

Opponensi vélemény

Farkas András

Közlekedési rendszerek fejlesztése és értékelése többtényezős döntési eljárások felhasználásával

c. akadémiai doktori értekezéséről

1. Disszertáció felépítése

Az angol nyelven megírt doktori értekezés a Tézisekkel és az Összefoglalóval együtt 95 oldal terjedelmű és 6 érdemi fejezetre tagolódik. A doktori mű 127 szakirodalmi hivatkozást tartalmaz, amelyből 30 publikáció a szerző saját, illetve társszerzőivel közösen írt munkája. Az értekezés 5 függelék is tartalmaz. Az A függelékben további 117 a disszertáció témájához tartozó művet sorol fel a szerző. Formai szempontból jobbnak tartottam volna az összes hivatkozást, beleértve a szerzőét is – egy listában közölni.

A mű teljes terjedelme a függelékekkel együtt összesen 146 oldal. Az értekezésben közölt ábrák száma 27, a táblázatok száma pedig 8. A Pályázó 6 Tézist fogalmaz meg, amelyekben belül elkülönített pontokba foglalja a disszertációban részletesen tárgyalt fő eredményeit. A magyarul írt, 16 oldal terjedelmű téziszüzet szükséges mélységben tartalmazza a szerző kutatásainak a célkitűzéseit, az alkalmazott kutatási módszereket és az előzményeket, így megfelel a téziszüzetrel kapcsolatos elvárásoknak.

Az értekezés felépítése, logikai szerkezete, továbbá az egyes fejezetek közötti összefüggések egységes formában jelenítik meg a tartalmat. Így az olvasó számára jól követhető, hogy a szerző milyen megfontolásokból és milyen problémák megoldásával foglalkozott. Mindezek kiderülnek az egyes fejezetek bevezetése előtt található kivonatos összefoglalókból is. A dolgozatban használt terminológia teljes összhangban van a vezető nemzetközi folyóiratokban használtakkal. Az alkalmazott jelölésrendszer következetes. Fogalmazás-módja tömör és szabatos, stílusa gördülékeny. A dolgozat viszonylag sok rövidítést tartalmaz, amely a megértést nehezíti. Ennek feloldására a szerző a dolgozat elején egy rövidítésjegyzéket közöl. Ennek alapján a rövidítések egyértelműen azonosíthatók. A disszertáció angol nyelvi szempontból is megfelelő, érthető. Formailag igényes kivitelezésű. A dolgozat csak kevés, jelentéktelennek minősíthető tipográfiai hibát tartalmaz.

Ily módon a doktori mű kielégíti a Doktori Szabályzat megfogalmazott követelményeket. Ugyanez a megállapítások érvényesek a téziszüzetre is.

2. Tudományos eredmények

A disszertáció szakmai tartalma igen sokrétű, több tudományterületet is érint. A tudományos vizsgálatok fókuszában a többtényezős döntési eljárások (MCDA) állnak, de a szerző több helyen foglalkozik a többtényezős optimalizálási (MOO) eljárásokkal is. Ezen módszerek nagyobbik része a nemzetközi szakirodalomban is jól ismert és széleskörűen használt a gyakorlatban, de szerepel a dolgozatban egy a szerző által kifejlesztett többtényezős optimalizálási módszer formális matematikai leírása is. Vizsgálatai középpontjában a T. L. Saaty által kifejlesztett, 1977-ben publikált és világszerte elterjedten alkalmazott többkritériumú döntéshozatali módszer az Analytic Hierarchy Process (AHP) és főleg ennek kulcsfontosságú eleme, egy $n \times n$ -es pozitív elemű $\mathbf{A}=[a_{ij}]$ mátrix ($n \geq 3$), az un. páronkénti

összehasonlítási mátrix (PCM) állott. A jelölt egyik céljaként tűzte ki az AHP néhány hiányosságának feltárását, illetve a módszer lehetséges jobbítását.

A többtényezős döntési eljárások fejlesztésében a jelölt számos, nemzetközileg elismert matematikai eredményt ért el a mátrixalgebra, a numerikus módszerek és az optimalizálás elmélet területein.

3. Eredmények alkalmazási

Eredményeit több időszerű műszaki probléma megoldására használta fel. Ezek a következő szakterületeket érintették.

