

Autóipari logisztikai hálózatok sztochasztikus modellezéséhez szükséges paraméterek elemzése

Dömötörfi Ákos*
Dr. Péter Tamás**

*Széchenyi István Egyetem, Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
H 9026 Győr, Egyetem tér 1. (Tel:+36-96-503-490; e-mail:cekaah@freemail.hu)

**BME Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék,
1111 Budapest, Stoczek u. 2. (e-mail: peter.tamas@mail.bme.hu)

Absztrakt: A bonyolult hálózatok modellezése véletlen tényezők figyelembe vétele nélkül, ma már, szinte elképzelhetetlen. Az autóipari ellátási láncok speciális követelményei miatt, ez hatványozottan igaz. Tanulmányunk azt vizsgálja, hogy mely rendszerekkel, modellekkel, gráfelméleti eszközökkel modellezhetők a járműiparban végbemenő és a közlekedéssel összefüggő logisztikai ellátási lánc folyamatok?. A kutatás rávilágít arra is, hogy mely párhuzamosságok, valamint különbségek fedezhetők fel a véletlen gráf alkalmazása, illetve hálózatelméleti szempontból, amelyek a rendszerek szervezésében nyújthatnak további segítséget.

1. BEVEZETÉS

A tudomány fejlődése Kuhn szerint nem más, mint paradigma-váltások sorozata. „A kutatók mindig találnak olyan dolgokat, amik nem illeszkednek az adott rendezőelvhez. Amikor megszorodnak ezek az elemek, jön egy zseni, aki felrobbantja az addig érvényes magyarázatokat. Később, megint lesznek olyan elemek, amik nem illenek bele az újabb magyarázatba, ezért újabb paradigmaváltás jön. Ilyenkor egyúttal általában el is felejtik a korábbi rendszert. Ez tulajdonképpen érthető, mert eszerint az új rendszer szerint akarják megmagyarázni, és nincs szükségünk a korábbira”. (Kuhn, 1962)

Kuhn 1962-es felismerése vezetett oda, hogy szinte kivétel nélkül minden tudományterületen paradigmaváltásokról beszélünk, újabb és újabb feltételezések, modellek és megoldások születnek. Annyiban azért lehet vitatkozni a kuhn-i kijelentéssel, hogy egy adott paradigma továbbra is működőképes és megfelelő bizonyos fokú tudományos kérdések magyarázatára, de mivel a világ dinamikusan változik ezért újabb és újabb tudományos felvetésekre, (jelen esetünkben műszaki) megoldásokra van szükség.

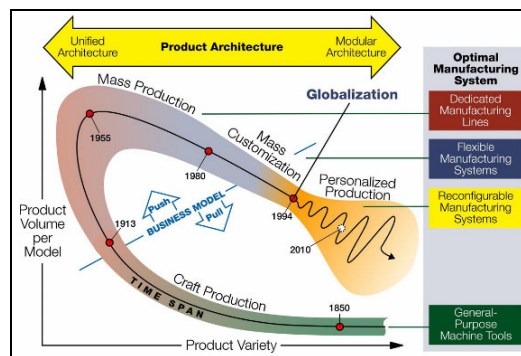
Nincs ez másképp a logisztikai láncok kutatásával sem, mert ahogy a világ változik úgy kell alkalmazkodnia a hálózat működésében résztvevő összetevőknek is ahhoz, hogy a rendszer működőképes legyen és az optimumra törekedjen.

