagy.jmű}}$
- $d = d_{\text{hagy.jmű}}$, (ez minden változatban ugyanannyi)
- $s_{\text{mikró}} = s_{\text{elekt. mikró}} + s_{\text{hagy. mikró}}$
- $s_{\text{tréler}} = s_{\text{elekt. tréler}} + s_{\text{hagy. tréler}}$

Amelyekből:

$$s_{\text{mikró}} = 412 \text{ dbjármű} \times 31,85 \frac{g}{\text{km}} \times 1 \text{ km} = 13122,2 \frac{g}{\text{flotta}}$$

$$s_{\text{tréler}} = 103 \text{ dbjármű} \times 296,52 \frac{g}{\text{km}} \times 3 \text{ km} = 91624,68 \frac{g}{\text{flotta}}$$

$$s_{\text{hagy.jmű}} = 412 \text{ dbjármű} \times 178,5 \frac{g}{\text{km}} \times 15,7 \text{ km} = 1154609,4 \frac{g}{\text{flotta}}$$

$$s = 13122,2 \frac{g}{flotta} + 91624,68 \frac{g}{flotta} + 1154609,4 \frac{g}{flotta} = 1259356,28 \frac{g}{flotta}$$

A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása (79):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{268192,482 \frac{forint}{flotta}}{512442,8 \frac{forint}{flotta}} = 0,5234 \quad (79)$$

Ahol:

- $p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jmü}$
- $o = o_{hagy.jmü}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $p_{mikró} = p_{elekt. mikró} + p_{hagy. mikró}$
- $p_{tréler} = p_{elekt. tréler} + p_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

$$p_{mikró} = \frac{412 \text{ dbjármű} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 1499,68 \frac{forint}{flotta}$$

$$p_{tréler} = \frac{103 \text{ dbjármű} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 3 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 10471,392 \frac{forint}{flotta}$$

$$p_{hagy.jmü} = \frac{412 \text{ dbjármű} \times 7,875 \frac{liter}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 503 \frac{forint}{liter}}{100} = 256221,41 \frac{forint}{flotta}$$

$$p = 1499,68 \frac{forint}{flotta} + 10471,392 \frac{forint}{flotta} + 256221,41 \frac{forint}{flotta} = 268192,482 \frac{forint}{flotta}$$

Mivel ebben a változatban a felhasználó a mobilitási szolgáltatást csak B módon veszi igénybe, így a lehető legkedvezőbb módon történik a mobilitási szolgáltatás felhasználása. Ennek következtében $\xi = 1$.

A jósági fok változóinak meghatározása után megbecsülöm a mobilitási szolgáltatás jósági fokát (80):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,55571) + (1 - 1,182) + (1 - 0,5453) + (1 - 0,5234)) + 1}{4} = 0,5484 \quad (80)$$

Optimista változat

Az optimista változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 100 % ($b = 1$) (81).

$$b \times q = F_{hagy.jmü} = 1 \times 824 = 824 \text{ db} \quad (81)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 824 db mikro jármű üzemel, amely 824 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (82).

$$F_{\text{mikró}} = F_{\text{hagy.jmű}} = 824 \text{ db} \quad (82)$$

A 824 db mikro járművet el szükséges szállítania a trélereknek. A IV. változatban a trélerek átlagos telítettsége 100% ($\gamma = 1$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5$ db), ennek megfelelően egy tréler átlagos telítettsége (83):

$$\eta = \frac{f}{k} \rightarrow f = \eta \times k = 1 \times 5 = 5 \text{ db jármű} \quad (83)$$

Ennek megfelelően 5 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (84):

$$F_{\text{tréler}} = \frac{F_{\text{mikró}}}{f} = \frac{824 \text{ db}}{5 \text{ db}} = 164,8 \cong 165 \text{ db tréler szükséges} \quad (84)$$

Az első szükséges változó a megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (85):

$$\vartheta = \frac{g}{h} = \frac{1319 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,102 \quad (85)$$

Ahol:

- $g = g_{\text{mikró}} + g_{\text{tréler}} + g_{\text{hagy.jmű}}$
- $h = h_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$g_{\text{mikró}} = 824 \text{ dbjármű} \times 1 \text{ km} = 824 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{\text{tréler}} = 165 \text{ dbjármű} \times 3 \text{ km} = 495 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{\text{hagy.jmű}} = 0 \text{ járműkilométer}$$

$$g = 824 \text{ járműkilométer} + 495 \text{ járműkilométer} = 1319 \text{ járműkilométer}$$

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (86):

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{62521 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,214 \quad (86)$$

Ahol:

- $w = (w_{\text{mikró}} + w_{\text{hagy.jmű}}) + e \times 0,15$
- $e = e_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)

Amelyekből:

$$w_{\text{mikró}} = 824 \text{ dbjármű} \times (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 59946 \text{ járműperc}$$

$$w = 59946 + 51500 \text{ járműperc} \times 0,15 = 62521 \text{ járműperc}$$

Az elektromos járművek aránya a mobilitási szolgáltatásra nézve 100 %.

