

Marton László

**A forgalomelosztás
számítástechnikai modelljeinek
vizsgálata és fejlesztése**

PhD értekezés tézisei

**Budapesti Műszaki Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar
Közlekedésüzemi Tanszék**

1998

1. Előzmények és célkitűzések

A városi és közúti *közlekedési hálózatok vizsgálata és tervezése* komplex tudományos-műszaki feladat, amelynek megoldásában nélkülözhetetlen segédeszközzé vált a modern *operációkutatási* módszerek alkalmazása. Az a, hazánkban három-négy évtizedes múltra visszatekintő folyamat, amelynek során a

matematikai és számítástechnikai modellek és módszerek fokozatosan beépültek a vizsgálatba és tervezésbe, azt is eredményezte, hogy ezek kutatása, fejlesztése, rendszerezése a *közlekedéstudomány* egy jól behatárolható, viszonylag önálló részterületévé vált.

A vizsgálati-tervezési folyamat több fázisra bontható. A lehatárolt *tervezési területet* viszonylag homogén *körzetekre* bontjuk, a valós hálózati elemek bizonyos szintű egyszerűsítésével és absztrakciójával meghatározzuk a *tervezési hálózatot*. Ezután előállítjuk a körzetek közti forgalom mátrixait a *forgalomkeltés*, *forgalomszétosztás* és a *forgalommegosztás* lépéseivel. Általában nem nélkülözhető a hálózati és forgalmi adatoknak a tervezési időszakra történő *előrebecslése*. Ezután következik a *forgalomelosztási*, vagy más néven *forgalomráterhelési (assignment)* eljárás, amelynek során a hálózatban fellépő forgalmi igényeket - valamilyen útvonalválasztási stratégiát feltételezve - elosztjuk (ráterheljük) a hálózat útvonalaira. Egyrészt részleteiben elemezzük a terhelési eredményadatokat, másrészt ezekből további számításokkal, rendezésekkel, csoportosításokkal *komplex* értékelő, minősítő *mutatókat* képezünk, amelyek a *közlekedéspolitikai* döntésekben lényeges szerepet játszanak. Természetesen a gyakorlatban a folyamat iteratív, a végeredmények ismeretében szükségessé válhat egy korábbi fázisra való visszatérés és ismétlés, illetve több variáns párhuzamos vizsgálata.

Az ilyen irányú hazai kutató - fejlesztő munkák és alkalmazások első csúcsidezete a hetvenes évek végén - nyolcvanas évek elején a *budapesti metróépítés* újraindításához kapcsolódott. Ebben az időszakban kapcsolódtam be az ezirányú munkákba.

A ráterhelési modellek kutatása, fejlesztése és alkalmazása folyamán egyrészt egyre bővült a figyelembe vett hálózati és forgalmi adatok köre, ezzel növekedett a rendszerek *komplexitása* és az eredmények *pontossága*, másrészt a gyorsabb, *hatékonyabb* algoritmusok felhasználása azt eredményezte, hogy egyre *nagyobb* hálózatokat lehet kezelni, illetve adott tervezési idő alatt egyre *több* hálózati *variánst* lehet megvizsgálni.

A kilencvenes években új lendületet adott ennek a területnek az *autópályahálózat* kibővítésének tervezése (különös tekintettel az útdíjas autópályákra). Az alkalmazások egy egész sor minőségileg új modellezési problémát vetettek fel, témát, feladatot adva saját kutatómunkámnak is.

A dolgozatban a *forgalomráterhelési* fázissal foglalkozom, különös tekintettel az ebben kulcsfontosságú szerepet játszó *útvonalválasztási* eljárásokra, valamint bizonyos, a gyakorlatból adódó *speciális tervezési helyzetek* modellezhetőségére. *Céлом egyes meglevő eljárások, algoritmusok továbbfejlesztése, valamint új modellezési megoldások kidolgozása volt.*

2. Az alkalmazott módszerek

A kitűzött célok eléréséhez az egyik fontos tevékenység az *irodalomkutatás*. Ennek során áttekintettem a hazai és külföldi kutatások állását, a témámmal kapcsolatos publikációkat és rendszerismertetőket. Meggyőződtem arról, hogy egyes, a gyakorlat igényeiből adódó tervezési részfeladatok modellezése hiányzik, vagy nem teljes körűen lefedett az általánosan ismert és használt rendszerekben.

