

Opponensi bírálat Varga István

“A közúti járműforgalom becslése és irányítása” c. doktori értekezéséről

Készítette: Tar József

2020. február 21.

1. A témaválasztás aktualitásának értékelése gyakorlati és tudományos szempontból

Ugyan a témaválasztás társadalmi vonatkozásai és az elért új tudományos eredmények napi alkalmazhatósága egy akadémiai disszertáció értékelésénél nem az elsődleges szempont, annak specialitásai és roppant nagy gyakorlati fontossága miatt bírálatomat mégis ezzel szeretném kezdeni.

Bár az információs hálózatok gyors fejlődése a városokon belüli és a települések közti utasforgalom nagymértékű redukcióját teszi lehetővé azáltal, hogy a munkát végző ember utaztatása helyett elegendővé teszi csak az általa „gyártott” információ utaztatását, az egyéb jellegű árucikkek és a személyek más okokból nélkülözhetetlen közlekedése szükségessé teszi a közúti közlekedés folyamatos bővítését. E bővülés részben nagyon drága beruházások segítségével (új utak építésével, vagy a meglévő útstruktúra átépítésével), vagy mérsékelt költségekkel járó továbbfejlesztésével (a meglévő struktúra informatikai elemekkel való bővítésével, és ezek segítségével tudományos módszerekkel elérhető eredményesebb működtetésével) biztosítható.

A témaválasztás olyan területre esik, amely mindennapi komfortérzetünket, a közlekedéssel járó légszennyezés miatt egészségi állapotunkat és az ehhez kapcsolható externális társadalmi költségeket, a környezet állapotát, a gazdaság működésének hatékonyságát érintően a fogyasztási cikkek árát is erősen befolyásolja. **Az értekezés témaválasztása gyakorlati szempontból minden kétséget kizáróan nagyon fontos és aktuális.**

Tudományos szempontból megítélve a választott tématerület számos vonatkozása egy vérbeli kutató számára valódi „csemege”. Magának a közúti forgalomnak a modellezése az utóbbi kb. 100 évben vált többé-kevésbé érdekessé, s ezt éppen a forgalom folyamatos növekedése kényszerítette ki. Különböző szintű (mikroszkópikus, mezoszkópikus, makroszkópikus) modellek alakultak ki, amelyek létrehozta olyan „alapfogalmakat”, amelyek a jelenségek mögötti főbb fizikai mennyiségeket ragadják meg, s valamilyen matematikai összefüggéseket állapítottak meg ezen alapfogalmak között. A kutatók különböző mérési módszereket dolgoztak ki az egyes alapfogalmak mögötti fizikai mennyiségek becslésére, kialakult a szakterület „fenomenológiája” is, s az így kialakult modellek alapján kísérleteket lehetett tenni a forgalom szabályozására is. **Fontos figyelemmel lenni arra, hogy az adott témakörben sem a modellalkotás, sem a mérési módszerek, sem pedig a lehetséges szabályozási módszerek kidolgozása nem zárult le, így aktualitását mindezen területek egymással párhuzamos fejlődése biztosítja. A téma újdonságtartalmának megítélésakor a szabályozási feladatok szempontjából azt is értékelnünk kell, hogy nemcsak az elméleti módszerek fejlődnek,**

hanem az azok implementálását lehetővé tevő hardver és szoftver eszközök is. Így egyértelműen megállapítható, hogy a témaválasztás tudományos szempontból nagyon aktális. Az értekezés az előzmények áttekintésével igen érzékletesen mutatja be ezt a fejlődési folyamatot.

