

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

Kordonalapú és távolságalapú városi útdíjfizetési rendszer budapesti kialakításának összehasonlítása

TDK dolgozat

Dolgozat szerzője: Tóth Tamás, közlekedésmérnöki szak (MSc)

Konzulens: Dr. Török Ádám adjunktus

Budapest, 2014.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm konzulensemnek, Dr. Török Ádámnak, hogy hasznos tanácsaival és meglátásaival ismételten segítette a TDK dolgozatom elkészítését.

Emellett köszönettel tartozom Molnár Zoltánnak, aki a számításokhoz szükséges programot megírta és rendelkezésemre bocsátotta, lehetővé téve ezzel a téma vizsgálatát és kidolgozását.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	5
2.	A városi torlódási díjak rendszerei	7
2.1	A torlódási díj közgazdasági háttere	7
2.2	A rendszer lehetséges kialakításai.....	9
2.2.1	Infrastruktúra alapú díjfizetés	9
2.2.2	Kordonalapú díjfizetés	10
2.2.3	Zóna rendszerű díjfizetés	10
2.2.4	Távolságalapú díjfizetés	11
2.2.5	A díj differenciálásának lehetőségei	11
2.2.6	A vizsgált rendszerek jellemzői.....	13
3.	Budapesti modell kialakítása	14
3.1	Célforgalmi mátrix kialakítása.....	15
3.2	A modellezés módszertana.....	17
4.	Eredmények értékelése	21
4.1	Az értékelés módszertana.....	21
4.2	Közlekedési igények alakulása	25
4.3	Közlekedési volumen alakulása	29
4.4	Bevételek alakulása.....	32
4.5	Összes utazási idő alakulása.....	33
4.6	Összes megtett út alakulása.....	35
4.7	Átlagsebességek alakulása	36
5.	Eredmények összegzése, következtetések	38
6.	Összefoglalás	40
	Felhasznált irodalom.....	42

Ábrajegyzék

1. ábra Az útarazás egyszerű diagramja.....	8
2. ábra Az alkalmazott gráf.....	14
3. ábra A célforgalmi mátrix kialakításának lépései.....	16
4. ábra A torlódási díj hatásának modellezése	17
5. ábra A fizetős terület kijelölése	21
6. ábra DOI/DIO igények alakulása a kordonalapú rendszerben.....	25
7. ábra DOI/DIO igények alakulása a távolságalapú rendszerben.....	25
8. ábra DII igények alakulása a kordonalapú rendszerben	26
9. ábra DII igények alakulása a távolságalapú rendszerben	26
10. ábra DOO igények alakulása a kordonalapú rendszerben	27
11. ábra DOO igények alakulása a távolságalapú rendszerben	27
12. ábra A teljes forgalmi igény csökkenése a kordonalapú rendszerben	28
13. ábra A teljes forgalmi igény csökkenése a távolságalapú rendszerben	28
14. ábra A forgalomterhelés alakulása a kordonalapú rendszerben.....	29
15. ábra A forgalomterhelés alakulása a távolságalapú rendszerben.....	29
16. ábra Forgalomterhelés változása a kordonalapú rendszerben (4. díjszint)	30
17. ábra Forgalomterhelés változása a távolságalapú rendszerben (4. díjszint)	31
18. ábra A napi bevétel alakulása a kordonalapú rendszerben	32
19. ábra A napi bevétel alakulása a távolságalapú rendszerben	32
20. ábra Az összes utazási idő alakulása a kordonalapú rendszerben	33
21. ábra Az összes utazási idő alakulása a távolságalapú rendszerben	34
22. ábra Az összes megtett út alakulása a kordonalapú rendszerben.....	35
23. ábra Az összes megtett út alakulása a távolságalapú rendszerben.....	35
24. ábra Átlagsebesség változása a kordonalapú rendszerben.....	36
25. ábra Átlagsebesség változása a távolságalapú rendszerben.....	36

Táblajegyzék

1. táblázat A torlódási díj differenciálásának lehetőségei.....	11
2. táblázat Az alkalmazott díjszintek	22
3. táblázat A forgalmi igények lehetséges esetei és azok jelölése	23

1. Bevezetés

Korunk legtöbbet tárgyalt kérdéskörei közé tartozik a fenntartható fejlődés és a környezetszennyezés. A fenntartható fejlődés lényege, hogy a műszaki fejlesztés ütemét, a növekvő fogyasztási igények kielégítését, illetve a Föld nyersanyagkészletének kitermelését, és az erőforrások felhasználását oly módon kell egyensúlyban tartani, hogy a következő generációk életkörülményei és lehetőségei ne legyenek rosszabbak a jelenleginél. *(Zádor, Török 2010)*

Ugyanakkor rendkívül nehéz olyan megoldást találni a növekvő igények kielégítésére is, amely minden szempontból megfelel a fenti követelményeknek. Környezetünk minőségét jelentősen befolyásolja a közlekedés, a közlekedésből származó környezetterhelések és károsanyag-kibocsátások minimalizálása pedig a társadalom jogos igénye. Ezen problémák megoldása napjainkra kiemelten fontos feladattá vált, ehhez egy komplex célrendszer áll rendelkezésünkre:

- a járműgyártás, infrastruktúra-építés/-működtetés környezeti mutatóinak javítása,
- a járműállomány környezeti mutatóinak javítása,
- a meglévő közlekedési rendszerek környezeti mutatóinak javítása, hatékonyabb kihasználása,
- a közlekedési rendszerek környezeti hatékonyságának javítása a struktúrák, vagyis a közlekedési munkamegosztás változtatásával,
- a közlekedési volumen mérséklése, vagyis az utazások/szállítások számának és távolságának csökkentése. *(Kövesné et al. 2001)*

Jelenleg az egyik legnagyobb megoldandó probléma, hogy a közlekedés társadalmi költségei elsősorban nem az okozót terhelik, így az igénybevevőnek nem egyéni érdeke, hogy a környezeti szempontból hatékonyabb módját válassza az utazásnak, szállításnak (pl. közösségi közlekedés, vasút). Természetesen ezeknek a közlekedési módoknak is vannak negatív hatásai, azonban egy személyre (vagy egységnyi árumennyiségre) vetítve jóval kisebb energiafogyasztással, területhasználattal és környezetterhelési mutatókkal rendelkeznek, mint például a személygépjármű-közlekedés.

A közlekedési externáliák hatásai ma a városokban fokozottan érzékelhetők, a városlakók életminőségét nagyban befolyásolják. Ebből kifolyólag egy jól szervezett

közlekedési rendszer elengedhetetlen a fenntartható városi környezet megteremtéséhez. A terület fontosságát az Európai Unió is már jó ideje felismerte, a problémák megoldását főként szabályozással, szervezéssel, új technológiák ösztönzésével kívánja megoldani, mivel az infrastrukturális fejlesztések költség- és területigényük miatt csak korlátozott mértékben vehetők igénybe.

A városi közlekedés problémáinak enyhítésére szolgáló torlódási díj éppen ilyen szabályozást jelent a közlekedés résztvevői számára. Működésének lényege, hogy a közlekedők egy adott csoportjára közvetlenül valamilyen díjat vet ki, szabályozva ezáltal az említett csoport mobilitási folyamatait. Ezt a rendszert az utóbbi évtizedekben számos külföldi város alkalmazta több vagy kevesebb sikerrel, és a témának hosszabb ideje Magyarországon is van aktualitása.

Az itthon „dugódíj” néven elterjedt rendszer problémakörére jellemző, hogy a médiában vagy akár a szakmai anyagokban nem tesznek különbséget a rendszer különböző kialakítási lehetőségei között, általában a kordon-típusú behajtási rendszereket értik „dugódíj” alatt.

A kordon típusú rendszerre a Városkutatás Kft. részletesebb vizsgálatokat és tanulmányokat (*Városkutatás 2008, 2009*) is készített az elmúlt években, ezzel szemben a Levegő Munkacsoport tanulmányában (*Levegő Munkacsoport 2013*) a „használó/szennyező fizet” elvére építve a távolságarányos útdíjfizetést tekinti megfelelő megoldásnak.

A két rendszer azonban műszaki (értékesítés, ellenőrzés, forgalomtechnika) és forgalmi oldalról is különböző módon működik, célszerűnek tűnik tehát összehasonlítani, hogy Budapest esetén különböző kialakításokkal milyen eredmények érhetők el. Dolgozatomban a forgalmi szempontok alapján vizsgálom a két díjstratégiát. Az első részben ismertetem, hogy milyen fajtái léteznek a torlódási díjnak, és milyen különböző alapelvek mentén valósítható meg a rendszer, a különböző típusokra pedig külföldi példákat hozok. Az áttekintő rész után a rendszer budapesti megvalósíthatóságát modellezem különböző esetekre, a kapott eredményeket pedig értékelem és összehasonlítom, végül a dolgot a következtetések levonásával és a továbbfejlesztési lehetőségek ismertetésével zárom.

2. A városi torlódási díjak rendszerei

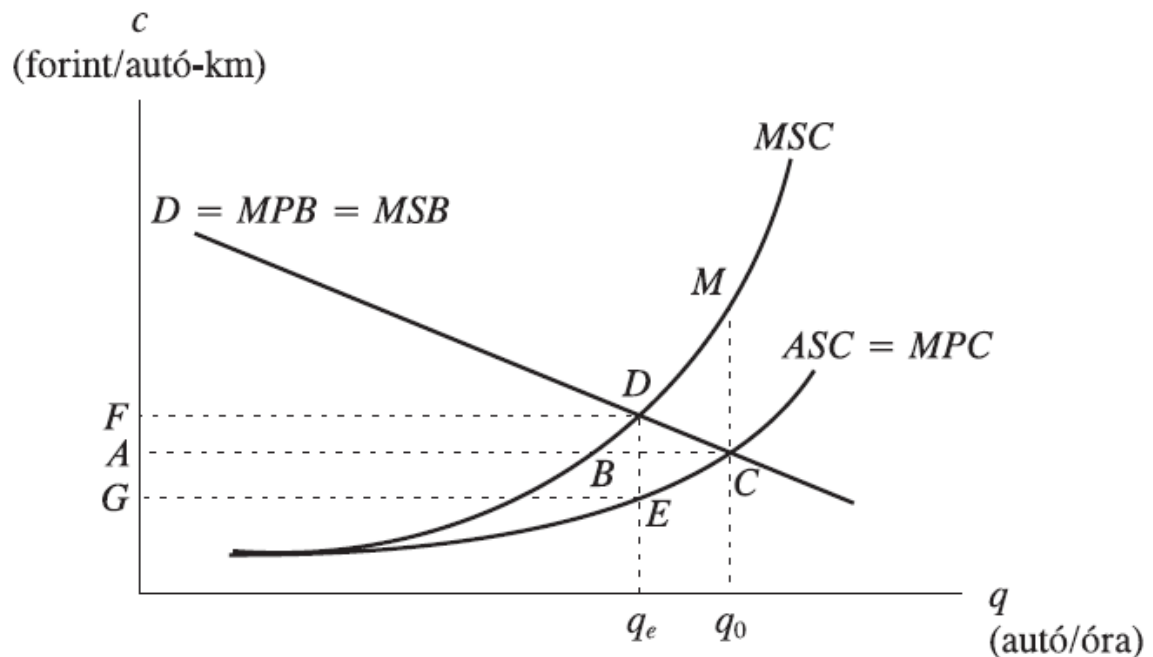
2.1 A torlódási díj közgazdasági háttere

A rendszerváltást követő 10 évben Budapesten a gépjárművek száma 20%-kal megnőtt, míg a tömegközlekedés részaránya a közlekedési munkamegosztásból 15-20%-kal csökkent. *(Juhász et al. 2014)* A tüzelőanyag-fogyasztási adatokból nyomon követhető *(Tóth 2013)*, hogy a közlekedési volumen körülbelül 2008-ig nőtt tovább, és bár az elmúlt években a gazdasági válság és az árak intenzív emelkedésének hatására ez a folyamat megszakadt, a közlekedés externális költségei még mindig fontos, megoldandó problémát jelentenek.

A közlekedés externális hatásairól akkor beszélhetünk, ha a közlekedés résztvevője nem fizeti meg az összes általa okozott költséget, vagy nem kapja meg az összes előnyt. Minden szállítási tevékenység egyaránt tartalmaz előnyöket és költségeket, az externális költségek alatt jellemzően a közlekedésből származó környezetszennyezést, a torlódásból származó idővesztést, a baleseti költségeket értjük. *(Forgách, Tóth, Török 2008)*

Előfordul, hogy a már említett okok miatt egyszerre túl sokan kívánják igénybe venni az útfelület nyújtotta kapacitást, ezáltal a kínálati oldalon hiány mutatkozik, torlódás keletkezik, ez a sebesség csökkenésével jár, amely így nem kívánt költségeket jelent a közlekedők számára. A sebesség csökkenésével fordítottnan arányosan megnő az utazási idő, amely viszont kieső munka- illetve szabadidő miatt jelent implicit költséget az utazók számára. Emellett szintén sebességfüggő a tüzelőanyag-fogyasztás és a környezetszennyezés mértéke is. A kritikus forgalomsűrűségeken túl minden egyes új felhasználó belépése a rendszerbe növeli az összes felhasználó eljutási idejét, így az említett externáliák mértékét is. Ezt a költséget azonban az okozó nem vette számításba annál a döntésnél, amelyet elinduláskor hozott. A torlódásért kivetett útdíjjal ezt a másoknak okozott költséget igyekszünk megfizettetni a felhasználókkal, annak érdekében, hogy ezt már az elindulás előtt végzett magán költség-haszon elemzésnél is figyelembe vegyék, szabályozva ezzel a keresletet. *(Levegő Munkacsoport 2013)* *(Erhart 2007)*

Erhart Szilárd cikkében (Erhart 2007) ismerteti a kereslet és a költségek összefüggését, melyek megértését az 1. ábra segíti. Egyszerű esetben a kereslet megegyezik a gépkocsivezetők egyéni határhasznával (marginal private benefit=MPB) és a társadalmi határhaszonnal (marginal social benefit=MSB).



