



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

Eltérő városi útdíj-struktúrák hatásának vizsgálata

TDK dolgozat

Dolgozat szerzője: Tóth Tamás, közlekedésmérnöki szak (MSc)

Konzulens: Dr. Török Ádám adjunktus

Budapest, 2015. október 29.

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	5
1.1	Szakirodalmi áttekintés	5
1.2	A kutatás alapjai	6
2	Modellalkotás.....	8
2.1	Hálózati és igénymodell kialakítása.....	8
2.2	Hatásmodell kialakítása	13
3	A modell kiértékelése	18
3.1	Szenáriók kialakítása	18
3.2	Eredmények értékelése.....	21
3.2.1	Közúti szegmens értékelése	21
3.2.2	Tömegközlekedési szegmens értékelése.....	30
3.2.3	Torlódási időtöbblet alapú rendszer értékelése.....	36
3.3	Eredmények összegzése	38
4	Összefoglalás	40
5	Irodalomjegyzék	41

Ábrajegyzék

1. ÁBRA: GTFS ADATOK MODELLEJE	9
2. ÁBRA: KÖZÚTI FORGALMI TERHELÉS ALAPÁLLAPOTBAN	11
3. ÁBRA: ÉRZÉKELT ELJUTÁSI IDŐ ELEMELI.....	12
4. ÁBRA: TÖMEGKÖZLEKEDÉSI UTASFORGALMI TERHELÉS ALAPÁLLAPOTBAN	12
5. ÁBRA: A MÓDVÁLTÁSI MODELL ALAPJÁUL SZOLGÁLÓ SP VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI	14
6. ÁBRA: A MODELLEZÉS SORÁN ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK RENDSZERE	16
7. ÁBRA: KORDONALAPÚ DÍJAK HATÁSA AZ EGYÉNI KÖZLEKEDÉSI MÁTRIXRA.....	19
8. ÁBRA: TÁVOLSÁGALAPÚ DÍJAK HATÁSA AZ EGYÉNI KÖZLEKEDÉSI MÁTRIXRA.....	19
9. ÁBRA: IDŐALAPÚ DÍJAK HATÁSA AZ EGYÉNI KÖZLEKEDÉSI MÁTRIXRA	20
10. ÁBRA: KÜLSŐ-KÜLSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI KÖZÚTI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA	21
11. ÁBRA: KÜLSŐ-BELSŐ ÉS BELSŐ-KÜLSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI KÖZÚTI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA..	22
12. ÁBRA: BELSŐ-BELSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI KÖZÚTI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA	22
13. ÁBRA: FORGALOMNAGYSÁG VÁLTOZÁSA KORDONALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT)	23
14. ÁBRA: FORGALOMNAGYSÁG VÁLTOZÁSA TÁVOLSÁGALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT).....	23
15. ÁBRA: FORGALOMNAGYSÁG VÁLTOZÁSA IDŐALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT)	24
16. ÁBRA: NAPI KÖZÚTI UTAZÁSI IDŐ ALAKULÁSA	25
17. ÁBRA: NAPI FUTÁSTELJESÍTMÉNY ALAKULÁSA	25
18. ÁBRA: ÁTLAGOS KÖZÚTI UTAZÁSI TÁVOLSÁG ALAKULÁSA.....	26
19. ÁBRA: FUTÁSTELJESÍTMÉNY ALAKULÁSA (VÉDETT TERÜLET)	26
20. ÁBRA: FUTÁSTELJESÍTMÉNY ALAKULÁSA (KÜLSŐ TERÜLET).....	27
21. ÁBRA: ÁTLAGOS KÖZÚTI UTAZÁSI SEBESSÉG ALAKULÁSA (VÉDETT TERÜLET)	27
22. ÁBRA: ÁTLAGOS KÖZÚTI UTAZÁSI SEBESSÉG ALAKULÁSA (KÜLSŐ TERÜLET).....	28
23. ÁBRA: ÁTLAGOS UTAZÁSI IDŐ ALAKULÁSA A BELSŐ TERÜLETEN	28
24. ÁBRA: ÁTLAGOS MEGTETT ÚT ALAKULÁSA A BELSŐ TERÜLETEN.....	29
25. ÁBRA: NAPI BEVÉTEL ALAKULÁSA	29
26. ÁBRA: KÜLSŐ-KÜLSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI TÖMEGKÖZLEKEDÉSI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA	30
27. ÁBRA: KÜLSŐ-BELSŐ ÉS BELSŐ-KÜLSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI TÖMEGKÖZLEKEDÉSI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA.....	30
28. ÁBRA: BELSŐ-BELSŐ KÖRZETEK KÖZÖTTI TÖMEGKÖZLEKEDÉSI UTAZÁSI IGÉNYEK ALAKULÁSA	31
29. ÁBRA: UTASSZÁM ÉS FELSZÁLLÓSZÁM VÁLTOZÁSA KORDONALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT).....	32
30. ÁBRA: UTASSZÁM ÉS FELSZÁLLÓSZÁM VÁLTOZÁSA TÁVOLSÁGALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT)	32

31. ÁBRA: UTASSZÁM ÉS FELSZÁLLÓSZÁM VÁLTOZÁSA IDŐALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (LEGMAGASABB DÍJSZINT).....	33
32. ÁBRA: NAPI UTASKILOMÉTER TELJESÍTMÉNY ALAKULÁSA	33
33. ÁBRA: NAPI TÖBBLET TÖMEGKÖZLEKEDÉSI UTAZÁSOK SZÁMA DÍJSZINTTŐL FÜGGŐEN	35
34. ÁBRA: NAPI TÖMEGKÖZLEKEDÉSI BEVÉTEL-NÖVEKEDÉS ALAKULÁSA DÍJSZINTTŐL FÜGGŐEN	36
35. ÁBRA: FORGALOMNAGYSÁGOK TORLÓDÁSI IDŐTÖBBLET ALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (3 FT/S, 6. ITERÁCIÓ)	37
36. ÁBRA: FORGALOMNAGYSÁGOK TORLÓDÁSI IDŐTÖBBLET ALAPÚ ÚTDÍJ MELLETT (3 FT/S, 7. ITERÁCIÓ)	38

1 Bevezetés

1.1 Szakirodalmi áttekintés

A külföldi szakirodalomban régóta mélyen vizsgált téma a városi útdíjak problémaköre (*Vickrey 1963*) (*Smeed 1964*), amelynek legfontosabb célja eredetileg a közlekedés externális hatásainak szabályozása. Erre a legjobb elméleti megoldás a Pigou által leírt (*Pigou 1920*) határkölség alapú díjfizetés, amelynek feltételei ugyanakkor a valóságban nem állnak rendelkezésre, így az ún. második legjobb megoldások kerülnek gyakorlati alkalmazásra, amelyeket összefoglalóan *de Palma és Lindsey (2011)* mutatta be.

Magyarországon a városi útdíjfizetés elméleti hátterével *Erhart (2007)* foglalkozott, majd a Városkutatás Kft. (*Városkutatás 2008 és 2009*), illetve a Budapesti Közlekedési Központ megbízásából a Trenecon-Cowi Kft. készítettek tanulmányokat (*BKK, Trenecon-Cowi 2013*) a lehetséges gyakorlati alkalmazásra vonatkozóan a főváros számára. Ezekben a tanulmányokban alapvetően kordonalapú rendszerek vizsgálatáról van szó, alternatív megoldások nem kerültek részletes elemzésre, így korábbi TDK dolgozatomban (*Tóth 2014*) forgalmi vizsgálatot végeztem a kordonalapú mellett a távolságalapú városi útdíjak esetére is.

Külföldi kutatásokban is kiemelt szerepet kapnak a kordonos rendszert érintő vizsgálatok, illetve szintén több kutatás foglalkozott a távolságalapú díjrendszerrel is. Számos esetben különböző kritériumok szerinti rendszeroptimumot kerestek akár a díj mértékére, akár a díjszedés helyére vonatkozóan (*May et al. 2002*). *Verhoef (2002)* gráfelméleti megközelítésen alapuló hálózaton vizsgálta az ún. második legjobb megoldásokat általános – hálózati topológiától és díjrendszertől független – módon. *Zhang et al. (2014)* a kordonalapú és zónarendszerű díjak hatását vizsgálta az igényekre, illetve optimalizálására alakított ki eljárást.

May és Milne (2000) tanulmányában négy különböző (kordon, távolságarányos, időalapú és torlódási idő alapú) útdíj stratégiát vizsgált Cambridge városának hálózatán, amely egy szintén az ő nevükhöz fűződő, későbbi tanulmány (*May, Milne 2004*) alapját képezi. Utóbbiban a továbbfejlesztett modellt York és Leeds városára is alkalmazták, a három

vizsgált angliai városra vonatkozó eredményeket pedig összehasonlították. Az általuk vizsgált négy stratégiát alapul véve végeztem el a jelenlegi kutatáshoz kapcsolódó modellezést.

1.2 A kutatás alapjai

Korábbi kutatásaim során a városi útdíjak két típusát, a kordonos és a távolságalapú díjak egyéni gépjármű-közlekedésre gyakorolt forgalmi hatásait hasonlítottam össze. A fizetős terület lehatárolását a korábbi tanulmányok alapján adottnak tekintettem: a pesti oldalon a **Hungária-gyűrűn**, a budai oldalon pedig az ún. **Budai-körúton** belüli területek tehermentesítése a kitűzött cél. A kutatás folytatásával a közösségi közlekedési mód bevonása mellett a vizsgált rendszerek számát is tovább bővítettem, így négy fő díjstruktúrát határoztam meg, melyek csoportokba sorolhatók aszerint, hogy statikus módon, az aktuális forgalmi jellemzőktől függetlenül, vagy pedig dinamikusan, forgalomfüggő tényezők alapján vetjük-e ki a díjat a felhasználókra. A díjstruktúrákat az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: A vizsgált díjstruktúrák
(forrás: saját szerkesztés)

CSOPORT	DÍJSTRATÉGIA MEGNEVEZÉSE	DÍJFIZETÉS ALAPJA	DIMENZIÓ
Statikus, forgalomtól független díjak	• kordonalapú behajtási díj	Behajtás (fix költség)	[Ft/behajtás]
	• távolságalapú, zóna rendszerű díj	Megtett út (változó költség)	[Ft/km]
Dinamikus, forgalomtól függő díjak	• időalapú, zóna rendszerű díj	Utazási idő (változó költség)	[Ft/s]
	• torlódási időtöbblet alapú, zóna rendszerű díj	Késési idő (változó költség)	[Ft/s]

Alapvető különbség a kordonos és a zónarendszerű díjak között, hogy míg előbbi kizárólag a védett területre történő behajtás (és/vagy kihajtás) esetén, tehát a kordonvonal átlépésekor vet ki díjat a felhasználóra, addig a zónás rendszerek esetében a kijelölt területen belüli közlekedésért is fizetni kell. Utóbbi esetén a fizetendő összeg számos alapelv mentén meghatározható, melyek közül hármat vontam be a kutatásba.

A **megtett út** alapján történő díjfizetést az országos gyorsforgalmi illetve közúthálózaton már hosszabb ideje alkalmazzák, így újdonságot a működési alapelvük nem, legfeljebb a városi környezetben történő alkalmazásuk jelenthet. Az **időalapú** díjak számítása a felhasználók tényleges eljutási ideje alapján történik, tehát az aktuális körülményektől függően változik a díj mértéke, a rendszer alkalmazása azonban több problémát is felvet. Egyfelől, közlekedésbiztonsági oldalról aggályos lehet, hogy az időalapú díjazás a felhasználókat siettetésre, gyorshajtasra készítheti. Ezt a problémát a modellezés során nem tudtam figyelembe venni, feltételeztem, hogy minden járművezető a forgalmi körülmények alapján választja meg a sebességét. Másfelől pedig, a zónán belül parkolással töltött időt szükséges elkülöníteni az utazással töltött időtől, hiszen erre teljesen más díjtételek vonatkoznak. A harmadik zóna rendszerű díjstruktúra alapját a **szabad áramlást** biztosító forgalmi körülmények között számított **eljutási idő**, és a **valós eljutási idő közötti időkülönbség** jelenti. A közlekedési szaknyelvben gyűjtőfogalomként alkalmazott torlódási díj kifejezés erre a díjstratégiára illik a legjobban, ugyanis itt a felhasználókra kivetett díj mértéke kizárólag a torlódás mértékétől függ.

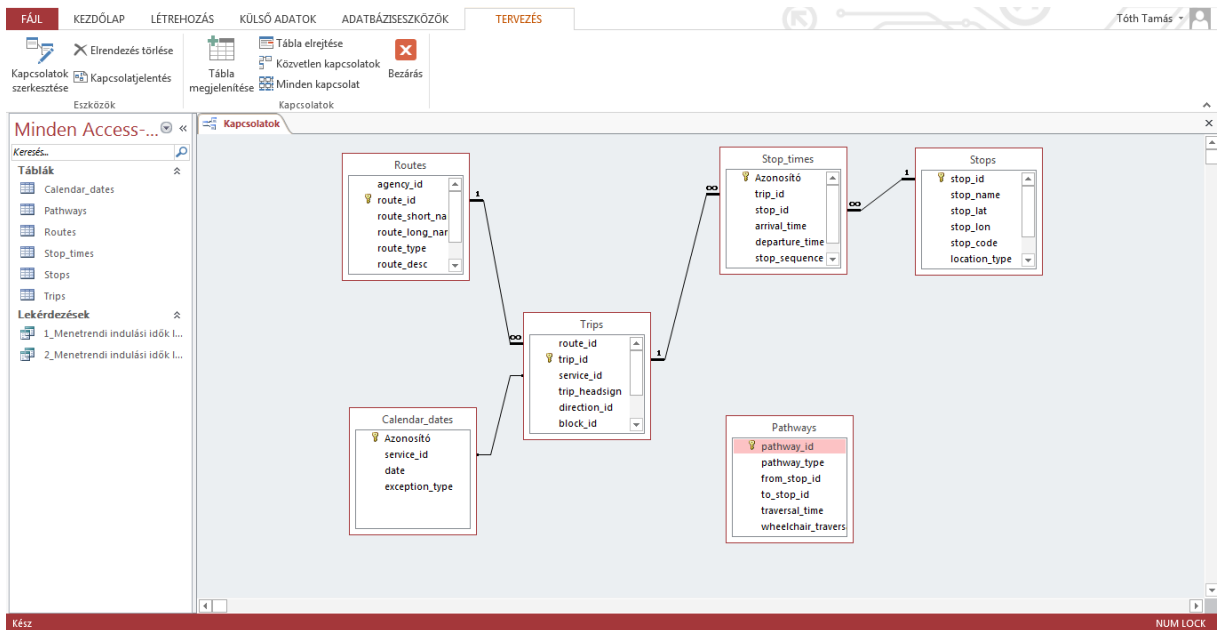
A forgalomtól függő útdíjazás egyébként nem ismeretlen a gyakorlatban sem: az Egyesült Államokban több helyen, az ún. HOT (High-Occupancy Toll) sávokban, illetve az izraeli Tel-Avivban néhány éve elkészült expressz sávokon is alkalmazzák a dinamikus útdíjakat, amelyek néhány perces frissítési ciklusidővel aktualizálják az egységárat, amelyet a megtett úttal arányosan kell fizetni. Ugyanakkor ezek a megoldások gyorsforgalmi úthálózaton működnek, a városi körülmények közötti megvalósítás egyelőre várat magára.

2 Modellalkotás

2.1 Hálózati és igénymodell kialakítása

A kutatás során célszerűnek tűnt a tavalyi TDK dolgozatban már sikerrel alkalmazott **közúti modell** továbbfejlesztése és alkalmazása a kibővített vizsgálatra. A korábbi munkák során a vizsgált területet 35 zónára osztottam fel, mindegyik zónát egy-egy csomópont képezte le, melyeken keresztül a forgalom belépett az 54 szakaszból álló közúthálózatba, amely kizárólag a fővárosi úthálózat főbb elemeit reprezentálta egyszerűsített módon. Jelenlegi munkámban ezt a hálózatot bővítettem tovább, így egyrészt a zónák száma 43-ra bővült, másrészt egy-egy zónán belül a forgalom már nem csak egyetlen, hanem több csomóponton is beléphet a hálózatba, illetve az alkalmazott úthálózat is tovább finomodott.