2. Az alkalmazott kutatási módszerek értékelése tudományos szempontból

Az értekezésben közreadott eredmények egyrészt mérés technikai, másrészt szabályozásméleti vonatkozásaik miatt jelentenek tudományos újdonságot. Ezek az újdonságok szilárd elméleti és technikai alapokra épülnek, amelyekről egyúttal jól el is különíthetők. Ugyannakor ezek az elméleti alapok nagyjából megszabják azokat a korlátokat is, amelyekből a jelen értekezés eredményei nem tudnak „kitörni”, s amely korlátokból való kiszabadulás a jövőre nézve további nagyon jelentős fejlődés forrása lehet. Ezen alapok és korlátok ismereteim szerint a következők:

1. A gyakorlat igényeivel összhangban a szabályozás minden esetben valamilyen „optimalizációs” feladat megoldásának megadásaként van megfogalmazva, amelyben valamilyen célfüggvény különböző korlátok melletti optimumát kell vagy egzaktul, vagy legalább jó közelítéssel meghatározni. E kiindulás alapvetően egy „heurisztikus módszer”, amely „hátráló horizontú szabályozás” néven a XX. század hetvenes éveiben ipari igények kiszolgálása céljából lett megfogalmazva. Lényege, hogy az egymással általában ellentmondásban álló, különböző kompromisszumok „bevállalása” árán teljesíthető elvárásokat valamilyen költségfüggvényben lehet „összesúlyozni”, míg a kompromisszumokat nem tűrő, szigorúan figyelembe veendő részleteket (ilyen pl. a szabályozandó rendszer dinamikai modellje, amelytől eltérően viselkedni az egyszerűen nem képes) az optimalizáció kényszerfeltételeiként kell megadni az esetleg még teljesítendő egyéb „keményen betartandó” kényszerfeltételek mellett. A rendelkezésre álló közelítő dinamikai modell használatával így egy véges (esetleg végtelen) időhorizontra kiszámíthatók a szükséges szabályozó jelek és a várt állapotváltozások. A gyakorlati megvalósíthatóság szempontjai miatt a tekintett véges horizontot többnyire diszkrét időráccsal közelítik, s az optimalizációs eljárást differenciálható célfüggvények esetén Lagrange redukált gradiens módszerével hajtják végre („Nemlineáris Programozás”). A kapott szabályozó jelekből általában egy (vagy esetleg néhány) időrácsnyi pontra kiszámolt értéket „rászabadítanak” a szabályozott rendszerre, majd –a modellezési hibák és a nem ismert külső zavarok hatásának kompenzálása céljából– e néhány lépés megtétele után megfigyelik a rendszer aktuális állapotát, és újratervezik a horizontot.
2. A fenti módszer egyfajta „keretet” biztosít a feladat megfogalmazására és megoldására, amely nagyon rugalmasan alakítható az alábbiak szerint, s így számos új egyedi tudományos eredmény létrehozására nyújt lehetőséget:
 - Maguknak a célfüggvényeknek a szerkezete szabadon alakítható;
 - A célfüggvények egyes komponenseinek „összesúlyozása” szabadon alakítható;
 - A redukált gradiens módszer számítási kapacitás igényét leginkább a kényszerfeltételek kezelése növeli meg; emiatt megfontolandó lehet, hogy ha már a rendelkezésre álló modell amúgy sem nagyon pontos, tehát a „pontosan betartandó kényszerfeltétel” amúgy sem tartható be pontosan, meg lehet próbálni azt kiszedni a kényszerek közül és beépíteni a költségek közé annak megszegését erősen büntető járulékkal;
 - A lokális optimum megkeresésénél az optimális megoldás „társfeladatában” szereplő ún. „auxiliary function”-nak az állapotváltozók, a szabályozó jelek és a Lagrange szorzók szerint képzett parciális deriváltjai optimumban kötelezően zérus voltát esetleg ki lehet

használni úgy, hogy ezek közül valamelyiket speciális esetekben zárt alakban ki lehet fejezni a többi változóval, és így a numerikus algoritmust az eredetinel kisebb dimenziójú térben kell csak alkalmazni (pl. a Moore-Penrose általánosított inverzének számítása esetében a teljes procedura elkerülhető egy kvadratikus mátrix hagyományos invertálásával);

- A redukált gradiens módszer teljes mértékű kiküszöbölése utat nyithat evolúciós algoritmusok alkalmazása előtt is az optimalizáció elvégzésére;
- Elvileg az új horizontra vonatkozó számítások elindítása igényli a kiindulási állapot pontos ismeretét; Ha ez gyakorlatilag nem lehetséges, különböző becslési módszerek alkalmazására is mód nyílik.

