



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

TDK dolgozat

**Autonóm járműves elővárosi mobilitási szolgáltatás közúti
forgalomra és környezetre gyakorolt hatásainak becslése**

Kulcsár Máté
UKBLAS

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 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 – hatások vizsgálata.....	- 6 -
4	Mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálata - módszertan	- 14 -
4.1	Autonóm járműves mobilitási szolgáltatás.....	- 14 -
4.2	Mobilitási szolgáltatás jósági foka	- 16 -
4.3	Változók	- 20 -
5	Esettanulmány – változatok elemzése	- 27 -
5.1	Változók, paraméterek értékeadása.....	- 28 -
5.2	Forgalmi adatok.....	- 31 -
5.3	I. változat	- 32 -
5.4	II. változat.....	- 35 -
5.5	III. változat	- 38 -
5.6	IV. változat	- 41 -
6	Konklúzió	- 46 -
	Felhasznált irodalom	- 49 -
	Tudományos cikkek	- 49 -
	Webes hivatkozások.....	- 53 -
	Függelék	- 55 -
	Nomenklatúra.....	- 55 -

1 Bevezetés

Az emelkedő városkörnyéki lakosságszám nagyobb közlekedési keresletet indukál, amit egyéni gépjárművel kielégítve a közutak kapacitáskorlátjainak eléréséhez, meghaladásához vezet. A csúcsidei ingázás során gyakran kialakuló forgalmi torlódások által felmerülő környezetszennyezés és utazási idő növekmény jelentős. A módváltási hajlandóság alacsony, az egyéni járműtulajdonlás és -használat népszerű. Ennek hatására az ingázási járműkihasználtság sem megfelelő (jellemzően 1-2 személy utazik egy járműben).

A technológiai fejlődés hatására a jövőben várhatóan megjelennek a magasabb fokú automatizálási szinten lévő járművek. Ugyanakkor ezen járművek egyéni használatával tovább nőhet a kereslet a személygépjárművek irányába, tovább fokozva a negatív hatásokat. Megoldást jelenthet egy olyan tisztán elektromos és autonóm járműves mobilitási szolgáltatás, ahol a mikro járművek a közös szakaszt egy tréleren közösen teszik meg. A mobilitási szolgáltatás biztosítja az egyéni járműhasználat szabadságát, ugyanakkor csökkenti az utak kihasználását a gyűjtő fuvarozással.

A kutatás célja ezen mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálatának elkészítése. A hatásvizsgálat során a feltárt lehetséges területek elemzéséből megfogalmazott potenciális változásokat vizsgálom. 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 vizsgálom. Minden változatra meghatározom a fontosabb változási területek pontos változási értékét, amely változási értékekből számolom minden változatra a jósági fok értékét.

A módszert alkalmaztam Budakalász és Budapest viszonylatára; összesen négy változatot képezve. 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 kibocsátást 46%-kal és az üzemanyag-fogyasztást 48%-kal csökkenthető

A kutatás elősegíti a tisztán elektromos autonóm járműves mobilitási szolgáltatások 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 [63].

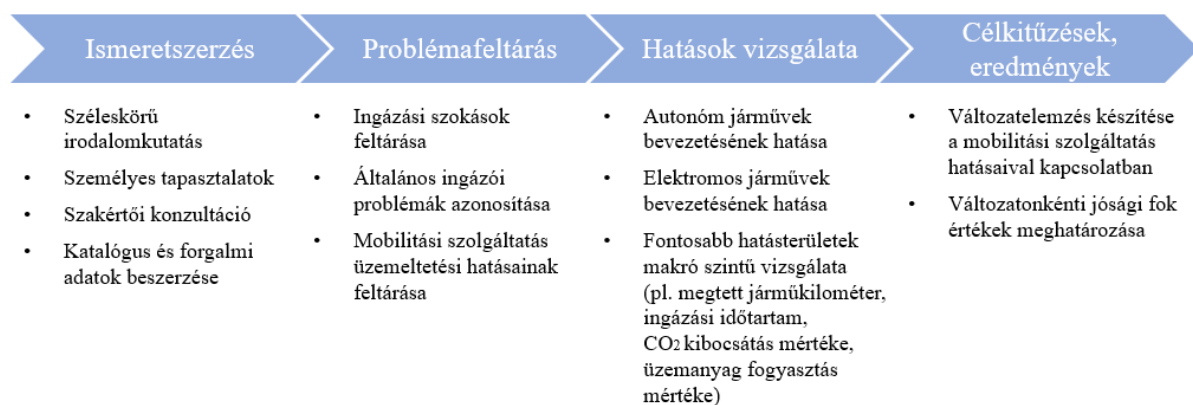
Az egymással kommunikáló autonóm járművek forgalomba való bevezetése várhatóan számos előnnyel jár. Növekszik:

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

Csökken:

- az ütközés kialakulásának valószínűsége,
- a forgalmi torlódások száma és nagysága,
- a károsanyag-kibocsátás, üzemanyag-fogyasztás,
- az utazási idő, költség. [64]

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. A kutatási folyamat fázisait az 1. ábra szemlélteti.



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

2.2 Problémafeltárás, alkalmazott módszerek, célkitűzés

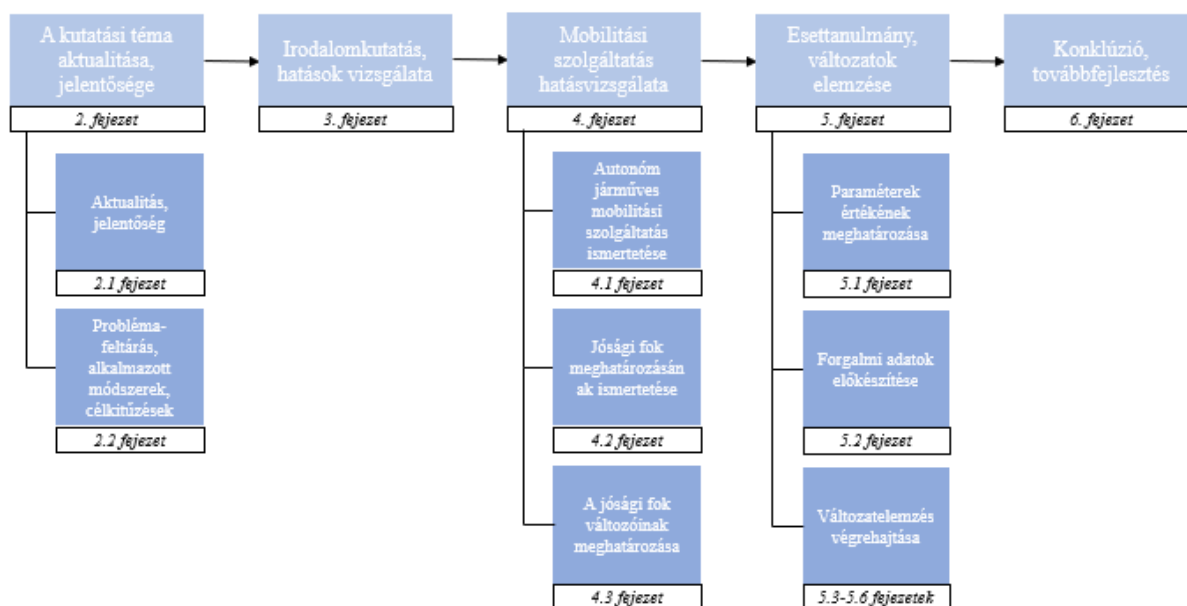
A kutatásom során célom egyautonóm járműves mobilitási szolgáltatás hatásának széleskörű vizsgálata. Megvizsgálom a megosztott, tisztán elektromos és hagyományos meghajtású autonóm járműves mobilitási szolgáltatás környezetre, a forgalomra és az ingázásra gyakorolt hatásait. Az autonóm járművek jelentős hatással bírnak az ingázás időtartalmára; a magánhasználatú autonóm járművekkel nagyobb ingázási időcsökkenés érhető el, mint a megosztott használattal kapcsolatosan [25]. Először általánosan megvizsgálom, hogy az autonóm járművek milyen mértékben okoznak változást a forgalmi paraméterekre, a felhasználó központú megosztott mobilitás szolgáltatására és magára a környezetre. Ezután megvizsgálom, 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 [60]. A tisztán elektromos járművek, az autonóm járművek jelentős hatást gyakorolnak az üzemeltetésre. Többszintű hatásvizsgálatot készítek, 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 meghatározom a mobilitási szolgáltatás jósági fokát (mennyire hasznos a mobilitási szolgáltatás a negatív hatások csökkentésére). Ehhez megvizsgálom 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 kutatás során arra kerestem a választ, hogy 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 napi munkamotivált, elővárosi ingázás során használható autonóm járműves mobilitási szolgáltatás hatásvizsgálata, 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 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 – hatások vizsgálata

Hét hatáspontban foglalható össze az autonóm járművek bevezetését követő változások: közlekedési infrastruktúra, területhasználat, forgalomáramlás, közlekedési módváltás, hozzáférhetőség, közlekedéssel kapcsolatos emberi munkavégzés és a közlekedésbiztonság [44]. Ugyanakkor, az autonóm járművek jövőbeli lehetséges használata számos kérdést vet fel. A leginkább vitatott hatások közé tartoznak a járműhasználat és megtett kilométer 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 [4].