2. PROBLÉMAFELVETÉS

A közlekedési és logisztika rendszerek napjainkban gyorsan változó, bizonytalansággal terhelt környezetben működnek. A szállítások tervezésénél egyre nagyobb figyelmet kell fordí-

tani a környezetterhelés csökkentésére is, Lakatos István (2004.1), Lakatos István (2004.2), Lakatos István (2007)

Növekvő komplexitás figyelhető meg a logisztikai folyamatokban, a szolgáltatásokban és a vállalatstruktúrákban egyaránt. A gyorsan változó piaci hatásokra, külső és belső változásokra, illetve zavarokra, a rendszernek az adott probléma természetének megfelelő gyorsasággal, valószínű időben – az irányításnak pedig még gyorsabban - kell reagálnia. Napjaink ellátási lánc rendszereinek irányítási szempontból értelmezett célja, hogy a változó viszonyokhoz adaptív módon igazodva hangolja össze a rendszer viselkedését, valamint hogy költség, idő és minőség szempontjából hatékony módon tudjon megfelelni a piaci igényeknek is.



1. ábra. A piaci és társadalmi igények mint a paradigmák fő vezérlői (Koren, 2010)

A logisztikai rendszerek bonyolult, nagyszámú sztochasztikus állapotváltozóval rendelkező, dinamikus struktúrák, melyek napjainkban már globális méretű intelligens gyártórendszereket, digitális vállalatokat is kiszolgálhatnak. Ezért fontos őket előrjelezni, tervezni és lehetőség szerint szimulálni. Az 1. ábrán látható Koren-féle model szerint ez nem volt mindig így. Ahogy a kor előrehaladtával változtak a vásárolói igények és Toló (Push) rendszerek átalakultak húzó (Pull) rendszerekké, egyreinkább előtérbe kerültek a rugalmas gyártórendszerek, ezáltal a sztochasztikus modellezések is. Míg korábban a sztochasztikus folyamatokat elsősorban gépmeghibásodások valószínűségének leírására alkalmazták ipari környezetben, mára elérkeztünk arra a szintre amikor a véletlen folyamatok figyelembe vétele elengedhetetlenül szükséges akkor amikor közlekedési, logisztikai folyamatokat modellezünk.

3. MODELLALKOTÁS ELEMELI

Cél, hogy minél pontosabb modellt adjunk. A logisztikában általában megtervezett szállítási útvonalak vannak, amelyek, ha minden rendben van, akkor terv szerint történnek. Amikor viszont szállítás történik a közlekedés bekapcsolódik a láncba, amely viszont sztochasztikus lefolyású folyamat. Ebből adódóan maga a logisztikai folyamat egy bonyolult rendszerre válik, melyben a szállításoknál lehetnek zavarok is. Eszerint a trajektória lehet, hogy megvalósul, de az is lehet, hogy torlódások, balesetek, elterelések miatt nem, ezért a véletlenek szerepének vizsgálatát, költség, idő és biztosítási oldalról is figyelembe kell venni! (Extrém esetekben pl. háborúban felrobbantják azt a hidat amely az utánpótlást biztosítja). További fontos kérdés, hogy hogyan függ a hálózat összeteljesítménye a kiiktatott útvonal(ak) számától? (ez esetben átlagos eljutási idő, átlagos úthossz, átlagos várakozási idő stb.) Ezeket lehet nagy valószínűséggel kalkulálni és matematikai, sztochasztikai, és operációkutatási modellekkel leírni. A gyakorlatban ezen a területen ezt nevezzük dinamikus gráf szervezésnek, amely folyamatosan, célfüggvények figyelembe vételével történik, (minőség, költség, idő tényezők szerepelnek ebben). Ezt, az ellátási lánc típusától függően össze kell állítani és lehet szimulálni is, ha megadjuk az egyes célfüggvények tulajdonságait. Milyen termék (vagy szolgáltatás) van a láncban, milyen beépítési szintjei léteznek, milyen alkooperációs csúcsaik vannak, és kikkel alkotnak egységet a termék összeállításánál. A rendszer méretét tekintve szintén nem utolsó szempont a rugalmassági tényezők figyelembe vétele és azok modellbe történő integrálása. (Péter & Dömötörfi, 2014)

3.1 Trajektóriát befolyásoló szűk keresztmetszetek

A rendszer leírásakor bizonyos, a lefolyását befolyásoló tényezőket is figyelembe kell venni. Közlekedési rendszerek esetén amennyiben a hálózat működését negatívan befolyásolják, szűk keresztmetszetekről beszélünk. A szűk keresztmetszet közlekedési értelemben vett általános megfogalmazása: azon közlekedési feltételek összessége,

melyek túl hosszú eljutási időhöz vezetnek és/vagy késéseket okoznak az egyén számára, vagy az áruszállításban.