Ezen felül teljesen új elemnek számít a **tömegközlekedési rendszer modellje**, amely tartalmazza a legfontosabb budapesti viszonylatokat (városi kötöttpályás viszonylatok, fontosabb autóbuszvonalak), szám szerint összesen 46-ot. Az ezekhez tartozó menetrendeket a BKK által kiadott GTFS (General Transit Feed Specification) adatbázisból nyertem ki. A BKK honlapjáról (<http://www.bkk.hu/tomegkozlekedes/fejlesztoknek/>) letölthető fájlokból Microsoft Access segítségével létrehoztam az adatbázist, amelyhez két lekérdezést készítettem a számomra szükséges menetrendek megjelenítéséhez. Az adatbázis kapcsolatait az 1. ábra mutatja be. A GTFS-ből átvett, modellben alkalmazott menetrendek egy átlagos szeptemberi csütörtöki napra vonatkoznak.



1. ábra: GTFS adatok modellje
(forrás: saját szerkesztés)

A korábbi munkám során a modellezés szinte kizárólag manuálisan, Excelben megírt számítások elvégzésével (illetve egy külső forrásból kapott Java program alkalmazásával) történt, idén azonban már egy erre a célra széleskörűen alkalmazott makroszkopikus forgalmi modellező szoftvert, a PTV Visumot használtam, amelyet kutatási célból a fejlesztő cégtől igényeltem.

A modellben az úthálózati szakaszokat a tavalyihoz hasonlóan 5 fő csoportba soroltam be, ám az alkalmazott kapacitás értékeket a gyakorlatban alkalmazott városi modellek figyelembevételével felülvizsgáltam. Az egyes szakaszokon a szabad áramlási körülmények mellett érvényes eljutási időt (t_0) a szakasz hosszából és a szabad áramlási sebességből (v_0) számítja a modell. A kapacitások telítődésével változik az eljutási idő is, ezt az úgynevezett forgalomnagyság-késés (Volume-Delay Function – VDF) függvények írják le. A gyakorlat és a szakirodalmak alapján, illetve igazodva a korábbi kutatásaimhoz is erre a célra a BPR (*Bureau of Public Roads 1964*) függvényt alkalmaztam:

$$(1) \quad t_i(q_i) = t_i^0 \left(1 + 0,15 \left(\frac{q_i}{q_{max} * 11} \right)^4 \right)$$

ahol t_i az i -edik szakaszhoz tartozó eljutási idő [s],

t_i^0 az i-edik szakaszhoz tartozó eljutási idő forgalommentes állapotban [s],

q_i az i-edik szakaszhoz tartozó forgalomnagyság [jármű/nap],

q_{max} a vizsgált szakasz kapacitása [jármű/óra].

A modellezés átlagos napi forgalmi adatokkal történik, ezért a BPR képletben a kapacitás szorzójaként szereplő 11-es érték a csúcsóra tényezőt jelenti, vagyis ennyiszor vesszük figyelembe a szakasz csúcsórai kapacitását.

A csomópontokon történő áthaladások kanyarodási iránytól függő időbüntetést (egyenes és jobbra kanyarodó 30 másodperc, a balra kanyarodók 1 perc) kaptak, amelyeket néhány csomópontban felülvizsgáltam (pl. Üllői úti felüljárón az egyenesen menők számára nincs időbüntetés). Az egyes csomópontokban a visszafordulási lehetőségek tiltottak.

A közúti ráterhelés az ún. Equilibrium eljárással történt, amely Wardrop elvén (*Wardrop, 1952*) alapul, amely szerint egyensúlyi körülmények között senki sem tudja csökkenteni utazásainak költségeit útvonala megváltoztatásával, tehát egy adott kiinduló és célpont között használt útvonalak költsége minimális és egyenlő egymással, míg a nem használt útvonalak költsége ennél nagyobb, vagy legjobban esetben is egyenlő ezzel.

A ráterhelési számításhoz használt költségek több összetevőből épülnek fel, ezért a helyes megnevezése általánosított utazási költség:

$$(2) \quad C_{car} = C_{VOC} + C_{time} + C_{toll}$$

ahol C_{car} általánosított gépjárműves utazási költség [Ft],

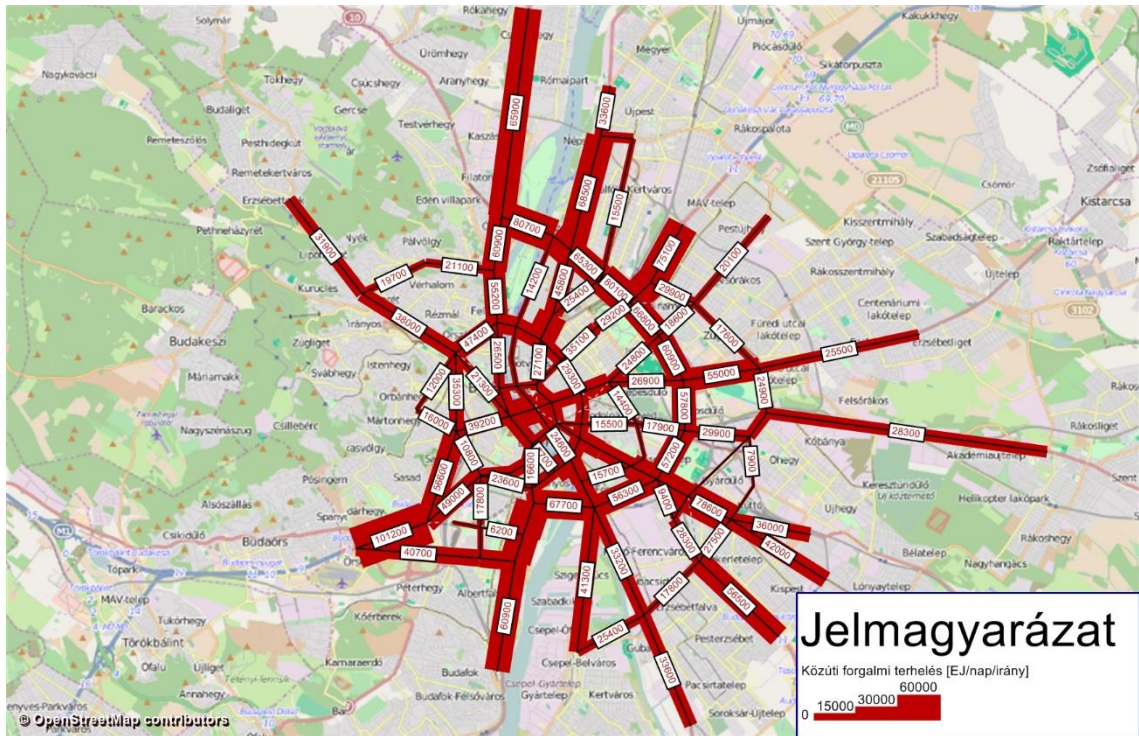
C_{VOC} a járműüzemhez kapcsolódó közvetlen költségek [Ft/km],

C_{time} az utazási időből származó költségelem [Ft/óra],

C_{toll} az alkalmazott útdíjból származó költségtétel [Ft].

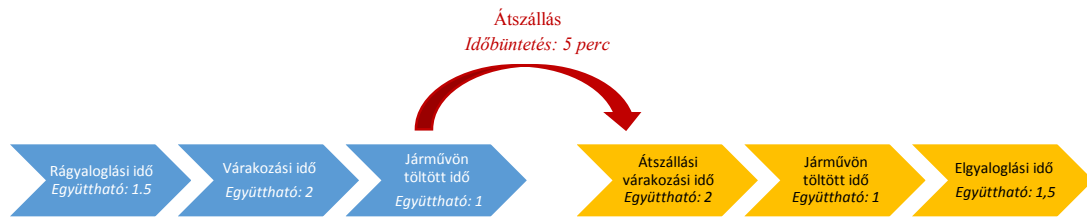
A C_{VOC} költségeket a NAV által a gépjárművek költségelszámolási lehetőségeinek alapvető szabályaiban előírt üzemanyagköltség + kilométerenként 9 Ft általános személygépkocsi-normaköltség alapján 35 Ft/km értékre becsültem. Az utazási idő értékét reprezentáló C_{time} tényezőt a Nemzeti Közlekedési Stratégia Összközlekedési

forgalmi modellje alapján 3000 Ft/óra értékben vettem figyelembe, a C_{tot} tényező pedig vizsgált scenárióként változik, alapesetben 0. A kiinduló és célkörzetekben alkalmazható parkolási költségeket az útválasztás modellezésekor elhanyagoltam.



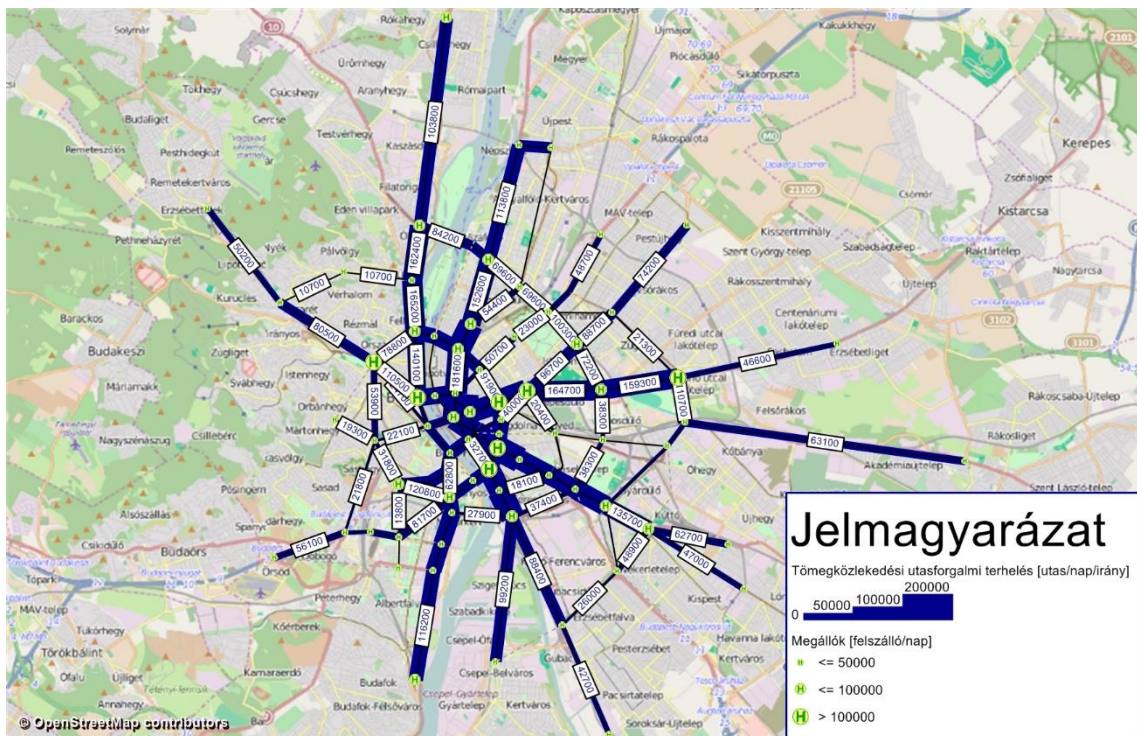
2. ábra: Közúti forgalmi terhelés alapállapotban
(forrás: saját szerkesztés)

A tömegközlekedési rendszer esetében követési időköz alapú ráterhelést alkalmaztam, amely a viszonylatok közötti átszállási időt az átlagos követési időkből számolja. Ez a budapestihez hasonló, sűrű követéssel működő városi hálózatok esetén megfelelő eredményt ad. Az eljárás első lépésben az érzékelt eljutási idők alapján útvonalkeresést hajt végre, a nem vonzó alternatívákat pedig törli. A megmaradt útvonalak között az utazások szétosztása diszkrét választási modell alapján történik. Az érzékelt eljutási idő az alábbi tényezők figyelembevételével épül fel:



3. ábra: Érzékelt eljutási idő elemei
(forrás: saját szerkesztés)

A ráterhelési eljárások bemeneteként használt igénymátrixok előállítására a tavalyi kutatás során gravitációs modell alapján megtörtént. Ezt tovább bővítettem a jelenlegi zónabeosztásra, majd egy kezdeti forgalommegosztási lépést végeztem, amelyben az egyes körzetek közötti megoszlásokat a körzetek típusa (védett területen belüli, védett területen kívüli, jelentős agglomerációs igényeket is magában foglaló) alapján vettem figyelembe.



4. ábra: Tömegközlekedési utasforgalmi terhelés alapállapotban
(forrás: saját szerkesztés)

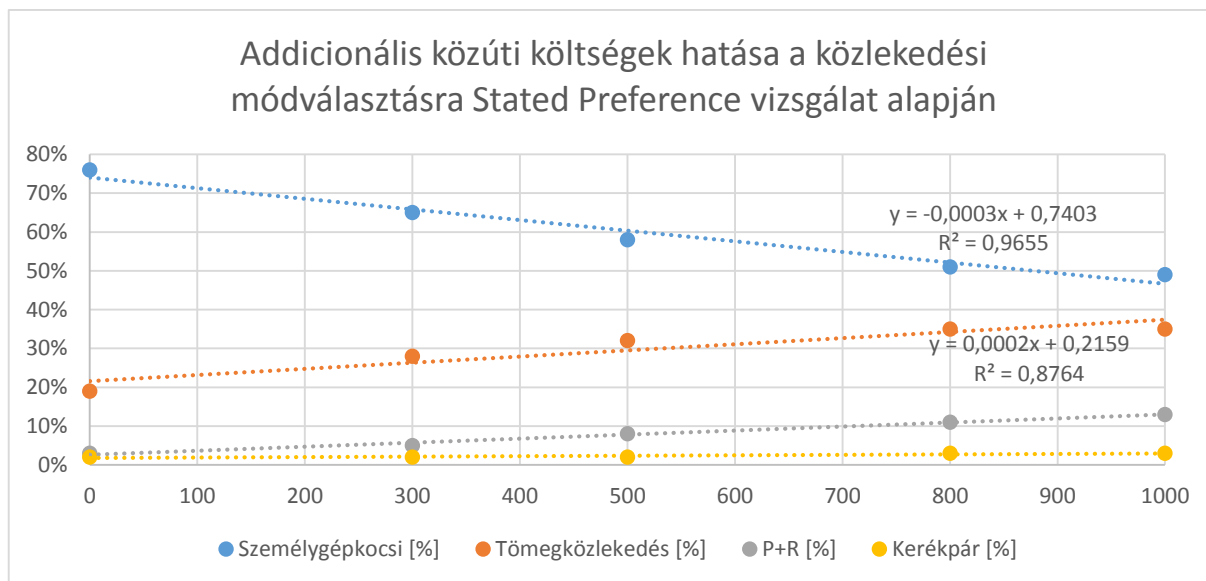
Ezt követően a Trenecon Kft. adatait felhasználva, a Visum szoftver TFlowFuzzy eljárásával kalibráltam a személygépjárműves és a tömegközlekedési igénymátrixokat. A gépjárműves mátrix esetében a kalibrálás nem okozott különösebb nehézséget, hiszen a

tavalyi kutatásból már rendelkezésemre álltak olyan adatok, amely a kalibrálás inputjainak jól megfeleltek, azonban a tömegközlekedési mátrix esetében már nagyobb eltéréseket kellett korrigálni.

2.2 Hatásmodell kialakítása

Az útdíjak hatásaira a felhasználók válaszreakciója az útvonalválasztás és a modal split módosulásában mutatkozik meg. A létrehozott modellben az általánosított utazási költség reprezentálja az ellenállást a felhasználók számára, amelybe a (2) egyenletben bemutatott módon már az útdíjak is jelen vannak. Az útvonalválasztás modellezését a ráterhelési eljárás végzi el, amelynek így bemenő adatként szükséges megadni az alkalmazott útdíj mértékét.

A módváltó utasok számszerűsítéséhez a Trenecon Kft. döntéselőkészítő tanulmányához elvégzett stated preference (SP) vizsgálatok eredményeit használtam fel. A felvételek során a kikérdezetteknek arra kellett választ adniuk, hogy meghatározott mértékű közlekedési költségnövekedés esetén milyen utazási módot választanának. Mivel a vizsgálatomban az utazókat alapvetően homogén csoportnak tekintettem, így a munkamotivált utazásokra vonatkozó eredményeket vettem alapul, melyeket az 5. ábra mutat be. Az általam alkalmazott modellben csak a személygépjárműves és a tömegközlekedési utazásokat vizsgáltam, ezért az egyéb módon utazókat az SP vizsgálat eredményeiből nem vettem figyelembe. Az eredményekre lineáris függvényeket illesztettem, amelyek megadták a felhasználók válaszreakcióját a költségek megváltozására.

