

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
KANDÓ KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

***INTELLIGENS RUGALMAS KÖZFORGALMÚ KÖZÖSSÉGI
KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK KOMPLEX GAZDASÁGI
HATÉKONYSÁGÉRTÉKELŐ MÓDSZEREINEK
MATEMATIKAI MODELLEZÉSE***

c. Ph.D. értekezés tézisei

Készítette:

Andrejszki Tamás
*okl. közlekedésmérnök,
okl. gazdasági szakmérnök*

Konzulens:

Dr. Török Ádám Ph.D.
egyetemi adjunktus,

Tézis füzet

Budapest, 2017

1. A KUTATÁSI TÉMA ELŐZMÉNYEI ÉS AKTUALITÁSA

A közlekedés jelentőségét jól mutatja, hogy az Európai Unió GDP-jének 4,8%-a, azaz mintegy 548 milliárd € a közlekedési szektorból származik közvetlenül, amely több, mint 11 millió embernek ad munkát a kontinensen. Az energiahatékonyság javítása kiemelt cél, hiszen a legnagyobb közlekedési kihívások (torlódások, olajfüggőség, üvegházhatású gázok kibocsátása, az infrastruktúra minősége és a közlekedési piac szabad versenye) közül többel is szoros kapcsolatba hozható. 2012-ben fogalmazta meg az Európai Parlament és a Tanács irányelv formájában, hogy pontosan mik is azok az intézkedési lehetőségek, melyekkel az EU 20-20-20 energia célok elérhetők. A közlekedés szerepe vitathatatlan a kérdéskörben, így nem meglepő, hogy számos olyan projektet támogatott és finanszírozott az EU, mely a fenntarthatóbb közlekedés témáját fessegeti mind elméleti, mind gyakorlati, alkalmazhatósági oldalról.

A rugalmas közlekedési rendszerek (vagy DRT, azaz igényvezérelt közlekedési rendszerek) az energiahatékony, fenntartható közlekedés eléréséhez ideális eszközök lehetnek a közösségi közlekedésben. A DRT az általában kisebb méretű buszok hatékony kapacitáskihasználásával kiváló fajlagos energiaszükséglet mutatókat képes felmutatni, amely egy kellően „zöld” technológiával párosulva a CO₂ kibocsátásban is kedvező körülményeket teremthet. Időbeli és térbeli rugalmassága révén (a taxi szolgáltatás után) a legjobban tud alkalmazkodni a helyi viszonyokhoz, a helyi emberek igényeihez. Éppen ezért a fenntartható közlekedés lehetséges eszközeként számol a rugalmas rendszerekkel számos tanulmány.

A rugalmas rendszerek azonban az utasok bejelentkezései és a háttérben rendelkezésre álló tartalék járművek és sofőrök szükségessége miatt nem volnának alkalmasak például egy Budapest méretű város közösségi közlekedését megoldani. Viszont ritkábban lakott településeken, vagy gyűjtő/ terítő közlekedési struktúrák esetében a hagyományos közösségi közlekedéssel szemben, annak kiegészítőjeként, jelentős előnyöket tud felmutatni egy DRT rendszer. Meg kell találni ezért azokat a határvonalakat, amelyek társadalmi és gazdasági paraméterek által körvonalazódnak, és megmutatják számunkra, hogy mikor éri meg egy adott település számára, hogy rugalmas rendszert alkalmazzanak. A helyi utazási tervekben vagy a SUMP-okban, az említett határvonalak megkeresésével a rugalmas rendszerek alkalmazási lehetőségei pontosabban definiálhatók.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A rugalmas közlekedési rendszerek hasznosságának és alkalmazhatóságának egyik kulcs eleme az árképzés. Egyik oldalról fontos, hogy a használók számára igazságos és méltányos legyen, másik oldalról pedig a fenntartó bevételi oldalát jelentősen meghatározza. Céлом, hogy olyan árképzési rendszert dolgozzak ki a rugalmas közlekedési szolgáltatásokhoz, mely kellőképpen rugalmas, átlátható és motiválja az embereket arra, hogy a társaikat is megszólítsák a szolgáltatás népszerűsítése miatt.

Az árképzési rendszer körvonalazásával lehetőség nyílik a költség-haszon elemzés módszertani útmutatójában tovább haladni. Az externalitások azonosítása kritikus tényező a társadalmi hasznok és költségek megvilágításában. Az ENSZ által fejlesztett ForFITS szoftveres környezet magyarországi pilot projektjében Tanszékünk oldalán én is részt vettem. Az volt a célunk, hogy a magyar adatokkal kiegészítve a szoftvert, megvizsgáljuk, hogy a 30 éves CO₂ kibocsátási előre becslések hogyan változnak a különböző forgatókönyvek alapján. A forgatókönyvek ráadásul elsősorban a politikai döntéshozók által befolyásolhatóak, így a ForFITS a döntéshozóknak kíván segítséget nyújtani, hogy lássák döntéseik hosszú távú következményeit. Ezzel együtt tehát az is céлом volt a ForFITS program vizsgálatakor, hogy a rugalmas közlekedési rendszerek által okozott változások detektálására mennyire alkalmas: azaz, hogy a CO₂ kibocsátásban mutatott kedvező tulajdonságokat hogyan tudja számszerűsíteni.