A hagyományos (könyv, folyóirat) formájú szakirodalom mellett egyre inkább érdemes figyelmet fordítani a világhálózati (INTERNET) információszerzés lehetőségére is. Itt ismerkedhetük meg a leggyorsabban (bár általában inkább csak felszínesen, kereskedelmi szinten) egyes programtermékek új verzióival, szolgáltatásaival. Ez vonatkozik egyes közlekedéstervezési programcsomagokra is. Dolgozatom egy részében ilyen módon szerzett információkat is felhasználtam.

Egy másik nagyon fontos kutatási eszközöm a gyakorlati közlekedési hálózattervezési munkában való részvétel, a közvetlen *alkalmazási tapasztalatok* gyűjtése és elemzése. Az általam kidolgozott *számítógépes programrendszer* üzemeltetése során nagyon sok és sokféle tervezési helyzetben volt alkalmam arra, hogy új eljárásaim hatékonyságát valamint modelljavaslataim megfelelőségét és alkalmazhatóságát kipróbáljam, konkrét méréseket végezzek. Az *alkalmazások visszajelzéseinek* is fontos szerepe van célkitűzéseim megvalósításában, kutatási eredményeim létrejöttében.

3. Új tudományos eredmények

3.1. Kidolgoztam a *lépcsős kapacitáskorlátos* forgalomráterhelési modell egy, a számítástechnikai erőforrásokat hatékonyan kihasználó implementációját. Ezen belül, egy jól megválasztott hálózati tranformációs módszerrel, megoldottam a *csomóponti ellenállások* és a csomóponti eredmények kezelésének feladatát valamint a forgalmi rétegek szétválasztásának és problémáját, beleértve a körzetenként és rétegenként eltérő *forrás/nyelő* súlyozást is. A *csomóponti mátrix* fogalmát bevezetve és felhasználva, hatékony és egyszerű módszert dolgoztam ki az alaphálózati és a transzformált hálózati modell közti adatcserékre, adatkonverziókra.

3.2. Egy *új algoritmust* készítettem a minimális ellenállású útvonalak meghatározására. Ez a minimális fa-építés *címke-beállító* algoritmuscsaládjához tartozik. Ezek az algoritmusok a fa-építés alatt a hálózati pontokat három diszjunkt

halmazba osztják: végleges címkével és távolsággal rendelkező pontok, az ideiglenes címkével és távolsággal rendelkező *aktív* pontok, még nem érintett pontok. A fa mindig az aktív pontok halmazából a minimális távolságú pont kiválasztásával épül tovább. Az elvi eljárást elemezve belátható, hogy az ilyen algoritmusok hatékonysága az *aktivitás halmaz elemszámán, valamint tárolási, kezelési módján, számítástechnikai reprezentációján* múlik. Az ismert algoritmusvariánsok speciális reprezentációkat alkalmazva igyekeznek a hatékonyságot javítani. Ezeket vizsgálva levontam a következtetést, *hogy az aktív elemek számának csökkentése* bármely reprezentációnál *javulást eredményez az algoritmus hatékonyságában*. A programfuttatási mérési eredmények is igazolták azt, ami elvi megfontolásokból is várható volt, hogy a közlekedési hálózatoknál az *aktivitás halmaz* túl bő, sok olyan pont van, amely a halmazba való bekerüléséhez képest csak *több lépésnyi várakozás* után kerül a minimumpozícióba. Célszerű tehát egy-egy lépésben kevesebb új pontot bevonni, elsősorban olyanokat, amelyek nagyobb eséllyel juthatnak a minimumpozícióba, de természetesen gondoskodva arról, hogy mindig bent legyen az elméletileg következő minimumpont. Az új algoritmus azon az észrevételre alapszik, hogy *az egy pontból kiinduló élek csak hosszuk szerint növekvő (nemcsökkenő) sorrendben kerülhetnek be a minimális fába*, így a vizsgálatnak is célszerű ezt a sorrendet követnie. Erre alapozva definiálom az *aktivitás halmaz* egy olyan *új konstrukcióját*, amelyre bebizonyítom, hogy kisebb halmazzal dolgozva, kevesebb számítási lépésben is *helyes eredményt* ad. Konkrét hálózatokon demonstrálom azt is, hogy a *javítás tényleges, a hatékonyság* a módszer alkalmazásával határozottan *nő*.