A fent körvonalazott „heurisztikus keret” igen tág, s azzal a hátránnyal bír, hogy az általa biztosított megoldások természetéről nagy általánosságban nem tudunk tenni semmi érdemleges, használható megállapítást azon túl, hogy a dinamikai modell felhasználására használt Lagrange szorzók és az állapotváltozók száma egymással azonos, s ezek vonatkozásában a klasszikus mechanika Hamilton-féle mozgásegyenleteihez jutunk egy megmaradó Hamilton-függvénnyel és egy összenyomhatatlan folyadékok mozgására emlékeztető megoldást kapunk. Emiatt *tudományos igényességű alkalmazása jelenleg szűk keretek közt mozog*, melyek ismereteim szerint nagyjából az alábbiak:

1. A célfüggvények általában konstans, szimmetrikus, pozitív definit mátrixokból és az állapothibákból álló kvadratikus kifejezések, amelyek deriváltjai a redukált gradiens módszerben „kényelmesen viselkedő” lineáris függvények lesznek;
2. Hasonló korlátozásokkal szokás büntetni a túlságosan nagy szabályozó jeleket is, ami hasonló előnyökkel jár;
3. Az alkalmazható rendszermodellek lineáris időinvariáns (LTI) modellek, vagy pl. nemlineáris rendszermodell esetén a tenzorszorzat modell közelítés alkalmazásával ilyen modellek lineáris kombinációiként jelennek meg valamilyen súlyfüggvények alkalmazásával;
4. Az optimalizálási folyamatban speciális esetekben a Lagrange szorzók az állapotváltozó és egy mátrix szorzataként állíthatók elő, e szorzómátrixokra egy Riccati-féle differenciálegyenlet adódik, amely az állapot alakulásától függetlenül oldható meg a horizontra; A XVIII. században Riccati ezen elsőrendű kvadratikus differenciálegyenlet megoldását át tudta alakítani egy másodrendű lineáris differenciálegyenlet megoldásává, amelynek a viselkedéséről már általánosságban lehetett modni valamit;
5. Schur mátrix-dekompozíciós módszerével kvadratikus mátrixegyenletekre vonatkozó feltételeket át lehetett alakítani lineáris feltételekké;
6. Az 1990-es évek elején Boyd és munkatársai „programhirdetése” alapján elterjedt gyakorlattá vált az a törekvés, hogy a szabályozási feladatokat ilyen formára próbálják hozni, mert ebben az esetben azok megoldására hatékony és megbízható szoftver csomagok állnak rendelkezésre.

Olyan kutató munkáknál, amelyeknél az általános „formális tudományos megalapozottság igénye” mellett további szigorító feltételt jelent a az eredmények megbízható alkalmazhatóságát biztosító mérnöki követelmény is, a fenti keretek közül való kitörés egyelőre kis valószínűséggel bír.

Az értekezés a szakterület aktuális állapotát összesen 202 közleményre való hivatkozással tekinti át, ezek közül az első 61 publikáció a Szerző saját munkásságára utal.

Megállapítható, hogy az értekezés által alkalmazott tudományos módszerek a fent körvonalazott, általánosan elfogadott normáknak mindenben megfelelnek, ezért modernnek, és a kor

technikai színvonalának lehetőségeit maximálisan kihasználónak tekinthetők. Ugyanakkor a keretek közt a korlátozások mellett megmaradó, még mindig elég tág mozgástérben való navigálás biztosítja az egyedi eredmények tudományos újdonságát is. Az értekezés kimondott eredményének tartom, hogy a szakmai tartalom „formalizálása” közben sohasem szakad el a „józan gyakorlati ész” által támasztott igényektől, tartalmilag interpretálja a tekintett mennyiségeket, s egyúttal rámutat az alkalmazott formalizálás fizikai korlátaira is.