Az externáliák számításain túl olyan becslési eljárásokra is szükségünk van egy rugalmas közlekedési projekt esetében, mely megmutatja, hogy egy új DRT rendszer bevezetése esetén hány használója lenne a rendszernek, azaz hogyan változna meg a közlekedési munkamegosztás. A dolgozat célja ezáltal, hogy olyan eljárást dolgozzon ki, amely hasznossági függvények segítségével képes megbecsülni, hogy egy új szolgáltatás bevezetése esetén milyen változások mehetnek végbe a közlekedési munkamegosztásban. Ennek bemeneteként a dolgozatnak további célja a közlekedési hasznossági függvény meghatározása kérdőíves kutatás alapján.

3. A KUTATÁS MÓDSZERE

A disszertációban azt tűztem ki célul, hogy új eljárásokat dolgozzak ki, így az első lépéseket az irodalomkutatás területén végeztem. Áttekintettem a rugalmas közlekedési rendszerek tulajdonságaival és alkalmazási területeivel kapcsolatos hazai és nemzetközi publikációkat, illetve a működő DRT rendszerek üzemeltetőinek honlapjairól is sok információt nyertem.

Ugyanígy az árképzési mechanizmusok, majd a hasznossági függvények elméleti háttere, illetve a kinyilvánított preferencia vizsgálat alkalmazási háttere is mélyebb szakirodalom kutatást igényelt. A szakirodalom kutatása elsősorban nemzetközi szakirodalmi cikkek, nemzeti kutatási tanulmányok és európai kutatási projektek eredményein alapszik. Az árképzési rendszer bemutatásaként szimulációkat végeztem, hogy különböző szituációkban is megvizsgáljam az új (általam kialakított) rendszer reakcióit a hagyományos szisztémákkal szemben.

A ForFITS modellt Vensimben programozták az ENSZ fejlesztői, így használói szinten el kellett sajátítanom a Vensim környezetet. Az adatfelvivő és beolvasó rendszer MS Excel segítségével valósítja meg az input adatok rendelkezésre állását. A magyarországi pilot projekt megvalósításához széleskörű adatgyűjtésre volt szükség, ahol a KSH adatai mellett európai statisztikai gyűjtemények, saját kezdeményezésű adatfelvételek jelentették a forrásokat.

A közlekedési hasznossági függvény előállításához felállítottam egy fiktív esettanulmányt. Ebben a fiktív környezetben a kinyilvánított preferencia eljárás használatával állítottam össze egy kérdőíves kutatást. A kinyilvánított preferencia eljárás teljes faktoriális kialakítását a kombinatorikai módszerek alkalmazásával hoztam létre, majd saját eljárási technika kidolgozásával és alkalmazásával optimalizáltam a kérdések számát a felhasználói gyakorlati szempontok figyelembevételével és a nagyobb megbízhatóság biztosítása érdekében. A kérdőív osztályozó kérdéseinek és a kinyilvánított preferenciának az összefüggéseit statisztikai hipotézis vizsgálatokkal számszerűsítettem, melyben a MS Excel statisztikai modulját használtam korrelációs és függetlenségvizsgálati kérdések megválaszolásához.

Az egész disszertációt átölelő módszertan az Európai Unió által kidolgozott, majd a COWI által lefordított útmutatóban¹ ismertetett CBA (azaz költség-haszon) elemzés. Bár a fiktív esettanulmány DRT projektje nem nettó jelenértékkel, belső megtérülési rátával vagy

¹ Trenecon: Módszertani útmutató költség-haszon elemzéshez, 2016

éppen haszon-költség arány mutatóval kerül minősítésre, de a disszertációban kidolgozott eljárás rámutat arra a logikai gondolatmenetre, amelynek alkalmazásával a számítások a valóságos esetekben mégis elvégezhetőek.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Míg a huszadik század mobilitási folyamatainak középpontjában az „idő” (és természetesen annak esetenként monetarizálható értéke, költség-, illetve haszonértéke) állt, a huszonegyedik században egyre jobban áttolódik a hangsúly az „emberre”. Már nem csak azokat a hasznokat vesszük számításba, amelyek közvetlenül az utas, mint individuum számára minősülnek előnyösnek, hanem azokat a kedvező, indirekt hatásokat is, amelyek a többi utas, a más közlekedési eszközöket használók, valamint az érintett lakóközösségek körében érvényesülnek, továbbá a környezetvédelem érdekeit is figyelembe veszik. Ily módon ezek a szempontok a gazdasági, társadalmi és környezeti hatásokat integrálva, egyidejűleg a közösség értékrendjét őrzik, illetve gyarapítják. Bár közlekedéspolitikai szinten még hordozzuk a régi rendszer nehézségeit, az Európai Unió határozott fellépésének köszönhetően az elmúlt évtizedben az élhető városok eszményének megvalósítása irányába jelentős előrelépés történt.

