

Autóipari ellátási láncok modern modellezésének lehetőségei

Dömötörfi Ákos*, Dr. Péter Tamás**

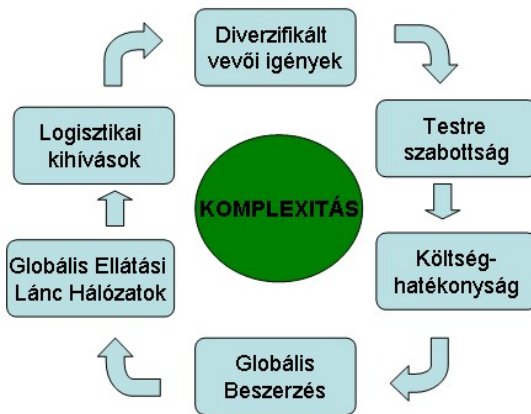
*Széchenyi István Egyetem, Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola
H 9026 Győr, Egyetem tér 1. (Tel: +36-96-503-490; e-mail: cekaah@freemail.hu)

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

Absztrakt: A kutatás olyan lehetséges modelleket állít fel, melyek a jelenkor modern követelményeinek eszközeivel írják le az autóipari ellátási lánc hálózatokat. Az munka célja elsősorban elemzések bemutatása és azok hatásának leírása tágabb értelemben. Ennek megfelelően a kutatás a matematikai modellezés egy kiterjesztett területékként is értelmezhető. A tanulmány demonstrálja az alapvető autóipari ellátási lánc strukturális felépítését, ahol az elemzés alapja a klasszikus üzleti értelemben vett stratégiai szintek figyelembe vétele, melyet a hálózatelmélet és a közlekedési rendszerek elméletének alkalmazásával egészít ki. A kutatásban feltárára kerülnek a pozitív rendszerek és az autóipari ellátási láncok közti párhuzamosságok, a komplex hálózatok segítségével megállapítjuk, hogy az autóipari hálózat hasonlóan a skálafüggetlen hálózatokkal, azonos tulajdonságokkal rendelkezik, bizonyítván a meglévő tipikus függőségi viszonyokat, valamint az alá és fölérendeltségi szerkezeteket a komplex dinamikus környezetben.

1. BEVEZETÉS

A komplexitás következményeként a járműipar számtalan kihívással szembesül napjainkban. A személyre szabott megoldások, melyeket a végfelhasználók igényei determinálnak, magas szintű versenyt eredményez az ellátási láncban, melyek rugalmas és intelligens mérnöki megoldásokat igényelnek.



1. *Ábra* Autóipari ellátási láncok integrált komplexitás-modellje

A komplexitás miatt csak azok a szervezetek tudnak hatékonyak maradni, melyek törekednek a kockázatok és komplexitások redukálására, azáltal hogy megfelelő előrejelzési módszereket alkalmaznak és folyamatosan

monitorozzák a vevői elvárásokat. (Kopeček and Pinte, 2014) Mindezek ellenére is léteznek előreláthatatlan, sztochasztikus befolyásoló tényezők, ezért a bizonytalanság elkerülése az egész ellátási lánc minden stratégiai szintjén fontos szerepet játszik.

Ezen bizonytalansági tényezők feltérképezéséhez hálózatelméleti keretrendszert alkalmaztunk abból a célból, hogy leírjuk a rendszer főbb jellemzőit. Mielőtt rátérnénk a különböző operációs szintek elemzéséhez, először az autóipari ellátási lánc lehetséges alapmodelljét határozzuk meg.

2. AUTÓIPARI ELLÁTÁSI LÁNC HÁLÓZATOK – MATEMATIKAI MEGKÖZELÍTÉS

Minden hálózat típus leírható egyedi felépítése, a benne résztvevők, a köztük lévő kapcsolatok, a kapcsolódások és hierarchiák stb. alapján. Autóipari hálózatok esetén ez a tipizálás visszavezethető a gráfelméletre, ahol az egyes csomópontok a vállalatok, és az élek a köztük lévő szervezetek között meglévő kapcsolatok. A gyakorlatban ezek az alkotóelemek beágyazottak egy gazdasági környezetbe, ennél fogva az autóipari hálózat Lakatos (2004), leírható a járműipar egy alrendszerékként, továbbá a nemzeti és nemzetközi, környezeti terhelési és globális gazdaság részeként.