3.3. Egy új algoritmust készítettem a második minimális útvonalak meghatározására. Ez a *deviációs* elvű algoritmusok közé tartozik. A deviációk képzésével könnyen generálhatók a *második, harmadik ... k - adik* minimális utak, de a módszer alapvető problémája az, hogy ezek az utak *nem mindig körmentesek*. A *körmentesség* biztosítása egy olyan követelmény, amely legalább egy *nagyságrenddel* megnöveli a számításgényt. A probléma részbeni megoldására kidolgoztam egy iteratív eljárást, amely az *egy pontból* mint kezdőpontból *kiinduló második legrövidebb utakat* határozza meg, az esetleges körös utakat is korrigálva. Az eljárás a közlekedési hálózatokra alkalmazva nagyon hatékonyan bizonyult. Eltekintve a körmentesség problémájától, bebizonyítható, hogy alkalmazásának számításgénye *nagyságrendben nem tér el* a minimális utakétól, emellett - az alkalmazási tapasztalatok szerint - az algoritmus csak az esetek igen kis, szinte elenyésző részében generál *körös*, tehát korrigálandó második utakat.

3.4. Kidolgoztam az *autópályahálózat*, mint speciális kezelést igénylő *részhálózat* beillesztését a forgalomráterhelési hálózati modellbe. A jelen időszakban kiemelt feladatcsoport a magyarországi *autópályahálózat* kibővítésének tervezése. Ebből

adódóan a hálózati modellekben is meg kell jeleníteni az *autópályát*, amely az általános esethez képest több és többféle jellemzővel is bír, tehát bonyolultabban modellezhető, de cserébe több és többféle eredményt is ad. Ilyen jellemző például az *útdíj* és nagyon hasznos szolgáltatása a modellnek a meglévő vagy tervezett autópályák *díjérzékenységi* vizsgálatának lehetősége. Az autópályá-részhálózat minden szakaszára *adott* (ill. egyértelműen számítható) egy *költségadat*, amely függ magától a szakasztól és a járműkategóriától (forgalmi rétegtől). A modellbe való beillesztésnél a szakasztól való függés egy új alaphálózatbeli *éljellelmezővel* jeleníthető meg. Ez egyben meghatározza magát a *részhálózatot* is. A lépcsős ráterhelésnél az (autópályadíjból adódó) élköltség rétegfüggő, így lépcsőnként újraszámítandó. Ez a számítás egyszerűen beilleszthető a hálózat-transzformációba, az aktuális éllellenállás számításának részeként.

3.5. Megvizsgáltam a közlekedéspolitikailag is fontos *autópályá díjkezdvezmények* beillesztését a modellbe, néhány olyan esetre, amely nagy valószínűséggel gyakorlati alkalmazásra is kerülhet. Kiemelem a modellezés szempontjából legbonyolultabb elem, a *viszonylati kedvezmény* megvalósítását. Itt a fő nehézséget az okozza, hogy egy utszakasz költsége attól is függeni fog, hogy a szakasz mely útvonal részeként szerepel. A feladatot a *viszonylati él* definiálásával oldom meg. Ez egy fiktív él a kedvezményezett viszonylatban. *Jellemzőinek az útvonalválasztáshoz való helyes megállapítása, és a ráosztott forgalom valós hálózati elemekhez rendelése* a két felvetődő és a dolgozatban teljeskörűen megoldott modellezési feladat.