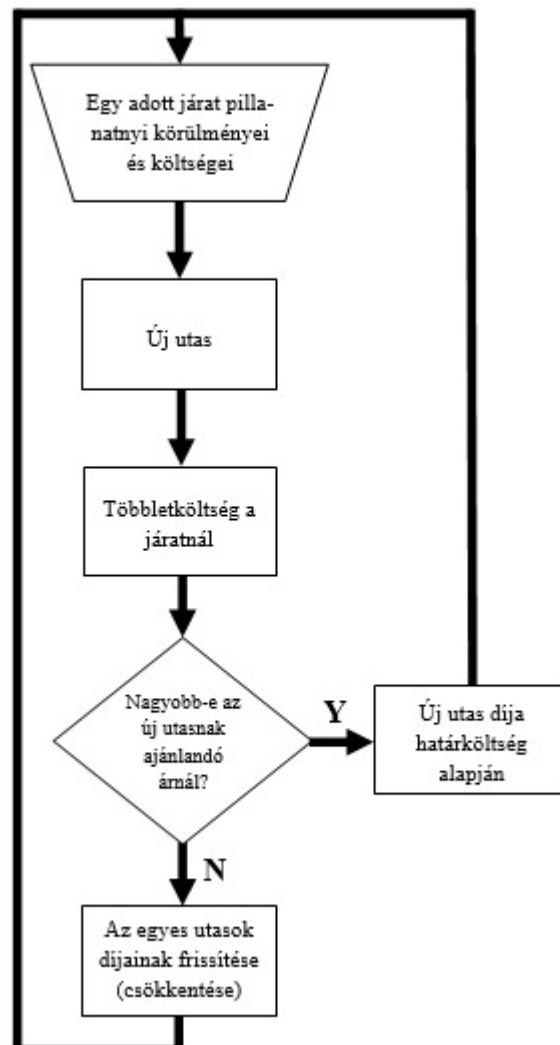
A rugalmas közlekedési rendszerek számos új, lehetséges, innovatív eszközökből álló „csomagot” adnak a kezünkbe a fenntarthatóság megvalósításához. Egyrészt a közösségi közlekedést képviselve, az egyéni közlekedéssel szemben már megjelenik a gazdaságosabb üzemeltetés, a jobb területhasználat, a hatékonyabb kapacitáskihasználás és a takarékosabb energiafelhasználás igénye, esetenként már a versenytársak által kikényszerített követelmények előírásával (pl. a piacra lépéshez szükséges küszöb-szintek, szabványok). Ráadásul ez az új koncepció a hagyományos közösségi közlekedési rendszerekhez képest is kedvezőbb (környezeti, gazdasági, műszaki) mutatókkal rendelkezik a kapacitás-hatékonyság területén, hiszen rugalmas rendszereknél a járművek kihasználtsága jelentősen növelhető. Ehhez kötődően pedig tovább javul az energiahatékonyság, az utaskilométerre vetített környezeti károsítás mértéke, a baleseti kockázat és a területhasználat. Továbbá a DRT rendszerek pontosabb alkalmazkodása a tényleges utasigényekhez magasabb szolgáltatási színvonalat nyújt a használóknak, amely megjelenhet nagyobb kényelemben, kisebb gyaloglási távolságban vagy éppen rövidebb utazási időben.

A rugalmas rendszereknek azonban megvan a maga „actio radius”-a, hiszen belátható, hogy adott esetben Budapest teljes közösségi közlekedési hálózatát nem lehetne csak igényvezérelt rendszerrel helyettesíteni, hiszen a kétmillió ember döntési bizonytalansága révén olyan kapacitástartalékokkal kellene rendelkeznie a fővárosnak, amelyek (informatikailag még kezelhetőek, de) a gyakorlatban kezelhetetlenek és gazdaságtalanok. Éppen emiatt fontos feltérképezni, hogy melyek azok a társadalmi, gazdasági paraméterek, amelyek mentén a rugalmas közlekedési rendszerek – a hagyományos közlekedési rendszer kiegészítéseként, ritkán lakott településeken, kisvárosokban – sikeresen alkalmazhatóak a fenntartható célok elérése érdekében.

4.1. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A rugalmas közlekedési rendszerek díjképzési lehetőségeit vizsgálva megállapítottam, hogy az átlag- és a határkötség alapú díjszabás kombinált alkalmazásával alakítható ki a társadalmilag leghatékonyabb megoldás.

Amikor a rugalmas közlekedési rendszerek rugalmas útvonalait, rugalmas menetrendjét tekintjük, átlátható, hogy hagyományos, rugalmatlan díjképzést alkalmazva az igényvezérelt rendszer nem tudná igazságosan és méltányosan kezelni az utazási igényeket. A jelenlegi rendszerekre alapozva létrehoztam egy olyan „önálló hurokköltségre” építő átlagkötség bázisú rendszert, amelyet adott peremfeltételek mellett a határkötség elmélet előnyeivel ötvözve sikerült társadalmi szemléletben a korábbinál hatékonyabb díjrendszert kialakítani (1. ábra).