A csomópontok magukba foglalnak beszállítókat, disztribúciós központokat, raktárakat és vevői telephelyeket. Minél több él csatlakozik egy csomóponthoz, annál nagyobb esély van egy új kapcsolódási pont létrejöttéhez. Ha egy új

csúcscsatlakozik a hálózathoz, szükségszerűen nem kapcsolódik össze minden csomóponttal, de jó eséllyel fog csatlakozni ahhoz a csomóponttal, amely több csatlakozó éllel rendelkezik. Ha az újonnan belépő csomópontok (új beszállítók) folyamatosan a legnagyobb meglévő kapcsolatokkal rendelkező csomópontokhoz csatlakoznak, ez végül egy komplex hálózathoz fog vezetni. (Zhang, 2014)

A autóipar jellemző alapfelépítése néhány eredeti termékgyártóból (OEM), azaz az autógyárakból és számos beszállítóból épül fel. Utóbbiak lehetnek a kis- és középvállalkozásoktól egészen a nagy multinacionális vállaltsoportokig, melyek komplett modulokat szerelnek és szállítanak a nagy autógyártók részére. Az elmúlt évtizedben egyre több értékteremtő tevékenység - és ezáltal jelentős know-how - szállt át az OEM-től a specializálódott beszállítókhöz, beleértve a K+F-et is. Továbbá, ahogy említettük, a megnövekedett komplexitás a másik erő próbáló tényező. Az elektronikus rendszerek számos különböző egységet fognak össze, melyekkel az autónak közös platformot kell képviselnie és képesnek kell lennie beavatkozni anélkül, hogy megbízhatóságát elvesztené. (Buchmann and Pyka, 2013)

A legnehezebb probléma azonban a hálózat kezdeti feltételeit meghatározni, melyek nem triviálisak abból a szempontból, hogy hogyan befolyásolják a dinamika leírását. Albert és társai diszkrét lefolyásúként magyarázzák a dinamikát, amely szerint egy új csúcscsatlakozik egy másikhoz, hogy mekkora a kapcsolati fokszáma. (Albert et al., 1999) Ha egy él és egy csomópont térben egy földrajzi helyen helyezkedik el, a kapcsolódás valószínűsége nem csak a fokszámtól, hanem az Euklideszi távolságtól is függ. Ezáltal függ a közlekedési módtól is, mert a csomópontok törekednek a nagyobb fokszámmal rendelkező vagy közelebbi csomópontokkal való kapcsolódásra. (Ducruet and Lugo, 2013). Vagyis, lefordítva az autóipari hálózatokra, minden egyes új kapcsolódó résztvevő csatlakozni kíván valamelyik OEM-hez, vagy együttműködni vele.

A problémák nagy része ma a komplexitásból ered, amelyek ugyancsak komplexitást eredményeznek a logisztikában is, a szállítási folyamatokban, az anyagmozgatásban, a kommissiózásban, gyártósor ellátásban, a raktározásban stb. Az egyénre szabott végfelhasználói igények arra ösztönzik az ellátási láncban résztvevőket, hogy intelligens, újszerű megoldásokat alkalmazzanak, ami egyrészt tovább növeli a komplexitást, másrészt segít elkerülni a láncban fellépő bizonytalanságokat.

Ezért, az ellátási láncok analízise és modellezése a tervezési célból szükséges. Felhasználva a termelő vállalat pragmatikus modelljét, megvizsgáltuk a sztochasztikus penetráció jelenlétét az egyes stratégiai szinteken az ellátási láncra vonatkoztatva. Ezek a szintek:

