Török Ádám
okl. közlekedésmérnök
okl. gazdasági szakmérnök

A közlekedési árképzési /díjképzési rendszerek korszerűsítését megalapozó közúti közlekedési implementációs stratégiák kidolgozása

Doktori értekezés

Budapest, 2008

Alulírott Török Ádám kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2008.02. 06.

……..…
Török Ádám

Készült
Dr. Tánczos Lászlóné témavezetésével, a
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésgazdasági Tanszékén (H-1111 Budapest, Bertalan L. u. 2. Z. ép. IV. em.)
http://www.kgazd.bme.hu

TARTALOM

1. Bevezetés ... 1
1.1. A közlekedés szerepe a világgazdaságban ... 3
1.2. A mobilitási igények növekedése ... 4
1.3. A mobilitás, a gazdasági teljesítőképesség és a környezetszennyezés kapcsolata ... 7
2. A közúti közlekedés és a környezetszennyezés kapcsolata ... 18
2.1. Lokális környezetterhelés – EURO kategorizálás ... 24
2.2. A környezetvédelmi felülvizsgálatokkal kapcsolatos feladatok ... 28
2.2.1. A környezetvédelmi felülvizsgálatok folyamata ... 29
2.2.2. A környezetvédelemi felülvizsgálatok hatékonyságnövelési lehetőségei ... 29
2.3. A klímaváltozást okozó környezetszennyezést meghatározó CO_2 kibocsátás becslése ... 30
3. A közúti közlekedés és a klímaváltozás kapcsolata ... 35
3.2. A közlekedés klímaváltozást befolyásoló káros hatásainak mérséklésével kapcsolatos feladatok ... 37
4. A közúti közlekedési árképzési/díjképzési rendszerek korszerűsítési lehetőségei ... 41
4.1. Marginális költségalapú árképzés a közlekedésben ... 41
4.2. Externális költségek ... 47
4.3. Externáliák és internalizálásuk lehetősége ... 49
5. A légszennyezés becslése ... 55
5.1. A becslési eljárás implementációja, bemutatása egy egyszerű modellen ... 57
5.2. Bp – Győr vonal forgalmi elemzése ... 64
5.3. Az M1-es autópálya és az 1-es út közúti forgalmának levegőszennyezéséből származó társadalmi költsége ... 68
5.4. Bp – Győr közötti forgalom előrebecslése az úthasználati díjak függvényében ... 70
6. A korszerű úthasználati díjak bevezetésének implementációs stratégiái ... 73
6.1. A jelenlegi árképzési rendszerek és reformjuk szükségessége ... 74
6.2. Technológiai és gyakorlati korlátok ... 75
6.3. Szabályozási és intézményi korlátok ... 76
6.4. Elfogadottsággal kapcsolatos korlátok ... 79
7. A kutatási tevékenység eredményeinek összefoglalása – új tudományos eredmények ... 82
7.1. Új tudományos eredmények ... 83
7.2. Az eredmények hasznosítási lehetőségei ... 94
7.3. A továbbfejlesztés lehetőségei ... 95
HIVATKOZÁS ... 96
MELLÉKLETEK ... 100
1. melléklet: Gázelemzők ... 100
2. melléklet: Füstölésmérők ... 101
3. melléklet: Externális költségek ... 102
4. melléklet: Immisszió ... 102
5. melléklet: Kumulált károsanyag kibocsátási határértékek szétbontása ... 103
6. melléklet: Egy adott útszakaszra vonatkozó légszennyezés becslése ... 106
7. melléklet: A gépjárműáramlat járműtipus, EURO környezetszennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosítása ... 108
8. melléklet: Klímaváltozást okozó közlekedési eredetű széndioxidkibcsátás statisztikai vizsgálata ... 110

KÉPJEGYZÉK

1. ábra Budapest lakosságának viszonya a többi településen élőkhöz a hazai GDP függvényében (1993-2003) [KSH] 6
2. ábra A motorizációs fejlettségi szint [szgk/1000 fő] és az egy főre jutó GDP [USD/fő/év] aránya (az előző két számérték hányadosa országonként) az EU országaiban (2000-2003) [EUROSTAT] 6
3. ábra A légköri CO_2 koncentráció a GDP és a motorizáció függvényében [*saját szerkesztés*] 8
4. ábra Az ismérvek (GDP, motorizáció és környezetterhelés) időbeli alakulása [*saját szerkesztés*] 12
5. ábra Kuznets görbe alakulása Magyarországon 1993-2003 között [*saját szerkesztés*] 13
6. ábra MIL [Bau96a] 25
7. ábra EU károsanyag határértékek [Bau96a] 26
8. ábra Az EOBD elterjedése a járműiparban [Bau96a] 26
9. ábra Távdiagnosztika [Bau96a] 27
10. ábra A tüzelőanyag árának és a személygépjármű állomány összetételének összehasonlítása 30
11. ábra A benzin és gázolaj, mint levegővel való keverékképzéssel elégetett tüzelőanyag oxigén szükségelete, széndioxid kibocsátása és szén-hidrogén aránya [*saját szerkesztés*] 31
12. ábra Magyarország 20 leggyakoribb személygépjármű fogyasztási és széndioxid kibocsátási adatainak összehasonlítása [*saját szerkesztés*] 32
13. ábra A közúti közlekedés részesedése a CO_2 kibocsátásból [EUROSTAT 2002] 35
14. ábra A földi átlagos középhőmérséklet és az átlagos légköri széndioxid koncentráció kapcsolata az elmúlt 150 évben [*saját szerkesztés*] 36
15. ábra Az emberi beavatkozás hatása a légkörre és az átlaghőmérsékletre [*saját szerkesztés*] 36
16. ábra Az externális költségek figyelembevétele, a fizetési hajlandóság és a forgalomnagyság összefüggésében [Tan94] 45
17. ábra ECE-R15 menetciklus [Bau96a] 55
18. ábra CO kibocsátás határértékeinek szigorodása [Bau96a] 56
19. ábra A döntési súlyok és a közúti személyforgalom számának időbeli alakulása Bp-Győr között 65
20. ábra A mobilitási igények és az energiahordozók árának időbeli alakulása 66
21. ábra A közúti közlekedési (autóbusz és nem autóbusz) költséghányados és az energiahordozók árának időbeli alakulása 66
22. ábra Az energiahordozó ár és a mobilitási igények kapcsolata 67
23. ábra Az eljutási idő és az eljutási költség közötti összefüggés 68
24. ábra Bp – Győr között egyéni közúti közlekedők 2000 és 2005 között [*saját szerkesztés*] 69
25. ábra Károsanyag kibocsátás Bp és Győr közötti közúti gépjárműforgalomban [*saját szerkesztés*] 69
26. ábra A forgalmi áramlatok alakulása a Bp-Győr forgalmi folyosóban a közúthasználati díj függvényében 71
27. ábra a gépjárművek felosztásának modellezése 106
28. ábra A földi átlag hőmérséklet [°C] és az átlagos légköri széndioxid koncentráció [ppm] alakulása az emberi beavatkozás előtt és az emberi beavatkozás hatására [saját szerkesztés] 110
29. ábra A földi középhőmérséklet idősora és 9 tagú mozgóátlaga [*saját szerkesztés*] 112
30. ábra A légköri CO_2 koncentráció idősora és 9 tagú mozgóátlaga [*saját szerkesztés*] 112

31. ábra Az átlagos földi középhőmérséklet trendje és cikluselemzése [*saját szerkesztés*] 113
32. ábra A légköri CO_2 trendje [*saját szerkesztés*] 113
33. ábra A lehűlések és felmelegedések aránya [*saját szerkesztés*] 114
34. ábra A normalizált CO_2 koncentráció és földi átlagos középhőmérséklet idősora az emberi aktivitás előtt [*saját szerkesztés*] 115
35. ábra Földünk átlagos középhőmérsékletének változása a CO_2 koncentráció függvényében [*saját szerkesztés*] 116
36. ábra A számított és mért CO_2 koncentrációk eltérése a hőmérséklet függvényében [*saját szerkesztés*] 116
37. ábra A számított és mért CO_2 koncentrációk relatív hibája [*saját szerkesztés*] 117

TÁBLAJEGYZÉK

1. táblázat A megfigyelt országok listája 7
2. táblázat A Kuznets összefüggés együtthatói Magyarországra 1993-2003-as időszakot figyelembe véve 11
3. táblázat A bővített Kuznets összefüggés együtthatói Magyarországra 1993-2003-as időszakot figyelembe véve 13
4. táblázat A multi lineáris modell együtthatói Magyarországra 1993-2003-as időszakot figyelembe véve 14
5. táblázat A módosított és bővített Kuznets összefüggés együtthatói Magyarországra 1975-2000-as időszakot figyelembe véve 15
6. táblázat A módosított multi lineáris modell együtthatói Magyarországra 1975-2000-as időszakot figyelembe véve 16
7. táblázat Összefügésvizsgálatok összhasonlító táblája 17
8. táblázat A kipufogógáz komponensek és hatásaik 25
9. táblázat A benzin és gázolaj elégetéséből származó széndioxid becslése 32
10. táblázat EURO határértékek benzin üzemű személygépjárművekre 56
11. táblázat A Nested Logit modell hasznosság függvényének általános áttekintése 63
12. táblázat A gázelemzők működési tartománya 100
13. táblázat Dízel füstölésmérők működési tartománya 101
14. táblázat Költségek [eHUF] a M1 autópálya használata esetén a komplex környezetterhelés figyelembe vételével 109
15. táblázat Költségek [eHUF] az 1 autóút használata esetén a komplex környezetterhelés figyelembe vételével 109
16. táblázat A lehűlések és melegedések statisztikai adatai 114
17. táblázat Relatív hibák adatai 117

1. Bevezetés

A városokba tömörült népesség hamar rájött, hogy a városban, később nagyobb területen együttélő társaival összefogva, nagyobb hasznossággal termelheti meg javait. Az így kialakult, horizontálisan és vertikálisan differenciálódott emberi csoportosulásokon belül, később pedig közöttük megindult a kereskedelem, amelynek alapvető eszköze a közlekedés: az alapanyagok, félkész- és késztermékek valamint a munkaerő szállítása. A gazdasági teljesítőképesség növekedésével a mobilitási igények is nőnek. A mobilitási igények növekedése a közlekedés fejlődését eredményezte, eredményezi. A közlekedés nemcsak pozitív, hanem számos negatív hatással is jár. Mobilitási igényeink hatékony kielégítése a mai napig csak belsőégésű hőerőgépekkel megoldott, melyek működésük során szennyezik környezetüket, ezért a közlekedési ár- és díjképzési rendszerek átgondolása vált szükségessé. E tématerületek Magyarországon a gyakorlati adatok, a jogszabályi, valamint intézményi háttér hiánya miatt még nem kellő megalapozottsággal kezeltek.

A közlekedés, mint rendszer, felbontható személy- és áruszállítási alrendszerre. A két alrendszer egymástól eltérő, nehezen összehasonlítható, ezért disszertációmban csak a személyközlekedési alrendszerrel foglalkozom. Disszertációm célja a közúti személyközlekedési ár- és díjképzési rendszerek korszerűsítését megalapozó implementációs stratégiák kidolgozása. Ennek részeként:

- Az 1. fejezetben bemutatom, a gazdasági teljesítőképesség, a mobilitás, valamint a környezetterhelés közötti összefüggést, amelyet a matematikai statisztika eszközeivel elemeztem.
- a 2. fejezetben ismertetem a közúti személyközlekedésből származó - a társadalmi veszteségek szempontjából domináns - légnemű károsanyagkibocsátás kedvezőtlen hatásait. Bemutatom a komponensek kezelés szempontjából célszerű csoportosításának lehetőségeit, felhívom a figyelmet az ezzel kapcsolatos hatályos állami feladatkör hiányosságaira és hatékony megoldást fejlesztek ki a probléma kezelésére.
- a 3. fejezetben kvantifikálom Földünk átlagos középhőmérsékletének és a légkör átlagos széndioxid koncentrációjának kapcsolatát az emberi beavatkozás előtt és annak hatására, felhívom a figyelmet a közúti személyközlekedés okozta környezetterhelés jelentőségére.
- a 4. fejezet ismerteti az általam kidolgozott közúti személyközlekedés ár- és díjképzési rendszerek korszerűsítését megalapozó implementációs stratégiát, különös tekintettel a közúti személyközlekedés légnemű károsanyagkibocsátása externális hatásainak internalizálási lehetőségeire.
- az 5. fejezet az általam kialakított ár- és díjképzési eljárás egy lehetséges gyakorlati alkalmazását mutatja be példaként a Budapest – Győr személyközlekedési folyosón alkalmazva.

- a 6. fejezetben kifejtem a korszerűsített közúti személyközlekedési ár- és díjképzési stratégia általánosan érvényes implementációs lehetőségeit, illetve korlátait.
- a 7. fejezetben összefoglalom az új tudományos eredményeimet, valamint az alkalmazási lehetőségeket, illetve utalok a továbbfejlesztés lehetséges irányaira.

A disszertációmban célul tűztem ki a közúti személyközlekedés által okozott környezeti költségek arányos megtérítését lehetővé tévő hazai díjrendszer elvi, modellszerű kialakítását. A kutatásaimat az eddig elért hazai és a nemzetközi eredményekre építve végeztem, külön hangsúlyt fektetve hazánk sajátosságaira. A célok elérése érdekében a téma meghatározásakor azzal a lehatárolással éltem, hogy a teljes közlekedési rendszeren belül csak a távolsági (települések közötti) közúti személyközlekedési rendszer elemzésével foglalkozom.

A rendelkezésemre álló kutatóműhely, a BME Közlekedésgazdasági Tanszéke, valamint témavezetőm, Prof. Dr. Tánczos Lászlóné, mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban kedvező feltételeket teremtett a kutatási téma kidolgozásához. A feltételek biztosításán túlnyúló segítségért ezúton is szeretném kifejezni köszönetemet!

1.1. A közlekedés szerepe a világgazdaságban

A közlekedés a modern gazdaság egyik kulcsfontosságú ága. A világban - és így Európában is – tapasztalható a közlekedés iránti kereslet folyamatos növekedése. Erre az Európai Közösség nem válaszolhat kizárólag új infrastruktúrák létrehozásával és a piacok megnyitásával. A bővítésből és a fenntartható fejlődésből eredő kereslet kielégítéséhez az Európa Tanács göteborgi ülésének (2001. június) állásfoglalása szerint a közlekedési rendszer optimálására van szükség[1]. A korszerű közlekedési rendszernek mind gazdasági, mind pedig szociális és környezetvédelmi szempontból fenntarthatónak kell lennie. (Tehát a környezeti korlátok figyelembevétele elsőbbséget élvez, és keretfeltételként szolgál a társadalmi és a gazdasági játéktér számára. A fenntarthatóság ilyen módon egyértelműen korlátozza a mennyiségi értelemben vett gazdasági növekedés tartós fennmaradását, amennyiben gazdasági növekedésen az anyagi tényezők termelési és szolgáltatási folyamatokban történő növekvő felhasználását értjük [Fle06])

A közlekedési ágazat jövőjére vonatkozó tervek kidolgozásakor tekintettel kell lenni annak gazdasági jelentőségére. A közlekedési kiadások összege (az EU 27 államában 2006-ban [EUROSTAT]) mintegy 1000 milliárd euró, ami meghaladja a bruttó hazai termék 10 százalékát. Az ágazatban több mint tízmillió embert foglalkoztatnak. A felhasznált infrastruktúra és technológiák társadalmi költsége akkora, hogy hibás döntések nem engedhetők meg. Tekintettel a közlekedési beruházások nagyságrendjére és a gazdasági növekedésben betöltött meghatározó szerepére, már a Római Szerződés (1957. március 25.) alkotói is előirányozták a közös közlekedéspolitika kidolgozását, annak sajátos szabályaival egyetemben. A közös közlekedéspolitika első valós eredményeként a fogyasztói árak jelentősen csökkentek, ugyanakkor a szolgáltatások minősége javult, bővült a választék, ténylegesen megváltoztatva az európai állampolgárok életmódját és fogyasztási szokásait. Az OECD országokban[2] az egyéni mobilitást, amely az 1970-es napi 17 km-ről 1998-ra 35 km-re növekedett, ma többé-kevésbé szerzett jognak tekintik [Cai04].

Az említett stratégiának a kutatási keretprogramokon túlmutató eredménye az volt, hogy az „Interoperábilis Európa” keretében a legmodernebb műszaki eljárások kifejlesztésére

---

[1] *„A gazdasági teljesítmény növekedésnek együtt kell járnia a természeti erőforrások fenntartható felhasználásával. A strukturális, a foglalkoztatási és a vidékfejlesztési politikák közötti szinergiát ösztönözni kell.”*

[2] Organisation for Economic Co-operation and Development (Amerikai Egyesült Államok, Anglia, Ausztria, Ausztrália, Belgium, Csehország, Dánia, Finnország, Franciaország, Görögország, Grönland, Hollandia, Írország, Japán, Kanada, Korea, Lengyelország, Luxemburg, Magyarország, Mexikó, Németország, Norvégia, Olaszország, Portugália, Spanyolország, Svájc, Svédország, Szlovákia, Törökország, Új-Zéland) – www.oecd.org

került sor. Az 1980-as évek végén megkezdett programok gyümölcsei most érnek be, amint azt a transz-európai nagysebességű vasúthálózat [Bok05] és a Galileo műholdas navigációs program példája jól mutatja. Ugyanakkor sajnálatos, hogy a modern műszaki megoldások alkalmazása és az infrastruktúra fejlesztése nem mindig járt együtt a vállalatok gazdálkodási és irányítási módszereinek korszerűsítésével.

A közlekedési piacnak az elmúlt tíz év során történt sikeres megnyitása ellenére változatlanul tény, hogy a belső piac teljessé tételét megnehezítik a versenynek a fiskális és szociális harmonizáció hiányából eredő torzulásai. A közös közlekedéspolitika összehangolt fejlesztésének elmaradására vezethetők vissza az alább felsorolt jelenleg is aktuális problémák:

- Az egyes közlekedési módok teljesítményének egyenlőtlen növekedése. Noha ez azt tükrözi, hogy néhány közlekedési mód jobban alkalmazkodott a modern gazdaság szükségleteihez, egyidejűleg jelzi azt is, hogy a közlekedés ára nem tartalmazza az összes külső költséget, és bizonyos szociális, és biztonsági szabályokat nem tartottak be. A közúti közlekedés fölénye nagy a személyszállítási piacon (EU-25 2003-ban), ahol részesedése 79 %-os, míg a légi közlekedés a maga 5 %-ával éppen azon van, hogy meghaladja a vasút 6 %-os részarányát [Cai04];
- Torlódások a fő utakon és vasútvonalakon, a városokban és a repülőterek környékén;
- Környezetszennyező és egészségkárosító hatások és a közúti balesetek által okozott súlyos veszteségek [Whi01].

1.2. A mobilitási igények növekedése

Korunk társadalmának egyik jellemzője az urbanizáció: a társadalmi-gazdasági fejlődési folyamat szerves része, melynek során a társadalmi-gazdasági tevékenységek, az ezeket végző emberek és a tevékenységek természeti-művi keretei időben változó, egyre bonyolultabbá, illetve komplexebbé váló kapcsolatrendszert alkotnak. A kapcsolatrendszer időben és térben változik és jelentős mértékben befolyásolja a lakosság életminőségét, az egyén és a társadalom fejlődését. Az ipari forradalom eredményeként megindult urbanizációs folyamatot napjainkban a technikai fejlődés felgyorsította és jelentősen változtatja környezetünket [Var90].

A közlekedés társadalmi, interperszonális kapcsolatok térbeli, időbeli leképződése. A természeti környezetet a gazdasági-társadalmi fejlődési folyamatok jelentősen átalakították, megváltoztatták. Az emberiség fokról-fokra, egyre nagyobb mértékben változtatja környezetét. Az ember saját élőhelyének megválasztása nem csak gazdasági helyzetével, hanem életkorával együtt is változik. Felhasználja és munkaeszközeivel felerősíti biológiai és mentális képességeit, természeti és társadalmi kapcsolatai szabadságfokának növelése

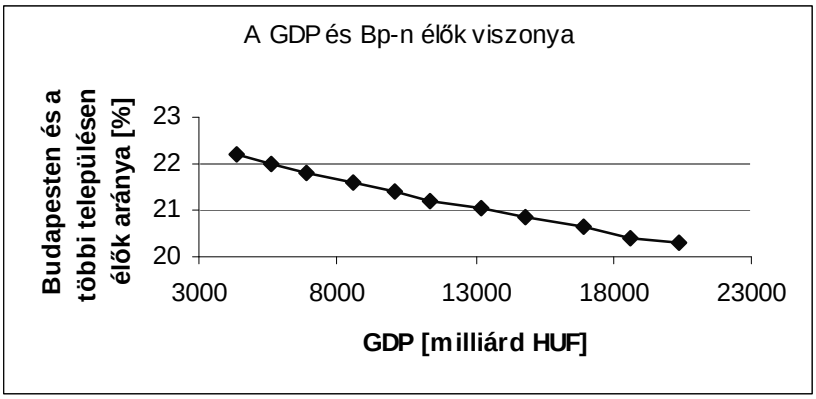
érdekében fejleszti és alakítja épített környezetét. Az épített környezetünk — embercentrikus szempontból — akkor tehető kedvezőbbé, ha felismerjük a természeti és társadalmi törvényeket és alkalmazkodunk hozzájuk.

A társadalmi-gazdasági fejlődés hatására azonban mintegy két évszázada az emberi és természeti környezet rendszerkapcsolatában — mely voltaképp dinamikus, nyílt rendszer — jelentős strukturális és dinamikus változások mentek végbe. Ezek a változások, úgymint az emberiség gyarapodása, a természeti környezetkárosítás fokozódása a korábbitól eltérő fejlődési tendenciát eredményeztek. Mivel az urbanizáció spontán fejlődése maga előtt tágítja az épített környezetet és csökkenti a természeti környezetet, növekszik az urbanizáció gyorsuló dinamikájának spontenaitásával a természeti rendszer működésében jelentkező zavarok előfordulásának valószínűsége. Az egész kérdéskör lényege az, hogy a társadalmi-gazdasági fejlődés folyamata és a környezet alakítása hogyan viszonyulnak egymáshoz.

Rendszerszemléletű megközelítéssel mindenekelőtt a társadalmi-gazdasági háttér és természeti környezetének kapcsolat-jellemzőit, majd belső összetevőinek rész-rendszereit és elemeit szükséges megismernünk. Ez nehezen megvalósítható, ugyanis a bonyolult kapcsolatrendszerek nyilvánvalóan teljességgel fel sem tárhatók. Az ismérveket az urbanizációs folyamat szempontjából kell kialakítani. Ez voltaképp azt jelenti, hogy olyan ismérveket veszünk számba, melyek valamilyen formában — a többihez képest — nagyobb mértékben befolyásolják az épített környezet alakítását.

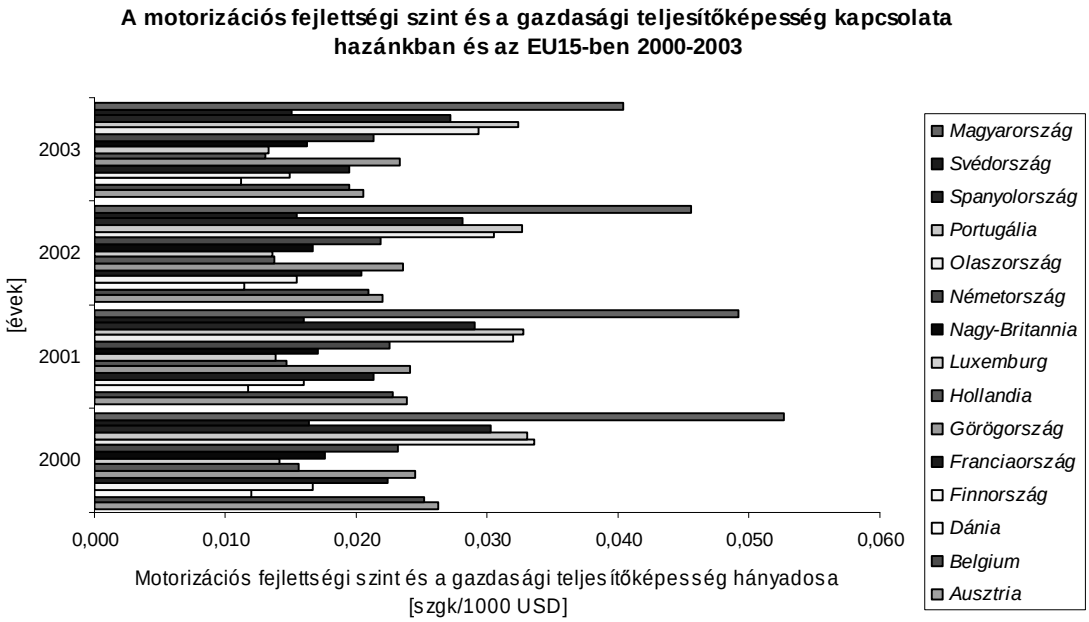
Ilyen ismérvek — a teljesség igénye nélkül — társadalmi vonatkozásban: a lakosság száma, gazdaságilag aktív népesség aránya, a lakosság térbeli megoszlása (főváros/többi település), gépjárművek darabszáma, helyi és távolsági személyszállítás, stb. A társadalmi ismérvek adnak felvilágosítást a társadalmi aggregátum és az egyén építészeti környezettel szemben támasztott elvárásairól. Az ismérvek másik jelentős csoportját a gazdasági vonatkozású jellemzők alkotják.

A fenti összefüggések hazai vonatkozásainak vizsgálatára a Központi Statisztikai Hivatal évkönyvében található hosszútávú idősorok analízise ad lehetőséget. E vizsgálatok alapján igen erős (R^2=0,989) pozitív korreláció figyelhető meg a 1994 - 2004 között országosan a Budapesten és a többi településen élők aránya és a hazai GDP között, Ezzel párhuzamosan növekedett hazánkban a személygépjármű ellátottság, egyes háztartásokban megjelent a második személygépjármű is, ami a GDP növekedésével és a hirtelen megnyíló gépjármű piaccal magyarázható. A mobilitási igény növekedésével a helyi és helyközi személyközlekedés volumene is megnőtt, megkezdődött a kiáramlás a városokból, a szuburbanizáció (**1. ábra**).



1. ábra Budapest lakosságának viszonya a többi településen élőkhöz a hazai GDP függvényében (1993-2003) [KSH]

A közlekedési kereslet folyamatos növekedésének két kulcsfontosságú tényezője van. A személyközlekedést tekintve, meghatározó tényező a személygépkocsi-használat látványos növekedése. Az Európai Unióban a személygépkocsik száma - évenként 3 millióval növekedve - az utóbbi 30 évben megháromszorozódott. Bár az Európai Unió legtöbb országában a személygépkocsi-tulajdon szintje állandósulni látszik, azonban nem ez a helyzet az újonnan csatlakozott országokban, ahol a személygépkocsi tulajdont még mindig a szabadság jelképének tekintik. Ennek köszönhetően 2010-re a kibővített Unió személygépkocsi állománya lényegesen növekedni fog.



2. ábra A motorizációs fejlettségi szint [szgk/1000 fő] és az egy főre jutó GDP [USD/fő/év] aránya (az előző két számérték hányadosa országonként) az EU országaiban (2000-2003) [EUROSTAT]

Jól látható, hogy Magyarország arányszámai a legnagyobbak (**2. ábra**). Ez a viszonylagosan alacsony GDP/fő értékkel magyarázható.

Hazánkban, sajnos még mindig társadalmi jelkép, státusz szimbólum a személygépjármű. Mobilitási igényeink, társadalmi berendezkedésünk és gondolkodásmódunk miatt, a GDP és a személygépjármű ellátottság között szoros összefüggés tapasztalható. A GDP növekedésével párhuzamosan hazánkban is a gépjármű állomány lassuló növekedésével kell számolni.

1.3. A mobilitás, a gazdasági teljesítőképesség és a környezetszennyezés kapcsolata

Nehéz elképzelni olyan élénk gazdasági növekedést, amely képes álláshelyeket és jólétet teremteni a belső piac és a globalizálódott kereskedelem összes előnyének kihasználását lehetővé tevő, hatékony közlekedési rendszer nélkül. Annak dacára, hogy a XXI. század kezdetén az információs társadalom és az elektronikus kereskedelem korába lépünk, semmi sem történt, ami miatt csökkenne az utazások iránti igény.

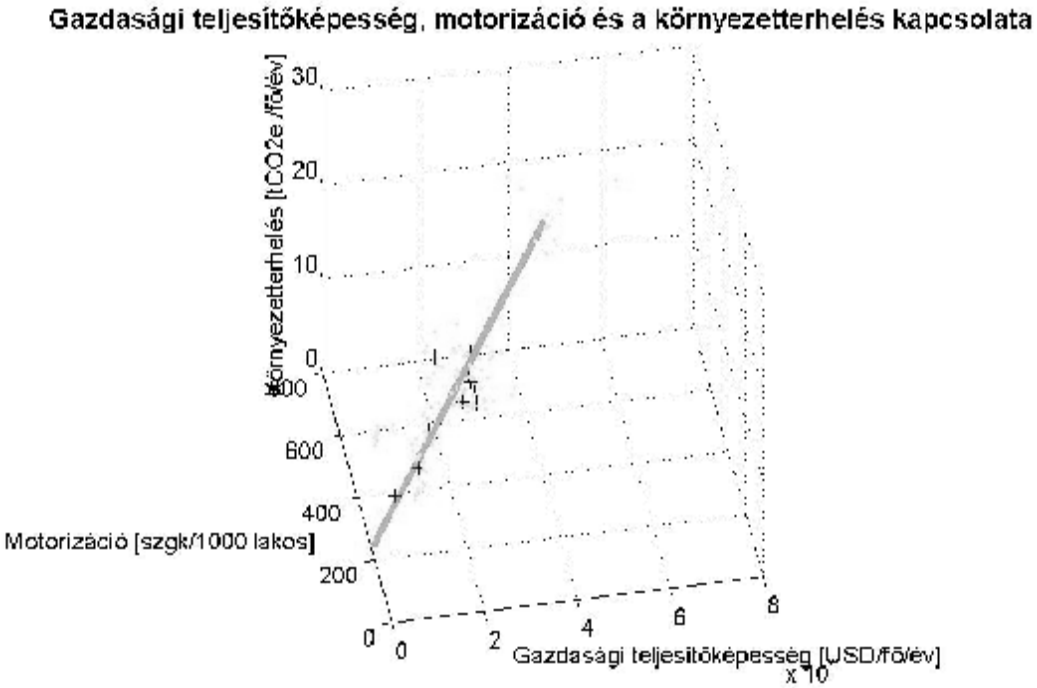
A gazdasági változások a GDP változásával is jellemezhetők [USD/fő/év] mértékegységben [International Monetary Fund adatbázisa[3] alapján], a motorizáció változása az 1000 lakosra jutó személygépjárművek darabszámával is jellemezhető [szgk/1000 lakos] mértékegységben [EUROSTAT], a környezetterhelés pedig az egy főre jutó éves széndioxid egyenértékben kifejezett kibocsátással jellemezhető [tCO_2e/fő/év] mértékegységben [Energy Information Administration International Energy Annual[4] 2003.]. Ezen adatokat 1993-2003 közötti időszakban vizsgáltam.

1. táblázat
A megfigyelt országok listája

Ausztria
Belgium
Finnország
Franciaország
Görögország
Hollandia
Luxemburg
Németország
Olaszország
Portugália
Spanyolország
Magyarország

[3] http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2006/01/data/dbginim.cfm
[4] http://www.eia.doe.gov/

Feltételezve, hogy a társadalmi fejlődés során hazánk is az előttünk haladó fejlett, nyugat európai társadalmak mintáját követi, a probléma modellezéséhez a konzisztens adatbázissal rendelkező 12 ország (**1.** táblázat) adatait alapul véve, lineáris regressziós elemzés végezhető. A lineáris regressziós elemzés során figyelembe vettem, hogy a megfigyelt ismérvek nem függetlenek egymástól. Vagyis az eredményismérvet (környezetterhelés [tCO_2e/fő/év]) magyarázó ismérvek (gazdasági teljesítőképesség [USD/fő/év] és motorizáció [szgk/1000 lakos]) nem függetlenek egymástól, a köztük lévő kapcsolat igen jó közelítéssel linearizálható.



3. ábra A légköri CO_2 koncentráció a GDP és a motorizáció függvényében [*saját szerkesztés*]

Feltételezhető az EU tagországaira, hogy az újonnan csatlakozott tagországok fejlettségi szintjében megmutatkozó elmaradás az idő előrehaladtával csökken a fejlettebb országokhoz képest, ezért célszerű a köztük feltárható kapcsolat elemzése. A lineáris regresszió számítás eredményéből (3. ábra) jól látható, hogy a motorizáció növekedésével a légkörbe bocsátott károsanyag mennyisége növekszik, míg a GDP növekedésével felmerül a társadalom részéről a környezetvédelem jogos igénye, amely a légkörbe kibocsátott károsanyag csökkenését eredményezheti [Tan07a].

A fenntartható fejlődést előtérbe helyező irányelvek jelentős hatást gyakorolhatnak a gazdaságra, többek között azzal, hogy a fenntartható fogyasztásra, tisztább technológiák alkalmazására, a megújuló erőforrások jelentőségére hívják fel a figyelmet. A fenntarthatóság a fejlődést állítja előtérbe, amelyet a növekedés fogalmával ellentétben nem mennyiségi, hanem minőségi változóként kezel. A gazdasági növekedés fogalma azonban változatlanul a közgazdasági kutatások középpontjában áll. Ehhez köthető a környezeti Kuznets-görbe (Environmental Kuznets Curve; EKC), mint a gazdasági növekedés és a környezeti minőség kapcsolatának megtestesítője [Jes06]. Jelen vizsgálat célja a gazdasági teljesítőképesség növekedésének fenntarthatósági szempontú megközelítése, különös tekintettel a mobilitási igények megnövekedett szerepére, a növekvő motorizációra.

A fenntartható fejlődés hatására az utóbbi években egyre inkább előtérbe került a természet, a gazdaság és a társadalom közötti kapcsolatrendszer, az összefüggések és a kölcsönhatások vizsgálata. A tudomány képviselőin túl, politikusok, üzletemberek és a nemzetközi közélet szereplői is felfigyeltek azokra az irányzatokra, melyek a napjainkban „globális kihívásokként” emlegetett jelenségekre kerestek választ. Ismeretes, hogy amióta Lester R. Brown (1981) először publikálta a fenntartható fejlődés (sustainable development) szóhasználatot, majd a Brundtland Bizottság befejezte munkáját (1987), a „fenntartható” kifejezés egyre gyakrabban szerepel a különféle nemzetközi rendezvényeken, a Rio de Janiero-i (1992) és a Johannesburg-i (2002) konferencia után, pedig szinte mindennapi szóhasználattá vált, s az is maradt, mert a valóságban az elhatározásokat, a szavakat nehezen követték gyakorlati lépések. Ez részben a fogalom értelmezésével, az ellentétes érdekek ütközésével, valamint a globális és filozófiai szintről való elmozdulás nehézségeivel magyarázható [Szla04].

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a globális klímaváltozás, melynek egyik meghatározó tényezője a közlekedés, mind környezeti, mind pedig társadalmi, gazdasági vonatkozásban. Nicholas Stern, a Világbank közgazdásza, nagy visszhangot kiváltó 2006. októberi jelentésében hangsúlyozza, hogy a klímaváltozás költségei jóval nagyobbak lesznek, mint azt eddig becsülték. Továbbá felhívja arra a tényre is a figyelmet, hogy a korai cselekvés haszna egyértelműen magasabb a halogatással szemben.

A környezetvédelem és a közlekedésgazdaságtan fogalomtárában is gyakran használatos szétválasztás (decoupling) fogalom segítségével a döntéshozók számára hangsúlyozható, hogy nem feltétlenül kell választaniuk a klímaváltozás elhárítása és a fejlődés ösztönzése között. Stern szerint az új technológiai megoldások és a gazdaság

szerkezetében várhatóan bekövetkező változások megteremthetik az üvegházhatást élénkítő gázok kibocsátásának leválasztásának alapját a gazdasági növekedéstől. *(Stern Report, 2006.)*

A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában érdemes lenne erősíteni - Stern gondolatain haladva - a fosszilis energiahordozók árának, az adózás szabályozásának, az innovációknak, az energiahatékonyságnak és az oktatás támogatásának a fontosságát, mert ezek segíthetnek a jövőbeli valószínűsíthető veszteségek mérséklésében. A klímaváltozás az életkörülmények alapvető tényezőire - víz, élelemtermelés, egészség és környezet - van hatással az egész világon. Ezen túlmenően a klímaváltozás újabb gazdasági lehetőségeket generálhat, új piacokat teremthet az alacsony szén igényű technológiák területén. Stern becslése szerint ezeknek a piacoknak az értéke 100 milliárd dollárral is nőhet évente és a hozzá kötődő foglalkoztatás szintén növekedhet. A kibocsátás csökkentés az energiahatékonyság növelésével, kereslet oldali változásokkal, a megújuló energia térhódításának további támogatásával, valamint a fajlagos szállítási és közlekedési igények csökkentésével és új technológiák alkalmazásával lehetséges, olyan módon, hogy az a gazdasági teljesítőképességét ne befolyásolja. A motorizációs fok emelkedéséből adódóan azonban a közlekedés eredetű környezetterhelés mértéke egyértelműen növekvő tendenciát mutat.

A gazdasági növekedés és a környezet minősége közötti kapcsolat igen összetett, számos tényezőtől függ, és régóta képezi vita tárgyát a témában kutató szakemberek között. Simon Kuznets (1901-1985) elméletének lényege, hogy a gazdasági növekedés és a környezet minősége közti kapcsolat csak egy bizonyos pontig írható le fordított arányossággal, egy kritikus ponton túl a gazdaság további növekedése a környezeti terhelés csökkenését indukálja. A fejlődés korai szakaszában, a fizikai tőkébe történő beruházások jellemzik leginkább a gazdasági növekedést, azaz az egyenlőtlenséget ösztönző növekedés az erőforrásoknak a legtöbbet megtakarítók és befektetők felé történő allokálásából fakad. Kuznets görbéi egy fordított U, haranggörbe alakot mutatnak. Elsősorban a mezőgazdasági munkásoknak az ipari szektorba való áramlását, másodsorban a vidéki munkások városi munkahelyeken való megjelenését tükrözik [And01].

Napjainkban a mobilitási igények növekedése, a gépjárműállomány rohamos bővülése figyelhető meg, mely - feltételezésem szerint – ugyancsak jelentős befolyást gyakorol a környezetre, s így közvetve a klímaváltozásra Az értekezés célkitűzéseinek megvalósítása érdekében végrehajtott, alábbiakban bemutatott vizsgálataim a társadalmi jólét, a motorizáció és a környezetterhelés magyarországi alakulásának kapcsolatait elemzik, a törvényszerűségek feltárását, a kvantifikálható összefüggések azonosítását szolgálják.

A Kuznets által felállított modell (1) szerint a környezetterhelés csak a társadalmi jóléttől függ, a többi ismérvtől, mint például a nemzeti export, import független.

$$(1) \qquad \ln(Y_t) = \delta_0 + \delta_1 \cdot \left(\ln\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t \right)^2 + \delta_2 \cdot \ln\left(\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t\right)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke az adott évben [CO_2e kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától, [USD/fő]
LAK: Lakosszám [fő],
d_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\delta_1<0$ és $\delta_2>0$.
d_0: a gazdasági teljesítőképességel nem magyarázható környezeterhelés mértéke [CO2e kg/fő/év]

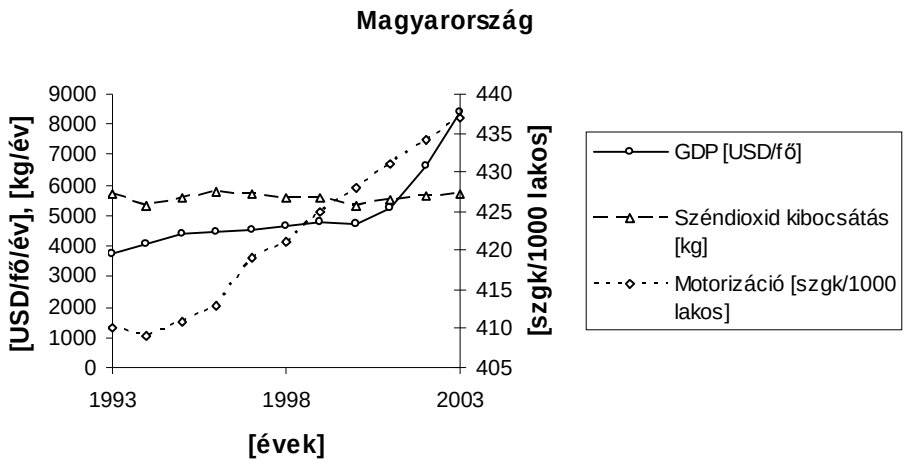
Az eredeti Kuznets-i modell-t (1) a 1993-2003 közötti adatok figyelembevételével (paraméterértékek - 2. táblázat) Magyarországra adaptálva, kiszámítható az R^2. Értéke 0,728, ami azt jelenti, hogy az adott modell az összes variancia, (s_Y^2=1,982 [($CO2_e$ kg/fő/év)^2]) 72,8%-át magyarázza meg. A regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett - nem szignisfikáns.

