

Bírálat

Farkas András

**Közlekedési rendszerek fejlesztése és értékelése többtényezős döntési eljárások felhasználásával
(Appraisal and Development of Transportation Systems Using Multiple Criteria Decision Making Methodology)**

című doktori értekezéséről

Általános megjegyzések

A 146 oldalból álló angol nyelvű értekezés a szállítás és közlekedési rendszerek fejlesztésének több kritérium döntési módszereivel foglalkozik. Angol nyelvű címe, *„Appraisal and Development of Transportation Systems Using Multiple Criteria Decision Making Methodology.”*

Az értekezés érdemi része 6 fejezetből áll. Ezt megelőzi egy rövid „Előszó”, illetve a rövidítések egy oldalas jegyzéke. A tartalmi szempontból érdemi fejezeteket egy összefoglaló és 6 tézis megfogalmazása követi. Az utóbbiakban a Jelölt munkássága és értekezése legfontosabb eredményeit foglalja össze. Ezt követi egy részletes irodalomjegyzék, mely tartalmazza a Jelölt legfontosabb publikációit is. Ezután 3 melléklet következik, melyek mindegyike az értekezésben bemutatott matematikai modellek legfontosabb részletes matematikai sajátosságaival, algoritmusaival stb. foglalkozik. (A Szerző 30 publikációját adja meg). A Jelölt témaválasztása feltétlenül korszerűnek mondható, mind a választott kutatási terület, mind az alkalmazott matematikai módszerek szempontjából. Az értekezés felépítése arányos, jól szerkesztettnek tekinthető, angol nyelvezete is megítélésem szerint jónak mondható. A Szerző nagyon helyesen az egyébként fontos matematikai részletkérdések jelentős részét külön-külön mellékletekben foglalta össze. Mindezek mellett azt is el kell mondanom, hogy véleményem szerint az értekezés érdemi 90 oldala kissé túlszűfoltnak tekinthető, egyes helyeken „feleslegesen” részletez, míg más helyen túlzottan tömör, ahol is ez a tömörség gyakran szerintem az érthetőség rovására is megy. Talán itt is igaz az ismert „tétel”, hogy a kevesebb valószínűleg több lett volna. Legalább is az értekezés olvasója és értelmezője számára.

Tartalmi megjegyzések

Mint már említettük az értekezés leginkább érdemi 90 oldala 6 fejezetből áll. Az első fejezet közlekedési-szállítási rendszerek fejlesztésének alapvető fogalmaival, elnevezéseivel foglalkozik, különös tekintettel a döntéshozatali folyamatok, az intelligens tervezés és döntés előkészítés megalapozása céljából. Az értekezés második fejezete több kritériumú döntési módszerekkel foglalkozik, részben közlekedés mérnöki, részben építőmérnöki projektek matematikai módszerekkel történő megalapozása céljából. A fejezet érdekes alkalmazása egy értékelési és kiválasztási módszer bemutatása a hídtervezésben. A harmadik fejezetben

úgynevezett analitikus hierarchikus folyamat fejlesztésének kérdéseit tárgyalja a Szerző. Ebben a fejezetben döntően az alkalmazott matematikai módszereket mutatja be a Jelölt, melyek döntő részben mátrix-algebrai jellegű megközelítéseket tartalmaznak. Itt különösen érdekes a tranzitív mátrixok perturbációinak spektrumát tárgyaló kifejezetten matematikai jellegű alfejezet. Ezt a Szerző a makrogazdasági dinamikus input output analízisekben alkalmazza a gazdasági növekedés matematikai modellezés céljából. Ugyancsak érdekesnek tekinthető a járművek rendszerdinamikájára alkalmazott probléma matematikai modellezése is vasúti kocsik esetén. Az értekezés negyedik fejezete ugyancsak döntő részben sajátos mátrix algebrai megközelítések és módszerek bemutatásával foglalkozik, elsősorban nemlineáris modellezési problémák megoldása érdekében. Az ötödik fejezet az úgynevezett SR mátrixok kiegyensúlyozásával foglalkozik tranzitív mátrixok segítségével. Ez a fejezet is elsősorban mátrix-algebrai „technikai” jellegű problémákkal foglalkozik, melyek fontos eszközt biztosítanak a közlekedési-szállítási matematikai modellek megalapozására. Végül a hatodik fejezet egy sajátos kombinált skálázási módszer fejlesztését mutatja be, amelyet a Jelölt alkalmaz is az autóbuszok üzemeltetési hatékonyságának javítása céljából.