- Operatív szint
- Taktikai szint
- Stratégiai szint

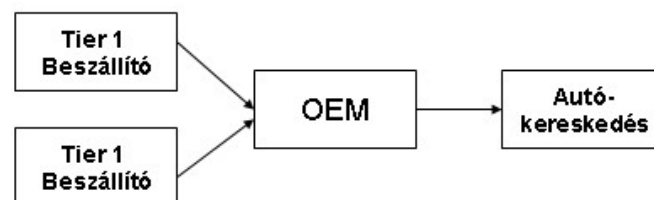
2.1 Hálózati dinamika

Az autóipari ellátási láncok állandóan változnak. Szervezetek kerülnek be a körforgásba és esnek ki onnan az üzlet alapelve szerint. Matematikai úton ez leírható a véletlen gráfokkal, ahol a csomópontok sztochasztikusan választódnak ki. Ez a kijelentés azonban csak az *operatív* szinten igaz, mivel a kiesés és újonnan belépő szereplők sorsa általában *stratégiai*, vagy *taktikai* szinten dől el a hosszú távú együttműködéseknek köszönhetően. Figyelembe véve hogy egy autó több mint 10.000 alkatrészből épül fel, a hálózat nagy számú csúcscsatlakozó (szervezetek) és az azokat összekötő éleket (együttműködések) tartalmaz. Mind az újonnan megkötött szerződések, mind a keretszerződések lejáratára befolyásolják a növekedést. Egy aggregált hálózati szemzőgből nézve ez azt jelenti, hogy a hálózat folyamatosan változik, ezért ahhoz hogy megfelelően modellezzük az ellátási láncot és annak fejlődését egy jellemzően dinamikus környezet szükséges.

Az evolúciós modellek azon feltételezésen alapulnak, hogy a vizsgálat tárgya folyamatosan változik. Összehasonlítva a hagyományos statikus, vagy kvázi-stadikus gazdasági modellekkel, az evolúciós modellek magukba foglalják az okokat, az alapvető mechanizmusokat, a változások lehetséges következményeit és a meglévő bizonytalanságokat. Köszönhetően a bizonytalanságnak és a nemlineáris tulajdonságnak, a jövőbeli irányok is nehézkesek és homályosak. A sztochasztikus szereplő alapú modellek lehetővé teszik a hálózatfejlődés folyamatának elemzését és meghatározzák a különböző irányító tényezőket ebben az összetett folyamatban. Ezzel ellenkezőleg, standard regressziós modellek alkalmazhatóak a hálózati adatokra, mivel a megállapítások függetlensége kifejezetten kizárható hálózatok eseté. Egy csúcscsatlakozó hálózati tulajdonságai nem függetlenek más csúcscsatlakozó hálózati tulajdonságaitól. (Buchmann and Pyka, 2013) A következő fejezetben meghatározzuk a változókat melyek meghatározzák az alapvető ellátási láncot autóipar esetén.

2.2 Alap modell

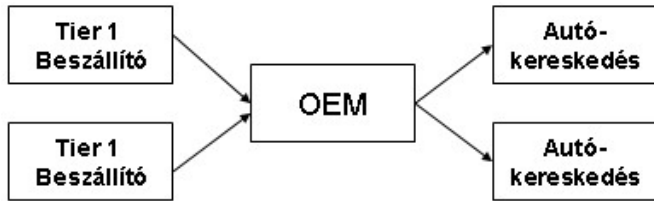
Az alapvető autóipari hálózatban n számú kapcsolódó csúcscsatlakozó van, melynek van egy vásárlója (OEM) és i beszállítója, illetve végfelhasználója.



2. Ábra Egyszerűsített alapvető autóipari ellátási lánc modell (Forrás: Saját szerkesztés, Zhang, 2014 alapján)

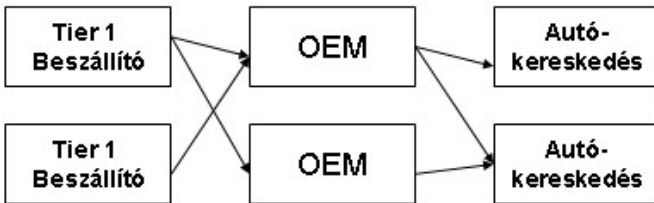
Minden T időintervallumra p valószínűséggel csatlakozik egy beszállító vagy egy autókereskedés m ($m \leq i$) fokszámmal. Amennyiben csatlakozik valamelyik OEM csúcscsatlakozó az új

csúcscs koordinátái véletlenszerűen adódnak (x_1, y_1) , ahogy ez látható a 3-as és 4-es ábrán.