2. táblázat
A Kuznets összefüggés együtthatói Magyarországra
1993-2003-as időszakot figyelembe véve

δ_0=	7,594
δ_1=	-44,173
δ_2=	0,117

A gazdasági növekedés és a környezet minősége közötti kapcsolatot leíró Kuznets-i modell továbbfejlesztéseként első lépésben a modell motorizációs fokkal történő bővíthetőségét, majd második lépésben a hagyományos modell helyett egy linearizált modell használhatóságát vizsgálom meg. Harmadik és negyedik lépésben a GDP helyett a HDI-t (Human Development Index) használom, és újra megvizsgálom a motorizációval bővített kuznetsi modellt, majd a linearizált modellt is.

Kezdetben a gazdasági teljesítőképességet jellemezze a GDP egy főre vetített értéke (**4. ábra**).



4. ábra Az ismérvek (GDP, motorizáció és környezetterhelés) időbeli alakulása [*saját szerkesztés*]

A motorizáció mértéke az 1000 lakosra jutó személygépjárművek számával, a környezetterhelés pedig a nemzeti károsanyagkibocsátás évi széndioxid egyenértékével jellemezhető. A modell bővítése előtt azonban meg kell vizsgálni a GDP és a motorizáció függetlenségét. A vizsgálat a két ismérv között, a vizsgált időszakban, Magyarországra, erős korrelációt állapított meg (R^2=0,937), ezért a modellben a változók kereszt korrelációját is vizsgálni kell a függő változóra nézve (2). Azaz a GDP növekedésének hatására nem csak a környezetterhelés, hanem a motorizáció is nőni fog. A kereszt-korrelációs analízis alapján a motorizáció 25,942%-ban, a GDP 74,058 %-ban felelős a környezetterhelésért.

$$\ln(Y_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \left(\ln\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t \right)^2 + \alpha_2 \ln\left(\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t\right) + \alpha_3 \ln\left(\left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t\right) \quad (2)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke az adott évben [CO_2e kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától [USD/fő],
LAK: Lakosszám [fő],
MOT: Motorizáció mértéke [darab személygépjármű],
a_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\alpha_1<0$ és $\alpha_3 \geq 0$.
a_0: a gazdasági teljesítőképességel és motorizációval nem magyarázható környezeterhelés mértéke [CO2e kg/fő/év]

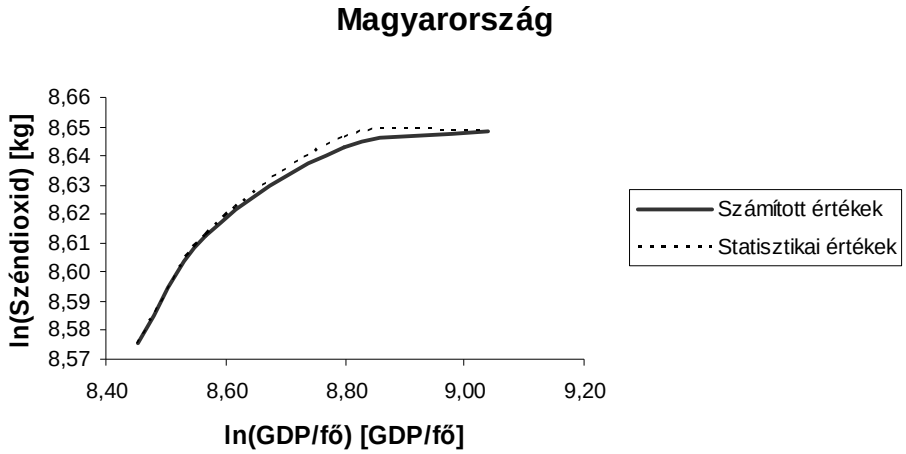
A bővített modellt (2) felállítva és Magyarországra a 1993-2003-as időszakot figyelembe véve, kiszámítható, hogy az R^2 értéke 0,811, ami azt jelenti, hogy a motorizációval bővített modell statisztikailag pontosabban írja le a problémát (s_Y^2'=1,171

[($CO2_e$ kg/fő/év)^2]), mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is, hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignifikáns (3. táblázat).

3. táblázat
A módosított Kuznets összefüggés együtthatói Magyarországra 1993-2003-as időszakot figyelembe véve

$\alpha_0 =$	-44,341
$\alpha_1 =$	-0,010
$\alpha_2 =$	29,712
$\alpha_3 =$	8,857

Mindhárom súlytényezőre teljesül az előfeltétel, és látható, hogy a motorizáció súlytényezője $\alpha_3>0$ (3. táblázat), ami a modell további magyarázó tényezővel (döntési változóval) történő bővítésére irányuló törekvés jogosságát bizonyítja.



5. ábra Kuznets görbe alakulása Magyarországon 1993-2003 között [*saját szerkesztés*]

Látható, hogy a motorizációs fokkal bővített, hagyományos Kuznets görbe futása, a magyarországi adatok figyelembevételével nem tér el jelentős mértékben a hagyományos görbe alakjától – a fordított U alaktól (**5. ábra**). A ponthalmazra illeszthető függvénycsaládok közül a kvadratikus görbecsalád igen jó illeszkedést biztosít (R^2=0,92), mely megfelel az elméleti háttérnek. Kimutatható tehát, hogy a környezetterhelést leíró modell jobb statisztikai illeszkedést biztosít, ha több releváns befolyásoló tényezőt veszünk figyelembe.

Második lépésben a gazdasági teljesítőképesség, a motorizáció és a környezetterhelés kapcsolatát egy multi-lineáris modell segítségével elemeztem (3).

(3) $$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t + \beta_2 \cdot \left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2e kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától [USD/fő]
LAK: lakosszám [fő],
MOT: Motorizáció mértéke [szgk],
b_i : az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá feltételeztem, hogy $\beta_0 \neq 0$, vagyis a motorizáción és a GDP-n kívül semmi sem befolyásolja a környezetterhelést,
b_0: a gazdasági teljesítőképességel és motorizációval nem magyarázható környezeterhelés mértéke [$CO2_e$ kg/fő/év]

A multi-lineáris modell (3) alapján Magyarországra a 1993-2003-as időszakot figyelembe véve számított, R^2 statisztika értéke 0,753 (s_Y^2 '=1,352 [($CO2_e$ kg/fő/év)^2]), ami azt jelenti, hogy a módosított, egyszerűsített modell statisztikailag pontosabban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is, hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignisfikáns.

4. táblázat
A multi lineáris modell együtthatói Magyarországra
1993-2003-as időszakot figyelembe véve

β_0=	3350,319
β_1=	0,356362
β_2=	0,643638

Látható, hogy a vizsgált környezetterhelés szempontjából a motorizáció súlytényezője β_2 nem nulla értéket vett fel (4. táblázat), tehát a közlekedési eredetű károsanyag kibocsátás vizsgálata indokolt! A módosított kuznetsi modell helyett megvizsgáltam a társadalmi jólét, a motorizációs fok és környezetterhelés kapcsolatát egy multi-lineráis modell segítségével is. A probléma paramétereit MATLAB-bal szimulálva – feltételezve, hogy a gazdasági, jogi és társadalmi fejlődésünk eredményeképpen a gazdasági fejlődés és a motorizáció növekedése a jövőben szétválasztható egymástól -, azt az eredményt kaptam, hogy a probléma linearizálásával is a motorizáció, mint fontos befolyásolási tényező jelenik meg környezetszennyezési szempontból.

A környezeti Kuznets görbe alkalmazhatóságának vizsgálatakor felmerül a környezetgazdaságtanból jól ismert problematika: vajon a GDP mennyire tükrözi a tényleges

fejlődést, mennyiben minőségi jellemző? Hiszen a túlzott termelés és az ebből származó externális hatások elhárításának áldozatai együtt eredményezik a mutató növekedését. A sokat vitatott GDP, mint aggregált gazdasági mutató helyett a HDI-t (Human Development Index) választottam, mely a társadalom fejlődését hivatott reprezentálni. Tehát a fentiek alapján megvizsgálandó a motorizáció és a HDI közötti korreláció is. A 1975 és 2000 közötti adatokkal Magyarországra végrehajtott vizsgálat alapján erős korrelációt tapasztaltam (R^2=0,8767) a két ismérv között, azaz, a HDI növekedésének hatására nem csak a környezetterhelés, hanem a motorizáció is nőni fog. Ezért a modellben a változók kereszt korrelációját is vizsgáltam a függő változóra nézve. A kereszt-korrelációs analízis alapján, a (4) szerint a motorizáció 28,573%-ban a HDI 71,427 %-ban felelős a környezetterhelésért.

$$\ln(Y)_t = \alpha'_o + \alpha'_1 \cdot (\ln(HDI)_t)^2 + \alpha'_2 \cdot \ln(HDI_t) + \alpha'_3 \cdot \ln\left(\left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t\right) \qquad (4)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
HDI: (Human Development Index) - az adott ország társadalmi fejlettségét kifejező indexszám,
MOT: Motorizáció mértéke [db személygépkocsi],
LAK: lakosszám [fő],
a'_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\alpha_1<0$ és $a_3\geq 0$,
a'_0: a gazdasági teljesítőképességel és motorizációval nem magyarázható környezeterhelés mértéke [$CO2_e$ kg/fő/év]

A bővített és módosított modell (4) alapján Magyarországra a 1975-2000-as időszakot figyelembe véve számított R^2 statisztika értéke 0,856 (s_Y^2 '=0,698 [($CO2_e$ kg/fő/év)^2]), ami azt jelenti, hogy a motorizációval bővített és a társadalmi fejlettséggel módosított modell statisztikailag jobban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is, hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignifikáns (5. táblázat.).

5. táblázat
A módosított és bővített Kuznets összefüggés
együtthatói Magyarországra
1975-2000-as időszakot figyelembe véve

α'_0=	6,885865
α'_1=	-0,000004
α'_2=	0,622037
α'_3=	0,311020

Mindhárom súlytényezőre teljesül az előfeltétel, és látható hogy a motorizáció súlytényezője $\alpha_3>0$ (5. táblázat), ami a Kuznets-féle modell továbbfejlesztésének helyességét igazolja!

Végül a multi-lineáris modellt is hasonlóan módosítottam (5):

$$Y_t = \beta'_0 + \beta'_1 \cdot (HDI)_t + \beta'_2 \cdot \left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t \qquad (5)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
b'_i : az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá feltételeztem, hogy $\beta'_o \neq 0$, vagyis motorizáción és a HDI-n kívül semmi sem befolyásolja a környezetterhelést,
b'_0: a gazdasági teljesítőképességel és motorizációval nem magyarázható környezeterhelés mértéke [$CO2_e$ kg/fő/év]
HDI: (Human Development Index) - az adott ország társadalmának fejlettségi indexszáma,
LAK: lakosszám [fő],
MOT: Motorizáció mértéke [darab személygépjármű].

A módosított multi-lineáris modell (5) alapján Magyarországra a 1975-2000-as időszakot figyelembe véve számított R^2 statisztika értéke 0,782 (s_Y^2'=0,912 [($CO2_e$ kg/fő/év)^2]), ami azt jelenti, hogy a módosított, egyszerűsített multi-lineáris modell statisztikailag jobban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignisfikáns.

6. táblázat
A módosított multi lineáris modell
együtthatói Magyarországra
1975-2000-as időszakot figyelembe véve

β'_0=	166,6667
β'_1=	6666,667
β'_2=	2,873465

Látható, hogy a vizsgált környezetterhelés szempontjából a motorizáció súlytényezője, β_2 nem nulla értéket vett fel, tehát a közlekedési eredetű károsanyag kibocsátás vizsgálata indokolt!

7. táblázat
Összefügésvizsgálatok összhasonlító táblája

Srsz.	Leírás	Motorizációval bővített	GDP módosítása HDI-re	R^2
1	Eredeti Kuznets	-	-	0,728
2	Bővített Kuznets	+	-	0,811
3	Bővített lineáris	+	-	0,753
4	***Bővített és módosított Kuznets***	**+**	**+**	***0,856***
5	Bővített és módosított lineáris	+	+	0,782

A fordított U alakú görbét eddig ugyan csak néhány szennyezőanyag esetében sikerült kimutatni, de a közgazdászok arra a következtetésre jutottak, hogy ez a körülmény általában is fennáll a környezet minőségére azon feltétel mellett, hogy az egyes egyének jövedelmük emelkedésével párhuzamosan többet költenek környezetükre (Arrow-Bolin-Costanza-Dasgputa-Folke-Holling-Jansson-Levin-Maeler-Perring-Pimentel, 2004.).

A fenntartható fejlődés környezetpolitikája ugyanis csak a fenntartható közlekedésfejlesztés stratégiai kérdéseinek céltudatos kezelésével együtt képzelhető el [Tan07a].

2. A közúti közlekedés és a környezetszennyezés kapcsolata

Az elmúlt évezredekben az emberiség számára a természeti környezet biztos alapot adott a létfenntartáshoz és szinte korlátlan készleteket ígért az élővilág fennmaradására. Beavatkozásaival, a korlátozott technikai feltételekkel rendelkező ember már az emberiség fejlődésének korai szakaszában is változásokat idézett elő környezetében. A környezetre gyakorolt hatás nagysága azonban elenyészően kicsinek bizonyult a környezet méreteihez képest, ezért az ember beavatkozásának következményeit nem tapasztalta, illetve az arányok miatt globális méretű változás nem volt érzékelhető. Az életfeltételeket biztosító természet korabeli helyzete nem indokolt külön erőfeszítéseket környezetünk védelme érdekében. Az első igazi figyelmeztetéseket az ipari forradalommal együtt járó környezetkárosító hatások adták. Az elmúlt században lejátszódó robbanásszerű - tudományos és technikai - fejlődés olyan eszközöket és technológiai megoldásokat adott az emberiség kezébe, amelyek hatványozottan növelték meg a környezetbe való beavatkozás hatását. *"A növekvő fogyasztói igények kielégítése óhatatlanul károsítja a környezetet, ugyanakkor* ***a túlélés elemi feltételei közé tartozik a környezetszennyezés csökkentése"*** [Gio79]. Ennek megoldása a műszaki fejlesztésen, anyagtakarékos technológiák alkalmazásán, megújuló energiaforrások hasznosításán, környezetkímélő közlekedésen és szállításon, valamint a helyváltoztatási igények csökkentésén alapszik. A motorizáció dinamikus fejlődése olyan jelentős levegő-, talaj- és vízszennyeződést okoz, amely légkörünk, talajfelszínünk és vízkészletünk gigantikus méreteihez képest is számottevő.

A "**fenntartható fejlődés**" fogalma olyan fejlődést takar, amelynek lényege, hogy a műszaki fejlesztés ütemét, és a növekvő fogyasztási igények kielégítését, valamint a Föld nyersanyagkészleteinek és erőforrásainak felhasználását oly módon kell egyensúlyban tartani, hogy **az emberiség következő generációinak lehetőségei, életszínvonala és életkörülményei ne legyenek rosszabbak a jelenleginél.**

A személygépjármű-közlekedéssel összefüggő, környezetet zavaró károsító hatásokat forráshelyük szerint három csoportba oszthatjuk: a gépjárműgyártásból, az üzemeltetésből és a hozzá szervesen kapcsolódó gépjárműfenntartásból, ill. a gépjármű-selejtezésből és a vele összefüggő hulladékhasznosításból származó hatásokra. A gépjárműgyártás, mint komplex ipari tevékenység számos iparág együttműködését igényli, és erre változó nagyságrendű víz-, levegő-, talajszennyeződés, illetve zaj jellemző. A gépjármű üzemeltetésének bizonyos feltételei vannak. Gondoskodnunk kell a megfelelő úthálózatról, azok folyamatos fenntartásáról, tisztításáról. Ez további szennyeződéseket is okozhat, pl. az utak mértéktelen

sózása nagymértékben károsítja a környezetet. Továbbá biztosítanunk kell a környezetbarát üzemanyag-gyártást és kiszolgálást, illetve a folyamatos gépjárműfenntartást, aminek fontos részét képezi a rendszeres ápolás és a karbantartás, ahol döntő szerepet kap a vízszennyeződés és a hulladékfeldolgozás (fáradt-olaj, mosószeres víz, gumiabroncs, akkumulátor, stb.). Az üzemeltetés legkellemetlenebb kísérőjelensége az utakon megjelenő, környezetre gyakorolt káros hatás, melynek jelentős része a levegőszennyeződés és a zaj, további kísérő hatások a vibráció, a szemcsés szennyeződés /fékek, illetve gumik kopása, égéstermékek szilárd részecskéi, stb./, a porképződés és az így létrejövő talajszennyeződés [Med85].

Magyarországon egyelőre mérsékelt ütemű az elhasznált gépjárművek selejtezése, és az így adódó roncsok anyagainak újrahasznosítása. Ezt gazdaságosan csak külön erre a célra kialakított telephelyeken lehet elvégezni speciális berendezések segítségével (különböző anyagok szétválasztása, ismételt feldolgozás előkészítése, hulladék elszállítása stb.). Ez a tevékenység megfelelő felszerelés mellett csekély környezetszennyezéssel jár együtt. Megállapítható, hogy a motorizáció feltételeinek megteremtése is környezetet károsító hatásokkal jár, ahogyan a gépjárművek által kibocsátott károsanyagok és elhasznált anyagok vagy az elhasznált járművek hulladék anyagainak hasznosítása, azonban ezeket együttesen figyelembevéve is, a légszennyezés hatása a legjelentősebb.

Disszertációmban csak a személygépjárművek légnemű károsanyag-kibocsátásával foglalkozom. Ez az alapja a közúti közlekedési díjképzési rendszereket korszerűsítő modellemnek.

A légszennyezés folyamata három, jól elkülöníthető szakaszból tevődik össze. Az első fázis az emisszió, ami különböző típusú források által a légkörbe juttatott szennyezőanyagot jelenti. A második szakasz a források emissziós nyílásán keresztül kibocsátott szennyezőanyagoknak a környezeti levegő által történő hígulását, szóródását fizikai és kémia változását, elszállítódását valamint kiülepedését, illetve csapadék általi kimosódását foglalja magában. Harmadik szakasz az immisszió, a kibocsátott szennyező anyagoknak a talaj közeli levegőben kialakult koncentrációja. Az emberi egészség és az élővilág védelme érdekében az immissziós koncentrációk felső határát majdnem minden országban előírások határozzák meg (**4. melléklet: Immisszió**). Kétségtelen, hogy a belső égésű motorral működő járműveknek döntő szerepük van a levegőszennyezésben, mégsem adna megfelelő megoldást, ha mindenütt nagymértékben korlátoznánk ezeknek a járműveknek a

forgalmát. Eredményesebb a beavatkozás, ha a gépjárművek emisszióját csökkentjük, ugyanis az imisszió csökkentése igen nehézkes feladat.

"Jelenleg a világon használt járművek működésük során károsítják környezetüket" [Fla83]. Megkülönböztetünk a gépjárművek által a külső és belső környezetre gyakorolt hatások tekintetében hőterhelést, károsanyag kibocsátást, valamint zajszennyezést [Tor06b]. Károsanyag kibocsátás halmazállapota szerint lehet szilárd (pl.: korom, gumipor), folyékony (pl.: különböző olajszivárgások) vagy légnemű.

A gépjárművek üzemeletetéséből származó légnemű károsanyag kibocsátással, a levegőszennyezéssel foglalkozom. Disszertációmban ezen belül csak a személygépjárművekből a rendeltetésszerű üzemeltetés során, üzemmeleg állapotban (6) légkörbe kerülő károsanyagok hatásainak monetarizálási lehetőségét vizsgálom.

(6) $$E_{teljes}=E_{hideg}+E_{meleg}+E_{párolgási}$$

, ahol:

E_{teljes}: Teljes légnemű károsanyag kibocsátás [V/V%][5]
E_{hideg}: A motor hideg állapotában keletkező légnemű károsanyag [V/V%]
E_{meleg}: A motor üzemmeleg használatából származó károsanyag [V/V%]
$E_{párolgási}$: A motor üzemeletése során a tüzelőanyagtartályból elpárolgó károsanyag [V/V%]

Ahogy a fentiekből látható, a járművek károsanyag kibocsátásának értéke térben és időben jelentősen változik, számos paramétertől függ [And99]. A ma használatos járműveink belsőégésű hőerőgéppel hajtottak, melyek a tüzelőanyag fűtőértékét alakítják át "hulladék" hővé, valamint "hasznos" mechanikai munkává. Általában a témakörrel foglalkozó forrásmunkák megfeledkeznek arról, hogy a belsőégésű motor alacsony hatásfokának következményeként a bevitt tüzelőanyag energiatartalmának maximum 40%-át alakítja át mechanikai munkává, a többi veszteség, a környezetet fűtő "hulladék" hőenergia. A tüzelőanyag energiatartalmának felszabadításához szükséges égésfolyamat végeredménye adja a kipufogógázt. Mivel a **műszaki gyakorlatban tökéletes égést megvalósítani ez idáig nem sikerült**, így ezen járművek használatakor végbemenő tökéletlen égésből származó anyagok, égéstermékek növelik a légnemű károsanyagok mennyiségét. Ezért indokolt a gépjárművek károsanyag kibocsátásának minimalizálása. A károsanyag minimalizálás a motor konstruktőrök és a gépjármű üzembentartók közös feladata, hiszen, aki gépjárműjével a közúti közlekedésben részt vesz, az köteles a közútnak és környezetének védelmére vonatkozó jogszabályokat betartani. *"Az üzembentartó felelős azért, hogy a forgalomban*

[5] V/V%: térfogatszázalék A légkörben felgyülemlett károsanyagok centrációját [V/V%] dimenzióban adtam meg.

tartott járműve a műszaki, közlekedésbiztonsági és környezetvédelmi követelményeknek megfeleljen" [tör98].

A gépjárművek emisszióját számos tényező befolyásolja, végső soron azonban - adott konstrukciós tulajdonságokat feltételezve - a károsanyag-kibocsátás a motortól igényelt munkától, másképpen megfogalmazva a motor igénybevételétől függ. A motor igénybevételét meghatározó külső tényezők:

- forgalomirányítás, forgalom,
- pályajellemzők,
- vezetésmód,
- terhelés,
- üzemanyag minősége,
- jármű sebessége.

Az alkatrészek kopása, elhasználódása fokozza a károsanyag kibocsátást, és a járművek felújítása az életkor előrehaladásával egyre nagyobb és nagyobb gazdasági befektetést igényel. Sajnos, a közeljövőben nem várható az országban a gépjárművek átlagos életkorának csökkenése, mert a magas gépkocsi árak azt eredményezik, hogy az emberek döntő többsége a lehető legtovább meg fogja tartani az autóját, mivel nincs módja ebben a gazdasági helyzetben egy új autó vásárlására, holott annak üzemeltetése sokkal gazdaságosabb lenne. A közúti közlekedés konzisztens (külső, belső) szabályozó rendszerének kialakításával lehet a gépjármű tulajdonosokat/-használókat a gépkocsiállomány folyamatos korszerűsítésére ösztönözni. [Fle05a, Oro94]

A teljességhez hozzátartozik, hogy külön is megvizsgáljuk a dízel és benzin motorok emisszióját. A CO és CH szennyezésért egyértelműen a benzinüzemű motorok hibáztathatók. Konstrukciós jellemzőik miatt a dízel-motorok összhatásfoka lényegesen jobb, mint a benzines társaiké. A jobb hatásfok alapja a tökéletesebb égés, aminek másik hasznos következménye a sokkal kevesebb CO termelés, mely az elvégzett munka egységére vetítve legalább tízszer kisebb, mint a benzinmotoroknál. Másik kísérő jelensége a dízel-motoroknak a korom-emisszió, de ez jól megválasztott motorjellemzők és optimális beszabályzás mellett eltűrhetően kis értékű.

Az értékelés teljessé tételéhez még néhány lényeges megállapítást érdemes hozzáfűzni. Nagy hibát követnénk el, ha az eddig felsorolt kipufogógáz-összetevők értékelésekor a mennyiségeket közvetlenül összehasonlítanánk. A különböző, egészségre ártalmas anyagok hatása és veszélyessége ugyanis nagymértékben eltér egymástól. Pl. a napi megengedett CO-koncentráció mértéke közel 20-szor nagyobb, mint a NO_x koncentráció. A

korom rákkeltő anyagokat hordoz magában. Az SO_2 és az NO_x a szem és a légutak nyálkahártyáját támadja meg, a CO a vér oxigénfelvevő képességét csökkenti.

Célszerűen választott környezetvédelmi beavatkozásokkal egyértelmű gazdasági eredmények érhetők el. Amikor egy gépjárművet üzembe állítanak, akkor az üzembentartó, tulajdonos döntése hosszabb időre szól, mivel valószínűsíthető, hogy a jármű legalább 8-12 évig részt vesz a közúti forgalomban, s szennyezi a levegőt. Ezért is fontos az üzembehelyezéssel, üzemben tartással kapcsolatos gondos és mindenkor konzisztens szabályozás megteremtése és főként a szabályok betartásának érvényesítése [Fle05, Oro94]. Az ezzel összefüggő szabályozási lehetőségek a következők:

- gyártmányfejlesztés,
- a gépjármű-állomány folyamatos megújítása,
- katalizátorok alkalmazása,
- megfelelő munkamegosztás a közlekedési alágazatok között,
- megfelelő úthálózat,
- csomópontoknál alkalmazható korszerű forgalomszabályozási módszerek alkalmazása,
- közösségi közlekedés fejlesztése,
- forgalomcsillapítás.

Minden járműtípus megszületését gyártmányfejlesztés előzi meg. Ennek során a fejlett, modern autógyártó cégek figyelembe vesznek minden korábbi tapasztalatot és a legújabb fejlesztési eredmények tükrében hozzák meg a döntéseiket a változtatásokra. Mivel nálunk jelenleg nincs személygépkocsi gyártás, ezért csak a környezetbarát típusok kiválasztásával tudunk ezen a szinten eredményeket elérni. Az országba behozott gépjármű típusoknál elengedhetetlen, hogy időszakosan újra és újra értékeljük az egyedeket, figyelembe véve az esetleges környezetvédelmi előírások szigorodását is.

A gépjármű-állomány folyamatos megújítása az általános elhasználtság miatt is a selejtezett gépjárművek pótlásával valósul meg. A célszerű selejtezési stratégia fontos része az emisszió csökkentésnek, ha az ilyen szempontból korszerűtlen típusok kiváltásáról van szó. Ehhez azonban a gépjárműtulajdonosokat is érdekeltté kell tenni a korszerűtlen gépjárművek cseréjében.

Nagy emisszió csökkentés érhető el a megnövekedett gépjárműforgalomhoz igazodó korszerű úthálózat tervezésével és kialakításával. A már meglévő hálózat sokszor nehézkes és költséges átalakítása helyett sokszor eredményesebb a forgalomszervezés és -irányítás fejlesztése. A forgalom zavarmentes áramlásának a biztosításával (zöldhullám) elérhetjük, hogy az áramlat sebessége ne csökkenjen, így kevesebb a károsanyag-kibocsátás. Ezen kívül

a nagyobb sebességgel haladó gépjárművek elősegítik a levegő áramlását is, ami a kikerült gázok elvegyülését és gyorsabb hígulását eredményezi.

További lehetőség lehet a közösségi közlekedés előnyben részesítése a közúti járműforgalommal szemben, mivel a fajlagos (utaskm-re vetített) károsanyag-kibocsátása és a fajlagos helyszükséglete jóval kisebb, mint a személygépkocsiké. Ezen belül is előtérbe kell helyezni a villamos járművek alkalmazását (vasút). Ezeknek ugyanis a legkedvezőbb a környezeti hatása.

Mivel a gépkocsik okozzák a legnagyobb szennyezést, – legnagyobb forgalmi részarányuk miatt - ezért folyamatos fejlesztésük szükségszerű. Ennek egyik ismert (bár csak tüneti kezelést jelentő) megoldása a katalizátor alkalmazása, mellyel a szennyezési értékek közel két nagyságrenddel csökkenthetők (kb. 98-99 %-kal). A katalizátor önmagában sem olcsó és emellett csökkenti a motor teljesítményét és növeli a fogyasztást is.

A sokféle technikai megoldás mellett mindenképpen szükség van a jogi szabályozásra is (korlátozásokra és kedvezményekre). A fejlettebb országokban, ahol a környezetvédelem társadalmi súlya jelentősebb, mint nálunk, már régóta kiegészítik a gépjárművekre felszerelt technikai megoldásokkal kapcsolatos szabályozást megfelelő jogszabályok életbeléptetésével, melyek a gyakorlatban egymással összhangban, egymást erősítve hatékonyan működnek.

A hazai szabályozórendszer célja is mindenkor a gépjárművek környezetvédelmi és műszaki állapotának „elfogadható”, „norma szerinti” szinten tartása. Jogszabályban meghatározott időközönként teljesíteni kell a „határértékeket”. A felülvizsgálat kiterjed a kipufogógázzal összefüggő rendszerelemek ellenőrzésére. Környezetvédelmi engedély nélkül nem bocsátható az autó műszaki vizsgára és nem vehet részt a közúti forgalomban sem. A kormányzat szándéka olyan adó- és díjrendszer kialakítása, amely kedvezményeket nyújt a hatékony környezetvédelmi megoldások alkalmazásához. Ezt a szándékot úgy kívánja érvényesíteni, hogy az összes nemzetgazdasági bevétel ne csökkenjen, vagyis a társadalmi többletterheket a környezetszennyező gépjárművek tulajdonosai viseljék[6].

[6] **GRACE** - Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation (EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár)

Disszertációmban a közúti közlekedési eredetű légnemű károsanyag kibocsátását 2 csoportra bontom: lokális és globális légnemű környezetszennyezőkre. A csoportosítást az indokolja, hogy a két csoportot eltérően kell kezelni, nevezetesen a járműfejlesztés tendenciái, a hazai jogszabályi háttér, a hatótávolság és az internalizálás módszerének függvényében. Először a lokális közlekedési eredetű károsanyagok (a nemzetközi kutatások alapján: CO, CH, NO_x) hatásait, majd a globális hatású, a klímaváltozásért felelős, üvegházhatást erősítő CO_2 fontosságát tárgyalom.

2.1. Lokális környezetterhelés – EURO kategorizálás

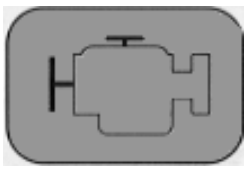
A levegőben megjelenő káros anyagok 3 forrásból származnak, lehet ipari, kommunális és közlekedési eredetű a levegőszennyeződés. A nagymértékű levegőszennyeződés megjelenésekor csak egy megoldás segíthet: a túlzott emissziót okozó források megkeresése és minden lehetséges megoldás alkalmazása a kifogásolható emisszió csökkentése érdekében. A fejlett, iparosodott társadalmak vertikális és horizontális differenciálódása szükségessé tette a nyersanyag, a munkaerő, a félkész- és a végtermék szállítását. Így a közlekedés (szállítás), mint a termelés egyik "láncszeme", nem megkerülhető vagy kiiktatható tevékenység. Egyetlen lehetőség tehát a közlekedésben résztvevő "elemek" környezetszennyező hatásának minimalizálása, aminek megvalósulását rendszeresen ellenőrizni kell.

A **különböző motor-konstrukciók különböző mértékben szennyezik a környezetet.** Az egyes szennyezők **különböző szempontok szerinti környezetvédelmi vizsgálata indokolt**. A gépjármű által kibocsátott kipufogógáz tartalma 72% nitrogén, 0,7% oxigén, 14% vízgőz és 12,3% CO_2 és 1% egyéb károsító anyagok. Mivel a mérhető károsanyagok közül a CO és C_nH_m olyan komponens, melyek kibocsátott mértéke a motor mechanikai állapotának javításával, a keverékképző- és gyújtásrendszer beállításával befolyásolható, így ezen összetevők mérése logikus a határérték betartása és betartatása szempontjából.

8. táblázat
A kipufogógáz komponensek és hatásaik [Gio79]

Szennyező anyag	Benzin	Dízel	Hatások
CO	100…200	10…25	A CO színtelen szagtalan, nagyon mérgező gáz. **Belélegezve megakadályozza az oxigén bekerülését a véráramba,** és ezzel veszélyezteti a szívet és keringési rendszert.
C_nH_m	15…25	4…8	A kipufogáskor távozó C_nH_m-k többféle anyagot tartalmaznak, vannak közöttük különösen mérgező, **rákkeltő hatású**ak is. (pl.: C_6H_6)
NO_X	10…20	25…36	**NO** színtelen gáz. Súlyos vérmérgező hatású, **gyorsan teljes bénulást okoz**. NO levegőben szúrósszagú **NO_2**-vé oxidálódik, ami tüdőingerlő gáz, **erős szövetsorvadást okoz**.
Korom	1,0	3	Önmagában ártalmatlan, de **felületén megtapadó nehéz CH-k egy része rákkeltő hatású**. A részecskék mérete: 0,1…1 μm

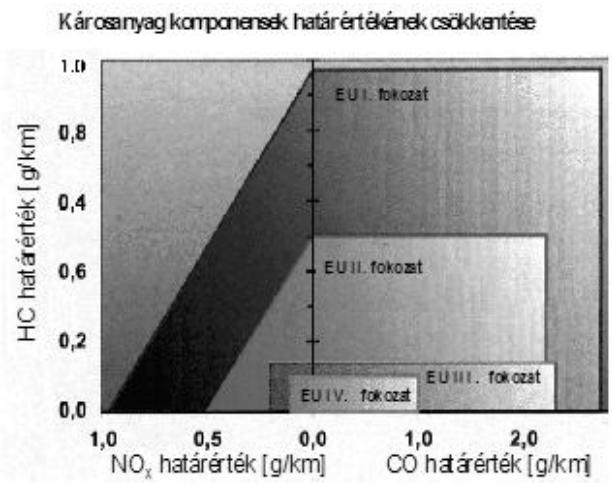
A magas népsűrűség és a gyorsan fejlődő forgalom miatt Kalifornia már az 1980-as évek elején erős légszennyezettséget mutatott az agglomerációs központokban (8. táblázat). Ez vezette a helyi politikusokat arra, hogy átfogó és szigorú műszaki előírásokat hozzanak a közúti járművekre vonatkozóan. Ezek során a gyártókat - a kipufogó rendszerek műszaki követelményeinek rendkívüli módon történt megszigorításával - fejlesztésre kényszeríttették 1985-ben az USA-ban, megjelenik az emissziót felügyelő rendszerek ellenőrzése, valamint egy figyelmeztetőlámpa a műszerfalon (**MIL - M**alfunction **I**ndicator **L**amp: Hiba jelző lámpa, a szabvány szerint minden szín megengedett, kivéve a vöröset. Jellemzően narancssárga (6. **ábra**).



6. **ábra** MIL [Bau96a]

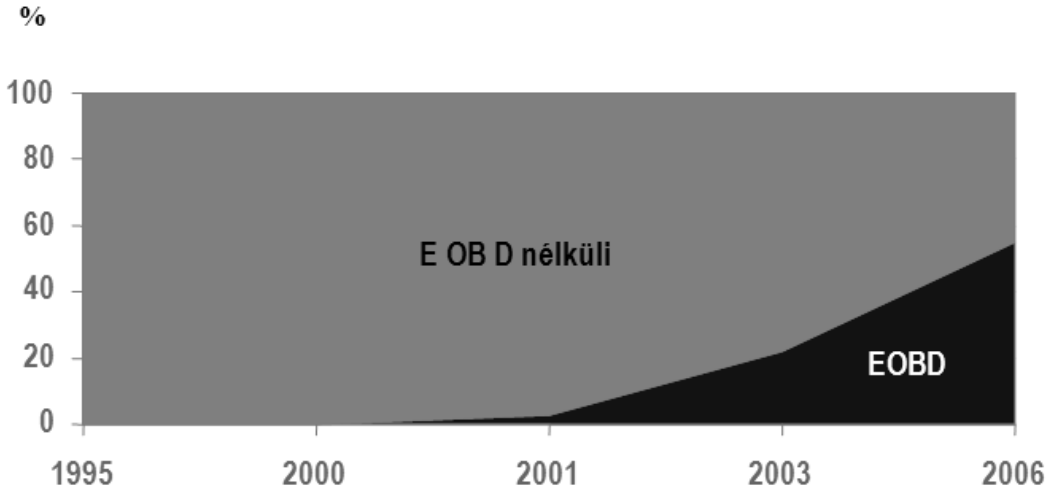
A gépjárművek kipufogógázaiban lévő káros anyagok európai korlátozási szándékának első kinyilvánítása az 1970-ben meghatározott határértékek megadásával volt kapcsolatos. Ez a 70/220/EGK számú irányelv került mindig újabb és újabb szigorításra. 1998-ban a 98/69/EG számú kiterjesztéssel határozták meg az Otto-motoros járművek számára, 1999-ben pedig a 99/96/EC számú kiterjesztéssel a Dízel-motoros és egyéb hajtású motorok számára először a kipufogógázokat felügyelő rendszereket. Ezt a rendszert EOBD[7] fogalom alatt foglalták össze az USA-ból származó tapasztalatok elismeréseként. 1998. december. 28. óta érvényes az EU 98/69/EG irányelv szerinti károsanyag-emisszió kibocsátási szabvány EU-III és EU-IV fokozata. A közlekedés okozta légszennyezés az Európai Parlament döntése nyomán várhatóan lényegesen csökkenni fog (7. **ábra**).

[7] EOBD: European OnBoard Diagnostic – a kipufogógáz összetétel releváns gépjárműalkatrészek elektronikus felügyeletének európai szabványrendszere



7. **ábra** EU károsanyag határértékek [Bau96a]

2000-től megjelenik az EOBD, mely 95%-ban megegyezik az amerikai OBD II[8] rendszerrel, de a nem több mint 5% különbség bemutatása nem a disszertáció része. Vagyis az EOBD a jármű károsanyag kibocsátását befolyásoló komponenseinek és rendszereinek menet közbeni felügyeletét jelenti.



8. ábra Az EOBD elterjedése a járműiparban [Bau96a]

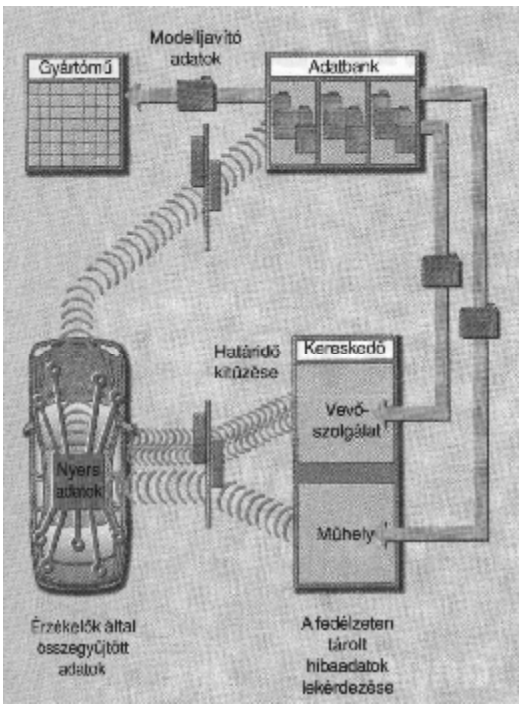
2000. január 1-től az Európai Unió területén minden új Otto-motorral szerelt típust OBD-vel kell gyártani (**8. ábra**) és minden kipufogógáz károsanyag tartalmat befolyásoló komponens hibájának kiolvashatónak kell lennie.

Ma a luxus gépkocsik elektronikájának együttes költsége eléri a jármű összköltségének 25%-át. Elemzők szerint a gépkocsi-innovációk 80%-a elektronikai eredetű. A gépkocsik "elektronizálódása" visszafordíthatatlan folyamat. Ennek

[8] OBD: OnBoard Diagnostic – a kipufogógáz összetétel releváns gépjárműalkatrészekre vonatkozó elektronikus felügyeletének amerikai szabványrendszere

következtében a járművek mind nagyobb része kerül elektronikus működésvezérlő hálózat felügyelete alá és fokozatosan átalakul az intelligens mobilitás járművévé.

