

## Válasz Várlaki Péter bírálataira

Köszönöm Várlaki Péternek, az MTA doktorának, hogy az értekezésem bírálatát elvállalta és véleményében az értekezés értékeinek megemlítése mellett megfogalmazta részletes észrevételeit és kérdéseit is. Az értekezéssel kapcsolatos pozitív megállapításokat köszönöm, a megjegyzésekre és a kérdésekre pedig az alábbiakban válaszolok követve az értekezés és az opponensi vélemény szerkezetét.

### *1. Közlekedési rendszerek fejlesztése*

*Sajnos nem derülnek ki azonban az értekezés 1.4 pontjában tárgyalt GIS térinformatikai rendszerek alkalmazásának bizonyos hátrányai, például hogy ilyen módszerek felhasználása esetén vajon milyen jelentős mennyiségű adatra és információra volna szükség valódi alkalmazások során és ezek vajon hogyan is biztosíthatók?*

Közismert tény, hogy mérnöki projektek tervezési és kivitelezési munkáinál, de hasonlóképpen tudományos kutatási feladatok végzésénél is talán a legkritikusabb probléma világszerte (hazai viszonylatban talán még fokozottabban) a szükséges adatok rendelkezésre állása, beszerzésük nehézségei, stb. Nem kivétel ez alól az Intelligens Közlekedési Rendszerek (ITS) tervezésénél felhasználható ún. Földrajzi Információs Rendszereknek (GIS) a konvencionális tervezési módszerektől eltérő adat és információs igénye sem. A GIS rendszereket megalkotásukkor földrajzi helyhez kapcsolódó adatok gyűjtésére, tárolására, kezelésére, elemzésére, a levezetett információk megjelenítésére és modellezésére dolgozták ki. Adat- és információ igényük mennyiségileg lényegesen nagyobb mint a konvencionális tervezési rendszereké, és hasonló megállapítást tehetünk azok minőségi jellegére is. A GIS-ben a geográfiai adatoknak két jól egymástól elhatárolható típusa van. Az egyik a földrajzi pozíció, a másik az attribútumok, entitások, tulajdonságok. Egyszerűen szólva megkülönböztetünk térbeli adatokat (“hol van valami”) és a jellemzők adatait (“mi az a valami”).

A rendszer segítségével előállítható térképeket tekintjük térbeli adatoknak, mivel az általuk tartalmazott információ közvetlenül kapcsolódik bizonyos X,Y helykoordinátákhoz a föld felszínén. A másik csoportba tartoznak a táblázatok, amelyek nem tartalmaznak közvetlen adatokat az elhelyezkedésről, hanem úgynevezett leíró információkat tárolnak. A GIS-ben kulcskérdés a térbeli és az attribútum jellegű adatok közötti kapcsolat megteremtése a tervezéshez felhasznált valódi információk rendelkezésre állásához. A térbeli karakterisztikus jellemzőket többféle módon is megjeleníthetjük. Az adathordozók alaptípusai a ponttérkép, a szegmenstérkép (amely az X és Y koordináták sorozatából álló vonalak halmazát ábrázolja), valamint a poligon térkép (ami egy terület leírását szolgáló topológiai struktúra).

A térbeli tulajdonságokat digitális formában kétféle módon lehet megjeleníteni: vektor modellel (lásd az előbbi térképeket) és raszter modellel. Közöttük az alapvető különbség a geográfiai információ tárolásában és reprezentálásában van. Amíg a vektor térképeken a térbeli jellemző pozícionálását egy X, Y koordináta sorozattal definiáljuk, addig a raszter modellben a térbeli adatokat hálózatos cellákba un. pixelekbe rendezzük. Egy pixelhez csak egy információ (pl. számérték) rendelhető hozzá. Az adattárolás a raszter térképeken georeferált sorokban és oszlopokban történik.