Az értekezésben bemutatott eredmények értékelése és kritikája a hat fejezet, illetve a hat tézis szerinti bontásban

1. Közlekedési rendszerek fejlesztése

- 1.1 A közlekedési rendszerek jellemzői, alapvető fogalmak és definíciók
- 1.2 Az EU-ban és Magyarországon hatályban lévő közlekedéspolitikai koncepciók
- 1.3 A fenntartható közlekedés egy szekvenciális közlekedéspolitikai (STP) modellje
- 1.4 Közlekedési rendszerek tervezése és döntéshozatali folyamatai
 1. *Alkalmazás: Földalatti vasút tervezése intelligens GIS rendszer felhasználásával*

Az értekezés érdemének tekinthető, hogy olyan tudományos megközelítést alkalmazott, amelyik a szorosan vett közlekedési rendszerek és hálózatok mellett a kapcsolódó építőmérnöki objektumokat, létesítményeket és szerkezeteket, továbbá a járműveket és a kiszolgáló eszközöket (mesterségesen létrehozott infrastruktúra), valamint a környezet természeti gazdasági és társadalmi jellegű elemeit összefüggő egységes rendszerbe foglalta az emberi igények messzemenő szem előtt tartásával (2-3 o., és 1. ábra). A Jelölt e szemléletmód előnyeit meggyőző módon demonstrálta az értekezésben bemutatott különböző alkalmazásoknál.

Megállapítható, hogy a 8-11. oldalakon részleteiben leírt, négyfázisú, sorosan kapcsolt, általa elsődleges prioritásúnak tartott célokat tárgyaló, “szekvenciális közlekedéspolitikai keretrendszer” egyes fázisai egységes szerkezetben vannak megjelenítve és tartalmuk is jól érthető. Kifogásolható azonban, hogy a Jelölt, egy alkalmasan választott illusztratív jellegű gyakorlati példán keresztül nem mutatta meg azt, hogy hogyan képzei el ennek a modellnek az implementációját.

Kiemelendő a térbeli döntéshozatali rendszerek közlekedési alkalmazására bemutatott intelligens GIS-alapú metróhálózat tervezési folyamat és a konkrét megvalósíthatósági terv dokumentált bemutatása, amelyből megállapíthatók az általa javasolt ún. ”értékorientált” tervezés előnyei (1. Alkalmazás, 18-23. o.). Sajnos nem derülnek ki azonban ennek hátrányai, például, hogy ilyen módszerek felhasználása esetén vajon milyen jelentős mennyiségű adatra és információra volna szükség, amelyek valódi alkalmazások során és ezek vajon hogyan is biztosíthatók?

2. Többkritériumú döntéshozatali (MCDM) módszerek és gyakorlati felhasználhatóságuk

- 2.1 Az MCDM módszerek taxonómiája és azok alkalmazhatósága közlekedésmérnöki és építőmérnöki projekteknél
- 2.2 Az analitikus hierarchia folyamat (AHP) módszere és alkalmazásai
 2. *Alkalmazás: Különböző konstrukciójú hídszerkezetek értékelése és kiválasztása az AHP módszer segítségével*
 3. *Alkalmazás: Előfeszített vasbeton csarnokszerkezetek esztétikai arculata*

Az MCDM módszerek által használt fogalmak világos és pontos meghatározását és a módszereknek gazdag összefoglalását adja az A) Függelék (105-130 o.), ahol néhány megoldott közlekedési és építőmérnöki probléma tömör leírása is megtalálható. Ez az áttekintés igen alapos munkát takar, amit a felhasznált nagyszámú szakirodalmi tétel is tanúsít.

Az AHP módszert felhasználó, a különböző hídszerkezetek értékelését (2. Alkalmazás 29-32. o.), valamint az előfeszített vasbeton főtartók felhasználásával épített egyszintes csarnokok rangsorolását bemutató esettanulmányok (3. Alkalmazás 33-34. o.) igen jól illusztrálják a módszer által származtatható eredményeket, egyúttal rávilágítanak annak korlátaira is. Ezek az alkalmazások műszaki szempontból korrektek. Megjegyezhető azonban, hogy a Szerző nagyobb nyomatékkal hívhatta volna fel a figyelmet arra, hogy az ipari praxisban ilyen szerkezetek komplex tervezésénél ez a módszer csupán csak kiegészítő eszközként szolgálhat.