1. ábra Az útárazás egyszerű diagramja
(forrás: Erhart 2007)

Amennyiben a forgalmat homogénnek tekintjük, elmondható, hogy a gépkocsivezetők saját költsége, amit figyelembe vesznek, megegyezik a társadalmi átlagköltséggel (average social cost=ASC), viszont hagyják a társadalmi határköltségbe (marginal social cost=MSC) már beletartoznak az okozott externáliák is, amelyet figyelmen kívül hagynak. Közgazdasági szempontból a forgalom mértéke optimálisnak tekinthető, ha a társadalmi határköltség és a társadalmi határhaszon megegyezik, ez az ábrán a „D” pontban teljesül. Valós esetben viszont a „C” ponthoz tartozó q_0 forgalomnagyság valósul meg, amely az optimálisnak tekinthető q_e -nél magasabb. A q_0 forgalomnagysághoz az „M” pontnak megfelelő társadalmi határköltség tartozik, a „DMC” háromszög jelenti a társadalmi holtteher-veszteséget, melynek minimalizálására hatékony eszköznek bizonyulhat az útdíj. Az optimális útdíj megállapítása a társadalmi határhaszon és a társadalmi határköltség kiszámításának különbségével lehetséges, így az optimális forgalom „DE” nagyságú útdíj kivetésével érhető el, ebben az esetben a társadalmi határhaszon és határköltség megegyezik. (Erhart 2007)

A rendszer ebben a formában igazságos lenne, hiszen teljesülne a „használó fizet” elv, viszont a megvalósíthatóság terén több probléma is mutatkozik. A forgalomsűrűség mértéke az egyes szakaszokon más és más, illetve időben is folyamatosan változik, ezért minden útszakaszon külön díjat kellene kivetni minden felhasználóra, attól függően, hogy az ő belépésük a rendszerbe hogyan módosítja a forgalmi jellemzőket, ehhez pedig szükséges lenne tudni a jármű pontos adatait (pl. méret, gyorsulás). Egy-egy baleset tovább bonyolíthatja a helyzetet, hiszen ilyenkor a forgalmi jellemzők magától a balesettől nagymértékben függenek, de például a rossz időjárás, vagy a közlekedési dolgozók sztrájkja szintén hasonló hatással bírhat, amelyek előre nem kalkulálhatók. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a közúti externáliák más közlekedési módok külső költségeit is befolyásolhatják. *(de Palma, Lindsey 2011)*

Az említett problémák miatt a határkötség alapú „első legjobb” megoldások helyett a „második legjobb” megoldások kerültek megvalósításra valós körülmények között. A városi útdíj rendszerek többféle szempontrendszer szerint is csoportosíthatók, ezeket a következő fejezetekben mutatom be áttekintő jelleggel. Az egyes típusoknál megemlítem a hozzájuk kapcsolható külföldi példákat is, azonban ezek részletekbe menő ismertetése nem feladata a dolgozatnak.

2.2 A rendszer lehetséges kialakításai

2.2.1 Infrastruktúra alapú díjfizetés

Korábban évszázadokon keresztül utakon, hidakon, alagutakban, tehát meghatározott infrastruktúra elemeken kellett díjat fizetni. A díj kivethető az út teljes szélességében, de lehetséges csupán néhány sávot bevonni a rendszerbe. Utóbbi típusra jó példát adnak a HOT (High Occupancy Toll) sávok, amelyek az alacsony kihasználtságú járművek számára fizetősek, ha azonban többen utaznak egy járműben, akkor mentesülnek a díj alól. A szemléletesség kedvéért Budapest esetében jó példa lehetne az infrastruktúra alapú díjrendszerre, ha a Duna-hidakon történő áthajtásért fizetni kellene. *(de Palma, Lindsey 2011)*

2.2.2 Kordonalapú díjfizetés

Kordonos rendszer esetén egy kijelölt területre való behajtás, az onnan történő kihajtás, vagy a ki- és behajtás egyaránt vonja maga után a díjfizetési kötelezettséget. A felhasználó a kordon átlépésekor minden esetben fizet, azonban ezt követően a belső területen történő közlekedést már nem büntetjük útdíjjal. Egy városban lehetőség van több kordon kijelölésére is, azonban a ma működő rendszerek egyetlen kordont alkalmaznak. Norvégiában bevételtermelés céljából a '80-as évektől kezdve több városban is bevezetésre került ez a rendszer. Érdekesség, hogy adott esetben csak meghatározott időtartamra szolt, például Trondheimben 1991-től 2005-ig volt érvényben a városi útdíj. A forgalmi viszonyok szabályozását megcélzó, kordon rendszerű torlódási díjat 2006-ban vezették be Stockholmban, melyet aztán népszavazást követően véglegesítettek 2007-ben (*Börjesson et al. 2011*). A kordon a városközpontot öleli körbe, és a városszerkezetből fakadóan mindössze 18 belépési ponttal rendelkezik. Hétköznaponként 6:30 és 18:30 között minden behajtásért fizetni kell, ezen kívül a rendszer ingyenes. A behajtási díj nem egységes, a behajtás időpontjától függően eltérő lehet.

Elektronikus kordon alapú rendszer üzemel Szingapúrban 1998-tól kezdve (azelőtt papíralapú működött). A rendszer jellegzetessége, hogy a fizetendő díj mértéke a forgalom függvényében változik, ezek mértékét negyedévente vizsgálják felül (*Városkutató 2008*).

A milánói EcoPass rendszer az emisszió mérséklését célozza meg, a forgalmi viszonyok szabályozása csak másodlagos. Első bevezetésére próbajelleggel 2008-ban került sor, a véglegesítés 2012-ben történt meg. (*de Palma, Lindsey 2011*)

2.2.3 Zóna rendszerű díjfizetés

A zóna rendszerű díjfizetés esetében egy kijelölt területen történő közlekedésért fizet a felhasználó, így a díj ellenében egy meghatározott időre igénybe veheti a terület úthálózatát. Különbözik a kordonos rendszertől, mivel nem kell minden belépés alkalmával fizetni, illetve kizárólag a belső területen történő közlekedés is köthető díjfizetéshez. A zónás rendszer 2003 óta működik Londonban, ahol a 10 fontos díjat 7:00 és 18:00 közötti behajtás esetén kell kifizetni. A zónán belül lakók 90%-os

kedvezményben részesülnek, de teljes mentességet nem kapnak. (de Palma, Lindsey 2011)

2.2.4 Távolságalapú díjfizetés

A távolságarányos díjfizetési rendszer városi környezetben a **zónaalapú** válfajának tekinthető (kordonalapú városi rendszerben nem működik a használatarányos díjszabás), melyben a fizetendő összeget a megtett távolság függvényében fizeti a felhasználó, amely függvény nem feltétlenül kell, hogy lineáris legyen. Jellemzően az országos közúthálózatokon működnek távolságalapú rendszerek (pl. Magyarországon 2013 óta üzemel a HU-GO elektronikus útdíjszedési rendszer), városi körülmények között ma még nem alkalmazzák. (de Palma, Lindsey 2011)

2.2.5 A díj differenciálásának lehetőségei

Általában nem jellemző, hogy egy működő rendszer esetén egyetlen díj vonatkozna mindenkire minden időben. Bár torlódási díjról beszélünk, a díj forgalmi hatásai mellett jelentős környezeti haszon is realizálható, ezért a díj differenciálásakor forgalmi szempontok mellett környezeti szempontokat is figyelembe vehetünk. A lehetőségeket az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat A torlódási díj differenciálásának lehetőségei
(forrás: saját szerkesztés)

A torlódási díj nagysága megkülönböztethető	
<i>a jármű környezeti paraméterei alapján</i>	KÖRNYEZETI SZEMPONTOK
<i>a jármű műszaki paraméterei alapján</i>	
<i>a behajtás időpontja alapján</i>	FORGALMI SZEMPONTOK
<i>az aktuális forgalmi körülmények alapján</i>	
<i>a járműben utazók száma alapján</i>	
<i>kordon esetén a haladás iránya alapján</i>	

Belsőégésű motorral hajtott járművek esetén a környezeti paraméterek alapján történő differenciálás alapja a fajlagos CO₂ kibocsátás, illetve a károsanyag-kibocsátást jellemző EURO kategória lehet.

A jármű műszaki paramétereinek figyelembevétele egyaránt történhet forgalmi és környezeti megfontolásból is, hiszen például a jármű mérete, gyorsulási képességei nagyban befolyásolják a jármű közlekedési jellemzőit, de például a hajtásrendszer jellemzői, mérete és tömege a már említett emisszió értékeken túl a például az energiafelhasználás és a zajkibocsátás mértékét is meghatározzák.

A behajtás időpontja egyértelműen forgalmi okokból érdekes, hiszen ezzel a csúcsidőszakban közlekedő járművekre nagyobb díj vethető ki, sőt, akár díjmentes időszakok meghatározhatók (pl. éjszaka).

A aktuális forgalmi körülmények figyelembevétele esetén nincs szükség az időpont szerinti differenciálásra, azonban a 2.1 fejezetben is ismertetett nehézségek miatt ez az opció csak nehezen megvalósítható.

A HOT sávokhoz hasonlóan a nagyobb kihasználtsággal közlekedő járművek más formában, de akár ebben a rendszerben is élvezhetnek előnyt, ösztönözve ezzel az autósokat a közös gépjárműhasználatra, mivel ebben az esetben zónán belüli útszakaszokat kedvezményes díjjal vehetnék igénybe.

Kordonos rendszer esetén érdekes lehet a haladás iránya. Nem csak a kijelölt területre történő behajtáskor keletkezhet fizetési kötelezettség, hanem akár kihajtáskor is. Ezek mértéke azonban eltérő lehet, és így mindkét irányba szabályozható a forgalom, ennek jelentősége pedig leginkább akkor lehet, ha ez időbeli differenciálással is párosul, mivel így a felhasználók hosszú távon ösztönözhető, hogy csúcsidőben a kifelé irányú utazást válasszák. Távolságalapú rendszerek esetén ez a szempont indifferens. (*de Palma, Lindsey 2011*) (*Városkutató 2009*)

A tömegközlekedési díjrendszerhez hasonlóan természetesen a torlódási díj esetében is lehetséges a hosszabb időre váltott bérletek alkalmazása, emellett a behajtásonként fizetett díj napi összegét lehetőség van egy adott értékben maximálni, ami a napijegy értékének felel meg.

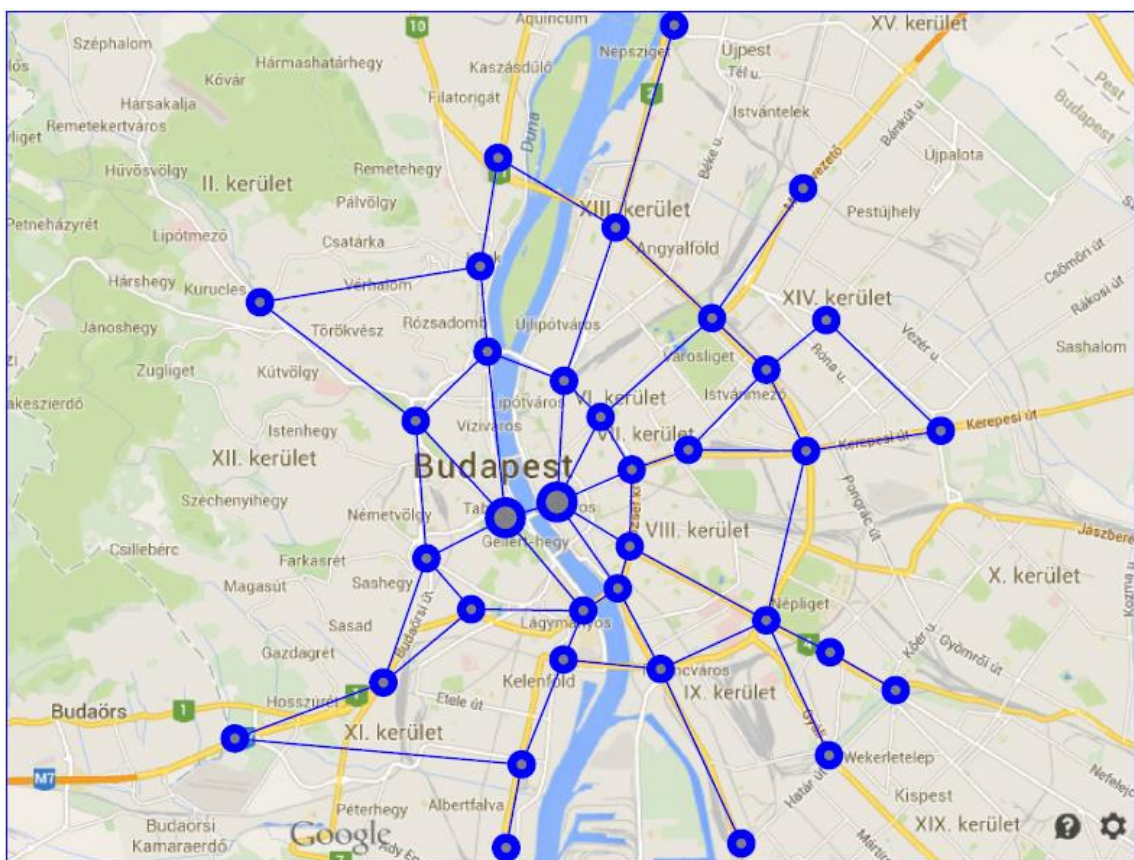
2.2.6 A vizsgált rendszerek jellemzői

A dolgozatban ugyanarra a hálózatra vizsgálok meg a **kordon** rendszerű és a **távolságarányos** díjfizetést. A kezelhetőség miatt igyekeztem minél egyszerűbb rendszereket vizsgálni lehetőleg úgy, hogy a két típus sajátosságai, és az ezek közötti különbségek megmutathatók legyenek. A differenciálási lehetőségekkel nem számoltam, a közlekedőknek állandóan ugyanazzal a torlódási díjjal kell számolniuk, a távolságalapú rendszernél a fizetendő díj nagysága **egyenesen arányos** a megtett úttal, kordon esetén pedig **minden behajtás fizetésköteles**, a rendszerben kedvezményezettek (az egyszerűség és a kezelhetőség kedvéért) nincsenek.