Elképzelhető, hogy a közeljövőben az autonóm járműveknek és az ember által hajtott járműveknek együtt lesznek jelen a közlekedési rendszerekben [1]. Ugyanakkor az érzékelők és a kölcsönös információcsere segítségével minden autonóm jármű „előrelátó” lehet, és képes lesz felmérni az előtte haladó járművek sebességét és helyzetét, ezáltal a vegyes fogalmi helyzet is kezelhetővé válhat. Egy autonóm járműnek elegendő lehet csak az előtte lévő 5 jármű adatait közvetlenül figyelembe venni, ahhoz, hogy hatékonyan közlekedjen. [1]

A legfontosabb változások egyike az összes futott járműkilométerben, a kereslet növekedésében történhet [6]. 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 [77]. A rendelkezésre álló kutatások azt sugallják, hogy az autonóm járművek hatására csökkenhet gyaloglás szerepe is [23]. 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, és így csúcsidőben be + 2%-kal, összességében pedig + 1%-kal is növelhetik a torlódásokat [17]. Továbbá növelhetik a megtett kilométert; a városi térség széléről is lehetővé válik a kényelmes utazás [2]. A forgalomlefolys javulhat, ha a hatékonyabb járműirányításból (pl. nincsen féktávolság, nincsen hirtelen manőver által kialakuló lökéshullám) származó kapacitásbővítés felülmúlja a növekvő keresletet [2]. A potenciális előnyök részben az elért flottaszintű automatizálás szintjétől függenek, valamint attól, hogy a járművek képesek-e

kommunikálni egymással és a környező infrastruktúrával [16]. Az autonóm járművek bevezetése a teljes közúti hálózati teljesítményének, az utazási idő és az átlagsebesség javulásához vezet [8]. 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) [7]. Bizonyos szimulációs eredmények ennek ellenkezőjét is mutatták, azaz a forgalomlefolys romolhat is az autonóm járművek megjelenését követően, ha a járművek között nem valósul meg hatékony kommunikáció [3]; a járművek túl óvatosak lehetnek.

Mindemellett az összes járműszám csökkenhet, ha az autonóm járművek technológiája párosul járműmegosztó szolgáltatásokkal [10]. 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 [11]. 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 [9].

A magánhasználati vagy ride-sharing alapon üzemeltethető mobilitási szolgáltatásnál figyelembe szükséges venni a költségeket. Az automatizált taxik költségei összemérhetővé válhatnak a magas jövedelmű országok helyi tömegközlekedésének költségeivel. Ennek hatására az emberek nem feltétlen hajlandók megváltoztatni a tulajdonukban lévő járművek számát, ha az automatizált járművek személygépjárműként (nem csak fuvarmegosztás alapon működő szolgáltatásként) és taxiként is elérhetőek lesznek, hiszen a tulajdonlás utáni hajlam magas [27].

A megosztott autonóm járművek előnyeit, még alacsony piaci penetráció mellett is jelentkezőnek. 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 [11]. Minél nagyobb a megosztott autonóm járművek piaci penetrációja, annál nagyobb hatásfokon

üzemeltethető egy mobilitási szolgáltatás [14]. 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 [12]. 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 [15]. Tehát az első 5 évben az autonóm járművek alacsony piaci penetrációja miatt valójában növekedni fognak a torlódások, viszont jelentős penetráció esetén drasztikusan csökkennek [19].

Egy szingapúri esettanulmány megállapításai arra utalnak, hogy az autonóm igényvezérelt közlekedés bevezetése jelentős hatással lehet a hálózati teljesítményre, a megnövekedett futásteljesítményre, az utazási időre és az energiafogyasztásra, miközben csökkent a járművek kibocsátását [24]. 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 [21]. 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 [22].

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 [16].

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

nővelheti a vásárlási, szórakozási vagy étkezéssel kapcsolatos területhasználatot. A megosztott autonóm járművek azonban megduplázhathatják vagy megháromszorozhatják ezt a keresletet; nő a szolgáltatások, intézmények felé az érdeklődés, hiszen könnyebben, kényelmesebben, zavartalanul el tud érní azokat a felhasználó [20]. 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 [26], amennyiben az autonóm járművekkel ingázók mindig megosztják a reggeli és délutáni utazást a munkahelyre/-ről, ha a munkaidők nem különbözőek.

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 [62]. A Szén-monoxid kibocsátás 90%-a közlekedésből származik (tökéletlen égés hatására), a közlekedés részesedése a CO₂ kibocsátásból 26%. Legfőbb problémák, amik megoldása szükséges:

- levegőszennyezés,
- erdők és gazdaságok területének csökkenése,
- ökológiai rendszerben bekövetkező változások, talajvíz minősége romlik,
- elszigetelődés,
- zaj, stressz okozta zavarok, szív- és érrendszeri megbetegedések, halláskárosodások,
- növekvő energiafelhasználás a közlekedésben, ezek költségei háromszorosan meghaladják a gépjárművezetők által fizetett járműadók összegét (GDP 5%-át kiteszik).

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 [71]. 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 [69]. 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 [70]. 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 [68]. 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 [73]. 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 [75].

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.

A megosztott autonóm járművek átlagos energiafogyasztása több tényezőtől is függ, értéke akár elérheti a 60%-os kibocsátáscsökkenést is a hagyományos járművekkel szemben [28]. 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 rendelkezhetnénk kétszemélyes mikro járművet a városi közlekedésben. [67].

Nőhet az autópályán az energiaintenzitása a járműveknek a nagyobb sebesség következtében, viszont az egymáshoz való közvetlen közeli utazás pedig csökkentheti

ugyanazt. A hirtelen manővereket kerülő autonóm vezetési stílus során a személygépjárművek 5 százalékkal kevesebb üzemanyagot fogyasztanak [31]. Az egymással folyamatosan kommunikáló járművek következtében akár 6-20% -kal is csökkenthet a kibocsátás [29], [36], [48], [35]. 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 [29]. 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) [11]. Az autonóm járművek alkalmazása a NO_x -koncentráció csökkenését egyaránt elősegíti [34].

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 [37]. Ezen hatások jelentősebbek, ha az autonóm járműveket „agresszívabb” vezetési stílusra hangolják (pl. kisebb féktávolság) torlódásmentes áramlást feltételezve (pl. autópályán) [38]. Városi autópályafolyosó mentén (nagyvárosi területen) az autonóm jármű-technológiával 5%-os kibocsátáscsökkenés várható [47].

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 hagyományos meghajtású autonóm járművek alkalmazása esetén csekély, míg tisztán elektromos autonóm járművek esetén drasztikus, mintegy 30%-os az NO_x és a CO_2 kibocsátás csökkenése [65], [34]. 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 idővesztéséget, 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 [53].

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 [67].

mikro 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 [16], [39]. A közlekedésbiztonság állapota jelentősen javul a megosztott autonóm járművek arányának növekedésével [40]. A közlekedési konfliktusok még viszonylag alacsony piaci penetráció mellett is jelentősen csökkennek. 80-90%-os csökkenés a közlekedési konfliktusokban 70% körüli piaci penetrációval elérhető [41].