3. Az AHP módszer továbbfejlesztése

- 3.1 Előzmények
- 3.2 Tranzitív és szimmetrikusan reciprok (SR) mátrixok
- 3.3 Néhány SR perturbált tranzitív mátrix spektruma
- 3.4 A rangsorfordítás jelensége
 4. *Alkalmazás: Az AHP prioritási rangsora elemeinek fordítási problémája*
 5. *Alkalmazás: A makro-gazdaság dinamikus input-output elemzésénél előforduló növekedési mátrix spektrumának meghatározása*
 6. *Alkalmazás: „n-tengelyű” vasúti kocsik pályagerjesztésének matematikai modellje*

A 36. oldalon, a **B** tranzitív és az **A** szimmetrikusan reciprok mátrixok tulajdonságainak (3.1. proпозиció), továbbá néhány speciális SR perturbált tranzitív mátrix spektrális tulajdonságainak a megadása és karakterisztikus polinomjaik egzakt meghatározása korrekt matematikai levezetések eredményeképpen adódik. Ezek a specifikus (37. o.), az egy sor és a hozzátartozó oszlop perturbált (37. o) és az egyszerűen perturbált (39. o) mátrixok. Ezek a perturbált PCM-ek principális (un. Perron) jobboldali sajátvektora explicit meghatározásának tekinthetők (41. o és 135. o). Ezt követi a tematikai tételek megfogalmazása és bizonyításuk az egyszerűen perturbált PCM és az egy sorral és a hozzátartozó oszloppal kiegészített PCM prioritási vektorai elemeinek egzakt rangsorfordítási tartományaira a perturbációs tényező függvényében (3.1 Tétel, 43. o., és D.1 Tétel, D) Függelék, 136-137. o. és 4. Alkalmazás 45-47. o.).

Itt a Jelölt a Thomas Saaty által bevezetett pozitív elemű PCM-ek általánosítását mutatja be, negatív elemeket is tartalmazó és komplex elemű nemzérus PCM-ekre, továbbá ilyen típusú mátrixoknál felmerülő problémák megoldására (a makrogazdaság növekedési mátrixai sajátértékeinek explicit meghatározására és a vasúti pálya al- és felépítményének dinamikus paraméterei által okozott a vasúti járművek kocsiszekrényére átvitt pályagerjesztés spektrális sűrűség mátrixa jellemző tulajdonságainak megadására). Továbbá érvényességi feltételek előírására, különböző módon perturbált, input SDM mátrixokra (5-6. Alkalmazások, 47-52. o.).

4. Páros összehasonlítási mátrixok (PCM) konzisztencia hozzáigazítása

- 4.1 Előzmények és a probléma megfogalmazása
- 4.2 A lineáris approximáció problémája
- 4.3 A nemlineáris probléma megoldása
- 4.4 A nemlineáris probléma megoldásának egyértelmősége
- 4.5 Exponenciális perturbált SR mátrixok

7. Alkalmazás: *Perturbált bemenő spektrálsűrűség mátrixok (SDM) spektruma*

A perturbált, és ennek következtében inkonzisztens PCM-ek legjobb közelítő **B** tranzitív (ami mindig 1-rangú) mátrixának a legkisebb négyzetek módszere értelmében történő meghatározását elősegítő jelentős eredménynek minősíthető a minimalizálási feladatok célszerű formájú felírása mátrix normákkal, diagonál-mátrixok segítségével (54. o.).

A lineáris (szuboptimális) feladat elegáns megoldását mutatja be a Szerző, amely felülmúlja az eddigi, a szak- irodalomban publikált megoldásokat (4.1 Tétel, 57. o.).

A nemlineáris probléma megoldása egy zárt alakban felírt inhomogén nemlineáris mátrix egyenlet alapján történik, amely megoldás, a Jelölt meglapozottnak tűnő sejtése szerint globális minimumot reprezentál. Ez jogos feltételezésnek mondható, mivel az alkalmazott iteráció, ami egy speciális Newton-Kantorovics szukcesszív approximáció, továbbá az egyenletek előnyös szerkezete, valamint az elvégzett sok számítás numerikus evidenciái ezt a sejtést valóban igazoltnak „láttatják” (4.1-4.4 Propozíciók, 57-59. o.).

Ezt követi nemlineáris optimalizálási problémánál - a feladat nemkonvex jellege következtében - a megoldások egyértelműségének matematikai vizsgálata és többszörös megoldások bekövetkezésére elégséges feltételek kimondása (4.2 Tétel, 63. o.).

Kérdésem az, hogy vajon lehetségesnek tartja-e a Jelölt az $S^2(\mathbf{w})$ hiba-funkcionálra (a nemlineáris optimalizálás célfüggvénye az 54. oldalon), a nem egyértelmű megoldások bekövetkezése szükséges feltételeinek a meghatározását is?