3. A doktori értekezés formai értékelése

Az értekezés példás kivitelű, arányaiban nagyon jól felépített munka. A formálisan kötelező jegyzékeken túl az „1. fejezet” egy nagyon tömör, 4 oldalas történeti áttekintést ad gyakorlatilag az „őskortól” napjainkig. A „2. fejezet” az 5.-től a 9. oldalig fogalmazza meg a közúti közlekedés „irányítástechnikai leképezését”, s közel 1 1/2 oldalon taglalja az „irányítási cél” lehetséges megfogalmazásait, különös tekintettel az alkalmazandó célfüggvényekre.

A 10.-től a 40. oldalig tartó „3. fejezet” mérés technikai részletekkel foglalkozik, és áttekinti az egyszerű hurokdetektoros méréseken, a képfeldolgozáson, valamint a legújabb, a közlekedésben részt vevő személyek mobil telefonja által generált „Handover” és „Location Area Update” jeleinek felhasználásán alapuló módszereket. A Szerző új tudományos eredményei ebben a fejezetben jelennek meg először, az 1. és 2. *Tézis*-ben összefoglalva.

A „4. fejezet” a városi járműforgalom állapotjáról leírásán alapuló irányításával vagy inkább szabályozásával foglalkozik a 44. oldaltól a 78. oldalig. A Szerző e témakörben elért új tudományos eredményeit összegzi a 3. és 4. *Tézis*.

Az „5. fejezet” 81.-től 92. oldalig terjedő része a többkritériumos közúti forgalomirányítás témájával foglalkozik, a Szerző új eredményeit a 92. oldalon kezdődően kifejtett 5. *Tézis* foglalja össze.

Az eredmények tömör összegzése a 95. oldalon található. A 97. oldalon kezdődő „A. függelék” a Kálmán szűrő LTV rendszerekre való alkalmazását foglalja össze, melyet a Szerző a saját mérés technikai vonatkozású kutatásaiban aktívan felhasznált. A 99. oldaltól a 103. oldalig tartó „B. függelék” egy példát mutat a „Honnan Hová” mátrix Kálmán szűrővel történő becslésére. A 104. oldaltól a 106. oldalig tartó „C. függelék” ugyanezen mátrix „Moving Horizon Estimation” (MHE) módszerrel való becslésére mutat példát. A 107. oldaltól az 109. oldalig tartó „D. függelék” a forgalmi adatok mobiltelefonokból származó jeleinek becslésére ad példát. A 110. oldalon kezdődő „E. függelék” példát mutat egy egyedi kereszteződés forgalomszabályozásának megoldására torlódásdetektáló szűrő felhasználásával. Az „F. függelék” a 114. oldaltól kezdődően 2 oldalon át egy több csomópontból álló hálózati modell MPC alapú, jelzőlámpák segítségével történő szabályozására mutat példát. A 117. oldalon álló „G. függelék”-ben a Szerző egy az értekezésben felhasznált költségfüggvényt definiáló mátrix pozitív definit voltát bizonyítja be. A „H. függelék” a 118. oldalon kezdődően egy elosztott megvalósítású MPC alapú algoritmus működését mutatja be szimulációs eredmények felhasználásával. Az „I. függelék”-ben a Szerző egy eredetileg Löffberg-től származó levezetés általánosítását adja meg, amelynek új hozadéka a rendszermodellbe beépített zavaró tag kezelése. A módszer lényege kezelhető megoldás magadása egy „robusztus megoldást igénylő” optimalizálási feladatra, amely az ún. „minimax” megközelítésen alapul, azaz bizonyos változókra adott korlátok mellett megkeresi a „worst case scenario”-hoz tartozó, így maximalizált értékű célfüggvényt, majd ezt a „lehetséges legrosszabb” értéket minimalizálja. Bemutatja, hogy a feladat megoldása szemidefinit optimalizációs feladatra vezet. A „J. függelék” a 124. oldalon szintén Löffberg eredményeinek továbbépítését tartalmazza és az állapotkorlátozások teljesülését mutatja be.