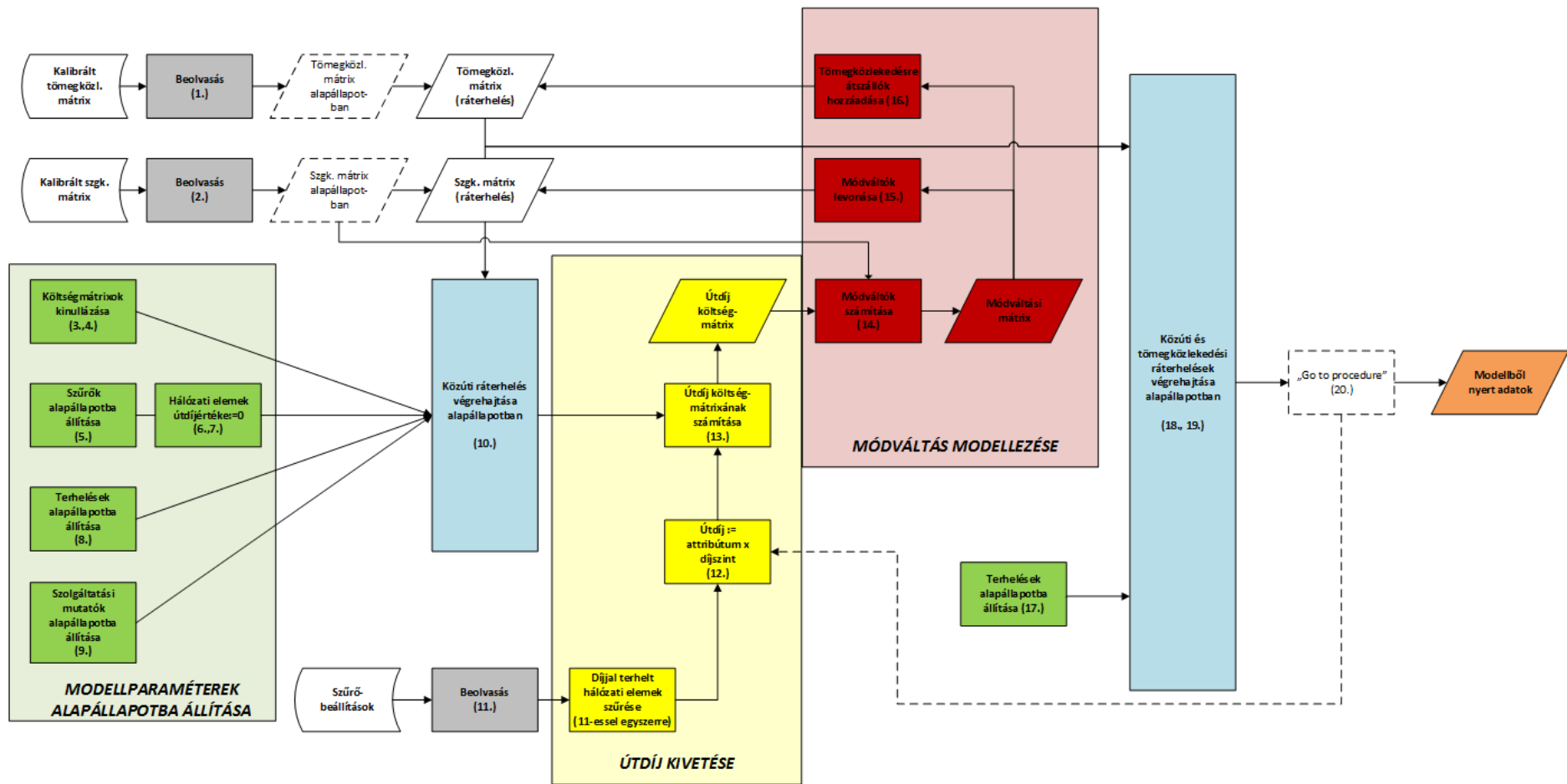


5. ábra: A módváltási modell alapjául szolgáló SP vizsgálat eredményei
(forrás: Trenecon COWI Kft. 2013-as tanulmánya alapján saját szerkesztés)

A modellfuttatások során használt eljárások felépülését a 6. ábraán szemléltetem. Az eljárások a már előre bekalibrált igénymátrixok beolvasásával indulnak, ezt követően pedig a modell paramétereinek alapállapotba állítása történik meg, hogy az esetleges korábbi futtatásokból számított értékek ne torzítsák a számítást. A helyes indulóparaméterek illetve mátrixok egy kezdeti közúti ráterhelés számára szolgáltatnak bemenő adatokat. Emellett megtörténik az útdíjas hálózati elemeken az útdíj kivetése is, így a modell a végrehajtott közúti terhelésből és az útdíjából már tudja számolni minden körzetpár között a felhasználók útdíjból eredő költségráfordításait.

A következő lépésben a fentebb megállapított (5. ábra) függvénykapcsolat és a modell által kiszámított útdíj mátrix figyelembevételével megtörténik a módváltók számítása, pontosabban az kerül számszerűsítésre, hogy mennyi személygépjármű kerül ki a forgalomból, ugyanis az egyéni közlekedési igénymátrix személygépjárművekre és nem pedig utasokra vonatkozik. 1,2 fő átlagos foglaltságot feltételezve már számolható a személygépkocsi-közlekedésről lemondó utasok száma is, akiknek az SP vizsgálatok alapján mintegy kétharmada száll át tömegközlekedésre, egyharmada más megoldást választ. A kiszámolt mennyiségekkel módosulnak a beolvasott, szoftver által tárolt igénymátrixok, amelyek aztán a közúti és tömegközlekedési ráterhelések bemenő adataiként szolgálnak. A ráterhelés végrehajtása előtt most is szükséges törölni a korábban az alapállapotra elvégzett terhelés eredményeit, a torzítások elkerülése végett.

A forgalomtól függő (időalapú, torlódásban töltött idő alapú) útdíjak esetében iterációra van szükség, melyet a 20. lépésként jelölt ún. „Go to procedure” eljárás valósít meg. Ezen díjstratégiák esetében a kezdeti lépésben kiszámolt útdíj a modal split módosulása és a forgalmak átrendeződése után útszakaszonként módosulni fog, hiszen a forgalom függvényében változik az eljutási idő és a torlódásban töltött idő is, amelyek a díjszámítás alapjait képezik, ezért szükséges az iteráció, és a visszacsatolás az útdíj számításának folyamatához. Ezt követően az összes többi eljárás újra lefut.



6. ábra: A modellezés során alkalmazott eljárások rendszere
(forrás: saját szerkesztés)

Az iteráció befejeződik, ha az eljárás elérte az előre definiált iterációs számot (esetünkben 5), vagy már nem teljesül legalább egy útszakaszra a következő feltétel:

$$(3) \quad |X(n) - X(n - 1)| > \text{MIN}(0,01 * \text{MAX}(X(n), X(n - 1)) + 5, 10)$$

ahol $X(n)$ és $X(n-1)$ a vizsgált attribútum (esetünkben forgalomnagyság) n -edik, illetve $n-1$ -edik állapotban vett értékei.

Az ábrán a szaggatottal jelölt elemek kizárólag a forgalomtól függő útdíjak számításakor szükségesek, a többi esetben nem szerepelnek. Az 1. és 2. lépés eredményeképp előálló „Tömegközl./Szgk. mátrix alapállapotban” kordonos és távolságalapú útdíj modellezése esetén megegyezik „Tömegközl./Szgk. mátrix (ráterhelés)” elnevezésű mátrixszal, azonban az iterációs lépések során szükséges megtartani a kezdeti lépésben beolvasott igénymátrixok eredeti, módváltási értékekkel még nem módosított értékeit is, ugyanis az iterációs lépések során a módváltók mindig ebből mátrixból számíthatók.

3 A modell kiértékelése

3.1 Szenáriók kialakítása

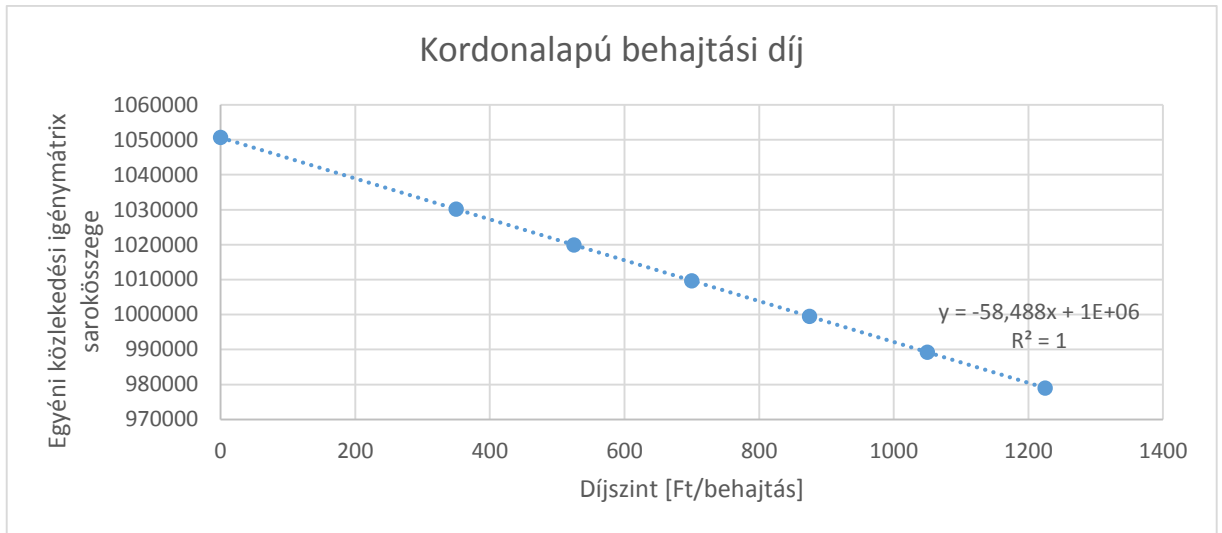
A vizsgálat végrehajtásának egyik első lépése a díjszintek rendelése a különböző díjrendszerekhez. Azonban mint az a dimenziókból (1. táblázat) is jól látszik, az egyes stratégiák díjszintjei önmagukban nem összehasonlíthatók, hiszen különböző dimenzióval rendelkeznek, így egységnyi behajtási díj nem ekvivalens egységnyi távolságalapú vagy időalapú díjjal. Célszerűnek tartottam azonban, hogy a modell egyes szenáriói egymással összefüggésben álljanak, így a problémát kezelni kellett.

Az összehasonlíthatóságot a díjaknak a közlekedési rendszer egyes jellemzőire gyakorolt hatásai alapján vehetjük figyelembe, így számos lehetőség kínálkozott, melyek közül én a teljes egyéni közlekedési igénymátrixra gyakorolt hatást vizsgáltam. Ugyanakkor a díjszintek meghatározása történhetett volna például meghatározott bevételi szinthez, kiválasztott szakaszok vagy területek forgalomnagyságához, eljutási sebességek változásához, vagy akár más paraméterhez igazítva is, azonban az igénymátrix módosulása jó választásnak tűnt, ugyanis a díj növelésével biztos, hogy szigorúan monoton csökkenni fog a mátrix sarokösszegének értéke, amelyre így jó függvénykapcsolat határozható meg. (Míg például a bevétel esetén a növekedés nem evidens, túl nagy díjak esetén senki sem lesz hajlandó megfizetni azokat).

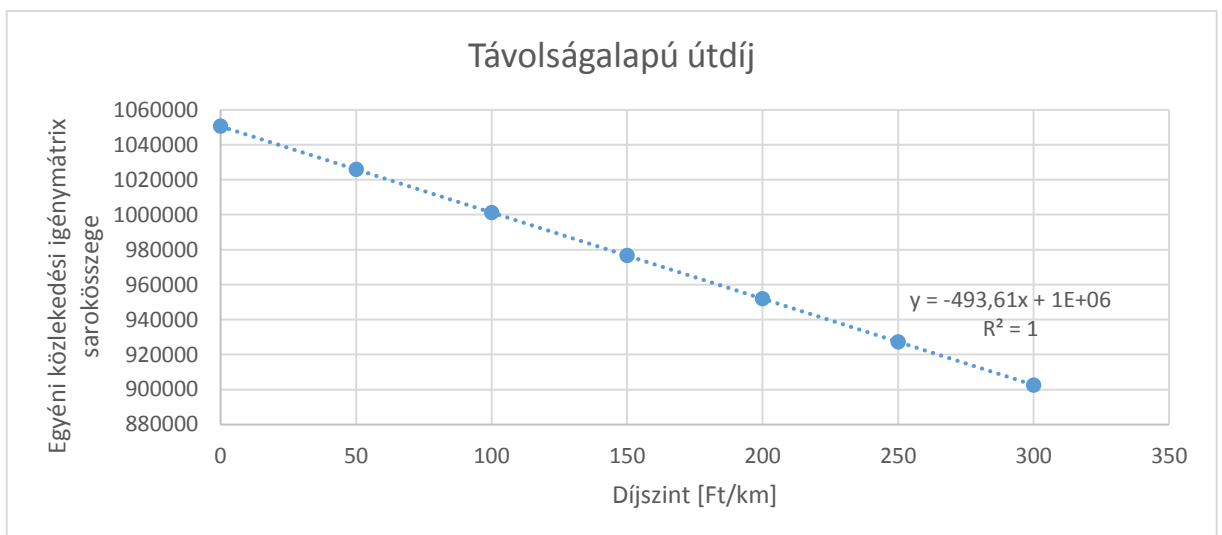
Már a vizsgálat ezen szakaszában, a szenáriók előszűrése során nyilvánvalóvá vált, hogy a torlódási időtöbblet alapú díjstratégia modellezése bár megvalósítható, értékelése mégis igen problémás, ugyanis a felhasználók válaszreakciójának eredményeképp előálló forgalmi terhelések nem mutatnak stabil eredményeket. A problémát bővebben a 3.2.3. fejezetben részletezem, itt azonban szükséges megemlíteni, hogy a szóban forgó rendszert az említett okok miatt a többitől külön vizsgáltam, így az összehasonlításba sem vontam be.

Az igénymátrixra gyakorolt hatás vizsgálatához tetszőlegesen kiválasztott díjtételek beállításával futtattam a modelleket, a lefutás után pedig rögzítettem a közúti mátrix sarokösszegét. Az eredményekre függvényt illesztettem, amelyek alapján

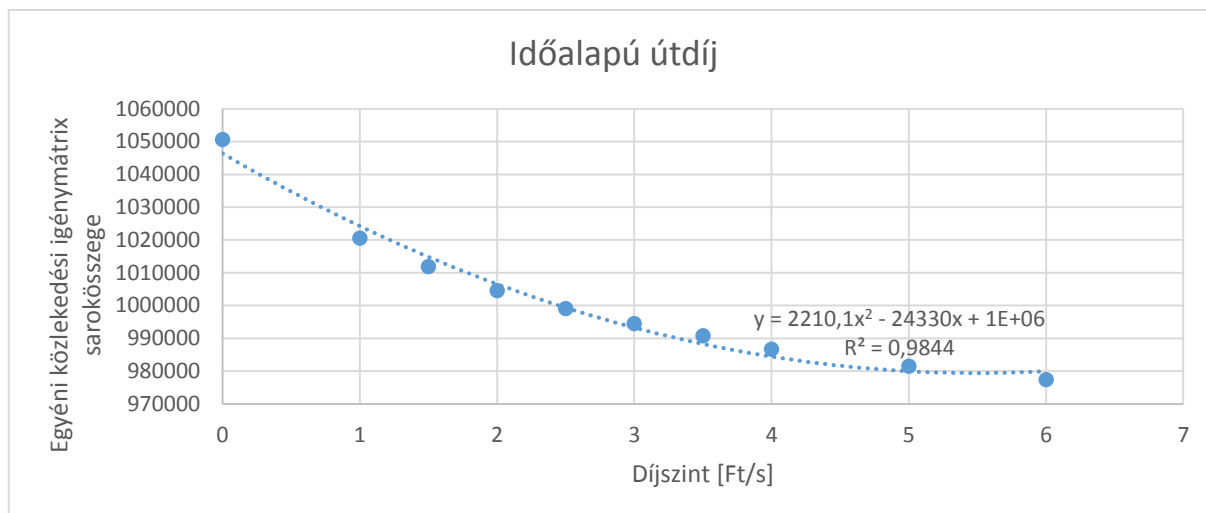
meghatároztam, hogy a mátrix sarokösszegének 1%-os megváltozásához különböző díjstratégiák mekkora díjszint szükséges. Az eredményeket az 7. ábra 8. ábra és 9. ábra mutatják be.