Ennek megfelelően nemcsak a gépkocsi diagnosztika alakul majd át, hanem a vele szemben támasztott felhasználói igények is fokozódnak. A telematika, amely képes vezeték nélkül információt gyűjteni az eszközökről (generátorról, katalizátorról, lambda szondáról, stb.) és információkat, utasításokat előállítani az eszközök számára, az elmúlt évtizedekben jelentős, robbanásszerű fejlődésen ment keresztül. A telematika fejlődése szervesen összefügg a telekommunikáció, a mobiltelefonok fejlődésével. A telematika nem csak járművek, hanem a járműjavítók részére is lehetőségeket nyit meg (Pl.: széleskörű karbantartási adatok és képek átvitele, feldolgozása). Az átalakulást a fedélzeti információs rendszer minden eddiginél dinamikusabb fejlődése és integrálódása kíséri. A járműdiagnosztika a jövőben is fedélzeti- (OnBoard) és műhely- (OffBoard) diagnosztikából áll majd, egyre jobban eltolódva a fedélzeti diagnosztika irányába (9. **ábra**), oly módon, hogy közülük a jármű meghatározott részegységeinek folyamatos működés ellenőrzése, a működési rendellenesség naplózása és tárolása a fedélzeti diagnosztika,a felmerült hibák hatékony kiértékelése és gyors elhárítása, illetőleg egyes vezérlési funkciók átprogramozása továbbra is a műhelydiagnosztika feladata.



9. **ábra** Távdiagnosztika [Bau96a]

Az autógyártók fokozódó központosító törekvései miatt, a gyári informatikai rendszereket távdiagnosztikai szolgáltatások erősítik majd. A hét minden napján, minden órában hozzáférhető távdiagnosztikai központok interneten, belső használatú intraneten, rádión vagy telefonon is elérhetők lesznek majd. Ennek során az egyedi műhelydiagnosztikai készülékek távdiagnosztikai hálózati terminálokká, az autógyártók pedig még szélesebb szolgáltatású központi adatbázissá válnak. Az a körülmény ugyanis, hogy a telematikai eszközökkel felszerelt gépkocsi állapot érzékelőivel, ECU-jaival (**E**ngine **C**ontrol **U**nit – Motor Vezérlő Egység) kapcsolatban áll a jármű, és kétirányú kommunikációra képes, beláthatatlan távlatokat nyit a jármű üzemeltetésével, fenntartásával és továbbfejlesztésével

foglalkozók számára. Számukra ugyanis a telematikai eszközökkel felszerelt gépkocsik távmunkahelyek.

Érdekes módon a telematika előnyeit elsősorban a vagyonvédelem, a közlekedésbiztonság és a közúti forgalmi helyzet témaköreiben akarják kiaknázni. **A környezetvédelem,** motormenedzsment, a szervizkihasználtság optimalizálása **ma még csak távlati célként fogalmazódott meg!**

2.2. A környezetvédelmi felülvizsgálatokkal kapcsolatos feladatok

A világszerte emelkedő életszínvonal a mobilitás és az áruszállítási igények növekedését eredményezi. A közlekedés a gazdasági fejlődés alapvető feltétele. A mobilitás az emberek számára a szabadságot, a jobb életminőség megteremtésének lehetőségét biztosítja. A közlekedés és környezetvédelem közötti ellentmondásnak a feloldása, kiegyensúlyozása a közlekedéspolitika feladata. A közlekedéspolitikának arra kell választ találnia, hogy hogyan lehetséges a növekvő mobilitási igényeket a káros következmények minimalizálása mellett kielégíteni, azaz, hogyan lehet a fenntartható mobilitást megvalósítani.

Napjainkban, a XXI. század kezdetén a magyar közlekedés fejlettsége - az ország általános gazdasági fejlettségéhez hasonlóan - elmarad az európai uniós átlagtól. Magyarország gazdasági fejlődésében, nemzetközi versenyképességének növekedésében a közlekedés az egyik legmeghatározóbb tényezővé vált.

A magyar háztartások jövedelmük közel ötödét költik a közlekedéssel kapcsolatos kiadásokra. Így jogos társadalmi igényként jelenik meg a közúti forgalomban résztvevő gépjárművek államilag garantált műszaki és környezetvédelmi elismerése. A közúti közlekedéssel kapcsolatos közlekedési hatósági feladatokat egységes, országos hatáskörrel rendelkező államigazgatási szerv, a Nemzeti Közlekedési Hatóság (NKH) látja el a hatályos jogszabályokban megállapított rend szerint. Az NKH a közlekedés országos jelentőségű szakfeladataival összefüggő és egyéb közlekedési igazgatási feladatok körében meghatározza az egységes jogalkalmazás érdekében – a hatályos magyar és európai uniós jogszabályok és szabványok keretei között, ügyfelekre nem kiterjedő hatállyal – a hatósági eljárásban alkalmazott vizsgálatok és ellenőrzések műszaki követelményeit és módszereit (ideértve az egyes vizsgálóműszerek megfelelőségét, alkalmazhatóságát stb.).

A környezetvédelmi felülvizsgálatot a területileg illetékes közlekedési felügyelet által kijelölt, olyan felülvizsgálat végzésére feljogosított gépjárműfenntartó szervezet végezheti,

ahol a felülvizsgálatot végző szervezet vagy személy felel a felülvizsgálat előírásoknak megfelelő elvégzéséért.

„A felülvizsgáló helynek a gépjárműfenntartó és -javító szervezetekre vonatkozó általános követelményeken túl, megfelelő, zárt (télen fűtött) vizsgálóhelyiséggel, joghatályos mérésre alkalmas állapotú motorolaj hőmérsékletmérővel, gyújtási időpont-, zárásszög- és fordulatszámmérővel (benzinmotoros gépkocsikhoz), fordulatszámmérővel (dízel-motoros gépkocsikhoz) és hiteles, jogszabályban leírt, megfelelő gázelemző, illetve hitelesített, rendszeres környezetvédelmi felülvizsgálatra alkalmasnak minősített automatikus mérést vezérlő berendezéssel (benzinmotoros járművekhez), kalibrált füstölésmérő, illetve kalibrált, rendszeres környezetvédelmi felülvizsgálatra alkalmasnak minősített automatikus mérést vezérlő (dízel-motoros járművekhez) és dokumentációk, információs anyagokkal (a kijelölés szerinti járművekre vonatkozó felülvizsgálat végzéséhez szükséges adatok, technológiák nyomtatott, mágnes tárolós vagy automatikus mérőműszerben tárolt) kell rendelkeznie." [tör90, tör98, tör02]

A hazai rendelet a környezetvédelmi vizsgálatok két sarkalatos pontját, a műszer-követelményeket és a mérési technológiát (technológia és személyzet) minden részletében tisztázza, hiszen ezekre vonatkozó rögzített követelmények nélkül nincs összevethető és reprodukálható mérési eredmény (1. melléklet: Gázelemzők és 2. melléklet: Füstölésmérők) [Tor05].

2.2.1. A környezetvédelmi felülvizsgálatok folyamata

A környezetvédelmi felülvizsgálatok során a környezetvédelmi felülvizsgáló helyeken a vizsgálatra beérkező járművek adatait regisztrálják. Szemrevételezéssel megállapítják a kipufogógáz szempontjából fontos járműalkatrészek meglétét és állapotát, majd ellenőrzik a motorolaj hőmérsékletét. A jármű műszaki adatait figyelembe véve elvégzik a járművön a megfelelő környezetvédelmi felülvizsgálatot. A környezetvédelmi felülvizsgálatról számítógép segítségével elektronikus tanúsítványt hoznak létre, melyet a megrendelő részére kinyomtatnak. A környezetvédelmileg megfelelő járműveknek környezetvédelmi igazolólapot adnak ki, majd a hátsó rendszámtáblára plakettet ragasztanak.

2.2.2. A környezetvédelemi felülvizsgálatok hatékonyságnövelési lehetőségei

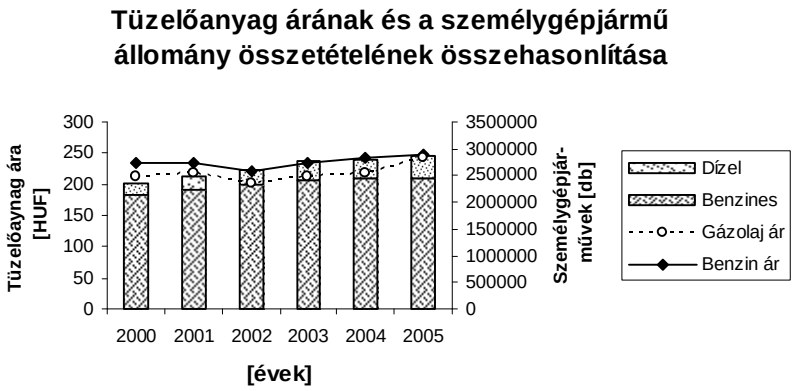
A környezetvédelmi felülvizsgálat közúti és telephelyi ellenőrzés keretében működik. A telephelyi felülvizsgálat ellenőrzése (mind manuális, illetve elektronikus úton) csak igen

nagy beruházások következtében javítható, mely a felülvizsgálatok megtérülését rontja. A felülvizsgálatok eredményességét növelhetné a közúti felülvizsgálatok gyakoriságának növelése, ám a hazai járműállomány összetétele és kora ezt nem teszi lehetővé. Az automatizált méréseket szabadáramú mérőeszközökkel bonyolítják le, ám a hazai járműállomány kora és összetétele miatt a mérőműszer nem alkalmazható, mert ilyen nagy mérési tartományban a mérések igen pontatlanok. (Amíg a jól beszabályozott és a jogszabályi szabályozásban lefektetett környezetvédelmi normáknak megfelelő 10 éves vagy idősebb személygépjárműveknél akár 4 V/V% CO kibocsátás is mérhető, addig a jól beszabályozott katalizátoros, modern járműveknél kb. 0,1 V/V% CO kibocsátás mutatható ki. A probléma forrása, hogy a környezetvédelmi szempontból rosszul működő katalizátoros járművek 1 V/V% CO kibocsátást produkálnak.) Ilyen jármű összetételi feltételek mellett az automatizált közúti ellenőrzés a fent említett okok miatt nem megvalósítható.

A leginkább hatásos megoldásként a közúti közlekedés társadalomra terhelt externális költségeit kellene meghatározni a lehető legpontosabb leképzéssel. A leképzés során meg kell határozni az externális hatás mértékét – kvantifikálni kell – majd lehetőség szerint a mértékhez reális költségeket kell rendelni –, azaz a hatásokat monetarizálni kell.

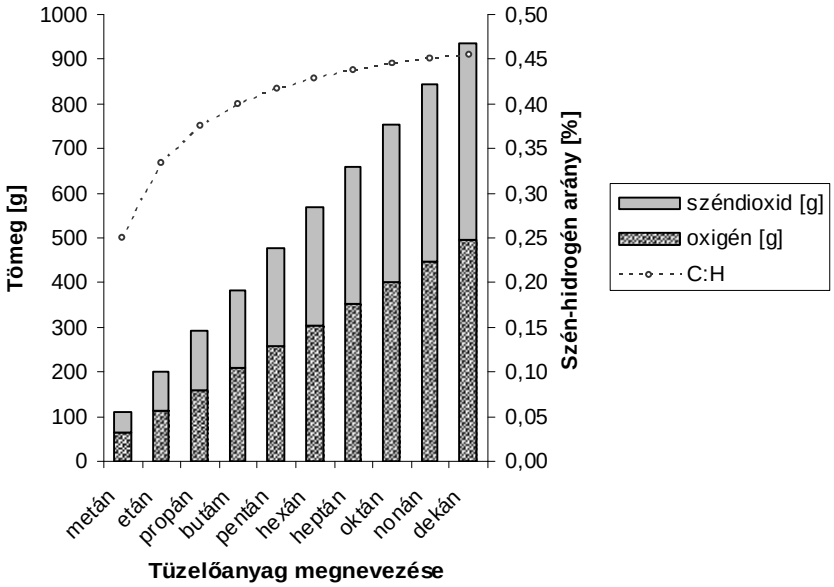
2.3. A klímaváltozást okozó környezetszennyezést meghatározó CO_2 kibocsátás becslése

Az elmúlt években a közúti járműállományban a dízel üzemű gépjárműmotorok egyre nagyobb teret hódítanak – ami a tüzelőanyag alacsonyabb árával magyarázható – és az alternatív tüzelőanyaggal hajtott vagy új hajtás mechanizmussal működtetett gépjárművek száma elhanyagolható, ezért disszertációmban csak a benzin és gázolaj elégetéséből származó széndioxid kibocsátással foglalkozom (**10. ábra**).



10. ábra A tüzelőanyag árának és a személygépjármű állomány összetételének összehasonlítása [*saját szerkesztés*]

Disszertációmban a közlekedési relevanciája miatt - a nemzetközi tendenciának megfelelően - csak a klímaváltozásért felelős széndioxid kibocsátással foglalkozom. A becslési eljárás során feltételezzük a tüzelőanyag tökéletes elégését. A valóságban a tökéletlen égés miatt ennél csak kevesebb széndioxid keletkezhet.



11. **ábra** A benzin és gázolaj, mint levegővel való keverékképzéssel elégetett tüzelőanyag oxigén szükségelete, széndioxid kibocsátása és szén-hidrogén aránya [*saját szerkesztés*]

A 11. **ábra** alapján a normál szénhidrogének – a belsőégésű hőerőgépek tüzelőanyaga szempontjából – releváns komponenseinek tulajdonságai láthatóak. Az ábrán megfigyelhető a sztöchometrikus összetétel alapján számított oxigén szükséglet és széndioxid kibocsátás - tökéletes égést feltételezve, valamint a szénláncokra jellemző szén-hidrogén arány, ami a hidrogén nagyobb fűtértéke miatt érdekes. A kémiai folyamatot leíró reakcióegyenlet a benzinre jellemző szén és hidrogén arány miatt oktánt [Bau96a],

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2}O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O \tag{7}$$

a gázolajnál szintén a rá jellemző egyszerűsített szén és hidrogén arányokat reprezentáló szénhidrogént vettem alapul [Bau96b]:

$$C_{14}H_{30} + \frac{43}{2}O_2 \rightarrow 14CO_2 + 15H_2O \tag{8}$$

Tehát 1 mol, azaz 114 g benzinből 8 mol azaz 352g széndioxid keletkezik, 1 mol, azaz 198g gázolajból 14 mol azaz 616g széndioxid keletkezik. Figyelembe véve a benzin és a

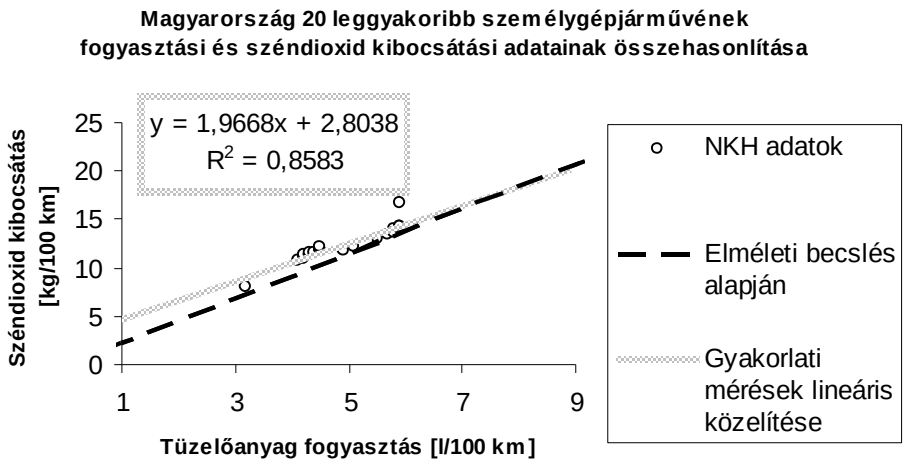
gázolaj sűrűségét, a tüzelőanyagok elégetése során keletkező maximális CO_2 mennyiséget az alábbi táblázat tartalmazza (**9. táblázat**) [Tor07a].

9. táblázat
A benzin és gázolaj elégetéséből származó széndioxid becslése

	Tüzelőanyag [l]	Elégetése során felszabaduló CO_2 [kg]
Benzin	1	2,161
Gázolaj	1	2,489

A modell helyes működését támasztja alá a KKF 2004-ben kiadott Személygépkocsik tüzelőanyag fogyasztási és széndioxid kibocsátási adatai című jelentése, mely a hazánkban forgalomban lévő 20 leggyakoribb benzin és dízel üzemű személygépjármű adatait tartalmazza (12. ábra).

Az adatokat elemezve, arra a következtetésre jutottam, hogy közúti egyéni személyközlekedés során felszabaduló CO_2 mennyiségének tüzelőanyag fogyasztás alapú becslése helytállónak bizonyult, hiszen az elméleti számításokból adódó egyenes (fekete, vékony, szagatott) és a mért eredményekre illesztett egyenes (szürke, vastag, folytonos) közötti eltérés nem szignifikáns.



12. ábra Magyarország 20 leggyakoribb személygépjármű fogyasztási és széndioxid kibocsátási adatainak összehasonlítása [*saját szerkesztés*]

A levegőszennyzési hatások számszerűsítésére számos módszer létezik. Ilyen módszerek például:

- a kárköltség becslése arányos kapcsolatok alapján,
- Kontingensértékelési módszerek kikérdezéses alapon (kinyilatkoztatott referencia),

- piacfigyelések és ökonometriai értékelések (ténylegesen felmerült preferencia),
- csökkentési és elkerülési módszerek, valamint
- pótlási költségek vizsgálata.

A kockázati megközelítés azon a feltevésen alapul, hogy az externáliák jövőbeni hatásait pontosan megmondani nem lehet, a károk becslése nehéz, mert bizonyos externális hatások által okozott kár akár végtelen nagy is lehet. Ezért nem a jövőbeni károk felbecslése a cél, és nem is a pénzbeli értékek kifejezése, hanem olyan koncepciók kidolgozása, amikkel ezek a kockázatok csökkenthetők [Tan05].

Az erőforrások költsége felőli megközelítés minden olyan veszteséggel járó esetet erőforrás csökkenésként kezel, amely közúti közlekedéssel kapcsolatos. Ezeknek a veszteségeknek az újraelőállítási költségét számolják és figyelembe veszik, hogy a veszteségek miatt elmaradt a jövőbeni hozam. A társadalom fizetési hajlandósága az a hasznossági megközelítés, hogy az egyén mennyit hajlandó fizetni egy adott pozitív hatásért. Ez a megközelítés inkább a környezeti ártalmak esetében vezethet eredményre. Azonban itt is jelentős eltérések adódhatnak. A felmérések azt mutatják, hogy ugyanazt a szennyezést más értéken becslik meg, ha a szennyezőnek kell fizetnie a szennyezés kibocsátásáért, vagy ha az embereknek a saját tulajdonukban levő területen kell a károkat elhárítaniuk [Tor06c].

A hasznosságot maximalizáló megközelítés alapja, hogy a társadalom anyagelhasználását és a korlátozott erőforrásokat egy olyan hasznossági függvénnyel értékelik, amely az összes fogyasztónál azonosnak vehető.

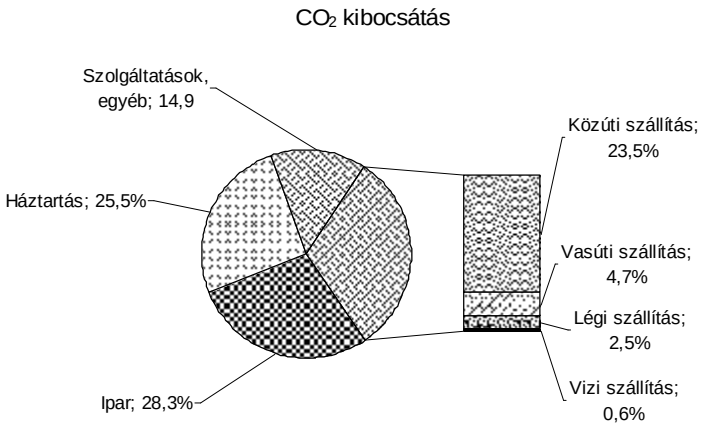
A környezeti költségek a közlekedés okozta szennyezés és egészségkárosodás költségeit foglalják magukba. Meghatározásuk modellszámítással történik a már meglevő emissziós adatok alapján. A klímaváltozás költségei nem választhatók szét teljesen a légszennyezés költségeitől. Azonban a klímaváltozás hatásai csak hosszú távon jelentkeznek és ezért a jövőbeni hatásokat illetően a bizonytalanság nagy. Mivel a károk akár végtelen nagyok is lehetnek, ezért elsősorban nem az a fontos, hogy felbecsüljük ezeket a károkat, vagy hogy megtudjuk, mekkora a társadalom fizetési hajlandósága e téren, hanem olyan módszereket kell kifejleszteni, amelyek segítségével a kockázatot és a káros hatásokat csökkenteni lehet. A klimatikus változás költségeinek meghatározása e szerint a megelőzési megközelítésen alapul. Ez a megközelítés három fő pilléren nyugszik. Az **első** a csökkentési cél. Ezt országonként határozzák meg. Minden országban más és más csökkentési célok léteznek, amelynek alapja a tényleges egy főre eső kibocsátás. Az átlagos csökkentési cél meghatározásánál figyelembe veszik a kibocsátott CO_2 trendszerű növekedését. A **második**

egy referencia költségbecslés. Itt a kibocsátott gázok adott mennyiségére (általában egy tonnára) egy átlagos egységköltség értéket becsülnek meg. A **harmadik** a kiigazítási tényező, amivel az egységköltség becslés különböző relatív árszínvonallal rendelkező országokra is beállítható. Az előbbi három fő feltétel után a klimatikus változás költségei megbecsülhetők. Ezáltal a költségek azokban az országokban a legmagasabbak, ahol az egy főre eső költségek magasak. Azokban az országokban pedig, ahol az egy főre eső kibocsátás alacsony, ott a költségek is alacsonyak a relatív megkívánt alacsony csökkentési célok miatt. Csakúgy, mint a légszennyezésnél, a közlekedési alágazatok közül a legtöbb megelőzési költséget a közúti közlekedés idézi elő. A klímaváltozás költségeit leginkább befolyásoló tényezők a népsűrűség és szerkezet, és a kibocsátott üvegházhatást keltő gázok mennyisége [Tan07a].

3. A közúti közlekedés és a klímaváltozás kapcsolata

A környezet változása – beleértve az éghajlatot is – és az ezeket befolyásoló emberi tevékenységek kapcsolatban állnak a társadalommal, a gazdasággal és a közlekedéssel [Tan94, Fle05b]. *„Földünk méretei – a rendszer tehetetlensége - miatt a múltban kibocsátott károsanyagok akkor is módosítanák a jövőbeli környezetünket, ha kibocsátásuk azonnal megszűnne.”* [Szir05] A társadalom jogos igénye a közúti közlekedésből és a közúti közlekedési infrastruktúra fejlesztéséből és fenntartásából származó környezetterhelések, károsanyag-kibocsátások minimalizálása. A közlekedési környezetszennyezés hatására Földünk klímája megváltozik; ez hatással van a társadalom és a gazdaság állapotára. A környezetszennyezés jelentős része közlekedési eredetű. A szektoron belül a közúti közlekedés a legnagyobb „károkozó”. A környezetszennyezés által okozott változások, környezeti anomáliák visszahatnak a közlekedésre [Tan06a]. A fejezet célja a közlekedés és a környezet komplex kapcsolatrendszerének a feltárása, ennek részeként a közúti közlekedés által okozott káros környezeti hatások pénzértékének meghatározása.

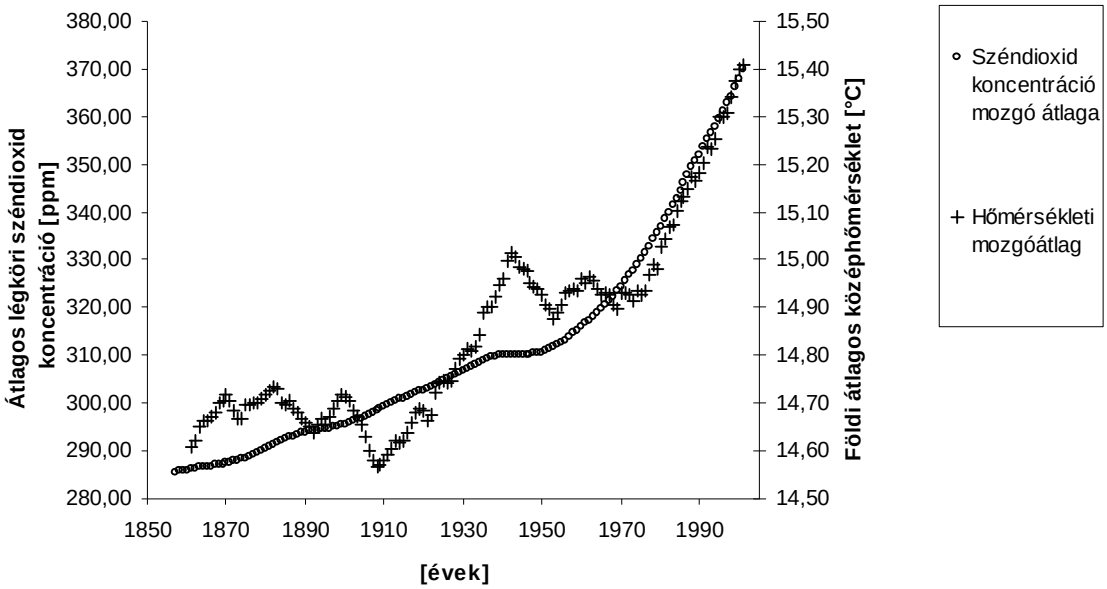
A klímaváltozást okozó CO_2 kibocsátás (8. melléklet: Klímaváltozást okozó közlekedési eredetű széndioxidkibcsátás statisztikai vizsgálata) közel harmada közlekedési eredetű. Ennek is jelentős részéért, egyben az összkibocsátás mintegy negyedéért, a közúti közlekedés a felelős. (**13.** ábra)



13. ábra A közúti közlekedés részesedése a CO_2 kibocsátásból [EUROSTAT 2002]

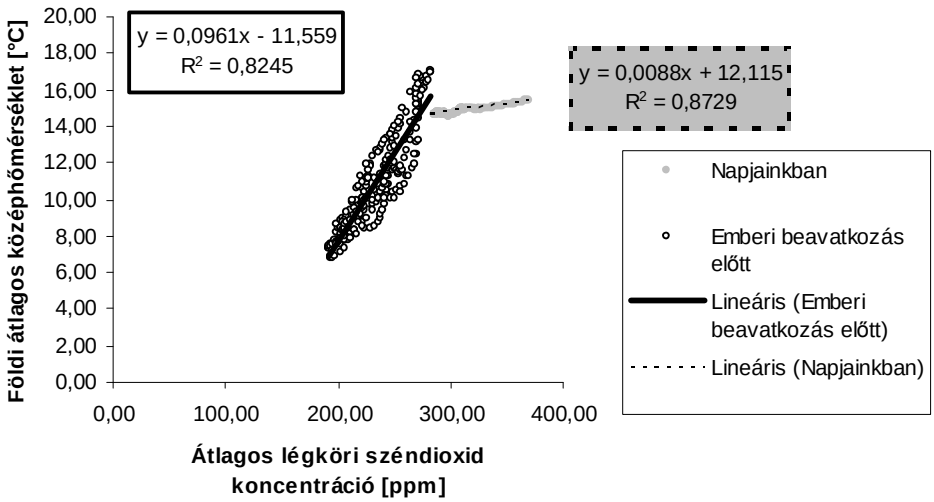
A környezetszennyezés éghajlatváltozáshoz vezet. Földünk éghajlatának komplexitásából következően, a környezet változása – beleértve az éghajlatot is – és az ezeket befolyásoló emberi akciók kapcsolatban állnak a társadalommal, a gazdasággal és a közlekedéssel (14. ábra). Így a közlekedésnek, azon belül kiemelten a közúti közlekedésnek a

természeti, a társadalmi és a gazdasági környezet által igénybevett térben kell fenntarthatóan működnie.



14. ábra A földi átlagos középhőmérséklet és az átlagos légköri széndioxid koncentráció kapcsolata az elmúlt 150 évben [*saját szerkesztés*]

A**15. ábra** jól mutatja az elmúlt 150 év és az azt megelőző 420 000 év közötti különbséget a légköri széndioxid koncentráció és a földi átlagos középhőmérséklet összefüggése között. Jól látható, hogy habár Földünk lehűlési fázisban van, az antropogén eredetű károsanyag kibocsátási többlet hatására az összefüggést leíró egyenes meredeksége megváltozott és eltolódott.



15. ábra Az emberi beavatkozás hatása a légkörre és az átlaghőmérsékletre [*saját szerkesztés*]

3.2. A közlekedés klímaváltozást befolyásoló káros hatásainak mérséklésével kapcsolatos feladatok

A gazdaság fejlődésével – az egyszerűség kedvéért jellemezze ezt a GDP egy lakosra vetített értékének időbeli változása (mint aggregált mutató, mértékegysége: [EUR/fő/év]) – **szoros korrelációt mutat** az ezer lakosra jutó gépjárművek számával kifejezett **motorizációs fok**. Tehát a GDP növekedésével nő a motorizációs fok. A növekvő motorizáció, sajnos, a környezetszennyezés növekedését indukálja. A belsőégésű hőerőgép feltalálása óta eltelt több mint 100 év alatt a társadalom fejlődése az egyéni közlekedést egyre jobban igényli. Eddig megoldást nyújt(ott) a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a belsőégésű hőerőgépekben. Jelenlegi közlekedési eszközeink jelentős részét hajtja ilyen erőforrás. Az elmúlt években a tömegtermelésben nem volt kilátás más hajtásrendszer elterjedésére.

Az elektromos járművek önmagukban nem jelenthettek racionális jövőt, mert elemeik kis energiasűrűségűek, kis hatótávolságúak voltak. Igazi áttörést jelentett a tüzelőanyag cellás és hibrid járművek megjelenése, ám a kezdeti lelkesedést követően a tömegtermelés megkezdése előtt súlyos problémákat kellett még leküzdeni. Az elektromos hajtású járművet összehasonlítva a belsőégésű hőerőgéppel hajtottal, kijelenthető, hogy az csak kezdetben, a kb. 30 km/h sebességérték eléréséig jelent kisebb zajforrást, mert utána az útburkolat-kerék kapcsolatából adódó zajok válnak dominánssá. A károsanyag kibocsátás elemzésekor szem előtt kell tartani, hogy a ma gyártott belsőégésű motorok az 1970. évi értékhez képest jelentős javulást tudnak felmutatni; jelenlegi környezetterhelésük az akkori szint alig 2%-át éri el, így a reális összeméréshez az elektromos energia előállításának környezetterhelését ezzel az értékkel kell szembeállítani.

A tüzelőanyag cellával rendelkező járműveket két csoportra oszthatjuk: teljesen hidrogén meghajtásúak és más folyadékkal meghajtott járművek. A járművek környezetterhelési hatásait illetően a mai napig vita tárgyát képezi bizonyos jellemzők megítélése, mint pl. az üzemi hőmérséklet, a hatékonyság, illetve a gazdaságosság. Ha csak azt nézzük, hogy a metanol vagy benzin átalakításából is nyerhető hidrogén és CO_2 – amelyet a környezetbe engedünk –, akkor környezetvédelmi szempontból ennek a folyamatnak a hatékonysága is megkérdőjelezhető. A tiszta hidrogénnel üzemelő járművek a hidrogén és oxigén egyesítéséből származó energiát alakítják mozgási energiává, ennek eredményeként pedig víz keletkezik. A keletkező víz problémát jelenthet a városi közlekedésben, jelentősen növelheti a városi területek páratartalmát. A keletkező többlet pára elvezetése, elnyeletése, a levegő „kiszárítása” még nem megoldott. További problémát jelenthet a hideg indítás, a

rendszerelemek élettartama, a közlekedésbiztonság (folyékony vagy nagy nyomású hidrogéntartályok megjelenése tüzelőanyag tartályként) és a rendszer kiépítésének költségei, mind a járművön, mind a kiszolgáló létesítményeknél.

Az első lehetőség az éghajlatváltozást kiváltó okok mérséklése, a környezeti terhelés csökkentése, ami – az előbbiek miatt - csak hosszabb idő elteltével vezet eredményre. Járműveinkben fosszilis tüzelőanyagot égetünk el. Ha létezne tökéletes égés, akkor csak CO_2 és víz keletkezne. A CO_2 üvegházhatást élénkítő gáz csökkentése csak az elégett tüzelőanyag csökkentésével valósítható meg.

A légkörben felhalmozódott CO_2 és a földi középhőmérséklet között szoros korreláció tapasztalható (R^2=0,7494). Megoldást csak az nyújtana, ha nem széntartalmú tüzelőanyagot égetnénk el. Kisebb széntartalmú anyagok elégetése viszont – metanol, hidrogén – azért nem lenne célszerű, mert ezzel csupán a károsanyag kibocsátásának a helye változna meg; a jármű működtetése helyett a tüzelőanyag-gyártás során keletkezne környezetszennyezés. Biogázok használata belsőégésű motorokban előnyös lehet, mert akár 20%-kal is kisebb lehet a CO_2 kibocsátása, egyúttal jobb a kompressziótűrése (ami a dízel járművekben történő felhasználását korlátozza), ami a kedvezőbb szén/hidrogén aránnyal magyarázható. A dízel járműveknél a környezetvédelemi célkitűzések teljesítése belső ellentmondáshoz vezetett, ugyanis egyidejűleg vagy csak a részecske kibocsátást vagy csak az NO_x kibocsátást lehet csökkenteni. A NO_x csökkentésekor – pl.: kipufogógáz visszavezető szelep használatával - a részecske kibocsátás emelkedik meg és utólagos szűrők beépítése válik szükségessé. A részecske kibocsátás csökkentésekor viszont az NO_x érték növekedik meg, amelyen DENOX katalizátorral tudnak segíteni. Mindkét megoldás teljesíti a környezetvédelmi határértékeket, de jelentősen drágítja a járművet és növeli a fogyasztását. Ideális megoldást nyújthat a tüzelőanyag befecskendezése a szívó ütemben.

A CO_2 üvegházhatást élénkítő gáz. Csökkentése csak az elégett tüzelőanyag csökkentésével realizálható, tehát e tekintetben megoldást csak az jelentene, ha nem széntartalmú tüzelőanyagot égetnénk el [Zol06].

A második lehetőség az alkalmazkodás. A közlekedés klímaváltozásban játszott jelentős szerepe mellett a klímaváltozás áldozata is. Az előrejelzések szerint hazánkban enyhébb, csapadékosabb telek és száraz, melegebb nyarak várhatóak [Cel05, Szir05] a téli hidegből eredő fagykárok csökkenése, a nyári forróságból adódó problémák növekedése várható. A prognózisból következően a tavaszi árvízkárok csökkenésére lehet számítani.

A klímaváltozás hatására kialakuló éghajlati szélsőségek által okozott károk, pl. a hazánkra eddig nem jellemző viharok előfordulásának előrejelzése, bár nehéz feladat, mégis a védekezés és a károk megelőzése szempontjából szükség van ilyen szolgáltatásra. A váratlan, rendkívüli események előfordulásának a gyakoribbá válása felerősíti a kockázatok mainál rendezettebb kezelésének (egyébként is időszerű) szükségességét [Fle07]. A viharok károsíthatják a járművek pályáit (közúti és vasúti pálya), a járművek működtetéséhez szükséges berendezéseket (felső vezetékek, transzformátor házak). A csapások súlyosan érintik a közlekedést és ezzel a hazai lakosság egy jelentős részét. Elkerülésük nehézkes, ezért törekedni kell az okozott kár mértékének csökkentésére is. A múlt tapasztalatai alapján szükség van olyan, állandóan frissített akciótervek kidolgozására, amelyek az érintett társadalmi csoportok összefogását igénylik.

A klímaváltozás hazai hatásai feltehetően nem változatják meg lényegesen a ma is létező regionális gazdasági és társadalmi egyenlőtlenségeket, de a jövőben számolni kell a migráció további erősödésével, ami a vázolt kedvezőtlen változásokat felerősítheti. Ezek, az esetenként szinergikusan érvénysülő hatások viszont már felgyorsíthatják a regionális, illetve a társadalmi szegregációs folyamatokat. A néhány évszakban tartósan is kedvezőtlen belvárosi klíma és az állandósuló közúti közlekedési torlódások együttes érvényesülése miatt felgyorsulhat a szuburbanizációs folyamat [Tor06a].

A kedvezőtlen környezeti hatások kialakulását elkerülendő, számos feladat fogalmazható meg. Ezek végrehajtása részben az egyéneken, részben a társadalmi, gazdasági folyamatokat irányító közösségi döntéshozó szerveken (állam, önkormányzat, szakhatóságok, stb.) múlik. A társadalomnak, illetve a közlekedő embereknek szemléletmód váltásra van szüksége. Közös érdekünk az utánunk következő generációk életterének megőrzése érdekében a környezettudatos életmód kialakítása. Ebben az állam szerepe az oktatásban, képzésben (ismeretterjesztés, népszerűsítés) meghatározó jelentőségű.

Az államnak ezen túlmenően más eszközei is vannak a közúti közlekedésből származó környezetterhelés mérsékléséhez. A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy különböző díjak bevezetésével a közúti közlekedés attraktivitása, a forgalom nagysága csökkenthető. Az egyéni gépkocsihasználat ésszerűen mérsékelhető különböző úthasználati díjak bevezetésével, vagy a gépjárművek kihasználtsága növelésének ösztönzésével. Fontos azonban szem előtt tartani, hogy **az úthasználati díjat nem lehet csupán bevételi forrásképzésre használni, hanem azt elsődlegesen a forgalombefolyásolás hatékonyságát növelő eszközként célszerű alkalmazni.**

A téma jelentőségének és aktualitásának bemutatását követően a disszertációm következő fejezeteiben a közúti személygépjármű közlekedés által okozott károsanyag kibocsátás alapján vizsgálom a hazai ár- és díjképzési rendszerek korszerűsítési lehetőségeit. Az okozott károk, a klímaváltozás mellett vizsgálat tárgyát képezi a helyváltoztatási igények alakulása és azok környezeti hatásainak kvantifikálása is.

4. A közúti közlekedési árképzési/díjképzési rendszerek korszerűsítési lehetőségei

Napjainkban a közlekedés területén megvalósítandó egyik fő célkitűzés egy olyan hatékony és méltányos árképzés kialakítása és bevezetése, amelynek eredményeképpen elkerülhető az egyes piaci résztvevők közötti megkülönböztetés, ugyanakkor megakadályozható a versenytorzulás és csökkenthetők a közlekedés káros hatásai.

Jelenleg még fennállnak azok az egyenlőtlenségek, amelyek abból erednek, hogy a közlekedésben résztvevők nem fizetnek meg minden, a helyváltoztatásukkal kapcsolatos költséget, ezért olyan marginális társadalmi költségen alapuló árképzés bevezetése indokolt, amely a közlekedés externális hatásait is figyelembe veszi, azaz, azokat a közlekedés által másoknak okozott költségeket is beszámítja az árba [Leg03], amelyeket jelenleg még nem a közlekedésben résztvevők fizetnek meg (pl.: környezeti károk).

A közlekedési alágazatok közül a közúti közlekedés externális költségei a legnagyobbak. Fontos az EU által vallott „a használó fizessen” elv gyakorlatban történő érvényesítése. Ezt az elvet leginkább az externáliák internalizálásával lehet a gyakorlatban is érvényesíteni.

A közúti személyközlekedés környezeti költségei a nemzetközi szakirodalom és kutatások alapján a légszennyezés okozta környezetkárosítási-, egészségügyi-, és vagyonkárosodási költségeket foglalják magukba. Meghatározásuk modellszámítással történik. Úgynevezett hatásértékelő megközelítést használó modelleket alkalmaznak, amelyek járműkategóriánként vizsgálják a kibocsátásból származó károk mennyiségét és nemzetközileg meghatározott és elfogadott értékszámok segítségével határoznak eg költségeket.

A közúti közlekedésnek vannak pozitív externális hatásai is: leszűkíti az emberi kapcsolatok közötti teret, pozitív hatással van a nemzetgazdasági folyamatokra, hatására bővül a fogyasztás, a fogyasztók köre, növekszik a mobilitás, a motorizáció, és az életszínvonal. Pozitív hatással lehet a munkaerőpiacra és az ipari folyamatokra is.

4.1. Marginális költségalapú árképzés a közlekedésben

Az előbb említett modellek nem adnak megfelelő alapot a pontos és részletes - társadalmi költség bázisú - árképzési rendszer megvalósításához. Az erőforrások társadalmilag optimális allokációja a marginális költség és bevétel egyenlősége esetén

biztosított. A marginális költségek megállapításához azonban a költségeket a teljes (tehát a társadalmi szintű) ráfordítás figyelembevételével kell értelmezni. Habár az ökológiai közgazdaságtan hívei általában elutasítják a természeti erõforrások pénzbeli (monetáris) értékelését, az utóbbi években mégis tapasztalható némi elmozdulás. Ennek következtében a környezet-gazdaságtan és az ökológiai közgazdaságtan hívei valamelyest közeledtek egymáshoz, azaz, az adott területen oldódni látszik egymás nézeteinek merev elutasítása. Ezt bizonyítja az a Robert Costanza és munkatársai által készített, a Föld ökoszisztémáinak és természeti erõforrásainak pénzbeli értékelésérõl szóló tanulmány is, amely eredetileg a Nature hasábjain jelent meg 1997-ben, s egy évvel késõbb az Ecological Economics című folyóiratban is közreadták. A cikkről támogató és kritikai megjegyzések sora látott napvilágot, összességében azonban egyértelműen az derül ki ezekből, hogy - a monetáris értékelés komoly módszertani problémái ellenére is - hiba volna elvetni a természeti erõforrások pénzbeli értékelését.