A megosztott autonóm járművek üzemeltetése legalább annyi ponton káros a közegészségügyre (első- és másodrendű közegészségügyi következmények), mint amennyi ponton hasznos [42]. 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 [43].

Az autonóm járművek elektromos motorokkal való felszerelésének vizsgálata, a városi területfejlesztés szabályozása, a forgalom-kezelési stratégiák végrehajtása, az autonóm jármű-

tulajdonlás 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 [45].

A politikai döntéshozóknak törvényeket szükséges hozniuk annak érdekében, hogy biztosítsák az autonóm járművek közötti folyamatos kommunikációt. Néhány javasolt politikai döntés [46]:

- 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.

A kutatások és tanulmányok eredményei alapján 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 hatásvizsgálata - módszertan

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 megbecsülöm 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 becslöm, amelyek jól leírják az egyes hatásterületek összesített változását az autonóm járművek bevezetésének hatására. Megvizsgálom, 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 trélerek, 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 vizsgálom majd az ingázás időszükségletét is.

Ebben a fejezetben a hatásvizsgálat módszertani részét ismertetem és a célom a meghatározott módszertan kialakítása mellett a különböző változók értékeinek pontos becslését és a mobilitási szolgáltatásra egy előzetes elméleti hatásbecslést adni a forgalmi, társadalmi, gazdasági és környezeti hatásokra.

4.1 Autonóm járműves mobilitási szolgáltatás

Az alfejezetben korábbi kutatásaim során [87, 88] kidolgozott mobilitási szolgáltatást mutatom be, amely szolgáltatással kapcsolatos hatások feltárása dolgozatom célja.

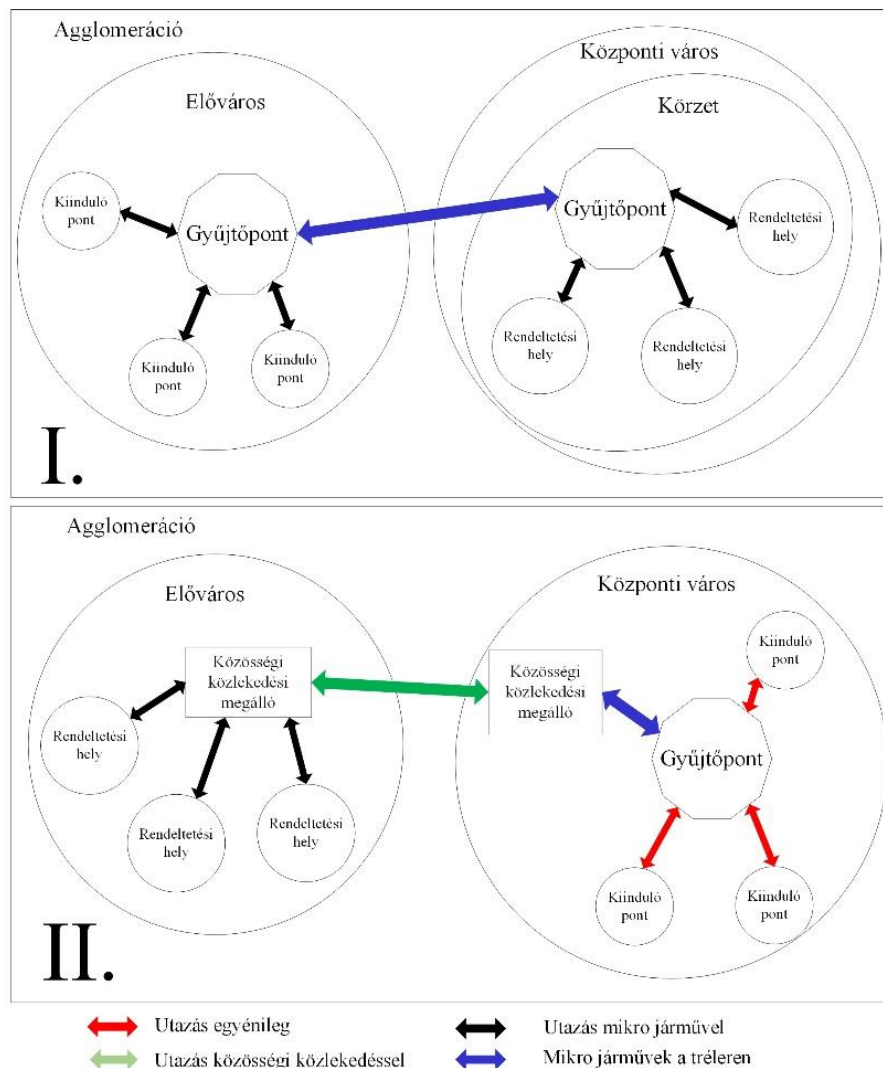
Az angol mozaikszóval rövidített autonóm járműves mobilitási szolgáltatás (TCAV – Trailer-based Collected Autonomous Vehicle – Trélerrel gyűjtött autonóm járműves szolgáltatás) célja alternatíva biztosítása az egyéni gépjárműves ingázó forgalom számára. A TCAV háztól-házig nyújt átszállásmentes, az első 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 trélerrel, ahonnan önállóan teszik meg az utolsó kilométereket.

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:

- Városközi, háztól-házig: a tréler városok között szállít (1. ábra felső része).
- 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.



3. ábra: A mobilitási szolgáltatás működése háztól-házig (I.) és kombinált (II.) utazás esetén
(forrás: [88])

A környezetterhelés minimalizálása és a hatékonyságnövelés érdekében a járművek hajtása elektromos. A mikro járművekben kiskapacitású 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 forgalomlefordítás 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 TCAV az utazót a célállomásig szállítja, nincsen szükség átszállásra, más utazóval egy légtérben történő utazásra. A gyűjtő-elosztó szolgáltatás keresletalapú, rugalmas, míg a közösségi közlekedés menetrend szerinti közlekedése miatt kevésbé rugalmas. Ugyanakkor a közösségi közlekedés előnyben részesítése jellemző, mely előnyben részesítés akár a TCAV szolgáltatás számára is elérhető a tréleres szállítási fázisban. A gyűjtő-elosztó jellegű szolgáltatás utaskapacitása kisebb, egy mikro jármű két személyes, tehát egy tréleren maximum 12 ember utazhat. Az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás fajlagos energiafelhasználása a tréleres szállítás miatt alacsony.

A TCAV szolgáltatás használatához minden esetben előzetes igénybejelentés szükséges a hatékony kapacitás és igény összerendelés érdekében. Ösztönzendő a több órával az utazást megelőző rendelés, illetve utazási időintervallum megadása. Az egyidejűleg fellépő, hasonló úticélú utazási igények összerendelésével alakítható ki egy-egy tréleres szállítás. A mikro járművek nem feltétlen a kiindulási ponthoz legközelebbi gyűjtőponton szállnak fel a trélerre. A TCAV szolgáltatás üzemeltetése során cél az üres futást minimalizálása. A fizetés közvetlenül az utazás után történhet.