7. ábra: Kordonalapú díjak hatása az egyéni közlekedési mátrixra
(forrás: saját szerkesztés)



8. ábra: Távolságalapú díjak hatása az egyéni közlekedési mátrixra
(forrás: saját szerkesztés)



9. ábra: Időalapú díjak hatása az egyéni közlekedési mátrixra
(forrás: saját szerkesztés)

Látható, hogy a statikus kordonos és távolságalapú díjak függvénye lineáris, míg a dinamikus időalapú díj alkalmazásakor polinomfüggvény írja le legjobban a változásokat. Utóbbi rendszer esetén (a torlódási időtöbblet alapúhoz hasonlóan, ám annál kisebb és kezelhetőbb mértékben) is fennáll némi bizonytalanság, ugyanis a modellfuttatás során az alkalmazott iterációs lépések számától függően változó eredményeket adott a modell.

A közelítésre alkalmazott polinomfüggvénynek 5,504 Ft/s értéknél globális minimuma van, ebből fakadóan ennél nagyobb értékek esetén a függvény szerint az útdíjjal büntetett igénymátrix sarokösszege növekedésnek indulna. Ez természetesen nem reális, azonban ennél magasabb díjszint nagy valószínűséggel már a valóságban sem lenne értelmezhető, ugyanis számos relációban utazásonként 2000 forint feletti útdíj megfizetése lenne szükséges, amely túlmutat az ésszerű határon, gyakorlatilag tiltásként fogható fel. Ennek eredményeképp megállapítható, hogy a függvény a vizsgálat tartományában megfelelően alkalmazható.

Az előzetes vizsgálatot követően a részletes vizsgálatba bevont scenáriók díjszintjeit az igénymátrix 2, 4 és 6%-os csökkenéséhez igazítottam, amelyeket az alábbi táblázat mutat be részletesen.

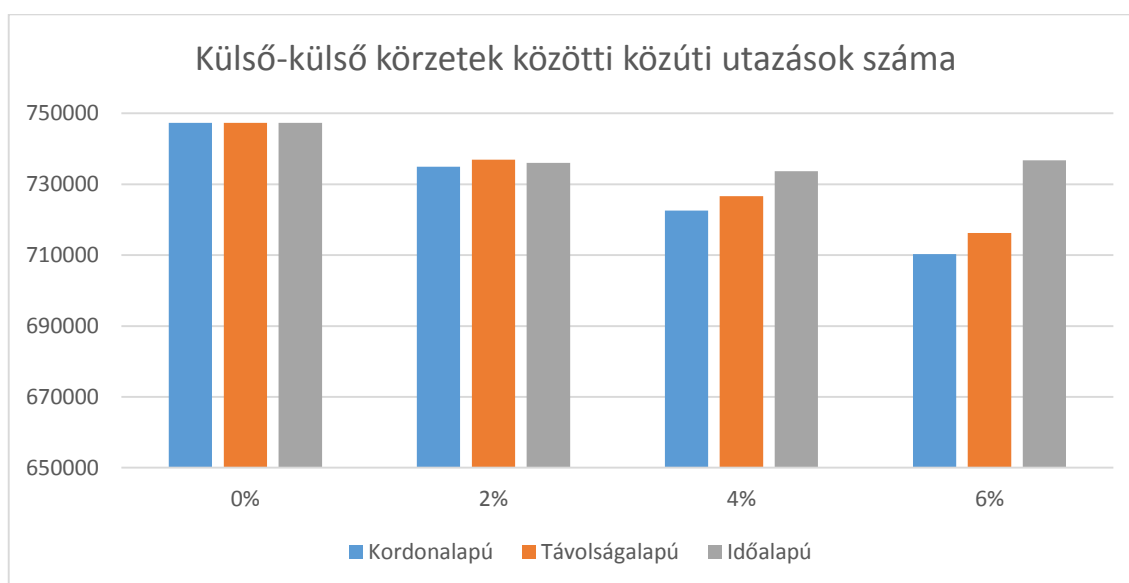
2. táblázat: Részletes vizsgálatba bevont scenáriók
(forrás: saját szerkesztés)

	Kordonalapú díj [Ft/behajtás]	Távolságalapú díj [Ft/km]	Időalapú díj [Ft/s]
Útdíj nélküli eset	0	0	0
2%-os csökkenés	359,259	42,569	0,945
4%-os csökkenés	718,518	85,137	2,145
6%-os csökkenés	1077,777	127,706	4,172

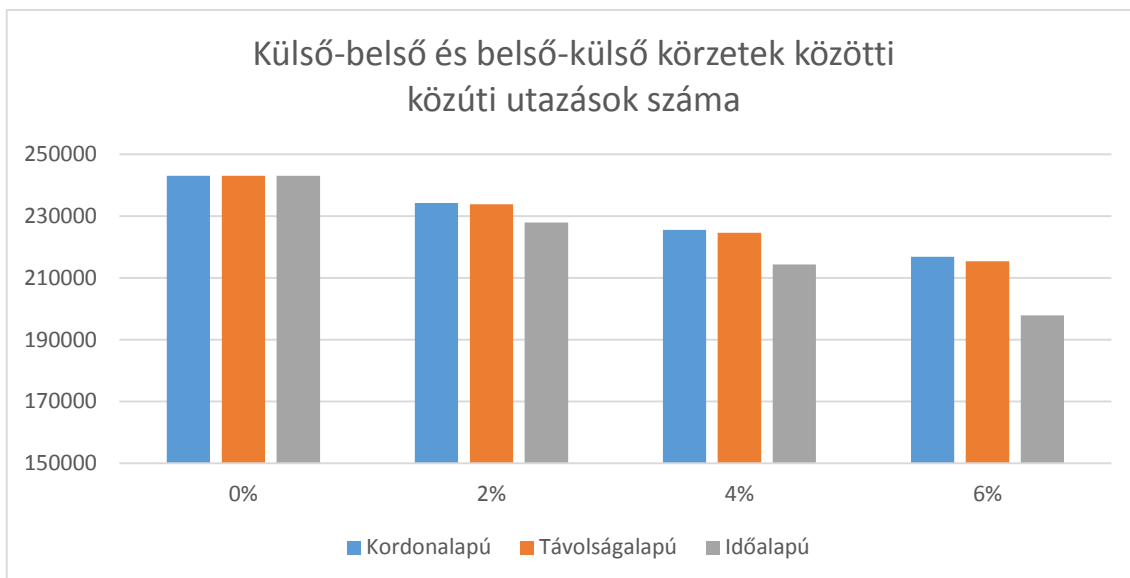
3.2 Eredmények értékelése

3.2.1 Közúti szegmens értékelése

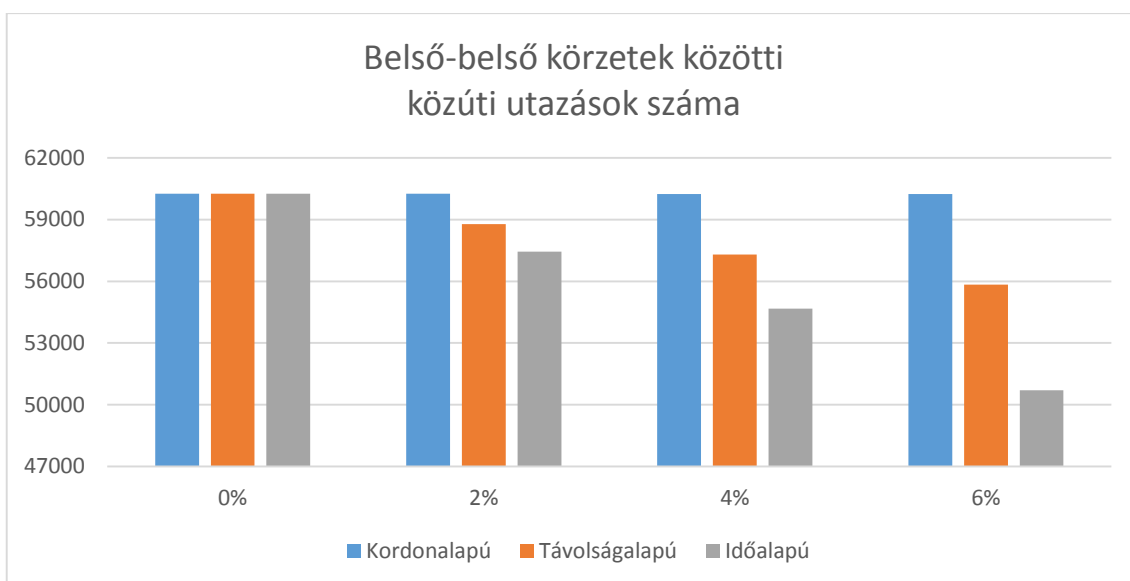
A rendszerben az összes közúti közlekedési igény a vizsgált változatok esetében nem mutat eltérést, hiszen az egyes scenáriókat ennek változásából levezetve definiáltuk, a közúti igények 2, 4 és 6 százalékos csökkenéséhez igazítva. Ugyanakkor az igényeket alábontva már megfigyelhető némi eltérés, amely főként a díjstruktúrák eltérő működési mechanizmusából fakad (pl. a kordonos rendszer nem bünteti a tisztán belső utazásokat, míg a többi rendszer igen). Az eredményeket az alábbi ábrák mutatják be.



10. ábra: Külső-külső körzetek közötti közúti utazási igények alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

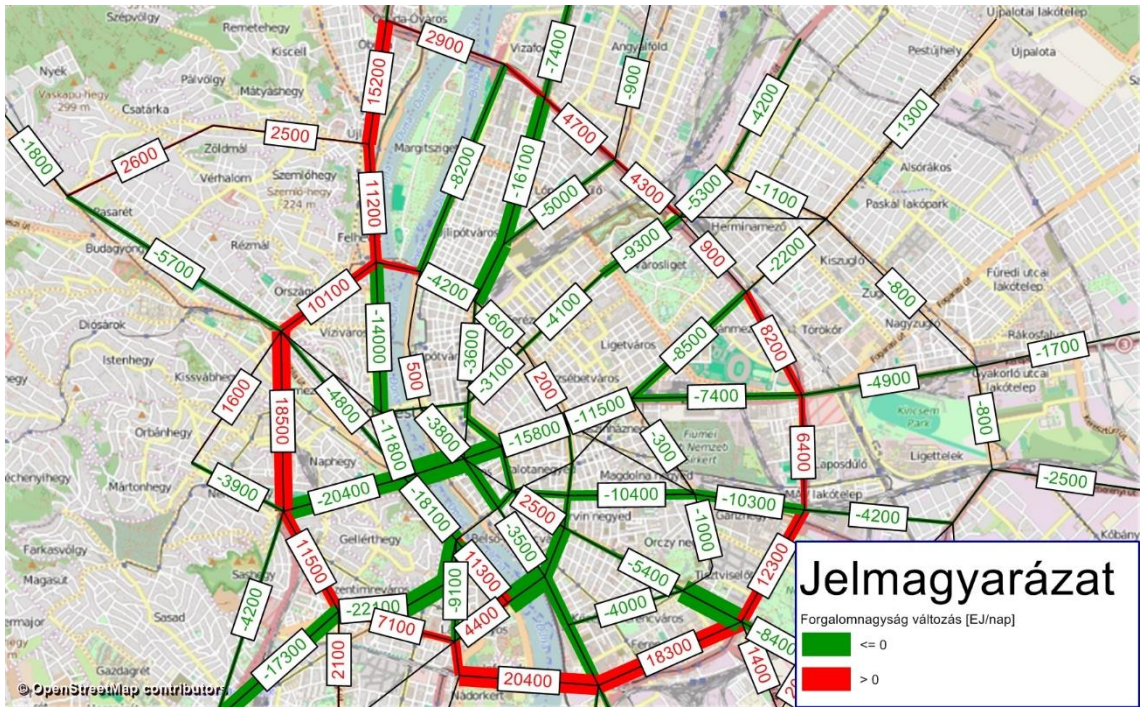


11. ábra: Külső-belső és belső-külső körzetek közötti közúti utazási igények alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

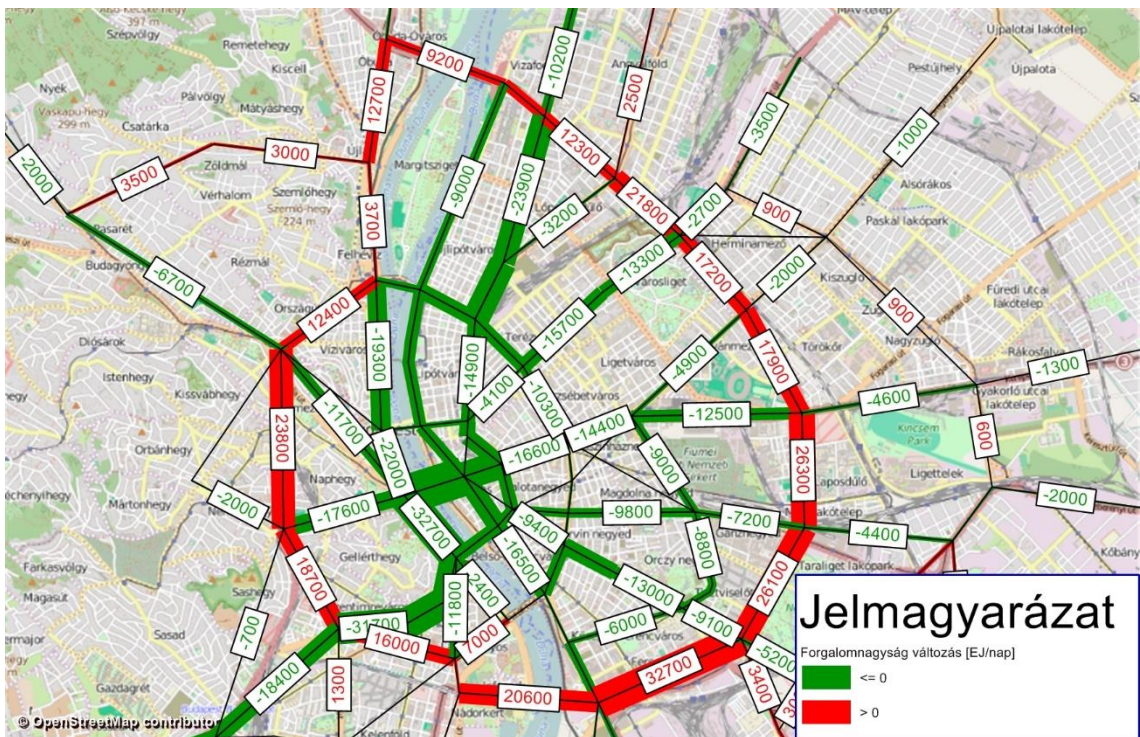


12. ábra: Belső-belső körzetek közötti közúti utazási igények alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

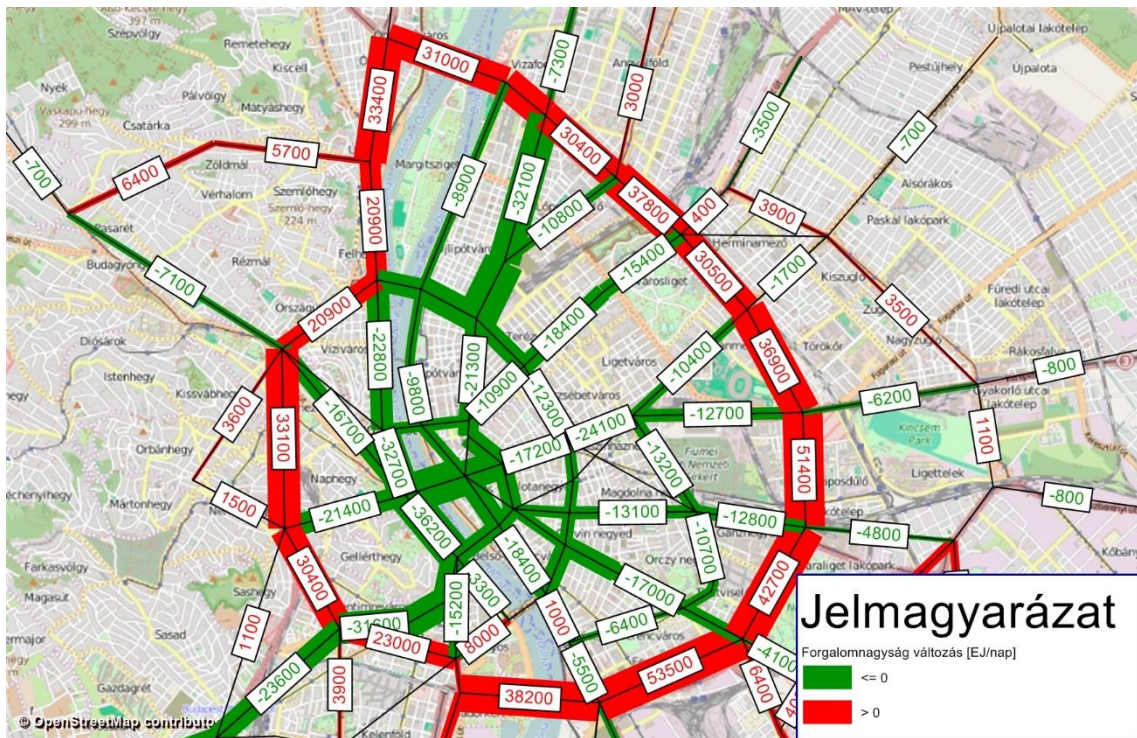
A forgalmi átrendeződés mértékét legjobban a különbségábrák szemléltetik, amelyeken a három díjstratégiát a legmagasabb díjszinten hasonlítottam össze a díj nélküli esettel. Egyértelműen látszik, hogy az időalapú díjazás a fizetős területet határoló körgyűrűkre igen jelentős mértékű többletforgalmat terhel.