1. ábra: A vegyes árképzési rendszer struktúrája (saját szerkesztés)

$$(1) \quad p_n = \max \left(TC_n * \frac{c_n}{\sum_{i=1}^n c_n} ; TC_n - TC_{n-1} \right)$$

$$(2) \quad p_1 = c_1 = TC_1, \text{ ahol:}$$

- n : a járat aktuális utasainak a száma;
- p_n = az n -edik utas által fizetendő díj;
- c_n = az n -edik utas önálló hurokköltsége;
- TC_n = a gyűjtő hurokköltség (azaz a járat szétosztandó költsége) n utas esetén.

Az új rendszer egyrészt dinamikus tájékoztatási igényével igazságosabban és méltányosabban kezeli az utazási igényeket – nem hagyva figyelmen kívül a gazdasági fenntarthatósági szempontokat. Másrészt arra ösztönözi az utasokat, hogy minél hamarabb jelezzék utazási szándékukat, illetve további utasokat keressenek maguk köré, azaz népszerűsítsék a rendszert.

A tézissel kapcsolatos publikációim: (Andrejszki and Török, 2012), (Andrejszki and Török, 2014b), (Andrejszki and Török, 2015)

2. Megállapítottam, hogy a közlekedési rendszer komplex volta miatt a tervezésben a döntéstámogató statisztikai előrebecslés és a visszafejtés együttes alkalmazása adhat kellően megbízható eredményt.

Bár az információs technológia fejlődésével egyre nagyobb közlekedésinformatikai adatbázisok statisztikai elemzése válik pontosan és részletes formában elérhetővé, a hagyományos előrejelzési modellek segítségével, fejlődési irányváltoztatás elemzése nem lehetséges.

Visszafejtés (backcasting), azaz a döntéstámogatók által definiált közép- és hosszú távú szakpolitikai célokból származó, a jelenlegi helyzetig visszavezető fejlődési pálya megállapítása, lehet az az eszköz, amellyel kiegészíthető az előrebecslés módszertana. Így a deklarált célok elérése érdekében a múltbeli tendenciákon alapuló előrebecslések a visszafejtéssel együtt hatékony eszközt adhatnak a döntéshozók kezébe az optimális fejlődési pálya felfedéséhez.

A tézissel kapcsolatos publikációim: (Baranyai et al., 2015a), (Baranyai et al., 2015b)

3. Megállapítottam, hogy az ENSZ által fejlesztett ForFITS program (melynek magyarországi pilot projektjét Tanszékünk vezette) alkalmas a közforgalmú közösségi közlekedés részarányának komplex modellezésre, így az előrebecslések összehasonlíthatóvá válnak a közlekedéspolitikai célítűzésekkel.

A ForFITS program első ízben a múltbeli adatok és a jelenlegi állapotok segítségével ad egy előrejelzést, hogy 30 éves távlatban az adott politika változatlansága mellett milyen teljesítménymutatókat, kibocsátási volumeneket eredményeznének a közlekedési szektor alágazatai egy adott ország esetén. A stabil belső struktúra rugalmas is egyidőben, mert megválasztható, hogy milyen mélységben, milyen tagoltságban kerülnek bevitelre a nemzeti adatok.

A ForFITS végterméke a 30 éves CO₂ kibocsátás becslése (2. ábra), melynek az ASIF formula az alapja. A modell az ASIF formula egy kiterjesztett alakjával számol: csak az A (aktivitás), I (energiaintenzitás) és F (tüzelőanyag-keverék szénintenzitása) került felhasználásra. Az (S) szektorális struktúra kimaradt, tehát tulajdonképpen A(S)IF megközelítés jött létre, melyet a 3. és a 4. egyenletekben láthatunk.

$$(3) \quad \sum_i F_i E F_i = A \sum_i \left(\frac{A_i}{A} \right) \left(\frac{F_i}{A_i} \right) \left(\frac{E F_i}{F_i} \right) = A \sum_i S_i I_i E F_i = E$$

Tovább részletezve:

$$(4) \quad E F_i = \sum_j \left(\frac{E F_{ij}}{F_{ij}} \right) \left(\frac{F_{ij}}{F_i} \right)$$