A közlekedéstudomány területén két alkalmazást mutat be. Az egyik a földalatti vasút nyomvonalainak tervezése és állomásainak optimális kiválasztásával foglalkozik. A másik alternatív hajtásrendszerű városi autóbuszok komplex értékelését és rangsorolása oldja meg. **Építőmérnöki területen** a különböző konstrukciójú hídszerkezetek (gerendahíd/kerethíd, ívhíd, függőhíd), továbbá előregyártott és előfeszített vasbeton főtartókból felépített csarnokszerkezetek összehasonlító értékelését oldja meg.

Járműmérnöki területen a vasúti pálya által keltett dinamikus gerjesztés a mérvadó frekvenciatartományban való leírását szolgáltatja Hermitite féle mátrixok felhasználásával.

Makroökonomiai alkalmazásként a Leontyiev-féle input-output elemzés növekedési mátrixai sajátértékeinek explicit meghatározását szolgáltatja.

A fentiek mellett a jelölt újszerűnek tartott fenntartható közlekedéspolitikai keretrendszerre is javaslatot tesz.

Az alábbiakban a Bíráló - értékkategóriákba csoportosítva - tételesen is összefoglalja a mű áttanulmányozása és az értekezésben leírt eredményekre kapott számos külföldi (mintegy 80) és hazai (mintegy 30) szakirodalmi hivatkozás mérlegelése alapján, a saját értékítélete szerint megállapítható új tudományos eredményeket.

4. Tézisek értékelése

Nemzetközileg is elismert, újnak értékelt tudományos eredmények

3. Tézis (i)

A pozitív, négyzetes mátrixok egy új alosztályaként a tranzitív mátrix fogalmának bevezetése, továbbá a szimmetrikusan reciprok mátrix fogalmának egzakt értelmezése és tulajdonságaik matematikai tételbe foglalása. A doktori mű 36. oldalán, a 3.1 proposíció megadja e mátrixok valamennyi tulajdonságát és azok bizonyításait. Fenti eredmények a következő megfontolások miatt tekinthetők jelentősnek. Az **A** mátrixot (PCM), Saaty konzisztens mátrixnak nevezte el, ha az **A** valamennyi képezhető elemhármására (triádok) vonatkozó tranzitivitási feltételek fennállnak. A konzisztencia valójában inkább döntéseméleti mintsem matematikai terminológia. A jelölt ezt a mátrixot egy általános **A**-tól való megkülönböztetésül **B**-vel jelölte. Hasonlóképpen, Saaty az **A** mátrixot reciprok mátrixnak nevezte el, ami azért hibás, mert a lineáris algebraiban ez a fogalom a négyzetes mátrixok inverzét jelenti, feltéve, ha **A** nonszinguláris mátrix, azaz ha $|\mathbf{A}| \neq 0$. Mivel a **B** mátrix tranzitív, ezért szinguláris.

3. Tézis (iv)

A 3.1 proposíció felhasználásával a Pályázó kiterjesztette a páros összehasonlítási mátrixok értelmezését hasonló tulajdonságú nem zérus komplex elemű mátrixokra, amelyek hermitikus mátrixok és megmutatta, hogy ez a PCM analóg a járműdinamikában használatos, a bemenő gerjesztéseket (gyorsulásspektrum) leíró spektrális sűrűség mátrix-szal. Leírta, hogy ennek

milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie ahhoz, hogy segítségével a kocsiszekrényre átvitt lengéstani karakterisztikák származtathatók legyenek.

3. Tézis (ii) és (iii)

További új eredmény, hogy a szerző explicit formában meghatározza (egy egyszerű perturbációs szerkezetre, ahol az \mathbf{A} -nak csak egy elempárja perturbált) az ilyen PCM legnagyobb abszolút értékű sajátértékéhez tartozó jobboldali sajátvektor komponenseit (41. oldal) és ennek alapján tételt mondott ki a végső prioritási vektor elemeinek rangsor fordítási tartományaira (43. oldal 3.1 tétel). Eredményei helyességét több PCM felhasználásával, döntési feladatokon keresztül numerikusan is illusztrálta (45-46. és 137-138. oldalak).

4. Tézis (ii) és (iii)

A jelölt, a PCM-ek gyakorlatban általánosan előálló inkonzisztencia problémáinak jobbítása tárgykörében is elért jelentős eredményt. Kiemelésre feltétlenül érdemesek az \mathbf{A} -nak egy \mathbf{B} tranzitív (1-rangú) mátrixszal való approximációjával összefüggő eredményei, mint a szuboptimális, lineáris probléma megoldása (4.1 tétel, 57. oldal). A jelölt közli, hogy ez az eredmény jórészt P. Lancaster nevéhez fűződik, és különösképpen a nemlineáris probléma minimalizálási feladatának egy megoldását szolgáltatja (4.1-4.4 proposíciók, az 57-59. oldalakon). Ez utóbbit a szerző egy ferdén szimmetrikus mátrix segítségével zárt alakban felírt kifejezés (4.19) felhasználásával a Newton-Kantorovics iterációs módszerrel határozta meg, ezután elégséges feltételeket fogalmazott meg többszörös megoldások bekövetkezésére (4.4 fejezet).