A „*K. függelék*” a 125. és 128. oldalak között a robusztus MPC algoritmus szimulációs vizsgálatáról mutat be eredményeket. Az „*L. függelék*” az autópálya forgalom többkritériumos optimalizálására mutat példát 7 oldalon át. Végül a 135. oldalon kezdődő „*M. függelék*” két, az értekezésben a Szerző által felhasznált algoritmus részletes leírását adja meg. Az értekezés a Szerző hivatkozott saját közleményeinek, majd a más szerzőktől idézett publikációknak a listájával zárul.

Az értekezés nyelvezete szép, kellemesen olvasható, gördülékeny, szinte teljesen mentes az elütésektől és a lehetséges mondatszerkesztési hibáktól. Megjegyzem, hogy a Tézisfüzet tartalmaz olyan matematikai apróságokat, amelyeket magának a tézisfüzetnek a felhasználásával nem lehet értelmezni, s amelyek csupán a minden részletre kiterjedő értekezés elolvasása után válnak érthetővé. A vizsgált terület komplexitása miatt ezek előfordulása viszont gyakorlatilag szinte elkerülhetetlen.

4. A tézisek értékelése és az azokhoz tartozó kérdések

Mivel az adott területen az eredmények újdonságtartalma számos apró részlet „együttállásából” alakul ki, a tézisek lényegének rövid és tömör, e részletekre ki nem térő összefoglalása igen nehéz feladat, mégis megpróbálkozom vele.

1. Tézis: A tézis lényege, hogy a Szerző kimutatta: a járműmegmaradási modellre építve a járműszám és a torlódási információ a szabályozás gyakorlati igényei számára elegendő pontossággal becsülhető hiányos mérések eredményeinek felhasználásával, Kálmán szűrő alkalmazása segítségével. Kimutatta továbbá, hogy amennyiben a fordulási ráták az adott csomópontban ismertek, a csomópontok kimeneti detektorainak jelei ki is hagyhatók a rendszerből. *E tézishez 6 tudományos közlemény kapcsolódik szorosan.*

Kérdés: Az értekezés 16. oldalán a 3.6. ábra alatti szövegrészben a Szerző így ír: „*Szerencsés választás, ha minden egyes megfigyelt sorhoz (állapot) önálló beavatkozó lehetőség, azaz szabad jelzés idő (bemenet) tartozik.*” Valós városi forgalom esetén ez a megfogalmazás érzésem szerint finomítandó úgy, hogy a megfigyelt soroknak csupán egy csoportjához rendelhető hozzá egyszerre szabad jelzés idő, hiszen ha az egyik sáv szabad jelzést kap, egyes más sávok ugyanakkor piros jelzést kell, hogy kapjanak. A megfelelő „csoprotok” célszerű kiválasztása gyanúm szerint az úthálózat topológiai szerkezetének figyelembevételével tehető meg. Előfordulhat-e a gyakorlatban (pl. alkalmi útlezárások, javítások miatt) olyan struktúra, amelyen teljesen telített forgalom esetén, azaz midőn minden egyes útszakasz tele van, a forgalom teljesen megbénulhat? (Ez az eset különbözik attól a helyzettől, amely akkor alakul ki, mikor a közlekedők nem tartják be a lámpák által előírt szabályokat, emiatt eltorlaszolóják a keresztirányú sávot, amelyben emiatt a zöld idő alatt sem lehet mozdulni. Ezek a helyzetek általában a résztvevők „egyéni intelligenciája” és nem egy mechanikus modell alapján oldódnak meg.)