A természeti erõforrások monetáris értékelése Magyarországon is egyre nagyobb figyelmet kap, s mindez akkor válik igazán fontossá, amikor a vizsgált erõforrás állapota valamilyen okból hirtelen megváltozik. Egy igen összetett és ellentmondásokkal teli problémakör (az ökoszisztéma szolgáltatásai, illetve azok értékelése) kapott különös figyelmet az utóbbi években, s ez a terület az ökológiai közgazdaságtannak is központi témája [Bin95],[Cos98]. Ám a közgazdaságtan különbözõ irányzatai más-más módon tartják elfogadhatónak az ökoszisztémáknak, azok szolgáltatásainak, illetve a természeti tõkének az értékelését. Az ökológiai közgazdaságtan elsõsorban nem monetáris formában törekszik a társadalom és a gazdaság kapcsolatának megragadására, azaz sokkal inkább természetes mértékegységekben igyekszik leírni a változásokat. Ezzel szemben a környezet-gazdaságtan a neoklasszikus elvekre épül, s ennek megfelelõen az emberi preferenciákból indul ki a pénzbeli értékek meghatározásakor, s a természeti tõkének ily módon igyekszik minél több aspektusát monetárisan megragadni. A két irányzat tehát alapjaiban különbözik egymástól, ezért is figyelemre méltó, hogy épp Robert Costanza, aki az ökológiai közgazdaságtan egyik vezéralakja, s munkatársai próbálkoztak elõször a földi ökoszisztéma-szolgáltatások globális szintû, pénzbeli értékelésével.

Mivel az ökoszisztéma szolgáltatásai nem piaci javak, illetve nincsenek oly módon számszerûsítve, hogy összehasonlíthatók lennének a gazdaság szolgáltatásaival vagy a megtermelt tõkével, ezért ezeket a politikai döntéshozatalkor túl kis súllyal veszik figyelembe. Ez a megközelítés többek között az emberek, mint biológiai lények életfeltételeit is súlyosan veszélyeztetheti. Bizonyos értelemben az ökológiai rendszerek szolgáltatásainak értéke

végtelen, hiszen azok nélkül a Föld gazdaságai mûködésképtelenné válnának. Ennek ellenére mégis hasznos lehet az ökoszisztéma-szolgáltatások "hozadéki értékének" vagy "határértékének" a becslése. Az ökoszisztéma javak (pl. élelmiszer) és szolgáltatások (pl. hulladékasszimiláló-képesség) formájában, közvetlenül vagy közvetve hajt hasznot az emberiség számára. Az ökoszisztémák számos funkciót töltenek be és különbözõ szolgáltatásokat nyújtanak [Cos 97]. A tanulmány szerzõi 17 kategóriába sorolták ezeket az ökoszisztéma-szolgáltatásokat: gázszabályozás (a légkör kémiai összetételének szabályozása), klímaszabályozás, zavar-szabályozás (az ökoszisztémák válasza a környezeti változásokra), vízszabályozás, vízszolgáltatás, erózió megelõzése, talajképzés, tápanyag-körforgás, hulladékkezelés, beporzás, biológiai kontroll (a populációk zsákmánydinamikájának szabályozása), menedékhely (a helyi és a költözõ populációk élõhelye), élelmiszer termelés, nyersanyagok, genetikai erõforrás, rekreáció, kultúra (a nem kereskedelmi használat lehetõségének biztosítása). Az elemzésbe csak a megújuló ökoszisztéma-szolgáltatások kerültek be, a nem megújuló fosszilis energiahordozókkal (kõszén, kõolaj, földgáz), az ásványi nyersanyagokkal, illetve a légkörrel nem foglalkoztak.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének becsléséhez szükség volt az ökoszisztémák nagyságának meghatározására is. Ennek érdekében egy aggregált osztályozási rendszert dolgoztak ki, amelyben - a jelenlegi globális földhasználatnak megfelelõen - 16 kategória szerepel. A két alapkategóriát a tengeri és a szárazföldi területek jelentették. A tengeri területek felbonthatók a nyílt óceánra és a parti területekre, amelyek magukban foglalják a tölcsértorkolatokat, a tengeri algaágyakat, a korallzátonyokat és a sekély parti területeket. A szárazföldi területeken kétféle erdõtípust (trópusi és mérsékelt égövi); füves területeket és legelõket; mocsaras, vizes területeket (wetlands); tavakat és folyókat; sivatagot; tundrát; jeges vagy sziklás területeket; mûvelés alatt álló földeket; valamint városokat különböztettek meg.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások piaci és nem piaci értékösszetevõit többféle módszerrel határozták meg. Az elemzésben felhasznált - már elkészült - tanulmányok szintén sokféle értékelési módszert alkalmaztak. Ezek zöme - közvetlenül vagy közvetve - az emberek ökoszisztéma-szolgáltatásokra vonatkozó "fizetési hajlandóságát" próbálta becsülni.

A részeredmények gyûjtése és szintetizálása több lépcsõben zajlott. Elõször alaposan áttekintették a szakirodalmat, amelynek célja a már elkészült értékelések összegyûjtése volt, de a becslések során saját számításokat is végeztek. A végleges tanulmány megírását természetesen résztanulmányok kidolgozása elõzte meg (ezekben találhatók meg a szakirodalomban fellelhetõ becslések, azok értékelési módszerei és a kalkulált értékek), majd a szerzõk - egyhetes intenzív, közös munkával - részletesen is megtárgyalták a kapott

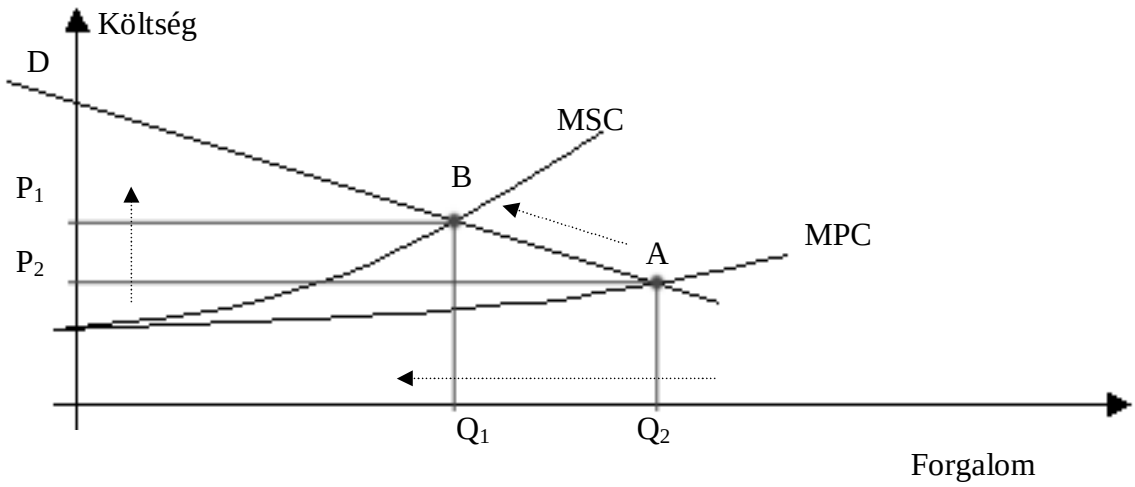
eredményeket. Mindezek alapján határozták meg az egyes ökoszisztémákra, illetve az általuk nyújtott éves szolgáltatásokra vonatkozó pénzértékeket. A teljes bioszféra éves szolgáltatásainak értékét globálisan 16-54 billió amerikai dollárra (a kisebb érték az egyes értéktartományok alsó, míg a nagyobbik a felsõ határok figyelembevételével kalkulált összeg), átlagos értékét pedig 33 billió amerikai dollárra becsülték. Ez olyan érték, amelynek jelentõs része a piacon meg sem jelenik [Cos97].

A szerzõk nem tagadják, hogy az efféle becslések számos fogalmi és empirikus nehézséget tartalmaznak, mégis úgy gondolják, hogy e munka több szempontból is alapvetõ. Ez azért van így, mert *"nyilvánvalóbbá teszi az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének lehetséges tartományát; legalább elsõ közelítésben megbecsüli a globális ökoszisztéma-szolgáltatások viszonylagos nagyságát; keretet ad ezek további elemzéséhez; kiemeli azokat a területeket, amelyeknél a leginkább szükség van további kutatásokra; újabb kutatásokra és vitákra ösztönöz"*. A szerzõk szerint a felismert problémák és bizonytalanságok többsége miatt becsléseik inkább csak valamiféle alsó közelítést jelentenek, amelyek növekednének, ha *"további erõfeszítéseket tennénk az ökoszisztéma-szolgáltatások szélesebb tartományának tanulmányozására és értékelésére; reálisabban ragadnánk meg az ökoszisztémák dinamikáját és a közöttük lévõ függõségi kapcsolatokat; és tudomásul vennénk, hogy az ökoszisztéma-szolgáltatások egyre »szûkösebbé« válnak a jövõben"* [Cos97], 253. o.).

Véleményük szerint a világ ökoszisztéma-szolgáltatásaira vonatkozó évi 33 billió dolláros kalkulált értéket egy olyan mutatószámként kell értelmezni, amely megmutatja, hogy a múltban a természeti tõkét milyen mértékben használtuk fel, s így mekkora a megmaradó természeti tõke szûkössége [Dal98]. *"A becslés minden durvasága és pontatlansága ellenére is több, mint a végtelen rossz alábecslése"* ([Dal98], 23. o.).

Egy konkrét döntéshozatalnál a végtelen értéken számon tartott természeti tõke semmivel sem mond többet, mintha azt nulla értéken vennénk számításba. Fel kellene ismerni, hogy a természeti tõke és az ember alkotta tõke nem helyettesítõ, hanem kiegészítõ viszonyban állnak egymással, s éppen ez a kiegészítõ viszony az a korlátozó tényezõ, ami miatt meg kell fékezni a természeti tõke túl gyors átalakítását ember alkotta tõkévé. Az ökoszisztéma-szolgáltatások mérésének technikája viszont továbbra is lezáratlan kérdés, de szerinte a kutatók nyitottak a kritikákra és a javaslatokra, amelyek révén fejleszthetõ ez a munka [Mar99].

Az egyéni kereslet (D) görbe írja le a fizetési hajlandóságot. Amely a forgalom növekedésével egyre csökken.



16. ábra Az externális költségek figyelembevétele, a fizetési hajlandóság és a forgalomnagyság összefüggésében [Tan94]

Az egyéni marginális költség görbe (MPC – Marginal Private Cost) mutatja azokat a kiadásokat, amelyeket a használó fizet. A marginális társadalmi költség (MSC – Marginal Social Cost) görbe is mutatja azokat a költségeket, amelyeket a jármű üzemeltetője a használat során a társadalomra terhel (**16. ábra, 3. melléklet: Externális költségek**). Az ábráról látható, hogy az A pontban a jármű üzemeletője P_2 költséget fizet Q_2 forgalom mellett. Ha azonban figyelembe vennénk a társadalomra terhelt költségeket, B pont, akkor a közlekedés költségei P_1-re nőnének, a kereslet, vagyis a forgalom pedig Q_1-re csökkenne.

A környezeti határköltségek becslésére szintén hatásérzékelő modelleket használnak. Ezek modellezik a különféle emissziókat, az ezek eredményeképpen keletkező káros hatásokat és ezen hatások monetarizálása után a költségek becsülhetővé válnak [Tan95, Tan03].

Az emberi tevékenység utóbbi évtizedekben tapasztalható intenzitásnövekedésével együtt jár, hogy megbomlik a természet kialakult, évezredeken át fennálló egyensúlya. Ez számos környezetvédelmi problémát vet fel. Közismert tény, hogy a légkör CO_2 tartalma az utóbbi években jelentősen növekedett. Ez a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során kerül a levegőbe, veszélyeztetve ezzel az éghajlat állandóságát. A széndioxidot teszik felelőssé a földi "üvegházhatás" kialakulásáért, ami a Föld folyamatos, már napjainkban is érzékelhető felmelegedését okozza. Ez a felmelegedés a légköri cirkulációs viszonyok megváltozását vonja maga után, így klímaváltozás következik be [Tor06d]

.

A magyarországi gépjárműközlekedéssel összefüggő hatékony környezetvédelem megteremtését az is szükségessé teszi, hogy a jelenlegi hazai közúti kapacitás elmarad a fejlettebb országokétól, így azonos forgalmi terhelésnél nálunk nagyobb a forgalom akadályozottsága, ami nagyobb fajlagos kipufogógáz emisszióhoz vezet. Ezt a kedvezőtlen hatást az útpályák fejlesztésével, illetőleg a gépjárművek emissziójának csökkentésével lehet ellensúlyozni. A közutak fejlesztése korlátozott anyagi lehetőségeink miatt csak hosszabb távon ad megoldást, ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a közúti gépjárművek károsanyag kibocsátásának mérséklésére [Tan06a].

A közúti pályák közül a városi belterületi utak levegőjének szennyezettsége a legjelentősebb, mivel itt csúcsforgalmi időben rendszerint az eltűrhető akadályoztatás határesetéig növekszik a forgalom, és az ekkor kibocsátott gázok hígulását a környező épületek jelentősen akadályozzák. Az utóbbi években a globális verseny dinamikus technológiafejlesztésre késztette a járműgyártókat, melynek eredményeként jelentősen csökkent a gépjárművek fajlagos környezetszennyezése. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a városiasodás egyértelműen növeli a közúti szállítási igényeket. A megnövekedett közúti közlekedés a korábban kialakított útpályaszakaszok gyorsabb elhasználódását eredményezi. Azt is szem előtt kell tartani, hogy a közúti közlekedés nem helyezhető át más területekre, és a közlekedés környezetet károsító hatása nem határolható le egy adott térrészre.

A szennyezőanyagok externális költségeinek meghatározására többféle módszer létezik. Az egyik ilyen eljárás a közvetlen károsodáson alapuló megközelítés (Small és Kaizimi, 1995.) Ez lényegében többfokozatú hatásérzékelő modellnek tekinthető. Az eljárás 3 lépésből áll. Az első lépésben ún. terjedési modellekből származó információk alapján létrehozzák a függvénykapcsolatot az emisszió változása és az eredményezett szennyezőanyag-koncentráció között. A második lépésben összefüggésbe hozzák a koncentráció szint változását az egészségre, növekedésre, anyagokra, láthatóságra és az ökoszisztémákra gyakorolt hatásokkal. A harmadik lépésben a légszennyezés különféle hatásainak pénzbeli értékét határozzák meg. Ezek alapján a légszennyezést leginkább befolyásoló tényezők: a népsűrűség, az emissziós forrástól mért távolság, a szennyezők típusa és mennyisége, valamint a környezet földrajzi adottságai.

4.2. Externális költségek

A közlekedéssel kapcsolatos költségeken sokáig azokat a költségeket értettük, amelyek közvetlenül az árú vagy a személyek szállítása során jelentkeztek. Ezek tartalmazták a gépjármű amortizációját, a tüzelőanyag költségét, az emberi munkaerő költségét és egyéb hasonló jellegű ráfordítások összegét. Ezek a költségek a közlekedési eszköz rendelkezésre bocsátójánál jelentkeznek. A közlekedéssel kapcsolatos költségek egy része azonban nem a rendelkezésre bocsátójánál jelentkezik, hanem a rendszer más résztvevőinél. Sokáig ezeket az úgynevezett külső költségeket, nem vették figyelembe.

A közlekedés volumenének a növekedése miatt megnövekedett annak környezetterhelő hatása, s ezért nyilvánvalóvá vált, hogy szükség van a közlekedés külső költségeinek megállapítására és árakban/díjakban történő megjelenítésére. Az externális költségek megjelenítésének másik fontos oka, hogy a közlekedési ágazatok egymással összehasonlíthatóvá váljanak. A különböző alágazatok külső hatásainak összetétele és nagysága ugyanis más és más. Ahhoz, hogy piaci verseny jöjjön létre az ágazatok között, fontos, hogy az általuk a környezet felé okozott terheket megtérítsék, az áraikban érvényesítsék, így hozzájáruljanak a közlekedés fenntartható fejlődéséhez.

A közlekedés magas minőségi színvonala elemi fontosságú a gazdasági fejlődés elősegítése és a környezet állapotának megőrzése céljából. Az európai integrációs folyamat során felmerült az a kérdés, hogyan lehetne egységesen elbírálni a közlekedésből eredő hatások mennyiségi és minőségi mutatóit. Különösen nagy hangsúlyt kap a kérdés a több országot is érintő, európai léptékű fejlesztési projektek értékelése kapcsán. Köztudott, hogy az egyes EU tagországok eltérő gyakorlattal rendelkeznek a beruházások értékelése terén. Ezek a megközelítések azonban csak az egyes országok fejlesztéseire érvényesíthetők, de nem nyújtanak megfelelő segítséget a több országot is érintő beruházások tervezésekor. Az Európai Bizottság (EB) már több olyan kutatási projektet is kezdeményezett korábban (EUNET, UNITE és IASON), amely az integrációs folyamat ezen területének kidolgozását szolgálta. Ezek eredményeit részben már fel is használta a 2001-es európai közösségi közlekedéspolitika (Fehér Könyv) kialakításakor, ahol is fontos hangsúlyt kapott a transz-európai közlekedési hálózat (TEN-T) infrastruktúra projektjeinek értékelése [Mes06].

A cél magában foglalja a monetáris értékeléshez szükséges adatok egységes alaprendszerének kialakítását, a jóléti közgazdaságtan iskolájára építve, amely hosszútávon

képes biztosítani a közlekedéshez kapcsolódó konzisztens költségelszámolásokat. A gyakorlati életből a közlekedésben eltöltött idő értéke, a torlódások hatása, a baleseti kockázat csökkentésének pénzértékben történő meghatározása, az emberi egészségre gyakorolt (beleértve a zaj- és egyéb szennyezési) hatások monetarizált megállapítása, valamint a közlekedési infrastruktúra költségeinek meghatározása került összehasonlításra a szakirodalomból feldolgozott elméleti és tapasztalati tudással. A fő cél lenne az egységes európai útmutató kidolgozása. Ez egy olyan iterációs folyamat segítségével valósítható meg, amelynek része az érintett országok szakmai képviselőivel történő folyamatos konzultáció, amely egyben lehetőséget teremt az egyes nemzeti érdekek és szemléletmódok érvényesítésére is.

A jelenlegi értékelési eljárások és az új felmérések eredményeinek elemzése után kerülhet csak sor az egységes, harmonizált értékelési útmutató kidolgozására. 1997-ben az EUNET projekt keretében történt felmérés az akkor gyakorlatban használt értékelési eljárásokat és értékeket gyűjtötte össze Az elkészült felmérés meglehetősen vegyes képet adott a felmérés által érintett országokban alkalmazott értékelési útmutatókról. A sok hasonlóság mellett jelentős eltérésre is fény derült országonként. Ennek oka az volt, hogy az egyes nemzeti útmutatókat hosszú évek tapasztalatai alapján alakították ki, s e folyamat során nem vették figyelembe más országok saját útmutatóik tökéletesítésére irányuló törekvéseit. Az útmutatók jelentősen eltérhetnek egymástól nemcsak módszertanilag és a kidolgozás mélységében, de a be- és kimenő adatokat tekintve is. A különbözőség okaként fontos megemlíteni az egyes országok eltérő gazdasági, politikai és jogi környezetének hatását is.

Az externáliák internalizálását alátámasztó okok közül egyik érvként a környezetvédelmet érdemes kiemelni. Ennek szerepe a természet rombolásával egyre inkább növekszik. A közlekedés által okozott sokféle káros hatás csökkentésének az egyik lehetősége a költségek internalizálása, amelyre egy - a közreműködésemmel – a 6-ik EU kutatási keretprogramban kidolgozott projekt tett kísérletet [Hea05].

Disszertációmban a közúti közlekedési externáliák közül a levegőszennyezést vizsgáltam. Kialakítottam egy számítási eljárást, melynek segítségével egy adott útszakaszra vonatkoztatva vizsgálható a levegőszennyezés. (Problémát jelentett az, hogy a károsanyag kibocsátási határértékek az évek folyamán változtak, sőt egyre részletesebben meghatározottakká válnak, a kumulált határértékek szerepét az alkotóelemek határértéke veszi át. A határértékek ilyen jellegű összehasonlítása csak akkor lehetséges, ha a kumulált határértéket szét tudjuk bontani az alkotók határértékeire. A szétbontáshoz azonban szükség

volt a károsanyag térfogati összetételének ismeretére a gépjárművek kipufogógázában [Zol05a]).

Közlekedési externália tulajdonképpen a közlekedés hatása olyan harmadik félre, aki nem vesz részt a közlekedési folyamatban. Minden érintett célja saját hasznosságának maximalizálása, amely elérhető a bevételek maximalizálása és/vagy a költségek minimalizálása révén. A jelenlegi gyakorlat szerint a negatív externális hatásokkal összefüggő bizonyos költségek megtérítését az egyének vagy a vállalatok másra terhelik, így a piacon termékeiket, szolgáltatásaikat nem a reális, hanem annál alacsonyabb áron tudják értékesíteni. A negatív externáliák fedezésének forrása e megoldás szerint az az elképzelés, hogy mással meg lehet téríttetni a felmerült költségek egy részét.

4.3. Externáliák és internalizálásuk lehetősége

Az EU több kutatási programja foglalkozik a közlekedés társadalmi költségének, illetve társadalmi határköltségének problémakörével[9]. Ennek alapja, hogy az EU hosszabb távon ezekre az információkra alapozva kívánja megadni közlekedési árképzési irányelveit. A témában számos kísérlet történt már az egyes költségtételek meghatározására [Tan04].

A hazai szakirodalomban a témával már sok cikk foglalkozott, eltérő megközelítéseket alkalmazva. A disszertáció egyik fontos célktűzése, hogy ismertesse a társadalmi határköltség alapú díjképzést a közúti közlekedésben, különös tekintettel a környezetszennyezés monetarizálására. Értekezésemben a helyi és helyközi közlekedést gráfelméleti alapon vizsgálva, csak csomópontok és az azokat összekötő élek szerepelnek a vizsgálatban. Meg kell említenem, hogy az így kialakult modell városi környezeteben gyakran kezelhetetlen, ezért a továbbiakban csak a helyközi közúti személyközlekedést vizsgálom. A fenti korlátozást a helyközi közúti személyközlekedés légszennyezésének pontosabb monetraizálhatósága is indoklttá teszi. Angliában, Németországban valamint Svédországban nagybonyolultságú és nagy adatigényű komplex rendszerekkel oldották meg a városi közlekedés légszennyezési problémájának kezelését, de a magyarországi alkalmazásra a társadalmi-gazdasági és jogi feltételek még nem elég érettek.

Egy adott útszakasz használati díjának megállapításához az útszakaszra vonatkozó teljes használati költség mellett, a teljes társadalmi költség változás meghatározása is szükséges. Ezt a változást a továbbiakban társadalmi határköltségnek nevezzük. Diszertációm

---

[9] UNITE **Unification of Accounts and marginal cost for Transport Efficiency - Pilot Accounts for Hungary, Brussels, 2002;**
HEATCO **(Developing Harmonised European Approaches for Transport COsting and Project Assessment) EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt (referenciaszáma: SSP8B/502481/2003);**

e tekintetben a helyközi közúti közlekedés társadalmi határköltségének megállapításával foglalkozik.

A társadalmi határköltség két elemre bontható:

- Az időfelhasználásból és a jármű üzemeltetéséből származó költségek, melyek az adott útszakaszra vetíthetőek és jelentős mértékben függnek a közlekedési feltételektől,
- A társadalomra hárított költségek, pl.: a többi gépjárműnek okozott időveszteség az adott többlet jármű megjelenésével az adott útszakaszon, vagy a többi gépjármű üzemeltetési költségeiben okozott változás a rendszerbe belépő új jármű miatt (9).

(9) $$MSC_i^u = MC_i^u + MEC^u \text{ [Ft]}$$

, ahol

i:	A gépjármű kategóriája
u:	Az adott útszakasz
MSC_i^u :	i kategóriájú jármű társadalmi határköltsége (Marginal Social Cost) az u útszakaszon [Ft]
MC_i^u :	i kategóriájú jármű egyéni határköltségek (Marginal Costs) az u útszakaszon [Ft]
MEC^u :	Az újonnan belépő jármű externális költsége (External Costs) az u útszakaszon [Ft]

Az egyéni határköltségek a felhasználót közvetlenül terhelő költségek, melyek a felhasznált erőforrással arányosak. Ekkor tehát felbontható a (9)-ben szereplő MC_i^u a következő módon:

(10) $$MC_i^u = t_i^u \tilde{v}_i^u \tilde{o}_i^u + c_i^u \text{ [Ft]}$$

, ahol

t_i^u :	i típusú jármű torlódásban eltöltött menetideje az u útszakaszon [min]
$\tilde{v}_i^u$:	i típusú jármű idő-pénzértéke az u útszakaszon [Ft/min]
$\tilde{o}_i^u$:	i típusú jármű kapacitáskihasználtsága az u útszakaszon [Fő/jmű]
c_i^u :	i típusú jármű üzemeltetési költségei az u útszakaszon [Ft]

Megfelelő adatok birtokában a (10) egyenlet csoport-képzéssel egyszerűsödhet. Csoportképzés alapja lehet az utazás célja (munka, szórakozás, bevásárlás), az utazók jövedelemviszonya, vagy a gépjárművek kihasználtsága (11).

Ekkor a (10) így írható fel:

(11) $$MC_i^u = t_i^u \left(\frac{\sum_g v_g P_{ig}^u}{V_i^u} \right) + c_i^u \text{ [Ft]}$$

, ahol

v_g:	a g csoportba tartozó emberek utazási idejének pénzértéke [Ft/min]
P_{ig}^u :	i típusú járművet használó g csoportba tartozó emberek az u útszakaszon. [fő]
V_i^u :	i típusú járművek száma az u útszakaszon [db]

Az externális határköltség felbontható 3 részre:

- Az úthálózaton megjelenő új gépjármű által okozott eljutási idő növekedéséből származó költségnövekedés a többi résztvevő számára – jelölje: X(T),
- Az úthálózaton megjelenő új gépjármű által okozott üzemeltetési költség növekedése a többi résztvevő számára – jelölje X(C),
- Valamint egyéb externális költségek, úgy mint a környezetterhelés költségei – jelölje X(N).

Az alábbiakban az egyes összetevők részleteit azonosítjuk.
Az externális határköltség azon része X(T), mely az okozott eljutási idővel van kapcsolatban, tovább bontható a következő képpen (12):

$$X(T)^u = \sum_{ig} \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} P_{ig}^u v_g \right) \text{[Ft]} \tag{12}$$

, ahol

$\left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} \right)$: i kategóriájú járművek utazási idő növekedési mértéke az u. útszakaszon [min/ejmű]

Q: a járműáramlat nagysága egységjárműben kifejezve [ejmű]

Az úthálózaton megjelenő új gépjármű által okozott üzemeltetési költség növekedése a többi résztvevő számára X(C), az externális határköltség azon része, mely a tüzelőanyag fogyasztással van kapcsolatban. A megváltozott közlekedési áramlat sebessége tovább bontható a következő képpen (ebben az esetben a tüzelőanyag-fogyasztás a sebességgel van összefüggésben), (13):

$$X(C)^u = \sum_i \left(V_i^u \frac{\partial c_i}{\partial Q^u} \right) = \sum_i V_i^u \left(\frac{\partial c_i^u}{\partial t_i^u} \right) \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} \right) \text{[Ft]} \tag{13}$$

, ahol

$\frac{\partial c_i^u}{\partial t_i^u}$ i kategóriájú járművek üzemeltetési költség növekedési mértéke az utazási idő függvényében az u. útszakaszon [Ft/min]

Az egyéb externális költségek, úgy, mint a környezetterhelés költségeinek megállapítása, igen komplex feladat. A legtöbb megközelítés[10] távolságra vetített költségek becslésével dolgozik [Dep06], a (14) szerint.

[10] **UNITE Uni**fication of Accounts and marginal cost for **T**ransport **E**fficiency - Pilot Accounts for Hungary, Brussels, 2002;
HEATCO (Developing **H**armonised **E**uropean **A**pproaches for **T**ransport **CO**sting and Project Assessment) EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt (referenciaszáma: SSP8B/502481/2003);

(14) $$X(N)^u = \sum_i \left(e_i^u d^u\right) \quad [\text{Ft}]$$

, ahol

e_i^u : i típusú jármű környezetterhelésének költsége km-re vetítve az u útszakaszon [Ft/km]

d^u : az u útszakasz hossza [km]

A következőkben bemutatok egy lehetséges becslési eljárást, mely a nemzetközi előírásoknak és tapasztalatoknak is megfelel.

A nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a járműáramlatokat környezeteterhelésük alapján csoportokra bontom, és a csoportokra jellemző légszennyezési határértéket veszem figyelembe. Ennél a modellnél a csoportképző eljárás a gépjárművek környezetvédelmi osztálybasorolása. Az osztálybasorolás nemzetközileg azonos, a csoportok határértékei deklaráltak. Ezek után csak a határértékeket kell a károsanyag komponensek társadalmi költségeivel megszorozni és összegezni a teljes járműáramlatra (15).

(15) $$e_i^u = \sum_{g=1}^{p} g(i) \cdot l_g(i) \cdot k_g(i) \quad [\text{Ft/km}]$$

, ahol

g(i): Gépjárművek száma az adott környezetvédelmi i. kategóriában [db]
l_g(i): g levegőszennyező légszennyezési határértéke az adott i. kategóriában [g/km]
k_g(i): g levegőszennyező költsége [Ft/g]

A (10), (13), (14) és (15) egyenletek összevonásával kaphatjuk meg a közúti gépjármű-közlekedés teljes társadalmi határköltségét adott útszakaszra vetítve (16). A fejezet célja egy olyan ármeghatározási módszer bemutatása, amely segítségével a közúti gépjárműközlekedés társadalmi költségei - a felhasználó fizessen elvnek megfelelően - teljes mértékben a felhasználóra terhelhetőek.

(16) $$MSC_i^u = t_i^u \tilde{v}_i^u \tilde{o}_i^u + c_i^u + \sum_{ig} \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} P_{ig}^u v_g \right) + \sum_i V_i^u \left(\frac{\partial c_i^u}{\partial t_i^u} \right) \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} \right) + \sum_i \left(e_i^u d^u\right)$$

Egy adott jármű összköltsége meghatározható a (17) szerint:

(17) $$\tilde{P}_i^u = t_i^u \sum_g \left(\frac{P_{ig}^u v_g}{V_i^u} \right) + t_i^u$$

, ahol

$\tilde{P}_i^u$: i típusú jármű átlagos egyéni költsége az u útszakaszon

t_i^u : i típusú jármű úthasználati díja (ha létezik) az u útszakaszon

c_i^u : i típusú jármű üzemeltetési költségei az u útszakaszon

A tényleges úthasználati díjnak (TO) a mértéke a különbség a társadalmi határköltség és az érzékelt költségek között (18).

(18) $$\begin{aligned} TO = & \; MSC_i^u - \tilde{P}_i^u = \\ & = (MC_i^u + EC^u) - \tilde{P}_i^u = \\ & = \left(\left[t_i^u \tilde{v}_i^u \tilde{o}_i^u + c_i^u \right] + \left[\sum_{ig} \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} P_{ig}^u v_g \right) + \sum_i V_i^u \left(\frac{\partial c_i^u}{\partial t_i^u} \right) \left(\frac{\partial t_i^u}{\partial Q^u} \right) + \sum_i \left(e_i^u d^u \right) \right] \right) - \\ & - \left(t_i^u \sum_g \left(\frac{P_{ig}^u v_g}{V_i^u} \right) + p_i^u + t_i^u \right) \end{aligned}$$

Átrendezve és összevonva a fentieket:

(19) $$TO = EC^u + (c_i^u - p_i^u) - t_i^u$$

Miután a fenti modell alapján a tényleges úthasználati díjat megállapították és kivetik, az adott útszakasz iránti kereslet megváltozik (lecsökken). A díj megállapítása és tudatosítása a használókkal a mai napig még nem megoldott probléma, hiszen, mint az a díjszámításból látszik, egy dinamikusan változó problémáról van szó. A probléma csak iterációs eljárással oldható meg, a rendszerben lévő dinamikus elemek miatt, az iterációs eljárást minden új rendszerbe lépő elemnél el kell végezni. Torlódásos esetben, amikor a társadalmi határköltségek magasak, az úthasználati díjak – az elvárásoknak megfelelően - megemelkednek. Nagy forgalmú csomópontok közelében a társadalmi határköltség indokolatlanul magas lehet, ezért érdemes egy maximális értéket kijelölni.

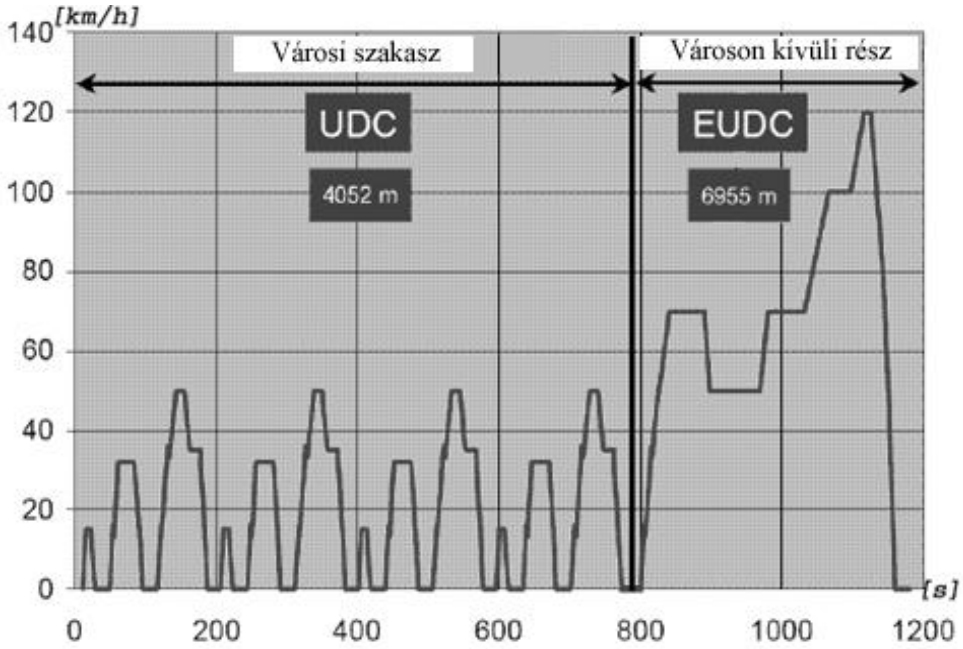
Egy iterációs eljárás szükséges a társadalmi határköltségek és egyéni költségek egyensúlyi pontjának megállapításához, mert az úthasználati díj megállapítása csak a modellen belül történhet, nem a modellen kívül, ezért kihatással van a modell többi paraméterére (kapacitás kihasználtság az adott útszakaszon). Problémát jelenthet, hogy a fent említett eljárás egyetlen útszakaszra vonatkozik és ebből egyensúlyi állapotot elérni a teljes hálózatra igen nehéz, összetett feladat. Cél, hogy a hálózat valamennyi útszakaszán a

társadalmi határköltség és a rendszerben résztvevő járművek egyéni költségének különbsége 0 vagy közel 0 legyen [Tan07b].

5. A légszennyezés becslése

A gépjárműforgalom károsanyag-kibocsátásából származó költségeket ma a társadalom fedezi. A költségek megállapításához tisztában kell lennünk a közúti személygépjárművek pontos károsanyagkibocsátásával. Sajnos, a légszennyezés pontos megállapítása igen nehéz, sokváltozós komplex feladat, mely a mai informatikai eszközpark gazdaságos felhasználása mellett nem megoldható. Ezért a gépjárművek károsanyagkibocsátását világszerte becslik.

Az ECE 83[11] szerinti menetciklus (ECE-R15) (17. ábra) egy közelítő eljárás a gépjárművek viselkedésének modellezésére. A mérés során a gépkocsit görgős próbapadra állítják, a kipufogógázt további elemzésre felfogják. *A menetciklus* két részből áll. Az első menetciklus részben a városi közlekedést, amíg a második ciklusrészben a gyorsforgalmi közlekedést modellezik.



17. ábra ECE-R15 menetciklus[12] [Bau96a]

[11] ECE 83: az Egyesült Nemzetek Szervezetének Európai Gazdasági Bizottsága álatal előírt 83. számú személygépjármű emissziós előírás

[12] UDC – Urban Driving Cicle (Városi Vezetési Ciklus): Karakterisztikája alapján az alacsony haladási sebesség, alacsony motor terhelés és alacsony kipufogógáz-hőmérséklet jellmezi.
EUDC – Extra Urban Driving Ciycle (Városközi Vezetési Ciklus): az aggresszívabb, nagyobb haladási sebbességű vezetési módok szimulálására.

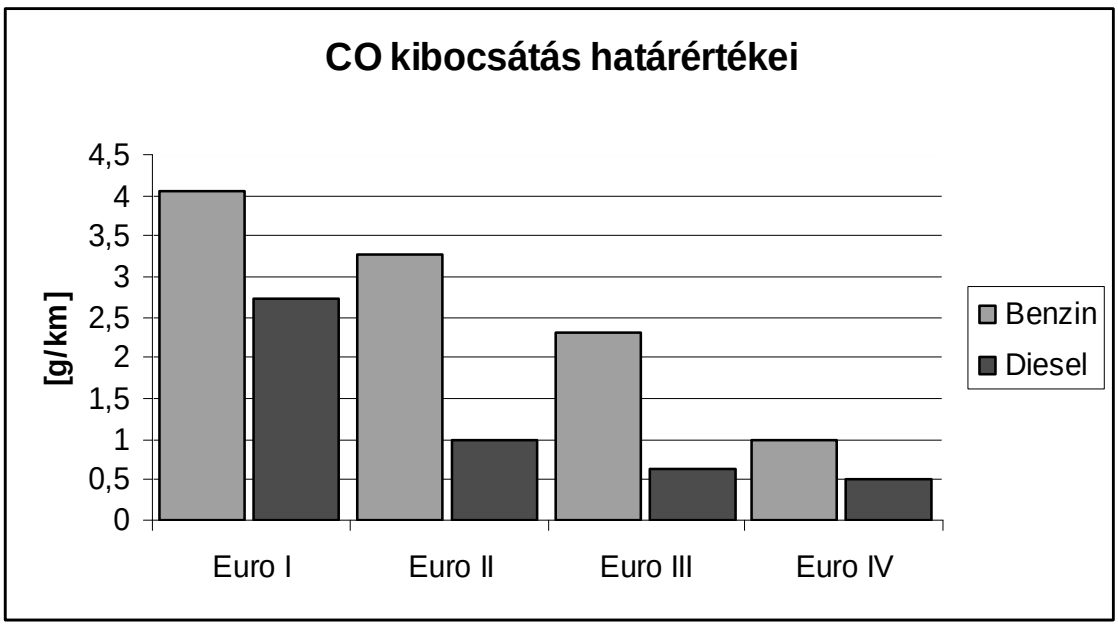
Az EURO károsanyag-kibocsátási szabványrendszer az ECE-R15 menetcikluson alapszik. Minden gépjárműkategória saját határértékkel rendelkezik (Pl. az M1 – benzin üzemű személygépjármű 10. táblázat).

10. táblázat
EURO határértékek benzin üzemű személygépjárművekre

Benzin üzemű személygépjárművekre	Hatályos	CO [g/km]	HC [g/km]	NOx [g/km]
EURO 1	1992. július 1	4,05	0,66	0,49
EURO 2	1996. január 1.	3,28	0,34	0,25
EURO 3	2000, január 1.	2,30	0,20	0,15
EURO 4	2005. január 1.	1,00	0,10	0,08

A határértékek ilyen jellegű összehasonlítása csak akkor lehetséges, ha a kumulált határértéket szét tudjuk bontani az alkotók határértékeire (5. melléklet: Kumulált károsanyag kibocsátási határértékek szétbontása).

A mobilitási igények mennyiségi növekedésével párhuzamosan nőtt a környezetterhelés; ezzel együtt egyre szigorúbbá váltak a károsanyag-kibocsátási határértékek (18. ábra), s ezért is nyilvánvalóvá vált, hogy szükség van a közlekedés külső költségeinek a megállapítására és megjelenítésére.



18. ábra CO kibocsátás határértékeinek szigorodása [Bau96a]

Az externális költségek számbavétele abból a szempontból is indokolt, hogy a közlekedési ágazatok egymással összehasonlíthatóvá váljanak. A különböző közlekedési alágazatok külső hatásainak összetétele és nagysága más és más. Ahhoz, hogy a piaci verseny érvényesülése kifejthesse kedvező, technológia-fejlesztő hatását, fontos, hogy a közlekedők, illetve a szállítási szolgáltatásokat igénybevevők (utasok, fuvaroztatók) az általuk okozott környezeti károkat is megtérítsék. Erre csak akkor lesz lehetőség, ha az árakat a társadalomnak okozott teljes költség figyelembe vételével alakítják ki, és így a használók hozzájárulnak a közlekedés fenntartható fejlődéséhez. Az externáliák internalizálását alátámasztó okok között kell említeni a környezet védelmét is. Ennek szerepe a természet rombolásával egyre inkább növekszik [Tan06b].

