

**Bírálat Péter Tamás a „Közúti Járműforgalmi Folyamatok Nemlineáris  
Modellezése Nagyméretű Hálózatokon” című doktori értekezéséhez**

**Témaválasztás**

Az értekezés témaválasztása igen aktuális. A közúti járműforgalmi folyamatok modellezése korunk egyik legégetőbb problémájával, a jelentős gazdasági, környezetterhelési, szociológiai, sőt pszichológiai hatásokkal is bíró, a fenntartható gazdaság és társadalom kérdését gyökereiben érintő problémakörrel foglalkozik. A témakör irodalma igen szerteágazó, az előbbieken említett hatáskontextusokon kívül magának az alapkérdésnek is sokféle matematikai és informatikai (szimulációs) megközelítése ismert. A Jelölt klasszikus irányításméleti, nemlineáris differenciálegyenletrendszereken alapuló megközelítést alkalmaz, amely kétségkívül hatékony matematikai eszközre alapul, ám az elméleti számítástudomány korszerű eredményei összefüggésében fontos az, hogy e modellek kezelésének, megoldásának az erőforrásigénye ne haladja meg a reális rendelkezésre álló erőforráskapacitást.

Összefoglalva, a témaválasztás igen időszerű, az alkalmazott megközelítés kétségkívül tudományosan megalapozott, bár az alternatív megközelítések az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb létjogosultságot nyernek.

**Formai jellemzők**

Az értekezés I-V, 1-137, összesen 142 oldalas mű. Ezen belül maga az értekezés szövege pontosan 100 oldalon, magyar nyelven, mintaszerű külalakkal, világos felépítéssel rendelkezik. Ezt követi 21 oldalnyi irodalomjegyzék, mellyel kapcsolatban kritikai megjegyzéseket teszek:

1. A műszaki közleményekben és értekezésekben jobban elterjedt a hivatkozások szegletes zárójelben történő folyamatos sorszámozása. Ehelyett ez az értekezés az első szerző nevét, a megjelenés évét, esetenként egy ponttal elválasztva egy további sorszámot és/vagy betűkből és számokból álló „rejtélyes” kódot ad meg zárójelben. Ezek alapján a hivatkozások visszakeresése nehézkes.
2. A hivatkozások stílusa nem egységes. Igen sok esetben a szerzők keresztnéve teljesen hiányzik másutt, rövidítve, megint másutt teljesen kiírva szerepel.
3. Számos hivatkozás „belső publikáció” megjelöléssel azonosíthatatlan, visszakereshetetlen anyagokra utal, a fellelhetőség, a belső anyag elkészülésének helye, az esetleges projekt vagy pályázat megjelölése nélkül. Az ilyen hivatkozás céltalan, hiszen az olvasó számára elérhetetlen.

Végül 26 oldalnyi melléklet következik.

### **Tartalmi kérdések, a tézisek értékelése**

A következőkben röviden, általánosságban értékelem az értekezést tartalmi szempontból. A tézisekben lefektetett tudományos eredményekkel kapcsolatos konkrét megjegyzéseket és kérdéseket a bíráló e fejezetében, az egyes értekezésfejezetek tárgyalásának részeként fogom megfogalmazni.

Az 1. Bevezetés a témaválasztás indoklását tartalmazza. A tárgyalt kérdéskör aktualitását kizárólag hazai kutatásokra utalva az (1977-2003) időszakban megjelent publikációkkal indokolja. Érdekes lett volna egy nemzetközi kitekintés is, annál is inkább, mivel a bevezetés szövegében utal az intelligens közlekedési rendszerek nemzetközileg nagyon széles körben kutatott fontos és korszerű témájára.

A 2. fejezet a közúti közlekedés meghatározó szerepét mutatja be nemzetközi statisztikákra is utalva, azonban itt is magyar szerzőjű közleményekre hivatkozva. Részletesebben mutatja be, a magyar úthálózat közlekedés terhelési adatait, az Európai Unió 2001-2010 közlekedés politikájának említésével, melyre a hazai 2003-2015-re deklarált közlekedéspolitikai feladatok épültek.

A 3. fejezet a közlekedési rendszerek forgalmi folyamatainak modellezése alapfogalmait és néhány alapdefinícióját mutatja be. Itt értelemszerűen a hivatkozások a nemzetközi publikációkkal kezdődnek.

A 3.2-3.3 alfejezetek a hazai kutatási tevékenységet foglalják össze, számos esetben hivatkozva a saját közleményekre.

A 3.4. alfejezet a járműforgalmi folyamatok dinamikájának kérdéskörével foglalkozó nemzetközi irodalmat tekinti át, a 3.5 pedig ugyanezen kérdéskör néhány alapvető matematikai formuláját is bemutatja.