A PCM mindegyik eleménél egy multiplikatív típusú, kétparaméteres exponenciális függvénnyel megadott perturbáció bevezetésével ismerkedhetünk meg és az így megkonstruált, ún. pszeudociklikus formában felírt PCM spektrális dekompozíciójának meghatározásával és hasznosításával is egy vasúti járműdinamikai probléma megoldására (4.7 Propozíció, 65. o. és 7. Alkalmazás 65-67. o.).

5. SR mátrixok kiegyenlítése tranzitív mátrixokkal

- 5.1 Egy rekurzív, 1-rangú, reziduális (triple R-I) iteráció
- 5.2 PCM-ek diagonális hasonlósági transzformációja
- 5.3 Numerikus analízis

Egy rekurzív, a legkisebb négyzetek módszerén alapuló iterációra épülő optimalizálási algoritmus (triple R-I) kifejlesztésével találkozunk itt, amely előállítja - egy tetszőlegesen kicsiny pozitív hibahatár beállítása után - az eredeti PCM maximális sajátértékéhez tartozó jobb- és baloldali Perron-sajátvektorok komponenseit. A Jelölt kétséget kizáróan bebizonyította ennek az algoritmusnak egy \mathbf{H}^* -gal Jelölt vonalösszeg szimmetrikus határmátrixhoz történő konvergenciáját a fixpont-tétel adaptált felhasználásával (5.1 Tétel, 71. o.).

A Szerző az SR perturbált PCM-ek inkonzisztenciájának a mérésére új inkonzisztencia mértékeket javasol a \mathbf{H}^* eredménymátrix elemeiből képzett statisztikai mutatók segítségével (geometriai átlag és geometriai tapasztalati szórás). E mértékek – állítása szerint - alkalmasak a páros összehasonlítási mátrix inkonzisztencia szintjének a jellemzésére (5.2 és 5.3 Propozíciók, 74. o.). Felmerül azonban az a kérdés is, hogy vajon az inkonzisztencia statisztikus mérése elegendő-e, azaz hogy miként lehetne mérni a döntéshozók által az egyedi w_i/w_j aránypároknál elkövetett becslési hibákat?

6. Egy kombinált, többcélú optimalizálási (MOO) / többtényezős döntéselemzési (MCDA) összemérési módszer kifejlesztése

6.1 Előzmények

6.2 A MAROM módszer formális leírása

8. Alkalmazás: Alternatív hajtásrendszerű, városi közlekedésben üzemeltetett autóbuszok többszemponútú értékelése, rangsorolása és ütemezése

Ez lényegében egy újszerű többtényezős értékelési eljárás (MAROM) kifejlesztését jelenti, amely az „utilitás” elméletre épül és az egyes döntési alternatívák súlyozott értékszámait egy abszolút standardtól (benchmark) való eltérésük szerint méri. A módszer eredeti megközelítése, hogy mind a négy mérési skálán, azok tulajdonságaival konform, általa megkonstruált metrikus távolságfüggvényt használ. Az eredő értékszámokat egy normalizálási, majd egy aggregálási műveletet követően százalékban kifejezett [0–100] intervallum skálán határozza meg (6.1 Tétel, 82. o.).

A MAROM módszer felhasználásával a Jelölt először összefoglalta 12-féle alternatív hajtásrendszerű városi autóbusz legfőbb műszaki, üzemeltetési és környezeti jellemzőit, majd egy dinamikus szimulációs modellel (KSIM) megmutatta eme jellemzők várható jövőbeli alakulását (8. Alkalmazás, 83-88. o.). Kifogásolható, hogy a Jelölt nem közölte a szakértői becslések alapján kitöltött kölcsönhatás mátrixot az értekezésben, hanem csak hivatkozott egy megjelent publikációjára, ahol ez megtalálható: “ (2014a, p.218)”.

Érdekes lett volna, ha ebben a fejezetben a Szerző - legalább röviden – de kitért volna alternatív üzemmódú autóbuszokkal kapcsolatos hazai kísérleti fejlesztésekre, felsorolva és tömören elemezve az eddigi eredményeket és az esetleges „kudarcokat” is.

Összefoglaló megjegyzések

A fenti értékelésem alapján a téziseket az adott bontásban elfogadom. Összesítve megállapíthatom, hogy a Jelölt értekezése értékes tudományos munka, mellyel szerintem meggyőzően bizonyította mérnöki alkotóképességét bonyolult műszaki-gazdasági problémák megoldása során. Megállapíthattam azt is, hogy az értekezés minden tekintetben eleget tesz az MTA doktora tudományos cím odaítélési feltételeinek. Mindezek által javaslom az értekezés nyilvános védésének kitűzését, továbbá javaslom a Jelölt számára az MTA doktora cím odaítélését.

Budapest, 2015. július 14.

Várlaki Péter
az MTA doktora