A szűk keresztmetszetek régióról-régióra különbözőek az infrastrukturális szabályozásoktól és forgalomtól függően. Ezek műszaki, gazdasági, politikai vagy környezeti hiányosságként, Lakatos I, Nagyszokolyai I (1997),(1998) Lakatos I.(2010), Lakatos I., Hajdu F. (2014), írhatók le, melyek a rendszer nem kielégítő rendelkezésére álláshoz vezetnek.

Műszaki jellegű szűk keresztmetszet akkor lép fel, amikor problémák adódnak az alacsony minőségű infrastruktúrával, például keskeny és kanyargós utak, öreg, helytelenül megtervezett vasutak, amelyek nem rendelkeznek összeköttetéssel kikötőkkel vagy repterekkel. Ez gazdaságtalan áruszállítást eredményez, hosszabb átfutási idővel.

Gazdasági szűk keresztmetszet az, amikor nincs megfelelő pénzügyi forrás az infrastrukturális beruházásokhoz.

Környezettel kapcsolatos szűk keresztmetszetek lehetnek, amikor a tömegközlekedésben fennakadás, vagy hiányosság van, melyek ingázási célra, a gépjárművek szükségtelen használatához vezetnek

Politikai akadályok lehetnek a határátlépési problémák, a bonyolult vámkezelési procedúrák. Ha egy régió a politikai döntések meghozatalában történő eredménytelenség miatt kerül hátrányba, lásd magyar belvízi hajózás kérdése, egy másik példa politikai jellegű akadályokra.

Összefoglalva, a közlekedési rendszerrel összefüggésbe hozható szűk keresztmetszetek (azok alsóbb szintjein végbemenő folyamatok), kihatnak a logisztikai rendszer működésének folyamataira is.

3.2 Autóipari ellátási láncok sajátosságai

A kutatás fő témaköre a logisztikai láncok vizsgálatán belül az autóipari láncok vizsgálatára koncentrálódik. A rendszer modellekkel történő leírásában, a korábban említett gráfelméleti és sztochasztikus kapcsolatok mellett, hálózatelméleti párhuzamok figyelhetők meg, amelyek alkalmasak a globális autóipari hálózatok rendszerének leírására.

Azzal kapcsolatban, hogy milyen mélységében vizsgáljuk az autóipari ellátási láncban végbemenő folyamatokat, szintenként különböző modellek figyelhetőek meg. Eszerint különíthetők el a determinisztikus és a sztochasztikus folyamatok.

Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy egy adott folyamat az ellátási láncban nagy valószínűséggel megjósolható aszerint, hogy az értéklánc mely szintjén helyezkedik el. Példának okáért egy nagy autógyár termelési programjának trajektóriája már napokkal, hetekkel előre megjósolható és tudja, hogy mit fog egy adott pillanatban gyártani. Ez lebontva az ellátási lánc operatív szintjére már koránt sem igaz, mert ahogy a beszállítók is bekerülnek az értékkeremtési

folyamatba a rendszer komplexebbé válik. Az időbeli elkülönültség és adatfeldolgozás miatt korántsem biztos, hogy ugyanolyan irányelvek mentén fogja egy beszállító a termelését is irányítani, amilyen taktikában egy autógyár termel. Ezen folyamatokat tovább bonyolítja, hogy JIT vagy nem JIT beszállítóról beszélünk, illetve szintén része a beszállított alkatrészek összetettségi foka. Ha egy komponens hiányzik az előre eltervezett termelési folyamatból valamilyen előre meg nem jósolható ok miatt, akkor az egész termelési terv borul. Ezek a folyamatok jól modellezhetők a véletlen gráfokkal. Ilyen szempontból tehát az autóiipari ellátási láncok hihetetlenül regulárisak.