Vektor térképeket digitalizálással vagy importból lehet előállítani. Vektor térképek csak nagyon kevésbé alkalmasak különböző műveletek végrehajtására, és különösen nem különböző információkat hordozó térképek rétegezett egymásra helyezésére (overlaying). Vektor adatokat

raszterezéssel lehet raszter formátumra konvertálni, ami történhet közvetlen kép (image) importtal is, pl. műholdról sugárzott képek, szkennelt légi fényképek, stb. A térbeli adatok képernyőn, vagy kinyomtatva jeleníthetők meg. A geometriai vetítések lehetősége rendkívül gazdag, akár a földrajzi koordináták (hosszúsági és szélességi körök) vagy X,Y metrikus vetítéssel (UTM), vagy más módon (pl. Azimuth vetítések).

A digitális térképeket összekötjük a táblázatokkal, amelyekben az attribútumokat helyezzük el. A nem térbeli adatok ezeken a rekordokon jelennek meg a raszter térképek oszlopaiban, tehát szintén digitális formában. Ilyen adatok bevihetők digitális képfeldolgozással a távérzékelt imázsokból (satellite imagery) is, vagy ami ma még sokkal gyakoribb: kézi adatbevitellel.

A szükséges adatok nagyságrendjének, beszerzésük nehézségeinek, illetőleg az adatok és információk beviteli kívánalmainak érzékeltetésére legyen szabad hivatkoznom az általam kidolgozott és az értekezésben bemutatott metróhálózat tervezési munkára. Az attribútum adatszükséglet a digitalizált poligon (vektor) térkép esetében mind az 1407 poligonra, és ennek raszterezése után a konvertált raszter térkép pixeleiben tárolt minden egyes oszlopában: a terület nagyságára (négyzetméter), a terület funkciójára (kereskedelmi, ipari, lakóépület, üres stb.), a populációra, a közlekedési szokásokra, a felszíni közösségi közlekedési módok elérhetőségére, a talajmechanikára, a geológiai szerkezetre, a hidrológiára, a meglévő infrastruktúrára és az állomások mélyépítési költségeire vonatkozó adatok voltak. A georeferenciájú földrajzi adatok a digitális térképek előállítását után már egyértelműen rendelkezésre álltak. Azt mondhatom, hogy a fentiek szerint jól felmérhető számú mintegy 6-7 ezer attribútumra vonatkozó adat csak valamivel több mint egyharmada állt rendelkezésemre, a többit kisebb részben számítással, nagyobb részben műszaki-gazdasági becsléssel határoztam meg, amely rendkívüli erőfeszítéseket igényelt. Mindezekből már egyenesen következik, hogy adat- és információ igény szempontjából milyen jellegű és mennyiségű munkát jelent(ene) valóságos közlekedési projektek integrált GIS és MCDM támogatással történő tervezése.

Az intelligens rendszerek elterjedésének egyik alapvető korlátja az ilyen munkák elvégzését támogató közvetlen hozzáférésű adatbázisok hiánya. A legfejlettebb országokban ilyen központokat már létrehoztak, pl. a Portland Metro Oregon Project, GIS tervezése során on-line kapcsolatban álltak a Data Resource Center adatbázissal, amely legalábbis a demográfiai, a foglalkoztatottsági, a földhasználati és a közlekedési adatokat tartalmazza [1]. De említhetném az ESRI Regional Land Information System regionális digitális térképtárát és kapcsolódó adatbázisait, ahol a térbeli és nem térbeli adatok egy központi szerveren vannak egy Oracle adatbázisban, vagy a DRC-t, amely 75-80 adatréteget tartalmaz és CD-ROM-on van, amit negyedévenként megújítanak. Továbbá az internetről is hozzáférhető az ASTER, a European Soil Data Base és a LandScanned Data adatbázis, amelyek a legfejlettebb GIS szoftverek által közvetlenül beolvashatók. Az általam felhasznált, nyílt hozzáférhetőségű ILWIS erre alkalmas.