3.6. Megoldottam a *részhálózatok* beágyazott forgalmi vizsgálatának beillesztését a modellbe. Ez a speciális feladat elsősorban szintén az *autópályákkal* kapcsolatban fordul elő, de más esetekben is felmerülhet tervezői igény bizonyos hálózatrészek olyan jellegű részletesebb vizsgálatára, amely a részhálózat bizonyos pontjai közt lebonyolódó forgalmakat, valamint az ezekhez tartozó további értékeket (utazási hossz, idő, költség) emeli ki. A hálózati modellben a hálózatrészt - egy éljellelmezővel - mint *élhalmazz* emeljük ki tehát a *részhálózatot* a *kiemelt élek és végpontjaik* alkotják. Az eredményadatok gyűjtése (illetve az elkülönítése) csak az *útvonalválasztás - ráterhelés* modulban lehetséges, amikor megvan az információ az *útvonalak* összerakásához, az útvonal és a részhálózat viszonyának vizsgálatához. Emiatt - mint a részhálózathoz tartozó adatstruktúrákat - ténylegesen fel kell vennünk a megfelelő *gyűjtőmátrixokat*. Természetesen ugyanígy lehetséges a *rétegenkénti* eredmények képzése.

4. Az eredmények hasznosítása

A dolgozatban tárgyalt elvek és módszerek alkalmazásaként valósult meg egy több évig fejlesztett, általam tervezett, és csoportmunkában kivitelezett, nagy méretű és komplexitású számítógépes programrendszer, amely - gyakorlati tervezési feladatokhoz - *széleskörű hazai* alkalmazásra került és *külföldi* felhasználási referenciával is rendelkezik, valamint a Széchenyi István Főiskolán szakirányú oktatási anyagként is szolgál.

A NETWINFO egy közúti *információs és közlekedéstervezési* programcsomag és az alkalmazások során a körülötte kialakult tervezési - alkalmazási *metodika*. A programrendszer magja a lépcsős forgalomelosztási eljárás, de ez körül van véve *információs, adat-előkészítő és eredmény-feldolgozó* modulokkal, ide értve nem csak a technikai modulokat, hanem olyan, önmagukban is összetett és *önállóan is alkalmazható* részeket is mint a forgalomkalibrációs - előrebecslési modul, amely körzetszintű forgalmi mátrixokat állít elő. A funkciók széles köre *grafikusan* is támogatott.

Közlekedéstervezői szempontból a rendszer fő moduljai:

- *Forgalomráterhelés.* A dolgozatban vizsgált lépcsős ráterhelés egy megvalósítása.
- *Részterület kiemelés.* Egy ún. *kordonokkal* körülhatárolt tervezési területrészből és egy a teljes tervezési területhez tartozó körzetszintű *forgalmi mátrixból* egy új, önálló *tervezési szituációt* állítunk elő.
- *Forgalom előrebecslés - kalibráció.* Kétféle módszer adott a programcsomagban. Egyik egy körzetenkénti *két növekedési tényezős* modell, a másik hálózat és forgalomfüggő: adott körzetszintű forgalmi mátrixot *kalibrálunk* a hálózaton előírt terhelési adatokhoz mint *peremfeltételekhez*.

A NETWINFO programrendszer főbb referenciáit az alábbiakban adom meg. A teljes listát, amely közel negyven hivatkozásból áll, az értekezés tartalmazza, itt csak a kilencvenes évekre eső legfontosabb alkalmazási referenciáit sorolom fel.