Munkámban a közlekedési externáliák közül a – társadalmi költségeket tekintve - leginkább káros összetevő hatását a légszennyezést vizsgálom. Kialakítottam egy olyan számítási eljárást, melynek segítségével jó közelítéssel becsülhető egy adott útszakaszra vonatkoztatva a légszennyezés (6. melléklet: Egy adott útszakaszra vonatkozó légszennyezés becslése6. melléklet:).

5.1. A becslési eljárás implementációja, bemutatása egy egyszerű modellen

A közúti közlekedési igények vizsgálata egyre fontosabbá vált az elmúlt 25 évben. A valóság egyszerűsített leírását megvalósító modell segítségével a komplex rendszer áttekinthetőbbé válik. A fejezet célja, hogy az emberi viselkedést modellezze a közlekedési módválasztás szempontjából. A rendszer összetettsége miatt egyszerűsítésekre van szükség, melyek elengedhetetlenek a modell gyakorlati működéséhez. A különböző problémák kezelhetősége érdekében célszrű a valós körülményeket minél pontosabban beépíteni a modellbe. A modell a valóság leegyszerűsített képe. A komplex összefüggéseket azonban csak úgy tudjuk áttekinteni és megérteni, ha megfelelő módon leegyszerűsítjük azokat. A fizikai modell a valóság olyan részletének leegyszerűsített, konkrét ábrázolása, amely a vizsgálat számára lényeges szempontokat a valóságnak megfeleően tartalmazza [Gil71]. Egy adott modell számos feltételezést tartalmaz, melyekkel pontosan tisztában kell lennünk, amikor előrejelzést, szabályozást vagy optimalizálást végzünk a modell alkalmazásával. Ahhoz, hogy megfigyelhessük, hogy egyének miként hoznak döntéseket néhány speciális feltételezéssel kell élnünk:

1. döntéshozó: a döntést hozó egyén, vagy valamilyen közös tulajdonság alapján vett csoportosulás (ilyenkor a csoport más tulajdonságait figyelmen kívül hagyjuk);
2. a lehetőségek: azon feltételezések, amelyek a döntéshozó számára elérhető választási lehetőségeket definiálják;
3. jellemzők: azon paraméterek, amelyek meghatározzák minden választási lehetőségre a döntést befolyásoló tényezőket és amelyeket a döntéshozó figyelembe vesz a döntésénél;
4. döntési szabály: a döntési mechanizmust leíró karakterisztikák.

Egy döntés modellezésénél vizsgálnunk kell, hogy milyen választási lehetőséget választott a döntéshozó. A kereslet és kínálat találkozását, a közlekedési szükségletek kielégítési folyamatait szemlélve a fizikai analógiák (pl.: garvitációs modell, Kirchoff-törvény) mellett meg kell, hogy jelenjenek az ökonometria és fogyasztáselmélet összefüggései is. Ez annál is inkább indokolt, mivel a pénzügyi „fiskális" megoldások a közlekedési igénybefolyásolásnak egyre jellegzetesebb elemeivé válnak. A közlekedési hálózaton lejátszódó bonyolult folyamatokat tehát forgalmi modellekkel írhatjuk le, amelyek a jelenségek feltárt részletessége alapján különböző összetettségűek és mélységűek lehetnek [Mon98]. Az adatok a modellépítés során úgy hasznosulnak, hogy a megfigyelt személyek helyváltoztatásainak körülményeiből általánosítható szabályokat, összefüggéseket alkotunk. E vonatkoztatásban a modellek között lényeges különbségek lehetnek. Aszerint, hogy az „egyének" egyedi döntéseit írják le, vagy „csoportok" döntéseinek aggregátumait/átlagos arányait adják csupán vissza [Hen81]. Az egyéni választási modellek „diszkrétek" amelyek arra keresik a választ, hogy az adott választási lehetőségekből „melyiket" választja az egyén [Mon98]. **Disszertációmban, a közlekedési módválasztásból adódóan, a közlekedési módválasztási modellek közül az egyéni diszkrét választási modelleket vizsgáltam meg.**

Diszkrét döntési modellnél felírható a választási lehetőségek véges sokasága. Következő lépésben fel kell tárni a választási lehetőségek körét. A lehetőségek két csoportra bonthatóak: általános választási lehetőségekre és a redukált lehetőségek tárára. Az általános lehetőségek csoportja az összes lehetséges választást tartalmazza, amíg a redukált lehetőségek csak a döntéshozó számára elérhető lehetőségeket tartalmazza. Itt kell megjegyezni, hogy egyes közlekedési módválasztási esetekben külön megfigyelést tenne indokolttá az, hogy egyes közlekedési alágazatok miért nem kerülnek bele a redukált lehetőségek halmazába (pl.: nincs gépjárművezetői engedélye és ezért nem szerepel a közlekedési módok között az egyéni gépjárműközlekedés, vagy információ hiány miatt nem használja a közösségi közlekedést). A redukált döntési lehetőségek részhalmaza igen gyakran valódi részhalmaza az általános döntési lehetőségeknek.

A vizsgálatkor azonosítani kell azon jellemzőket, melyek befolyásolják a döntéshozót döntése meghozásában. Minden választási lehetőséget értékelnünk kell a jellemzők alapján. Ezek lehetnek közlekedés esetén az utazási vagy az eljutási idő, a kényelem és az egyéni költségek. A vizsgálat alapját adó jellemzők egyaránt lehetnek kvantitatívak és kvalitatívak. Jellemző, hogy nem csak megfigyelhető direkt ismérv lehet, hanem annak valamilyen függvénykapcsolata (pl.: az utazási idő helyett annak logaritmusa vagy az egyéni költségek helyett az egyéni jövedelem és költség hányadosa szerepelhet) [Kov05].

A döntési jellemzők és a választási lehetőségek vizsgálatát követően célszerű elemezni a döntési mechanizmust leíró karakterisztikákat is. A módválasztásokat leíró karakterisztikákat csoportokra szokták bontani a közös matematikai modell alapján. Értekezésemben, a továbbiakban csak a neoklasszikus közgazdaságtanból jól ismert hasznosság alapú diszkrét modellekkel foglalkozom, mert a közlekedési módválasztást ezek írják le megfelelően. A bemutatandó Nested modell a helyváltozatási igények, valamint a közlekedési rendszer között meghatározható összefüggéseket, mint a kereslet és a kínálat között fennálló kapcsolatot írja le, figyelembe véve a körülmények megváltozását, fejlődését, valamint a felhasználók hasznosság érzetéből származtatható hasznossági függvényeket. Nested model családdal régóta modellezik a közlekedéssel kapcsolatos döntéseket, módválasztásokat (R. Luce Individual choice behavior: a theoretical analysis, New York, 1959; M. E. Ben-Akiva. Structure of passenger travel demand models. PhD thesis, Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge; 1973. M. E. Ben-Akiva and S. R. Lerman. Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. MIT Press, Cambridge, 1985). A modell a lehetőségekhez egyértelműen hasznosságokat rendel, és azt feltételezi, hogy a döntéshozó mindig a számára legnagyobb hasznosságú döntést hozza („Homo Economicus” [Mon98]). Ez a feltételezés korlátozza a modell gyakorlati használhatóságát, habár az emberi elme és viselkedés összetettsége indokolná a bizonytalanság vagy hiba kezelését, a szigorúan csak hasznosság alapú modellek mégsem foglalkoznak ezzel. A döntéshozót a hasznosságmaximalizásán túl számos elem, mint például: a szokások, a kultúra és a társadalmi intézmények mellett, egyén kognitív képességei, motivációi is befolyásolják [Sip06]. Más hasznosság alapú, de bővített modellekben a bizonytalanságot megfelelően kalibrált hibataggal vagy súlyozó tényezőkkel próbálják korrigálni, amelyek így alkalmasak két „irracionalitás” magyarázatára is:

- két azonos jellemzőjű egyén választhat más alternatívát
- egyes személyek nem mindig választják a legésszerűbb alternatívát

A döntési modellt ezek alapján a (20) és a (21) adja meg.

(20) $U_i=\Omega_i+\varepsilon_i$

,ahol U_i : az i. közlekedési mód hasznossága

Ω_i : az i. közlekedési mód megfigyelhető hasznossága

ε_i : az i. közlekedési mód nem megfigyelhető hasznossága vagy hibatag

(21) $$U_i=\sum_{j=1}^{n}\left(w_j f_j\right)$$

,ahol w_j : a j. döntési jellemző súlya

f_j : a j. döntési jellemző.

A modell alapvetően a hasznosság alapú modellek családjába tartozik. Alap feltételezése, hogy a döntéshozó a számára legkedvezőbb, legnagyobb hasznosságú közlekedési módot választja. A modell alapján annak valószínűsége, hogy a döntéshozó az i, lehetőséget választja a J lehetőség halmazból, az alábbi módon írható le (22):

(22) $$P_i=\frac{e^{U_i}}{\sum_{j\in J} e^{U_j}}$$

Ebben az értelemben a hasznosság a módválasztás teljes költség reciprokát jelenti, ami persze a kettő közötti fordított arányosságon alapul. Az alább bemutatott eljárás csak a hasznosság kifejtésében tér el az eddig ismertetettől, mert olyan elemet is tartalmaz, amelynek költségesítése eddig csak nehézkesen volt megoldható. A közlekedési módválasztásnál a Nested Logit modell tovább egyszerűsíthető, hiszen halmazképzéssel a Bináris Nested Logit modell képezhető belőle. Ekkor az összefüggés 2 tagúvá egyszerűsödik (23):

(23) $$P_1=\frac{e^{U_1}}{e^{U_1+U_2}};\ P_2=1-P_1$$

A modellben igen nagy szerepe van a hasznosságnak, ezért meghatározását az alábbiakban mutatjuk be. A motorizáció folyamatos növekedése, mint kedvezőtlen hatás eseményeképpen megállapítható, hogy a közlekedés korábbi, döntően fizikai tér-idő rendszere kiegészült a gazdasági dimenzióval és így a közlekedés ma már nálunk is, mint tér-idő-költség rendszer értelmezendő [Gil66, Mon96]. A hasznossági függvényben szinte bármilyen

paraméter figyelembe vehető. A gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából az eljutási időt, az utazási költséget és a környezetterhelést vettem alapul a (24) szerint:

(24) $$U_i = w_j \frac{1}{C_i} + w_k \frac{1}{T_i} + w_l \frac{1}{L_i}$$

, ahol

U_i : az i. közlekedési mód hasznossága,

w_x : a súlytényező,

C_i : az i. közlekedési mód utazási költsége,

T_i : az i. közlekedési mód utazási ideje,

L_i : az i. közlekedési mód légszennyezése.

Bizonyos esetekben az emberek kisebb haszon elérése mellett is ragaszkodnak korábban alkalmazott döntésükhöz, régi, „jól bevált” szokásaikhoz. Ennek modellezésére vezessük be a közlekedési módok specifikus konstansát. Ezzel a hasznosság felírható a következő módon (25):

(25) $$U_i = w_j \frac{1}{C_i} + w_k \frac{1}{T_i} + w_l \frac{1}{L_i} + \Theta_i$$

, ahol

Θ_i : az i. közlekedési mód specifikus konstansa

A leírtak csak lineáris hasznosságra vonatkoznak, természetesen elképzelhetőek más döntési mechanizmust leíró karakterisztikák is (pl. hatvány, logaritmikus, stb.) [Tor07b].

Célom egy olyan konzisztens, a közúti gépjármű forgalom károsanyag kibocsátásának meghatározására alkalmas model kidolgozása, amely lehetővé teszi, hogy a korábbinál méltányosabb közlekedési árképzéssel az üzemszerű használat során keletkező károsanyag kibocsátás megjeleníthető legyen a szolgáltatás árában. Ehhez MATLAB-ban programoztam a Nested Logit modellt.

Nemzetközi gyakorlatban igen fejlett, többparaméteres becslési eljárások kidolgozására került sor (COST319 - Estimation of Pollutant Emissions from Transport (http://cordis.europa.eu/cost-transport/src/cost-319.htm) [And99, Gil97], COPERT - COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport (http://lat.eng.auth.gr/copert/) [Ulf98], TAG - Transport Analysis Guidance [Dep06],

TREMOVE – (www.tremove.org) [Log06]), melyek azonban a hazai sajátosságok – az információ hiánya és az intézményi háttér hiánya miatt [Tan03] – jelenleg még nem, vagy igen nehézkesen alkalmazhatóak. Hazánkban Kövesné Dr. Gilicze Éva, Dr. Orosz Csaba és Dr. Monigl János is foglalkoztak a közlekedő egyének közlekedési módválasztásával [Gil75a, Gil75b, Oro94, Mon98], Ajtay Szilárd, Dr. Szlávik János és Dr. Fleischer Tamás [Ajt04, Szla04, Fle05a, Fle05b, Fle06, Fle07] pedig a környezeti terhelés moneterizálási lehetőségével, hazai alkalamazásával. Munkájukból kiindulva, azt továbbfejlesztve, a következő fejezetben ismertetem a közlekedési módválasztás egy általam továbbfejlesztett modelljét, különös tekintettel a közúti közlekedés károsanyagkibocsátásának monetraizálási lehetőségére, illteve az így kialakított új úthsználati díj stratégia hatásának vizsgálatára. Az általam kidolgozott számszerűsítési eljárás a nemzetközi tendenciáknak és szakirodalomnak megfelelően a gépjárművek károsanyag kibocsátásán alapul és figyelembe veszi a gépjárműkonstrukciók folyamatos fejlődését. A fejezetben egy bináris egyéni közlekedési módválasztási modell segítségével bemutatom az eljárás gyakorlati alkalmazhatóságát.

A továbbfejlesztett modell a helyváltozatási igények (mint kereslet) és a hálózat, közlekedési rendszer (mint kínálat) kapcsolatát képezi le a megváltozott körülmények, (fejlődés) hatására a felhasználók hasznosság érzetének segítségével (26). A modellben a hasznosságot az eljutási időn, az utazási költségen kívül a károsanyag kibocsátás is befolyásolja. Az egyes tényezők súlyát a hasznosságon belül a w_i súlytényezők jelölik.

$$U = \underline{w} \cdot \underline{f}\text{, ahol}$$
$$\underline{w} = \{w_1, .., w_s\} \text{ és}$$
$$\underline{f} = \{C, T, L\} \tag{26}$$

Jelölje:
U: a módválasztás hasznosságát
$\underline{w}$: a súlytényezők vektora;
$\underline{f}$: a hasznosságot befolyásoló tényezőket magába foglaló vektor,
C: a közlekedési mód költsége,
T: a közlekedési mód eljutási ideje,
L: a közlekedési mód károsanyagkibocsátása.

Esetünkben az i. közlekedési mód egyéni hasznosságáról felírható, hogy (27):

$$U_i = w_j \cdot \frac{1}{C_i} + w_k \cdot \frac{1}{T_i} + w_l \cdot \frac{1}{L_i} \tag{27}$$

A károsanyagkibocsátás számítási képlete az adott közlekdési módra (28):

$$L_i = \sum_{m=1}^{p} g_m \cdot l_m \cdot d_m \tag{28}$$

g: gépjárművek száma az adott környezetvédelmi kategóriában,
l: légszennyezés mértéke az adott kategóriában (lokális és globális),
d: megtett távolság

A modellben először meg kell határozni az aktuális helyzet alapján a közlekedési módok közötti megoszlást a kiindulóhely és a célállomás között. A következő lépésben meg kell határozni az intézkedés, a légszennyezés költségét figyelembe vevő árképzés hatását a hasznossági függvényre (11. táblázat).

11. táblázat

A Nested Logit modell hasznosság függvényének általános áttekintése
(Nagybetűvel szerepelnek a befolyásoló tényezők, indexben vesszővel elválasztva pedig a közlekedési mód, illetve, hogy alapesetet vagy az intézkedés hatását vizsgáljuk)

	Analízis, jelenlegi helyzet feltárása			Intézkedés hatására végbemenő változások		
	Költség [HUF]	Idő [óra]	Károsanyag kibocsátás [g]	Költség [HUF]	Idő [óra]	Károsanyag kibocsátás [g]
Gyalogos	$C_{gy,a}$	$T_{gy,a}$	$L_{gy,a}$	$C_{gy,i}$	$T_{gy,i}$	$L_{gy,i}$
Kerékpár	$C_{k,a}$	$T_{k,a}$	$L_{k,a}$	$C_{k,i}$	$T_{k,i}$	$L_{k,i}$
Szgk	$C_{szgk,a}$	$T_{szgk,a}$	$L_{szgk,a}$	$C_{szgk,i}$	$T_{szgk,i}$	$L_{szgk,i}$
Busz	$C_{busz,a}$	$T_{busz,a}$	$L_{busz,a}$	$C_{busz,i}$	$T_{busz,i}$	$L_{busz,i}$

A Nested Logit bináris döntési modell (29)-(33) lényege, hogy a közlekedési lehetőségeket mindig két csoportra bontjuk. 1. lépésben bontsuk fel a közlekedési lehetőségeket gyalogos és nem gyalogos áramlatra az adott két pont között:

(29) $$U_{gy} = w_1 \cdot \frac{1}{C_{gy,a}} + w_2 \cdot \frac{1}{T_{gy,a}} + w_3 \cdot \frac{1}{L_{gy,a}}$$ a gyalogos közlekedés hasznossági függvénye

(30) $$\hat{U}_{gy} = w_1 \cdot \frac{1}{\hat{C}_{gy,a}} + w_2 \cdot \frac{1}{\hat{T}_{gy,a}} + w_3 \cdot \frac{1}{\hat{L}_{gy,a}}$$ a nem gyalogos közlekedés hasznossági függvénye

(31) $$P_{gy} = \frac{e^{U_{gy}}}{e^{U_{gy}} + e^{\hat{U}_{gy}}} = \frac{1}{1 + e^{\hat{U}_{gy} - U_{gy}}}$$ Gyalogos közlekedési mód választásának valószínűsége.

(32) $$\hat{P}_{gy} = 1 - P_{gy}$$ Nem gyalogos közlekedési mód választásának valószínűsége.

(33) $$N_{gy} = P_{gy} \cdot f \cdot \sum_{j=1}^{m} h_m$$ Gyalogos közlekedési módot választók aránya a helyváltoztatások fejlődését is figyelembe véve.

A fenti művelet tovább ismételhető, ha a nem gyalogos forgalmat a 2. lépésben kerékpáros és gépjármű közlekedésre bontjuk. A 3. lépésben a gépjármű közlekedés bontható szét egyéni és közösségi közlekedésre, melyből meghatározhatók a fejlődést és az intézkedést figyelembe véve, az azok együttes eredményeként generált és a fenti kategóriák szerint megosztott helyváltoztatási igények.

Érdemes a továbbiakban megvizsgálni a hasznosság alapján a közlekedési mód választását is.

Környezetterhelés tekintetében különös szerepet játszik a fenti közlekedési módok közül a személygépjármű közlekedés és a közösségi közlekedés, ezért megvizsgáltam a módválasztást a kritikus $U_{szgk} = U_{busz}$ pontban (34)-(36) összefüggések szerint:

(34) $U_{szgk} - U_{busz} = 0$

(35) $$(w_{13} \cdot \frac{1}{C_{szgk}} + w_{14} \frac{1}{T_{szgk}} \cdot + w_{15} \cdot \frac{1}{L_{szgk}}) - (w_{16} \cdot \frac{1}{C_{busz}} + w_{17} \cdot \frac{1}{T_{busz}} + w_{18} \cdot \frac{1}{L_{busz}}) = 0$$

(36) $$w_{13} \cdot \frac{1}{C_{szgk}}(1 - \frac{w_{16} \cdot C_{szgk}}{w_{13} \cdot C_{busz}}) + w_{14} \cdot \frac{1}{T_{szgk}}(1 - \frac{w_{17} \cdot T_{szgk}}{w_{14} \cdot T_{busz}}) + w_{15} \cdot \frac{1}{L_{szgk}}(1 - \frac{w_{18} \cdot L_{szgk}}{w_{15} \cdot L_{busz}}) = 0$$

A (35) és (36) egyenletekből alapján meghatározhatók a következő mutatókszámok (37), (38), (39):

(37) $\frac{w_{16} \cdot C_{szgk}}{w_{13} \cdot C_{busz}}$ Súlyozott költség-hasznossági mutató.

(38) $\frac{w_{17} \cdot T_{szgk}}{w_{14} \cdot T_{busz}}$ Súlyozott utazási idő-hasznossági mutató.

(39) $\frac{w_{18} \cdot L_{szgk}}{w_{15} \cdot L_{busz}}$ Súlyozott légszennyezés-hasznossági mutató.

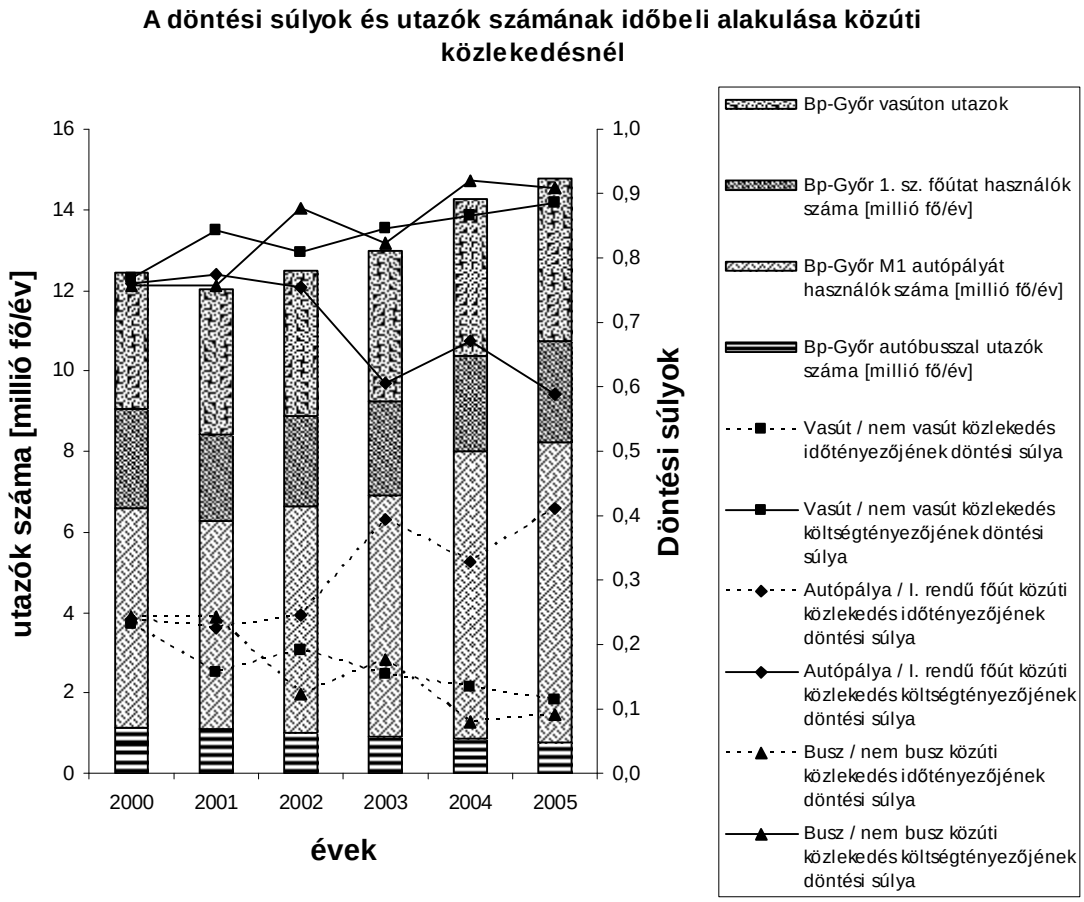
Az így kapott modell segítségével megállapíthatók a jövőbeli fejlődés, illetve az intézkedés eredményeképpen kialakult állapot hatására megváltozott hasznossági függvények és ezek hatása a helyváltoztatások módjára. A disszertációm utolsó fejeztében definiált mutatók segítségével hasonlítható össze a motorizált közlekedés 2 fő formája, az egyéni és a közösségi közúti közlekedés. Az összehasonlítás az utazási költség, az utazási idő és a légszennyezés tükrében történik meg, melynek számszerűsítését a nemzetközi tendenciáknak megfelelően, az általam kialakított számítási eljárással határoztam meg. A mutatók a közösségi közlekedés és az egyéni gépjárműközlekedés módválasztásának egyensúlyi pontjából lettek leképezve. Segítségükkel kifejezhető a két közlekedési mód közötti megítélésbeli különbség.

5.2. Bp – Győr vonal forgalmi elemzése

A fenteikeben bemutatott modell segítségével vizsgáltam meg a Budapest és Győr közötti személyforgalmi áramlatokat 2000 és 2005 között. A modellben vasúttal[13], az M1-es

[13] MÁV Zrt. adatai alapján

autópályán[14] és az 1-es főközlekedési úton[14] busszal[15] ésszemélygépjárművel közlekedőket vettem alapul. A modellezésnél tekintetbe vettem továbbá az egyéni gépjárműhasználók között a benzin, illetve dízel járművet használókat, továbbá a benzin, a gázolaj és az autópálya-matricák árának változását 2000 és 2005 között.



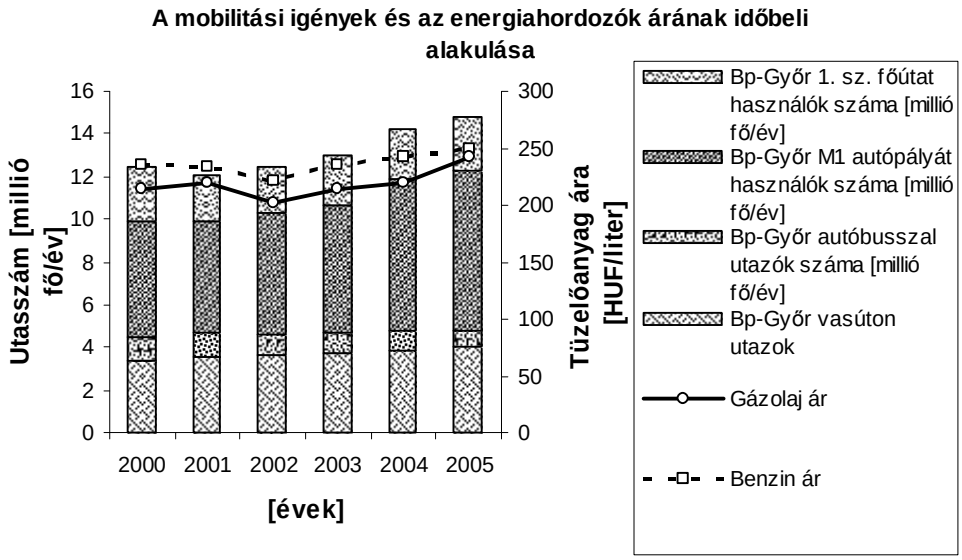
19. ábra A döntési súlyok és a közúti személyforgalom számának időbeli alakulása Bp-Győr között [*saját szerkesztés*]

A kapott eredmények jól mutatják (19. ábra), hogy a vasúttal utazók száma kis mértékben növekszik, az M1-es autópályát használók száma évről-évre dinamikusan nő, az 1. számú főutat használók száma stagnál, míg az autóbuszt használók száma csökken.

A közlekedési módválasztási döntéseknél modellezett eljutási költség és eljutási idő döntési súlyaikról elmondható, hogy a nemzetközi tendenciáknak megfelelően alakult. A vasúti közlekedés mellett döntő utasok számára hangsúlyosabb döntési érvnek számít az eljutási költség, mint az eljutási idő. Napjainkban döntően azok a közúton közlekedő utasok szállnak buszra, akik számára az eljutási költség igen nagy súllyal szerepel a döntéshozatali

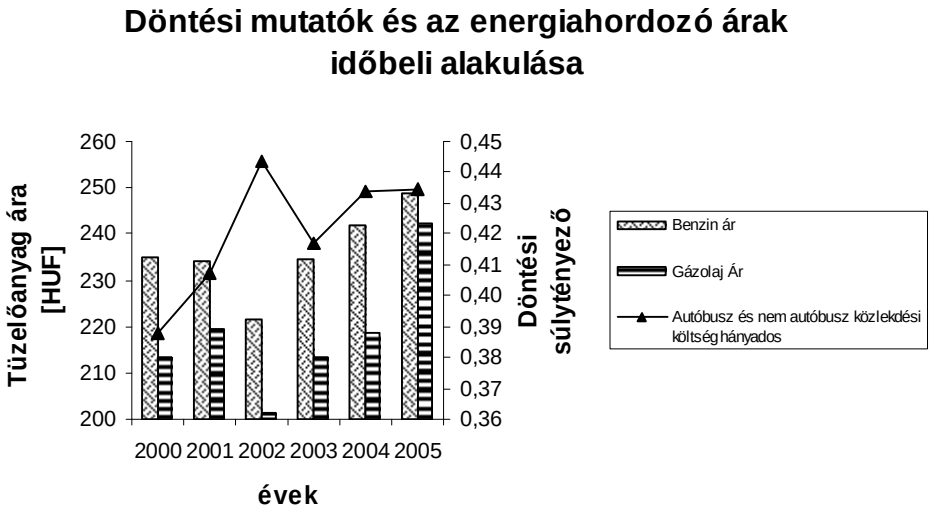
[14] Magyar Közút Állami Közútkezelő, Fejlesztő, Műszaki és Információs Közhasznú Társaság
[15] Volán Zrt. adatai alapján

folyamat során. Ezt a módot választó utasok számára az eljutási költség egyre nagyobb súlyú döntési tényezőként határozható meg. Az autópályát döntően azon utazók választják, akik az eljutási költség helyett az eljutási időt azonosítják hangsúlyosabb döntési faktorként.



20. ábra A mobilitási igények és az energiahordozók árának időbeli alakulása
[*saját szerkesztés*]

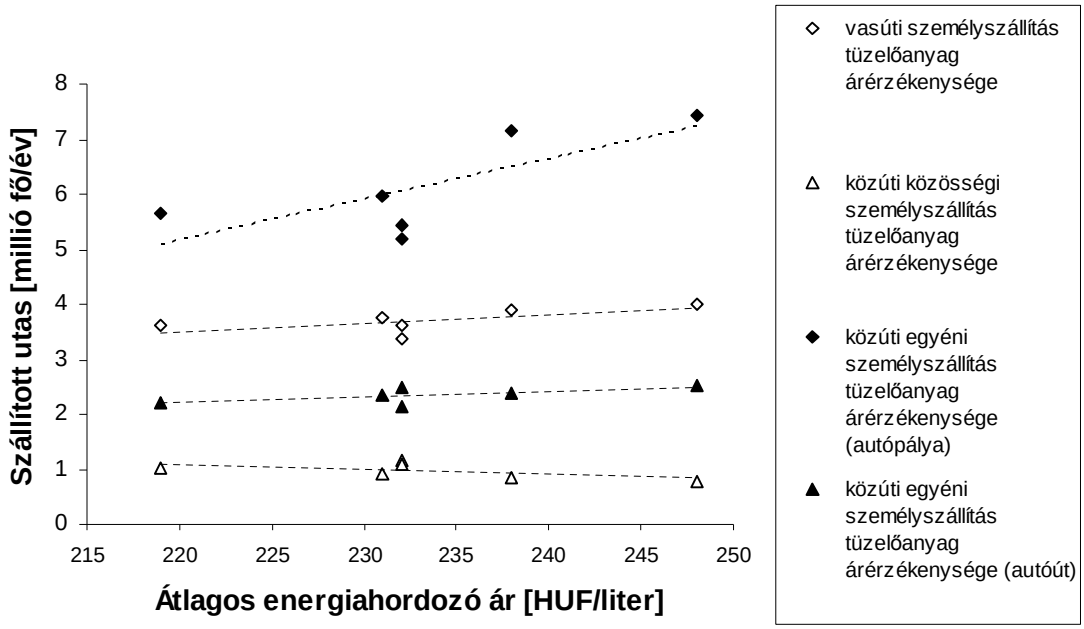
A nemzetközi tendenciák alapján levonható az a következtetés, miszerint a közúti közlekedés intenzitását az energiahordozók árváltozása viszonylag kis mértékben befolyásolja (20. ábra). Továbbá nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy az autópálya használatnál további költségtételt jelent az autópálya-matrica. A nemzetközi trendeknek megfelelően hazánkban is meglehetősen rugalmatlanul reagál a közlekedési piac az energihordozók árváltozására.



21. ábra A közúti közlekedési (autóbusz és nem autóbusz) költséghányados és az energiahordozók árának időbeli alakulása

[*saját szerkesztés*]

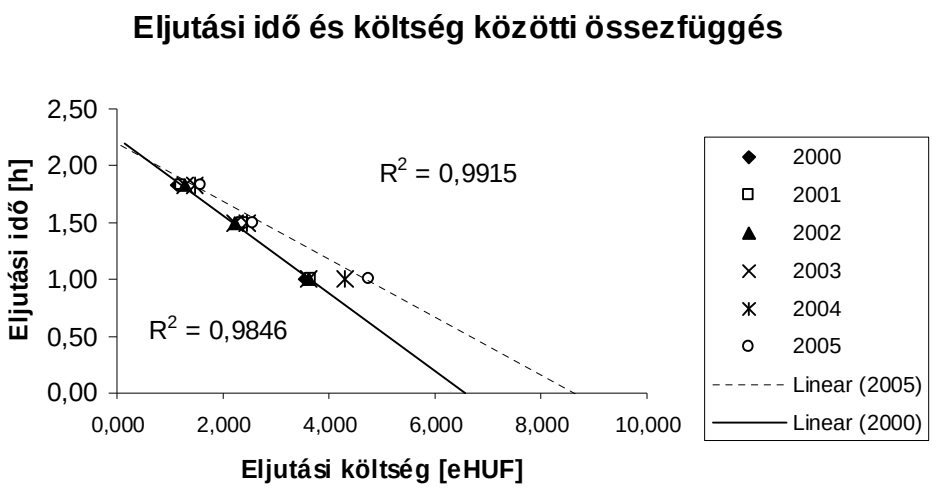
Látható, hogy a tüzelőanyag (benzin, gázolaj) árának növekedése, egyértelműen növelte a költséghányadost[16] (38) az arány változását az autópálya-matrica árának változása tolta el, ám ez mégsem volt jelentős kihatással az autópálya használók számát figyelembe véve (21. ábra).



22. ábra Az energiahordozó ár és a mobilitási igények kapcsolata
[*saját szerkesztés*]

A 22. ábra jól látható, hogy az elvárásoknak megfelelően az autópályát használók árérzéketlenek az energiahordozó árakkal szemben, sőt az energiahordozó árának növekedésével párhuzamosan az autópálya-használók száma továbbra is dinamikusan nőtt, számukra az eljutási idő a domináns döntési tényező. A vasúton és az autóúton történő személyszállítás is rugalmatlanul reagál az energiahordozó árváltozására, az utazók száma a tüzelőanyagáraktól független, közel konstans. Az árrugalmassági elemzés alapján a közúti közösségi személyszállítás rugalmassági modolusa ε=-0,01[17], vagyis az energiahordozó 1 forintnyi drágulása évente 10 000 utas elvesztését jelenti, akik mobilitási igényüket más közlekedési móddal elégítik ki.

[16] az autóbusz és a nem autóbusz közlekedés kummulált költségeinek hányadosa.
[17] Az illesztett egyenes elemzése alapján

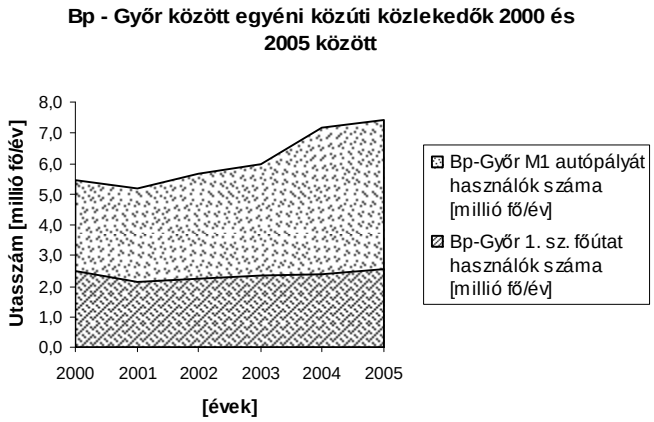


23. ábra Az eljutási idő és az eljutási költség közötti összefüggés
[*saját szerkesztés*]

Tovább elemezve az eljutási idő és költség kapcsolatát Budapest és Győr között, láthatjuk (23. ábra), hogy közöttük igen erős korreláció tapasztalható (R^2_{2000}=0,9844; R^2_{2005}=0,9914. Az is megállapítható, hogy az eljutási idő a vizsgált időszakban jelentősen nem változott, míg az utazási költségek jelentősen növekedtek (a linearizált görbe x metszéke jobbra tolódott).

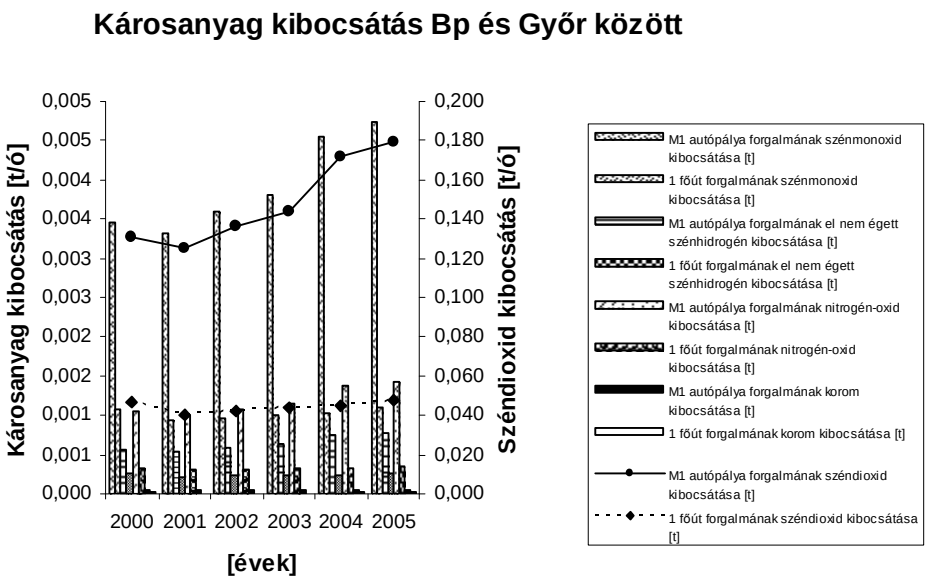
5.3. Az M1-es autópálya és az 1-es út közúti forgalmának levegőszennyezéséből származó társadalmi költsége

A következőkben meghatároztam az M1-es autópálya és az 1-es út közúti forgalmának (**24. ábra**) levegőszennyezéséből származó társadalmi költséget, amelyet nem a közlekedő, hanem a társadalom egésze fizet meg. A számításoknál figyelembe vettem a 2000-2005 közötti változásokat.



24. ábra Bp – Győr között egyéni közúti közlekedők 2000 és 2005 között [*saját szerkesztés*]

Figyelembe véve a jármű összetételt, meghatároztam a személygépjármű-áramlat teljes károsanyag kibocsátását a NO_x, CH, PM, CO és CO_2 komponensekre vonatkozóan [Ajt04]. Nemzetközi keretek között végzett tanszéki kutatásaink eredményeit adaptálva[18], a kapott károsanyag kibocsátás monetarizált értéke is meghatározható (25. ábra).



25. ábra Károsanyag kibocsátás Bp és Győr közötti közúti gépjárműforgalomban [*saját szerkesztés*]

Figyelembe véve, hogy a járművek működésük során károsítják környezetüket és az általuk okozott károsanyag-kibocsátás a magasabb sebességtartományban magasabb, a

[18] **HEATCO** - EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár
GRACE - EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár

Budapest és Győr között utazó egyéni gépjárműhasználók 1 utazás során, 2005-ben az M1 használata esetén 15 Euróval, az 1-es főút használata esetén pedig 4 Euróval károsították környezetüket, melyet a társadalom fizet meg [Tor07c].

A megfigyelhető fajlagos externális költségkülönbség egyik fő oka, hogy egy közlekedési mód hasznossági megítélése nagymértékben függ a hasznossági tényezőktől és azok súlyfaktoraitól. A magasabb jövedelemmel rendelkező társadalmi rétegbe sorolható egyéni közlekedők számára az autópálya használatból fakadó költségnövekmény nem feltétlenül jelent korlátozó feltételt, így érthető, hogy a személygépkocsival utazók egy jelentős része az autópálya nyújtotta időmegtakarítási lehetőségeket választja.