A rendszerek műszaki megvalósíthatóságának részletes vizsgálata nem feladata jelen dolgozatnak, azonban említés nélkül nem mehetünk el mellette. Kordonalapú rendszer esetén az alkalmazott technológia (pl. kamerás rendszámfelismerés) lehetővé teszi minden egyes nyilvántartását, a távolságalapú rendszernél a kamerás megoldás kiegészítésként szükséges lehet, azonban a megtett út méréséhez elkerülhetetlen a fedélzeti egység beszerelése minden járműbe. Éppen ezért utóbbi megoldás jelen körülmények között csak igen nehezen kivitelezhetőnek tűnik, kedvező eredmények esetén inkább távlati célként tűzhetjük ki a rendszer megvalósítását.

3. Budapesti modell kialakítása

A díjfizetési rendszerek hatásainak vizsgálatát Budapest esetére elvégeztem. Ehhez egy modellt építettem fel, amely egy – a főváros úthálózatát egyszerűsített módon leképező – gráfon alapul. Ezt a 35 csomóponttal és 54 éllel rendelkező gráfot a 2. ábra mutatja be. A gráf élei mindkét irányban járhatóak, az élek súlyozása alapesetben a képviselt útszakaszok percben kifejezett eljutási ideje szerint történt. A csomópontokon történő áthaladási időt az egyszerűség kedvéért nullának tekintettem.



2. ábra Az alkalmazott gráf
(forrás: saját szerkesztés)

Az alkalmazott gráfra vonatkozó célforgalmi mátrixból kiindulva végeztek el a számítások, a kapott eredmények alapján pedig elvégeztem a vizsgált **kordonalapú** és **távolságalapú** esetekre az összehasonlításokat.

3.1 Célforgalmi mátrix kialakítása

A munka kezdetén meg kellett határozni, hogy milyen forgalmi adatok szerint történjen a vizsgálat. Lehetőség lett volna a gráf egyes éleinek keresztmetszeti forgalmi adatait felhasználni, és az útdíj hatásait az egyes éleken vizsgálni, ez a megoldás azonban nem túlságosan informatív, ráadásul rengeteg torzítást is tartalmazhat.

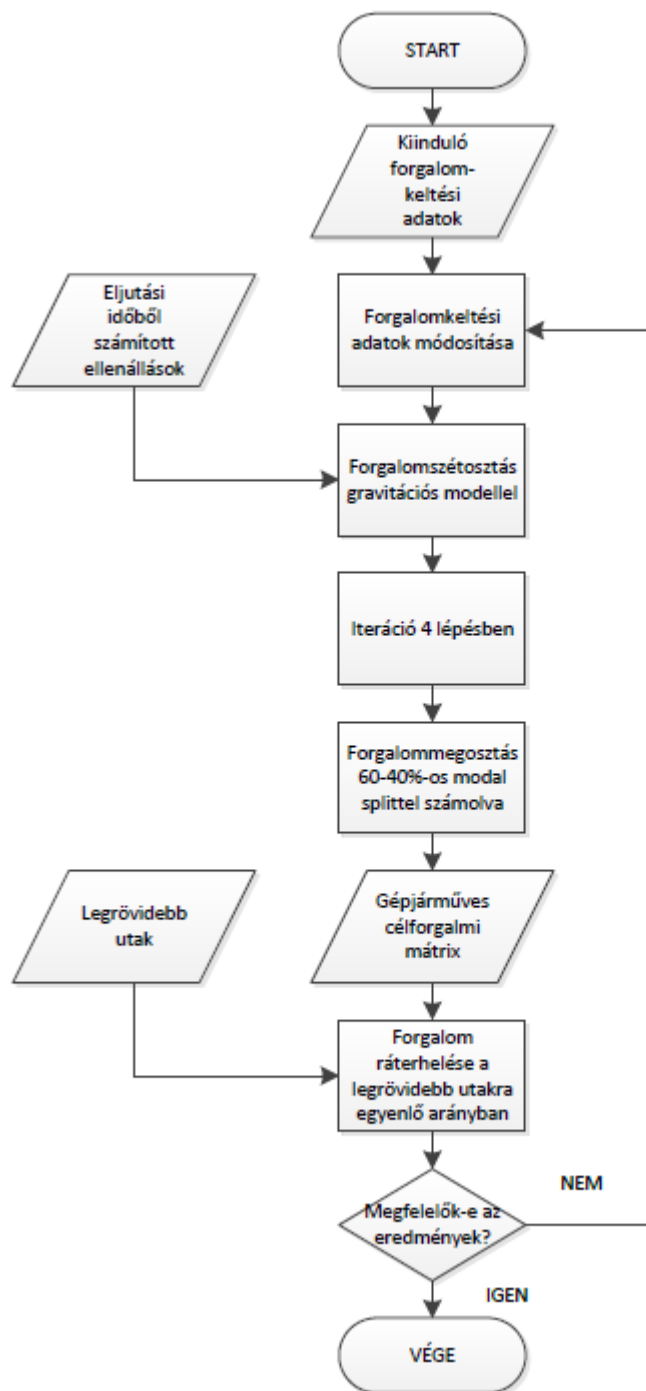
Jóval realisztikusabb eredményt érhetünk el, ha **célforgalmi adatokból** indulunk ki, ilyenkor az igények változásán túl az útvonalválasztás módosulása, a forgalmi átrendeződés is nyomon követhető. Problémát jelent azonban, hogy míg keresztmetszeti forgalomnagyságok többnyire felkutathatók internetes forrásokból, **célforgalmi mátrixok nem elérhetőek**.

Ennek megoldására a hagyományos **négylépcsős közlekedési modellezés** elemeit felhasználva a hálózatra kialakítottam egy célforgalmi mátrixot. Ennek folyamatát a 3. ábra mutatja be.

A forgalomkeltési adatokhoz a Városkutatás Kft. tanulmányában (*Városkutatás 2009*) ismertetett forgalmi modellezés szolgáltatott megfelelő kiindulási pontot, ezen felül sok esetben becslésre hagytam, melyeket a modellezés során folyamatosan korrigáltam. A szétosztás **gravitációs modell** szerint történt, melynek alapja a pontok közötti, **forgalom nélküli eljutási idő jelentette ellenállás** volt, és négy iterációs lépéssel gyakorlatilag szimmetrikus forgalmi mátrixot sikerült kialakítani. A forgalommegosztás esetében a rendelkezésre álló részletes és pontos adatok hiánya miatt a fővárosi modal splitre egységesen 60-40%-os értéket alkalmaztam. Végül az utolsó lépés, a ráterhelés, a legrövidebb út alapján történt. Amennyiben több lehetséges legrövidebb útvonal is kialakult, a forgalmak egyenlő arányban oszlottak meg ezek között az útvonalak között.

A **modell validálásához** szükséges információkat a rendelkezésre álló **keresztmetszeti forgalmi adatok** jelentették, a végső cél az volt, hogy a ráterhelési lépést követően a forgalmi modell minél jobb pontossággal és minél kisebb szórással közelítse a validálási keresztmetszetben megadott forgalomnagyság-értékeket.

A modellezett hálózat alapesetben (torlódási díj kivetése nélkül) vett forgalomterhelési ábráját az 1. melléklet tartalmazza.

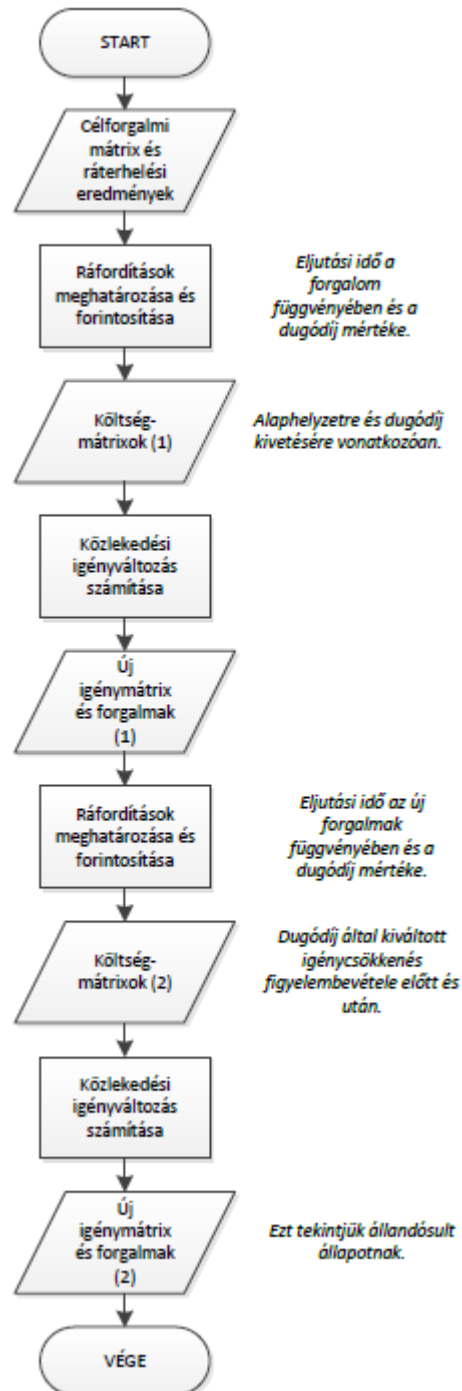


3. ábra A célforgalmi mátrix kialakításának lépései
(forrás: saját szerkesztés)

A legrövidebb utak kiszámítása **Dijkstra-algoritmussal**, Java programnyelvben írt programmal történt, melyet egy mérnök informatikus hallgatótársam bocsátott rendelkezésemre. Ugyanez a program volt segítségemre a ráterhelési lépésnél is. A program működésének folyamatábrája megtalálható a 2. mellékletben.

3.2 A modellezés módszertana

A torlódási díj hatásának modellezése a 3.1. fejezetben felépített célforgalmi mátrixra épül. Ennek folyamatát a 4. ábra mutatja be.



4. ábra A torlódási díj hatásának modellezése
(forrás: saját szerkesztés)

A vizsgálat a közlekedők hasznosságának megváltozásának ismeretében végezhető el. A hasznossági függvény esetünkben negatív előjelű lesz, így tulajdonképpen **költségfüggvényről** beszélünk. Ez a következő alakban adható meg:

$$(1) \quad C_w = \sum C_{t_i} + \sum C_{c_i}$$

ahol C_w a felhasználó költsége két csomópont között [Ft],

C_{t_i} az utazási időből számított ráfordítás mértéke az i-edik élen [Ft],

C_{c_i} a kivetett torlódási díjból származó költség az i-edik élen [Ft].

A felhasználó hasznosságát az eljutási idő nagymértékben meghatározza. A költségfüggvényben szükség volt ezen **időértékek forintosítására**, ehhez a Nemzeti Közlekedési Stratégia összközlekedési forgalmi modellje (NKS 2013) alapján **3000 Ft/órás** értéket használtam. Ezzel az értékkel a gráf minden egyes élére meghatároztam az időtényező költségét, illetve a „dugódíj” által érintett éleken a díj mértéke hozzáadódott ehhez a költséghez, ezek összegéből kaptam minden élre egy új élsúlyt. Ezekkel számolva a gráf csomópontjai közötti legrövidebb utakat, megkaptam a költségmátrixot, amely minden relációban az eljutáshoz szükséges legkisebb ráfordítás mértékét adja meg. A modellben a torlódási díjat úgy vetjük ki, hogy kordon esetén a felhasználó a díj **felét behajtáskor**, a **másik felét kihajtáskor fizeti meg**. Ezzel az igénymátrix szimmetriája megmaradt, és a modellezés is egyszerűbbé vált, mivel elegendő volt két csomópont között egyetlen élt (és az ahhoz tartozó költséget) definiálni.

Az alaphelyzetre meghatározott C^0 költségmátrix értelemszerűen csak az utazási időből származó ráfordításokból áll. Az egyes útszakaszokhoz tartozó időértéket itt már a **forgalom függvényében** határoztam meg a BPR (*Bureau of Public Roads 1964*) képlet szerint:

$$(2) \quad t_i(v_i) = t_i^0 \left(1 + 0,15 \left(\frac{v_i}{CAP_i} \right)^4 \right)$$

ahol t_i az i-edik élhez tartozó eljutási idő [perc],

t_i^0 az i-edik élhez tartozó eljutási idő forgalommentes állapotban [perc],

v_i az i -edik élhez tartozó forgalomnagyság [jármű/nap],

CAP_i az i -edik él kapacitása [jármű/nap].

Mivel a négylépcsős modellezés során a forgalom időbeli lefolyását nem tudtam vizsgálni, ezért ebben a lépésben a **napi forgalmi értékekkel** dolgoztam. Az élekhez tartozó forgalomnagyságokat a ráterhelési lépésből tudjuk, a kapacitásadatokhoz pedig a Városkutatás Kft. modelljének adatait használtam fel (*Városkutatás 2008*). Ez a modell az útkategóriákhoz rendel kapacitást, így a gráf éleit besoroltam egy adott útkategóriába, és az így kapott kapacitás értéket megszoroztam a vizsgált szakaszon meglévő sávok számával. Bár a valóságban az utak teljesítőképessége nem egyenesen arányos a sávok számával, esetünkben ez az egyszerűsítés megengedhető, hiszen az alapul vett modell is tapasztalati úton meghatározott tényezők segítségével származtatta a napi kapacitásértékeket. A Városkutatás Kft. modellje a mértékadó órai forgalom (MOF) és az átlagos napi forgalom (ÁNF) között fennálló tapasztalati összefüggéseket felhasználva a folyópálya órás kapacitásából számítja a napi kapacitás értékét, így ezek közelítő értékeknek tekinthetők, és nem pedig fizikai kapacitáskorlátot jelentenek.