	Téma	Alkalmazó és időszak
1	Traffic survey and data elaboration on the Motorway M1	Bouygues (France)-Bauconsult Győr,1992
2	Ergänzende Verkehrsprognose für die Grenzüberschreitenden Strassen	Ingenieurbüro Kribernegg (Österreich,Graz), 1992
3	Verkehrskonzept Meran, Gleisdorf und	Ingenieurbüro Kribernegg

	Téma	Alkalmazó és időszak
	Badgastein	Österreich, Graz,,1993
4	Preliminary traffic data and forecasting on the Motorway M7 Hungary	BAMEST (Italy)-Bauconsult,Győr, 1993
5	Traffic survey, forecast and sensitivity analysis of tolls for evaluating the tender of Motorway M5 on Hungary	Bouygues (France) - Bauconsult,Győr 1993 - 1994
6	Folyamatos forgalmi adatszolgáltatás és konzultáció Győr város úthálózatán az M1 autópálya ütemezett üzembehelyezésekor várható forgalmi változásokról	Polgármesteri Hivatal Győr - Bauconsult Győr 1993 - 1994
7	Verkehrsuntersuchung Mürzzuschlag	IKK Graz, 1995
8	Az M3 autópálya forgalmi és díjbevételi tanulmánya	Object Kft. Budapest - Bauconsult Győr, 1996
9	Verkehrsuntersuchung "Umfahrung Freistadt"	IKK Graz 1996
10	Verkehrsuntersuchung Halbanschlußstelle Gratkorn	IKK Graz 1996
11	Az M1 autópálya és a 10 sz. főút közötti forgalommegosztás vizsgálata	KTI Rt. - Bauconsult Győr, 1996
12	Az M3 autópálya díjkezdvezmény rendszerének forgalmi és bevételi hatásvizsgálata	Trafficon Kft. Budapest - Bauconsult Győr 1997
13	Verkehrsuntersuchung Vollausbau Anschlußstelle Spielfeld	IKK Graz 1997
14	Az M7 autópálya forgalmi vizsgálata	Bauconsult Győr, 1997
15	Az M7 autópálya forgalmi méretezésének eredményei és fejlesztésének javasolt ütemezése	ENCON Kft. Budapest - Bauconsult Győr, 1998
16	Az M30 autópálya korridor forgalmi vizsgálata, forgalmi és díjbevételi prognózisai	Trafficon Kft. Budapest - Bauconsult Győr 1998
17	Az M9 autópálya déli szektorának forgalmi és díjbevételi prognózisai	UKIG Budapest - Bauconsult Győr, 1998
18	Az M43 autópálya forgalmi és díjbevételi prognózisai	UKIG Budapest - Bauconsult Győr, 1998
19	Az M5 korridor hatásterületének forgalmi vizsgálatai valamint forgalmi és díjbevételi prognózisai	UKIG Budapest - Bauconsult Győr 1998
20	Verkehrsuntersuchung Umfahrung Hartberg	IKK Graz, 1998