A fentiekben elemzett társadalmi, gazdasági döntési folyamatok megmagyarázzák a kialakult fajlagos externális költségkülönbséget, hiszen az eltérő jellemzőkkel rendelkező közlekedési folyosók által generált forgalmi áramlatok járműösszetétele ugyancsak jelentősen eltér egymástól.

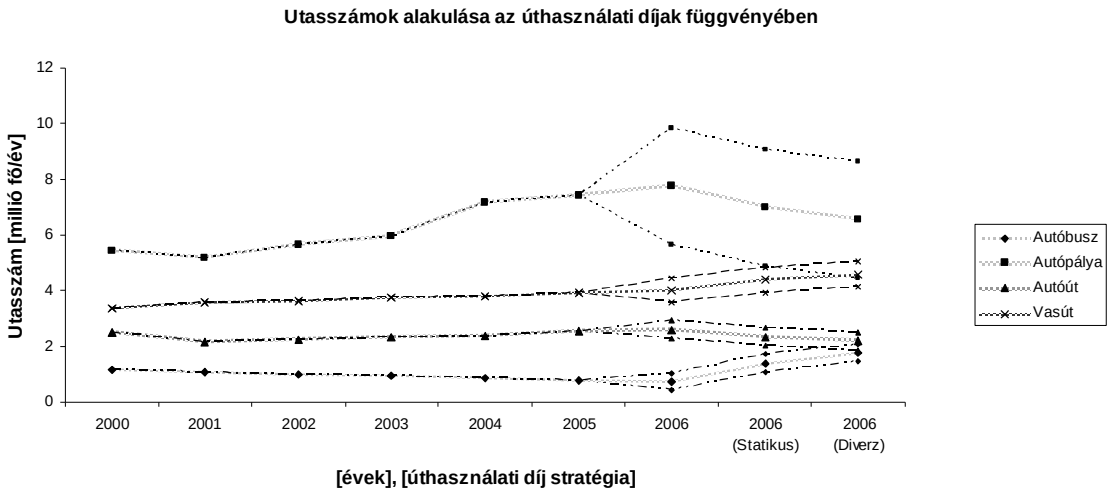
A következő részben a kapott döntési súlyok alapján a fentebb ismertetett modell segítségével elemezem a személyforgalmi áramlatok változását az úthasználati díj változásának függvényében.

5.4. Bp – Győr közötti forgalom előrebecslése az úthasználati díjak függvényében

Disszertációm megírásakor a tanszék nemzetközi kutatómunkája alapján[19] a közúti közlekedés környezetterhelésének számszerűsítése és az internalizálás várható hatásának megállapítása volt a cél. Ehhez a közlekedő személy-gépjármű állományt környezetvédelmi kategóriákra (EURO1, EURO2, EURO3, EURO4, EURO5), valamint hengerűrtartalom alapján (1399 cm^3-ig, 1400-1999 cm^3, 2000 cm^3-től) kategórákra bontottam. A csoportképzés célja a komplex környezetterhelés megállapítása volt. A globális környezeterhelés monetarizálásához, a nemzetközi irányelveknek megfeleleőn[19] a hengerűrtartalom és a fogyasztás közötti összefüggést használtam fel. A lokális környzetterhelés monetarizálásához pedig az EURO környezetvédelmi osztálybasorolás határértékeit vettem alapul.

[19] **HEATCO** - EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár
GRACE - EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár

Miután kiszámoltam a környezetterhelés várható értékét, 3 esetet különítettem el. Az első esetben semmi sem változik (nélküle eset – lineáris extrapoláció). A második esetben az M1-es és 1-es főközlekedési utaknál konstans, de eltérő környezetterhelési díjjal növelt úthasználati díjjal számoltam ki a forgalmi terhelést. Az M1-nél az előző alfejezetben kiszámolt 1000 forinttal az 1-es főközlekedési útnál pedig 250 forinttal növeltem az úthasználti díjat. Harmadik esetben pedig diverz, a komplex környezetterhelési csoportoknak (7. melléklet: A gépjárműáramlat járműtipus, EURO környezetszennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosítása) megfelelően kialakított díjazás mellet vizsgáltam meg a forgalom alakulását.



26. ábra A forgalmi áramlatok alakulása a Bp-Győr forgalmi folyosóban a közúthasználati díj függvényében [*saját szerkesztés*]

A modell számítás eredményeit a 26. ábra mutatja. Az eredmények jól mutatják, hogy az egységes úthasználati díj bevezetésével (statikus – minden járművet ugyanaz a többlet terhelés sújtja) az autópálya és az autóút attraktivitása csökken az autóbusz és a vasút attraktivitása nő. Figyelembe kell venni, hogy a modellezés során a többlet úthasználati díjjal a közösségi közlekedés járműveit nem terheltem. A harmadik diverz esetnél pedig a 7. mellékletben ismertetett eljárás alapján lineárisan diverz úthasználati díjat alkalmaztam. Az ábrán jelöltem a 95%-os valószínűséghez tartozó minimális és maximális utasforgalmi áramlatokat is.

Megállapítható tehát, hogy az össztársadalmi optimum elérése érdekében a differeciált úthasználati díjak jelentenék a legjobb megoldást. A modellezésből látható, hogy ez a közúti szektor térvesztésével járna. Az úthasználatból származó többlet nyereség azonban attól függően, hogy adó vagy díj formában kerül beszedésre, más-más célt szolgálhat.

Fontos különbséget tennünk a klímaváltozás mérsékléséért folytatott küzdelemben az úthasználati adó, illetve úthasználati díj között. Úthasználati adó esetén az úthasználatból származó bevételek meghatározott cél nélkül kerülnek a központi költségvetésbe, nagy szabadságot biztosítva a kormányzati szerveknek a felhasználás tekintetében. Úthasználati díj esetén a bevételeket adott cél elérésre fordítják; azok a központi költségvetéstől eltérő, külön bevételi számlára kerülnek, és ezért „viszontszolgáltatással terhesek”. Környezetgazdaságtanilag az lenne helyes, ha a szennyezés minden egysége után kellene adót vagy díjat fizetni, azzal arányosan. A környezetvédelmi adónak az a funkciója, hogy a szennyezés összes elhárítási költségét minimalizálja, s így egyfajta társadalmi optimumot valósítson meg. Fontos gyakorlati tapasztalat e téren, hogy a magasabb energiaárak – melyet a gépjárművek tüzelőanyag elégetéséből származó környezetterhelés monetarizálása okozna - az alacsony árrugalmasság következtében nem vezetnek az energiafelhasználás jelentős csökkenéséhez, viszont általában erős lökést, ösztönzést adnak az energiahatékonyság javításának és az ezzel kapcsolatos műszaki fejlesztésnek [Kis02].

6. A korszerű úthasználati díjak bevezetésének implementációs stratégiái

A társadalmi költség bázisú árképzés gyakorlati megvalósítási feltételeinek elemzése a bevezetés (az implementáció) akadályozó tényezőinek és korlátainak számbavételén alapul. A korlátozó tényezők rendszerező tárgyalása a nemzetközi szakirodalomban és a vonatkozó EU K+F projektek[20] módszertanában alkalmazott kategorizálás mentén végezhető el. E kategóriák az alábbiak:

- technológiai és gyakorlati;
- szabályozási és intézményi;
- az elfogadottsággal kapcsolatos korlátozó tényezők.

A technológiai és gyakorlati korlátok rendszerint az új árképzési elvek alkalmazásának technikai (műszaki, szervezési, számítási, elszámolási, stb.) feltételeit foglalják magukban. Példaként említhetők itt a költségkalkuláció hiányos alapadatbázisai, vagy éppen a díj fizetési rendszerek infrastruktúrájának alacsony fokú, esetleg teljesen hiányzó kiépítettsége. A szabályozási és intézményi akadályozó tényezők a törvényi-szervezeti keretek feltételrendszerével kapcsolatosak. E körben leginkább az új árképzési és díjszedési elvek érvényesítéséért felelős, megfelelő kompetenciákkal rendelkező hatóságok hiánya emelhető ki. Végül fontos feltétele a korszerű árképzési rendszerek bevezetésének az új elvek és eszközök érintettekkel történő elfogadtatása. Az elfogadottság több formáját is szokás vizsgálni: így a döntéshozók hozzáállása mellett lényeges a közlekedési infrastruktúrákat/szolgáltatásokat használók (társadalmi és üzleti szereplők) véleményének megismerése is.

---

[20] **HEATCO** – Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár)
UNITE – Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency (EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár)
TIPP – Transport Institutions in the Policy Process (EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár)
COST319 - Estimation of Pollutant Emissions from Transport
COPERT - COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport
DIFFERENT - User Reaction and Efficient Differentiation of Charges and Tolls
GRACE - Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation (EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt, magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár)

Az előbbi feltételek figyelmen kívül hagyása, vagy csak részleges teljesítése ahhoz vezethet, hogy a kialakított díjrendszer lefedettsége, árszintje, differenciáltsági foka vagy bevételhasználata nem felel meg maradéktalanul az EU célrendszerben megfogalmazott elvárásoknak. A feltételeket feltáró részletes elemzés képezi az alapját a korlátok kiküszöbölését szem előtt tartó, fokozatos megvalósítást lehetővé tevő rendszerbe állítási javaslatok kidolgozásának.

6.1. A jelenlegi árképzési rendszerek és reformjuk szükségessége

A közúti árképzési problémákat kezelő, a legújabb kutatási eredmények és politikai alkuk következtében fokozatosan formálódó, egységes EU megközelítés a társadalmi határköltség, illetve egyes esetekben az ezt helyettesítő társadalmi átlagköltség alapú közlekedési díjrendszerek kialakítását és alkalmazását helyezi előtérbe. A jelenlegi európai gyakorlatban viszont a közúti infrastruktúrát használók általában indirekt módon járulnak hozzá az általuk okozott társadalmi költségek fedezéséhez: a járművekhez köthető regisztrációs és egyéb engedélyezési díjak, fogyasztási adók, valamint az üzemanyagban foglalt adók révén. A közvetlenül, az infrastruktúrahasználathoz jobban köthető díjak alkalmazása aránylag korlátozott: útdíjakra, valamint egyéb igénybevételi engedélyekre korlátozódik.

Többnyire tehát hangsúlyosabb a tényleges közlekedési teljesítményektől független elemekre építő díjképzés. Az externális költségtételek közvetlenül nem épülnek be a díjakba, s az árrendszerek alig teszik lehetővé a térbeli és az időbeli differenciálást. A „használó fizet” és a „szennyező fizet” elvek nem, vagy csak kevéssé érvényesülnek. Ráadásul az egyes országokban használt díjrendszerek sem egységesek.

A jelenlegi gyakorlatban alkalmazott közúti közlekedési díjrendszerek közül a matricás forma az egyszerűbb megoldás, ám az ebben foglalt díjat aligha lehet használattal arányosnak tekinteni. Jobban tükrözi az infrastruktúrahasználatot a távolságalapú útdíj, de az ilyen típusú rendszerekben megszabott árakat többnyire nem a ténylegesen okozott költségek alapján kalkulálják, hanem egyéb – profitmaximalizálási, vagy éppen közlekedéspolitikai – preferenciák által vezérelve. A díjszedési módok országonként, adott esetben régiónként is eltérnek, megnehezítve a közúti hálózatok átjárhatóságát, s az árképzés átláthatóságát. Az előbbiek alapján tehát megállapítható, hogy a mai közúti árképzési és díjszedő rendszerek

jórészt távol állnak az EU célkitűzésében megjelölt működési mechanizmusoktól, így indokolt a társadalmi határköltségek alapján történő fokozatos átalakításuk.

6.2. Technológiai és gyakorlati korlátok

A megfelelő útdíj-szedési technológiával szemben általában az alábbi főbb követelmények támaszthatók:

- megbízhatóság;
- ne igényeljen különösebb módosításokat a járműkonstrukciókban;
- legyen könnyen rendszerbe állítható;
- működjön együtt más, kapcsolódó díjszedő rendszerekkel;
- támogassa többféle árrendszer alkalmazhatóságát;
- segítse elő a fontosabb azonosítási, fizetési paraméterek folyamatos követhetőségét.

Az fenti követelményeknek az egyéni közúti közlekedésben leginkább a GPS bázisú, elektronikus útdíj-fizetési rendszerek feleltethetők meg, amelyekkel a városi közlekedésben célszerűen integrálandók a parkolási díjrendszerek is.

Ilyen technológia már létezik, ám a problémát az jelenti, hogy egyrészt azt a gyakorlatban – valós körülmények között – még alig tesztelték, másrészt pedig sokfajta van belőle. A sokszínű nemzeti/regionális megoldások elszigeteltsége, alacsony együttműködési készsége leginkább a nemzetközi forgalomban, azon belül is főképp a tehergépjármű közlekedésben okoz(hat) fennakadásokat.

A technológia elvileg szabványos alapokon is kifejleszthető lenne, de ennek ellentmondanak bizonyos nemzeti/gazdasági érdekek. A fejlesztések tehát egymástól lényegében függetlenül folynak, ami szükségessé teszi szabványos interfészek alkalmazását. Ez pedig a rendszer bonyolultsági fokának túlzott növekedését, s így a rendszerbe állítási és működtetési költségek növekedését eredményezi.

Végül, a gyakorlati alkalmazást nehezítő újabb körülmény, hogy egyelőre nincs általánosan, nemzetközi szinten is elfogadott módszertani megközelítés a társadalmi határköltségek egzakt kalkulációjára. Ugyanakkor a vonatkozó kutatások eredményeként már alternatív javaslatokat dolgoztak ki a számítási eljárásokra. A kalkulációs séma tehát a szándékok szerint rövidesen rendelkezésre áll, de további korlátot jelent majd a szükséges input adatok rendelkezésre állítása. Ez a nemzeti közlekedésstatisztikai adatgyűjtési rendszerek átfogó harmonizálását teszi szükségessé, ami újabb, a számítási eljárásoknál

lényegesen összetettebb módszertani-szervezési- intézményfejlesztési feladatok megoldásával jár.

Az előbbieket összefoglalva megállapítható, hogy az alapvető technikai korlát a közúti közlekedési árképzési rendszerek kialakításánál a már meglévő technológia alacsony fokú kipróbáltsága, hiányos input adatbázisa, továbbá a már beindult fejlesztések interoperabilitást hátráltató eltérései. Mindenesetre a legújabb tapasztalatok azt mutatják, hogy ezek az olykor nagy költséggel járó fejlesztések fokozatosan végrehajthatók, s így a problémát inkább a szabályozási és az elfogadási tényezők jelentik, mintsem a marginális költség alapú árképzés módszertani-szervezési hátterének megteremtése. Ez utóbbi megállapítás azonban már átvezet a gyakorlati bevezetés további feltételeinek tárgyalásához.

6.3. Szabályozási és intézményi korlátok

A szabályozási/intézményi korlátok vizsgálatánál az alábbi részterületek alapulvétele célszerű:

- a vonatkozó európai szintű szabályozás;
- a nemzeti közlekedéspolitikai célokhoz való illeszkedés;
- a különböző szabályozó szintek közötti koordináció;
- a közlekedési szervezeti struktúrák;
- a közlekedési rendszeren kívüli politikai hatások.

Európai szintű közúti közlekedési díjszabályozás jelenleg csupán a tehergépjárművek esetében van érvényben, és itt is inkább csak minimum és maximum díjszinteket határoz meg, azt is ajánlás jelleggel. A javasolt díjszabás időbázisú, ami nem segíti a használatot jobban tükröző kilométer alapú elszámolás elterjedését.

A díjak megállapítása csakúgy, mint az egyéb költségtényezők (pl. üzemanyagadók) meghatározása a fiskális érdekektől hajtott nemzeti hatóságok hatásköre. Megállapítható tehát, hogy – az eddigi részkezdeményezésektől eltekintve – egyelőre nem létezik a közlekedési árképzésre vonatkozó határozott európai keretszabályozás és stratégia.

A marginális társadalmi költségbázisú árképzés bevezetése olyan nemzeti szabályozást igényel, ami egyértelműen meghatározza a részes intézmények feladatát és felelősségét, a közöttük fennálló viszonyokat és munkamegosztást, továbbá lehetővé teszi az

adekvát díjszintek megállapítását. A jelenlegi nemzeti közlekedéspolitikák – bár magas szinten kiállnak az ilyen típusú szabályozás mellett – gyakorlatilag nem támogatják az új árképzési elvek bevezetését. Az árképzési célok általában alárendelődnek más, pl. mobilitási igényt kiszolgáló fejlesztési, vagy regionális versenyképesség javító intézkedéseknek.

A közúti úthasználati díjszedés inkább a központi költségvetési, s csak ritkább esetben az infrastruktúrafejlesztési és forgalomcsillapítási célokat szolgálja. A közlekedési infrastruktúrák és/vagy szolgáltatások teljes vagy részleges privatizálása sem teljesen a hatékony árképzés bevezethetősége irányában hat: itt ugyan már megjelenik a használattal (pl. megtett úttal) hozzávetőleg arányos díjképzés, de a díjszintek megszabása nem a társadalmi határköltség, hanem a teljes befektetői költségfedezet elvét szem előtt tartva történik. Privatizált közlekedési szolgáltatásoknál a hatóságoknak is korlátozottabb a lehetősége az árképzés társadalmilag kívánt irányba történő befolyásolására.

Nem elég a megfelelő nemzeti keretszabályozás kialakítása, szükség van annak következetes végrehajtására is. Ez a különböző politikai szintek, érdekelt szervezetek közötti koordinációt és kooperációt igényli. A kooperáció/koordináció az árképzésben érintett szervek, szervezetek között a jelenlegi gyakorlatban sem vertikálisan, sem horizontálisan nem kielégítő.

A vertikális koordináció hiányát adott esetben az mutatja, hogy a közlekedési rendszer tervezési-szervezési feladatait lebonyolító struktúra általában decentralizált, s az egyes szintek/szereplők több esetben nem, vagy csak alig kommunikálnak egymással, ami az árképzési kezdeményezések összehangolatlanságához, vagy éppen a túlzott egyeztetési mechanizmusban történő „elhalásához” vezethet. A horizontális kooperáció hiánya leginkább a szomszédos városok/régiók példáján érzékeltethető. Egyik város/régió vezetése sem kívánja felvállalni, hogy elsőként vezesse be a díjszedési rendszereket, kockáztatva esetleg a helyi versenyképességet, így helyesebb lenne ezt egységesen megoldani. A „stratégiai kivárás” miatt – mindenki azt szeretné, ha előbb más „tesztelné” az új árrendszert – azonban rendszerint nem történik előrelépés.

A közlekedési módok, alágazatok irányításának és működtetésének feladatai/felelősségei rendszerint más-más döntéshozók, adminisztratív szintek kezében összpontosulnak. Ez ahhoz vezet, hogy ha vannak is használati díjszedési törekvések, azok általában alágazati keretek közé szorulnak, megakadályozva az egységes elvi/elszámolási alapokon nyugvó, multimodális árképzési rendszerek kialakítását. Amennyiben privát felek is megjelennek a közlekedési szervezeti rendszerben, az – a korábban már említett bevétel

maximalizáló üzleti stratégia miatt – tovább bonyolítja a hatékony árképzés megvalósítását szolgáló egyeztetési mechanizmust.

A közlekedési árképzéssel és díjszedéssel kapcsolatos döntések nemcsak a közlekedési szektort érintik, hanem hatással vannak más, társadalmi vonatkozásokra is. Pl. a demokratikus berendezkedés egyik alapelve a mozgás/mobilitás szabadsága, mint alapvető emberi jog. Ezt a közúti használati díjszedés bizonyos értelemben – pl. az alacsony jövedelműeknél – korlátozhatja. A használó (jármű) követésén alapuló elektronikus közlekedési teljesítménymérés pedig adatvédelmi aggályokat vethet fel, amennyiben a díjszedő szervezet teljes körű információval rendelkezik a használók tartózkodási helyét illetően.

Érdemes áttekinteni az érintett érdekcsoportok várható reagálását is. A döntéshozó szervek, adott esetben érdekeltek lehetnek a korábbi, számukra kedvezőbb gyakorlat megőrzésében. Az új árképzési elvek új ismereteket és munkamódszereket igényelnek, amelyeket ők nem tudnak, vagy éppen nem akarnak elsajátítani. Sok esetben eleve elvetik a túl „tudományosnak” minősített marginális költségalapú árképzést, s előnyben részesítik a valóságot túlzottan leegyszerűsítő, ámde könnyen adaptálható megoldásokat. Az új árképzési elvek gyakorlatba ültetése egyeseket előnyösen, másokat hátrányosan érinthet. A jelenlegi tapasztalatok azt mutatják, hogy a negatívan érintett csoportok érdekeiket hatásosabban képviselik a társadalmi viták során, mint az előnyöket élvezők (ráadásul az előnyök az egyének által azonnal érzékelhető hátrányokkal szemben kevésbé érzékelhetőek, s inkább nemzetgazdasági szinten érvényesülnek). Így a média is többnyire azt kommunikálja, hogy a bevezetéssel a várható veszteségek lényegesen meghaladják majd a társadalmi hasznokat. A hatásos lobby-tevékenység tehát az új díjrendszerrel szembeni tényleges ellenállást akár a valóságosnál is nagyobbnak mutathatja.

A fentieket összegezve az a következtetés vonható le, hogy a társadalmi határköltség bázisú közlekedési árképzés bevezetése elképzelhetetlen megfelelő szabályozási keretrendszer, s az ennek létrehozását támogató politikai akarat nélkül. A politikai akarat viszont feltételezi, hogy a döntéshozók többsége elfogadja és helyesli az új elveket és módszereket. E problémakör viszont ismét újabb, alapvetően az elfogadottsággal kapcsolatos kérdések részletesebb elemzését igényli.

6.4. Elfogadottsággal kapcsolatos korlátok

A társadalmi határköltség alapú közlekedési árrendszerek elfogadottsága több vonatkozásban is tárgyalható: így a megvalósítás szempontjából a legfontosabbnak tartott társadalmi véleményalkotás mellett a politikai és az üzleti szféra (várható) reakciója is mérvadó.

A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy az új típusú árképzés megvalósításának legnagyobb akadálya a megfelelő társadalmi (magáncélú közlekedési infrastruktúrahasználói) együttműködési/vállalási hajlandóság alacsony foka, vagy teljes hiánya. Az erős társadalmi ellenállás ráadásul továbbgyűrűzik a politikai szférába is, amennyiben a népszerűség, romlásától tartva egyik vezető politikai erő sem hajlandó a kényes ügy felvállalására.

Kutatásokat végeztem az árrendszer társadalmi elfogadottságát befolyásoló tényezők feltárására. A legfontosabb tényezőknek a következők bizonyultak:

- a probléma érzékelése. A közlekedés okozta – környezeti, életminőségbeli, zsúfoltsági, stb. – problémák iránti érzékenység magasabb foka a vizsgálatok szerint általában javítja a díjfizetési hajlandóságot. Ez a magatartás ugyanakkor inkább a sűrűn lakott régiókra jellemző, s a problémák közül is elsősorban a környezetszennyezés elkerülésére irányul a figyelem (például az elszenvedett időveszteség csökkenése alig ösztönöz díjfizetésre);
- társadalmi nyomás/normák. Ez a tényező részben kapcsolatba hozható az előzővel. Abban a társadalomban ugyanis, amelyben az értékrend már elmozdult a fogyasztást és gazdaságbővülést mindennél előbbre helyező pontról a környezettudatosság irányába, várhatóan magasabb a közlekedés környezetkárosítás problémái iránti fogékonyság, s így könnyebb a mobilitást befolyásoló díjfizetési intézkedések bevezetése;
- a lehetséges beavatkozási alternatívák ismerete. A tapasztalatok azt mutatják, hogy az érintettek többnyire nincsenek tisztában a közlekedésből adódó problémák kezelésének lehetséges eszközeivel. Ha mégis, akkor is kevésbé ismerik a díjrendszerek alkalmazásában rejlő lehetőségeket, s inkább a ”klasszikus” közlekedésszervezési megoldásokat preferálják (közlekedés építés, közlekedésszervezés);
- a javasolt intézkedések vélt hatékonysága. A felmérések szerint az érintettek többsége nem bízik abban, hogy a közlekedési díjszedés bevezetése hozzájárul a mobilitás növekedéséből adódó negatív hatások ellensúlyozásához. Úgy vélik, ha már be kell avatkozni, akkor előbb más – elsősorban technológiafejlesztési – alternatívák használatát kell megvizsgálni, s csak a végső esetben kell a díjszedés eszközéhez nyúlni;
- a közteherviseléssel összefüggő kérdések. Az elfogadottság szempontjából kulcsfontosságú, hogy az érintettek mennyire tartják méltányosnak a kialakított árrendszert. Itt elsősorban szubjektív oldalról kell a kérdést megközelíteni. Az egyének azt vizsgálják, hogy az új árrendszer egyrészt mennyiben változtatja meg saját gazdasági/életminőségbeli helyzetüket,

másrészt, hogyan alakul helyzetük máséhoz viszonyítva. Az is az érdeklődés középpontjában állhat, hogy mi lesz a díjszedésből keletkezett jövedelmek sorsa, vagyis azok hol kerülnek felhasználásra;

- az árrendszer tulajdonságai. A használók általában az egyszerű, rögzített díjtételeken alapuló árrendszereket részesítik előnyben a komplex, használatot mérő és a fizetendő összeget csak azután megállapító, idő-, távolság- és egyéb kiegészítő paramétereken alapuló megoldásokkal szemben.

Az előző fejezet végkövetkeztetése az új árképzést támogató társadalmi-politikai szándékok szükségességét hangsúlyozta. Ennek előfeltétele, hogy a döntéshozók és az érintettek preferenciarendszerében a közlekedési árképzés megújítása megfelelő helyet foglaljon el. A méltányos és hatékony közlekedési díjrendszer kialakításának és alkalmazásának támogatása ugyanakkor nem igazán segíti elő az efféle törekvéseket, amennyiben az

- a társadalom és az üzleti szféra legbefolyásosabb érdekcsoportjainak körében népszerűtlen, továbbá
- közvetett, csak hosszabb távon értékelhető hatásokkal működik, szemben az azonnali eredményeket hozó, s így a döntéshozók törekvéseit kedvezően feltüntető, közvetlen intervenciókkal.

Az előbbiekben rendszerezett, elfogadottsággal kapcsolatos akadályozó tényezők lebontásában nyújthatnak segítséget az alábbiakban összegzett, a legjobb gyakorlatok elemzéséből levont következtetések, javaslatok:

- az útdíjak bevezetése járjon együtt új közlekedési infrastruktúraelemek forgalomba helyezésével;
- a díjrendszer meghatározott időszakra kerüljön bevezetésre, majd annak lejártát követően szülessen újbóli döntés a tapasztalatok alapján történő módosításokra;
- a díjszedés a kezdetben alkalmazott egyéb, jobban elfogadott (avagy kevésbé ellenzett) mobilitás-menedzsment eszközöket felváltva/helyettesítve, fokozatosan kerüljön adaptálásra;
- a díjszedés indoklásakor nagyobb hangsúly kerüljön a várható kedvező környezeti és közlekedésbiztonsági hatásokra, mintsem a nehezen megfogható hatékonyságjavulásra;
- a díjképzésből keletkezett jövedelmek felhasználása legyen átlátható, s olyan célokat szolgáljon, mint pl. a közlekedésfejlesztés, a „vesztesek” kompenzálása, vagy a közlekedési rendszert használók nem használattal arányos adóinak mérséklése.

Összefoglalásképp megállapítható, hogy az elfogadottság valószínűleg az új elvi megközelítést igénylő közlekedési árképzés gyakorlati alkalmazásának legfontosabb előfeltétele, s részben a többi (intézményi, szabályozási) akadályozó tényező hátterében is

ebből levezethető megfontolások állnak. A bevezetési stratégia tehát akkor lehet sikeres, ha azt hangsúlyozza, hogy a közlekedési rendszert használók konkrét, értékelhető eredményeket – pl. jobb szolgáltatást, biztonságosabb és élhetőbb környezetet, stb. – élvezhetnek [Tan04].

7. A kutatási tevékenység eredményeinek összefoglalása – új tudományos eredmények

A Földi természeti környezet az elmúlt évezredekben biztosította az emberiség létfenntartásához szükséges erőforrásokat és szilárd alapot biztosított az élővilág fennmaradására. Beavatkozásaival a korlátozott technikai feltételekkel rendelkező ember már az emberiség fejlődésének korai szakaszában is változásokat idézett elő. A környezetre gyakorolt hatás mértéke azonban elenyészően kicsinek bizonyult a környezet méreteihez képest, ezért az ember beavatkozásának következményeit nem tapasztalta, illetve az arányok miatt a globális méretű változás nem volt érzékelhető. Az életfeltételeket biztosító természet korabeli helyzete nem indokolt külön erőfeszítéseket a környezet védelme érdekében. A növekvő fogyasztói igények kielégítése azonban már jelentősen károsítja a környezetet. Napjainkban már a fenntarthatóság elemi feltételei közé tartozik a környezetszennyezés csökkentése. Ennek megoldása a műszaki fejlesztésen, az anyagtakarékos technológiák alkalmazásán, a megújuló energiaforrások hasznosításán, a környezetkímélő közlekedésen és szállításon, valamint a helyváltoztatási igények csökkentésén alapszik.

A ma használt közúti járművek belsőégésű hőerőgéppel hajtottak, melyek a tüzelőanyag fűtőértékét alakítják át hasznos mechanikai munkává. Az értekezés csak a gépjárművek üzemmeleg, üzemeletetéséből származó légnemű károsanyag kibocsátással, a légszennyezéssel foglalkozik. A korszerű közlekedési rendszernek mind gazdasági, mind pedig szociális és környezetvédelmi szempontból fenntarthatónak kell lennie. A telematika, fejlődése miatt, egyre nagyobb szerepet kap a járműelektronikában. Előnyeit elsősorban a vagyonvédelem, a közlekedésbiztonság és a közúti forgalomirányítás területén akarják kiaknázni. A környezetvédelem, a motormenedzsment, a szervizkihasználtság optimalizálása még csak távlati célként fogalmazódott meg!

Napjainkban a közlekedés területén megvalósítandó egyik fő célkitűzés egy olyan hatékony és méltányos árképzés kialakítása és bevezetése, aminek eredményeképpen elkerülhető a versenytorzulás és a piaci verseny révén érvényesül a kedvező technológia-fejlesztő hatás. Jelenleg még fennállnak azok az egyenlőtlenségek, amelyek abból erednek, hogy a közlekedésben résztvevők nem fizetnek meg minden költséget, amelyet helyváltoztatásuk folyamán okoznak. Olyan marginális társadalmi költségen alapuló árképzés bevezetése indokolt, amely a közlekedés externális hatásait figyelembe veszi, vagyis azokat a közlekedés által másoknak okozott költségeket is beleszámítják a fizetendő árba/díjba, amelyeket jelenleg még nem a közlekedésben résztvevők (hanem az egész társadalom az

adóbevételekből) fizetnek meg. Erre csak akkor lesz lehetőség, ha az árakat a társadalomnak okozott teljes költség figyelembe vételével alakítják ki, és így a használók hozzájárulnak a közlekedés fenntartható fejlesztéséhez.

Munkámban a közlekedési externáliák közül a gépjárművek üzemszerű közúti használata során keletkező levegőszennyezését vizsgáltam. Kifejlesztettem egy tudományos módszert a legújabb kutatások eredményeire is támaszkodva, amelynek alapján az adott útszakaszra vonatkoztatva megbecsülhető a légszennyezés globális és lokális mértéke.

A városközi közúti közlekedés megújuló árrendszere implementációs útjának tárgyalásakor célszerű különbséget tenni az üzleti és a magán szektor között, sőt az üzleti infrastruktúrahasználókon belül az áru- és a személyszállítókat is célszerű eltérő megközelítéssel kezelni. Erre leginkább azért van szükség, mert az EU elsősorban az üzleti célú közúti infrastruktúrahasználat, azon belül is leginkább az áruszállítás terén szorgalmazza az árképzési reformok mielőbbi bevezetését. Ezzel szemben az egyéni gépkocsival közlekedők időben kissé eltolva találkoznának az új típusú, de az üzleti célú forgalom által már tesztelt díjrendszerekkel, addig pedig a hagyományos módszerekkel (fix díjakkal) járulnának hozzá a költségek fedezéséhez.

Számos kérdés fogalmazható meg a fentiekkel összefüggésben: hogyan számszerűsíthetők a környezetet ért károk, kiknek kell az okozott károkat megfizetni, hogyan alakíthatók ki méltányos és hatékony módszerek ezeknek a céloknak az eléréséhez? Megfizethetőek-e egyáltalán a környzetet ért károk? Kutatásaim új tudományos eredményei jórészt ezekre a kérdésekre kísérelték meg a válaszadást.

7.1. Új tudományos eredmények

1. Matematikai összefüggést állítottam fel a gazdasági teljesítőképesség, a közúti forgalom és a környezetterhelés között.

A gazdasági teljesítőképesség és a mobilitás között egyértelmű kapcsolat van. Mindazonáltal szinte a mai napig tisztázatlan, hogy a gazdasági teljesítőképesség növekedése indukálja-e a mobilitási igények növekedését, vagy a mobilitás (áru- és személy szállítás) növekedése gerjeszti a gazdasági teljesítőképesség növekedését. Egy biztos: a közlekedési volumenek növekedése a környezetterhelés növekedését eredményezi, de a környezeti változások kihatnak a közlekedésre is. Kutatásaimban a közlekedés, a gazdaság és környezetszennyezés közötti összefüggést tártam fel, melyhez Simon Kuznets (1901-1985) munkásságából indultam ki.

Az általa felállított modell (1) szerint a környezetterhelés csak a társadalmi jóléttől függ, a többi ismérvtől - mint pl. a nemzeti export, import - független.

$$(1) \qquad \ln(Y_t) = \delta_0 + \delta_1 \cdot \left(\ln\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t \right)^2 + \delta_2 \cdot \ln\left(\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t\right)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke az adott évben [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától,
LAK: Lakosszám,
d_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\delta_1<0$ és $\delta_2>0$.

Az eredeti, Kuznets-i modell alapján Magyarországra a 1993-2003-as időszakot figyelembe véve kiszámítottam a regressziót. A gazdasági teljesítőképességet itt a GDP egy főre vetített értéke jellemezte. A kapott R^2 statisztikai értéke 0,728, ami azt mutatja, hogy ezzel összhangban van az is hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t própa alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók– 95%-os szignifikancia szint mellett - nem szignisfikáns.

A motorizáció növekedésével feltételezhető, hogy a környezetterhelés függ a motroizációtól is. Ezért első lépésben a modell motorizációs fokkal történő bővíthetőségét, majd második lépésben a hagyományos kuznetsi modell helyett egy linearizált modell használhatóságát vizsgáltam meg. Harmadik és negyedik lépésben a GDP helyett a HDI-t (Human Development Index) használtam, és újra megvizsgáltam a motorizációval bővitett kuznetsi modellt, majd a linearizált modellt is.

A motorizáció mértékét az 1000 lakosra jutó személygépjárművek számával jellemeztem, a környezetterhelést pedig a nemzeti károsanyagkibocsátás évi széndioxidegyenértékével. A modell bővítése előtt megvizsgáltam a GDP és a motorizáció függetlenségét. A vizsgálat a két ismérv között, a vizsgált időszakban, Magyarországra, erős korrelációt állapított meg (R^2=0,937), ezért a modellben a változók kereszt korrelációját is vizsgálat tárgyává tettem a függő változóra nézve.

(2) $$\ln(Y_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \left(\ln\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t \right)^2 + \alpha_2 \ln\left(\left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t\right) + \alpha_3 \ln\left(\left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t\right)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke az adott évben [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától,
LAK: Lakosszám,
MOT: Motorizáció mértéke,
a_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\alpha_1<0$ és $\alpha_3 \geq 0$.

Az általam kifejlesztett, bővített modell (2) alapján Magyarországra a 1993-2003-as időszakot figyelembe véve kiszámítottam az R^2 statisztikai értéket. A kapott viszonylagosan magas érték (R^2 = 0,811) azt jelenti, hogy a motorizációval bővített modell statisztikailag pontosabban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignisfikáns.

Második lépésben a gazdasági teljesítőképesség, a motorizáció és a környezetterhelés kapcsolatát egy multi-lineáris modell segítségével elemeztem (3).

(3) $$Y_t = \beta_0 + \beta_1 \cdot \left(\frac{GDP}{LAK}\right)_t + \beta_2 \cdot \left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
b_i : az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá feltételeztem, hogy $\beta_0 \neq 0$, vagyis motorizáción és a GDP-n kívül semmi sem befolyásolja a környzetterhelést,
GDP: Bruttó hazai termék (Gross Domestic Product) - az adott ország területén, az adott évben előállított, végső felhasználásra szánt javak hozzáadott összértéke, függetlenül a termelők állampolgárságától,
LAK: lakosszám,
MOT: Motorizáció mértéke.

A multi-lineáris modell alapján Magyarországra a 1993-2003-as időszakra számítottot R^2 statisztikai értéke 0,753 ami azt jelenti, hogy a módosított, egyszerűsített modell statisztikailag jobban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignisfikáns.

A módosított kuznetsi modell helyett megvizsgáltam a társadalmi jólét, a motorizációs fok és környezetterhelés kapcsolatát egy multi-lineráis modell segítségével is. A probléma linearizálásával is a motorizáció, mint fontos befolyásoló tényező jelenik meg a környezetszennyezés értékének alakulásában.

A környezeti Kuznets görbe alkalmazhatóságának vizsgálatakor felmerül a környezetgazdaságtanból jól ismert problematika: vajon a GDP, mint jól kvantifikálható mennyiségi jellemző, milyen mértékben képes a tényleges fejlődés minőségi jellemzőinek visszatükrözésére? Hiszen a túlzott termelés és az ebből származó externális hatások elhárításának áldozatai együtt eredményezik a mutató növekedését. A sokat vitatott GDP - mint aggregált gazdasági mutató - helyett a HDI-t (Human Development Index) választottam, amely az általam kialakított modellben a társadalom fejlődését hivatott reprezentálni (4). A fentiek alapján megvizsgáltam a motorizáció és a HDI közötti korrelációt is. A vizsgálat alapján erős korrelációt tapasztaltam (R^2=0,8767) a két ismérv között 1975 és 2000 között Magyarországra vonatkoztatva, ezért a modellben a változók kereszt korrelációját is vizsgáltam a függő változóra nézve.

$$\ln(Y)_t = \alpha'_o + \alpha'_1 \cdot (\ln(HDI)_t)^2 + \alpha'_2 \cdot \ln(HDI_t) + \alpha'_3 \cdot \ln\left(\left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t\right) \quad (4)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
a'_i: az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá elmondható, hogy $\alpha_1<0$ és $a_3\geq 0$,
HDI: (Human Development Index) - az adott ország társadalmi fejlettségét kifejező indexszám,
MOT: Motorizáció mértéke,
LAK: lakosszám.

A bővített és módosított modell alapján Magyarországra a 1975-2000-as időszakra kiszámított R^2 statisztikai értéke 0,856, ami azt jelenti, hogy a motorizációval bővített és a társadalmi fejlettséget a GDP helyett a HDI tényezővel figyelembevevő modell statisztikailag jobban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó t próba alapján a nullhipotézis, miszerint nullával lennének egyenlőek az együtthatók – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignifikáns.

Megállapíttottam, hogy a motorizációs fokkal bővített, HDI-vel módosított Kuznets görbe futása, a magyarországi adatok figyelembevételével nem tér el jelentős mértékben a hagyományos görbe alakjától, a fordított U alaktól. A ponthalmazra illeszthető

függvénycsaládok közül, a kvadratikus görbecsalád igen jó illeszkedést mutatott (r^2=0,980922), amely megfelel annak az elméleti összefüggésnek, mely szerint nem csak a társadalmi fejlettségtől, hanem a motorizációs foktól is függ a környezetterhelés mértéke.

Végül a multi-lineáris modellt (5) is hasonlóan módosítottam:

$$Y_t = \beta'_0 + \beta'_1 \cdot (HDI)_t + \beta'_2 \cdot \left(\frac{MOT}{LAK}\right)_t \qquad (5)$$

ahol:

Y: a környezetterhelés mértéke [CO_2 kg/fő/év],
t: az adott évet jelenti,
b'_i : az adott faktorok súlytényezője a károsanyag kibocsátás szempontjából, továbbá feltételeztem, hogy $\beta'_o \neq 0$, vagyis motorizáción és a HDI-n kívül semmi sem befolyásolja a környzetterhelést,
HDI: (Human Development Index) - az adott ország társadlmának fejlettségi indexszáma,
LAK: lakosszám,
MOT: Motorizáció mértéke.

A módosított multi-lineáris modell alapján Magyarországra a 1975-2000-as időszak figyelembevételével kiszámított R^2 statisztika viszonylag magas értéke (R^2=0,782) azt jelenti, hogy a módosított, egyszerűsített multi-lineáris modell statisztikailag jobban írja le a problémát, mint a hagyományos Kuznets modell. Ezzel összhangban van az is, hogy a regressziós együtthatókra vonatkozó nullhipotézi, miszerint nullával lennének egyenlőek – 95%-os szignifikancia szint mellett – továbbra sem szignisfikáns.