A 4. alfejezet a nagyméretű közúti hálózatokban fellépő bonyolult forgalmi folyamatokkal kapcsolatos általános gondolatok után néhány olyan megjegyzést fogalmaz meg, melyek a Jelölt kutatásaiban motiváló szerepet játszottak. Ez a fejezet kritikai megállapításokat is tesz más szerzők megközelítési módjával, modelljével kapcsolatban.

A 4.3 alfejezet már a Jelölt saját modellezési módszertanát vezeti be, melynek két lényeges, újszerű eleme a hossz-kapacitásalapú járműsűrűség, mint alapelem, valamint a hálózati modell - egy vagy több - belső hálózatra és az ez (eke)t körülvevő és ezzel (ezekkel) dinamikus kapcsolatban lévő külső hálózat alkalmazása a modellben. A kapcsolatot a hálózatokon belül és a hálózatok között kapcsolati mátrixsal írja le. A következőkben a Jelölt a vizsgálatait újra nemzetközi kontextusba helyezi: a jármű sebességet hatféle értelmezésben és matematikai képlettel bemutatva.

Ezt követően kerül sor az 1. tézis megfogalmazására, mely a szokásosnál hosszabb és kizárólag verbális. Nem ártott volna itt sem a képletszerű megfogalmazás. A Tézis tartalmi értékelését a második részben adom meg.

Az 5. fejezet a hálózati forgalom általános matematikai modelljét tárgyalja. Utal a nemzetközi szakirodalomra és megállapítja, hogy a belső automatizmusfüggvények folytonosan

differenciálhatóvá tehető, amely igen fontos a későbbiek szempontjából. Az 5.1 alfejezetben kerül sor a hálózat szektorainak, illetve a szektorokon belüli kölcsönhatások megfogalmazására.

A 5.2 és 5.3 alfejezetek a belső és külső hálózati szektorok kapcsolatrendszerét adják meg differenciálegyenletek bevezetésével.

Az 5.4 a sebesség-sűrűség függvény vizsgálatával foglalkozik, mellyel a szektorok közötti kapcsolatokat tudja leírni. Ezt követi a 2. Tézis megfogalmazása, melyet szintén a második részben értékelek.

Az 5.5 alfejezet az univerzális forgalmi modellt fekteti le, az ezt követő alfejezet pedig a globális hálózati modellt, mint az előbbi kiterjesztését mutatja be. E modellek kapcsolati mátrixok formájában felírt differenciálegyenletrendszereken alapulnak.

Érdekes elem itt az egzisztencia és unicitás vizsgálata a globális hálózati modellen. Ezt a kérdést érdemes lett volna részletesebben kifejteni, a Tézisbe is beépíteni.

A 6. alfejezet egy konkrét hálózati modellt és az ezzel kapcsolatos néhány szimulációs eredményt mutat be. Ezek validálják a korábbiakban bevezetett modellek alkalmazhatóságát.

A 7. alfejezet a modell stabilitás vizsgálatával foglalkozik, melyet a Ljapunov-stabilitási függvényre alapoz. Az elemzés kimutatja, hogy a vizsgált modell alapján a rendszer mindig stabilis.

Az ezt követő tézisek értékelése a következő részben található.

A következőkben az egyes tézisekben megfogalmazott új eredményeket értékelem.

### **1.1 tézis**

A bonyolult közlekedési folyamatok dinamikájának újszerű makroszkopikus modellezési paradigmáját fogalmazza meg. A közlekedési hálózatok e szerint szektorokra oszlanak, melyek útszakaszok vagy parkolók lehetnek, a modell e szektorok valóságos térbeli lefedettségeit veszi figyelembe; egy-egy szektor jellemzője az itt mérhető együttes jármű hossz-maximumok szuprémuma, melyet a szektor hosszkapacitásának nevez. Ebből számolódik a járműsűrűség értéke. A tézisnek e pontja módszertani bevezetőnek tekinthető.

### **1.2 tézis**

Az 1.2 a járműforgalmi folyamatok modelljét egy időfüggő („pulzáló”) irányított gráf formájában tételezi, ahol a gráf csúcsai a fenti értelemben vett szektorok. Ebben a modellben a gráf élei a szektorok közötti dinamikus kooperációt (fluxust) jelentik. Ez a modell kétségkívül újszerű a hivatkozott klasszikus modellek kontextusában. Megjegyzem, hogy a modell szoros matematikai rokonságot mutat a szakirodalomban fuzzy kognitív térképnek nevezett kombinált fuzzy-neurális hálózati modellekkel, melyet ma már igen széles körben alkalmaznak a legkülönbözőbb sokkomponensű rendszerek dinamikus modellezésének céljaira.