4.2 Mobilitási szolgáltatás jósági foka

A jósági fok leírja a mobilitási szolgáltatás bevezetésének összehatasát. 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 (1) egyenlet alapján határozható meg:

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

Ahol:

- ϑ – az autonóm járműves mobilitási szolgáltatás üzemeltetéséből fakadó megtett járműkilométer változás (2).

$$\vartheta = \frac{g}{h} [-] \quad (2)$$

ahol:

- g = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően a megtett teljes járműkilométer az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve) (3), ami a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások összege.

$$g = g_{mikró} + g_{tréler} + g_{hagy.jmü} [járműkilométer] \quad (3)$$

- 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 (4):

$$\psi = \frac{w}{e} [-] \quad (4)$$

ahol:

- w = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően az utazások összigidőtartama 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 összigidőtartama (beleértve a mobilitási szolgáltatás használatából eredeztethető plusz ingázási időtartamot (jele: i)) (5),

$$w = (w_{mikró} + w_{hagy.jmü}) + e \times i [járműperc] \quad (5)$$

- e = Csak a hagyományos járművel lebonyolított ingázási utazások összigidőtartama (oda-vissza) a járművek számával súlyozva (a mobilitási szolgáltatás nélküli ingázás során az utazások összigidőtartama).
- ϕ – a mobilitási szolgáltatás üzemeltetése során felmerülő CO₂ kibocsátás változása (6):

$$\phi = \frac{s}{d} [-] \quad (6)$$

ahol:

- s = az autonóm mobilitási szolgáltatás bevezetését követően a CO₂ kibocsátás az ingázás során (az oda-vissza utazást egy ingázásnak tekintve) (7-8-9), ami a különböző járművekkel, a szolgáltatás részét képező mikro járművel és trélerrel, valamint a megmaradó hagyományos egyéni gépjárművekkel végzett mozgások CO₂ kibocsátásának összértéke;

$$s = s_{mikró} + s_{tréler} + s_{hagy.jmü} \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (7)$$

ahol:

$$s_{mikró} = s_{elekt. mikró} + s_{hagy. mikró} \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (8)$$

$$s_{tréler} = s_{elekt. tréler} + s_{hagy. tréler} \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (9)$$

- 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 (10):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} [-] \quad (10)$$

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 (11-12-13),

$$p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jmü} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (11)$$

ahol:

$$p_{mikró} = p_{elekt. mikró} + p_{hagy. mikró} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (12)$$

$$p_{tréler} = p_{elekt. tréler} + p_{hagy. tréler} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (13)$$

- 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 költségből 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) változatónként 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.

4.3 Változók

Megtett járműkilométer

A mobilitási szolgáltatás hatását a megtett járműkilométerre (jele: ϑ) változatónként határozom 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 (14).

$$b \times q = F \quad (14)$$

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: γ) így figyelembe szükséges venni a tréler kapacitását (jele: $k = 5$) és a tréler átlagos foglaltságát (jele: f) (15).

$$\gamma = \frac{f}{k} \quad (15)$$

A szükséges trélerok számának meghatározása a következő (16):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} \quad (16)$$

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 (17-18). 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.

$$g_{mikró} = F_{mikró} \times (2 \times a) \quad (17)$$

$$g_{tréler} = F_{tréler} \times l \quad (18)$$

Továbbá a mobilitási szolgáltatás típusa is befolyásoló hatással bír, ha a B szolgáltatástípussal üzemel a mobilitási szolgáltatás, akkor csak egy nagy-/ kiskapacitású 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 trélerok fele végzi el csak az ingázást. A mobilitási szolgáltatás felhasználása (jele: r) 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_i) 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 összidőtartamának (jele: w) és a hagyományos járművekkel lebonyolított ingázási utazások összidőtartamának (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 (19): a délelőtti (jele: $Cs_{d.e.}$) és délutáni (jele: $Cs_{d.u.}$) 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:

$$\frac{Cs_{d.e.} + Cs_{d.u.}}{2} \times F_f = T_f \quad (19)$$

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) (20):

$$\frac{a}{v_{mikró}} = t_{ij} \quad (20)$$

Ezen t_{ij} és t_{ji} értékek összege adja a mikro járműves összesített helyváltoztatással járó időt (21):

$$t_{ij} + t_{ji} = t_{mikró} \quad (21)$$

Mindezek mellett azt is feltételezem, 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 átszállásiidő 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 jármű, mikro.

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 (22-23):

$$w_{mikró} = F_{mikró} \times (T + t_{mikró}) \quad (22)$$

$$e = F_{hagy.jmü} \times T \quad (23)$$

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 [78]. 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) [80] (24).

$$\ddot{U}_{nt} \times \frac{3}{4} = \ddot{U}_{kt} \quad (24)$$

- A személygépjármű fogyasztása (jele: $\ddot{U}_{szj}$) fele annyi, mint a közepes tehergépjármű fogyasztása (25):

$$\frac{\ddot{U}_{kt}}{2} = \ddot{U}_{szj} \quad (25)$$

- 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 (26).

$$k_{szj} \times 2 = K_{kt} \quad (26)$$

- Továbbá katalógus adat alapján a motorkerékpárok átlagos CO₂ kibocsátása (jele: K_m) is adott [79].

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 [80]. Az elektromos járművek CO₂ kibocsátását a fogyasztásuk mértékéből szükséges kiszámolni (27-28-29).

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 [81]. Közepes elektromos tehergépjárműveknek is adott a fogyasztása (jele: $\ddot{U}_{et}$), ebből pedig következtethető a CO₂ kibocsátása (jele: K_{et}) is [82]. Az elektromos motorkerékpár fogyasztásával (jele: $\ddot{U}_{em}$) kapcsolatosan elmondható, hogy 100 km megtétele 1 eurónyi fogyasztásnak megfelelő áramot használ fel [83]. 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 [84]. 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.

$$K_{ej} = \frac{\ddot{U}_{ej} \times K_{\dot{a}}}{100} \quad (27)$$

$$K_{em} = \frac{\ddot{U}_{em} \times K_{\dot{a}}}{100} \quad (28)$$

$$K_{et} = \frac{\ddot{U}_{et} \times K_{\dot{a}}}{100} \quad (29)$$

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} (30-31):

$$s_{em} = F_{em} \times K_{em} \times 2a \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (30)$$

$$d = F_{hagy.jmü} \times K_{szj} \times l \left[\frac{g}{flotta} \right] \quad (31)$$

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} (32):

$$p_{em} = \frac{F_{em} \times \ddot{U}_{em} \times 2a \times \$}{100} \left[\frac{forint}{flotta} \right] \quad (32)$$

Az üzemanyag árak katalógusból adottak [86]. 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.

5 Esettanulmány – változatok elemzése

A mobilitási szolgáltatás hatásainak előbecslésének vizsgálatához változatelemzést végzek. Az analízis során minden változathoz kiszámolom 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 végzem.

A 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. A változatok képzése során figyelembe vett szempontok: váltási hajlandóság, az elektromos járművek aránya a szolgáltatáson belül és a szolgáltatástípusa.

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 hatásfoka mekkora és ennek hatására milyen mértékű hatások érhetőek el a vizsgálati területeken.

A megkülönböztetett változatokat a 1. táblázat mutatja be.

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

Szemponatok	Változat 1	Változat 2	Változat 3	Változat 4
Váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé	10 %	25 %	50 %	100 %
Elektromos meghajtás aránya a tréler és mikro járművek között	50 %	75 %	100 %	100 %
Szolgáltatástípusok megoszlása	A: 100 % B: 0 %	A: 50 % B: 50 %	A: 0 % B: 100 %	A: 0 % B: 100 %
Tréler átlagos telítettsége	60 %	70 %	80 %	100 %

5.1 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) változatonként változó.
- Az ingázási forgalom nagysága két város között: $q = 824 \text{ db jármű}$
- Ingázással kapcsolatosan feltételezett plusz időtartam: $i = 10 \%$, a mobilitási szolgáltatás A használati módjánál
- Ingázással kapcsolatosan feltételezett plusz időtartam: $i = 15 \%$, a mobilitási szolgáltatás B használati módjánál

Ingázói időtartam számításokhoz:

- A délelőtti (jele: $CS_{d.e.}$) és délutáni (jele: $CS_{d.u.}$) csúcs idejű két város közötti utazás megtett utazási idejének átlag értéke (33):

$$\frac{70 \text{ perc} + 55 \text{ perc}}{2} = 62,5 \text{ perc} \quad (33)$$

- A mikro járművek eljutási ideje (34-35):

$$t_{ij} = t_{ji} = \frac{0,5 \text{ km}}{15 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \times 60 = 2 \text{ perc} \quad (34)$$

$$t_{\text{mikró}} = 2 \text{ perc} + 2 \text{ perc} = 4 \text{ perc} \quad (35)$$

CO₂ kibocsátás mértéke változó számításaihoz:

- Energiatermeléssel járó CO₂ kibocsátás mértéke (36):

$$K_a = 350 \frac{g}{kWh} [80] \quad (36)$$

- Hagyományos hajtású személygépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (37):

$$K_{szj} = \frac{161+181+161+181+171+197+173+203}{8} = 178,5 \frac{g}{km} \quad (37)$$

- Hagyományos hajtású közepes tehergépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (38):

$$K_{szj} \times 2 = K_{kt} = 357 \frac{g}{km} \quad (38)$$

- Elektromos személygépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (39):

$$K_{ej} = \frac{18,7 \frac{kWh}{100km} \times 350 \frac{g}{kWh}}{100} = 66,45 \frac{g}{km} \quad (39)$$

- Elektromos motorkerékpár CO₂ kibocsátásának mértéke (40):

$$K_{em} = \frac{9,1 \frac{kWh}{100km} \times 350 \frac{g}{kWh}}{100} = 31,85 \frac{g}{km} \quad (40)$$

- Elektromos közepes tehergépjármű CO₂ kibocsátásának mértéke (41):

$$K_{et} = \frac{84,72 \frac{kWh}{100 km} \times 350 \frac{g}{kWh}}{100} = 296,52 \frac{g}{km} \quad (41)$$

Ezeknek megfelelően a kibocsátásokkal kapcsolatos számítási értékek az 2. táblázatban találhatóak. Ezen számítási értékeket vettem figyelembe a jósági fok értékek kiszámításánál.