## *2. Többkritériumú döntéshozatali (MCDM) módszerek és gyakorlati felhasználhatóságuk*

*Megjegyezhető azonban, hogy a Szerző nagyobb nyomtatékkal hívhatta volna fel a figyelmet arra, hogy az ipari praxisban ilyen szerkezetek komplex tervezésénél ez a módszer csupán csak kiegészítő eszközként szolgálhat.*

A többkritériumú döntéshozatali eljárásoknak (MCDM) két viszonylag jól elkülöníthető csoportja van. A disszertáció jórészt a többkritériumú döntéselemzési eljárások (MCDA) módszertanát hasznosítja, amelyeknek legfontosabb karakterisztikus tulajdonságai, hogy a megengedett alternatívák halmaza diszkrét, előzetesen specifikált és véges. A mérnöki és gazdasági gyakorlatban az MCDA módszerek meghatározott célok/funkciók kielégítésére szánt

objektumok, műszaki fejlesztési tervváltozatok, szerkezetek, konstrukciók, pályázatok, éit. komplex értékelésére, rangsorolására, rendezésére, illetve a legjobb alternatíva kiválasztására hivatottak. Különösen alkalmasak ún. rosszul strukturált problémák kezelésére, amelyek nem élesen definiáltak, bizonytalanságokat tartalmaznak, továbbá a döntési probléma eredetileg megfigyelt állapota a problémamegoldási folyamat során változhat. Mindezek a tulajdonságok megakadályozzák a döntéshozót, hogy egyértelmű megoldást találjanak. Nagyon fontos sajátosságuk, hogy az MCDA problémáknak nincsen matematikai értelemben optimális megoldása. Viszont igen hasznos jellemzőjük, hogy a kritériumok egyaránt tartalmazhatnak kvantitatív és kvalitatív jellemzőket, amelyek különböző mérési skálákon értelmezhetők, illetve mérhetők. A döntéshozók által az attribútumokra specifikált fontosság (súlyszámok) is e modelleknél könnyen érvényesíthető. Ezekből a tulajdonságokból már világosan következik, hogy a konkrét műszaki/gazdasági tervezési/kivitelezési gyakorlatban ezek közvetlenül nem alkalmazhatók. Például egyáltalán nem használhatók fel szerkezetek méretezésére, dinamikai számításokra, vagy éppenséggel számviteli kalkulációk elkészítésére. Ráadásul e modellek a szó szoros értelmében statikusak, tehát időbeli folyamatok figyelembevételére nem adekvátak.

Ezzel szemben az MCDM módszerek másik csoportja, a többcélú optimalizálási eljárások (MOO) már többé-kevésbé alkalmasak bizonyos (kisebb horderejű) műszaki tervezési, szabályozási feladatok végrehajtására is. Az MOO módszerek meghatározott egyenlőségi és/vagy egyenlőtlenégi feltételek melletti szélsőértékek meghatározását teszik lehetővé több formálisan is felírt célfüggvény egyidejű megfogalmazása után. Ha megengedett numerikus megoldásuk létezik, akkor ún. nem-domináló, vagy más néven Pareto-optimális megoldások halmazát nyerjük.

Ebből következik, hogy az MOO modellek felhasználása jól strukturált gyakorlati problémák esetén jöhet szóba, ahol a döntési probléma kiinduló és kívánatos jövőbeli állapota ismert, a feladat zárt matematikai alakban megfogalmazható és a megoldási folyamatnak van egyértelmű logikai szerkezete és a megoldások vagy bizonyíthatók, vagy cáfolhatók. Ilyen problémák megoldására különösen alkalmasak az úgynevezett interaktív algoritmusok, amelyek egy specifikus részrendszerét képezik az MOO módszereknek, mert itt a döntéshozók aktív részvételt gyakorolnak a teljes folyamat során, azáltal, hogy a Pareto-optimális megoldások halmazából a saját preferenciájuk szerint választják ki a legmegfelelőbb megoldást. Ez különösen lineáris és konvex nemlineáris MOO problémák esetében sikeres, amikor is a többcélú optimalizálási probléma skalarizációja nem olyan kulcskérdés, mint az egészértékű, a kombinatorikus típusú vagy a nem konvex nemlineáris problémáknál. Hogy érzékeltessem ezen optimalizálási feladatok gyakorlati felhasználhatóságát, példaként említek két ilyen alkalmazást. A [2] cikkben a szerzők egy három szabadságfokú mechanikai rendszer lengéstanai viselkedését optimalizálták. Céljuk a szerkezet relatív elmozdulásának és az erőátvitelnek a minimalizálása volt tervezési változók korlátozó feltételei mellett, amelyek a tömeg, a rugóállandó és a csillapítási tényező voltak. Ezt a közelítésmódot a [3] szerzői egy tizenhét fokozatú vasúti nyomtérkváltó sztochasztikus méretezésére is felhasználták maximális kopásállóság és a súly minimalizálás, mint célok a kitűzésével.