Megkérdezem a Jelöltet, hogy végzett-e összehasonlítást a fuzzy kognitív térképek modellek segítségével elérhető eredményekkel.

### 1.3 Tézis

Ez a pont mutat rá, arra a fontos jellemzőre, hogy a modellezett rendszer nem zárt, komponenseit a Jelölt a „belső” és a „külső” hálózat közötti „virtuális zárt görbével” választja el, amely azonban nem határolja el a két hálózat részt dinamikus értelemben. Ebben a dinamikus szétválasztásban látom a modell különös értékét, amely felveti, hogy az 1.2 kapcsán feltett kérdésben említett fuzzy kognitív térképek esetleg csak általánosított formában lehetnek ekvivalensek az itt bevezetett új modellel.

Megkérdezem a Jelöltet, hogy a belső és a komplementáris külső hálózat határgörbéjének dinamikus változtatásával nyerhető modellcsalád esetén, milyen mértékben különböznek a modellezett közlekedési hálózatra nyerhető eredmények. Van-e „határérték-viselkedési” tendencia?

### 1.4. Tézis

Az említett négyféle dinamikus átadási kapcsolatot jó lett volna itt, a tézisben tömör, konkrét módon megadni.

Miben különbözik a kapcsolati hipermátrix a négy esetben?

### 1.4-5. Tézisek

A hipermátrixot tartalmazó differenciálegyenlet-rendszer megoldása milyen erőforrás igényű, illetve, végezték-e a Jelölt számítási bonyolultsági elemzést?

### 1.6. Tézis

A Jelölt az egy tézis eredményeit hat közleményben publikálta, melyek döntő többsége magyar vagy Q minősítéssel nem rendelkező közlemény.

Tervezi-e a Jelölt minősített publikáció megjelentetését?

A tézist önálló eredménynek tudom elfogadni, amennyiben a Jelölt kimutatja, hogy a javasolt modell mennyiben különbözik a fent említett fuzzy kognitív térkép modelltől.

## 2. Tézis

E tézis a sebesség-sűrűség törvénnyel kapcsolatban a koherencia elvét mondja ki. Ez az elv tekinthető a széles körben érvényes megmaradási elv közlekedési hálózatokra történő adaptációjának. A jelölt matematikai megfogalmazást ad a sebesség-sűrűség megmaradási törvényére, majd ebből meghatározza az elérhető maximális sebesség képletét.

A tézis eredményét a jelölt négy publikációban közölte, Q minősítés nélküli folyóiratcikkekben valamint egy nemzetközi konferencia kiadványában.

Itt is felteszem az egy tézis kapcsán adott publikációs kérdést.

A 2. Tézist önálló eredményként tudom elfogadni, amennyiben a jelölt megmutatja, hogy a sebesség-sűrűség törvény és az ennek alapján elérhető maximális sebesség, milyen új elemet hordoz a fizikai megmaradási törvényekhez képest.

### 3.Tézis

E tézis eredménye a 2-tézisnél általánosabb módon, elvileg tetszőleges számú „belső” hálózat egy tágabb „külső” hálózatba történő beágyazódás mellett mutatja be az univerzális hálózati modellt, valamint adja meg az ehhez tartozó differenciálegyenlet-rendszert. Újszerű ötlet a Ljapunov függvény alkalmazása, melynek segítségével megállapítja a fenntartható (stabil és statikus) járműsűrűségállapot feltételét.

### 4.Tézis

A fenti univerzális hálózati modell kiterjesztésével lehetőség adódik a hálózatot érintő gazdasági folyamatok vizsgálatára is.

Ez a kérdés matematikailag nem tartalmaz lényegesen új elemet, ám a gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos lehet.

E két tézis új eredményt tartalmaz, melyet a két tézis összevonásában tudok értelmezni, azonban itt is felmerül a számítási bonyolultság kérdése.

Tervezi e a Jelölt a Q minősítésű publikációt?

Az összevont 3-4 tézist új eredményként tudom elfogadni.

Az értekezés nyolcadik fejezete egy alkalmazási példát mutat be. A Jelölt prediktív irányítási módszert javasol, mely mintavételezéses numerikus optimalizáláson alapul. A módszer adaptív, a rendszer működése során dinamikusan változik.

Az alkalmazási példában a Jelölt több feltételezéssel él, ezek kapcsán kérdést is teszek fel.