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

Járműtípusok	CO ₂ kibocsátás	Forrás:
Hagyományos jármű	$178,5 \frac{g}{km}$	(37) egyenlet alapján [78] irodalom felhasználásával
Motorkerékpár – mikro jármű	$94 \frac{g}{km}$	[79] irodalom felhasználásával
Közepes tehergépjármű - tréler	$357 \frac{g}{km}$	(38) egyenlet alapján [78] irodalom felhasználásával
Elektromos hagyományos jármű	$66,45 \frac{g}{km}$	(39) egyenlet alapján [80] és [81] irodalom felhasználásával
Elektromos motorkerékpár – Mikro jármű	$31,85 \frac{g}{km}$	(40) egyenlet alapján [80] és [83] és [84] irodalom felhasználásával
Elektromos közepes tehergépjármű - tréler	$296,52 \frac{g}{km}$	(41) egyenlet alapján [80] és [82] irodalom felhasználásával

Üzemanyag-fogyasztással kapcsolatos számításokhoz:

Hagyományos elektromos jármű fogyasztásának a Nissan Leaf nevű jármű fogyasztását vettem. A járműnek vegyes használat esetén $18,7 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}$ a fogyasztása [81]. 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 (42) [82]. Az elektromos motorkerékpárral kapcsolatosan elmondható, hogy 100 km megtétele 1 eurónyi fogyasztásnak megfelelő áramot használ fel [83]. 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 [84]. Ebből következtetve egy elektromos motorkerékpár 100 km-en 9,1 kWh -ot fogyaszt (43). A motorkerékpár paraméterekhez viszonyított mikro járművek fogyasztása 100 km-en nagyjából 2,5 liter, ami megegyezik egy átlagos, jó fogyasztású motorkerékpár fogyasztásával (44).

Ebből fakadóan:

- Elektromos közepes tehergépjármű energiafogyasztása (42):

$$\ddot{U}_{et} = \frac{136,8 \text{ km}}{115,9 \text{ kWh}} = \frac{100 \text{ km}}{x} \rightarrow x = 84,72 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \quad (42)$$

- Elektromos motorkerékpár energiafogyasztása (43):

$$\ddot{U}_{em} = \frac{364}{40} = 9,1 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \quad (43)$$

- Hagományos hajtású motorkerékpár üzemanyag-fogyasztása (44):

$$\ddot{U}_m = \ddot{U}_{mikró} = 2,5 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (44)$$

- Hagományos hajtású személygépjármű üzemanyag-fogyasztása (45):

$$\ddot{U}_{szj} \frac{7,1+8+7,1+8+7,5+8,7+7,6+9}{8} = 7,875 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (45)$$

- Hagományos hajtású közepes tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása (46):

$$\ddot{U}_{kt} = \ddot{U}_{szj} \times 2 = 15 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}} \quad (46)$$

A 3. táblázatba foglaltam össze a flottában üzemeltett járműtípusok fogyasztását 100 km-en. Ezekkel a fogyasztásokkal számolok az esettanulmányban.

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

Járműtípusok	Üzemanyag-fogyasztás 100 km-en	Forrás:
Hagyományos jármű	$7,875 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(45) egyenlet alapján [78] irodalom felhasználásával
Motorkerékpár – mikro jármű	$2,5 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(44) egyenlet alapján [79] irodalom felhasználásával
Közepes tehergépjármű - tréler	$15 \frac{\text{liter}}{100 \text{ km}}$	(46) egyenlet alapján [80] irodalom felhasználásával
Elektromos személygépjármű	$18,7 \frac{\text{kwh}}{100 \text{ km}}$	[81] irodalom felhasználásával
Elektromos motorkerékpár – mikro jármű	$9,1 \frac{\text{kwh}}{100 \text{ km}}$	(43) egyenlet alapján [83] irodalom felhasználásával
Elektromos közepes tehergépjármű - tréler	$84,72 \frac{\text{kwh}}{100 \text{ km}}$	(42) egyenlet alapján [82] irodalom felhasználásával

5.2 Forgalmi adatok

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

Az esettanulmány szempontjából releváns Budakalász, Pomáz és Budapest közötti csúcsidei (reggeli, délutáni) ingázói forgalom értékeit a 4. 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.

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

[jármű]	Budapest	Pomáz	Budakalász
Budapest	-	1178	824
Pomáz	1178	-	77
Budakalász	824	77	-

¹ Adatok forrása a KTI

5.3 I. változat

Először az adott változatban értelmezett járműflotta jelleget szükséges meghatározni. Az I. 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 trélerről fel a mikro jármű; átlag értékkel számolok. A szükséges mikro járművek száma (47):

$$b \times q = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 0,1 \times 824 = 82,4 \cong 83 \text{ db} \quad (47)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 83 db mikro jármű üzemel, amely 83 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (48).

$$F_{mikró} = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 83 \text{ db} \quad (48)$$

Ezt a 83 db mikro járművet szükséges elszállítania a trélereknek. Az 1. változatban a trélerek átlagos telítettsége 60% ($\Upsilon = 0,6$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5$ db), ennek megfelelően egy trélerek átlagos telítettsége (49):

$$\Upsilon = \frac{f}{k} \rightarrow f = \Upsilon \times k = 0,6 \times 5 = 3 \text{ db jármű} \quad (49)$$

Ennek megfelelően 3 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (50):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} = \frac{83 \text{ db}}{3 \text{ db}} = 27,66 \text{ db} \cong 28 \text{ db tréler szükséges} \quad (50)$$

Megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (51):

$$\vartheta = \frac{g}{h} = \frac{12156,3 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,94 \quad (51)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

$$g_{mikró} = 83 \text{ dbjármű} \times 1 \text{ km} = 83 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{tréler} = 28 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 439,6 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{hagy.jm\ddot{u}} = 741 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 11633,7 \text{ járműkilométer}$$

$$g = 83 + 439,6 + 11633,7 = \text{járműkilométer}$$

$$h_{hagy.jm\ddot{u}} = 824 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 12\,937 \text{ járműkilométer}$$

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:

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

Amelyekből:

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

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

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

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

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 (52):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{2224004,6 \frac{g}{\text{flotta}}}{2309218,8 \frac{g}{\text{flotta}}} = 0,963 \quad (52)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

$$\begin{aligned} s_{\text{mikró}} &= 17 \text{ dbjármű} \times 31,85 \frac{g}{km} \times 1 km + 66 \text{ dbjármű} \times 94 \frac{g}{km} \times 1 km \\ &= 6204 \frac{g}{\text{flotta}} + 541,45 \frac{g}{\text{flotta}} = 6745,45 \frac{g}{\text{flotta}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{tréler}} &= 14 \text{ dbjármű} \times 357 \frac{g}{km} \times 15,7 km + 14 \text{ dbjármű} \times 296,52 \frac{g}{km} \times 15,7 km \\ &= 78468,6 \frac{g}{\text{flotta}} + 65175,096 \frac{g}{\text{flotta}} = 140643,696 \frac{g}{\text{flotta}} \end{aligned}$$

$$s_{\text{hagy.jmű}} = 741 \text{ dbjármű} \times 178,5 \frac{g}{km} \times 15,7 km = 2076615,45 \frac{g}{\text{flotta}}$$

$$s = 6745,45 \frac{g}{flotta} + 140643,696 \frac{g}{flotta} + 2076615,45 \frac{g}{flotta} = 2224004,6 \frac{g}{flotta}$$

$$d_{hagy.jm\ddot{u}} = 824 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 178,5 \frac{g}{km} \times 15,7 km = 2309218,8 \frac{g}{flotta}$$