Komplex rendszereket viszont, hálózatok nélkül nehéz megérteni. Erdős és Rényi szerint minden csomópontnak egyformának kell lennie (Erdős-Rényi, 1959), ezzel szemben Barabási elmélete azt bizonyítja, hogy a huboknak nagyobb jelentőségük van. (Barabási, 2003) Ezt az autóiipari hálózatokra lefordítva úgy is értelmezhetjük, hogy az autógyárak az úgynevezett hubok, melyekhez több csomópont csatlakozik és ezek a beszállítók. A beszállítások melyen a folyamatok végbemennek a véletlen gráf élei, amely azt eredményezi, hogy rengeteg nagyszámú kis csomópont van (beszállító) és néhány óriás (autógyár). Ez egyben azt jelenti, hogy nincs a rendszernek egy belső skálája, azaz skálafüggetlen.

A globális autóiipari hálózatok közlekedéslógisztikai modellje tehát leírható a véletlen és skálafüggetlen gráfok kombinációjaként. Egy véletlen hálózat fokszám eloszlása normális (Gauss) eloszlást követ, amely szerint a csúcsok többségéből ugyanannyi él indul ki, és nincsenek kiugróan magas kapcsolattal (fokszámmal) rendelkező csúcsok. Így a véletlen hálózat egy nemzeti autópálya hálózathoz hasonló, amelyben a csúcsok a városok és az élek, az azokat összekötő autópályák. Habár a legtöbb város ugyanannyi autópálya összeköttetéssel rendelkezik, szembejövő, hogy a skálafüggetlen hálózatok hatványfüggvény szerinti eloszlása azt mutatja, hogy a legtöbb csúcsnak csak néhány összeköttetése van, melyet néhány erősen összekapcsolt hub tart össze. Vizuálisan ez nagyon hasonló a légiközlekedéshez, melyben nagy számú kis repülőtér kapcsolódik egymáshoz néhány nagy hubon keresztül. Néhány nagyobb csomópont nagyon sok járatot fogad naponta, ennél több, még mindig nagy csomópont kevesebbet, és többségben vannak azok a repülőterek, ahonnan kevés járat indul. (Barabási, 2003).

Az úthálózat viszont nem tekinthető skálafüggetlen hálózatnak. Ez nem is meglepő, hiszen itt egy csomópontban többnyire négy él találkozik (egyszerű kereszteződés) néha csak három (T elágazás) néha négyenél több, de ritkán több ötnél is (hiszen a csomópont kezelhetetlenné válna). A szövetségi úthálózat konfigurációját tehát a véletlen gráf írja jól le. De vajon milyen törvényszerűség állhat a skálafüggetlen hálózatok kialakulása mögött. Barabási megmutatta, hogy két szabályban összefoglalható az az algoritmus, amely alapján skála-független hálózatok generálhatók. A két szabály a következő: (1) a gráf csomópontjainak a száma nem eleve adott, hanem növekszik,

(2) nem véletlenszerűen jönnek létre a csomópontok közötti kapcsolódások, hanem preferenciálisan: egy pontnak a további kapcsolatok kialakítására vonatkozó esélye annak arányában nő amennyi kapcsolattal a csomópont már rendelkezik (Fleischer, 2004)

Autóiipar nyelvére lefordítva, ez többféle párhuzamot is mutathat. Egyrészt nagy beszállítók esetén mely több helyre szállítanak be (közlekedéshez hasonló forgalom keltés), vagy a szétosztásban, amikor egy autógyárból több irányba indul meg a készre szerelt gépkocsik szétosztása. Igaz rájuk a skálafüggetlenség is, mert nem mindegyik autógyárnak ugyanazok a beszállítók szállítanak be, ami abból adódik, hogy a járművek komplexitásai miatt (customization) eltérő az egyes járműgyártók beszállított alapanyagbázisa még akkor is, ha a jármű főegységei ugyanazok. Az autóiipari ellátási lánc nem egy statikus objektum. A világ gazdasági teljesítményével, a motorizáció fejlődésével folyamatosan növekszik. A skálafüggetlenség ezért abban áll, ha egy új szereplő megjelenik a láncban, nem véletlenül fogja eldönteni, hogy hova kapcsolódik, hanem többnyire az erősen csatolt csomópontokhoz kapcsolódnak, azaz az autógyárakhoz.