5. Publikációk az értekezés témakörében (időrendben)

- 1 . Marton, L.- Bakó, A.: *A k-adik legrövidebb út meghatározása csomóponti veszteségek esetén*
KTMF Tudományos Közlemények **1**, 371-375 (1978)
- 2 . Marton, L. - Zaupper, T.: *K-adik utas algoritmusok*
Matematikai és számítástechnikai módszerek a közlekedés tervezésében és irányításában II.
Győr, KTMF 26 - 32 (1978)
- 3 . Marton, L.: *Minimálisút algoritmusok közlekedési hálózatokra*
KTMF Tudományos Közlemények **2**, 219-222 (1979)
- 4 . Bakó, A.-Marton, L.-Takács, B.-Vesztergál, L.: *Egy interaktiv modell úthálózatok optimalizálására.*
KTMF Tudományos Közlemények **1**, 33-36 (1981)
- 5 . Bakó, A.-Marton, L.-Takács, B.-Vesztergál, L.: *Városi úthálózat változatok gazdaságossági elemzése.*
Városi Közlekedés **5**, 245-262 (1981)
- 6 . Bakó, A.- Marton, L.: *AMT eljárás területi tervezési feladatok megoldására.*
I. Magyar AMT Konferencia, Budapest, 1982.
- 7 . Bakó, A.- Marton, L.: *Komplex forgalomtervezési eljárások számítógépes megvalósítása.*
KTMF IV. Tudományos Ülésszak, Győr, KTMF 1984.
- 8 . Bakó, A.-Berényi, J.-Marton, L.-Szántai, T.: *Gyalogosforgalmi terek tervezése személyi számítógéppel*
KTMF V. Tudományos Ülésszak, Győr, KTMF 1987.
- 9 . Bakó, A.- Marton, L.: *Road networks and traffic information system*
Conference of computer applications in road and transport planning. Győr, KTMF 1990
- 10 . Kálmán, L.-Koren, Cs.-Marton, L.: *Informationssystem für Strassennetze*
Computeranwendungen für Strassenentwurf und Verkehrsplanung, Internationaler Workshop Technische Universität Graz, 1991
- 11 . Kálmán, L.-Marton, L.-Pusztai, P.: *A NETWINFO úthálózati és forgalmi információs rendszer.*
Közúti közlekedési nyári egyetem Győr, 1993
- 12 . Marton, L.- Pusztai, P.: *Informationssystem und Verkehrsplanung für Strassennetze*
Computeranwendungen für Strassenentwurf und Verkehrsplanung, Internationaler Workshop -Berichte Technische Universität Graz, 67-68 (1993)
- 13 . Csicsely-Tarpay, M.-Bakó, A.-Gáspár, L.-Marton, L.: *Hungarian pavement management system for the road network of a city.*
International Conference on Pavement and Airfield management. Singapur, 1995.
- 14 . Marton, L.: *Számítógépes forgalomelosztás*
Új Alaplap **6**, 7-10 (1996)
- 15 . Marton, L.: *A NETWINFO programrendszer*
Új Alaplap **6**, 13-14 (1996)
- 16 . Marton, L.: *A csomópontok kezelése a forgalomelosztási eljárásban*
Városi Közlekedés **5**, 281-284 (1996)
- 17 . Marton, L.: *A forgalomelosztási feladat egy útkereső eljárása.*
Közlekedéstudományi Szemle **7**, 248-253 (1996)
- 18 . Marton, L.- Pusztai, P.: *Gráfok és hálózatok kezelése számítógéppel I.-VI.*
(cikksorozat) Új Alaplap **4-9**, (1997)
- 19 . Marton, L.: *Az autópálya viszonylati díjkezdmények modellezése a számítógépes forgalomelosztási eljárásban*
Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle **11**, 415-417 (1997)
- 20 . Marton, L.: *A közlekedési hálózatok tervezésének néhány adatmodellezési problémája*
SZIF Jubileumi Tudományos ülészak Győr (1998)
- 21 . Marton, L.: *Egy címkéző eljárás a legrövidebb utak fájának meghatározására ritka hálózatokban*
Alkalmazott Matematikai Lapok **19** (1999) (közlésre elfogadva)
- 22 . Marton, L.: *Modelling motorway toll in traffic assignment*
Slovak Journal of Civil Engineering (1999) (közlésre elfogadva)
- 23 . Marton, L.- Pusztai, P.: *A NETWINFO programrendszer felhasználói kézikönyve*
Bauconsult Mérnökiroda, Győr (1998)
- 24 . Marton, L.: *On Modelling Traffic Assignment*
Hungarian Electronic Journal, <http://heja.szif.hu>
(közlésre leadva)
- 25 . Marton, L.: *A label-setting method to determine the tree of shortest paths in sparse networks*
Central European Journal of Operations Research (közlésre leadva)

Marton László

A forgalomelosztás
számítástechnikai modelljeinek
vizsgálata és fejlesztése

PhD értekezés tézisei

Budapesti Műszaki Egyetem
Közlekedésmérnöki Kar
Közlekedésüzemi Tanszék

1998