A dízelt (492 forint) és a benzin (513 forint) átlaga $\frac{492+513}{2} = 503$ forint. A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása a következő (53):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{485403,552 \frac{forint}{flotta}}{512442,8 \frac{forint}{flotta}} = 0,947 \quad (53)$$

Ahol:

- $p = p_{mikr\acute{o}} + p_{tr\acute{e}ler} + p_{hagy.jm\ddot{u}}$
- $o = o_{hagy.jm\ddot{u}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $p_{mikr\acute{o}} = p_{elekt.mikr\acute{o}} + p_{hagy.mikr\acute{o}}$
- $p_{tr\acute{e}ler} = p_{elekt.tr\acute{e}ler} + p_{hagy.tr\acute{e}ler}$

Amelyekből:

$$\begin{aligned} p_{mikr\acute{o}} &= \frac{17 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 km \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} \\ &+ \frac{66 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 2,5 \frac{liter}{100km} \times 1 km \times 513 \frac{forint}{liter}}{100} = 61,88 \frac{forint}{flotta} + 846,45 \frac{forint}{flotta} \\ &= 908,33 \frac{forint}{flotta} \\ p_{tr\acute{e}ler} &= \frac{14 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 15,7 km \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} \\ &+ \frac{14 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 15 \frac{liter}{100km} \times 15,7 km \times 492 \frac{forint}{liter}}{100} \\ &= 7448,5824 \frac{forint}{flotta} + 16221,24 \frac{forint}{flotta} = 23669,8224 \frac{forint}{flotta} \\ p_{hagy.jm\ddot{u}} &= \frac{741 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 7,875 \frac{liter}{100km} \times 15,7 km \times 503 \frac{forint}{liter}}{100} = 460825,4 \frac{forint}{flotta} \\ p &= 908,33 \frac{forint}{flotta} + 23669,8224 \frac{forint}{flotta} + 460825,4 \frac{forint}{flotta} = 485403,552 \frac{forint}{flotta} \\ o &= \frac{824 dbj\ddot{a}rm\ddot{u} \times 7,875 \frac{liter}{100km} \times 15,7 km \times 503 \frac{forint}{liter}}{100} = 512442,8 \frac{forint}{flotta} \end{aligned}$$

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

Ezek alapján a mobilitási szolgáltatás jósági foka (54):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,94) + (1 - 1,106) + (1 - 0,963) + (1 - 0,947)) + 0}{4} = 0,01275 \quad (54)$$

Ezen jósági fok érték 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 door-to-door jellegű szolgáltatással üzemel a mobilitási szolgáltatás, tehát az ezekből fakadó pozitív környezeti hatások is drasztikusan kisebbek lesznek.

5.4 II. változat

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

$$b \times q = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 0,25 \times 824 = 206 \text{ db} \quad (55)$$

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

$$F_{mikr\acute{o}} = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 206 \text{ db} \quad (56)$$

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

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

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

$$F_{tr\acute{e}ler} = \frac{F_{mikr\acute{o}}}{f} = \frac{206 \text{ db}}{3,5 \text{ db}} = 58,8571 \text{ db} \cong 59 \text{ db tréler szükséges} \quad (58)$$

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:

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

Amelyekből:

$$g_{\text{mikró}} = 206 \text{ dbjármű} \times 1 \text{ km} = 206 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{\text{tréler}} = 29 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} + 30 \text{ dbjármű} \times 3 \text{ km} = 545,3 \text{ járműkilométer}$$

$$g_{\text{hagy.jmű}} = 618 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 9702,6 \text{ járműkilométer}$$

$$g = 206 + 545,3 + 9702,6 = 10453,9 \text{ járműkilométer}$$

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (60):

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

Ahol:

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

Amelyekből:

$$w_{\text{mikró}} = 206 \text{ dbjármű} \times (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 13699 \text{ járműperc}$$

$$w_{\text{hagy.jmű}} = 618 \text{ dbjármű} \times 62,5 \text{ perc} = 38625 \text{ járműperc}$$

$$w = (13699 \text{ járműperc} + 38625 \text{ járműperc}) + 51500 \text{ járműperc} \times 0,15 = 57474 \text{ járműperc}$$

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):

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

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:

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

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

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

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:

$$\begin{aligned}
p_{\text{mikró}} &= \frac{155 \text{ dbjármű} \times 9,1 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} \\
&\quad + \frac{51 \text{ dbjármű} \times 2,5 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 1 \text{ km} \times 513 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 564,2 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 654,075 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
&= 1218,275 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_{tréler} &= \frac{22 \text{ dbjármű} \times 84,72 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} \\
&+ \frac{23 \text{ dbjármű} \times 84,72 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}} \times 3 \text{ km} \times 40 \frac{\text{forint}}{\text{kWh}}}{100} \\
&+ \frac{7 \text{ dbjármű} \times 15 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 492 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} \\
&+ \frac{7 \text{ dbjármű} \times 15 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 3 \text{ km} \times 492 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} \\
&= 11704,9152 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 2338,272 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 8110,82 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 1549,8 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
&= 23703,81 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
p_{hagy.jmü} &= \frac{618 \text{ dbjármű} \times 7,875 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 503 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 384332,114 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} \\
p &= 1218,275 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 23703,81 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} + 384332,114 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}} = 409254,196 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}
\end{aligned}$$

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

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

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

Ezen jósági fok érték drasztikusan növekedett az 1. 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 door-to-door 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.

5.5 III. változat

A III. változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 50 % ($b = 0,5$) (64).

$$b \times q = F_{hagy.jmü} = 0,5 \times 824 = 412 \text{ db} \quad (64)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 412 db mikro jármű üzemel, amely 412 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (65).

$$F_{mikró} = F_{hagy.jmű} = 412 \text{ db} \quad (65)$$

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 ($k = 5$ db), ennek megfelelően egy tréler átlagos telítettsége (66):

$$\gamma = \frac{f}{k} \rightarrow f = \gamma \times k = 0,8 \times 5 = 4 \text{ db jármű} \quad (66)$$

Ennek megfelelően 4 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (67):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} = \frac{412 \text{ db}}{4 \text{ db}} = 103 \text{ db tréler szükséges} \quad (67)$$

Az első szükséges változó a megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (68):

$$g = \frac{g}{h} = \frac{7189,4 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,5557 \quad (68)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

$$\begin{aligned} g_{mikró} &= 412 \text{ dbjármű} \times 1 \text{ km} = 412 \text{ járműkilométer} \\ g_{tréler} &= 103 \text{ dbjármű} \times 3 \text{ km} = 309 \text{ járműkilométer} \\ g_{hagy.jmű} &= 412 \text{ dbjármű} \times 15,7 \text{ km} = 6468,4 \text{ járműkilométer} \\ g &= 412 + 309 + 6468,4 = 7189,4 \text{ járműkilométer} \end{aligned}$$

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (69):

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{60873 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,182 \quad (69)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

$$\begin{aligned} w_{mikró} &= 412 \text{ dbjármű} \times (62,5 \text{ perc} + 4 \text{ perc}) = 27398 \text{ járműperc} \\ w_{hagy.jmű} &= 618 \text{ dbjármű} \times 62,5 \text{ perc} = 25750 \text{ járműperc} \\ w &= (27398 \text{ járműperc} + 25750 \text{ járműperc}) + 51500 \text{ járműperc} \times 0,15 = 60873 \text{ járműperc} \end{aligned}$$

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 (70):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{1259356,28 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,5453 \quad (70)$$