Megemlítem, hogy egyik korai munkámban a műszaki-gazdasági problémák bonyolultságának jellemzésére, és ezzel összefüggésben a szóbajöhethető megoldási módszerek kiválasztására, egy háromdimenziós elvi modellt (egy Descartes-féle derékszögű koordináta rendszerben elhelyezett kocka) javasoltam [4], ahol az egyes dimenziók a problémákban megjelenő elsődleges jellegzetességeket, így a bizonytalansági fokot (determinisztikus problémáktól a teljesen véletlenszerű problémákig), az időtől való függést (statikus és dinamikus problémák), és a komplexitást (a probléma leírásához szükséges változók száma) különböztettem meg. Ha eme jellemzők szerint az aktuális problémánkat karakterizáljuk, akkor azt a nyolc különböző

sarokpont közül a megfelelőhöz tudjuk hozzárendelni. Példának okáért, a legösszetettebb probléma esetében a sztochasztikus irányításmélet módszerei használhatók fel.

#### 4. Páros összehasonlítási mátrixok (PCM) konzisztencia hozzáigazítása

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

Az értekezés 60-63. oldalain elégséges feltételeket adtam meg nem egyértelmű megoldásoknak a nemlineáris optimalizálási probléma megoldása során esetenként előálló bekövetkezésére. Állításaimat bebizonyítottam, amely eredményeket publikáltam, ami szerepel az értekezésben is. Legjobb tudomásom szerint ezzel a matematikai problémakörrel (egyértelmű megoldások pozitív elemű SR mátrixokra) ezidáig mások még nem foglalkoztak.

A konkrét kérdésre reflektálva, véleményem szerint természetesen nem zárható ki szükséges feltételek megfogalmazhatósága sem. Sejtésem szerint a bizonyítandó állítás az adott  $A$  páros összehasonlítási mátrix egy speciális szimmetria tulajdonságán alapulna. Nevezetesen, ha a PCM elemei a mátrix mellékátlójára szimmetrikusak, és/vagy a mátrixon belüli particionált blokkok (ciklikus csoportok) a mellédiagonálisukra szimmetrikusak ( $P$  állítás), akkor az egymástól lineárisan független többszörös megoldások megengedett halmaza egy nem konvex környezetbe esik ( $Q$  állítás). Sajnos azonban a mai napig nem tudtam egzakt matematikai megoldást találni a fenti két implikáció konjunktív összekapcsolására, vagyis a  $P$  és a  $Q$  állítások ekvivalenciájára ( $P \Leftrightarrow Q$ ). Persze ez is csak azt jelenti, hogy ha a sejtés igazolható is volna, csak a bizonyíthatóság lenne igazolva, viszont az állítások bizonyítottasága még nem.

#### 5. SR mátrixok kiegyenlítése tranzitív mátrixokkal

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?