Így a flotta összetétele a következő:

- 824 db elektromos hajtású mikro jármű,
- 165 db elektromos hajtású tréler,

Az ismert járműflotta jellege alapján a harmadik változó, a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás csökkenése a következő (87):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{173021,8 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,075 \quad (87)$$

Ahol:

- $s = s_{mikró} + s_{tréler} + s_{hagy.jmű}$
- $d = d_{hagy.jmű}$, (ez minden változatban ugyanannyi)
- $s_{mikró} = s_{elekt. mikró} + s_{hagy. mikró}$
- $s_{tréler} = s_{elekt. tréler} + s_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

$$s_{mikró} = 824 dbjarmű \times 31,85 \frac{g}{km} \times 1 km = 26244,4 \frac{g}{flotta}$$

$$s_{tréler} = 165 dbjarmű \times 296,52 \frac{g}{km} \times 3 km = 146777,4 \frac{g}{flotta}$$

$$s_{hagy.jmű} = 0 \frac{g}{flotta} s = 26244,4 \frac{g}{flotta} + 146777,4 \frac{g}{flotta} + 0 \frac{g}{flotta} = 173021,8 \frac{g}{flotta}$$

Viszont, ha a mobilitási szolgáltatás ilyen változatban nem a B használati módon üzemelnek, hanem az A, akkor a károsanyag-kibocsátás a következőképpen alakulna:

$$s_{mikró} = 824 dbjarmű \times 31,85 \frac{g}{km} \times 1 km = 26244,4 \frac{g}{flotta}$$

$$s_{tréler} = 165 dbjarmű \times 296,52 \frac{g}{km} \times 15,7 km = 768135,06 \frac{g}{flotta}$$

$$s = 26244,4 \frac{g}{flotta} + 768135,06 \frac{g}{flotta} + 0 \frac{g}{flotta} = 794379,46 \frac{g}{flotta}$$

Ha az ingázó személyek csak 100%-ig elektromos járművet használnának:

$$s_{hagyományos} = 824 dbjarmű \times 66,45 \frac{g}{km} \times 15,7 km = 859650,36 \frac{g}{flotta}$$

Ilyen esetben (88-89):

$$\phi_{Mob.szolg.A} = \frac{s}{d} = \frac{794379,46 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,344 \quad (88)$$

$$\phi_{hagy.jmű} = \frac{s}{d} = \frac{859650,36 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,3722 \quad (89)$$

Ha az ingázó személyek egésze elektromos járművekkel végezné az ingázás folyamatát, akkor sem tudnánk csökkenteni 66%-kal a CO₂ kibocsátást, míg csak a mobilitási szolgáltatás bevezetésével és a 100%-os elektromos üzemeltetéssel elérhető ekkora jellegű csökkentés. Tehát a mobilitási szolgáltatás már csak közlekedésszervezési szempontból is csökkenti a károsanyag-kibocsátást, ezáltal hozzájárulva egy hatékonyabb, fenntartható közlekedést kialakítása felé.

A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása (90):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{19773,92 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}}{512442,8 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}} = 0,039 \quad (90)$$

Ahol:

- $p = p_{\text{mikró}} + p_{\text{tréler}} + p_{\text{hagy.jmű}}$
- $o = o_{\text{hagy.jmű}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $p_{\text{mikró}} = p_{\text{elekt. mikró}} + p_{\text{hagy. mikró}}$
- $p_{\text{tréler}} = p_{\text{elekt. tréler}} + p_{\text{hagy. tréler}}$

Amelyekből:

$$p_{\text{mikró}} = \frac{824 \text{ dbjarmű} \times 9,1 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} = 2999,36 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

$$p_{\text{tréler}} = \frac{165 \text{ dbjarmű} \times 84,72 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 3 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} = 16774,56 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

$$p_{\text{hagy.jmű}} = 0 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

$$p = 2999,36 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 16774,56 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 0 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 19773,92 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

Viszont, ha a mobilitási szolgáltatás ilyen változatban nem a B használati módon üzemelnek, hanem az A, akkor az üzemanyag-fogyasztás a következőképpen alakulna:

$$p_{\text{mikró}} = \frac{824 \text{ dbjarmű} \times 9,1 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} = 2999,36 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

$$p_{\text{tréler}} = \frac{165 \text{ dbjarmű} \times 84,72 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} = 87786,864 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

$$p = 2999,36 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 87786,864 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 0 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 90786,224 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

Ha az ingázó személyek csak 100%-ig elektromos járművet használnának:

$$p_{\text{hagyományos}} = \frac{824 \text{ dbjarmű} \times 18,7 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} = 96767,264 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

Ilyen esetben (91-92):

$$\varepsilon_{\text{Mob.szolg.A}} = \frac{p}{o} = \frac{90786,224 \frac{\text{g}}{\text{flotta}}}{2309218,8 \frac{\text{g}}{\text{flotta}}} = 0,177 \quad (91)$$

$$\varepsilon_{\text{hagy.jmű}} = \frac{p}{o} = \frac{96767,264 \frac{\text{g}}{\text{flotta}}}{2309218,8 \frac{\text{g}}{\text{flotta}}} = 0,189 \quad (92)$$

Ha az ingázó személyek egésze elektromos járművekkel végezné az ingázás folyamatát, akkor sem tudnánk csökkenteni 82%-kal az üzemanyag-fogyasztást, míg csak a mobilitási szolgáltatás bevezetésével és a 100%-os elektromos üzemeltetéssel elérhető ekkora jellegű csökkentés. Tehát a mobilitási szolgáltatás már csak közlekedésszervezési szempontból is csökkenti az üzemanyag-fogyasztást flotta szinten és egy hatékonyabb, fenntartható közlekedést segít elő.

Mivel ebben a változatban a felhasználó a mobilitási szolgáltatást csak B módon veszi igénybe, így a lehető legkedvezőbb módon történik a mobilitási szolgáltatás felhasználása. Ennek következtében $\xi = 1$.

A jósági fok változóinak meghatározása után megbecsülöm a mobilitási szolgáltatás jósági fokát (93):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,102) + (1 - 1,214) + (1 - 0,075) + (1 - 0,039)) + 1}{4} = 0,8925 \quad (93)$$