Mindebből következik az, hogy egy beszállító akár több autógyárhoz is csatlakozhat, mely visszavezethet a gráfelmélet alapjaira. A háló hatékonysága azon múlik, hogy mennyire könnyű szétszakítani. A skálafüggetlen hálók nagyon robusztusak, nehezen esnek szét. Ennek oka, hogy a középpontok olyan erősen tartják össze a rendszert, hogy az nagyon nagy számú pont hiányában is tovább működik. Matematikailag nem vonatkozik rájuk az az elmélet, amely korábban leírta, hogy esik szét egy háló (paradigmaváltás): ez azt mondta ki, hogy egy ideig eltávolíthatjuk a csomópontokat, de egyszer csak eljön a kritikus érték, ahol a háló hirtelen szétesik. Ami különbség, hogy a skála független hálózatoknak nincsen kritikus pontjuk. Nagyon sok kis csomópont van és csak egy néhány nagy kapcsolt. Ha véletlenszerűen kapcsolunk ki tagokat, akkor a hálózat megmarad. Ez azt is jelenti, hogy hubokat is ki lehet lőni, de maga a hálózat nagy valószínűséggel fennmarad. Nagy valószínűséggel az is igaz, hogy a megmaradó csomópontok is képesek kommunikálni egymással. Ha makroszkopikusan nézzük, a hálók önszervezően is működhetnek, vagyis mindegyik autógyár maga dönti el, hogy melyik beszállítóval akar kapcsolatban állni.

Minden nagyhálóban jelen vannak a hubok és ha már egyszer jelen vannak, akkor döntő szerepet játszanak ezekben a hálóknak. Ők a kapcsolók az egyének között, rajtuk keresztül lesz az egész élő. Minden önszervező háló természetes módon növekszik (vagy inkább ez a természetes tulajdonsága), a növekedési folyamatnak része az, hogy nagyobb csomópontok könnyebben jutnak új huzalokhoz, ugyanis az új csomópontok a hubokhoz szeretnének kapcsolódni, ott van az új információ, mert ott a tudás, ott az igazi újabb kapcsolódási lehetőség.

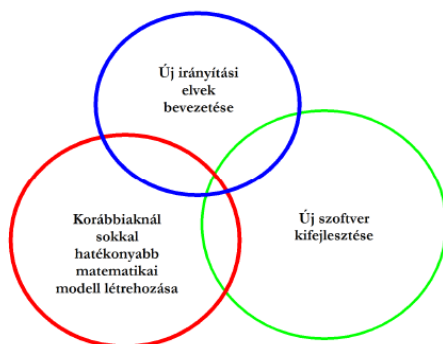
3.3 Kisvilág hálózatok

A hálózatok keletkezését is képesek nyomon követni egyes gráfelméleten alapuló hálózat leírások. A véletlen gráf fix csomópontokból áll és az ezek között létrejövő kapcsolatok alakulása képezi a folyamat dinamikáját. Egy újabb megközelítés, a kis-világ hálózatok elemzése (Barabási 2003, Buchanan 2003) dinamikus gráfokkal dolgozik, ahol nem csak az élek, hanem a csomópontok száma is változik. Ezeknek a hálózatoknak egy másik, tapasztalati tulajdonsága, hogy a már meglévő kapcsolatok száma nemcsak megadja a csomópontok értékét, de ez az érték egyben kihat annak a versenynek az alakulására is, ami további kapcsolatok megszerzésére irányul. (Fleischer, 2006)