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:

$$\begin{aligned} s_{mikró} &= 412 \text{ dbjármű} \times 31,85 \frac{g}{km} \times 1 \text{ km} = 13122,2 \frac{g}{flotta} \\ s_{tréler} &= 103 \text{ dbjármű} \times 296,52 \frac{g}{km} \times 3 \text{ km} = 91624,68 \frac{g}{flotta} \\ s_{hagy.jmű} &= 412 \text{ dbjármű} \times 178,5 \frac{g}{km} \times 15,7 \text{ km} = 1154609,4 \frac{g}{flotta} \\ s &= 13122,2 \frac{g}{flotta} + 91624,68 \frac{g}{flotta} + 1154609,4 \frac{g}{flotta} = 1259356,28 \frac{g}{flotta} \end{aligned}$$

A negyedik változó az üzemanyag-fogyasztás különbségéből eredeztethető költséghányados számítása (71):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{268192,482 \frac{forint}{flotta}}{512442,8 \frac{forint}{flotta}} = 0,5234 \quad (71)$$

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:

$$\begin{aligned} p_{mikró} &= \frac{412 \text{ dbjármű} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 1499,68 \frac{forint}{flotta} \\ p_{tréler} &= \frac{103 \text{ dbjármű} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 3 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 10471,392 \frac{forint}{flotta} \end{aligned}$$

$$p_{hagy.jm\ddot{u}} = \frac{412 \text{ dbj\ddot{a}rm\ddot{u}} \times 7,875 \frac{\text{liter}}{100\text{km}} \times 15,7 \text{ km} \times 503 \frac{\text{forint}}{\text{liter}}}{100} = 256221,41 \frac{\text{forint}}{\text{flotta}}$$

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

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 (72):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,55571) + (1 - 1,182) + (1 - 0,5453) + (1 - 0,5234)) + 1}{4} = 0,5484 \quad (72)$$

Ezen jósági fok érték jelentősen növekedett az I. és a II. 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 amellett, 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.

5.6 IV. változat

A IV. változatban a váltási hajlandóság a mobilitási szolgáltatás felé 100 % ($b = 1$) (73).

$$b \times q = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 1 \times 824 = 824 \text{ db} \quad (73)$$

Ennek megfelelően a mobilitási szolgáltatás részeként 824 db mikro jármű üzemel, amely 824 db hagyományos személygépjárművet helyettesít (74).

$$F_{mikr\acute{o}} = F_{hagy.jm\ddot{u}} = 824 \text{ db} \quad (74)$$

A 824 db mikro járművet el szükséges szállítania a trélereknek. A IV. változatban a trélerek átlagos telítettsége 100% ($\Upsilon = 1$) Egy tréler maximum 5 db mikro járművet tud szállítani ($k = 5 \text{ db}$), ennek megfelelően egy tréler átlagos telítettsége (75):

$$\Upsilon = \frac{f}{k} \rightarrow f = \Upsilon \times k = 1 \times 5 = 5 \text{ db jármű} \quad (75)$$

Ennek megfelelően 5 db mikro jármű van átlagosan egy tréleren. Így a mikro járművek elszállításához (76):

$$F_{tréler} = \frac{F_{mikró}}{f} = \frac{824 \text{ db}}{5 \text{ db}} = 164,8 \cong 165 \text{ db tréler szükséges} \quad (76)$$

Az első szükséges változó a megtett járműkilométer változásra vonatkozó arányszám (77):

$$g = \frac{g}{h} = \frac{1319 \text{ járműkilométer}}{12937 \text{ járműkilométer}} = 0,102 \quad (77)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

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

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

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

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

Az ingázási időtartam változás flotta szinten (78):

$$\psi = \frac{w}{e} = \frac{62521 \text{ járműperc}}{51500 \text{ járműperc}} = 1,214 \quad (78)$$

Ahol:

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

Amelyekből:

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

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

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 (79):

$$\phi = \frac{s}{d} = \frac{173021,8 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,075 \quad (79)$$

Ahol:

- $s = s_{mikró} + s_{tréler} + s_{hagy.jmü}$

- $d = d_{hagy.jm\ddot{u}}$, (ez minden változatban ugyanannyi)
- $s_{mikró} = s_{elekt. mikró} + s_{hagy. mikró}$
- $s_{tréler} = s_{elekt. tréler} + s_{hagy. tréler}$

Amelyekből:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ilyen esetben (80-81):

$$\phi_{Mob.szolg.A} = \frac{s}{d} = \frac{794379,46 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,344 \quad (80)$$

$$\phi_{hagy.jm\ddot{u}} = \frac{s}{d} = \frac{859650,36 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,3722 \quad (81)$$

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 (82):

$$\varepsilon = \frac{p}{o} = \frac{19773,92 \frac{\text{forint}}{flotta}}{512442,8 \frac{\text{forint}}{flotta}} = 0,039 \quad (82)$$

Ahol:

- $p = p_{mikró} + p_{tréler} + p_{hagy.jm\ddot{u}}$

- $o = o_{hagy.jm\ddot{u}}$ (ez minden változatban ugyanannyi)
- $p_{mikr\acute{o}} = p_{elekt. mikr\acute{o}} + p_{hagy. mikr\acute{o}}$
- $p_{tr\acute{e}ler} = p_{elekt. tr\acute{e}ler} + p_{hagy. tr\acute{e}ler}$

Amelyekből:

$$p_{mikr\acute{o}} = \frac{824 \text{ dbj\acute{a}rm\ddot{u}} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 2999,36 \frac{forint}{flotta}$$

$$p_{tr\acute{e}ler} = \frac{165 \text{ dbj\acute{a}rm\ddot{u}} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 3 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 16774,56 \frac{forint}{flotta}$$

$$p_{hagy.jm\ddot{u}} = 0 \frac{forint}{flotta}$$

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

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

$$p_{mikr\acute{o}} = \frac{824 \text{ dbj\acute{a}rm\ddot{u}} \times 9,1 \frac{kWh}{100km} \times 1 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 2999,36 \frac{forint}{flotta}$$

$$p_{tr\acute{e}ler} = \frac{165 \text{ dbj\acute{a}rm\ddot{u}} \times 84,72 \frac{kWh}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 87786,864 \frac{forint}{flotta}$$

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

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

$$p_{hagyományos} = \frac{824 \text{ dbj\acute{a}rm\ddot{u}} \times 18,7 \frac{kWh}{100km} \times 15,7 \text{ km} \times 40 \frac{forint}{kWh}}{100} = 96767,264 \frac{forint}{flotta}$$

Ilyen esetben (83-84):

$$\varepsilon_{Mob.szolg.A} = \frac{p}{o} = \frac{90786,224 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,177 \quad (83)$$

$$\varepsilon_{hagy.jm\ddot{u}} = \frac{p}{o} = \frac{96767,264 \frac{g}{flotta}}{2309218,8 \frac{g}{flotta}} = 0,189 \quad (84)$$

Ha az ingázó személyek egésze elektromos járművekkel végeznék 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 (85):

$$\Pi = \frac{((1 - 0,102) + (1 - 1,214) + (1 - 0,075) + (1 - 0,039)) + 1}{4} = 0,8925 \quad (85)$$

Ezen 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.

6 Konklúzió

A kutatásom során egy mobilitási szolgáltatáshoz változatelemzésen alapuló hatáselemző módszert dolgoztam ki. A mobilitási szolgáltatás egy elektromos autonóm járműveken alapuló szállítási szolgáltatás, amely hatékonyabbá teszi az ingázó forgalmat. A hatékonyság számszerűsítése céljából dolgoztam ki a hatáselemző módszert.

A kutatásom során egy autonóm járműves mobilitási szolgáltatáshoz változatelemzésen alapuló hatáselemző módszert dolgoztam ki. A szolgáltatás során az autonóm mikro járművek a közös szakaszokon, jellemzően városok között, egy tréleren utaznak; fő alkalmazási terület: agglomerációs ingázó forgalom.

Irodalomkutatást végeztem a témában, feltártam az autonóm elektromos járművek várt hatásait a környezetre, a társadalomra, a gazdaságra és a közlekedésre. A dolgozat főbb eredménye kidolgozott változatelemző hatásvizsgálatot, amelynek eredménye az ún. jósági fok értéke. A jósági fok értékek megadják a mobilitási szolgáltatás bevezetésének összhatását. Alkalmaztam a változatelemző hatásvizsgálatot Budakalász és Budapest közötti ingázási forgalomra. 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 meghatároztam a mobilitási szolgáltatás főbb területekre, úgy mint, a megtett járműkilométerre, az ingázás időtartamára, CO₂ kibocsátásra és az üzemanyag-fogyasztásra gyakorolt hatását. Ezen hatások összességéből határozható meg a jósági fok értékét minden változatra.