4. Tézis (iv)

A jelölt egy másik fontos eredményének tartom egy rugalmasan változtatható, kétparaméteres exponenciális multiplikatív típusú perturbáció bevezetését az elkerülhetetlen inkonzisztencia miatt torzított prioritási vektorok korrigálására és ennek alkalmazását döntési folyamatokra, illetve speciális vasúti járműgerjesztési problémákra (4.7 proposíció, 65. oldal).

További újak értékelt tudományos eredmények

5. tézis (i), (ii) és (iv)

Jelentős új matematikai kontribúció a szimmetrikusan reciprokon (SR) mátrixok kiegyenlítésére kifejlesztett rekurzív iterációs algoritmus (triple R-I), amely kiterjeszhető általános pozitív mátrixok kiegyenlítésére is. Ez azért fontos eredmény, mert ezáltal a Pályázó meg tudta mutatni, hogy ilyen szerkezetű mátrixokra, két teljesen különböző elvet használó módszer, a sajátvektor- és a legkisebb négyzetek módszere között létezik egy kölcsönös és egyértelmű megfeleltethetőség. A szerző, az általa 'Mathematica' kódban megírt programja segítségével, a PCM valóságos inkonzisztencia hibáinak kiszámítására az algoritmus stacionárius pontjaként előálló \mathbf{H}_q^* -gal jelölt határmátrix elemeinek geometriai átlagát és geometriai tapasztalati szórásuk együttes felhasználását javasolta. Megmutatta, hogy viselkedésüket tekintve ezek a jellemzők lényegében egyenértékűek a Saaty által javasolt és az AHP eljárásban széleskörűen használt inkonzisztencia mutatóval, de annál több információt szolgáltatnak a döntéshozóknak.

2. tézis (i)

Az 'A Függelékben' (105-130. oldalak) a szerző, a szakirodalomból ismert mintegy 70-féle többcélú optimalizálási (MOO) és többtényezős döntéselemzési (MCDA) módszer átfogó összefoglalását írja le. Ezt a leírást azért is értékesnek és széleskörű felhasználásra számot tartónak tartom, mert a nemzetközi szakirodalomban e módszerek ilyen széleskörű és alapos

feldolgozását, illetve a közlekedési és építőmérnöki szakterületeken történt sikeres egyedi alkalmazásukat bemutató munkát eddig még nem publikáltak.

Újszerű megközelítésnek értékelt tudományos eredmények

6. tézis (i),(ii),(iii),(iv) és (v)

A jelölt egy, a hasznosságelméletre épülő többcélú optimalizálási eljárást dolgozott ki különböző alternatívák abszolút mérésen alapuló értékelésére (MAROM). E technika alapelve nem tekinthető újnak, azonban az egyes értékelési tényezőknek a megfelelő mérési skálához való előzetes hozzárendelése és a skálákon történő adaptív, metrikus távolságfüggvények alkalmazása feltétlenül újszerű elemként értékelendő. Frappánsnak tekintem a szerző által javasolt egyszerű lineáris transzformációt is (82. oldal), amellyel a szerző a MAROM kimeneti eredményeiből egy AHP módszer szerinti mátrixot állít elő, amely eredendően tranzitív. Megemlítendő a MAROM módszernek egy másik, szintén eme módszercsoportba tartozó eljárással (TOPSIS) való összehasonlítása is. A módszer hasznosításának igazolására bemutatott egy időszerű közlekedési és környezetmérnöki problémakörre való alkalmazást, nevezetesen a városi közösségi közlekedés számára kifejlesztett alternatív hajtásrendszerű autóbuszok műszaki, üzemeltetési és gazdaságossági tényezők alapján történő komplex értékelését, és a KSIM dinamikus szimulációval végrehajtott scenárió generálást.