A kis világ hálózatok felfedezése mindenképpen egy szélesebb keretbe helyezi a hálózattal kapcsolatos korábbi ismereteket, mert a természetes módon fejlődő hálózatok többnyire nem rács jellegűek, hanem sajátos architektúrát alkotnak. Sűrűn behálózott lokális góccokból állnak, és ezeket a góccokat egymással összekötő további kapcsolatokból épülnek fel. Ez a mintázat lehetővé teszi, hogy az egész hálózat tetszőleges két eleme között viszonylag kevés lépéssel (közlekedésben: „kevés átszállással”, logisztikában: „kevés átrakóval”) lehet összeköttetést létrehozni. A kis-világ hálózatok igen ellenállóak a véletlen hibákkal szemben, ugyanakkor nagyon sebezhetőek szisztematikus támadás útján. Egy lehetséges „szisztematikus támadó” maga a hálózaton létrejövő forgalom: ezek a hálózatok ezért hajlamosnak mutatkozni forgalmi torlódásokra, vagyis kevésbé biztatóak ezeknek a hálózatoknak a kiszolgáltatottságával kapcsolatos tapasztalatok, ugyanis a skálafüggetlen hálózatokban nagyon könnyen beazonosíthatók a legsebezhetőbb gócpontok. (Fleischer, 2004 és 2006)

4. KONKLÚZIÓ

A nagyméretű közlekedési hálózatok kutatása, az elméleti kérdések vizsgálata mellett kiemelt gyakorlati jelentőséggel is bír. Napjainkban, a gazdasági és társadalmi folyamatok egyre nagyobb kihívásokat támasztanak a közlekedési rendszerekkel szemben. (Péter, 2011).



2. ábra. Cél: új hatékony modell, új irányítási törvények és új szoftverek kifejlesztése (Péter, 2011)

Az ebből kialakuló globális méretű verseny meghatározza egy ország versenyképességét, fejlődését. Különösen igaz ez az autópárra, amely Magyarország esetében a a GDP 10%-át teszi ki, ezért a gazdaság meghatározó tényezője.

Ezért a kutatás és fejlesztés célja egy új szemléletmód bemutatása és az új modellezési technikában rejlő lehetőségek kiaknázása (Péter, 2012) Autópárra ellátási láncok esetén a következő paraméterek becslésére keressük a választ:

- Csökkenthető-e a kiszállítási és átfutási idők, valamint a késések?
- Optimalizálható-e a termelési finomprogramok és sorrendtervek (bizonyos fokú biztonság ismeretében)?
- Befolyásolják-e sztochasztikus jelenségek a különböző termelési tervek és sorrendek hatékonyságát?
- Csökkenthető-e a ráfordítások és a várakozási idők a rendszer egészét tekintve (a globális verseny miatt)?
- Elérhető-e magasabb darabszámok, rövidebb idő alatt (Vevői elégedettség érdekében, „You never have a second chance to make a first impression”)?

5. JÖVŐBELI IRÁNYOK

Az információ talán még sosem volt annyira értékes, mint napjainkban. Ehhez társul az autópárra megtalálható komplexitás, amellyel a tanulmányban részletesen foglalkoztunk. Ez nemcsak annak köszönhető, hogy globális méretű hálózatokról beszélünk, hanem amiatt is, mert a vásárlók egyénre szabott igényei hatékonysági, átláthatósági, fenntarthatósági és technológiai szempontból is kihívások elé állítja az ellátási láncban résztvevőket.

A mobilitásban a digitalizáció szerepe egyre meghatározóbb lesz. Előtérbe kerülnek „Okos megoldások” (Smart Solutions), prediktív technológiák és sok értékes információból elvégzett ún. „Big-Data elemzések”. A digitalizáció témakörébe sorolható szintén a közösségi média szerepe, mely felválthatja egyes támogató funkciók szerepét az autópárra ellátási láncok irányításakor, melyek szintén a hálózatelméleti gyökerekhez vezetnek vissza.