1. táblázat
Összefügésvizsgálatok összhasonlító táblája

Srsz.	Leírás	Motorizációval bővített	GDP módosítása HDI-re	R^2
1	Eredeti Kuznets	-	-	0,728
2	Bővített Kuznets	+	-	0,811
3	Bővített lineáris	+	-	0,753
4	***Bővített és módosított Kuznets***	**+**	**+**	***0,856***
5	Bővített és módosított lineáris	+	+	0,782

A fordított U alakú görbét eddig ugyan csak néhány szennyezőanyag esetében sikerült kimutatni, de a közgazdászok arra a következtetésre jutottak, hogy ez általában is fennáll a környezet minőségére azon feltétel mellett, hogy az egyes egyének jövedelmük emelkedésével párhuzamosan többet költenek környezetükre. (Arrow-Bolin-Costanza-Dasgputa-Folke-Holling-Jansson-Levin-Maeler-Perring-Pimentel, 2004.) Ez tulajdonképpen a Maslow-féle humán szükséglet-hierarchiát reprezentáló piramis modell álláspontjával is egybevág.

Tehát bizonyítható, hogy a közlekedési eredetű környezetterhelés jelentős mértékű és ezért értékének figyelemmel kísérésével folyamatosan foglalkozni kell. A fenntartható fejlődés környezetpolitikája csak a fenntartható közlekedésfejlesztés stratégiai kérdéseink kezelésével együtt képzelhető el [Tan07a].

2a. Kidolgoztam egy új, közelítő eljáráson alapuló modellt, mely segítségével a személygépjármű áramlat összetétele alapján megállapítható a gépjárművek légnemű károsanyag-kibocsátásából származó lokális környezetterhelés költsége.

A korszerű közlekedési rendszernek mind gazdasági, mind szociális és környezetvédelmi szempontból fenntarthatónak kell lennie. A növekvő mobilitási igények a környezeti terhelések, a környezetszennyezés növekedését eredményezték.

A modellben először a vizsgált útszakaszon jellemző napi gépjárműáramlatot csoportokra kell bontani. A csoportosítás alapja a törvényi (5/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet) előírás, amely különböző kategóriákat különít el.

Következő lépés a gépjárműáramlat károsanyag kibocsátási szintjének meghatározása. Ehhez vegyük a G mátrixot:

(6) $\sum_{i=1}^{n} g_{ij} = a_j$ *j=1, …, m* az EURO[21] *j* szabványú gépjárművek elemszáma

(7) $\sum_{j=1}^{m} g_{ij} = b_i$ *i=1, …,n* $\begin{cases} M_i^{\cdot} \mid i:1..3 \\ N_{i-3}^{\cdot} \mid i:4..6 \end{cases}$ osztályú gépjárművek csoportja

(8) $\underline{\underline{G}} = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{1j} & g_{1m} \\ g_{i1} & g_{ij} & g_{im} \\ g_{n1} & g_{nj} & g_{nm} \end{vmatrix}$ ahol: g_{ij} (6) és (7) alapján képzett csoportokba tartozó gépjárművek elemszáma

A gépjárművek károsanyag kibocsátásának becsléséhez kibocsátási faktort használtam, amely a jelenlegi nemzetközi kutatásokkal is összhangban van. Megvizsgáltam a hazánkban alkalmazott környezetvédelmi felülvizsgálati technológia esetleges adaptációjának lehetőségét, de a gépjármű-specifikus adatok komplexitása az átvételt nem teszi lehetővé. A kibocsátási faktor alapját az EURO környezetvédelmi szabvány károsanyag kibocsátási határértékei képezik, melyek az idők folyamán szigorodtak és finomodtak, részletesebbé váltak.

[21] 6/1990 (IV.2.) KöHÉM rendelet 5. mellékletének 2 táblázata alapján definiált EURO előírások

Végül a forgalmi folyamatban résztvevő gépjárművek csoportonkénti darabszáma és a forgalmi áramlatban résztvevő gépjárművek csoportonkénti károsanyag kibocsátási faktorának, valamint a megtett távolságnak a szorzata alapján számítható a forgalmi áramlat károsanyag-kibocsátása.

(9) $$L_i = \sum_{m=1}^{p} g_m \cdot l_m \cdot d_m$$

g: gépjárművek száma az adott környezetvédelmi kategóriában
l: légszennyezési határérték az adott kategóriában
d: megtett távolság

2b. A modellt egy olyan új taggal bővítettem, amely segítségével a közúti személygépjármű-közlekedés globális környezeti hatásai is becsülhetőek.

Mivel az elmúlt években a közúti járműállományban a dízel üzemű gépjárműmotorok egyre nagyobb teret hódítottak – ami a tüzelőanyag alacsonyabb árával magyarázható – és az alternatív tüzelőanyaggal hajtott vagy ilyen hajtásmechanizmussal működtetett gépjárművek száma elhanyagolható, ezért disszertációmba csak a benzin és gázolaj elégetéséből származó széndioxid kibocsátással foglalkoztam. A becslési eljárás lényege, hogy feltételezzük a tüzelőanyag tökéletes elégését, a valóságban a tökéletlen égés miatt ennél csak kevesebb széndioxid keletkezhet. Disszertációmban a nemzetközi tendenciának megfelelően csak a klímaváltozásért felelős széndioxid gázzal foglalkoztam. A modellben a benzinre jellemző szén és hidrogén arány miatt oktánt,

(10) $$C_8H_{18} + \frac{25}{2}O_2 \rightarrow 8CO_2 + 9H_2O$$

a gázolajnál szintén a rá jellemző egyszerűsített szén és hidrogén arányokat reprezentáló szénhidrogént vettem alapul:

(11) $$C_{14}H_{30} + \frac{43}{2}O_2 \rightarrow 14CO_2 + 15H_2O$$

Tehát 1 mol, azaz 114 g benzinből 8 mol azaz 352g széndioxid keletkezik, 1 mol, azaz 198g gázolajból 14 mol azaz 616g széndioxid keletkezik.

A modell helyes működését támasztja alá a KFF[22] 2004-ben kiadott „Személygépkocsik tüzelőanyag fogyasztási és széndioxid kibocsátási adatai” című jelentése, mely a hazánkban forgalomban lévő 10 leggyakoribb benzin és 10 leggyakoribb dízel üzemű személygépjármű adatait tartalmazza. Az adatokat elemezve, arra a következtetésre jutottam,

[22] Közlekedési Főfelügyelet

hogy a tüzelőanyag elégetése során felszabaduló CO_2 mennyiségének becslése helytállónak bizonyult.

3. A közúti közlekedési árképzés hatékonyságának növelése szempontjából annak marginális társadalmi költségalapokra történő helyezése érdekében rendszereztem a közlekedési módválasztást befolyásoló tényezőket, különös tekintettel a környezettudatos társadalmi viselkedésre.

Az EU több kutatási programja foglalkozik a közlekedés társadalmi költségének, illetve társadalmi határköltségének problémakörével[23]. Ennek alapja, hogy az EU hosszabb távon ezekre az információkra alapozva kívánja megadni közlekedési árképzési irányelveit. A témában számos kísérlet történt már az egyes költségtételek meghatározására [Tan04].

A hazai szakirodalomban a témakörrel már sok cikk foglalkozott, eltérő megközelítéseket alkalmazva. A tézis célja, hogy ismertesse a társadalmi határköltség alapú díjképzést a közúti közlekedésben, különös tekintettel a környezetszennyezés monetarizálására. Disszertációmban a helyi és a helyközi közlekedést gráfelméleti alapon vizsgálva, csak csomópontokat és azokat összekötő éleket vizsgáltam. Meg kell említenem, hogy az így kialakult modell városi környezetben gyakran kezelhetetlen eredményt nyújt, ezért a disszertáció további részében csak a helyközi közúti közlekedést vizsgáltam. A fenti korlátozást a helyközi közúti közlekedés légszennyezésének monetarizálhatósága is indokolttá tette.

Egy adott útszakasz használati díjának megállapításához az útszakaszra vonatkozó teljes használati költség mellett a teljes társadalmi költség változás megállapítása is szükséges. Ezt a változást a továbbiakban szakirodalom alapján társadalmi határköltségnek nevezem. Disszertációm a helyközi közúti közlekedés társadalmi határköltségének megállapításával foglalkozik. A társadalmi határköltség két elemre bontható:

- Az időfelhasználásból és a jármű üzemeltetéséből származó költségek, melyek az adott útszakaszra vetíthetőek, ezek nagyban függnek a közlekedési feltételektől,
- A társadalomra hárított költségek, pl.: a többi gépjárműnek okozott időveszteség a jármű megjelenésével az adott útszakaszon, a többi gépjármű üzemeltetési költségeiben okozott változás a rendszerbe belépő új jármű miatt.

[23] UNITE **Unification of Accounts and marginal cost for Transport Efficiency - Pilot Accounts for Hungary, Brussels, 2002;**
HEATCO **(Developing Harmonised European Approaches for Transport COsting and Project Assessment) EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt (referenciaszáma: SSP8B/502481/2003);**

Az egyéni határköltség a felhasználót közvetlenül terhelő költségek, melyek a felhasznált erőforrással arányosak. Megfelelő adatok birtokában, csoport-képzéssel a modell egyszerűsödhet. A csoportképzés alapja lehet az utazás célja (munka, szórakozás, bevásárlás), az utazók jövedelemviszonya vagy a gépjárművek kihasználtsága.

Az externális határköltség felbontható 3 részre:

- Az úthálózaton megjelenő új gépjármű által okozott eljutási idő növekedéséből származó költségnövekedés a többi résztvevő számára,
- Az úthálózaton megjelenő új gépjármű által okozott üzemeltetési költség növekedése a többi résztvevő számára,
- Valamint egyéb externális költségek, úgy, mint a környezetterhelés költségei.

Az egyéb externális költségek, úgy, mint a környezetterhelés költségeinek megállapítása, igen komplex feladat. A legtöbb megközelítés[24]távolságra vetített költségek becslésével dolgozik [Dep06]. A tényleges úthasználati díjnak a mértéke a különbség a társadalmi határköltség és az érzékelt költségek között. Itt kell megemlíteni, hogy napjainkban működő útdíj szedési rendszereknek elvi célja a forgalom csökkentése egy útvonalon, vagy egy adott területen, zónán belül.

Miután a fenti modell alapján a tényleges úthasználati díjat megállapították, az adott útszakasz iránti kereslet megváltozik (lecsökken). Torlódásos esetben, amikor a társadalmi határköltségek magasak, az úthasználati díjak – az elvárásoknak megfelelően - megemelkednek. A díj megállapítása és tudatosítása a használókkal a mai napig még nem megoldott probléma, mert egy dinamikus változó problémáról van szó, ami a közlekdést kiszámíthatatlanná teszi. A probléma csak iterációs eljárással oldható meg, a rendszerben lévő dinamikus elemek miatt az iterációs eljárást miden új rendszerbe lépő elemnél el kell végezni. Összefoglalva, a fenti modellből látható, hogy a marginális határköltség alapú modell esetében, közlekedési módválasztást befolyásoló tényező az utazási költség, az utazási idő, a várakozási idő, a rágyaloglási idő és a kényelem. Egyelőre a környezetszennyezés nem befolyásoló tényező, nincs megfelelően megjelenítve.

[24] **UNITE Uni**fication of Accounts and marginal cost for **T**ransport **E**fficiency - Pilot Accounts for Hungary, Brussels, 2002;
HEATCO (Developing **H**armonised **E**uropean **A**pproaches for **T**ransport **CO**sting and Project Assessment) EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt (referenciaszáma: SSP8B/502481/2003);

4. Továbbfejlesztettem egy módválasztást leíró, lineáris algebrai módszeren alapuló, diszkrét bináris egyéni döntési modellt.

Célom volt az emberi viselkedés modellezése a közlekedési módválasztás szempontjából. A rendszer összetettsége miatt jelentős egyszerűsítésekre volt szükség. Egy döntés modellezésénél vizsgálnunk kell, hogy milyen választási lehetőséget választott a döntéshozó és azt is vizsgálni kell, hogy melyiket nem választotta. Értekezésemben, a közlekedési módválasztásból adódóan, a közlekedési módválasztási modellek közül a diszkrét módválasztási modelleket vizsgáltam meg. A bemutatandó Nested modell a helyváltozatási igények, valamint a közlekedési rendszer között meghatározható összefüggéseket, mint a kereslet és a kínálat között fennálló kapcsolatot írja le, figyelembe véve a körülmények megváltozását, fejlődését, valamint a felhasználók hasznosság érzetéből származtatható hasznossági függvényeket.

Diszkrét döntési modellnél felírható a választási lehetőségek véges sokasága. Következő lépésben feltártam a választási lehetőségek körét. A lehetőségek két csoportra bonthatóak: általános választási lehetőségekre és a redukált lehetőségek tárára. Az általános lehetőségek csoportja az összes lehetséges választást tartalmazza, amíg a redukált lehetőségek csak a döntéshozó számára elérhető lehetőségeket tartalmazza.

A vizsgálatkor azonosítani kellett azon jellemzőket, melyek befolyásolják a döntéshozót döntése meghozásában. Minden választási lehetőséget a jellemzők alapján értékeltem. Ezek az utazási vagy az eljutási idő, a kényelem és az egyéni költségek. Miután megvizsgáltam a döntési jellemzőket és a választási lehetőségeket, ezt követően foglalkoztam a döntési mechanizmust leíró karakterisztikák elemzésével. A módválasztásokat leíró karakterisztikákat csoportokra szokták bontani a közös matematikai modell alapján. Értekezésemben, a továbbiakban csak a neoklasszikus közgazdaságtanból jól ismert hasznosság alapú diszkrét modellekkel foglalkoztam, mert a közlekedési módválasztást ez írja le megfelelően. A modellben a lehetőségekhez egyértelmű hasznosságokat rendeltem, és azt feltételeztem, hogy a döntéshozó mindig a számára legnagyobb hasznosságú döntést hozza meg.

A disszertációban alkalmazott modell alapvetően a hasznosság alapú modellek családjába tartozik. Alapvetése, hogy a döntéshozó a számára legkedvezőbb, legnagyobb hasznosságú közlekedési módot választja. A modell alapján annak valószínűsége, hogy a döntéshozó i. lehetőséget választja J lehetőség közül, az alábbi módon írható le:

(12) $$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j \in J} e^{U_j}}$$

ahol

P_i: az i. lehetőség választásáank valószínűsége

U_i: az i. lehetőséghez rendelt hasznosság.

Ebben az értelemben a hasznosság a módválasztás teljes költség reciprokát jelenti, ami a kettő közötti fordított arányosságon alapul. Az alább bemutatott eljárás csak a hasznosság kifejtésében tér el az eddig ismertektől, mert olyan elemet is tartalmaz, amelynek költségesítése eddig csak nehézkesen volt megoldható. A hasznosság függvényében szinte bármilyen paraméter figyelembe vehető (eljutási idő, utazási távolság, várakozási idő, utazási kényelem, rágyaloglási idő, elgyaloglási idő), ám a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából az eljutási időt, az utazási költséget és a környezetterhelést vettem alapul.

Célom egy olyan konzisztens, a közúti gépjármű forgalom károsanyag kibocsátási modell kidolgozása volt, amely lehetővé teszi, hogy egy igazságosabb közlekedési árképzéssel az üzemszerű használat során keletkező károsanyag-kibocsátás megjeleníthető legyen a szolgáltatás árában. A modell segítségével feltártam a szárazföldi alágatok közötti összefüggésrendszert Bp – Győr viszonylaton 2000 és 2005 között, majd a nemzetközi szakirodalomnak megfelelő differenciált árképzési rendszer bevezetésének hatására kialakuló 2006 évi forgalmi áramlatokat határoztam meg. Elvégzetem továbbá egy statikus és egy úthasználati díj rendszer „nélküli” eset kivizsgálását is.

5. Érzékenységvizsgálaton alapuló módváltási határállapot elemzési eljárást dolgoztam ki.

Érzékenységvizsgálat során a rendszer bemenő paramétereinek egységnyi megváltoztatásával (utazási idő és költség) vizsgáltam a kimenő paraméterek (másik közlekedési módra „átszállók” számának) változását. Az érzékenységvizsgálat a vártnak megfelelő eredményt hozta: a vasúton illetve a buszon utazók az utazási költségekre érzékenyebbek, amíg a közúton utazók az utazási idő változására reagálnak érzékenyen.

Környezetterhelés tekintetében különös szerepet játszik a szárazföldi személyszállítási közlekedési módok közül a személygépjármű közlekedés és a közösségi közlekedés, ezért megvizsgáltam a módválasztást a kritikus, $U_{szgk} = U_{busz}$ hasznossági pontban.

(13) $U_{szgk} - U_{busz} = 0$

(14) $$(w_{13} \cdot \frac{1}{C_{szgk}} + w_{14} \frac{1}{T_{szgk}} \cdot + w_{15} \cdot \frac{1}{L_{szgk}}) - (w_{16} \cdot \frac{1}{C_{busz}} + w_{17} \cdot \frac{1}{T_{busz}} + w_{18} \cdot \frac{1}{L_{busz}}) = 0$$

(15) $$w_{13} \cdot \frac{1}{C_{szgk}} (1 - \frac{w_{16} \cdot C_{szgk}}{w_{13} \cdot C_{busz}}) + w_{14} \cdot \frac{1}{T_{szgk}} (1 - \frac{w_{17} \cdot T_{szgk}}{w_{14} \cdot T_{busz}}) + w_{15} \cdot \frac{1}{L_{szgk}} (1 - \frac{w_{18} \cdot L_{szgk}}{w_{15} \cdot L_{busz}}) = 0$$

Az egyenletből definiálható:

(16) $$\frac{w_{16} \cdot C_{szgk}}{w_{13} \cdot C_{busz}}$$ Súlyozott költség-hasznossági mutató

(17) $$\frac{w_{17} \cdot T_{szgk}}{w_{14} \cdot T_{busz}}$$ Súlyozott utazási idő-hasznossági mutató

A fenti mutatók a közösségi közlekedés és az egyéni gépjárműközlekedés módválasztásának egyensúlyi pontjából vezethetők le. A mutatók alkalmasak a határállapot jellemzésére és az egyéni közlekedő haszonérzete alapján a közlekedési módok összehasonlítására.

7.2. Az eredmények hasznosítási lehetőségei

A bemutatott egyéni közlekedési módválasztást leíró szimulációs modell segítségével megvizsgálható, hogy a monetarizált becsült környezetei károk – melyeket most a társadalom térít meg – megtéríttetése a közlekedővel, nagy valószínűséggel hogyan befolyásolná a közlekdési szokásokat. 3 elkülöníthető esetet dolgoztam fel: az első, „nélküle eset”, amikor a monetarizált károkat a társadalom felé a közlekedők más befizetéseiből csoportosítják át, tehát a közelekdőre többlet terhet nem rónak ki. A második statikus eset, amikor az egyéni közúti közlekedőkre egységes díjat rónak ki. A szimulációs modell eredményeiből látható, hogy az egyéni közúti közlekedés kevésbé vonzóvá válna, míg a közösségi (autóbusz és vasúti) közlekedés által szállított utasok száma megnőne. A harmadik esteben olyan, az egyéni közúti közlekedőkre diverz úthasználati többlet díjat alkalmaztam, amely a hengerűrtérfogat és az EURO környezetevédelmi osztálybasoroláson alapszik. Látható, hogy ennek hatására az egyéni közúti közlekedés tovább veszítene piaci részesedéséből a statikus esethez képest, míg a közösségi (vasúti és autóbusz) közlekedés még vonzóbbá válna.

Az elvégzett elemzések igazolták, hogy az Európai Unió közösségi közlekedéspolitikájával összhangban a diverz úthasználati díj bevezetése lenne a legkedvezőbb megoldás, azonban a hazai intézményi, jogi és technológiai háttér jelenlegi hiánya mindezt ma még megakadályozza.

7.3. A továbbfejlesztés lehetőségei

A kutatásaim során nagy hangsúlyt fektettem hazánk sajátosságainak széleskörű feltárására. A jövőbeli kutatási munkát a térségi sajátosságok és a környezetvédelemi stratégiai döntéshozatal közötti kapcsolat további pontosítására célszerű irányítani különös tekintettel a környezetterhelés, a motorizáció és a gazdasági teljesítőképesség statisztikai jellemzőinek kvantifikálására.

A módválasztási forgalmi szimulációs modell fejlesztésével lehetőség nyílik további stratégiai célok elérésére (pl. forgalmi áramlatok optimális menedzselése), illetve a modell alkalmassá tehető más országokban és térségekben történő adaptálásra is.

HIVATKOZÁS

Vonatkozó jogszabályok:

[tör90] 6/1990 (IV.12.) – KöHÉM rendelet: „A közúti járművek forgalombahelyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeiről”

[tör98] 1988. évi I. törvény: „A közúti közlekedésről”

[tör02] 7/2002. (VI. 29.) GKM-BM-KvVM együttes rendelet: „A gépkocsik környezetvédelmi felülvizsgálatáról és ellenőrzéséről”

Felhasznált irodalom

[Ajt04] A környezeti hatások figyelembevétele a külterületi közúthálózati fejlesztések költség-haszon vizsgálatához – *Ajtay Szilárd – Tóth László – Várnainé Szárföldi Mónika*, Közúti és mélyépítési szemle (ISSN 1419-0702), LIV. Évfolyam, 2004/1. sz. (pp 2-10.)

[And99] Driving statistics for the assessment of air pollutant emissions from road transport – André M., U. Hammarström & I. Reynaud: INRETS report, LTE9906, Bron, France, 191 p. 1999

[And01] The simple analytics of environmental Kuznetz Curve – Andreoni J, A Levinson .: 2001 Journal of public economics 80 (pp 269-286)

[Bau96a] BOSCH Otto-motor Management – Dipl.-Ing. (FH) H. Bauer, 1996

[Bau96b] BOSCH Dízel-motor Management – Dipl.-Ing. (FH) H. Bauer, 1996

[Bok05] Situation and Perspectives of Intermodal Logistics in Hungary – Bokor Zoltán, Török Ádám:, PROMET-TRAFFIC-TRAFFICO Scientific Technical Journal for Traffic Theory and Practice (ISSN 0353-5320) XVII. Évfolyam, 2005/6. sz. (pp 349-352)

[Bin95] Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making – Bingham, G. – Bishop, R. – Brody, M. – Bromley, D. – Clark, E. – Cooper, W. – Costanza, R. – Hale, T. – Hayden, G. – Kellert, S. – Norgaard, R. – Norton, B. – Payne, J. – Russell, C. – Suter, G.: Ecological Economics 1995/14,

[Cai04] Analysis of the links between transport and economic growth – Nadia Caid: OECD project on decoupling transport impacts and economic growth, Madrid, 2004 október 7.

[Cel05] Czelnai Rudolf: Mi változik, ha változik a klíma?, „AGRO-21” Füzetek ((ISSN 1218-5329)) 2005/40. (pp 3-13.) – Klímaváltozás-Hatások-Válaszok, „AGRO-21” Kutatási Programiroda

[Cos97] *The value of the World’s ecosystem services and natural capital* –Costanza, R. – d’Arge, R. – Groot, R. de – Farber, S. – Grasso, M. –Hannon, B. – Limburg, K. – Naeem, S. – O’Neill, R. V. – Paruelo, J. – Raskin, R. G. – Sutton, P. – Belt, M. van den: Nature, 1997. Vol. 387, (pp 253-260)

[Cos98] *The value of the ecosystem services: putting the issues in perspective* – Costanza, R. – d’Arge, R. – Groot, R. de – Farber, S. – Grasso, M. –Hannon, B. – Limburg, K. – Naeem, S. – O’Neill, R. V. – Paruelo, J. – Raskin, R. G. – Sutton, P. – Belt, M.: Ecological Economics 1998/25 (pp 67-72)

[Dal98] *The return of Lauderdale’s paradox* – Daly, H. E.: Ecological Economics 1998/25 (pp 21-23)

[Dep06] Department for Transportation in UK – Transport Analysis Guidance (http://www.webtag.org.uk)

[Fla83] Gépjármű motorok gazdaságos üzeme – Dr. Flamisch Ottó: Műszaki könyvkiadó, Budapest 1983

[Fle05a] A magyar közlekedéspolitika intézkedési terve. – Fleischer Tamás, Baranyi Rita, Branner Ferenc, Nagypál Noémi, Füle Miklós, Kósi Kálmán, Pálvölgyi Tamás, Princz-Jakovics Tibor, Szlávik Péter, Szlávik János – Közlekedéstudományi Szemle Budapest, 2005/2

[Fle05b] Fenntartható fejlõdés – fenntartható közlekedés – Fleischer Tamás: Közúti és mélyépítési Szemle (ISSN 1419 0702) 2005/12 p2-9

[Fle06] Innováció , növekedés, kockázat – Fleischer Tamás: Fenntartható fejlődés Magyarországon (ISBN 963 9609 38 2) p275-284.

[Fle07] Klímaváltozás – Közlekedés és Települések – Fleischer Tamás: háttértanulmány a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium részére. 2007. február 17.

[Gil66] A városi személyközlekedési rendszer értékelése minőségi ismérvek alapján – Kövesné Dr. Gilicze É.: Városi Közlekedés 1966/5

[Gil71] Matematikai Módszerek és modellek a közlekedésben II. – Dr. Gilicze Éva, Molnár László, Tarnai Júlia, Fekete András: Tankönyvkiadó, Budapest 1971

[Gil75a] Közúti áramlatok elemzése és modellezése. – Kövesné dr.Gilicze É.: Tankönyvkiadó Budapest, 1975. J 7-787. p. 126

[Gil75b] Személyközlekedési üzemtan. – Kövesné dr.Gilicze É.: Tankönyvkiadó Budapest, 1975. J 7-802. p. 111

[Gil97] Overview and Analysis of the links between „Models of Mobility" and „Models of Pollutant Emissions from Transport" – Gilson B., V. Favrel & W. Hecq: Centre for Economic and Social Studies □nt he Environment, Université Libre de Bruxelles, Brussels, 48p. (1997)

[Gio79] Korszerű Gépjárműszerkezetek – Gion János, Szilvási Bertalan: Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium Autóközlekedési Főosztálya Budapest, 1979

[Hea05] HEATCO WP3: Current practice in project appraisal in Europe – Analysis of country reports (Deliverable 1). EU project funded by the EC – DG TREN, 6th Framework Programme. – Odgaard, T., Kelly, C., Laird, J. (2005)

[Hen81] Applied Discrete Modelling – Hensher, D. A. – Johnson, L. W.: Halsted Press/Croom Helm, 1981

[Jes06] Evidence from China – Jessie P.H. Poon.: 8eme Journée Transport: Transport, Energie, Environnement", Paris, 22nd May 2006.

[Kis02] Környezetvédelmi adóreform Nyugat-Európában — és néhány hazai vonatkozás – Kiss Károly: - A Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Környezettudományi Intézetének tanulmányai 11. szám – Budapest, 2002. július – ISBN 963 503 290 0

[Kov05] A városi közlekedési folyamatok komplex befolyásoló intézkedései – Kővári Botond: Loginfo, 2005/07-08, p18-19

[Leg03] A légközlekedés ökologizálása – Dr. Legeza Enikő: Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632) 2003/6 p220-227

[Log06] Emission of road traffic in Belgium – S.Logghe , B.Van Herbruggen, B.Van Zeebroeck, 2006

[Mag82] Statisztika – Dr. Magyar István, Dr. Várlaki Péter 1982, Tankönyvkiadó, Budapest

[Mar99] Megfizethetõ-e a megfizethetetlen? - A természet pénzbeli értékeléséröl az ökológiai közgazdaságtan és egy hazai felmérés tükrében - Marjainé Szerényi Zsuzsanna: KOVÁSZ, III. évfolyam, 1999/3. (p188-198)

[Med85] A közlekedés környezetvédelmi feladatai – Méder László: Szemináriumi dolgozat 1985. BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésgazdasági tanszék

[Mes06] Egységes európai megközelítés kialakítása közlekedési projektek értékelésében – Mészáros Ferenc Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), LVI. Évfolyam 2006/2. sz.

[Mon96] A Budapesten és környékén élők közlekedési szokásai – Monigl J. – Nagy E. – Antal Iné.: Városi Közlekedés 1996/6

[Mon98] Egyéni választási modellek Budapest személyforgalmának tér-idő-költség-elvű megahtározásához – Dr. Monigl János – Negy Endre – Berki Zsolt: Városi Közlekedés 98/6 pp331-530

[Nat99] Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica - Nature 1999, Vol 399, pp399-429

[Oro94] Az utazási mód megválasztásának befolyásolási lehetőségei Budapesten - Orosz Csaba - Városi Közlekedés Vol.34. No.2. pp.88-97.

[Sip06] A közgazdasági értelemben irracionálisnak tekintett döntések kognitív okai - Sipos László, Tóth Arnold: Marketing & Management 2006/01. p22-30

[Szir05] A globális klímaváltozás lehetséges hazai társadalmi hatásai – Szirmai Viktória: „AGRO-21" Füzetek (ISSN 1218-5329) Klímaváltozás-Hatások-Válaszok 2005/44. száma p18-24.

[Szla04] A fenntarthatóság érvényre juttatása és mérhetősége települési – kisregionális szinten - Szlávik J. – Csete M.: Gazdálkodás Agrárökonómiai Tudományos Folyóirat, Budapest, XLVIII. évf. 2004. 4.

[Tan94] Közlekedésgazdaságtan I. egyetemi jegyzet – Tánczos Lászlóné Dr.: BME Közlekedésgazdasági Tanszék, Bp. 1994.

[Tan95] A közlekedési externáliák meghatározási módszerei - Dr. Tánczos Lászlóné: Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), XLV. évfolyam 1995/2. sz (p49-53)

[Tan03] A közlekedés társadalmi költségei - Dr. Tánczos Lászlóné – Dr. Bokor Zoltán: Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), LIII. évfolyam 2003/8. sz. (p281-291)

[Tan04] A korszerű közlekedési árképzési rendszerek hazai bevezetési feltételeinek elemzése – Dr- Tánczos Lászlóné, Dr. Bokor Zoltán Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632). LIV. évfolyam 2004/2. sz. (p50-57)

[Tan05] Road safety techniques in Hungary according to EU directives - Katalin Tanczos, Adam Torok: MOSATT (Modern Safety Technologies in Transportation) 2005. (ISBN 80 – 969106 – 1 - 2) konferencia kiadvány (p410-413)

[Tan06a] A közlekedés klímaváltozási hatásai, különös tekintettel a közlekedési árképzési rendszerekre - Tánczos Lázlóné – Bokor Zoltán: „AGRO-21" Füzetek Klímaváltozás-Hatások-Válaszok 2006/47. száma

[Tan06b] Dr. Tánczos Lászlóné, Török Á.: Estimation method for emission of road transport, Peridoica Polytechnika Ser. Transp. Eng. Vol. 34. (2006) No. 1-2. (p93-100).

[Tan07a] Katalin Tánczos, Ágnes Kosztyó, Török Á.: Sustainability of energy management of transport sector in Hungary, IYCE 2007(International Young Conference on Energetics) (ISBN 978-693-420-908-0) Hungary, Budapest 2007

[Tan07b] Katalin Tánczos, Ágnes Kosztyó, Török Á.: Harmonization of road price regimes in Europe, EAEC 2007 (European Automotive Congress) (ISBN 978-963-872-445-8) Hungary, Budapest 2007

[Tor05] A közúti járművekkel szemben támasztott környezetvédelmi követelmények Európában és hazánkban – Török Ádám, Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), LV. évfolyam, 2005/8. sz. (p282 – 284)

[Tor06a] Klímaváltozás és a közlekedés kölcsönhatása - Török Ádám: VaHaVa – AGRO 21 füzetek (ISSN 1218-5329) 47. sz. (p27 - 30)

[Tor06b] A zajszennyezéssel kapcsolatos fizetési hajlandóság meghatározása kérdőíves felmérés segítségével – Török Ádám Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), LVI. Évfolyam 2006/6. sz. (p222 – 224)

[Tor06c] HEATCO[25] kutatási jelentés a Magyarországon végzett zajjal kapcsolatos fizetési hajlandóságról - Markovits-Somogyi Rita, Török Ádám: Környezetvédelem (ISSN 0209-5769) 2006/17-18 (p99 - 107)

[Tor06d] A Közúti közlekedés által okozott károsanyag kibocsátás és klímaváltozás becslése – Török Ádám: XI. Fiatal Műszakaiak Tudományos Ülésszaka 2006. (ISBN 973 – 8231 – 50 - 7) konferencia kiadványa (p371-374).

[Tor07a] Katalin Tánczos, Török Á.: The linkage of climate change and energy consumption of Hungary in the road transportation sector, Transport Journal (ISSN 1648-4142) XXII évfolyam, 2007/2, (p134–138)

[Tor07b] Kosztyó Ágnes, Török Ádám: Döntésmodellezés a közúti közlekedési módválasztásban Marketing & Management (ISSN 1219-0349) XLI. Évfolyam 2007/1 p48 - 51)

[Tor07c] Tánczos Lászlóné, Török Ádám: Közúti közlekedési módválasztás modellezése Budapest és Győr között, Közlekedéstudományi Szemlében (ISSN 0023 4632) LVII. Évfolyam 2007. 6. sz. (p220-226)

[Ulf98] EMV – a PC programme for calculating exhaust emissions from road traffic - Ulf Hammarstrom and Bo O. Karlsson.. Swedish National Road and Transport Research Institute, 1998.

[Var90] Épített környezet és társadalmi térstruktúra - Várnai Gábor: MKI - KHÉM, 1990.

[Whi01] White Paper – EU Transport Politics 2010 Time to decide – European Comission 2001

[Zol05a] A forgalomba belépő gépjárművek többlet károsanyag kibocsátásának számítása a nemzetközi határértékek figyelembevételével - Zöldy Máté, Török Ádám, Közlekedéstudományi Szemle (ISSN 0023 4632), LV. Évfolyam, 2005. 9. sz. (p336 – 339)

[Zol05b] Növényi alapanyagú megújuló tüzelőanyagok adagolásának hatása a gázolaj viszkozitására és az égésfolyamatra - Zöldy Máté: Mezőgazdasági technika, ISSN 0026-1890 2005. (46. évf.) 11. sz. 2-4. old

[Zol06] Belsőégésű motorok alternatív motorhajtóanyagai - Zöldy Máté, Környezetvédelmi Füzetek, ISBN 96387034-2-3, 2006 BME OMIKK

[25] EU 6. Kutatási Keretprogram által finanszírozott projekt (referenciaszáma: SSP8B/502481/2003), magyar részről a BME Közlekedésgazdasági Tanszék vesz részt a kutatásban, témavezető: Dr. Tánczos Lászlóné , egyetemi tanár

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Gázelemzők

Különböző feladatok elvégzéséhez természetesen eltérő az alkalmazott mérési- és ellenőrzési eljárás és a vizsgáló berendezés. Forgalomban résztvevő gépjárművek időszakos környezetvédelmi felülvizsgálata a mai formájában az 1990-es évek elején került bevezetésre a legtöbb európai országban, így hazánkban is (1992-ben).

Európa szerte azonos az ellenőrzés célja, a törvényes és gyári határértékek betartásának ellenőrzése, valamint a határértéket túllépők kiszűrése. Legfeljebb a végrehajtás módja eltérő, és az ellenőrzésben résztvevők, a feljogosítottak köre más.

Minden gázelemző mérőműszer azonos működési elven alapszik, mégpedig a "gázspecifikus felismerő eljárás"-on (Non Dispersive InfraRed spektroscopie), (12. táblázat.)

12. táblázat

A gázelemzők működési tartománya [Bau96a]

Gázkomponens	A mérendő komponensek jellemző elnyelődési hullámhossza
CO	4,5 µm
CO_2	4,2 µm
HC	3-3,5 µm (egyes forrásokban 3,45 µm)

Három párhuzamosan csatolt optikai szűrő, melyek hullámhossz-karakterisztikája megegyezik a mérendő gáz-komponensekével, megszűrik az infrasugárzást és a szűrt sugarakat vezetik a mérőkamrába, melyben a kipufogógáz a mennyiségétől függően elnyeli az infravörös sugarakat, majd a detektor érzékeli a még el nem nyelt infrasugárzást. Az infrás módszerrel mért CH koncentrációt n-hexán (normál-hexán: C_6H_{14}) vegyület **egyenérték**ében adják meg. Ez olyan mintha a kipufogógázban tisztán C_6H_{14} lenne.

2. melléklet: Füstölésmérők

A diagnosztikai gyakorlatban elsősorban fényelnyelés elvén működő Dízel füstölésmérő műszerek terjedtek el. A dízel füst a kipufogógázban abszorbeált (elnyelt) mindazon szilárd és folyékony össze-tevők, amelyek elnyelik, megtörik vagy visszaverik a fényt. Ezt a tulajdonságot extinkciónak nevezik, amely a közegre bocsátott fény abszorbcióját (elnyelését) és szórását jelenti.

A dinamikus részecskemérő rendszerek az infravörös extinkciós eljárással dolgoznak. Ez azt jelenti, hogy az infravörös sugárzás gyengülését mérik, adott hullámhosszúságon (13. táblázat).

13. táblázat

Dízel füstölésmérők működési tartománya [Bau96b]

Gázkomponens	**A mérendő komponensek jellemző elnyelődési hullámhossza**
Korom	3,95 μm

Az intezitás-csökkenés a sugárzás szóródásából (terjedési irány megváltozása) és az optikai inhomogenitások (koromrészecske is ilyen) által okozott abszorpcióból (átalakulás más energiaformába) származik. E két hatás összegét extinkciónak nevezik. Az optikai elemek elszennyeződést öblítő-levegő függöny segítségével gátolják meg.

A füstölés mértéke elemezhető a füstoszlopra bocsátott ismert intenzitású fény intenzitásának csökkenésével. A csökkenés százalékos mértéke adja az átlátszatlanság (opacitás) %-os értékét.

3. melléklet: Externális költségek

„Az externália két egyén között lezajló gazdasági tranzakció hatása harmadik félre, aki nem vesz részt a tranzakcióban. A vállalatok és egyének közgazdasági értelemben vett célja a nyereség maximalizálása, amely elérhető a bevételek maximalizálása és/vagy a költségek minimalizálása révén. Negatív externális hatásoknál bizonyos költségek megtérítését az egyének vagy vállalatok az államra terhelik. Ezek az egyének vagy vállalatok a piacon termékeiket, szolgáltatásaikat nem a reális, hanem annál alacsonyabb áron értékesítik. Tehát a negatív externáliák forrása az az elképzelés, hogy valaki mással térítessük meg költségeink egy részét. Az egyénekre és a vállalatokra nehezedő hasznosság maximalizálási közgazdasági kényszer okozta az elhanyagolt közösségi érdekek csorbulásá." (részlet: The Corporation c. filmből).

4. melléklet: Immisszió

Valamely vizsgált szennyezőforrás kiskiterjedésű környezetében alapterhelésnek nevezzük a távolabbi környezetből származó azon átlagos immissziót (I_a), amelyet olyan időjárási helyzetek immisszióiból mérnek vagy számítanak, amikor a vizsgált szennyezőforrásból eredő koncentráció egy gyakorlati lapon meghatározott átlagos maximális értékközbe esik ($I_{v,max}$). A ténylegesen mérhető (I_{max}) koncentráció az (I_a) alapterhelés és a ($I_{v,\,max}$) szuperpozíciójából tevődik össze (40):

(40) $I_{max} = I_a + I_{v,max}$

Mivel a ténylegesen mérhető I_{max} az $I_{n,max}$ levegőminőségi normánál nagyobb nem lehet, levegőkészlet terhelhetősége szempontjából gazdálkodni csak az $I_{n,max}$ levegőminőségi norma és az I_a alapterhelés különbségeként meghatározható tartományon belül lehet (41):

(41) $I_{max} = I_a + I_{v,max} \leq I_{n,max}$

5. melléklet: Kumulált károsanyag kibocsátási határértékek szétbontása

Teljes égés során, ha disszociáció[26] nem lép fel, az égéstermék összetétele egyszerűen a kémiai reakcióegyenletekből számítható . Az egyenletekben $C_xH_yO_z$ általános alakból indulunk ki. Példaként lássuk a két hagyományos motorhajtóanyag egyszerűsített égés- és emisszió számításait. Első példaként a $C_{14.5}H_{30}$ közelítő összegképletű gázolajjal kapcsolatos számításokat mutatjuk be három szennyezőre:

(42)
$$C_{14,5}H_{30}\left(14,5+\frac{30}{4}\right)\cdot\left(O_2+3,76N_2\right)\rightarrow 14,5CO_2+\frac{30}{4}H_2O+3,76\left(14,5+\frac{30}{4}\right)N_2$$
$$=14,5CO_2+7,5H_2O+82,72N_2$$

A fenti egyenletből a sztöchiometrikus[27] levegőszükséglet figyelembevételével kapjuk meg az égéstermék gázok összetételét:

(43) $n_{CO_2,g}=14,5$ [kmol CO_2/kmol gázolaj]

(44) $n_{H_2O,g}=7,5$ [kmol H_2O/kmol gázolaj]

(45) $n_{N_2,g}=82,72$ [kmol N_2/kmol gázolaj]

(46) $n_{Gst,g}=14,5+7,5+82,72=104,72$ [kmol gáz/kmol gázolaj]

Az alkotó gázok mól arányát általánosságban az alábbi képlet mutatja meg.