13. ábra: Forgalomnagyság változása kordonalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)

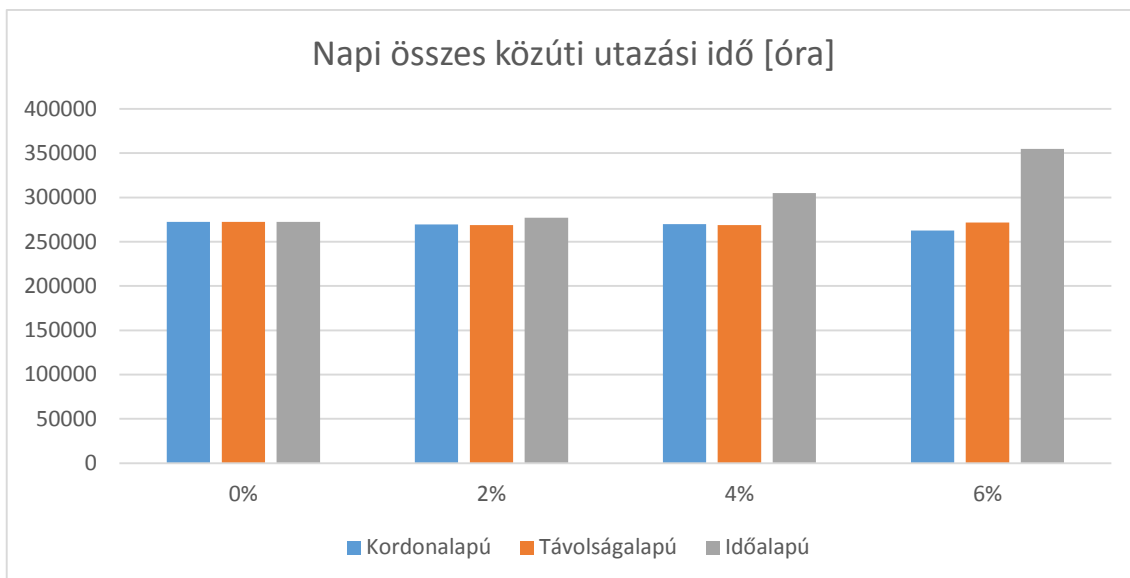


14. ábra: Forgalomnagyság változása távolságalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)



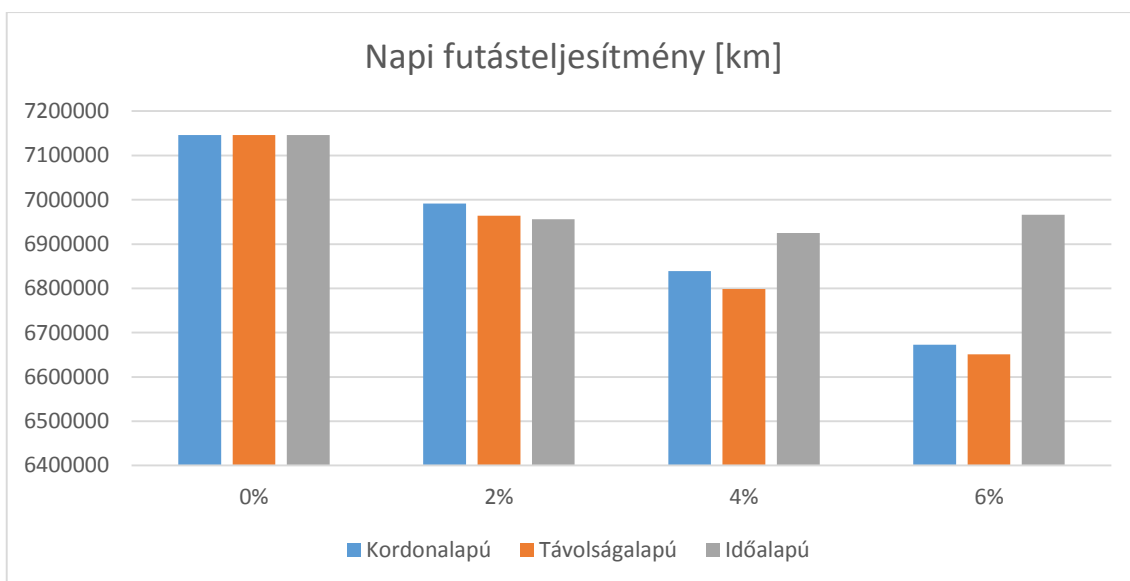
15. ábra: Forgalm nagyság változása időalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
 (forrás: saját szerkesztés)

A 16. ábra alapján megállapítható, hogy a teljes rendszerre nézve a kordonalapú és távolságalapú díjak nem hoznak szignifikáns változást az utazási idők értékében, azonban időalapú díjazás esetén jelentős a növekedés. Mindez annak ellenére történik, hogy az összes utazási időt a késési idők mellett az utazási igények is befolyásolják, amelynek 6%-os csökkenése mellett mutatja a legerősebb növekedést a vizsgált tulajdonság. Egyértelmű tehát, hogy a védett területen kívülre terelődő forgalom egyrészt igen nagy kerülőt vállal be a díjak elkerüléséhez (lásd 18. ábra), másrészt az itt megjelenő forgalom fennakadásokat okoz, ez pedig a forgalom lassulását eredményezi (lásd 22. ábra).



16. ábra: Napi összes közúti utazási idő alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

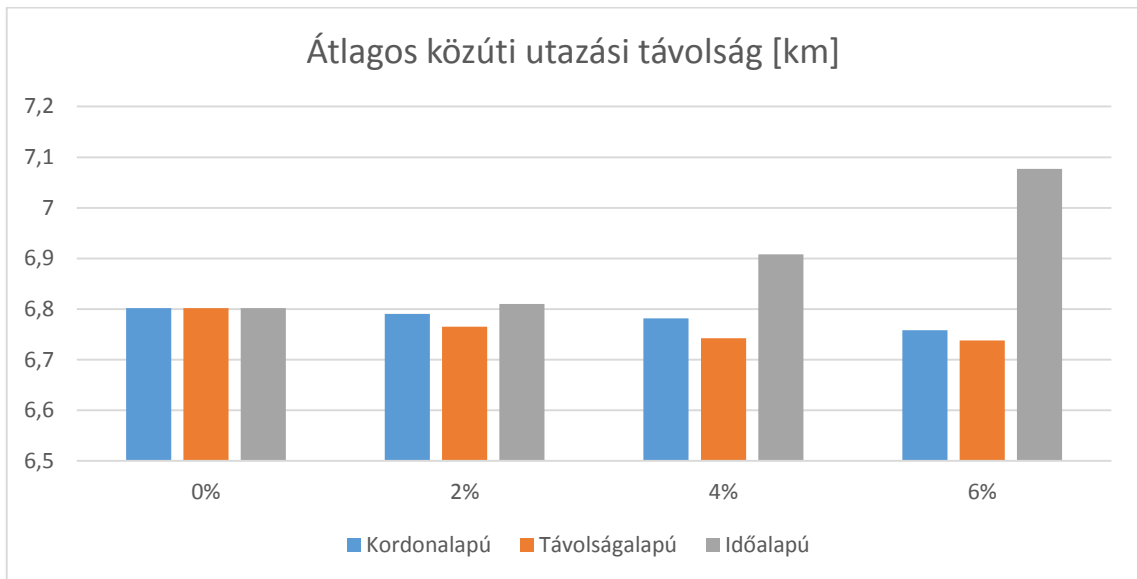
A teljes hálózaton megfigyelt napi futásteljesítmény a díjszint növekedésével egyre csökken, kivéve időalapú díjazás esetén, ahol a legmagasabb díjszint esetén az előzőhöz képest némi növekedést tapasztalhatunk.



17. ábra: Napi futásteljesítmény alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

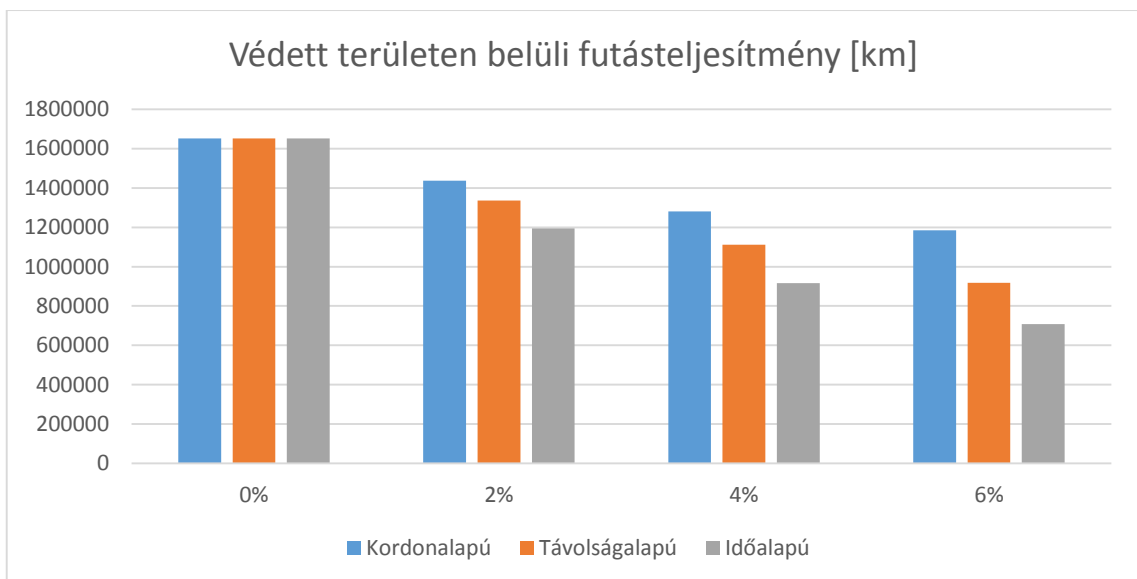
Ennek megértéséhez szintén érdemes megvizsgálni az átlagos utazási távolság alakulását a személygépjármű használók körében, melyet a következő ábra mutat be. Ezen látható, hogy míg kordonalapú és távolságalapú díjazás esetén az utazási távolság folyamatosan

csökken, addig időalapú díjazás egyre hosszabb utazásokat generál, kisebb díjszintek esetén is csak az igények erőteljes csökkenése miatt lesz jelen kevesebb futásteljesítmény.

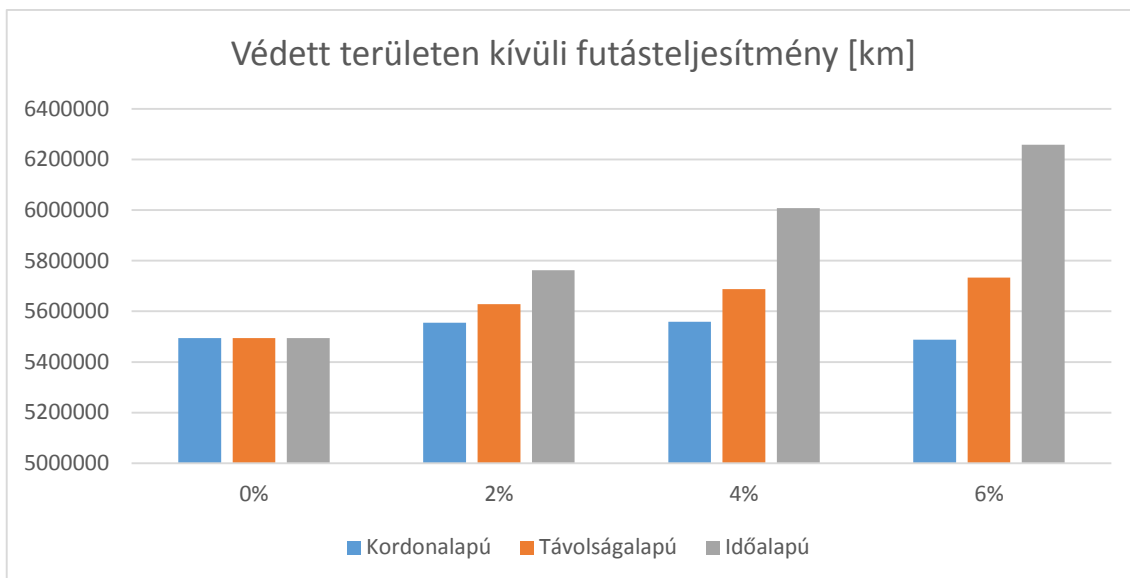


18. ábra: Átlagos közúti utazási távolság alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

A belső területen a személygépjárműves futásteljesítmény minden díjstratégia esetén csökken, ebben a tekintetben az időalapú rendszer teljesít legjobban, amely ugyanakkor a külső részeken messze a legmagasabb futásteljesítményt eredményezi. Az eredményeket a 19. ábra és 20. ábra mutatják be.

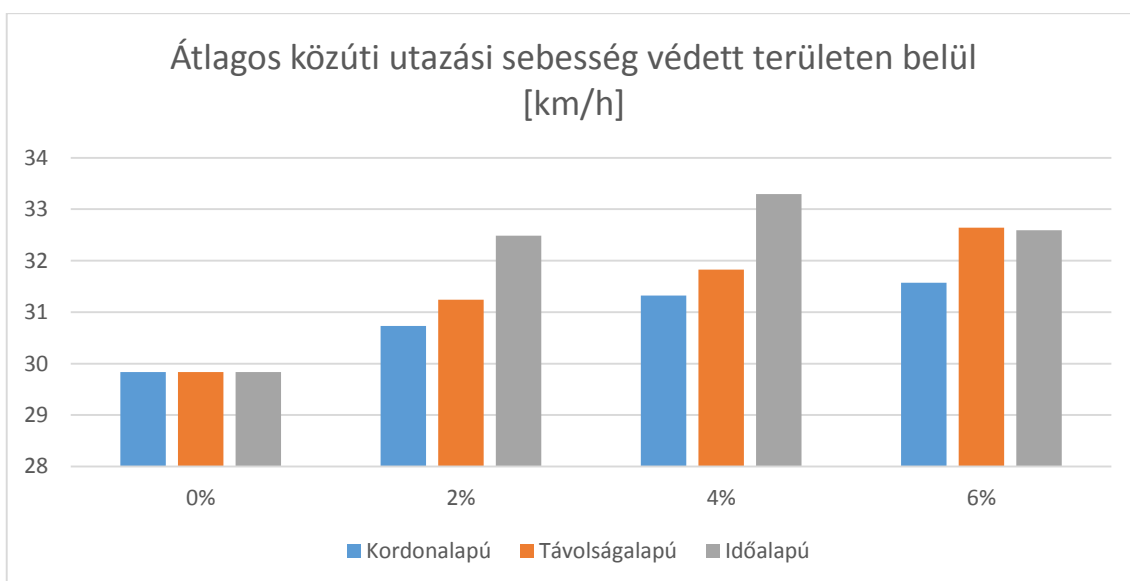


19. ábra: Futásteljesítmény alakulása (védett terület)
(forrás: saját szerkesztés)

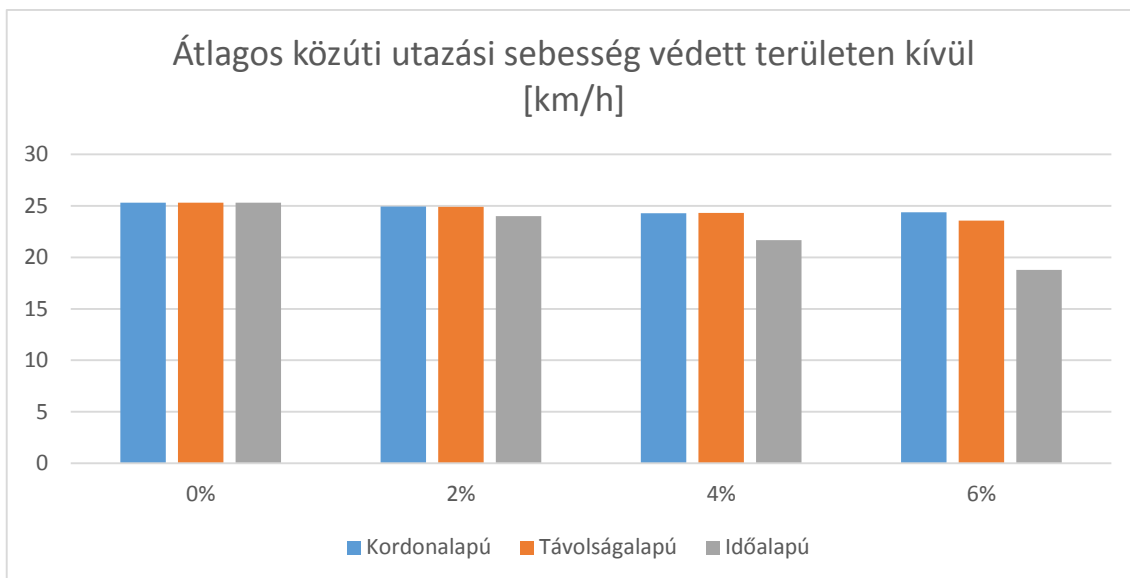


20. ábra: Futásteljesítmény alakulása (külső terület)
(forrás: saját szerkesztés)

Az átlagos utazási sebesség tekintetében a várakozásnak megfelelően az útdíjak a belső területen javulást hoznak. Az időalapú útdíj az első két díjszinten a legjobb teljesít, a 6%-os scenárió esetében azonban már némi visszaesés mutatkozik, és a távolságalapú díjstruktúra hozza a legjobb mutatót. A külső területek vizsgálatánál az időalapú rendszer igen rosszul teljesít, a sebesség közel 25%-ot esik vissza a legmagasabb díjszint esetében, míg a többi rendszer esetében viszonylag mérsékelt a változás. Az eredményeket a 21. ábra és 22. ábra mutatják be.