A torlódási díj hatására az igénymátrix módosul, ennek változását a költségmátrixok, illetve a rövidtávú személygépjárműves utazások elaszticitásának ismeretében határozhatjuk meg az alábbi képlettel (*Zhang et al. 2014*):

$$(3) \quad d_w^k = d_w^{k-1} * \exp \left[u_w \left(1 - \frac{c_w^k}{c_w^{k-1}} \right) \right]$$

ahol d_w^i az igénymátrix w -edik elemének értéke az k -edik állapotban [utazás/nap],

d_w^{i-1} az igénymátrix w -edik elemének értéke az $k-1$ -edik állapotban [utazás/nap],

u_w a személygépjárműves utazások elaszticitása,

C_w^i az k -edik állapotra vonatkozó költségmátrix w -edik eleme [Ft/utazás],

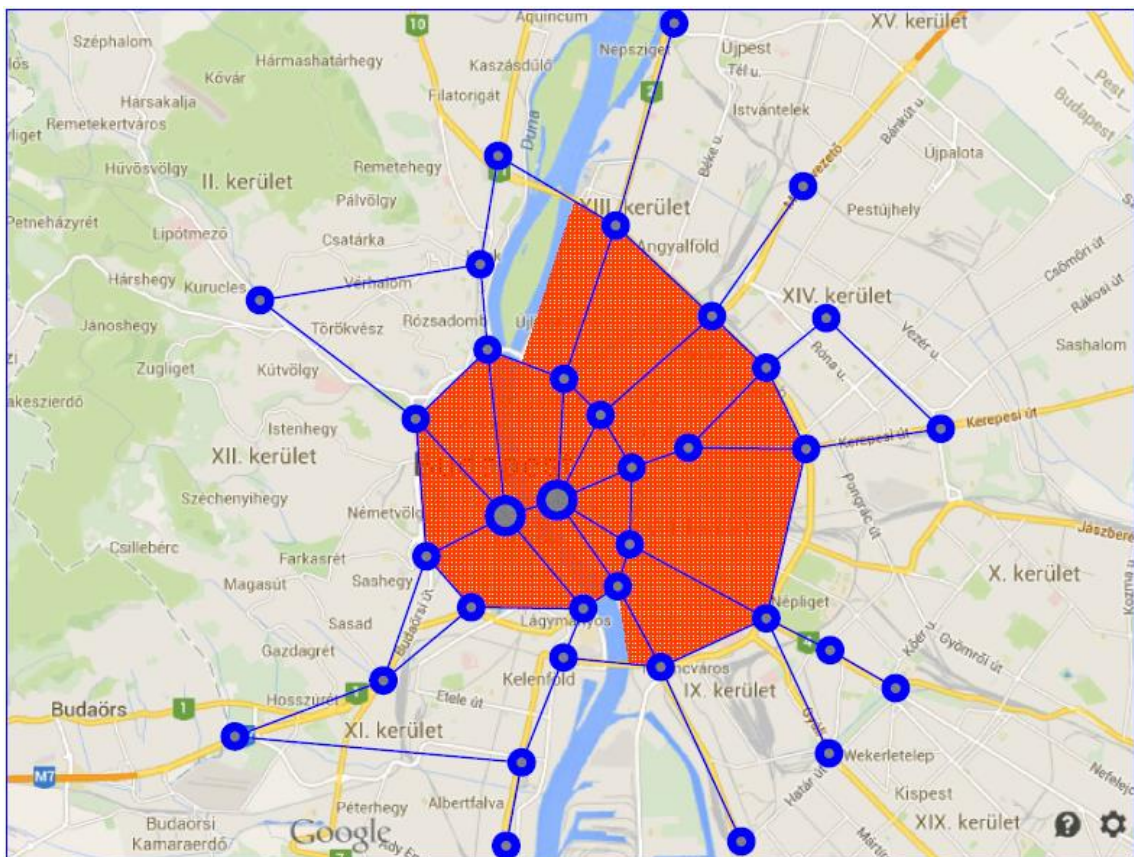
C_w^{i-1} az $k-1$ -edik állapotra vonatkozó költségmátrix w -edik eleme [Ft/utazás].

Az **elaszticitás** értékét szintén az NKS dokumentumai alapján **0,15**-nek vettem (*NKS 2013*). Az új igénymátrixszal természetesen a gráf élein új forgalomnagyságokat kapunk, és mivel ez befolyásolja az utazási időt, így új C^2 költségmátrix határozható meg az (1) és (2) egyenletek segítségével. C^1 és C^2 mátrixok ismeretében a (3) egyenlettel ismét meghatározható egy új igénymátrix, amelyhez ismételtén tartozhatna egy új költségmátrix, és újból számolható lenne a forgalmi átrendeződés, azonban az eltérések minden lépésnél egyre kisebbek lennének, ezért **ezt az igénymátrixot tekintjük állandósult állapotnak.**

4. Eredmények értékelése

4.1 Az értékelés módszertana

Az ismertett modell mellé szükséges volt lehatárolni a fizetős területet, ehhez a Városkutatás Kft. tanulmányai alapján, az 5. ábrán látható Hungária-gyűrű, Duna és a Budai-körút által határolt területet jelöltem ki.



5. ábra A fizetős terület kijelölése
(forrás: saját szerkesztés)

A modellezés eredményeit az alábbi szempontok alapján értékeltem:

- közlekedési igények alakulása,
- közlekedési volumen alakulása,
- bevételek alakulása,
- összes utazási idő alakulása,
- összes megtett út alakulása,
- átlagsebességek alakulása.

A vizsgálatokat a kordonalapú és távolságalapú esetben is 7-7 díjszintre végeztem el, ezeket a 2. táblázat mutatja be. Kordonos esetben a díjszintek meghatározásakor a budapesti tömegközlekedési vonaljegyek árából (jelenleg 350 Ft) indultam ki. Fontos, hogy az ugyanazzal a sorszámmal rendelkező kordonos és távolságarányos díjszintek (pl. 175 Ft és 50 Ft/km) esetében kapott modellezési eredmények **közvetlenül nem hasonlíthatók össze**, mivel a változatok alapját képző értékek eleve más dimenzióval (Ft és Ft/km) rendelkeznek! Az összehasonlításhoz sokkal alkalmasabbak a díjszint növekedésével együtt járó **tendenciák**.

2. táblázat Az alkalmazott díjszintek
(forrás: saját szerkesztés)

Díjszint sorszáma	1	2	3	4	5	6	7
Kordonalapú díjak [Ft]	175	220	265	305	350	395	440
Távolság- arányos díjak [Ft/km]	50	100	150	200	250	300	350

A **közlekedési igények** alakulását a kapott célforgalmi mátrixból közvetlenül határoztam meg, és külön vizsgáltam őket aszerint, hogy a forgalmi igény kezdő- és végpontjai a zónán kívül vagy belül található-e. Eszerint négy esetet különböztettem meg, melyeket az angol megnevezéseikből rövidítve jelöltem. A négy érték összegzése értelemszerűen megfelel a vizsgált változatra vonatkozó teljes forgalmi igénnyel. Az eseteket a 3. táblázat mutatja be.

3. táblázat A forgalmi igények lehetséges esetei és azok jelölése
(forrás: saját szerkesztés)

		A forgalmi igény végpontja	
		Fizetős területen belül	Fizetős területen kívül
A forgalmi igény kezdőpontja	Fizetős területen belül	DII	DIO
	Fizetős területen kívül	DOI	DOO

A **közlekedési volument** a kordon- illetve zónahatáron belül és kívül található útszakaszok forgalomterhelésének összegeként értelmeztem. A 4. ábrán bemutatott folyamat eredményeként előállt végléges igénymátrixok alapján végzett ráterhelések segítségével kerültek előállításra a forgalomnagyságok, amelyek a **napi bevételek** meghatározásához is szükségesek. Kordonos esetben csak azok a fizetős útszakaszok, amelyek végpontjánál a kordon megtalálható. A számítás az alábbi képlettel történt:

$$(4) \quad B_{napi} = \sum_j (N_j * c_k)$$

ahol B_{napi} a teljes napi bevétel [Ft],

N_j a j-edik fizetős útszakasz forgalomterhelése [jármű/nap],

c_k a kordonos esetben alkalmazott díjszint mértéke [Ft].

Távolságarányos esetben a fizetős szakaszok száma változik (az összes zónán belüli útszakasz azzá válik), és a képlet is kissé módosul az alábbiak szerint:

$$(5) \quad B_{napi} = \sum_l (N_l * c_t * s_l)$$

ahol B_{napi} a teljes napi bevétel [Ft],

N_l az l-edik fizetős útszakasz forgalomterhelése [jármű/nap],

c_t a távolságarányos esetben alkalmazott díjszint mértéke [Ft/km],

s_l az l-edik fizetős útszakasz hossza [km].

Az **összes utazási idő** (total travel time) alakulását a modellezés eredményeiből a következő képlettel határoztam meg:

$$(6) \quad TTT = \sum_i (N_i * t_i) / 60$$

ahol TTT az összes utazási idő [óra],

N_i az i-edik útszakasz forgalomterhelése [jármű/nap],

t_i az i-edik útszakasz megtételéhez szükséges idő [perc].

A TTT érték szétbontható kordon- illetve zónahatáron belüli és kívüli utazási időkre is, melyek összege értelemszerűen kiadja az összes utazási időt.

A már ismert értékekből meghatározható az **összes megtett út** (total travel distance) is, az alábbi képlet szerint:

$$(7) \quad TTD = \sum_i (N_i * s_i)$$

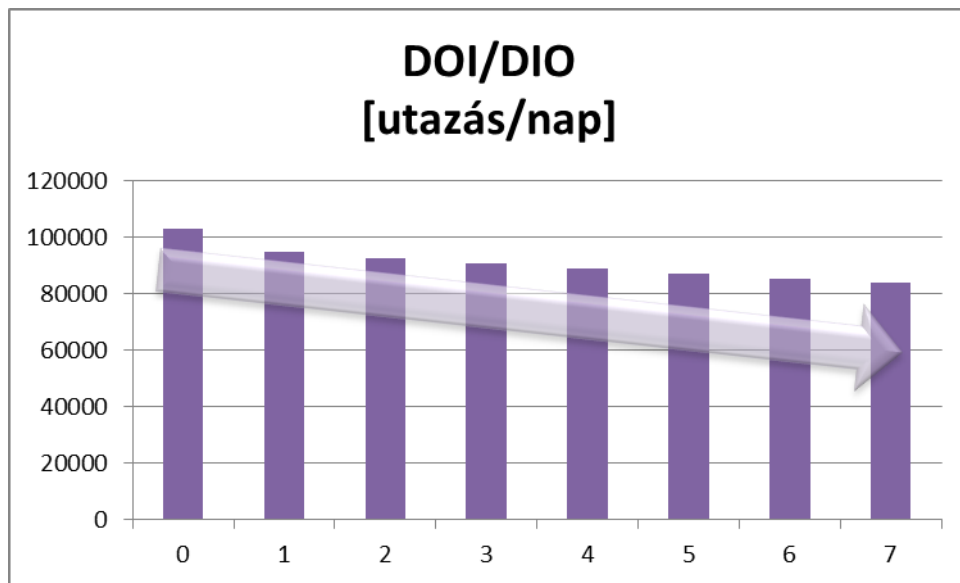
ahol TTD az összes megtett út [járműkm],

N_i az i-edik útszakasz forgalomterhelése [jármű/nap],

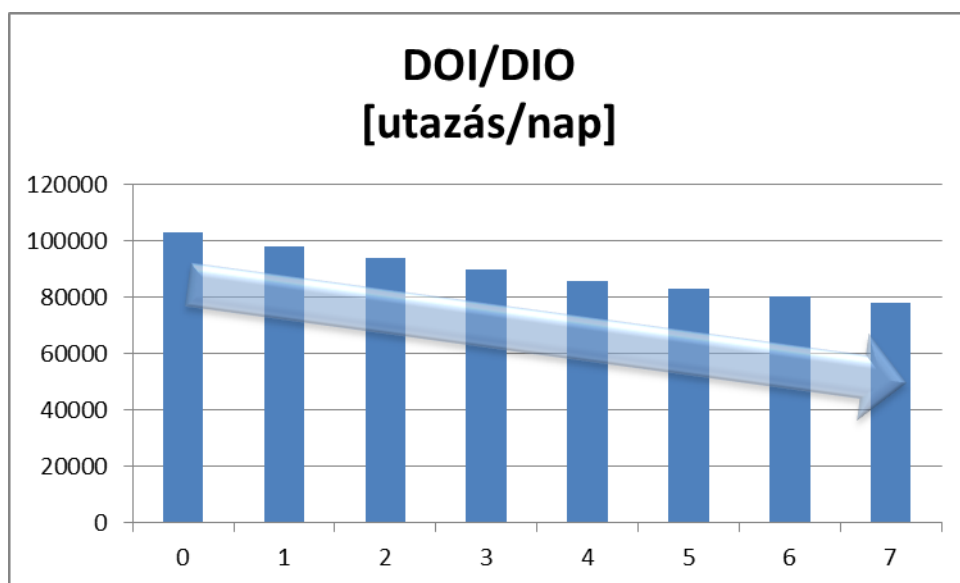
s_i az i-edik útszakasz hossza [km].

A TTD érték az előzőhöz hasonlóan szintén szétbontható területileg belső és külső értékekre, emellett a TTD és TTT értékek hányadosából számolható az **átlagsebesség**.