IRODALOMJEGYZÉK

- Barabási, Albert-László (2003). *Behálózva. A hálózatok új tudománya*, Magyar Könyvklub, Budapest.
- Buchanan, Mark (2003). *Nexus, avagy kicsi a világ. A hálózatok úttörő tudománya*, Typotex, Budapest.

- Erdős, P., Rényi, A. (1959). On random graphs. *I. Publicationes Mathematicae (Debrecen)*. **6**, pp.290-297.
- Fleischer Tamás (2004). Kistérségi fejlődés, közlekedés, fenntarthatóság. *Közlekedéstudományi Szemle*, **7. szám**, pp. 242-252.
- Fleischer, Tamás (2006). Hálózatok, hálózati szintek és a hálózat által kiszolgált szintek. *MTA Világgazdasági Kutatóintézet Műhelytanulmányok (Budapest)* **74.**, p.22
- Koren, Yoram (2010). *The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey
- Kuhn, Thomas S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, Magyarul: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Fordította: Bíró Dániel (Gondolat, Budapest, 1984 és Osiris, Budapest, 2000, 2002).
- Lakatos István (2004.1) Examination of effect of timing of charge replace with mathematical modell and experimentally, *ACTA MECHANICA SLOVACA* **8**: pp. 403-406. (2004) *Effective Production, Transmission and Consumption of Energy, 6th International Scientific Conference*
- Lakatos István (2004.2) Effect of timing on the efficiency and exhaust of four-stroke, uncharged SOHC Otto-engines In: Lehoczky László, Kalmár László (szerk.) *MicroCAD 2004 International Scientific Conference*. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2004.03.18-2004.03.19. Miskolc: ME,2004.pp. 77-83. szekció., *Áramlás- és hőtechnika (ISBN:963-661-612-4)*
- Lakatos István (2007) Effect of valve timing on exhaust emission In: Anon (szerk.) *8th International Conference on Heat Engines and Environmental Protection*. 2007. pp. 207-214. Konferencia helye, ideje: Balatonfüred, Magyarország, 2007.05.28-2007.05.30. (ISBN:978 963 420 907 2)
- Lakatos I., Nagyszokolyai I. (1997) *Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika I*. Győr: Minerva-Sop Bt.,1997. 132 p.. (ISBN:963-9056-15-4)
- Lakatos I., Nagyszokolyai I. (1998) *Gépjármű-környezetvédelmi technika és diagnosztika II*. Győr: Minerva-Sop Bt.,1998. 127 p. (ISBN:963-9056-16-2)
- Lakatos I. (2010) Instacioner üzemállapotú motor-teljesítmény-mérés görgős járműfékpadon, XXIV. *International Scientific Conference. MicroCAD, F Section. Fluid and Heat Engineering* pp. 33-38. Miskolc, 2010.03.18-2010.03.20. (ISBN:978-963-661-910-7)
- Lakatos I., Hajdu F. (2014) Examination of the effect of sensor properties on the secondary battery model in simulation environment *ACTA TECHNICA JAURINENSIS (ISSN: 1789-6932) (eISSN: 2064-5228) 7: (1) pp. 71-86. (2014)*
- Péter, Tamás (2011). A globális közúti hálózati modell és alkalmazása az intelligens hálózatok létrehozásánál, a BME kutatóegyetemi programjában. *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia 2011 Budapest, Konferenciakötet, Paper 03, pp. 8-19.*
- Péter, Tamás (2012). Paradigmaváltás, amely elvezetett a globális közúti hálózat működésének leírásához és a dinamikus modell létrehozásához *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia 2012 Budapest, Konferenciakötet, Paper 03, pp. 3-19.*
- Péter T., Dömötörfi Á. (2014). Véletlen gráfok és logisztikai alkalmazásai. *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés Konferencia 2014 Budapest, Konferenciakötet, Paper 25, pp. 154-159.*