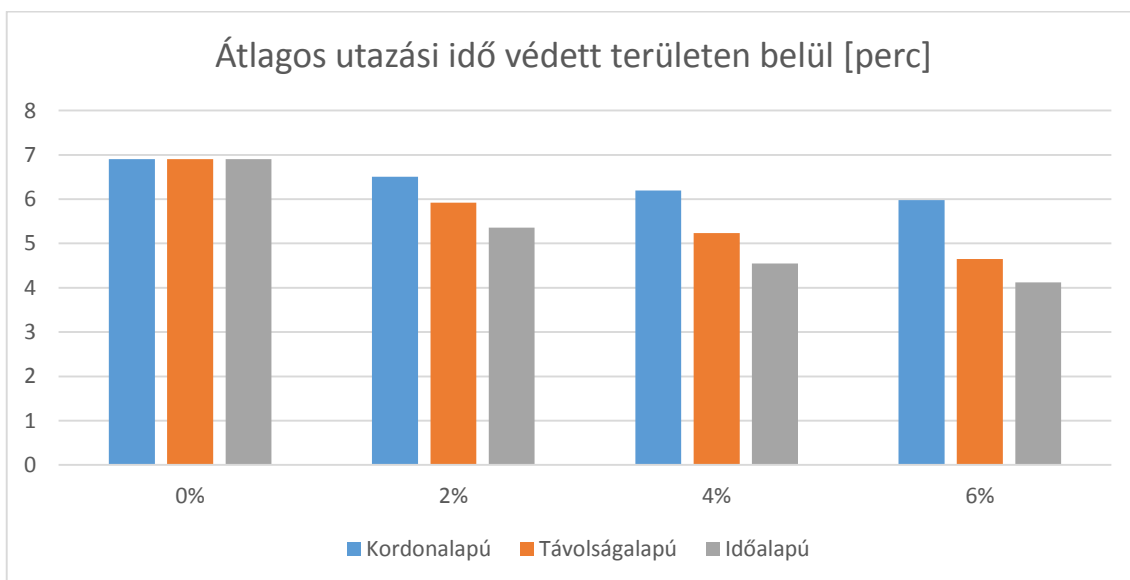


21. ábra: Átlagos közúti utazási sebesség alakulása (védett terület)
(forrás: saját szerkesztés)

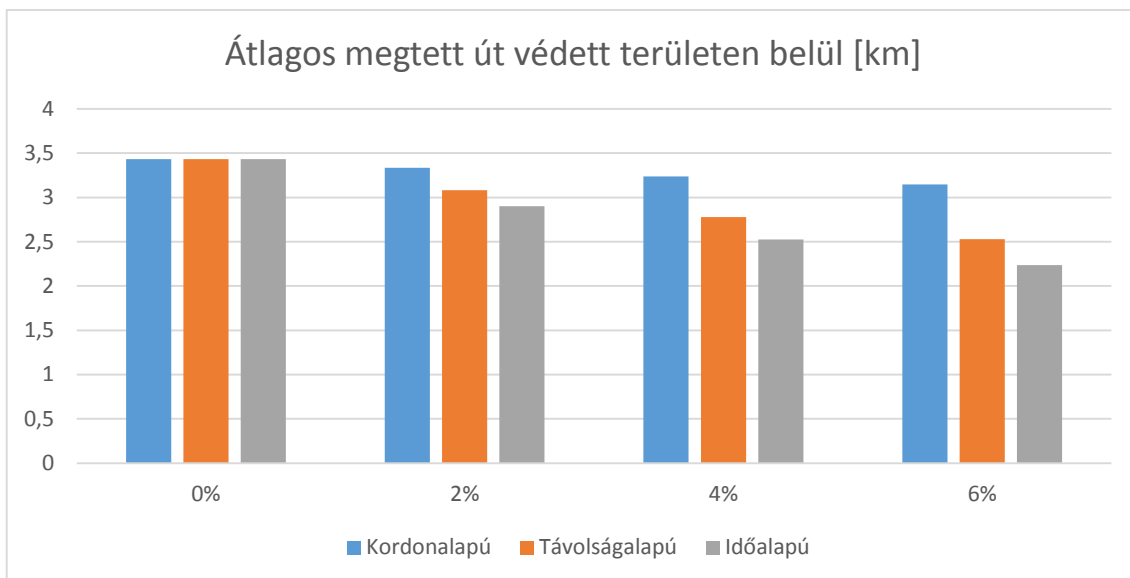


22. ábra: Átlagos közúti utazási sebesség alakulása (külső terület)
(forrás: saját szerkesztés)

A belső területen az átlagos utazási idő hosszát legjobban az időalapú díjazás csökkenti. Ugyanez igaz az átlagos megtett útra is, habár az előzetes várakozás szerint itt inkább a távolságalapú díjnak kellett volna legjobban teljesíteni, az eredmények azonban mégsem ezt igazolják. A kordonalapú díjazás hatása a vizsgált paraméterekre igen mérsékelt, mivel a felhasználók számára a fizetendő díj fix, független az utazás jellemzőitől.

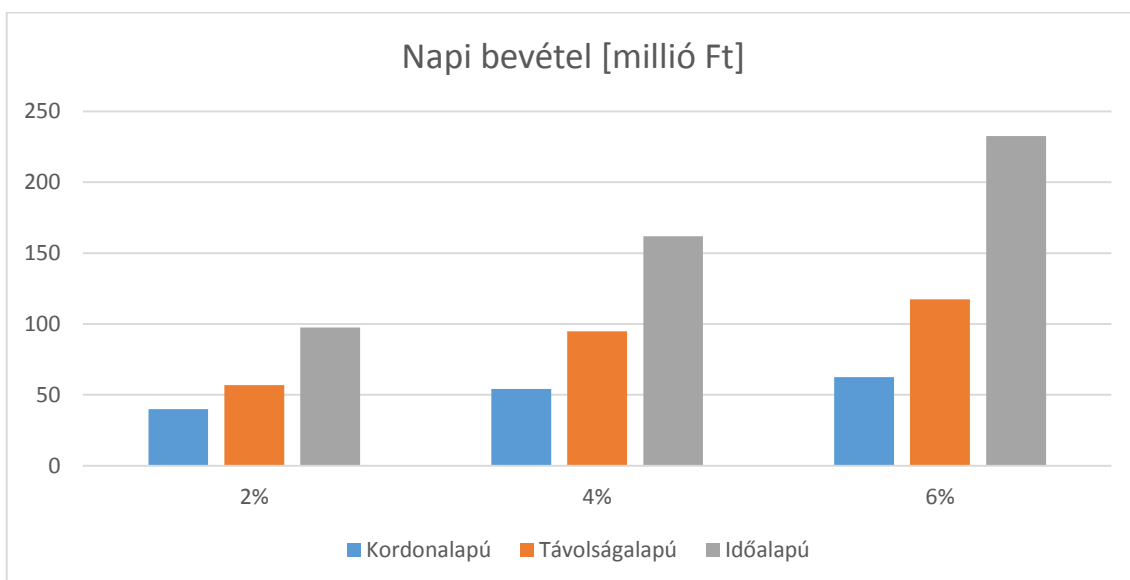


23. ábra: Átlagos utazási idő alakulása a belső területen
(forrás: saját szerkesztés)



24. ábra: Átlagos megtett út alakulása a belső területen
(forrás: saját szerkesztés)

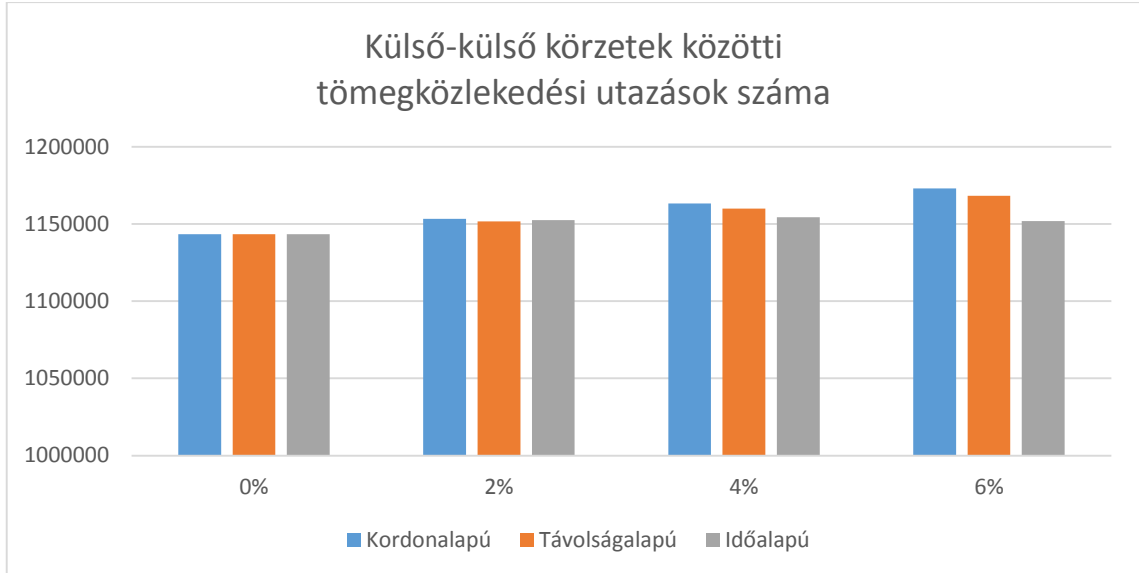
A forgalmi jellemzőkön túl a modell segítségével vizsgálható a bevétel változása is. Ebben szintén az időalapú díjszedés mutatja a legdinamikusabb változásokat, míg a kordonalapú rendszer esetén a változás igen mérsékelt, a távolságalapú a kettő között helyezkedik el.



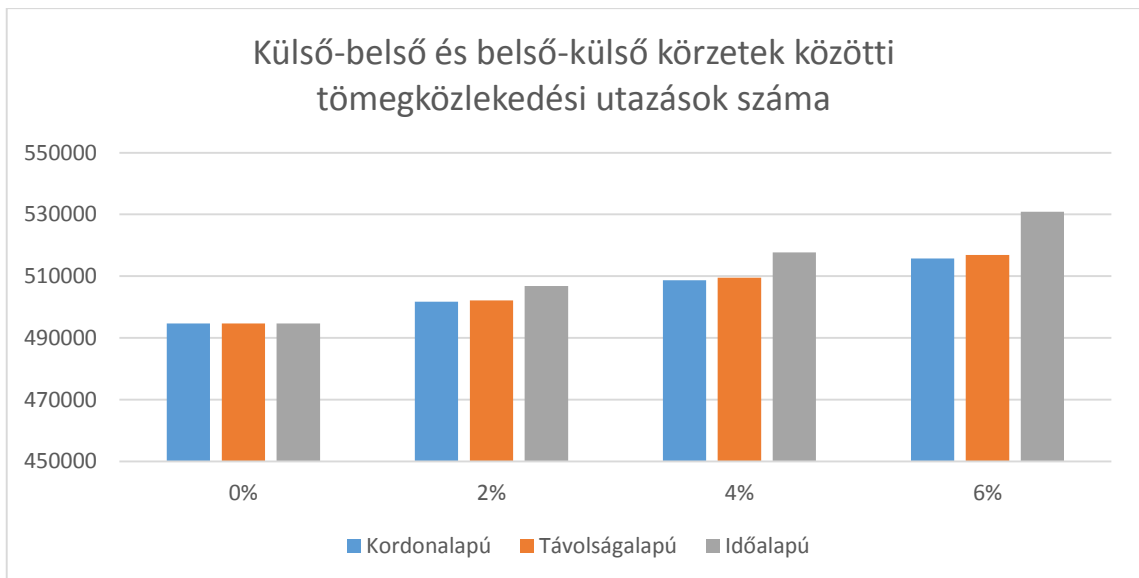
25. ábra: Napi bevétel alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

3.2.2 Tömegközlekedési szegmens értékelése

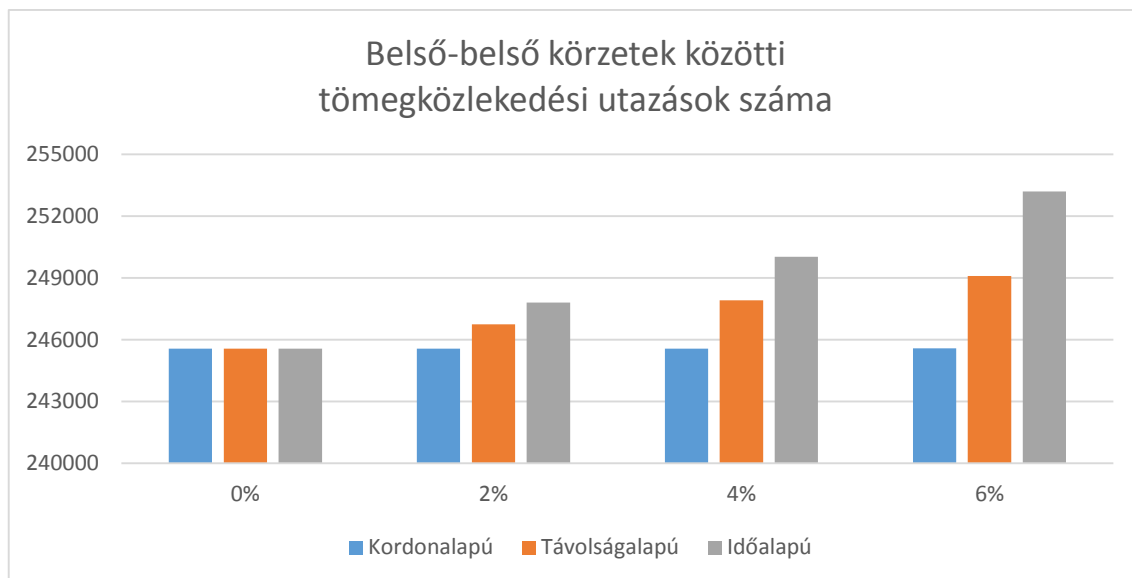
A tömegközlekedési igények alakulása – a várakozásoknak megfelelően – a közúti igényekkel ellentétes képet mutat, amelyet az alábbi ábrák mutatnak be.