4.2 Közlekedési igények alakulása

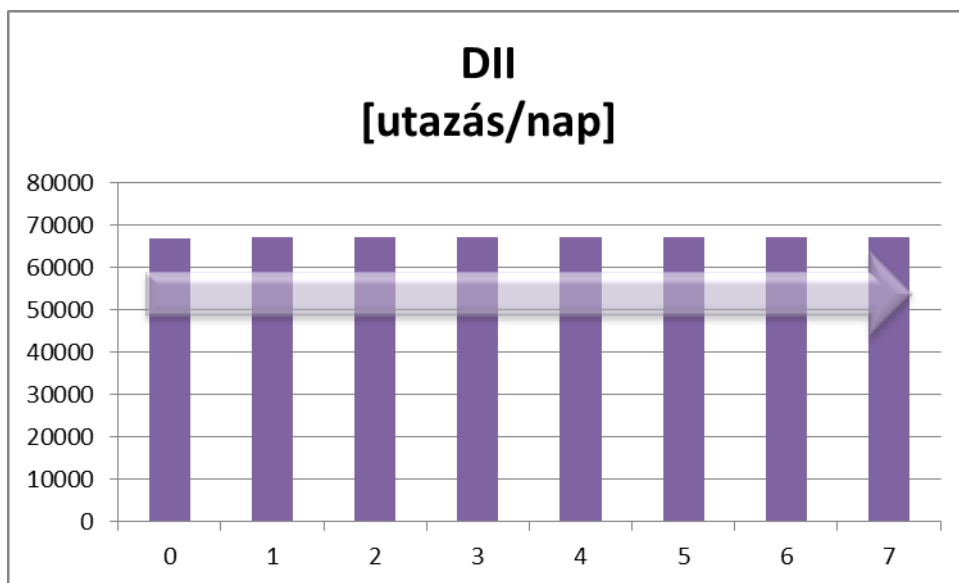


6. ábra DOI/DIO igények alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

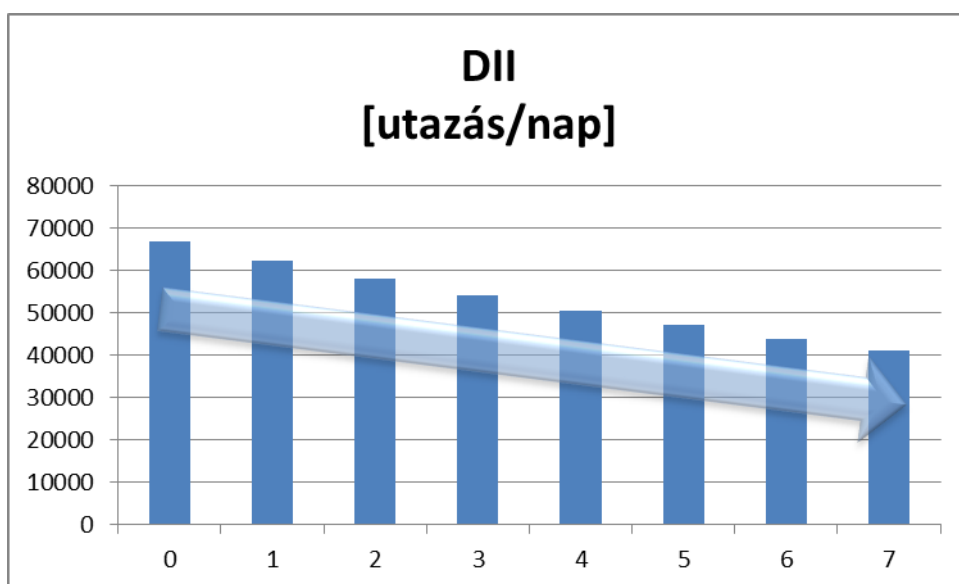


7. ábra DOI/DIO igények alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

A belső területre belépő és az onnan kilépő célforgalmak a szimmetrikus igénymátrix miatt ugyanakkora értékeket vesznek fel. Az utazásoknak ezen szegmensét mindkét rendszer szabályozza, az utazások száma **mindkét esetben csökken**, a felhasználóknak egy része vagy **tömegközlekedésre vált**, vagy az **utazás elhagyása** mellett dönt, azonban ennek részletesebb vizsgálatára a modell nem ad lehetőséget.



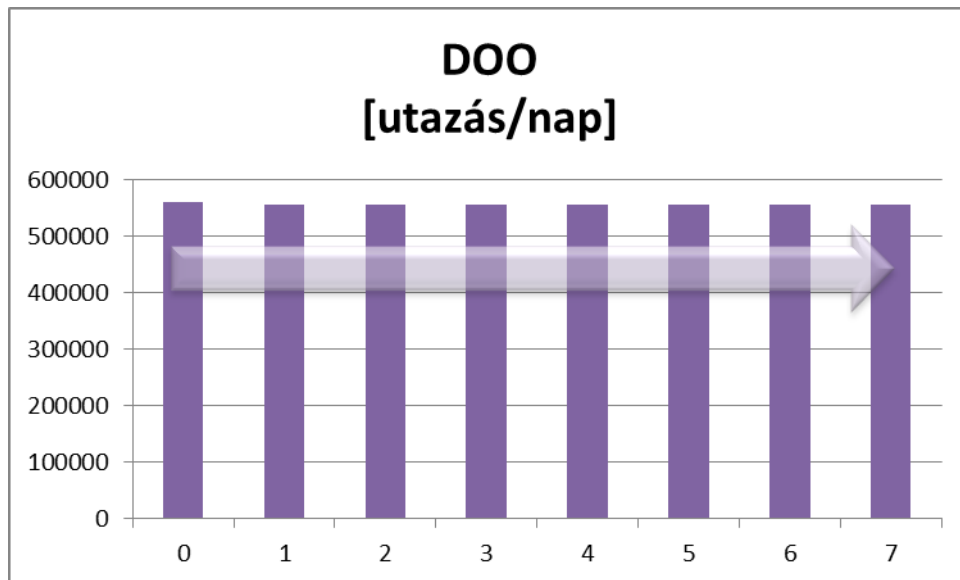
8. ábra DII igények alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



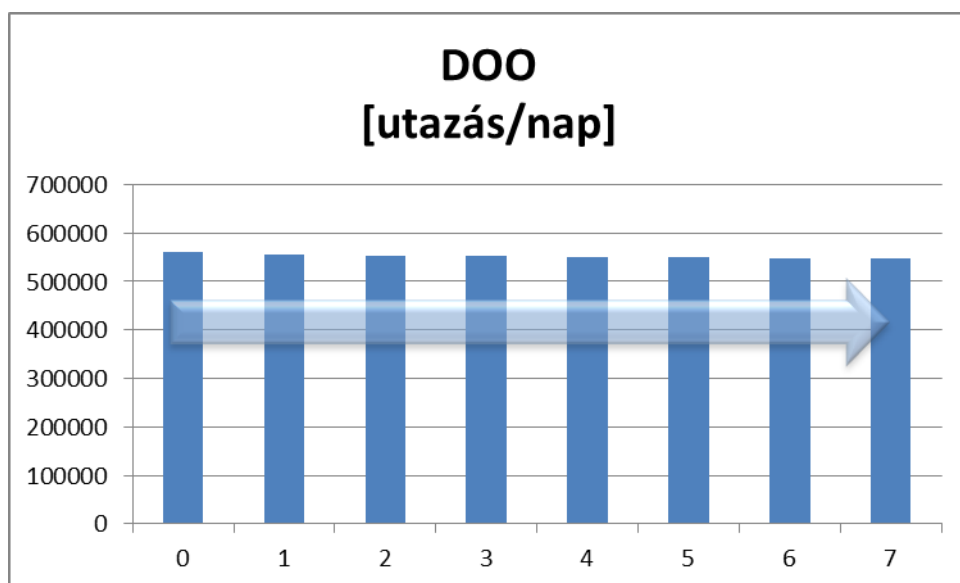
9. ábra DII igények alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

A két rendszer között jól láthatóan alapvető a különbség a kordon- illetve zónahatárt át nem lépő, belső forgalom alakulása tekintetében. **A kordonalapú rendszer a forgalomnak erre a szegmensére nem vet ki díjat**, így a forgalmi igények csak elhanyagolható (az ábrán nem is látható) mértékben változnak. Ennek a kismértékű változásnak az oka abban keresendő, hogy a forgalom egyéb részében ettől függetlenül történik némi átrendeződés, mely hatással van a fizetős területen belüli útszakaszok kapacitásának kihasználtságára, ezáltal pedig a felhasználók költségeire. Ezzel szemben

a **távolságarányos útdíj** esetében a zónán belüli utazások száma is **jelentősen csökken** a díjszint növekedésével.

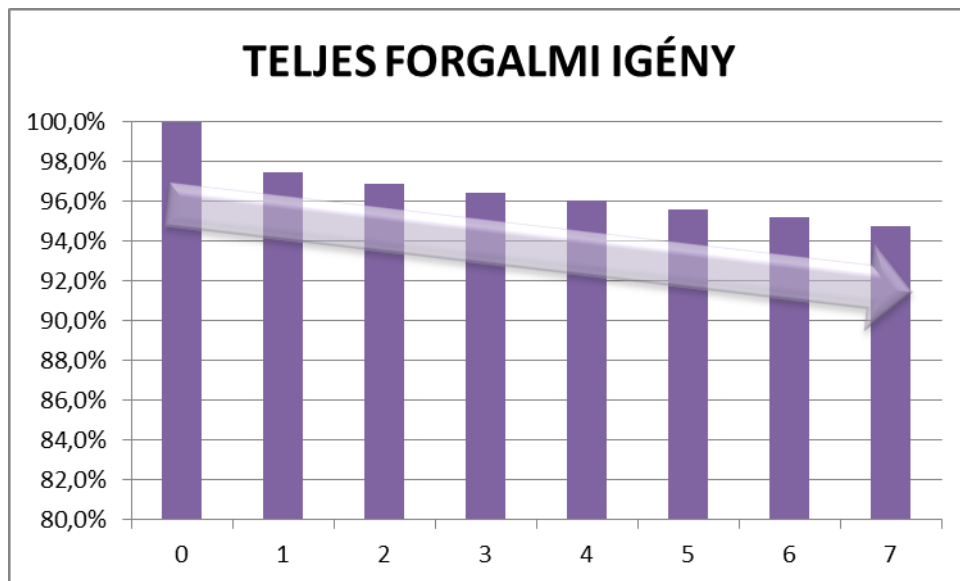


10. ábra DOO igények alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

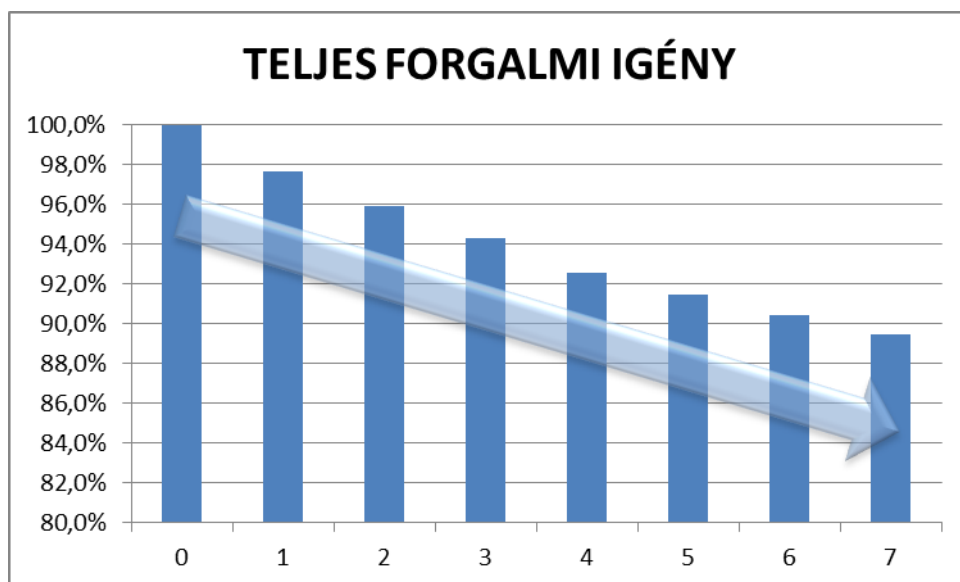


11. ábra DOO igények alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

A kijelölt területen kívül eső utazási igények mindkét esetben egy állandó szint körül mutatnak **minimális ingadozásokat**. Ezek az eltérések a kordonalapú esetben vizsgált DII igényekhez hasonlóan azért jöhetnek létre, mert bár a DOO igényekre a torlódási díj egyik esetben sincs hatással, a forgalmi átrendeződés hatással van a költségekre.



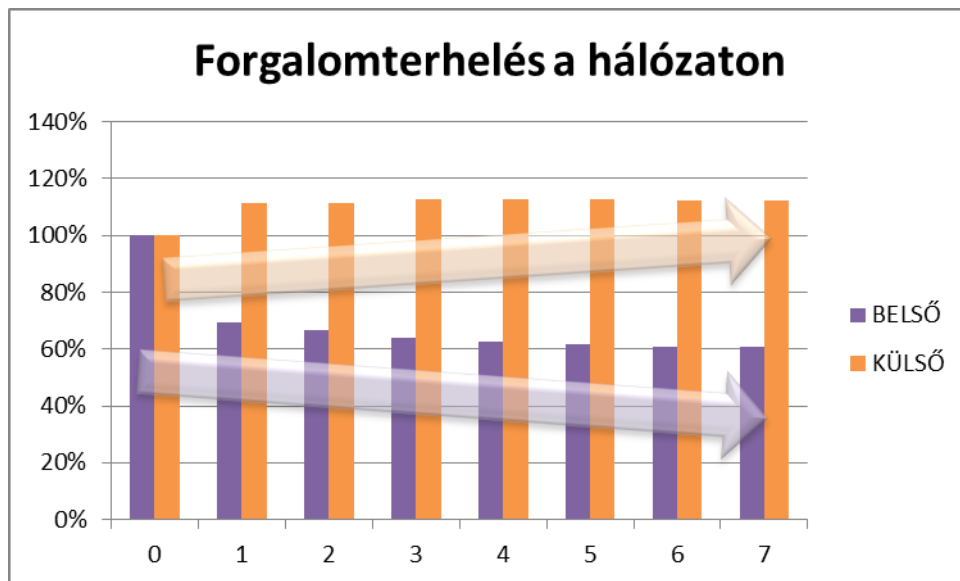
12. ábra A teljes forgalmi igény csökkenése a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



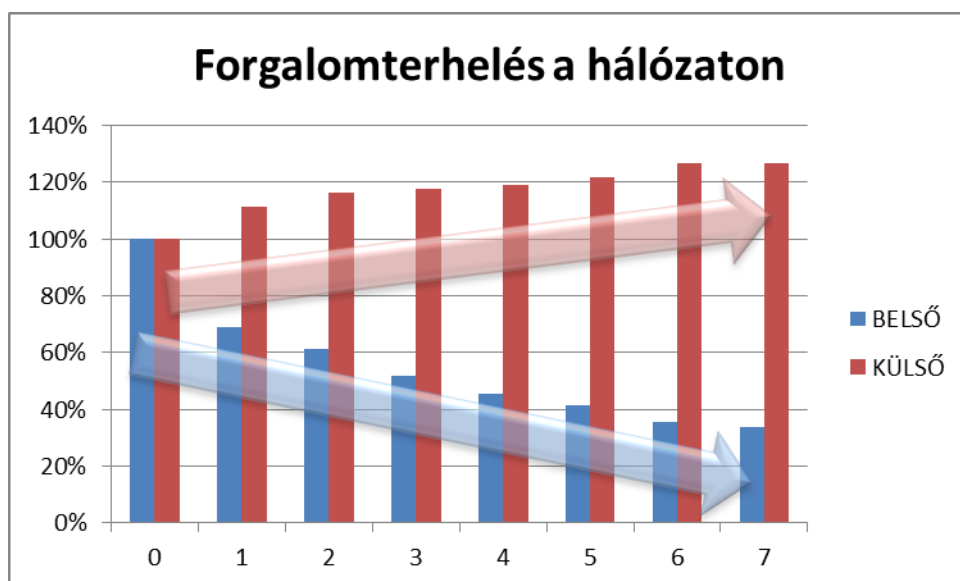
13. ábra A teljes forgalmi igény csökkenése a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

Az ábrákból jól látható, hogy a teljes forgalmi igény a **távolságalapú rendszerben jóval erőteljesebben csökken**, hiszen a korábban bemutatottaknak megfelelően a kordonos kialakítással kizárólag a kordont átlépő forgalmi igényeket szabályozhatjuk, míg távolságarányos díjfizetéssel a zónán belül keletkező forgalmi igények is csökkenthetők, ez okozza a különbséget.