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. Magyarországon egyedül a KTI-n vannak ingázással kapcsolatos adatok, így ezek beszerzése nehéz volt, mindemellett a témában széleskörű, alapos irodalomkutatást szükséges végezni, hiszen még nem létező technológia hatásainak becsléséhez nem áll rendelkezésre egyéb tapasztalati adat.

A témában rejlő kutatási potenciál jelentős. Terveim között szerepel egy modell (pl. Visum modellezés) felépítése, amely segítségével pontosíthatók az eredmények, a forgalomra gyakorolt hatások részletezhetők. A jövőben szeretnék mélyebb betekintést nyerni a hatásvizsgálati módszerek működésébe, aminek köszönhetően a jósági fokot meghatározó módszerem továbbfejleszthető, mindemellett további más változási területek is feltárhatók (pl. parkolási területhasználat).

Ábrajegyzék

1. ábra: A kutatás folyamata (forrás: saját kutatási eredmény)	- 4 -
2. ábra: A dolgozat felépítése (forrás: saját kutatási eredmény)	- 5 -
3. ábra: A mobilitási szolgáltatás működése háztól-házig (I.) és kombinált (II.) utazás esetén (forrás: [88])	- 15 -

Táblajegyzék

1. táblázat: A változatelemzés felépítése (forrás: saját kutatási eredmény)	- 28 -
2. táblázat: A különböző járműtípusok CO ₂ kibocsátásai (forrás: saját kutatási eredmény)	- 29 -
3. táblázat: A különböző járműtípusokhoz értelmezhető üzemanyag-fogyasztás értékek 100 km-en. (forrás: saját kutatási eredmény)	- 31 -
4. táblázat: A városok közötti napi ingázói forgalom (a járművek darabszáma alapján) (forrás: KTI adatai alapján).....	- 31 -

Felhasznált irodalom

Tudományos cikkek

- [1]: Chen Bokui, Sun Duo et al. (2020): A future intelligent traffic system with mixed autonomous vehicles and human-driven vehicles in *Information Sciences*, vol. 529, pp. 59-72, DOI: 10.1016/j.ins.2020.02.009
- [2]: 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
- [3]: 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
- [4]: 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
- [6]: 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
- [7]: 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
- [8]: 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
- [9]: Alexander-Kearns, M., Peterson, M., & Cassidy, 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).
- [10]: Rodier, C. J. (2018). Travel effects and associated greenhouse gas emissions of automated vehicles. In National Center for Sustainable Transportation, URL: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/35517>
- [11]: Fagnant, D., Kockelman, K., & Bansal, P. (2015). Operations of a shared autonomous vehicle fleet for the Austin. *Texas market*, 17.,
- [12]: Claudel, M., & Ratti, C. (2015). Full speed ahead: How the driverless car could transform cities. *McKinsey & Company*, August, 14.

- [14]: Levinson, D. (2015). Climbing mount next: the effects of autonomous vehicles on society. *Minn. JL Sci. & Tech.*, 16, 787.
- [15]: 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
- [16]: 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
- [17]: Maciejewski, M., & Bischoff, J. (2018). Congestion effects of autonomous taxi fleets. *Transport*, 33(4), 971-980., DOI: 10.3846/16484142.2017.1347827
- [19]: Cox, C., & Hart, A. (2016). How autonomous vehicles could relieve or worsen traffic congestion.
- [20]: 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
- [21]: 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
- [22]: 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
- [23]: 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
- [24]: 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
- [25]: 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
- [26]: 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
- [27]: Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2021). How will autonomous vehicles impact car ownership and travel behavior. *International Encyclopedia of Transportation*, 1, 508-513., DOI: 10.1016/b978-0-08-102671-7.10093-4

- [28]: 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
- [29]: 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).
- [31]: 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>
- [34]: 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
- [35]: 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
- [36]: 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*.
- [37]: 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
- [38]: 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
- [39]: 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
- [40]: 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
- [41]: 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
- [42]: 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

- [43]: 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
- [44]: 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
- [45]: 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
- [46]: 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
- [47]: 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
- [48]: 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
- [53]: 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
- [54]: Greenblatt, J. B. & Saxena, S., 2015. Autonomous taxis could greatly reduce greenhouse-gas emissions of US light-duty vehicles. *Nature Climate Change*.
- [60]: 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
- [63]: 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
- [64]: Fagnant, D. J. & Kockelman, K., 2015. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, pp. 167-181
- [65]: Rafael Sandra és társai (2020): Autonomous vehicles opportunities for cities air quality, vol. 712, pp. 136546, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136546
- [68]: 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

- [69]: 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
- [70]: 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
- [71]: 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
- [73]: 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
- [75]: 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
- [77]: Munkácsy András, Strommer Tamás, Lieszkovszky József (2020): Utazás közbeni tevékenységek leltára
- [87]: 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
- [88]: Kulcsár, M., Földes, D., & Nagy, S. (2021). Gyűjtőpontok számának meghatározása gravitációs modell alkalmazásával autonóm járműves mobilitási szolgáltatáshoz., XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia, pp. 1-12, ISBN: 978-615-5837-86-9, URL: <http://real.mtak.hu/126519/>

Webes hivatkozások

- [62]: A közlekedés környezeti hatásai, URL: <https://doksi.net/hu/get.php?order=DisplayPreview&lid=4470>
- [67]: 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>
- [78]: 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>

- [79]: A kibocsátások számítása. URL: https://www.co2nnect.org/help_sheets/?op_id=602&Bopt_id=98&fbclid=IwAR3T0vfX4D6jlxZEpYA9xmOP2Xljs3bOgT_nElVG13pF0CjGcNE8AU_p_5U
- [80]: 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
- [81]: Elektromos Autó Fogyasztása. URL: <http://autoberlesbudapest.net/elektromos-autok/elektromos-auto-fogyasztasa>
- [82]: Antalóczy Tibor (2021): Volvo lett az első sorozatgyártású elektromos teherautó Magyarországon. Villanyautósok, URL: <https://villanyautosok.hu/2021/09/20/volvo-lett-az-elso-sorozatgyartasu-elektromos-teherautot-magyarorszagon/>
- [83]: 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>
- [84]: Elektromos autó töltés ára | EautóTöltőkábel.hu; URL: <https://www.eautotoltokabel.hu/elektromos-auto-informaciok/elektromos-auto-toltes-ara/?fbclid=IwAR0qdcRoxHUIUfn1Lf8FYxA-B-Js32xMYJLpPuGgz0Ci6H94zOW9vpo6Fyk>
- [86]: Aktuális üzemanyag árak; URL: <https://fuvinfoiroda.hu/szolgáltatásaink/aktualis-uzemanyag-arak>

Függelék

Nomenklatúra

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 trélererek száma
$F_{hagy.jmü}$	a flottában lévő személygépjárművek száma
b	váltási hajlandóság
Υ	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
r	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 gyűjtőpontra
t_{ji}	mikro járművek eljutási ideje az elosztópontra a rendeltetési helyig
t_{mikro}	mikro járműves összesített helyváltoztatással járó idő
$\ddot{U}_{nt}$	hagyományos hajtású nagy tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\ddot{U}_{kt}$	hagyományos hajtású közepes tehergépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\ddot{U}_{szj}$	hagyományos hajtású személygépjármű üzemanyag-fogyasztása
$\ddot{U}_m$	hagyományos hajtású motorkerékpár üzemanyag-fogyasztása
$\ddot{U}_{ej}$	elektromos személygépjármű energiafogyasztása
$\ddot{U}_{em}$	elektromos motorkerékpár energiafogyasztása
$\ddot{U}_{et}$	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_a	energiatermeléssel járó CO ₂ kibocsátás mértéke
l	két város között megtett ingázói távolság
$\$$	az üzemanyag/energia 1 literre/1 Kwh-ra értelmezett költsége
i	ingázással kapcsolatos feltételezett plusz időtartam