26. ábra: Külső-külső körzetek közötti tömegközlekedési utazási igények alakulása (forrás: saját szerkesztés)

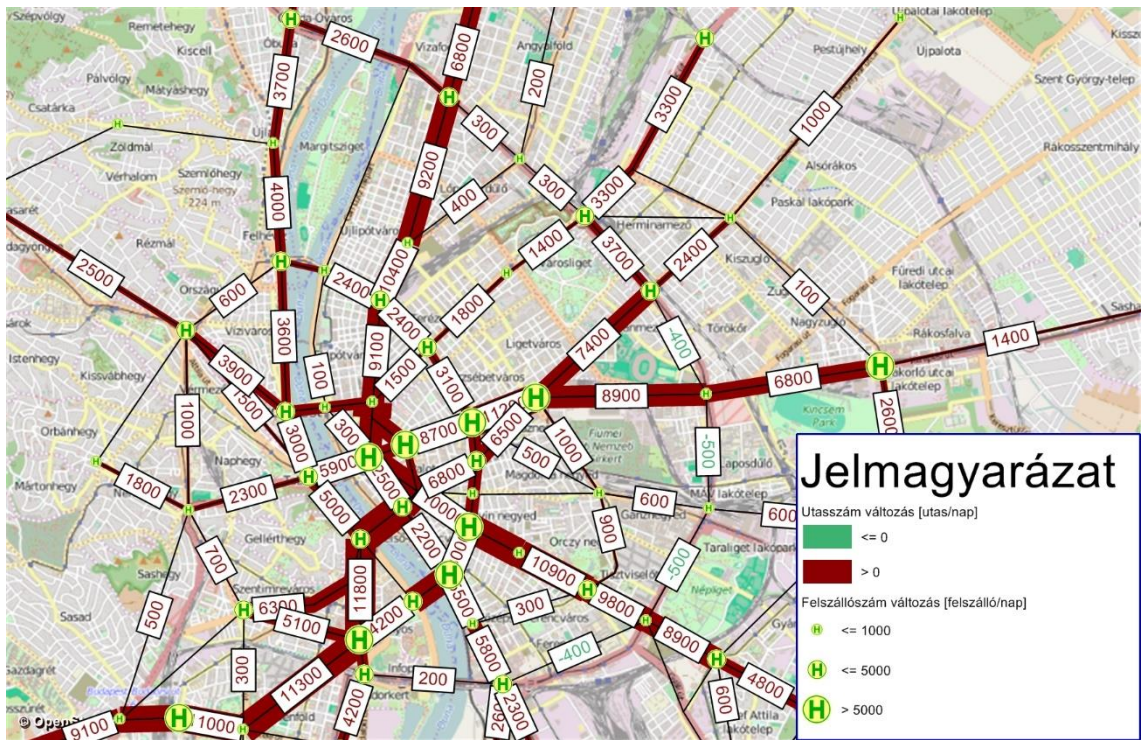


27. ábra: Külső-belső és belső-külső körzetek közötti tömegközlekedési utazási igények alakulása (forrás: saját szerkesztés)

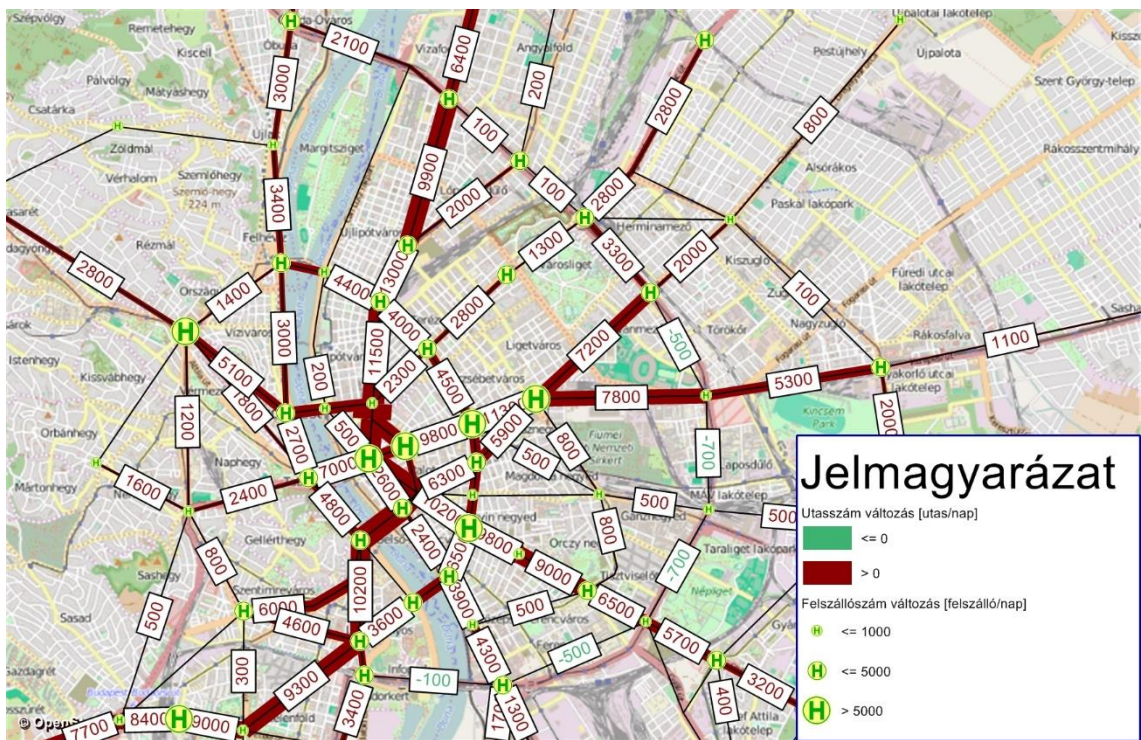


28. ábra: Belső-belső körzetek közötti tömegközlekedési utazási igények alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

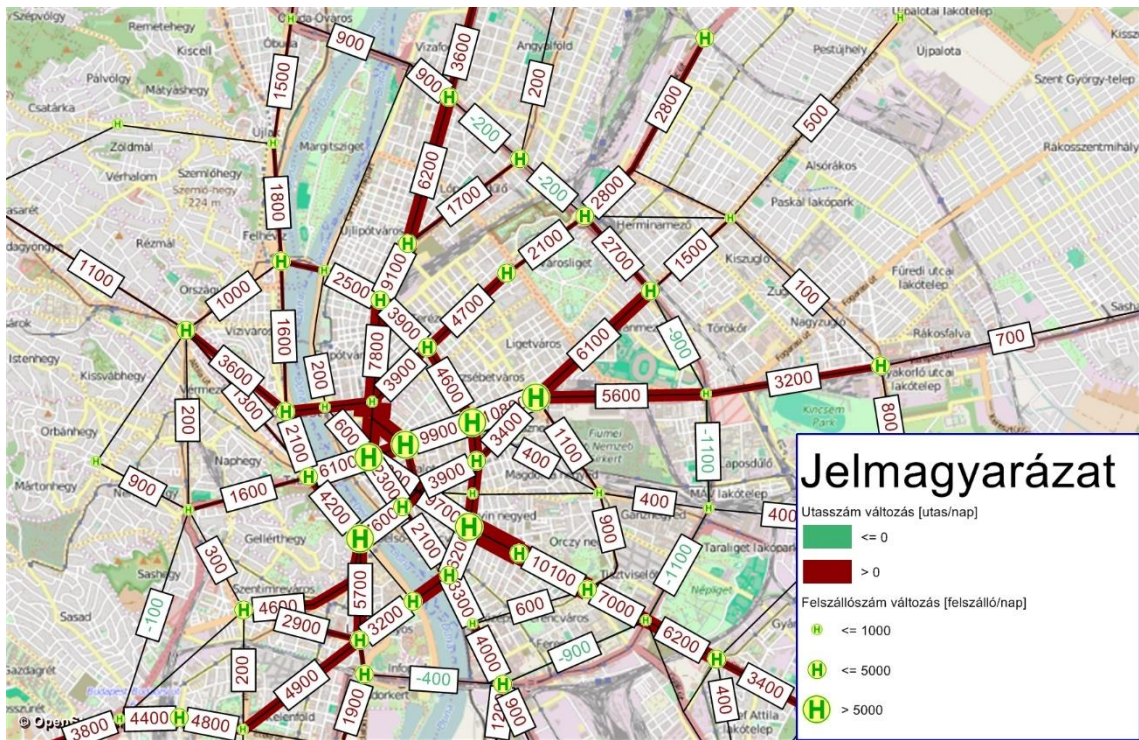
A következő különbségábrák a tömegközlekedési rendszer utasszámainak és felszállószámainak változását tükrözik az egyes scenáriók függvényében. Feltűnhet, hogy korábban szinte mindenhol az időalapú útdíj mellett történtek a legdrasztikusabb változások, az alábbi ábrák pedig ennek mintha ellent mondanának. A sugárirányú elemeken a látványosan a kordonalapú rendszer hozza a legnagyobb változást az utasforgalomban. Ennek oka valószínűleg abban keresendő, hogy a scenáriók meghatározásánál a személygépjárműves igénymátrixok fix változásával (2, 4 és 6 százalék) számoltunk, ebből fakadóan a módváltási modell is fix értékekkel növeli meg a tömegközlekedési mátrixot. Ugyanakkor a kordonalapú rendszer a többivel ellentétben a belső-belső igényszegmensre nincs hatással, kizárólag a kordonvonalat egyszeresen (külső-belső és belső-külső) illetve kétszeresen (külső-külső utazók belvároson átmenő részhalmaza) átlépő utazókat bünteti. Ebből fakadóan a sugárirányú tömegközlekedési vonalakon koncentráltabban jelenik meg a többlet utasforgalom, szemben a többi díjstratégiával, ahol területileg jobban eloszlik.



29. ábra: Utasszám és felszállószám változása kordonalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)

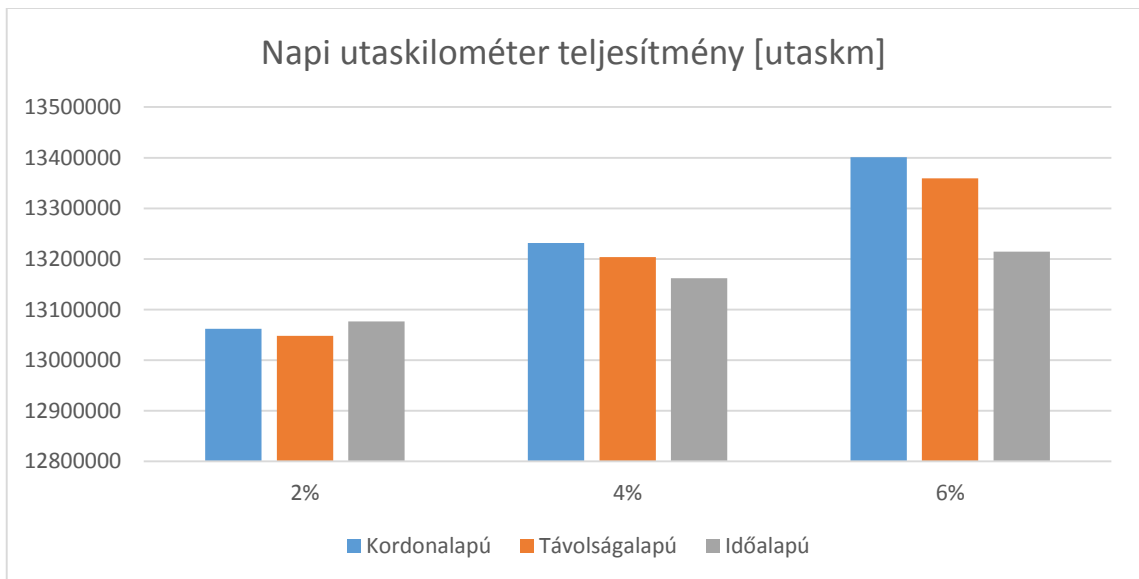


30. ábra: Utasszám és felszállószám változása távolságalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)



31. ábra: Utasszám és felszállószám változása időalapú útdíj mellett (legmagasabb díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)

A fentebb leírt gondolatmenet ugyanakkor előrevetíti azt is, hogy a kordonalapú útdíjak inkább a hosszabb utazások esetén hoznak változást a modal splitben. Ezt a 32. ábra (illetve a közúti résznél a 17. ábra) is alátámasztja, láthatóan ennél nő meg leginkább az utaskilométer teljesítmény (illetve közútnál erőteljesen csökken a futásteljesítmény).



32. ábra: Napi utaskilométer teljesítmény alakulása
(forrás: saját szerkesztés)

A közösségi közlekedés esetében a modell inkább egy mennyiségi (módváltók számszerűsítése és megjelenése a hálózaton), mintsem egy minőségi elemzésre alkalmas, hiszen utóbbihoz egy minden viszonylatra kiterjedő, a szükséges menetrendi sűrítéseket tartalmazó hálózat lenne szükséges. Továbbá esetünkben a tömegközlekedés inkább egy passzív (a vizsgált hatásokat csak „elviselő”, de nem kiváltó) rendszer, az itt végbemenő változások okai közvetettek, alapvetően közúti feltételek megváltozásából fakadnak.

A tömegközlekedési mátrix változásából meghatározható a többlet tömegközlekedési utazások száma díjszinttől függően. Elméletileg minden díjszinthez fix értékek tartoznak díjrendszertől függetlenül (bár valójában ez nem teljesen igaz, hiszen például az időalapú rendszernek is van némi bizonytalansága, iterációtól függően kicsit más-más eredményeket ad), ezt a 33. ábra mutatja be. Ebből az alábbiak szerint becsülhető a tömegközlekedés többletbevétele is.

$$(4) \quad B = \frac{\left(\frac{P}{TR}\right) * Arány_{bérlet}}{30}$$

ahol B egy napra eső új bérletváltások száma,
 P tömegközlekedésre váltó utasok száma,
 TR napi fajlagos utazásszám,
 $Arány_{bérlet}$ bérletesek aránya.

$$(5) \quad J = \left(\frac{P}{TR}\right) * Arány_{jegy}$$

ahol J napi új jegyvásárlások száma,
 P tömegközlekedésre váltó utasok száma,
 TR napi fajlagos utazásszám,
 $Arány_{jegy}$ jeggyel utazók aránya.

$$(5) \quad \Delta R = B * Arány_{teljes} * \hat{A}r_{teljes} + B * Arány_{kedv} * \hat{A}r_{kedv} + J * \hat{A}r_{jegy}$$

ahol ΔR bevétel-növekedés,
 $Arány_{teljes}$ teljes árú bérlettel utazók aránya,

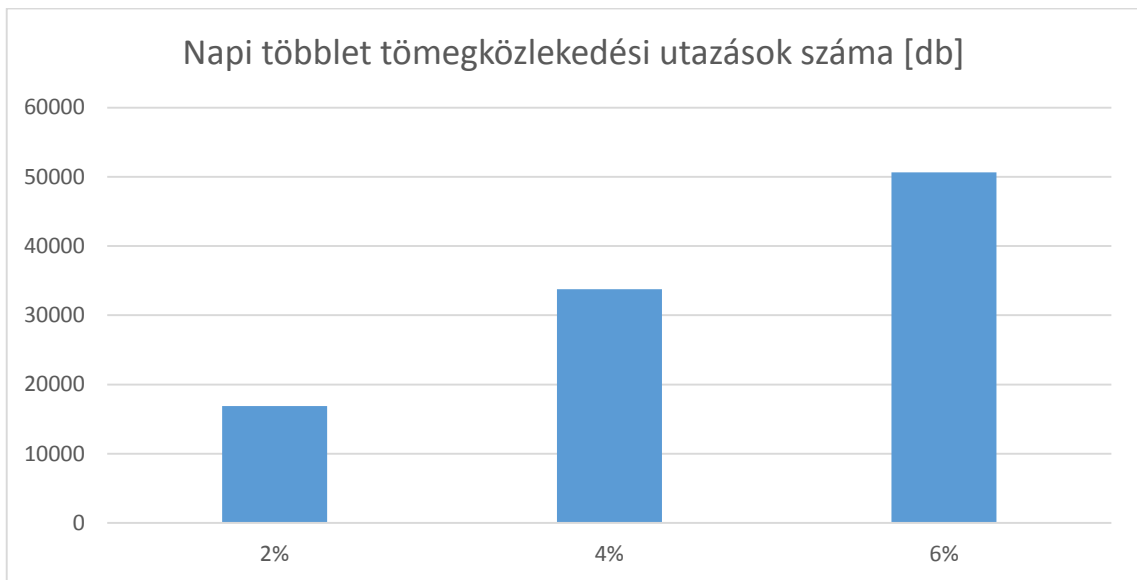
Ár_{teljes} teljes árú bérlet ára,

Arány_{kedv} kedvezményes árú bérlettel utazók aránya,

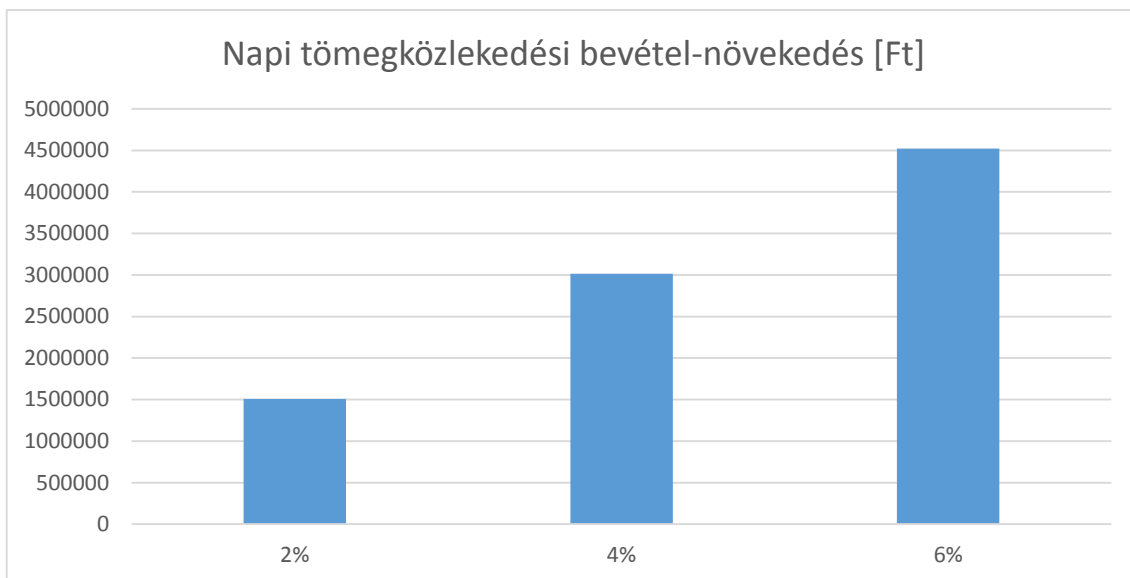
Ár_{kedv} kedvezményes árú bérlet ára,

Ár_{jegy} vonaljegy ára.