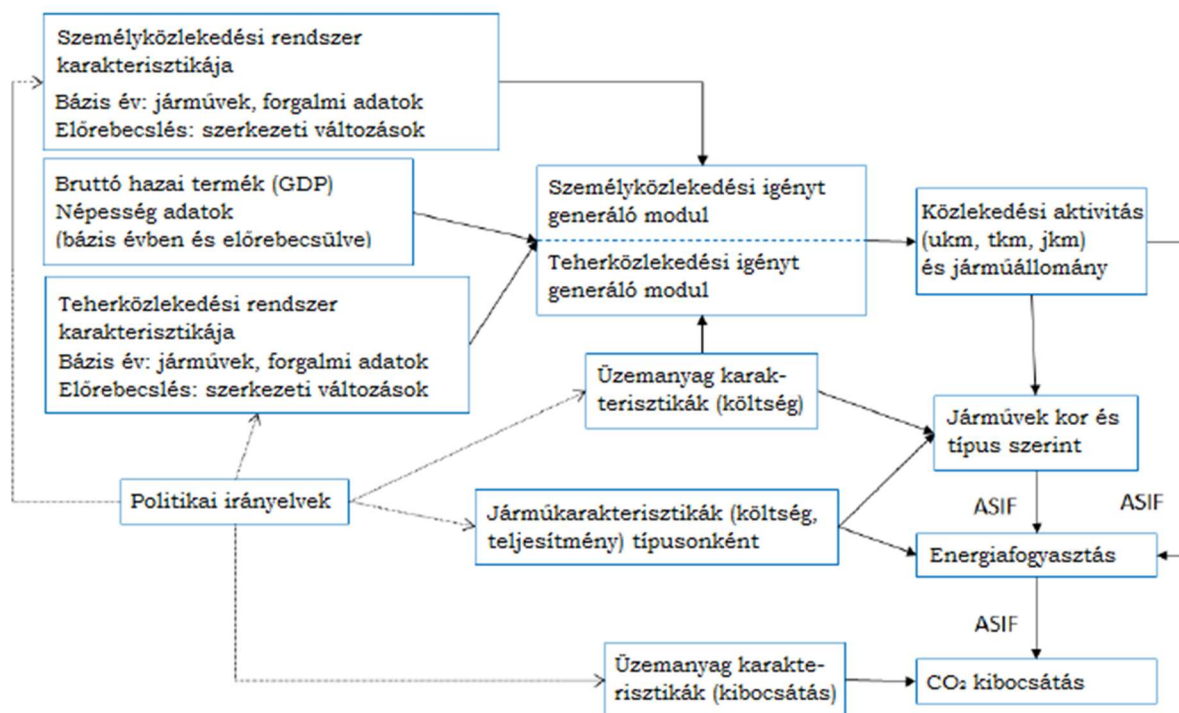
, ahol: E: a szektor teljes környezetterhelése;

A: a teljes szektoraktivitás (jkm);

A_i/A=S_i: Szektorális struktúra (a teljesítmény %-os bontása mód, gépjármű kategória, meghajtás alapján);

F_i/A_i=I_i: Energiaintenzitás (átlagos tüzelőanyag fogyasztás/jkm; módonként gépjármű kategória, meghajtás alapján);

E F_{ij}: Energiaegységre eső emissziós faktor j energiahordozóra és i meghajtási módra.



2. ábra: A CO₂ kibocsátás számításának sematikus menete (UNECE, 2013 alapján)

A programban a különböző forgatókönyvek segítségével (azaz a politikai irányelvek megváltoztatásával) szimulálható, hogy milyen intézkedések szükségesek adott közlekedéspolitikai célkitűzések megvalósításához, illetve ehhez hasonlóan számszerűsíthetők a következményei egyes politikai döntéseknek. A harminc éves távlatban megjelenített következmények (utaskilométer, tonnakilométer, energiafelhasználás, CO₂ kibocsátás) alkalmasak arra, hogy (akár költség-haszon elemzésben) számolni lehessen az általuk képviselt externális költségekkel is. Ezek a költségek pedig hosszú távon beépülve a közlekedés használóinak költségeibe, modellezhetően meg fogják változtatni a közösségi közlekedés részarányát.

A tézishoz kapcsolódó publikációim: (Andrejszki et al., 2014b), (Andrejszki and Török, 2014a), (Andrejszki et al., 2014c), (Mészáros and Andrejszki, 2014)

4. Kinyilvánított preferencia alapú kérdőíves kutatást végeztem és értékeltem ki, majd az eredményekből meghatároztam a közlekedési hasznossági függvényt.

Először előzetes elemzésekkel meghatároztam, hogy a közlekedési hasznossági függvény definiálásához: mely faktorokat célszerű figyelembe venni. A vizsgálatok alapján végül a rendszer lehatárolásában a következő öt faktort vettem figyelembe: utazási időt, az utazás költségét, a kényelmi szintet, a közlekedés biztonságosságát, illetve az adott utazás környezetbarát voltát. A kiválasztott faktorokhoz tartozó paramétereket a kinyilvánított preferencia eljárás segítségével létrehozott kérdőíves kutatás alapján határoztam meg. A kérdőív kérdéseinek kombinatorikai optimalizálása révén végül 20 kérdés alapján kerültek becslésre az egyéni preferenciák. A 459 darab beérkezett válasz alapján kimutattam, hogy egyrészt a válaszadóknak sikerült elvonatkoztatniuk az általuk használt közlekedési eszközök és az általam meghatározott elvont faktorok között. Másrészt a faktorok közötti korrelációt megvizsgáltam, melyet az 1. táblázatban láthatunk. Az esetek többségében gyenge negatív, két esetben pedig közepes erősségű és negatív a kapcsolat a faktorok között, ami azt bizonyítja, hogy a faktorok közötti átfedések csak kis mértékben torzítják a hasznossági függvény pontosságát.