Kérdés: Az értekezésben a Szerző kiemeli, hogy e módszer „telített forgalmi körülmények között” használható, mert az alkalmazott lineáris modell feltételezi, hogy a kiáramló járműszám egyenesen arányos a szabad jelzés időtartamával, azaz mindig van elegendő sorban álló jármű. Jól értem-e, hogy ennek a korlátozásnak gyakorlati fontossága nincs, mivel ha a forgalom nem telített, azaz a szabad jelzések időtartama alatt a sorok ki tudnak ürülni, lényegében nincs is szükség szofisztikált forgalomirányításra? (Ekkor az irányítás szerepe kimerül annak akadályozásában, hogy a keresztirányú forgalomban haladó járművek egymással ne ütközzenek, s gyér forgalom esetén akár villogóra is lehet állítani a lámpákat, mert a közlekedők pl. a „jobbkez

szabály” alkalmazásával maguk is meg tudják oldani az ütközések elkerülésének feladatát?

Kérdés: A 22. oldalon a 3.10. ábra alatti szövegrészben ez áll: „Az *LQ szabályozási feladatot a következők alapján fogalmazhatjuk meg: a mért járműszámok ismeretében és az átbocsátó képességek alapján kell a szabad jelzések időtartamát úgy kiszámítani, hogy a következő lépésben a lehető legkevesebb legyen a soran álló járművek száma az egyes ágakban.*” Az így nyert eredményben a Q súlyozó mátrix elemei határozzák meg, hogy egyes ágak szempontjai milyen mértékben vannak figyelembe véve. Vannak-e valamilyen általános gyakorlati ökölszabályok a Q mátrix elemeinek célszerű megválasztására?

2. Tézis: A tézis lényege annak kimutatása, hogy a modell alapú, mozgó horizontú becslés (MHE) módszerével a közlekedési rendszerek célforgalmi mátrixa és a folyamat változói korlátozások mellett is becsülhetők, továbbá hogy a közlekedők mobilelfonjai jelének felhasználásával is hatékonyan becsülhető a célforgalmi mátrix. A tézis értékelésében nem tartom „hátránynak”, hogy az MHE módszer a Kálmán szűrőhöz hasonló módon nem fogalmazható meg „zártnak tűnő” formulákkal. A lényeges eredmény a precízen megadott, és a modern számítógépeken pontosan megvalósítható algoritmus. Az ún. „zárt alakoknak” csak az olcsó és nagy teljesítményű számítógépek megjelenése előtti időkben volt tényleges értéke, amikor az eredmények kiszámításához gyakorlatilag csak speciális függvénytáblázatok felhasználásával lehetett eljutni, mert ugyan elméletileg kiváló algoritmusok álltak rendelkezésre már akkoriban is, azok tényleges használata megfelelő erőforrások hiányában lehetetlen volt. *A tézishoz szorosan kapcsolódik a Szerző 12 tudományos közleménye.*

Kérdés: A 25. oldalon a „3.3.2. A célforgalmi mátrix klasszikus becslése” c. szakaszban megjelenik a „ráterhelési mátrix” az „útvonal”, valamint a hálózat „útszakaszai” halmazának fogalma. Számomra nem érthető tisztán az „útszakaszok” illetve az „útvonal” fogalmának használata az értekezésben. Útvonalon valamilyen „komplex útszakasz sorozatot” lennék hajlamos érteni, amely a közlekedő szándéka szerint alakul ki. Például egy ilyen útvonal sok zárt hurkot is tartalmazhat, mikor valaki egy adott környéken éppen felszabaduló parkolóhelyre vadászik. Az ilyen képződmények halmazáról bizonyára nagyon kevés információ nyerhető ki a szokásos megfigyelési módszerekkel. Leteséges-e az értekezés ezen részét csupán az „útszakaszok” fogalmára alapozva tárgyalni, elhagyva belőle az „útvonal” fogalmát?