(47) $$n_i=\frac{n_i}{n_{Gst}}$$

ahol n_i az i. komponens mól aránya,

n_{Gst} az égéstermék gáz mól száma.

A fentiek alapján a gázolaj elégetésekor keletkező égésterméket alkotó gázok részaránya a következőképpen alakul:

(48) $n_{CO_2,g}=0,1384$

(49) $n_{H_2O,g}=0,0716$

(50) $n_{N_2,g}=0,7899$

[26] Szétválasztás, felbontás, olyan vegyi folyamat, amelynek során a vegyület egyszerűbb elemekre bomlik, de a körülmények megváltozásával ezek ismét az eredeti vegyületekké egyesülnek

[27] Kémiai számítás, mellyel meghatározható, hogy ideális esetben mennyi levegő (és benne mennyi oxigén) szükséges ahhoz, hogy a tüzelőanyag minden szén- illetve hidrogénatomja megtalálja a tökéletes oxidációhoz szükséges párját.

A benzinre –közelítő összegképlete: C_8H_{18} – a számítások:

(51) $$C_8H_{18}\left(8+\frac{18}{4}\right)\cdot\left(O_2+3{,}76N_2\right)\rightarrow 8CO_2+\frac{18}{4}H_2O+3{,}76\left(8+\frac{18}{4}\right)N_2=$$
$$=8CO_2+4{,}5H_2O+47N_2$$

A fenti egyenletből a sztöchiometrikus levegőszükséglet figyelembevételével kapjuk meg az égéstermék gázok összetételét:

(52) $$n_{CO_2,b}=8\ \text{[kmol } CO_2\text{/kmol benzin]}$$

(53) $$n_{H_2O,b}=4{,}5\ \text{[kmol } H_2O\text{/kmol benzin]}$$

(54) $$n_{N_2,b}=47\ \text{[kmol } N_2\text{/kmol benzin]}$$

(55) $$n_{Gst,b}=8+4{,}5+47=59{,}5$$

Az alkotó gázok mól arányát általánosságban a gázolajnál ismertetett képlet mutatja meg.

A fentiek alapján a gázolaj elégetésekor keletkező égésterméket alkotó gázok részaránya a következőképpen alakul:

(56) $$n_{CO_2,b}=0{,}1344$$

(57) $$n_{H_2O,b}=0{,}0756$$

(58) $$n_{N_2,b}=0{,}7899$$

[Zol05b]

Problémát jelent az, hogy a károsanyag kibocsátási határértékek az évek folyamán változnak, egyre részletesebbé válnak, a kumulált határértékek szerepét az alkotóelemek határértékének pontos megadása veszi át. A határértékek ilyen jellegű összehasonlítása csak akkor lehetséges, ha a kumulált határértéket szét tudjuk bontani az alkotók határértékeire. Erre nyújt segítséget a Thermodinamikából ismert Dalton – törvény, mely szerint ideális gázok elegyeiben az egyes összetevők nyomása ugyanakkora, mint amekkora a gáznyomásuk volna, ha egyedül töltenék be a teret. Ha a kezdeti állapotban a nyomás p_1, s a rendszer térfogata V_1, melyben G súlyú, R gázállandójú ideális gáz T_1 hőmérsékleten van, az általános gáztörvény így írható fel:

(59) $$p_1V_1=GRT_1$$

Ha a végállapotban a nyomás p_2, s a rendszer térfogata V_2, melyben G súlyú, R gázállandójú ideális gáz T_2 hőmérsékleten van, az általános gáztörvény így írható fel:

(60) $$p_2V_2=GRT_2$$

Az izoterma egyenletét felírva:

(61) $$pdv+vdp=0$$

Az általános gáztörvényből és Dalton törvényből következik:

(62) $$pV_i = p_i V$$

Átrendezve:

(63) $$p_i = p\left(\frac{v_i}{v}\right)$$

vagyis:

(64) $$\sum_{i=1}^{n} p_i = p$$

Az általános gáztörvényt felhasználva:

(65) $$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\frac{p_1 V_1}{T_1 R_1}}{\frac{p_2 V_2}{T_2 R_2}} = \frac{p_1 V_1 R_2}{p_2 V_2 R_1}$$

Egyszerűsítve:

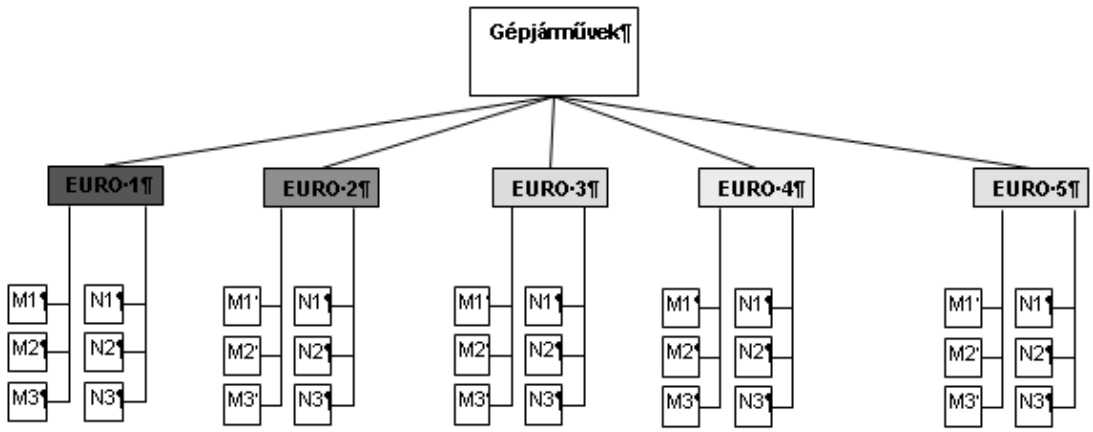
(66) $$\frac{m_1}{m_2} = \frac{p\frac{V_1}{V} V_1 R_2}{p\frac{V_2}{V} V_2 R_1} = \frac{V_1^2}{V_2^2}\frac{M_1}{M_2}$$

6. melléklet: Egy adott útszakaszra vonatkozó légszennyezés becslése

1. lépés: A számítás első lépése a vizsgált útszakaszon jellemző napi forgalom nagyságának meghatározása. Ez történhet meglévő adatok, mérések felhasználásával vagy egyéni adatfelvétellel.

2. lépés: A gépjárműáramlatot csoportokra kell bontani. A csoportosítás alapja a törvényi[28] előírás, amely az alábbi kategóriákat különbözteti meg:

- „M1 járműkategória": személygépkocsik,
- „M2 járműkategória": legfeljebb 5 t megengedett legnagyobb össztömegű autóbuszok,
- „M3 járműkategória": több, mint 5 t megengedett legnagyobb össztömegű autóbuszok,
- „N1 járműkategória": legfeljebb 3,5 t megengedett legnagyobb össztömegű tehergépkocsik és vontatók,
- „N2 járműkategória": több, mint 3,5 t, de legfeljebb 12 t megengedett legnagyobb össztömegű tehergépkocsik és vontatók,
- „N3 járműkategória": több, mint 12 t megengedett legnagyobb össztömegű tehergépkocsik és vontatók,



27. ábra a gépjárművek felosztásának modellezése

3. lépés: A gépjárműáramlat károsanyag kibocsátási szintjének meghatározása. Ehhez vegyük a G mátrixot, amely a gépjárműállomány darabszámát reprezentálja az alábbi ismérv-csoportok alapján (**27. ábra**).

[28] 5/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet

(1) $\underline{\underline{G}} = \begin{vmatrix} g_{11} & \mathbf{L} & g_{i1} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ g_{1j} & \mathbf{L} & g_{ij} \end{vmatrix}$ ahol: g_{ij} a **27. ábra** alapján képzett csoportokba tartozó gépjárművek elemszáma

(2) $\sum_{i=1}^{n} g_{ij} = a_j$ $j=1, \ldots, m$ az EURO[29] j szabványú gépjárművek elemszáma

(3) $\sum_{j=1}^{m} g_{ij} = b_i$ $i=1, \ldots, n$ $\begin{cases} M_i^{\cdot} \mid i:1..3 \\ N_{i-3}^{\cdot} \mid i:4..6 \end{cases}$ osztályú gépjárművek csoportja

(4) $\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} g_{ij} = \sum_{j=1}^{m} a_j = \sum_{i=1}^{n} b_j$ azaz, az összes gépjármű.

A gépjárművek károsanyag kibocsátásának becsléséhez kibocsátási faktort használtam, amely a jelenlegi nemzetközi kutatásokkal is összhangban van. Megvizsgáltam a hazánkban alkalmazott környezetvédelmi felülvizsgálati technológia esetleges adaptációjának lehetőségét, de a gépjárműspecifikus adatok komplexitása az átvételt nem teszi lehetővé. A kibocsátási faktor alapját azok az EURO környezetvédelmi szabvány károsanyag kibocsátási határértékei képezik, melyek az idők folyamán szigorodtak és finomodtak, részletesebbé váltak (5. melléklet: Kumulált károsanyag kibocsátási határértékek szétbontása).

4. lépés A forgalmi folyamatban résztvevő gépjárművek csoportonkénti darabszáma és a forgalmi áramlatban résztvevő gépjárművek csoportonkénti károsanyag kibocsátási faktorának, a megtett úttal való szorzata alapján számítható a forgalmi áramlat károsanyag-kibocsátása [Zol05b]. Az értekezés további részében a gépjárműáramlaton belül csak a személy-gépjárművek által okozott légszennyező hatások elemzésével foglalkozom.

[29] 6/1990 (IV.2.) KöHÉM rendelet 5. mellékletének 2 táblázata alapján definiált EURO előírások

7. melléklet: A gépjárműáramlat járműtipus, EURO környezetszennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosítása

A diverz úthasználati díj kialakításánál figyelembe vettem, a személy-gépjárművek lokális környezetszennyezése miatt az EURO környzetvédelmi kategóriákat[30], illetve a globális környezetszennyezés miatt a gépjárműállomány lökettérfogat szerinti felbontását (KSH).

(67) $$\underline{\underline{H}} = \begin{vmatrix} h_{i11} & h_{i1k} & h_{i1l} \\ h_{ij1} & h_{ijk} & h_{ijl} \\ h_{im1} & h_{imk} & h_{iml} \end{vmatrix}$$

ahol: h_{ijk} hipermátrix a gépjárműáramlat járműkategória, EURO környezetszennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosított elemeit jelöli

(68) $\sum_{i=1}^{n} h_{ijk} = \gamma_{jk}$ $i=1,\ldots,n$ $\begin{cases} M_i^{\cdot} \mid i:1..3 \\ N_{i-3}^{\cdot} \mid i:4..6 \end{cases}$ osztályú gépjárművek csoportja

(69) $\sum_{j=1}^{m} h_{ijk} = \delta_{ik}$ $j=1,\ldots,m$ az EURO[31] j szabványú gépjárművek által okozott károsanyag kibocsátás

(70) $\sum_{k=1}^{l} h_{ijk} = \phi_{ij}$ $k=1,\ldots,l$ az $\begin{cases} 1300cm^3 - ig \\ 1301-1999cm^3 \\ 2000cm^3\ felett \end{cases}$ lökettérfogatú járművek csoportja (KSH csoportosítás alapján)

(71) $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l} h_{ijk} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l}\gamma_{jk} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{l}\delta_{ik} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\phi_{ij}$ azaz, az összes gépjármű.

Mivel disszrtációmban csak a közúti személygépjármű (M1 kategória) áramlattal foglalkozom, ezért i=1. Ekkor az általam kialakított lineáris, diverz súlyokkal jellemzett H_1 mátrix:

(72) $$\left(\underline{\underline{H}}_1\right)_t = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{1k} & h_{1l} \\ h_{j1} & h_{jk} & h_{jl} \\ h_{m1} & h_{mk} & h_{ml} \end{vmatrix}$$

ahol: h_{1jk} mátrix elemei a személygép-járműáramlat, EURO környezet-szennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosított időben változó elemeit jelöli

[30] A hazai gépjárműállomány környezetvédelmi besorolásáról a NKH adott felvilágosítást
[31] 6/1990 (IV.2.) KöHÉM rendelet 5. mellékletének 2 táblázata alapján definiált EURO előírások

(73) $$\underline{\underline{S}} = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{1k} & s_{1l} \\ s_{j1} & s_{jk} & s_{jl} \\ s_{m1} & s_{mk} & s_{ml} \end{vmatrix}$$

ahol: s_{jk} mátrix elemei a személygép-járműáramlat, EURO környezet-szennyezési besorolás és lökettérfogat szerint csoportosításához rendelt súlytényezők, melyekkel a statikus eset költségeit súlyoztam.

Látható, hogy az 1-es és M1 útra használt költégmódosító tényezők azonosak (14. és 15 táblázat).

14. táblázat

Költségek [eHUF] a M1 autópálya használata esetén a komplex környezetterhelés figyelembe vételével

Költségek (M1 autópályán)		cm^3		
		1399-ig	1999-ig	2000-től
		0,75	1,00	1,25
EURO 0	1,50	4,22	5,63	7,03
EURO 1	1,25	3,52	4,69	5,86
EURO 2	1,00	2,81	3,75	4,69
EURO 3	0,75	2,11	2,81	3,52
EURO 4	0,50	1,41	1,88	2,34
EURO 5	0,25	0,70	0,94	1,17

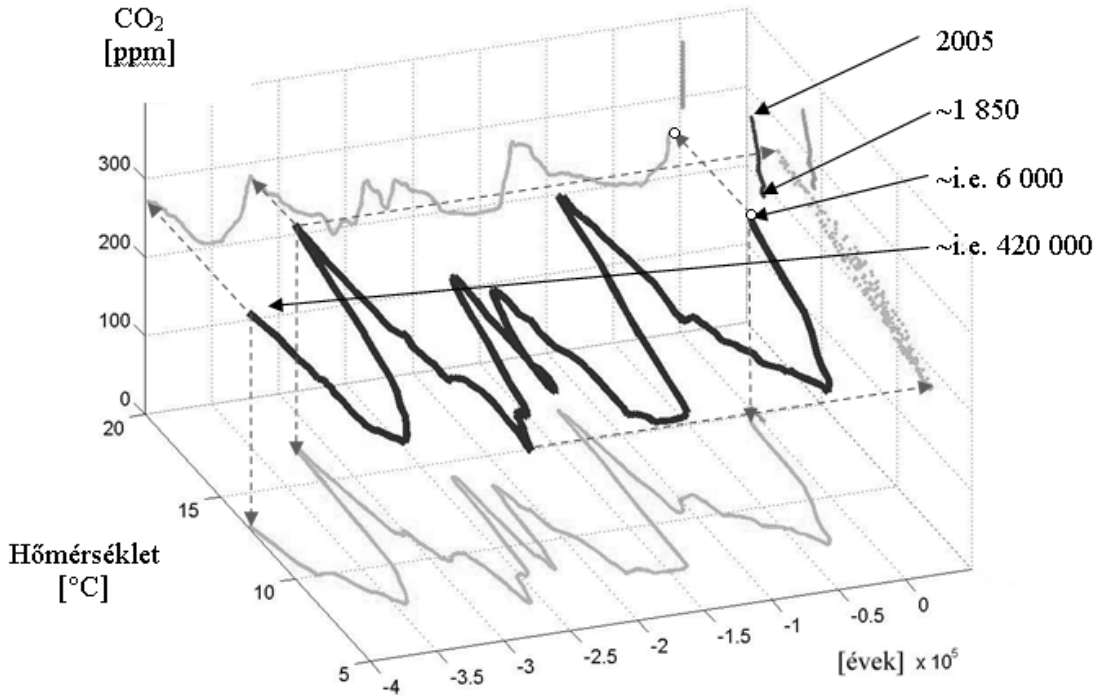
15. táblázat

Költségek [eHUF] az 1 autóút használata esetén a komplex környezetterhelés figyelembe vételével

Költségek (1-es úton)		cm^3		
		1399-ig	1999-ig	2000-től
		0,75	1,00	1,25
EURO 0	1,50	1,13	1,50	1,88
EURO 1	1,25	0,94	1,25	1,56
EURO 2	1,00	0,75	1,00	1,25
EURO 3	0,75	0,56	0,75	0,94
EURO 4	0,50	0,38	0,50	0,63
EURO 5	0,25	0,19	0,25	0,31

8. melléklet: Klímaváltozást okozó közlekedési eredetű széndioxidkibcsátás statisztikai vizsgálata

A múltbéli klímaváltozás leírásához információkat a mélytengeri üledékek, szárazföldi flóra és fauna lerakódásai, valamint a lösz- és a jégrétegek is szolgáltatnak. A jégrétegek által őrzött információk segítségével hozzáférhetünk akár az őskori klíma jellemzőihez is, úgymint hőmérséklet, csapadék mennyiség, páratartalom, szélerősség. A jégnek, mint információforrásnak különös előnye a jégbefagyott levegő buborékok, melyek pontos információt tartalmaznak a múlt légköri gázairól. Az általam felhasznált adatokat egy Oroszország, Amerikai Egyesült Államok és Franciaország között létrejött kutatási keretprogram biztosította, amely a Déli Sark keleti felén található Vostok állomáson (DSZ 78°, KH 106°, tengerszint feletti magasság 3,488 m, átlagos középhőmérséklet -55 C) begyűjtött adatokat dolgozta fel. A vostoki kutatás során 3310 m mélységből gyűjtöttek 400 000 évnél idősebb mintákat [Nat99] (**28. ábra**).



28. ábra A földi átlag hőmérséklet [°C] és az átlagos légköri széndioxid koncentráció [ppm] alakulása az emberi beavatkozás előtt és az emberi beavatkozás hatására [saját szerkesztés]

A kutatásom bemutatja a közlekedés és a klímaváltozás kapcsolatát a földi átlagos középhőmérséklet és az átlagos légköri CO2 koncentráció hosszú idősorai felhasználásával, és elemzi az azonosítható ciklusok és trendek változását.

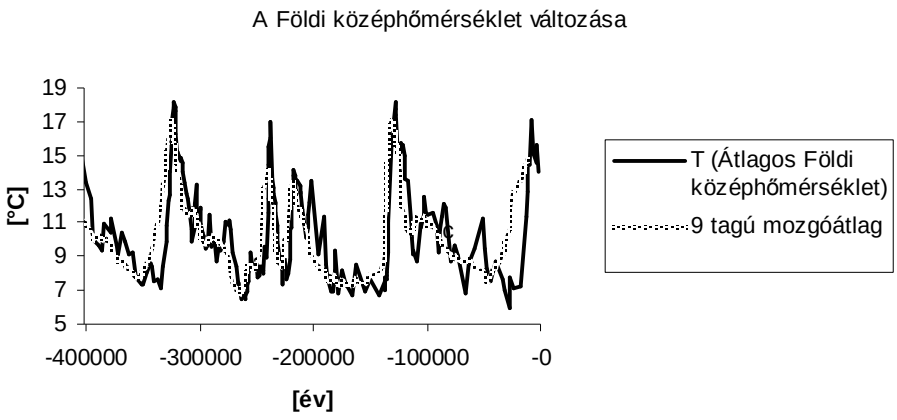
A vizsgálat a környezetbe történő jelentős emberi beavatkozás előtti állapotból indul ki, ez alapján értékelem a jelenlegi helyzetet. Célul tűztem ki a CO_2 koncentráció és a földi középhőmérséklet közötti összefüggés bizonyítását, majd a CO_2 koncentrációt befolyásoló tényezők áttekintését és közülük a közúti közlekedés hatásainak elemzését.

Az adatbázis áttekintését követően - figyelembe véve a minta nagyságát és heterogenitását - elvégeztem az idősorok „összefésülés”-ét. Így mindkét idősor (az átlagos légköri CO2 koncentráció és az átlagos földi középhőmérséklet) mintái ugyanazon időtengelyen értelmezhető (a mintavételek időpontja megegyezett). A műveletek eredményeként a több mint 400 000 évnyi időtávlatot egy 246 elemű, nem ekvidisztáns időközönkénti mintavételezéssel készült alapsokaság írja le

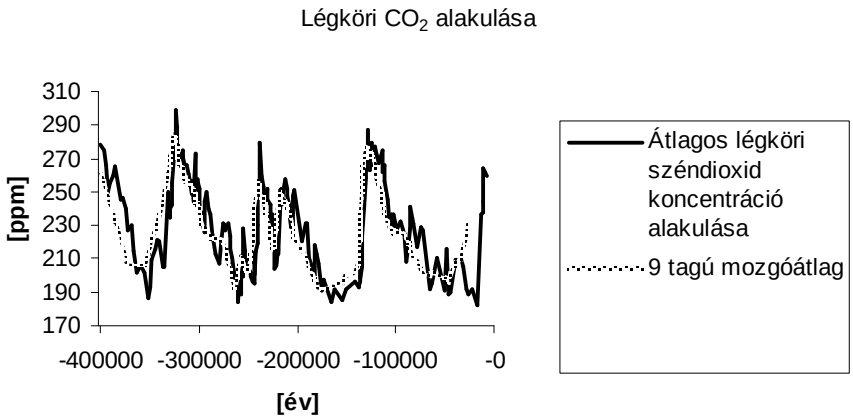
Ez az adatbázis lehetővé tette a hosszú ciklusok tanulmányozását, így jó alapul szolgált a klímaváltozás összefüggéseinek elemzésére. A vizsgálatot a módszertani alapok ismertetésével kezdem, ez után bemutatom a klímaváltozás és a közlekedés között feltételezésem szerint érvényesülő lehetséges összefüggéseket, végül összefoglalom a társadalmi, gazdasági vonatkozású következtetéseket.

Egyszerű technikai eljárásokkal a feltételezett trend a ciklikushatások kiküszöbölésével felfedhető. Ennek a megközelítésnek azonban éppen az a lényege, hogy nem az egyedi, hanem a hosszútávon érvényesülő, összetett hatásokat ragadjuk meg. Az üvegházhatást vizsgálva, abból kell kiindulnunk, hogy nem a teljes légkört, hanem csupán az üvegházhatás szempontjából jellemző összetevő koncentrációját kell vizsgálnunk. Ezért vizsgálatom tárgyául a CO_2 légköri koncentrációja és a Föld átlagos középhőmérséklete közti összefüggést választottam. Vizsgálataimmal bizonyítani kívánom, hogy a vizsgált időszakban (az emberi beavatkozást megelőzően) összefüggés tapasztalható a CO_2 légköri koncentrációja és a Föld átlagos középhőmérséklete között.

A vizsgálatot a földi átlagos középhőmérséklet ciklusának és trendjének elemzésével kezdtem. Az idősor grafikus megjelenítéséből is jól látszik, hogy a földi középhőmérséklet megfigyelésekor lehűlési és felmelegedési fázisok különíthetőek el. A 29. ábra a földi középhőmérséklet változását, hosszú hullámait mutatja, továbbá jól látható, hogy a légkörben felhalmozódott CO_2 is hasonló hullámzást mutat (30. ábra).



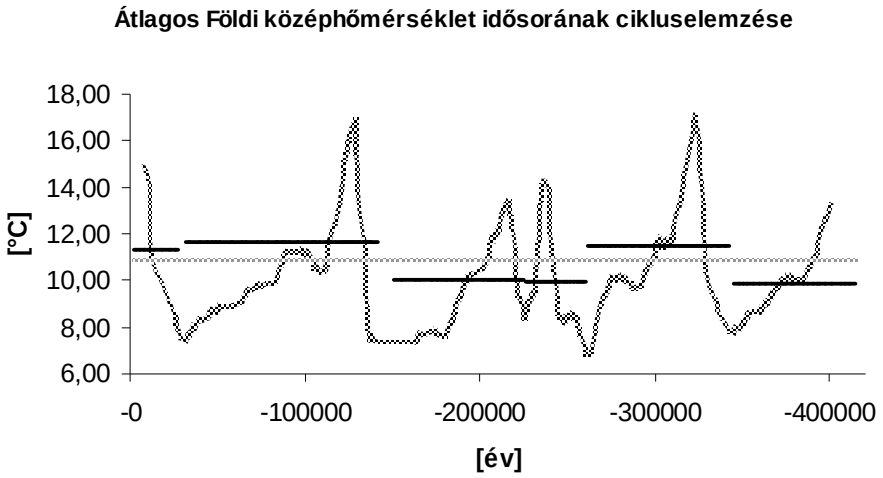
29. ábra A földi középhőmérséklet idősora és 9 tagú mozgóátlaga [*saját szerkesztés*]



30. ábra A légköri CO_2 koncentráció[32] idősora és 9 tagú mozgóátlaga [*saját szerkesztés*]

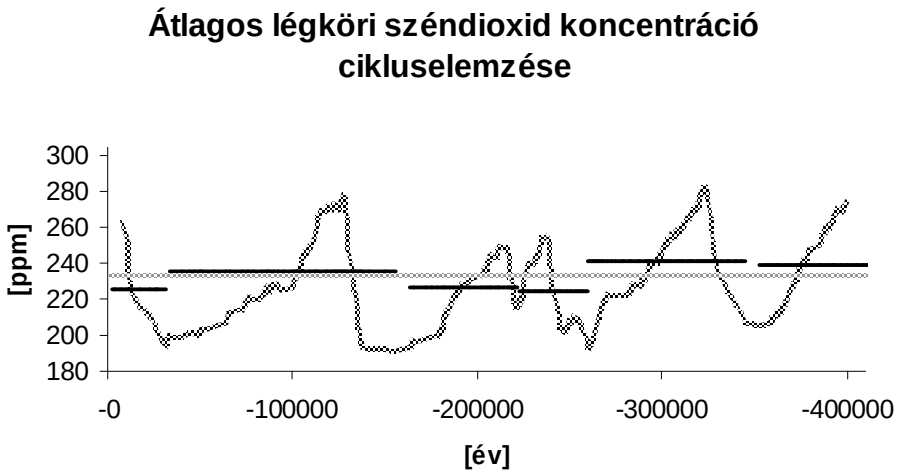
Látható, hogy a 9 tagú mozgó átlagok jól reprezentálják a folyamatot és az egyes időszakok kilengéseit kisimítják, ezért ezen adatokat használom fel a további vizsgálatokhoz.

[32]**ppm (part per million):** Milliomod rész. A térfogatszázalék tízezred része. 10000 ppm = 1 V/V%. A légkörben felgyülemlett CO_2 gáz koncentrációját [ppm] dimenzióban adtam meg.



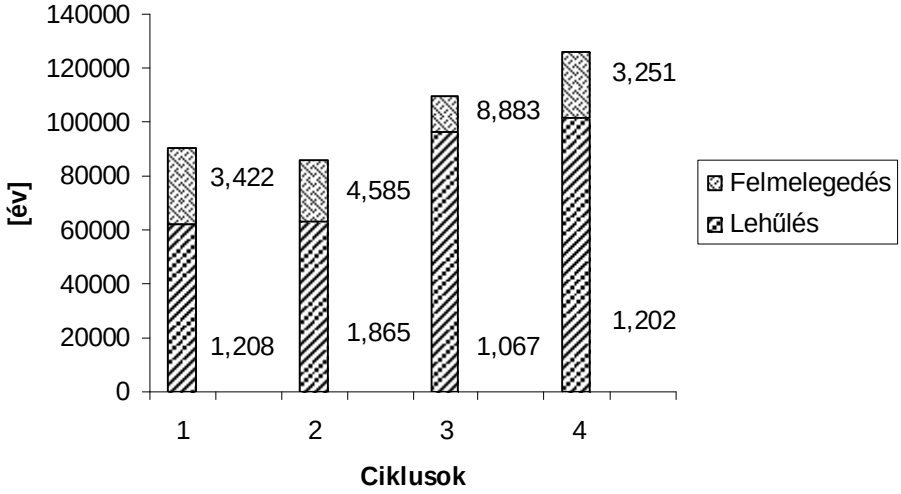
31. ábra Az átlagos földi középhőmérséklet trendje és cikluselemzése [*saját szerkesztés*]

A 31. ábraés 32. ábra ábrán a légköri CO_2 és a földi átlaghőmérséklet hosszú távú trendjeit vizsgáltam. Látható, hogy jelentős változás egyik függvény esetében sem volt tapasztalható. Az idősor egy-egy cikluselemének átlagos középhőmérséklete és átlagos koncentrációja az időtől közel független, állandó értéket mutat, vagyis számottevő, különösen szignifikáns trendhatás nem mutatkozik, nagyon közel esik a teljes idősor átlagértékéhez.



32. ábra A légköri CO_2 trendje [*saját szerkesztés*]

A statisztikai adatok feldolgozásakor a teljes idősor átlagát és szórását használtam fel, egy-egy rendszerként kezelve a hőmérsékletváltozást, valamint a légköri CO_2 koncentráció változását, nem pedig a ciklusokat külön-külön vizsgálva [Mag82]. A következőkben a lehűlések és felmelegedések részidőszakainak egymáshoz viszonyított időbeli hosszát vizsgálom meg. A teljes idősor 4 ciklusra bontható, melyek egy felmelegedési és egy lehűlési fázisra oszlanak. A lehűlések és felmelegedések arányából az alábbi összefüggés olvasható le.



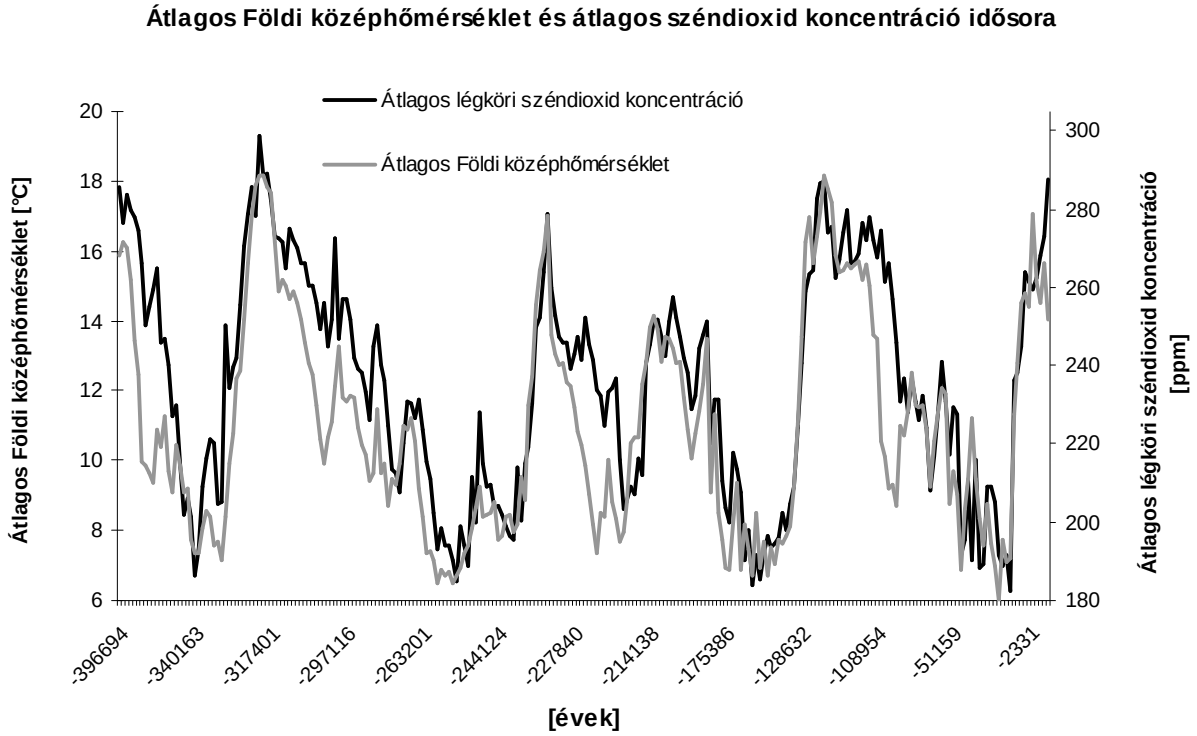
33. ábra A lehűlések és felmelegedések aránya [*saját szerkesztés*]

Az eredmények értékeléséből a periódusidő növekedése prognosztizálható, bár a vizsgálatra alkalmas alacsony ciklusszám nem teszi lehetővé a lehűlések és a felmelegedések egymáshoz viszonyított arányának további elemzését (**33. ábra**). Az oszlopdiagramok mellett látható a lehűlések és felmelegedések sebessége [°C/10 000 év] dimenzióban. (16. táblázat)

16. táblázat
A lehűlések és melegedések statisztikai adatai

	Sebesség [°C/10 000 év]	
	Lehűlés	**Felmelegedés**
Maximum	1,865	8,883
Minimum	1,067	3,251
Átlag	1,336	5,035
Szórás	0,359	2,633

Az adatokból látható, hogy a felmelegedések az emberi beavatkozást megelőzően dinamikusabbak voltak, 3-5-ször gyorsabban zajlottak a lehűléseknél.



34. ábra A normalizált CO_2 koncentráció és földi átlagos középhőmérséklet idősora az emberi aktivitás előtt [*saját szerkesztés*]

A vizsgálatok alapján felállítható (H_0) hipotézis elfogadhatóságát χ^2 próba segítségével igazolom, mely szerint a légköri CO_2 koncentráció és az átlagos földi középhőmérséklet közötti kapcsolat lineáris a vizsgált tartományban.

$$(74) \qquad c^2_{számított} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}} = 118{,}678$$

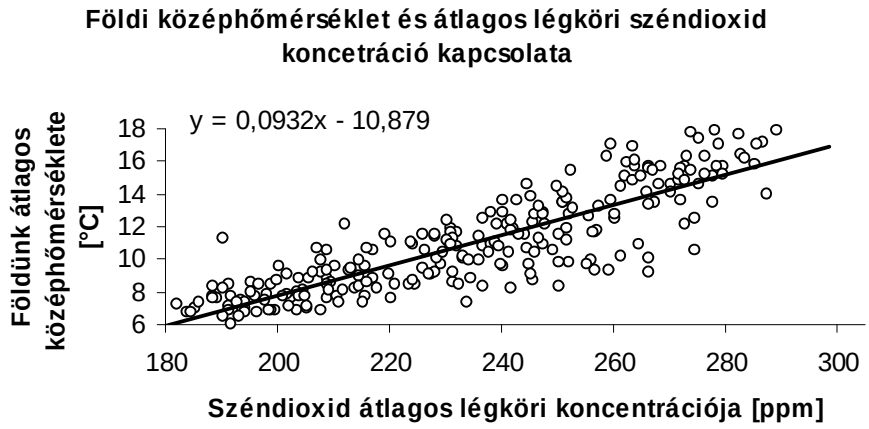
ahol:

f_i: a légköri CO_2 koncentráció átlagos értéke az adott mérési időpontban,
f_{ti}: a földi átlaghőmérséklet értéke az adott mérési pontban.

A $\chi 2$ próbát a 238 értékpáron végeztem el, 5%-os szignifikancia szintet feltételezve. A próba kritikus értéke: $c^2_{krit(0,05;237)} = 273{,}911$. Mivel a $c^2_{krit(0,05;237)} \geq c^2_{számított}$, ezért az elvégzett $\chi 2$ próba eredményeként elfogadható a felállított null-hipotézis, mely szerint 5%-os szignifikancia szinten a mérési tartományban a légkör átlagos CO_2 koncentrációja és a földi átlagos középhőmérséklet között lineáris összefüggés áll fenn.

A statisztikai tesztek nem eredményeznek abszolút biztonságú döntéseket, segítségükkel azonban eldönthetjük, hogy a minta és a populáció között megfigyelt különbségek a véletlennek köszönhetően keletkeztek-e vagy pedig tendenciózusak. A

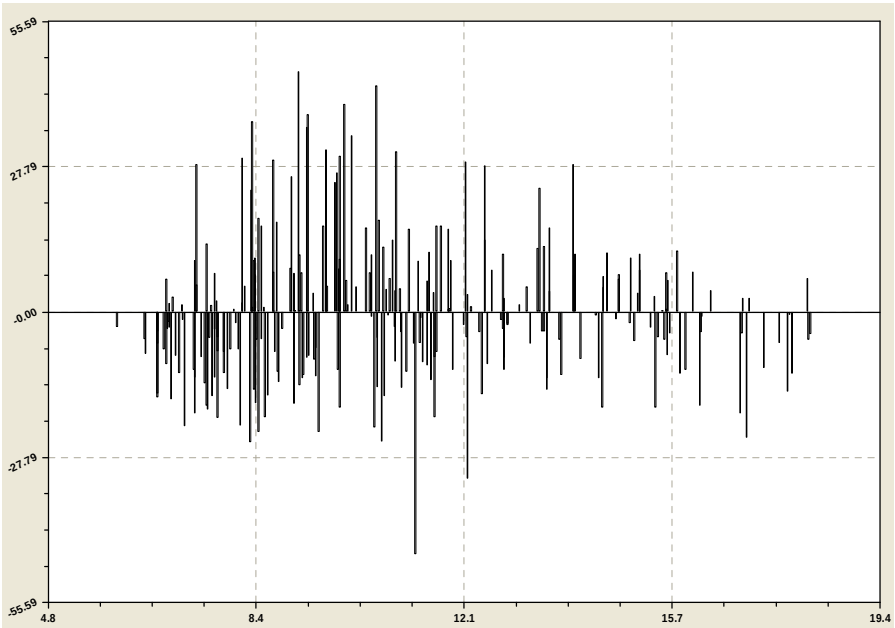
vizsgálat robosztusságát jellemzi, hogy hasonló eredményt adott volna, ha a 238 elemből csak 95 mérési eredmény áll rendelkezésre.



35. ábra Földünk átlagos középhőmérsékletének változása a CO_2 koncentráció függvényében [*saját szerkesztés*]

Az elvégzett számítások alapján szoros korreláció tapasztalható a földi légkörben felgyülemlett CO_2 és az átlagos földi középhőmérséklet között az emberi beavatkozást megelőző szakaszban. ($R^2 = 0,8164$)

A kapcsolatvizsgálat eredményeként kapott lineáris összefüggés felhasználásával összehasonlítottam[33] a mért értékeket a lineáris kapcsolat segítségével kiszámítottakkal. Így kaptam az összefüggés reziduáljait megjelenítő eredményt (**36. ábra**).

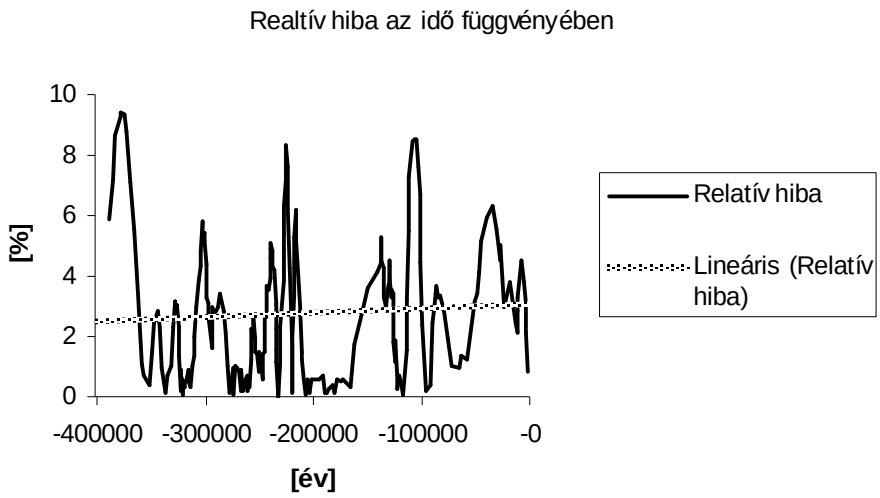


36. ábra A számított és mért CO_2 koncentrációk eltérése a hőmérséklet függvényében [*saját szerkesztés*]

[33] Az összehasonlításhoz a CurveExpert programot használtam.

A **36. ábra** ábráról leolvasható, hogy a számított CO_2 koncentráció kismértékben tér el a mért értéktől. Az eltérések elemzése során kiszámítottam a reziduális varianciát. Mértéke: s_e= 14,409 ppm. Tehát ekkora átlagosan a trendtől eltérő egyedi hatások mértéke.

A kapott értékek vizsgálata alapján a relatív hiba mértéke az időtől független (**37. ábra**). (A relatív hibák adatait a 17. táblázat reprezentálja). Tehát a regresszió analízis által definiált lineáris függvénykapcsolat hibája a mért értékekkel mind az időtől, mind pedig az átlagos légköri CO_2 koncentrációtól függetlenül, kis értéket mutat.



37. ábra A számított és mért CO_2 koncentrációk relatív hibája [*saját szerkesztés*]

17. táblázat
Relatív hibák adatai

Relatív hibák maximuma [%]	9,440
Relatív hibák minimuma [%]	0,030
Relatív hibák átlaga [%]	2,805