1. táblázat: Az egyes faktorok közötti korrelációk (saját szerkesztés)

	Idő	Költség	Kényelem	Biztonság	Környezet-szennyezés
Idő	1				
Költség	-0,426	1			
Kényelem	-0,140	-0,213	1		
Biztonság	-0,216	-0,398	-0,206	1	
Környezetszennyezés	-0,218	-0,247	-0,222	-0,150	1

Az egyéni preferenciákból származtattam a teljes rendszer lineáris hasznossági függvényének hasznossági tényezőit, amelyek az 5. egyenlet szerinti értékeket vették fel.

$$(5) \quad U = 0,217 * X_1 + 0,405 * X_2 + 0,130 * X_3 + 0,134 * X_4 + 0,114 * X_5$$

ahol: $U \rightarrow$ az alkalmazott hasznossági függvény;

$X_1 \rightarrow$ a vizsgált alternatíva utazási idő faktorának értéke;

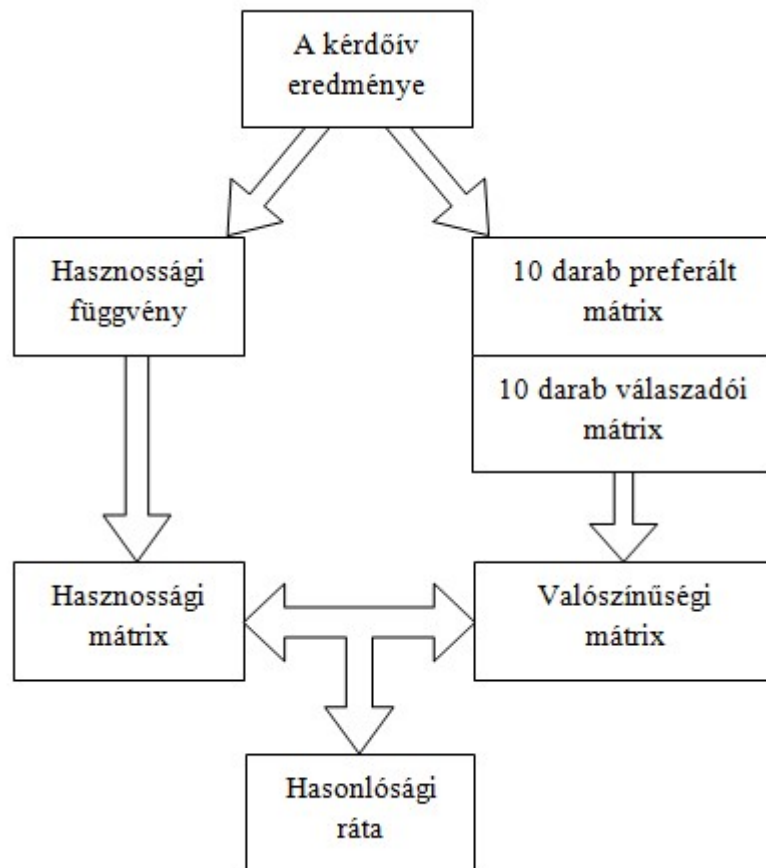
$X_2 \rightarrow$ a vizsgált alternatíva utazási költség faktorának értéke;

$X_3 \rightarrow$ a vizsgált alternatíva kényelem faktorának értéke;

$X_4 \rightarrow$ a vizsgált alternatíva biztonság faktorának értéke;

$X_5 \rightarrow$ a vizsgált alternatíva környezetszennyezés faktorának értéke.

A hasznossági függvény által generálható döntési szimulációt egy valószínűségi modellel összehasonlítva validáltam, melynek sematikáját a 3. ábra tartalmazza.



3. ábra: A validálási folyamat (saját szerkesztés)

A tézishez kapcsolódó publikációim: (Andrejszki et al., 2015), (Andrejszki et al., 2016)

5. Kidolgoztam egy módszert, amely alkalmazásával egy közlekedési hasznossági függvényből a közlekedéspolitikára számára fontos közlekedési munkamegosztási adatok származtathatóak.

A közlekedési hasznossági függvény birtokában képesek vagyunk egyes szolgáltatásokhoz számszerű hasznosságot rendelni, melyek egy adott zárt rendszerben összehasonlíthatóak. A kritikus feladat tehát az egyes közlekedési szolgáltatások értékelése (ugyanazon skálán, amelyen eredetileg értelmeztük a közlekedési hasznossági függvényt, csak most már folytonos értelmezési tartomány felett). Az értékelés bizonyos esetekben kezelhető kizárólag objektív módszerekkel, (más esetekben, ahol ez elkerülhetetlen, továbbra is szükséges szubjektív értékelést is alkalmazni).