4.3 Közlekedési volumen alakulása



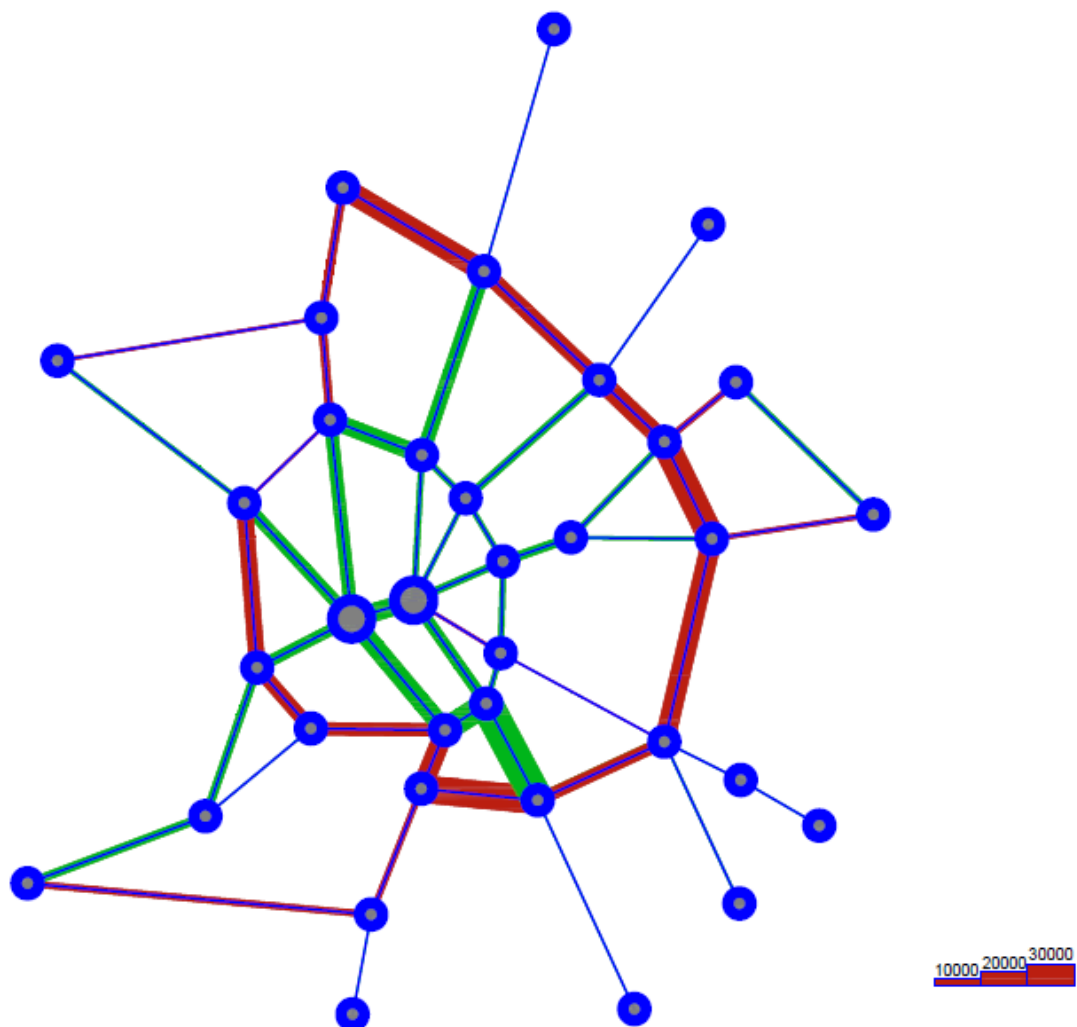
14. ábra A forgalomterhelés alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



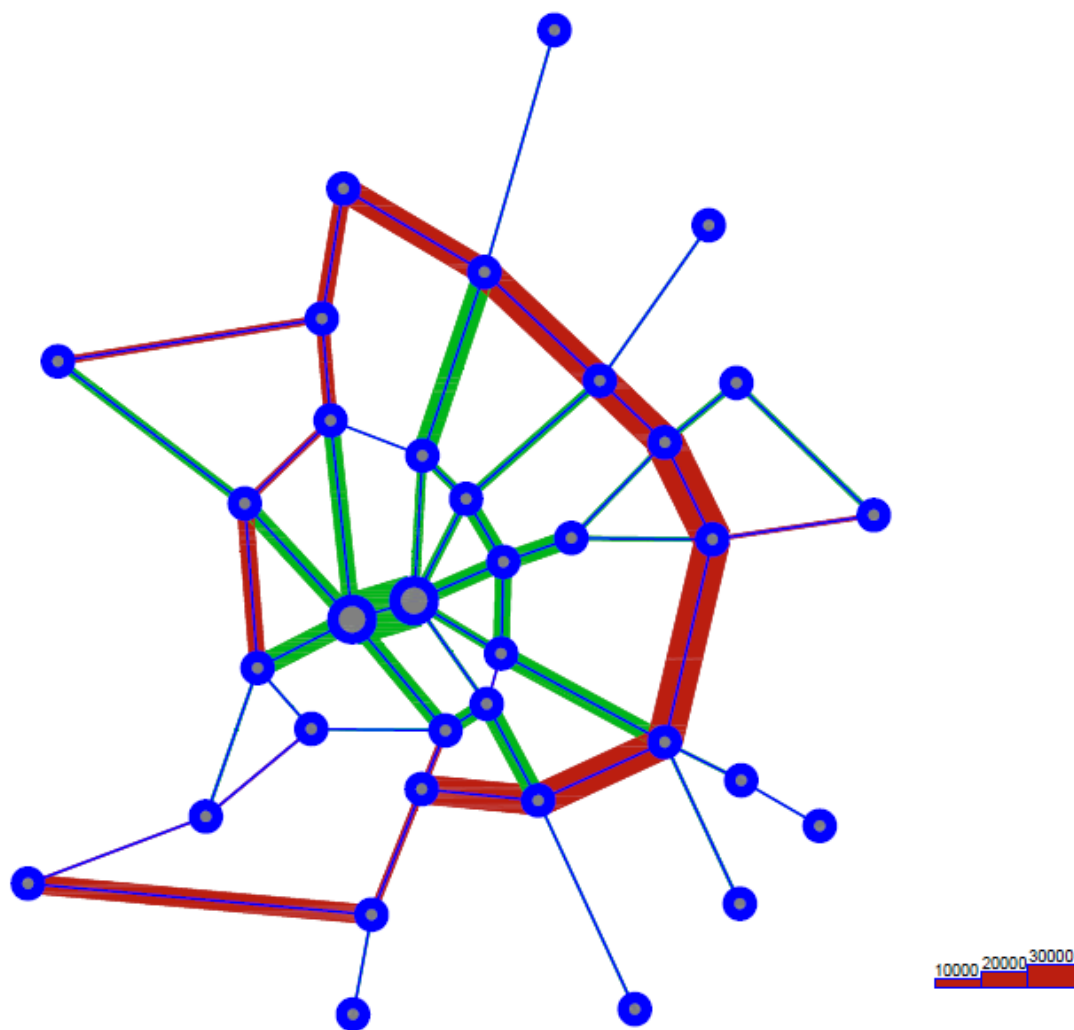
15. ábra A forgalomterhelés alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

A diagramokból látható, hogy **távolságarányos díjstratégiával** jóval **dinamikusabban változtatható a forgalmi átrendeződés**. A belső úthálózat forgalomterhelése a legmagasabb díjszint esetén közel a harmadára csökken, míg a külső hálózaton a forgalom kb. negyedével nő. Ezzel szemben a kordonalapú rendszerben jóval mérsékeltebb változásokat láthatunk, a vizsgált díjszintekkel a külső és belső hálózat forgalomterhelései gyakorlatilag egy-egy értékre álltak be.

Elkészítettem a modellezett hálózat forgalomterhelési ábráit is a középső (4.) díjszintek adatait alapul véve. Ezek segítségével szemléltethető, hogy **a kordon- és zónahatárt jelentő gyűrűn keletkezik** mindkét esetben jelentősebb **forgalomművekedés**, a **belső útszakaszok forgalma** mindkét esetben **csökkent**, a távolságalapú rendszernél erősebben. Megjegyzendő, hogy a távolságalapú rendszer 4. díjszintjétől kezdve a modelleredmények alapján bizonyos útszakaszokról teljesen eltűnt a forgalom. Ennek oka, hogy ezek a szakaszok hosszúnak számítanak a rendszerben, így ott magas költség keletkezik a felhasználók számára, és mivel alternatív útvonalon jól kiválthatóak, ezért a felhasználók elkerülik. Egy jóval részletesebb, utca szintű modellben ilyen természetesen nem fordulna elő, mert nem keletkeznének ennyire hosszú szakaszok, azonban a távolságalapú díjstratégia egyik sajátosságára jól rámutat ez a jelenség.

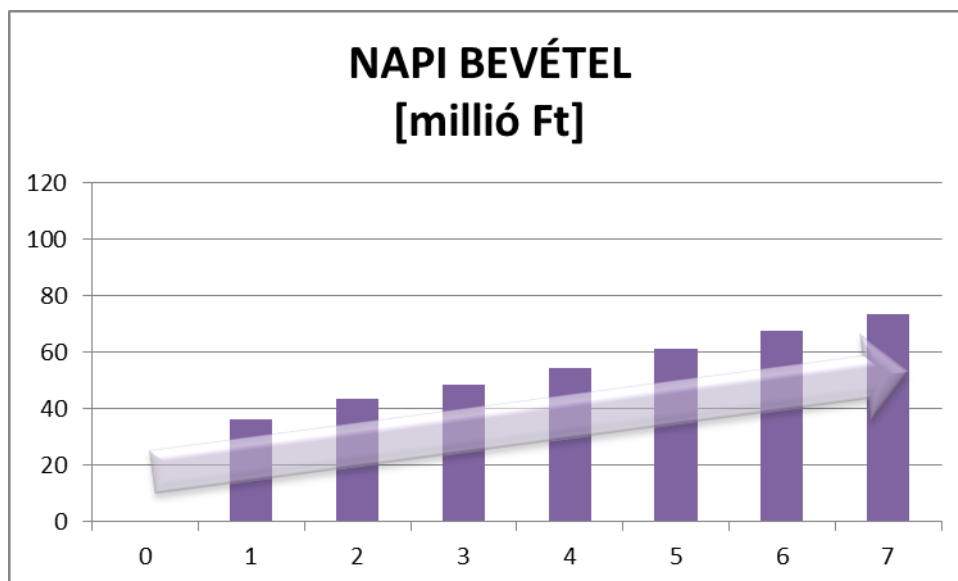


16. ábra Forgalomterhelés változása a kordonalapú rendszerben (4. díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)

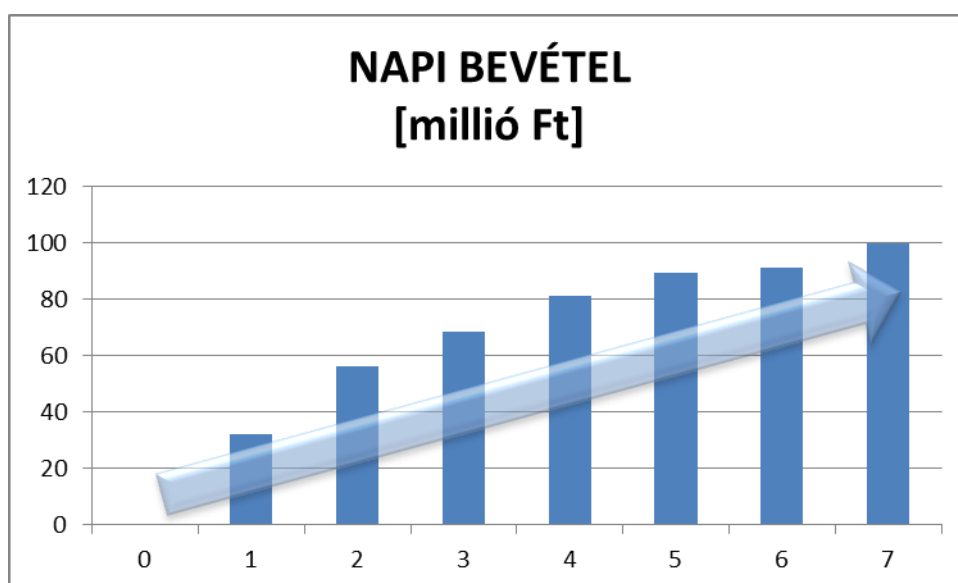


17. ábra Forgalomterhelés változása a távolságalapú rendszerben (4. díjszint)
(forrás: saját szerkesztés)