Páros összehasonlítási mátrix tranzitív mátrixok sorozatával történő kiegyenlítése révén néhány olyan újszerű eredményre jutottam, amelyeknek fontos és hasznos gyakorlati alkalmazási lehetőségük van. Ezek elsősorban az eredeti PCM inkonzisztenciájának mérésére vonatkoznak. A bírálóban újszerűnek minősített, a mátrix egészét jellemző statisztikai mutatókon (geometriai átlag és geometriai tapasztalati szórás) túlmenően az [5] folyóiratcikkben megmutattam, hogy az egyéni döntéshozók által a mátrix  $w_i/w_j$  páronkénti arányaira történt becsléseknél elkövetett egyedi konzisztencia hibák is egzakt módon felderíthetők. Ugyanis a  $k=q$  iterációs lépésben stabilizálódó  $H_q$  reziduális határmátrix  $h_{ij}^{(q)}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ , elemei éppen ezeket az elkövetett, perturbációt okozó hibákat reprezentálják a legkisebb négyzetek értelmében, ami így pontosan lokalizálja az inkonzisztencia forrásának a helyét is. Azaz a hibák nagysága a mátrix minden egyes eleménél közvetlenül is értékelhető. A konzisztens becsléstől való eltérések (amit itt egy 1-es érték fejez ki) mértékének mérlegelését követően azonnal lehetőség nyílik a becslések módosítására és ezzel a mátrix konzisztencia hozzáigazítására.

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

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)”.

Az alábbiakban megadom a Bíráló által hiányolt kölcsönhatás mátrixot és annak értelmezését:

A megújítható energiaforrásokra épülő – a városi közösségi közlekedésben használandó – különböző alternatív hajtású buszok (AHB) műszaki fejlesztése nem független egymástól. Jövőbeni trendek előrejelzése ezért csak olyan modellezés révén lehetséges, amely lehetővé teszi a közöttük fennálló determinisztikus, kauzális, célszerűen páronként meghatározott kölcsönhatások ismeretét. Eme  $c_{ij}$  -vel jelölt koefficienseket (cross-impacts), ahol az  $i=1, \dots, n$ , sorindex a befolyásolt és a  $j=1, \dots, n+1$ , oszlopindex pedig a ható AHB-k típusát azonosítja (a rövidítések jelentését lásd az értekezés 83-84. oldalain) a BME Közlekedés- és Járműmérnöki Kar szaktanszékeinek oktatóiból és kutatóiból létrehozott eseti szakértői csoport szubjektív becsléssel határozta meg. Az alkalmazott módszer egy háromfordulós Delphi eljárás volt, ahol a szakértők vonatkozó szakirodalmi forrásokból előhívott információkat is felhasználtak.

Ennek eredményeképpen a következő formájú  $C=[c_{ij}]$  kölcsönhatás mátrixot kaptam [6]:

	CD	CNG	LPG	FC	MET	ELO	DEL	HGD	HCL	OW	
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
$C =$	<b>CD</b>	+	-	0	--	0	-	--	++	0	--
	<b>CNG</b>	-	+	0	-	0	0	0	0	+	++
	<b>LPG</b>	-	0	+	-	0	0	0	0	+	+
	<b>FC</b>	+	0	0	+++	0	0	0	0	-	++++
	<b>MET</b>	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
	<b>ELO</b>	--	--	--	-	-	0	0	+	+	-
	<b>DEL</b>	--	--	--	-	-	++	+	0	0	-
	<b>HGD</b>	++	-	-	--	0	+	+	+	0	+
	<b>HCL</b>	-	+	+	--	0	+	+	-	++	+

A mátrix elrendezését úgy kell értelmezni, hogy az oszlopban feltüntetett AHB-k fejlesztése (ható esemény) milyen kvalitatív hatást gyakorol a sorokban feltüntetett AHB-kre. A fődiagonálisban megjelenő nem zérus elemek a technológiai fejlődés öngerjesztő hatását hivatottak kifejezni (self-interaction). A kvalitatív jelleg következtében a mátrix elemei nem numerikus számok, hanem plusz (növelő) és mínusz (csökkentő) jelek, ezzel is hangsúlyozva a becslési eljárás szubjektív természetét. A kölcsönhatás mátrix elemei tehát megadják a pozitív és a negatív hatású interakciók erősségét is. Ezek lehetnek, rendre, csekély, gyenge, közepes, igen jelentős és nagyon erős hatások.