3. Tézis: A tézis lényegének a „Traffic-responsive Urban Control” (TUC) módszer egy speciális megvalósítását vélem, amely az útszakaszok „tárol és továbbít” modelljére alapozva figyelembe tudja venni az egyes csomópontok irányításának egymásra kifejtett hatását, s ennek alapján egy szélesebb csoportra tud valamilyen értelemben optimális megoldást adni a zöldidők összehangolásával. A kidolgozott eljárás korlátozások figyelembevételével képes rugalmasan megválasztható célokhoz optimális megoldást adni az állapottérben felírt diszkrét idejű, időinvariáns, a járműmegmaradásra alapozó prediktív eljárás alkalmazásával, amely a parkolóhelyekre kilépő vagy azokból beáramló járművek hatását formálisan modellbizonytalanságként kezeli. *E tézishoz 9 tudományos közlemény tartozik szorosan.*
4. Tézis: A tézis lényegének vélem, hogy a Szerző a 3. Tézisben kifejtett módszer egy „elosztott számítási kapacitásokon megvalósítható” formáját dolgozta ki, amely minimális mértékű kommunikációt igényel a részeredményeken dolgozó számítógépek között. *A tézist a Szerző 8 tudományos közleménye is alátámasztja.*

Kérdés: A 67. oldal (4.76) egyenlete azt sugallja, hogy egy Lagrange szorzó következő lépésbeli értékének kiszámítása az alkalmazott iterációban igényli az összes többi Lagrange szorzó

aktuális értékének ismeretét is. Jól értem-e, hogy a 65. oldalon szereplő „4.12. ábra. Elosztott irányítási struktúra” című ábra ezt az igényt nem láttatja pontosan, mert olyan felületes benyomást kelt, mintha az egyes szabályozók csak a szomszédaikkal kommunikálnának?

5. Tézis: A tézis lényege, hogy a Szerző módszert dolgozott ki gyorsforgalmi utak forgalmának szabályozására a forgalomtechnikai igények mellett optimálisnak tekinthető és a károsanyag kibocsátás szempontjából optimális állapot súlyozásával kialakítható állapot megvalósítására. Az elért eredmény tudományos értéke, hogy a károsanyag kibocsátás szempontjából optimális működési tartományban a maga a forgalom szabályozás nélkül már instabil lenne, stabilitását azonban az új szabályozó biztosítani tudja. A módszer egy LPV jellegű makroszkópikus modellre és emissziós modellekre kialakított MPC-nek felel meg. A szabályozó megtervezésében a Szerző erősen épített Luspay Tamás egy korábbi munkájára. *A tézist a Szerző 11 tudományos közleménye is alátámasztja.*

5. Nyilatkozat az egyes tézisek elfogadásáról vagy elutasításáról

A fenti értékelés alapján, különös tekintettel a tézisekben foglalt megállapítások erős publikáltságára is, **határozottan kijelentem, hogy a Szerző minden egyes tézisének elfogadom új tudományos eredménynek.**

6. Nyilatkozat arról, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz-e

A tézisek tudományos tartalmának igényes ismertetése, az értekezéshez csatolt, tudományos részleteket ismertető mellékletek és a szakterület aktuális állását ismertető alapos és részletes szakirodalmi áttekintés valamint a tézisek megállapításainak erős publikáltsága alapján **az a határozott meggyőződése alakult ki, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz.**

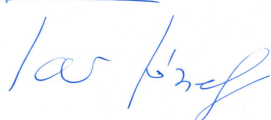
7. Nyilatkozat a nyilvános vita megtartásáról

A benyújtott értekezés alapján **határozottan javaslom a nyilvános vita megtartását.**

8. Javaslat az „MTA doktora” cím odaítéléséről

Mivel a jelen bírálat tárgyát a benyújtott értekezés képezi, s annak alapján a bírálónak módja van nyilatkozni az „MTA doktora” cím odaítéléséről, ezzel a lehetőséggel a bírálat jelenlegi szakaszában kívánok élni.

A benyújtott értekezés alapján határozottan javaslom Varga István számára az „MTA doktora cím” odaítélését.



Tar József egyetemi tanár, az MTA doktora