4.4 Bevételek alakulása



18. ábra A napi bevétel alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

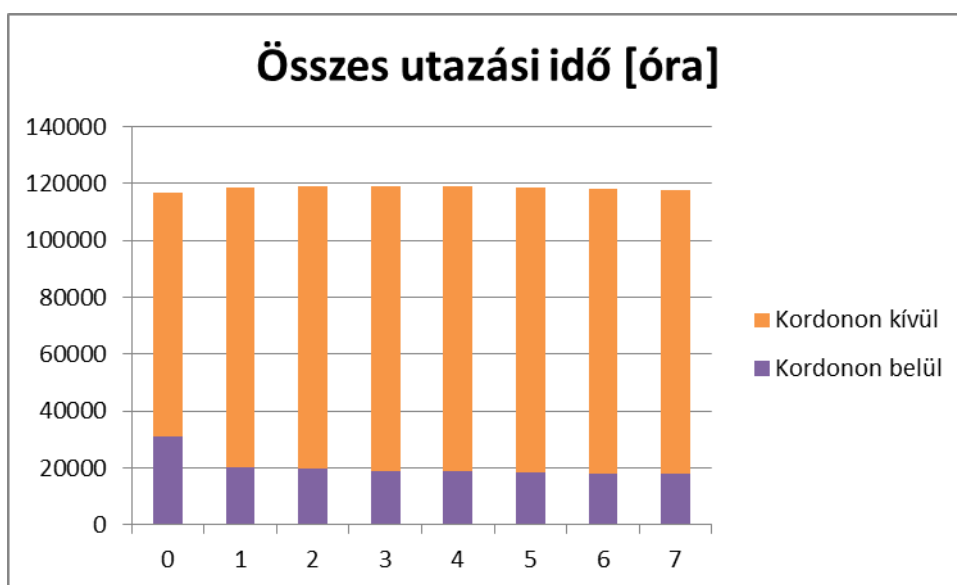


19. ábra A napi bevétel alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

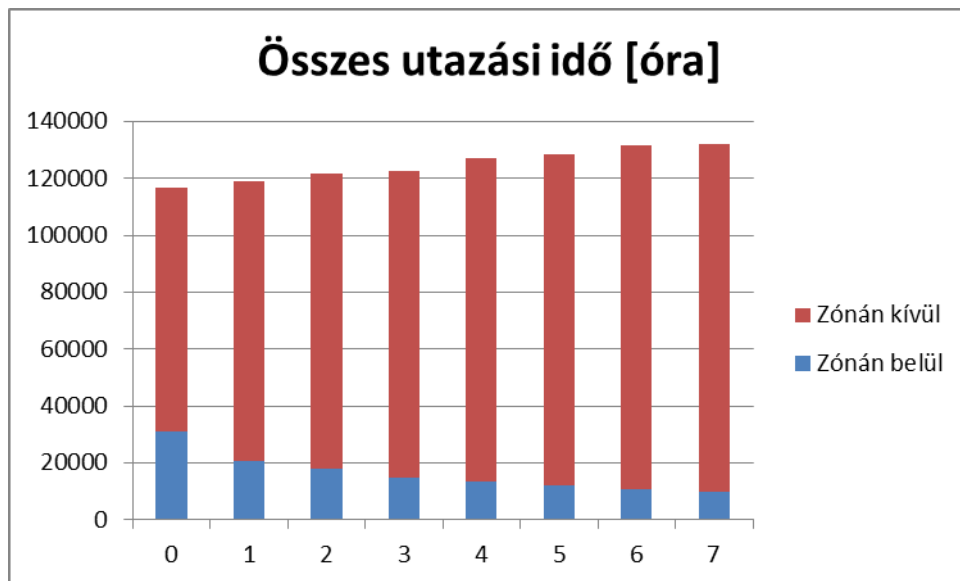
A napi bevétel esetünkben egy jól kézzelfogható, forintban kifejezett érték, melyet önmagában, viszonyítási alap nélkül is jól tudunk értelmezni (például a napi utazási igény már kevésbé ilyen). Ez azonban a modellezés egyszerűségéből fakadóan nagy eltéréseket mutathat egy jóval részletesebb, erre a célra kialakított szoftverrel végzett modellezéshez képest, messzemenő következtetéseket tehát itt sem a pontos értékekből, hanem a tendenciákból érdemes levonni. Az ábrán látható, hogy az általam

meghatározott kezdeti díjszintekkel (175 Ft/áthaladás és 50 Ft/km) mindkét esetben körülbelül azonos bevétel érhető el, a díjszint növelésével viszont a távolságalapú rendszer bevételei dinamikusabban nőnek. A **távolságarányos díjstratégia** alkalmazása azonban jóval magasabb költségekkel is rendelkezik, így elmondható, hogy ennek a rendszernek az alkalmazása pénzügyi szempontból **magasabb díjszint esetén lehet kifizetődő**. A forrásteremtés mellett a városi útdíjak más célokat is szolgálnak, azonban a döntéshozók számára ez legalább olyan fontos szempont, mint a forgalmi igények szabályozása.

4.5 Összes utazási idő alakulása



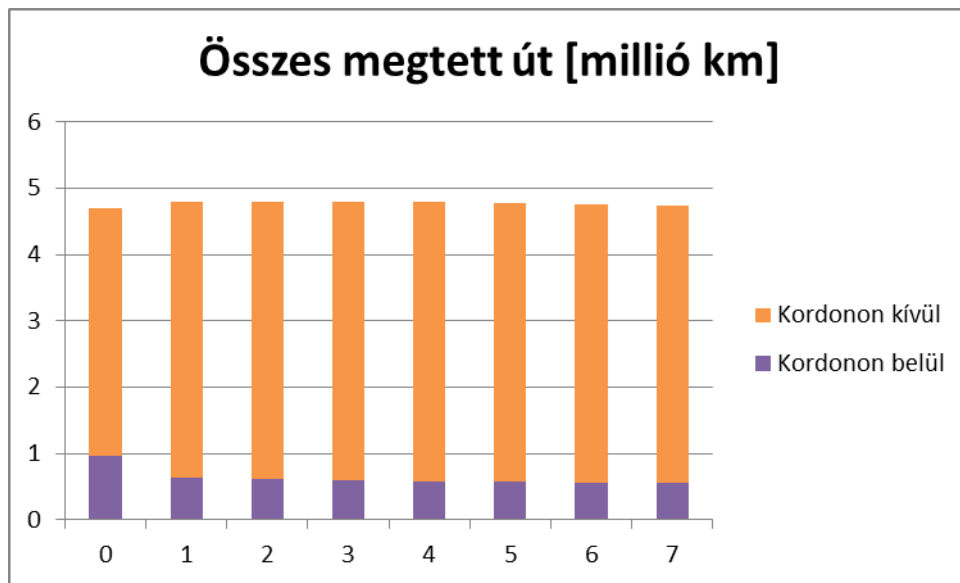
20. ábra Az összes utazási idő alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



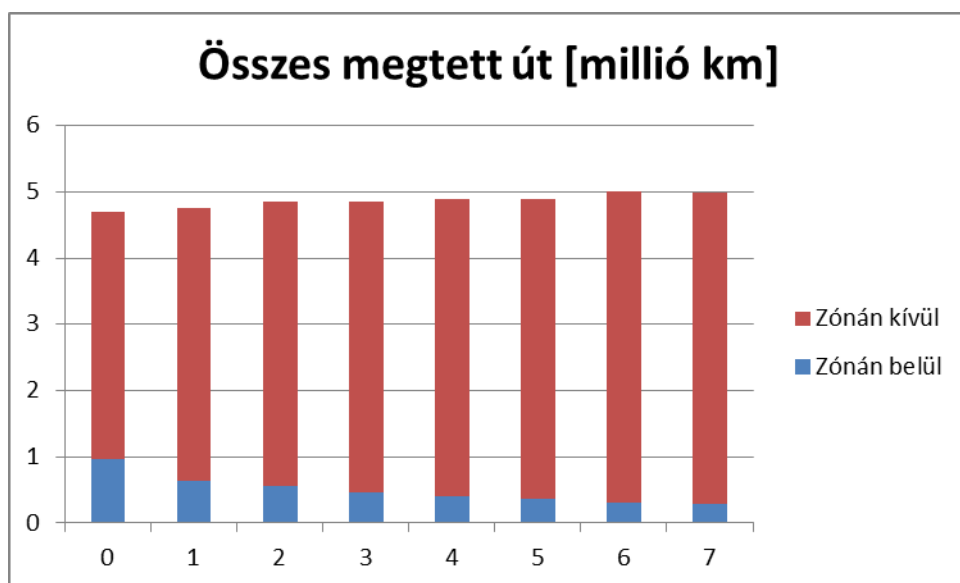
21. ábra Az összes utazási idő alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

Az összes utazási idő alakulása érdekes különbségekre mutat rá. A **kordonalapú rendszer esetében** a teljes hálózaton eltöltött utazási idő **gyakorlatilag nem változik**, inkább csak a kordonon belüli és kívüli területekhez tartozó értékek között történik némi átrendeződés. Ezzel szemben a **távolságalapú rendszer**nél azt láthatjuk, hogy a zónán belüli értékek csökkennek, a teljes hálózatra vett értékek mégis **növekedést mutatnak**. Ez abból fakad, hogy a felhasználók a magas kilométerenkénti tarifák hatására sok esetben olyan kerülőutakat választanak, amelyek segítségével a zónán belül megtett úthosszt minimalizálni tudják, még akkor is, ha ezzel megnő az eljutási idő.

4.6 Összes megtett út alakulása



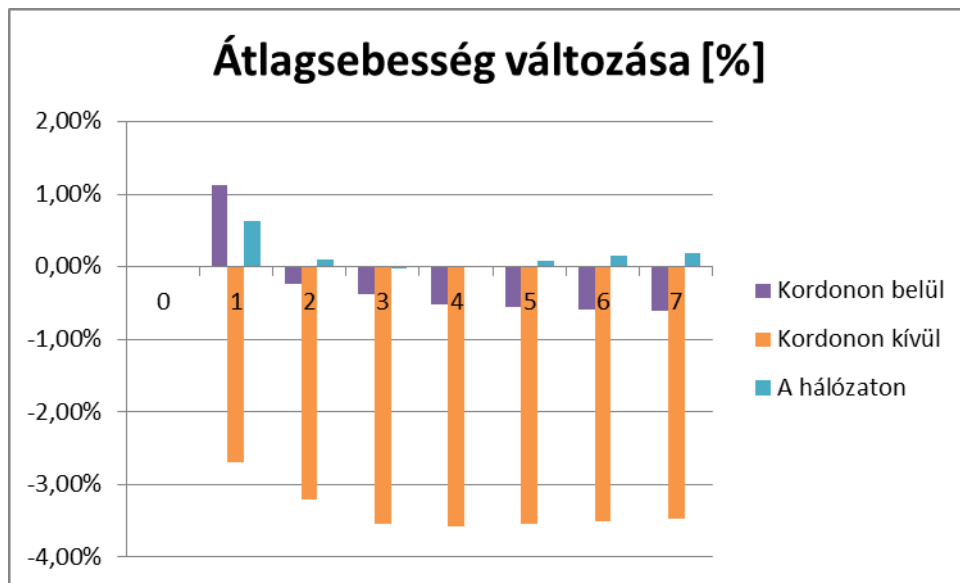
22. ábra Az összes megtett út alakulása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



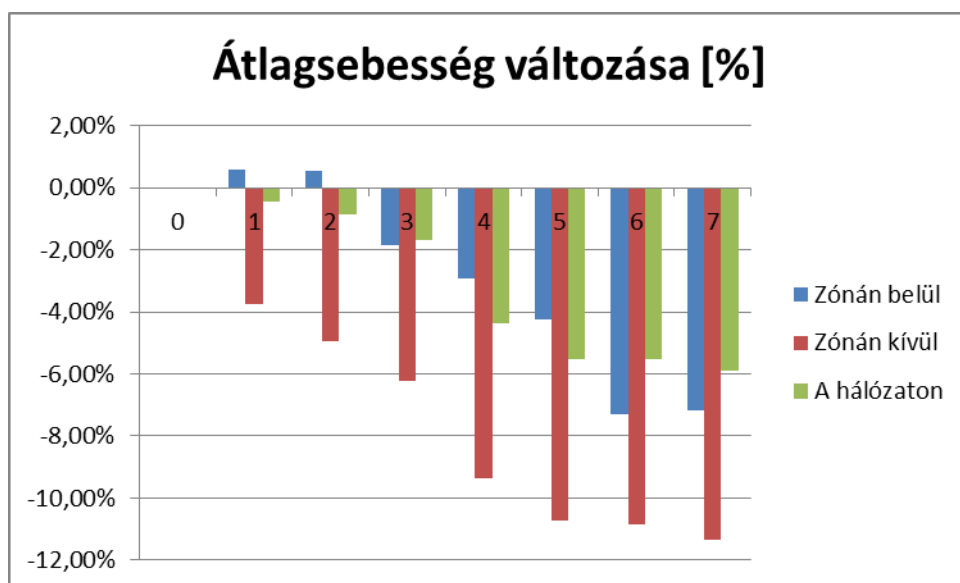
23. ábra Az összes megtett út alakulása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

Az összes megtett út vizsgálata szintén rámutat arra, hogy a magas kilométer-arányos tarifák milyen mértékben terelik át a forgalmat a zónán belüli szakaszokról a külső hálózati elemekre. Látható, hogy a **távolságalapú rendszerben** a magas díjszintek esetén a **zónán belüli futásteljesítmények részaránya minimálisra csökken**, ezzel szemben a **kordon alapú rendszerben ez a változás jóval mérsékeltebb**.