Vegyük észre azt is, hogy a kölcsönhatások nem feltétlenül szimmetrikusak. A modell unikális sajátosságaként egy addicionális, kiegészítő oszlopban megbecsülhető a környezet befolyásoló hatása is az egyes AHB-k fejlesztésére (pl. kormányzati beavatkozások, új nemzetközi szabványok és szabályozások, a felhasználók általi elfogadottság mértéke, a gyártók közötti verseny a piacokért). Kétségtelen tény azonban, hogy a vizsgálataim során felhasznált egyes konkrét, a mátrixban szereplő partikuláris  $c_{ij}$  elemek lehetnek érdemi érvek mentén vitathatók is. Ezért szeretném hangsúlyozni, hogy a  $C$  mátrix csak egy lehetséges, de véleményem szerint reális opciót reprezentál az AHB-k közötti interakciók feltárására.

*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 „kudarokat” is.*

Ezen a területen sajnos nem sok pozitív fejleményről lehet beszámolni. Megemlíthető a NABI romjain kinőtt Evopro Holding Zrt., amely kifejlesztette a már több nagyvárosban kísérleti jelleggel futó Budapest Márka-Díjas Moduló típusát, amely egy moduláris felépítésű, azaz többféle hosszban elkészíthető, kompozit felépítésű, viszonylag könnyű városi autóbusz. A megszokott dízel motor mellett többféle alternatív hajtással, így földgázüzeműként, tisztán elektromosként vagy hibridként is gyártható. A tisztán elektromos busz 64 személy szállítására képes, 100 km-en 60 kWh energiát fogyaszt. Fejlesztése 1 millió Euróba került.

Létrejött egy MABI elnevezésű konzorcium is, amiben a tulajdonos Evopro csoport mellett részt vesz az Auto Rad Controlle és az Ikarus Egyediben résztulajdonos Lanta Konzulting is, akik valószínűleg a NABI egykori telephelyén, Székesfehérváron folytatják majd termelő tevékenységüket.

Az első magyar hidrogén meghajtású buszt a H2 Busz Kft. fejlesztette ki. Az üzemanyagot is az anyacég állítja elő, a Quantum Energy, akinek Mezőtúron és Törökszentmiklóson is van már egy-egy 1,5 MW kapacitású szél erőműve. Céljuk, egy 30 MW kapacitású környezetbarát erőműhálózat kiépítése, amely 60 hidrogén meghajtású autóbusz folyamatos üzemeltetését biztosítaná úgy, hogy a szélenergiából nyert villamos energiával az elektrolízis – vízbontás - elvén működő berendezéseket működtetnének, amelyek hidrogénre és oxigénre bontják a vizet. A hidrogén meghajtású buszok gyártása Miskolcon történne. A kísérleti járműbe a Siemens elektromotorját, a Quantum Technologies speciális tartályait, valamint a Ford Triton V10 hidrogénmotorját építették be.

## Hivatkozások

- [1] Transportation Case Studies in GIS: Portland Metro, Oregon, GIS Database for Urban Transportation Planning, FHWA-PD-98-065, No. 2. (1998)
- [2] Rao, S.S. and Hati, S.K.: “Optimum design of shock and vibration isolation systems using game theory”. *Engineering Optimization*. **4**. (1980), 215-226.
- [3] Rao, S.S. and Freiheit, T.I.: “A modified game theory approach to multiobjective optimization”. *Journal of Mechanical Design*. **113**. (1991), 286-291.
- [4] Farkas, A.: “A döntéselemzési módszerek és az információállapot összefüggései”. In: II. Értékelemzési Konferencia Előadásai. Budapest, Magyarország, 1978.11.02-1978.11.04. Budapest: Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, pp. 377-393.
- [5] Farkas, A. and Rózsa, P.: “A recursive least-squares algorithm for pairwise comparison matrices”. *Central European Journal of Operations Research*, (2013) **21**. pp. 817-843.
- [6] Farkas, A.: “An interaction-based scenario and evaluation of alternative fuel-modes of buses”. *Acta Polytechnica Hungarica* **11**. (2014), 205-225.

Tisztelettel:

Farkas András

Budapest, 2015. szeptember 1.