A közlekedési munkamegosztás változása amiatt jöhet létre, hogy egy új szolgáltatás (például egy új DRT rendszer) hasznossága magasabb a korábbi szolgáltatás hasznosságánál (például egy hagyományos közösségi közlekedési rendszerénél). Ez esetben nőni fog a teljes rendszer hasznossága is, így a közösségi közlekedéssel járók részaránya (a közösségi közlekedési hasznosság növekedésével) növekedni fog a többi közlekedési móddal szemben, ráadásul ez a becsült növekedés számszerűen beépíthető például a költség-haszon elemzés módszertanába, ahol már modellezhetjük az új rendszerhasználók által igényelt kapacitásokat és az általuk generált költségeket, bevételeket.

A közlekedési munkamegosztás becslését elméleti esettanulmányon mutattam be, melyben egy fiktív agglomerációs kisváros ingázó közlekedését elemeztem. Előbb értékeltem a rugalmas közlekedési rendszer bevezetése előtti állapotot, majd a kapott értékeket hasznossági függvénybe illesztettem. A 2. illetve 3. táblázat a helyközi és helyi közlekedési munkamegosztásokat tartalmazza.

2. táblázat: A projekt előtti helyközi közlekedés értékelése (saját szerkesztés)

	Abszolút idő (perc)	Relatív idő	Abszolút költség (Ft/hónap)	Relatív költség	Kényelem	Biztonság	Szennyezés	Hasznossági függvényérték	Modal split (%)
Autó	30	3	23450	1	3	1,5	1	1,761	38,00
Busz (+BKV)	57,5	1,49	21400	1,17	1,7	1,9	1,8	1,480	28,70
Vonat (+BKV)	66,47	1	19080	1,37	1,3	3	2,5	1,629	33,30

3. táblázat: A projekt előtti helyi közlekedés értékelése (saját szerkesztés)

	Abszolút idő (perc)	Relatív idő	Abszolút költség (Ft/hónap)	Relatív költség	Kényelem	Biztonság	Szennyezés	Hasznossági függvényérték	Modal split (%)	Rész-hasznosság	Össz-hasznosság
Autó	6	3	6993	1	3	1,5	1	1,761	17,61	0,310	2,141
Busz	20	2,28	3000	2,14	1,5	1,9	1,8	2,018	22,76	0,459	
Bicikli	12	2,69	0	3	1	1,2	3	2,432	34,45	0,838	
Gyaloglás	45	1	0	3	1	1,6	3	2,118	25,18	0,533	

A tervezett DRT rendszer paramétereit meg tudjuk előre becsülni, amelyből ki lehet következtetni, hogy a projekt után (azaz a DRT rendszer bevezetése után), hogyan változnak a közlekedési munkamegosztások egy hasznosabb szolgáltatás jelenlétében (4. táblázat).

4. táblázat: Az igényvezérelt szolgáltatással rendelkező helyi közlekedés értékelése (saját szerkesztés)

	Abszolút idő (perc)	Relatív idő	Abszolút költség (Ft/hónap)	Relatív költség	Kényelem	Biztonság	Szennyezés	Hasznossági függvényérték	Modal split (%)	Rész-hasznosság	Össz-hasznosság
Autó	6	3	6993	1	3	1,5	1	1,761	16,66	0,293	2,194
DRT	10	2,79	4000	1,86	2,7	2,1	2,2	2,241	26,93	0,604	
Bicikli	12	2,69	0	3	1	1,2	3	2,432	32,59	0,793	
Gyaloglás	45	1	0	3	1	1,6	3	2,118	23,82	0,505	

A helyi közlekedési rendszer összhassznosságának növekedése pedig hatással lesz a helyközi közlekedésre is, hiszen vonzóbbá válik ezáltal vonattal vagy éppen busszal történő ingázás. Ezt a változást mutatja be az 5. táblázat. A kapott eredmények egyszerűen kezelhetők, költség haszon elemzésbe beilleszthetők, bemenő adatai pedig hozzáférhetők.

5. táblázat: Az igényvezérelt szolgáltatással rendelkező helyi közlekedés hatása a helyközi közlekedésre (saját szerkesztés)

	Régi hasznossági függvényérték	Új hasznossági függvényérték	Régi modal split (%)	Új modal split (%)
Autó	1,761	1,761	38,00	37,08
Busz (+BKV)	1,480	1,517	28,70	29,07
Vonat (+BKV)	1,629	1,670	33,30	33,85

A tézishez kapcsolódó publikációim: (Andrejszki et al., 2014a)

Össességében az elvégzett elemzések igazolták, hogy a rugalmas közlekedési rendszerek alkalmasak arra, hogy a fenntartható közlekedés felé mozdítsuk el jelenlegi rendszerünket. Az általam kidolgozott árképzési rendszerrel növelni lehet mind az üzemeltetők, mind az utasok elégedettségét és bizalmát. A kidolgozott eljárások segítségével pedig egyszerű kérdőíves kutatással elő tudjuk állítani a közlekedési hasznossági függvényt, melyből becsülhetővé válik a közlekedési munkamegosztás változása egy új szolgáltatás bevezetése esetén. Az eljárás könnyedén alkalmazható olyan kisvárosi környezetben, ahol a DRT rendszerek jó eséllyel többlehasznot tudnak generálni a hagyományos közösségi közlekedési rendszerekkel szemben, így a költség-haszon elemzésekhez igazodva számszerűen is igazolni tudjuk a választott rugalmas rendszerbe befektetett anyagi javak megtérülését.