4.7 Átlagsebességek alakulása



24. ábra Átlagsebesség változása a kordonalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)



25. ábra Átlagsebesség változása a távolságalapú rendszerben
(forrás: saját szerkesztés)

Az átlagsebesség alakulása az előző két pontban bemutatott értékekből számolható. A két vizsgált stratégia igen eltérő jellemzőket mutat, a kapott értékek bővebb magyarázatra szorulnak. A kordonos rendszerben a zónán belüli átlagsebesség csak kicsi eltéréseket mutat, a díj nem befolyásolja jelentősen a mértékét. A kordonhatáron kívüli átlagsebesség azonban nagyobb mértékű, kb. 3%-os csökkenést mutat, melyet az útszakaszok megnövekedett forgalma okoz. A teljes hálózatra vetített átlagsebesség

minimálisan, gyakorlatilag elhanyagolható mértékben nő. Bár a modelleredmények alapján a kordon mindkét oldalán külön-külön csökken az átlagsebesség, azonban a kordonon kívüli forgalom részaránya egyre nagyobb lesz, ezért a kordonon kívüli magas (bár a díjszint növelésével csökkenő) átlagsebesség lesz a domináns. Így fordulhat elő, hogy a teljes hálózatra vizsgált átlagsebesség minimálisan nő. A távolságarányos díjak esetében a sebességjellemzők alakulását más hatások váltják ki, bár a zónán kívüli átlagsebesség drasztikus csökkenése ez esetben is a megnövekedett forgalomnak köszönhető. A kordonossal szemben itt a zónán belül is visszaesik a forgalom sebessége, amely azt szemlélteti, hogy a felhasználók a távolság minimalizálására törekednek, az idő gyakorlatilag nem számít. Ebből kifolyólag az zónán belül az összes megtett út erőteljesebb csökkenést mutat, mint az összes utazási idő, ez pedig az átlagsebesség csökkenéséhez vezet. Fontos azonban megjegyezni, hogy a sebességek változásának pontosabb vizsgálata részletesebb forgalmi modellezéssel lenne lehetséges, amelyben az eljutási időt a csomópontok forgalmi jellemzői is befolyásolják (jelen esetben ezt nem modelleztem).

5. Eredmények összegzése, következtetések

Fontos, azonban eddig nem vizsgált kérdés, hogy milyen realitásai vannak az egyes díjstratégiák bevezetésének. Az idén átadott M4-es metró építéséhez elnyert kb. 180 milliárd forintos uniós támogatási szerződés megkötésekor a Főváros vállalta, hogy a város belső forgalmas területére torlódási díjat vet ki, így mindenképpen szükséges a rendszer bevezetése, ellenkező esetben a már felhasznált támogatást vissza kell fizetni.

A hazai szakma jelenleg egyértelműen **a kordonos rendszer kialakítását támogatja**, 2013-ban a BKK megbízására a TRENECON-COWI elkészítette a fővárosi személyforgalmi behajtási díj bevezetésének döntéstámogató tanulmányát, amely alapján az általam is bemutatott területi lehatárolással rendelkező kordonalapú rendszer kerülhet megvalósításra.

Ehhez a behajtási pontokon automatikus rendszámleolvasó, illetve átnézeti kamerák alkalmazása, redundáns adatátviteli hálózat telepítése, forgalomtechnikai jelzésrendszer kiépítése és változtatható jelzésképű telepítése szükséges, ezek költsége összesen több mint 3,5 milliárd forint (*BKK, TRENECON-COWI 2013*).

Egy távolságalapú rendszer megvalósításához **járműfedélzeti egységek** szükségesek, azonban irreális elképzelés lenne, hogy a fővárosi útdíj miatt az egész hazai gépjárműállomány fedélzeti egységet kapjon, így viszont a távolságarányos díj nem vethető ki mindenkire. Ráadásul a kamerás rendszer kiépítése sem kerülhető el, mivel a bliccelők továbbra is csak ezzel a módszerrel szűrhetők ki. Ezzel, egy esetleges stratégiaváltás esetén a meglévő infrastruktúra sem válna feleslegessé, hanem az új rendszerben működhetne tovább.¹

A szimulációs eredményekből többnyire az látszik, hogy a kordonos esetben a legnagyobb változások akkor következnek be, amikor a díjat kivetjük, a forgalmi jellemzők magasabb díjszintek esetén már nem mutatnak drasztikus változásokat. Ezzel szemben a **távolságalapú rendszer esetén egységnyi díjváltozásra nagyobb reakciókat mutatnak a forgalmi jellemzők.**

¹ Az ellenőrzés témaköre és a további, behajtási díjhoz kapcsolódó műszaki feltételek (pl. forgalomtechnika, díjbeszedés megvalósítása) részletezése hosszabb, külön fejezetet igényelne, ezért terjedelmi okokból a dolgozat bővebben nem foglalkozik velük.

A kordonalapú rendszer alacsonyabb, Magyarországon talán elfogadhatóbbnak ítélt díjszint mellett egy remek forrásszerzési lehetőség a közlekedésfejlesztés számára, azonban az externális problémák kérdéskörének megoldására csak mérsékelten alkalmas.

Ezzel szemben a távolságalapú rendszer igazságosabban ró terhet az utazókra, hiszen a felhasználók használatarányos útdíjat fizetnek. Ezzel ráadásul a védett belső zónát kiemelten tehermentesíti, hiszen a felhasználókat arra ösztönzi, hogy minél kevésbé vegyék igénybe a fizetős úthálózatot. Hátránya azonban, hogy a zónán kívüli elkerülő útszakaszok igen jelentős többletterhelést kapnak, amely az vizsgált teljes futásteljesítményt megnöveli. Ez azt jelenti, hogy **bár a belső zóna tehermentesül, a teljes hálózatra nézve egyre nagyobb forgalom generálódik.**

A rendszer megvalósítása **a kordonalapúhoz képest költséges és bonyolult**, éppen ezért ma még nem reális alternatíva, de a járműipar és az információs technológiák folyamatos fejlődésével, a rendelkezésre álló adatmennyiség folyamatos növekedésével hosszabb távon, a stratégiai céloknak megfelelően akár valóságos célkitűzéssé is válhat.

A vizsgálat további finomítására a pontosabb eredmények érdekében szükség van, így a dolgozat továbbfejlesztési lehetőségeit a makroszkopikus modellező szoftverek használata, a modell alapját képző úthálózat részletesebbé tétele, illetve a kivetett díjak differenciálása jelenthetik.

6. Összefoglalás

A dolgozat első részében bemutattam, hogy a városi közlekedés résztvevői hogyan okoznak egymás számára külső (externális) költségeket azzal, hogy a korlátos útkapacitást egyszerre többen igyekeznek igénybe venni, ebből kifolyólag vizsgáltam, hogy közgazdasági oldalról hogyan közelíthető meg a torlódási díj rendszere.

Szakirodalmi források alapján bemutattam, hogy milyen keretek között van lehetőség a városi útdíj kivetésére, milyen elvek alapján határozhatjuk meg a rendszer működését. Az elvi lehetőségek áttekintése után kiválasztottam a kordonalapú működést, mint a Budapesten várhatóan bevezetésre kerülő rendszer alapelvét, illetve a távolságalapú működést, mint lehetséges alternatív megoldást.

A dolgozat második felében a két kiválasztott díjstratégiát a forgalmi modellezési elméleti alapismereteim és szakirodalomból vett ismeretek segítségével Budapest esetére vizsgáltam. Korlátozott lehetőségeimhez alkalmazkodva igyekeztem a rendszert lehetőleg minél egyszerűbben, de használható módon megfogni, hogy a modellezés elvégezhető legyen.

Első lépésben felvettem azt az egyszerűsített fővárosi úthálózatot, amely a modell alapját képezte, ezt követően erre a hálózatra felállítottam egy célforgalmi mátrixot. A mátrix előállításánál a rendelkezésemre álló keresztmetszeti forgalomnagyságok jelentették a kalibrálási értékeket. A négylépcsős modellezésben nagy hasznát vettem egy informatikus hallgatótársam által rendelkezésemre bocsátott programnak, amely a ráterhelési lépéseket végezte el az általam megadott specifikáció alapján.

Ezt követően bemutattam az útdíj hatásainak vizsgálatára szolgáló modellezési módszertant. A felhasználók költségfüggvényeiből előállított költségmátrixok és a személygépjárműves utazások elaszticitása alapján új igénymátrixokat állítottam elő, melyekre szintén elvégeztem a ráterhelési lépéseket, így minden vizsgált díjszintre részletes forgalmi helyzetképet kaptam, melyeket értékeltem.

Az értékelés során rámutattam a kordonalapú és a távolságalapú rendszerekkel elérhető eredmények különbségeire, majd röviden ismertettem, hogy jelenleg hogyan áll a „dugódíj” ügye Budapesten.

Kiderült, hogy bár rövidtávon gyakorlatilag csak a kordonalapú rendszernek van realitása, hosszabb távon mégis érdemes lehet (a közlekedéspolitikai és stratégiai célok függvényében) szélesebb körben gondolkodni, hiszen más rendszerek más módon szolgálhatják a célok teljesülését. Ezzel a dolgozat fő célja teljesült.

Felhasznált irodalom

Börjesson, Maria; Eliasson, Jonas; Hugosson, Muriek B.; Brundell-Freij, Karin: The Stockholm congestion charges – 5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. Transport Policy, Vol. 20 (March 2012), pp. 1-12, 2012.

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

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

Forgách Veronika, Tóth Lajos, Török Ádám: Közlekedés és környezetvédelem. Kapcsolatrendszer a társadalmi és gazdasági térben. Camion Truck & Bus, Vol. 15 No. 2, pp. 88-89, 2008.

Juhász Mattias, Mátrai Tamás, Gál Gergely: The possibility of introducing congestion charging in Budapest – assessment of theoretical alternatives. Munkaközi anyag. URL: <http://www.sietitalia.org/wpsiet/WP%20Juhasz%20et%20al.%202014.pdf> Utolsó letöltés: 2014.10.12.

Kövesné Gilicze Éva, Tarnai Júlia, Debreczeni Gábor, Mészáros Péter, Tóth János, Mándoki Péter: A fenntartható városi mobilitás feltételrendszere

Levegő Munkacsoport: Dugódíj – de hogyan? Kordon nélkül is csökkenthető a közlekedési levegőszennyezés. URL: http://www.levego.hu/sites/default/files/kiadvanyok/dugodijtanulmany20130424_0.pdf Utolsó letöltés: 2014.10.12.

Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ – Stratégiai Konzorcium: Nemzeti Közlekedési Stratégia. Összközlekedési forgalmi modell. URL: http://www.3k.gov.hu/remos_downloads/NKS_Osszkozlekedesi_forgalmi_modell.29.pdf Utolsó letöltés: 2014.10.12.

Tóth Tamás: Biogáz buszok elterjedésének hatása a megújuló tüzelőanyag-felhasználásra. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tudományos Diákköri Konferencia, 2013.

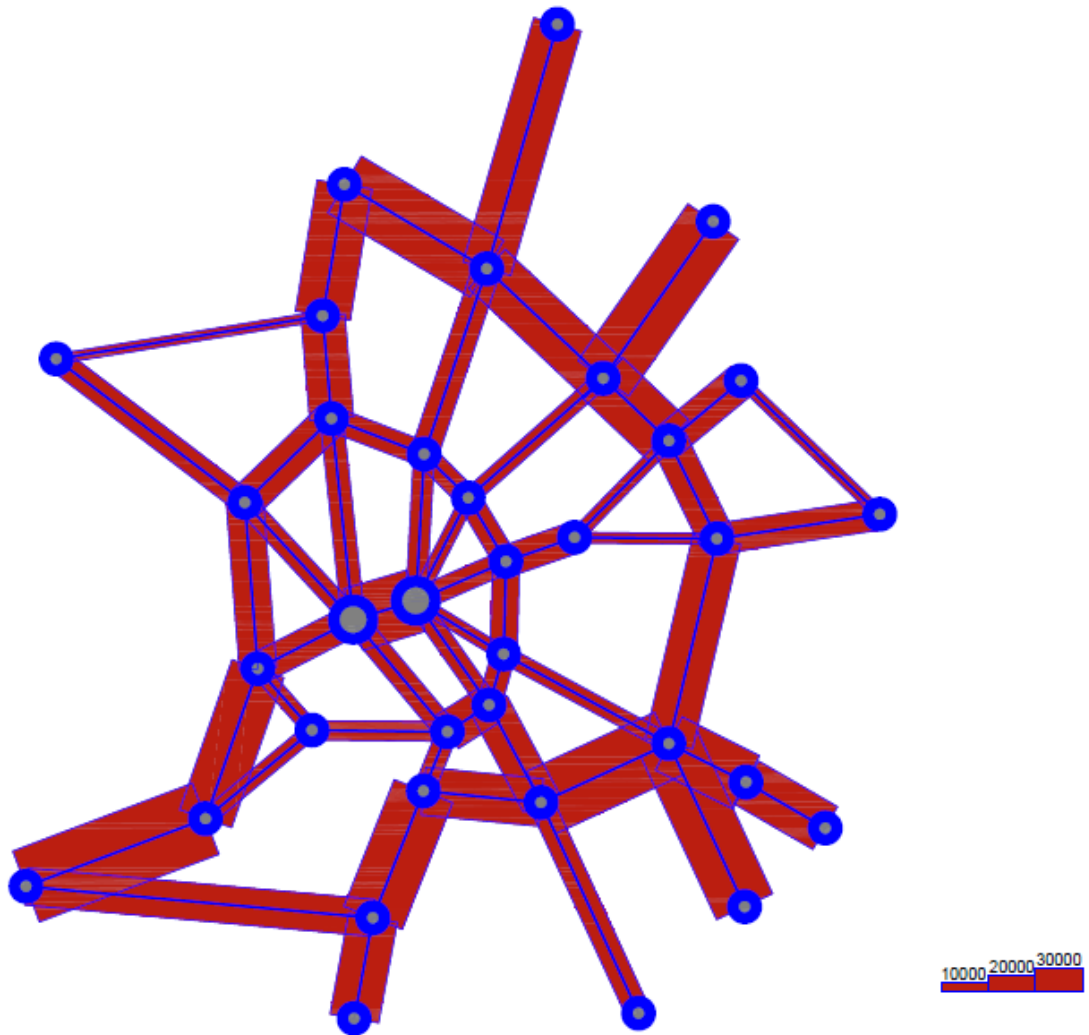
Zádor István, Török Ádám: Városi közlekedésben résztvevő buszok környezetbarátabbá történő átalakításának gazdasági kérdései. Városi Közlekedés Vol. 50. No.2, pp. 92-96, 2010.

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.

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

1. melléklet: A modellezett hálózat forgalmi terhelése alapállapotban



2. melléklet: A számítások támogatásához megírt program működése