1. Feltételezés: adott csomópont esetében már megtörtént a fázisba sorolás.  
Kérdés: milyen kritériumok figyelembevételével, hogyan történik a minimális fázis számra való redukció.
2. Feltételezés: a vezérlés terve már kiegészült az engedélyezett fázisátmenetek tervével, a fázisengedélyezési tervvel és a vezérlési logikával.  
Kérdés: milyen forrásokból, milyen eljárással lehet ezeket meghatározni?
3. Feltételezés: már meghatározásra került a közbenső időmátrix  
Kérdés: hogyan történik ez, milyen forrásokból?

A következőkben a Jelölt olyan modellt javasol, amelyben a kereszteződéseket gráfcsúcsként, az összekötő útszakaszokat gráfélként reprezentálja. Ez a modell látszólag ellentmondásban van a 2-4 tézisekben alkalmazott gráfos modellel, annak mintegy komplementere.

Kérdés: hogyan illeszkedik ez a modell mégis a tézisekben megfogalmazott újszerű modellreprezentációhoz?

A következőkben két egyirányú út egyszerű lámpás kereszteződésének a korrekt modellje került felállításra. Ezután a Jelölt célfüggvényt fogalmaz meg az optimális irányításra, amely figyelembe veszi a napi, heti, és irányfüggő forgalom változások statisztikai adatait.

30 sec-os mintavételezési sűrűség mellett a szimuláció elvégzésével a modellt validáló szimulációs eredmények születtek.

A második alkalmazási példa két, kétirányú lámpás kereszteződésének közös irányítási modelljét mutatja be. A Jelölt a zárójel (8.20) célfüggvényt optimalizáló visszacsatolt irányítást alkalmaz.

Az értekezés állítása szerint a modell alapján 45-50%-os növekedési eredmény érhető el az optimális működtetéssel.

Kérdés: mi a jelzett növekmény viszonyítási alapja?

Kérdés a nyolcadik fejezethez: kiterjeszhető-e az itt bemutatott modellalkalmazás nagyszámú (tényleges városi viszonyokat tükröző) keresztezésekkel álló általános topológiájú úthálózatra? Figyelembe véve a közös irányítási algoritmust, milyen korlátok léphetnek fel a valós idejű irányításban a bonyolultság növekedésével?

A 9. fejezet trajektórián történő mozgás optimalizálását bemutató alkalmazást tartalmaz. Az optimális trajektória megkeresése variációszámítással valósul meg, a Jelölt egy korábbi publikációjában ismertetett módon.

Kérdés: mennyiben újszerű az itt alkalmazott eljárás ebben az összefüggésben, amennyiben új eredményt tartalmaz, miért nem került tézisbeli megfogalmazásra? Hogyan kapcsolódik ez a modell az értekezés téziseiben szereplő modellhez?

Az itt bevezetett alkalmazási modellt egy budapesti nagy forgalmúútvonal adatain, valamint a győri városközpont főútvonalán is validálta a Jelölt. Az eredmények igazolják a modellek alkalmazhatóságát.

A 10. fejezet az új tudományos eredményeket foglalja tömören össze.

Az irodalomjegyzék kérdése.

Igen sajnálatosnak tartom, hogy az egyébként számos tételt tartalmazó (számozás nélküli) irodalomjegyzék 2010 után megjelent tételei között (az önhivatkozásokat leszámítva) csekély számú található, e hivatkozások egyjegyű számmal fejezhetők ki. A hivatkozási rendszer egyébként kissé nehézkesen követhető, mivel az igen nagyszámú önhivatkozásnál nem egyértelmű egy adott tétel elhelyezkedése a listában. Az elmúlt évtized publikációinak ismerete és feldolgozása azért is fontos volna, mert ez az időszak nagyszámú meta-heurisztikai modell és ezekhez kapcsolódó szimulációs algoritmus megteremtését hozta, melyek a közlekedési rendszerek területén is széleskörű alkalmazásokra kerültek, illetve számos érdekes új tudományos kutatást eredményeztek. Természetesen a benyújtott értekezés más, klasszikusabb megközelítés alapján elvégzett kutatásokról számol be, azonban mindenféleképpen emelte volna az elért eredmények értékét, ha ezekkel a korszerű módszerekkel elvégzett vizsgálatokkal történt volna összehasonlítás.

Az idegen nyelvű hivatkozásokban elszórtan betűhibák találhatók.

### **Összefoglalás**

A fentieket összefoglalva megállapítom, hogy a bírált értekezés értékes kutatási munka eredményeit tartalmazza, amelyek új tudományos eredményként értékelhetők.

A bírálatban számos kérdést fogalmaztam meg, amelyekre adott Jelölti válaszok alapján a fentiek szerint három új tudományos eredményt tudok elfogadni.

Az értekezés nyilvános vitájának kitűzését javaslom.

Budapest, 2021. szeptember 22.



Dr. Kóczy László Tamás

MTA Doktora