4.2. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Az általam kidolgozott eljárások a vonatkozó elméleti hátterek áttekintését és elemzését követően - szimulációk segítségével megfogalmazott - esettanulmányokra építve nyertek kialakítást és igazolást. A gyakorlati használhatósághoz egyértelműen néhány speciális pilot projektekre lenne szükség ahhoz, hogy létező (kisvárosi) környezetben vizsgáljuk meg egyes rugalmas közlekedési rendszerek alkalmazhatóságát (mint pl. Finnországban). Bár a személyszállítási szolgáltatásokról szóló törvény (2012. XLI. tv.) részletezi az igényvezérelt közlekedési rendszerek alkalmazhatóságát, egyelőre Magyarországon nincs meg az a „kulturális” környezet, amelyben az önkormányzatok vagy éppen a legtöbb helyi közlekedést üzemeltető Volán társaságok nyitottak lennének rugalmas közlekedési rendszerek alkalmazására. Számukra egyelőre nem éri meg azt a kockázatot felvállalni, hogy (megfelelő társadalmi kommunikáció híján) az emberek nehezen vagy nem használnának egy számukra idegen közlekedési szisztémát.

Az általam mért közlekedési hasznossági függvény a kérdőíves kutatás mintavételi eljárása miatt nem volt reprezentatív. Jövőbeli kutatásaim célja, hogy megfelelően lehatárolt környezetben, reprezentatív minta alapján is megbecsüljem a közlekedési hasznossági függvényt, és a helyi körülményekhez illeszkedve validáljam a mért eredményeket.

A rugalmas közlekedési rendszerek mellett vannak más fenntartható szolgáltatások is, melyeknek a hazai adaptációja hasonló módon kulturális (és esetenként jogi) akadályokba ütközik. Továbbfejlesztési iránynak tekintem ezért azt is, hogy ilyen szolgáltatásokra, közlekedési módokra adaptáljam a bemutatott rendszereket, annak érdekében, hogy a politikai döntéshozók kezébe olyan tanulmányok, kutatási eredmények kerüljenek, amelyek számszerűen igazolják a fenntartható rendszerek által képviselt társadalmi hasznokat.

5. SZAKIRODALOM

5.1 A szerző értekezéshez kapcsolódó főbb publikációi

Andrejszki, T., Csete, M., and Török, Ád., 2014a. **Identifying modal shift by utility functions to reach an optimal point of regional development.** In: *The 14th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat'14)*. pp.15–18.

Andrejszki, T., Gangonells, M., Molnar, E., and Török, Ád., 2014b. **ForFITS: a New Help in Transport Decision Making for a Sustainable Future.** *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 42(2), pp.119–124.

Andrejszki, T., Kóvári, B., and Török, Ár., 2016. **Közlekedési preferenciák meghatározása kinyilvánított preferencia vizsgálat alapján.** *Közlekedéstudományi Szemle*, 64(6), pp.36–41.

Andrejszki, T., Torok, Ad., and Csete, M., 2015. **IDENTIFYING THE UTILITY FUNCTION OF TRANSPORT SERVICES FROM STATED PREFERENCES.** *Transport and Telecommunication*, 16(2), pp.138–144.

Andrejszki, T., and Török, Ár., 2012. **Intelligens rugalmas közlekedési rendszerek díjképzési módszertana.** *Közlekedéstudományi Szemle*, I., pp.53–62.

Andrejszki, T., and Török, Ád., 2014a. **Közúti közforgalmú közösségi közlekedés energetikai előrebecslése.** In: *XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó - OGÉT 2014*. pp.20–23.

Andrejszki, T., and Török, Ád., 2014b. **Pricing systems analysis of DRT systems.** *Acta Technica Jaurinensis*, 7(2), pp.123–129.

Andrejszki, T., and Török, Ár., 2015. **New pricing theory of intelligent flexible transportation.** *Transport*, 4, pp.1–6.

Andrejszki, T., Török, Ád., and Molnar, E., 2014c. **THE LONG-TERM FORECAST OF LAND PASSENGER TRANSPORT RELATED CO₂ EMISSION AND ENERGY USE IN HUNGARY.** *INTERNATIONAL JOURNAL FOR TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING*, 4, pp.386–396.

Baranyai, D., Andrejszki, T., and Török, Ád., 2015a. **Informativ tools of transport performance forecasting.** *Dunakavics*, 3(5), pp.31–36.

Baranyai, D., Andrejszki, T., and Török, Ád., 2015b. **Statisztikai előrebecslés és visszafejtés a közlekedésben közlekedésinformatikai eszközök segítségével.** In: *Informatikai terek*. pp.34–38.

Mészáros, F., and Andrejszki, T., 2014. **Az elektromos mobilizáció fejlődésének lehetőségei.** In: *III. Környezet és Energia Konferencia*. pp.153–159.