A számítások elvégzéséhez szükséges tényezők közül a napi fajlagos utazási számot 3-nak, a bérletesek arányát 0,9-nek, a jeggyel utazók arányát 0,1-nek becsültem. Továbbá feltételeztem, hogy a bérletesek között a teljes árú bérlettel utazók és a kedvezményes árú bérlettel utazók aránya 50-50%-ban oszlik meg.



33. ábra: Napi többlet tömegközlekedési utazások száma díjszinttől függően
(forrás: saját szerkesztés)



34. ábra: Napi tömegközlekedési bevétel-növekedés alakulása díjszinttől függően
(forrás: saját szerkesztés)

3.2.3 Torlódási időtöbblet alapú rendszer értékelése

Bár a bevezetésben a torlódási időtöbblet figyelembevételén alapuló rendszer vizsgálata előrevetítésre került, az eddigi összehasonlításokba mégsem került bele. Ez a díjstratégia – hasonlóan az időalapúhoz – forgalomtól függő, dinamikus rendszer, amelyre ebből fakadóan szintén igaz, hogy a modell futtatása során iteráció szükséges.

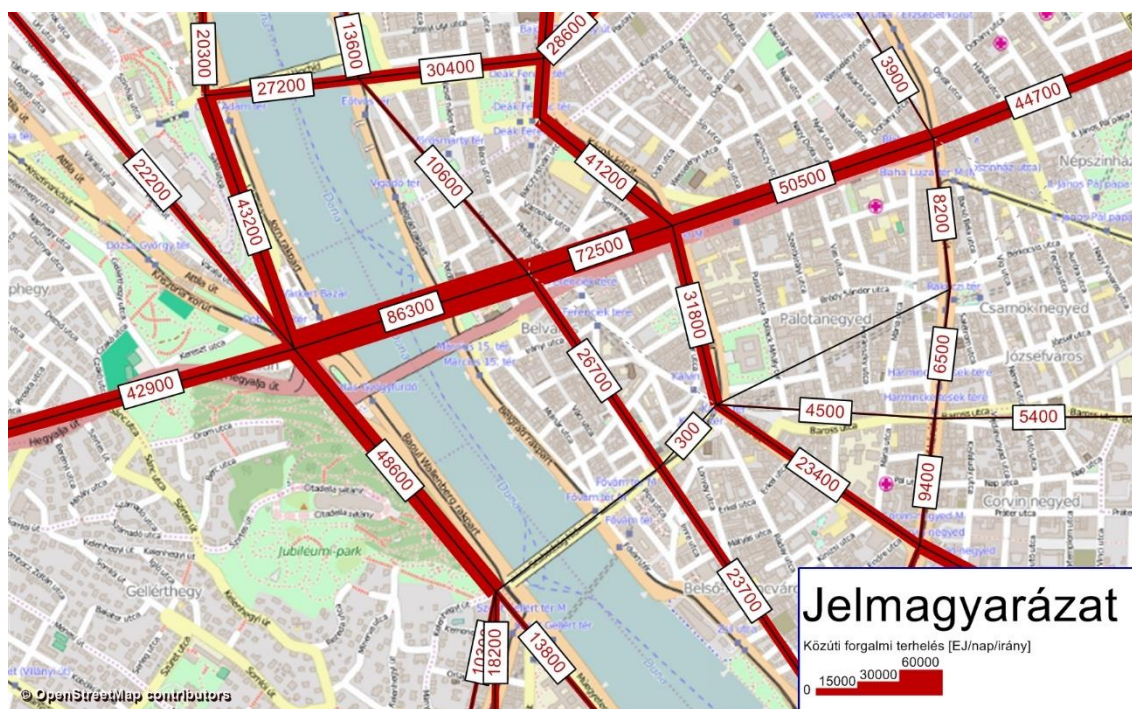
Az iterációs szám beállításától függően a kapott eredmények az alkalmazott díjszint növelésével egyre nagyobb lengéseket mutattak, az iterációs szám növelésével a tapasztalatok alapján a rendszer nem konvergált egy stabil állapothoz. A jellemző minta az volt, hogy egyik lépésben bizonyos szakaszokra nagyon nagy forgalom terhelődött, a többi szakaszra nagyon kevés, a következő lépésben pedig ez az arány megfordult, majd ezek váltakoztak lépésenként. Az eredményeket számszerűen a 3. táblázat és 4. táblázat mutatja be, a szemléltetést pedig legjobban a 35. és 36. ábra segíti. A lengések miatt a rendszer részletes vizsgálata további megfontolásokat igényel, jelen dolgozatban a többi rendszerrel való összehasonlítás emiatt nem volt megoldható.

3. táblázat: A közúti igénymátrix sarokösszegének változásai az iteráció és a díjszint függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

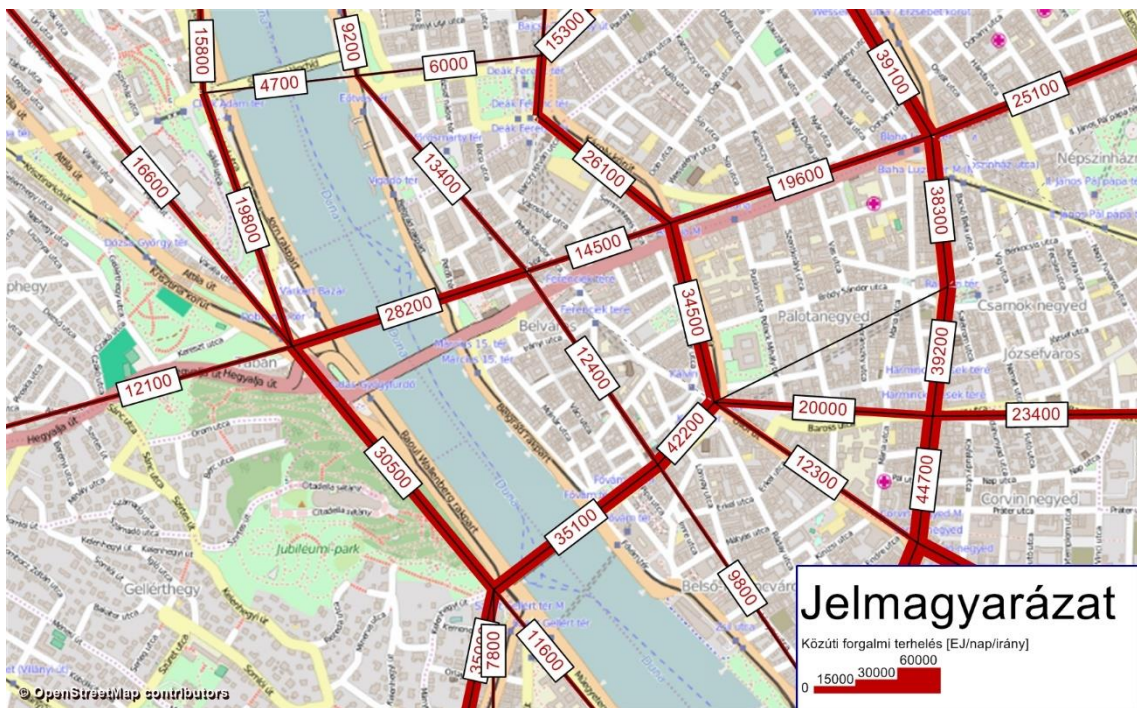
	5. iteráció	6. iteráció	7. iteráció	8. iteráció
1 Ft/s	1043950	1043278	1043838	1043111
2 Ft/s	1033837	1027413	1032556	1026996
3 Ft/s	1023707	1011129	1021646	1008292

4. táblázat: A fizetős útszakaszokon összegzett forgalomnagyságok változásai az iteráció és a díjszint függvényében
(forrás: saját szerkesztés)

	5. iteráció	6. iteráció	7. iteráció	8. iteráció
1 Ft/s	1678837	1666285	1678193	1663553
2 Ft/s	1566684	1503023	1560733	1502027
3 Ft/s	1504267	1426768	1476923	1428012



35. ábra: Forgalmnagyságok torlódási időtöbblet alapú útdíj mellett (3 Ft/s, 6. iteráció)
(forrás: saját szerkesztés)



36. ábra: Forgalm nagyságok torlódási időtöbblet alapú útdíj mellett (3 Ft/s, 7. iteráció)
(forrás: saját szerkesztés)

3.3 Eredmények összegzése

Számos jellemző vizsgálatánál szembeötlő, hogy az időalapú útdíj mennyivel jobban teljesít a többi rendszerhez képest, szinte kivétel nélkül igaz ez azokra az esetekre, ahol a belső, védett terület forgalmi jellemzőit vizsgáltam. Ugyanakkor láthatók a rendszer hátrányai is. Egyrészt, árnyalja a képet, ha a fontosabb jellemzőket nem csak a védett területre, hanem a teljes vizsgált rendszerre tekintjük, ugyanis feltűnik, hogy a külső területen olyan mértékű többletforgalom jelenik meg, hogy a teljes rendszerre nézve összességében romlanak a vizsgált mutatók (pl. futásteljesítmény, sebesség). Másrészt a rendszert gyakorlatban nem alkalmazzák, annak idején a londoni „dugódíj” bevezetését megalapozó vizsgálatok is elvetették (*Richards et al., 1996*), illetve kutatások is kimutatták (*Bonsall, Palmer 1997*), hogy a járművezetők kockázatvállalási hajlandósága is megnő annak érdekében, hogy minél hamarabb elhagyhassák a fizetős területet (gyorshajtás).

A kordonalapú díjfizetés a legtöbb vizsgálati szempont esetében a sor végén található, mint legkevésbé hatékony díjstratégia. Tény azonban, hogy a gyakorlati megvalósítás költségeit – amely egyébként döntéshozói szinten nyilvánvalóan igen fontos tényező – nem vizsgáltam, ebben a tekintetben biztosan élenjáróként végzett volna. Legtöbb esetben a kordonalapúnál hatékonyabban teljesít a távolságalapú díjrendszer, ráadásul az időalapúval ellentétben kirívó hátrányai sincsenek.

4 Összefoglalás

Dolgozatomban a tavalyi kutatást alapul véve továbbfejlesztettem, majd a PTV cég Visum nevű makroszkopikus forgalommodellező szoftverében felépítettem egy sematikus budapesti közúthálózatot, illetve teljesen új elemként a tömegközlekedési hálózat modelljét.

Erre építve négy különböző alapelven működő városi útdíjrendszer modellezését végeztem el:

- kordonalapú behajtási díj,
- távolságalapú útdíj
- időalapú útdíj,
- torlódási időtöbblet alapú útdíj.

Első lépésként a különböző rendszereket összehasonlíthatóvá kellett tennem, ezért az egyes díjstruktúrák hatását vizsgáltam a közúti igénymátrixra, amely alapján meghatároztam azokat a díjszinteket, amelyekkel az egyes rendszerek 2,4 és 6 százalékos igénycsökkenést generálnak a teljes hálózatra nézve. A torlódási időtöbblet alapú útdíj további vizsgálatát ezen a ponton felfüggesztettem, mivel a rendszer instabilitása miatt nem tudtam a többivel összehasonlíthatóvá tenni.

Következő lépésben felépítettem a Visumban a vizsgálathoz szükséges eljárásokat, majd elvégeztem a modellek futtatását és az egyes scenáriók kiértékelését. Megállapítottam, hogy bár az időalapú rendszer számos téren (pl. bevétel, védett övezet tehermentesítése) kedvező eredményeket mutat, ugyanakkor rendelkezik olyan hátrányokkal (közlekedésbiztonsági kockázat, külső útszakaszok elfogadhatatlan mértékű többletterhelése), amely miatt jó eséllyel csak elméleti lehetőségként marad meg. A vizsgált rendszerek közül így a távolságalapú stratégia az, amely a legkedvezőbb előnyöket mutatja, különösebben súlyos hátrányok nélkül.

5 Irodalomjegyzék

Bonsall, P. W.; Palmer, I. A.: Do time-based road-user charges induce risk tasking? – Results from a driving simulator. Traffic Engineering and Control, 38, pp. 200-203, 1997.

Budapesti Közlekedési Központ, Trenecon-COWI: Fővárosi személyforgalmi behajtási díj bevezetése. Döntéstámogató tanulmány. Budapest, 2013.

Bureau of Public Roads: Traffic Assignment Manual. U.S. Dept. of Commerce, Urban Planning Division. Washington D.C., 1964.

de Palma, A.; Lindsey, R.: Traffic congestion pricing methodologies and strategies. Transportation Research Part C, Vol. 19, No. 6, pp. 1377-1399, 2011.

Erhart Sz.: A budapesti közlekedési dugók okai és következményei. Közgazdasági Szemle, Vol. 54, No. 5, pp. 435-458, 2007.

May, A. D.; Liu, R.; Shepherd, S.P.; Sumalee, A.: The impact of cordon design on the performance of road pricing schemes. Transport Policy, Vol. 9, No. 3, pp. 209-220, 2002.

May, A. D.; Milne, D. S.: Effects of alternative road pricing systems on network performance. Transportation Research Part A, Vol. 34, No. 6, pp. 407-436, 2000.

May, A. D.; Milne, D. S.: The impact on network performance of drivers' response to alternative road pricing schemes. In: Road Pricing: Theory and Evidence, Szerk: Georgina Santos, Elsevier, pp. 61-85, 2004.

Pigou, A. C.: The economics of welfare. MacMillan, 1920.

Richards, M.; Gilliam, C.; Larkinson, J.: The London congestion charging research programme: 1. The programme in overview. Traffic Engineering and Control, 37, pp. 660-671, 1996.

Smeed, R. J.: Road pricing: the economic and technical possibilities. HMSO, 1964.

Tóth T.: Kordonalapú és távolságalapú városi útdíjfizetési rendszer budapesti kialakításának összehasonlítása. Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedésgazdasági szekció, 2014.

Városkutatás Kft.: **Hatékony közlekedésmenedzsment Budapesten. A fővárosi behajtási díj indokoltságának, bevezethetőségének és zónarendszerének vizsgálata.** Konceptió. Budapest, 2008.

Városkutatás Kft.: **A fővárosi személyforgalmi behajtási díj megvalósíthatásának előzetes vizsgálata.** Budapest, 2009.

Verhoef, E. T.: **Second-best Congestion Pricing in General Static Transportation Networks with Elastic Demands.** *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 32, No. 3, pp. 281-310, 2002.

Vickrey, W. S.: **Pricing in urban and suburban transport.** *American Economic Review*, Vol. 53, No. 2, pp 452-465.

Wardrop, J. G.: **Some theoretical aspects of road traffic research.** *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Vol. 36, No. 1, pp. 325-362, 1952.

Zhang, L.; Liu, H.; Sun, D.: **Comparison and optimization of cordon and area pricings for managing travel demand.** *Transport*, Vol. 29, No. 3, pp 248-259, 2014.