2. tézis (ii) és (iii)

A pályázó az 1.4 fejezetben egy új térbeli közlekedéstervezési módszertant dolgozott ki, és javasolta ennek hazai bevezetését. Ez az u.n. értékközpontú tervezési közelítésmód. E módszertan szerves részét képezi az intelligens közlekedési rendszerek (ITS) felhasználása a térinformatika és a döntéstámogató technikák integrálásán keresztül. Habár ez nemzetközi szempontból nem tekinthető egészen újnak, a szerző azonban jogosan hiányolja ennek mielőbbi hazai bevezetését. A módszertan alkalmazását egy digitalizált georeferenciájú térkép előállításával és egy GIS rendszer alkalmazásával egy metróhálózat nyomvonalainak és állomásainak kiválasztásán keresztül mutatja be.

1. tézis

További hazánkban is használható eredménynek tartom A pályázó az 1. fejezetben egy ún. "szekvenciális közlekedéspolitikai keretrendszert" javasolt a jelenleg érvényben lévő közlekedéspolitikai koncepciók által nem kielégítően megválaszolt kérdések kezelésére, amelyet magas prioritású célok felállítása révén kíván megvalósítani globális, regionális és városi szinteken. A koncepció elvi modelljeként az operációkutatásból ismert dinamikus programozási technikát javasolja.

A tézisekkel kapcsolatos bírálatom összefoglalva az alábbiakat állapítom meg:

- nemzetközileg is új tudományos eredménynek elismert tézisek a 3., 4. és 5. tézis,
- újszerű alkalmazás a 6. tézisben megfogalmazott MAROM eljárás
- az előbbiekhöz képest tudományos szempontból kevésbé erősnek tartom az 1. tézist, és részben a 2. tézis.

5. Értekezés néhány hiányossága és továbbfejlesztési kérdései

A szerző az értekezés 1. fejezetének 7-13. oldalain a fenntartható közlekedés Európai Unió és hazai alapelveinek a szem előtt tartásával kifejlesztett és általa bevezetésre ajánlott ún. "szekvenciális közlekedéspolitikai keretrendszert" tárgyalja. Ezen modell kidolgozása

azonban korántsem tekinthető kellő mélységben kiforrottnak és kidolgozottnak. Nehezen elképzelhető az is, hogy egy ilyen közlekedéspolitikai koncepció a szerző által definiált négy fázisa egy ilyen szigorúan egymást követő, lineárisan egymásra épülő rend szerint a gyakorlatban kivitelezhető lenne országos, regionális vagy városi szintre.

1. kérdés. Ha elfogadjuk azt a tényt, mely szerint a közlekedéspolitikai koncepciók nagyszámú alkotó eleme igen sokrétű, szerteágazó és sokirányú kölcsönhatásban áll egymással, akkor a szerző által javasolt rekurzív dinamikus programozásra épülő modell hogyan tudja kezelni a problémát?

2. kérdés. Amennyiben egy konkrét gyakorlati feladat megoldása során a döntési alternatívák pontszámait és ezzel egyben a rangsorukat is reprezentáló stacionárius vektorok többszörös gyökök, akkor a döntéshozó melyik megoldást válassza ki és milyen megfontolások alapján?

3. kérdés. A hiányos adatokkal bíró PCM esetében is lehetséges-e végső prioritási súlyok meghatározása a sajátvektor módszer segítségével, vagy más ismert súlymeghatározó eljárással, és ha igen, akkor milyen módon, továbbá egyértelmű-e az így nyert megoldás?

4. kérdés. Mik a feltételei a további esetek, azaz a “Cases (ii), (iii), (iv)” bekövetkezésének és milyen tulajdonságok jellemzik ezeket az eseteket?

5. kérdés. A jelölt megítélése szerint melyek lesznek azok a műszaki, környezeti és gazdasági jellemzők, amelyekben a hidrogéncellás városi autóbuszok felülmúlják majd a többi alternatív hajtásrendszerű és a hagyományos diesel autóbuszok hasonló paramétereit az általa előrevetített trend 2030-as időpontja körül? Becsléseit milyen információkra alapozza?

Összegzés

A jelölt a fentiekben ismertetett néhány kifogásolt problémától eltekintve jól oldotta meg a kitűzött célját. Kutatómunkájában elméletileg is érdekes, és a gyakorlat szempontjából is fontos területet választott. Tudományos eredményei hozzájárulnak a közlekedés és járműtudomány fejlődéséhez. A téziseknél elmondottak szerint állításait matematikai eszközök felhasználásával korrektül bebizonyítja. A dolgozat mind formai, mind tartalmi szempontból kielégíti egy Akadémiai Doktori disszertációtól elvárt követelményeket. A fentiek alapján javasolom a védés megtartását és a cím odaítélését.

Budapest, 2015. jun 25.

Bakó András
Közlekedéstudomány Doktora