3. Ábra Kiterjesztett többszereplős autóipari ellátási lánc modell (Forrás: Saját szerkesztés, Zhang, 2014 alapján)

T időintervallumban $1-p$ valószínűséggel csatlakozik egy új OEM (csúcscs), melynek fokszáma m , $(2 \leq m \leq n-i)$ amennyiben valamelyik beszállító és az eredeti OEM csúcscs csatlakozik az autókereskedéshez és legalább egy beszállító csúcscs csatlakozik legalább egy OEM-hez, az új csúcscs koordinátái véletlenszerűen adódnak (x_1, y_1) . A p általában nagyobb, mint $0,5$, mert a csatlakozó csúcscs sebességének kisebbnek kell lennie, mint ha egy OEM csatlakozik egy beszállítóhoz (Zhang, 2014)



4. Ábra Kiterjesztett hálózati modell többszörös kapcsolatokkal a szereplők között. autóipari ellátási lánc modell (Forrás: Saját szerkesztés, Zhang, 2014 alapján)

Amikor nekilátunk a hálózat elemzéséhez a fenti modell alapján, az első fontos lépés számításba venni a releváns résztvevőket. Kötelezően kell szerepeljen minden beszállító akiknek az autógyárakkal kapcsolata van, valamint a köztük fennálló kapcsolatok. Fel kell tüntetni minden OEM, minden meglévő üzleti kapcsolatait, beleértve az autókereskedésekkel meglévőket is.

Ahhoz hogy felhasználjuk ezeket a feljegyzett kapcsolódásokat, a következő lépés a kapcsolati mátrix felállítás. Például beszállító A és OEM B kapcsolatban állnak, vagy OEM A és OEM B üzleti kapcsolatban állnak (főként cégcsoporton belüli kereskedelem miatt), vagy OEM B és autókereskedés A közt szállítási kötelezettség áll fenn, melyet a mátrixban 1-es jelölünk és nullával ha nincs kapcsolat.

Mikor kiszámítjuk az élek fokszámát és a fokszám eloszlást, illetve feltételezzük, hogy a hálózat skálafüggetlen, a statisztikai paramétereknek a skálafüggetlen hálózatok fokszám eloszlás függvényével kell azonosnak lennie.

A valószínűség mely leírja csúcscsokat ugyanazon élek esetén: $P(k)$.

$$P(k) = c \cdot k^{-r} \quad (1)$$

Ahol C konstans, k a csomópont fokszáma és r az index. Ha egy hálózat csúcscsainak fokszámára teljesül hogy 2 és 3 között

van, a hatvány függvény eloszlása alapján kijelenthető, hogy a hálózat skálafüggetlen (Barabási, 2003; Bollobás, 2001).

Az ilyen jellegű modellezés stratégiai és taktikai szinten azért fontos, hogy megértjük a hálózat erősségét, flexibilitását és határozottságát.

2.3 Párhuzamosság pozitív rendszerekkel

Az autóipari ellátási láncok operatív szintjére érve, a logisztikai tényezők egyre nagyobb részt vállalnak a folyamatokban. **A logisztikai feladatok része a szállításokkal kapcsolatos tevékenységek, melyek számos sztochasztikus lefolyású folyamattal járnak együtt a végrehajtás során, mivel a közlekedés nagy hatással van annak hatékonyságára.** A közlekedési folyamatok és tömegjelenségek modern analízise elvezet a pozitív rendszerek elméletéhez.

A pozitív rendszerek első definícióját Luenberger adta meg: *A pozitív rendszer egy olyan rendszer, amelyben az állapotváltozók nem negatívak.* (Luenberger, 1979). A vizsgált közúti közlekedési folyamatok többségében az állapotok eredeti fizikai jelentése alapján megfelelnek ennek. (Péter, 2012)

A klasszikus közlekedési folyamatok leírásához az irodalom legtöbbször az általános lineáris egyenletrendszereket veszi alapul, anélkül, hogy figyelembe venné a folyamatok pozitív rendszerekkel kapcsolatos tulajdonságait. Feltételezhetnénk, hogy azok a tulajdonságok melyeket az általános lineáris rendszerekkel szemben támasztottunk mindenféle megkötés nélkül igazak a pozitív rendszerekre is, azonban a pozitív rendszerek irányíthatósága és megfigyelhetősége nem értelmezhető egyértelműen az általános lineáris rendszerek alapján. Ez a probléma különösen ott válik szemléletessé, hogy ugyan nem negatív érték szükséges az állapotok leírásához, de ugyanez a követelmény vonatkozik a beavatkozó jel értékére is. Ezért a közlekedési folyamatok pusztán pozitív rendszerekkel történő leírása nem triviális.

3. AZ ÚJ MODELL FELÁLLÍTÁSA OPERATÍV SZINTEN

3.1 A közlekedés makroszkopikus modellezése

Boothby és Sachkov publikációjában a következő tétel utal a irányításelméletben alkalmazott valós A mátrixra: egy rendszer akkor és csak akkor pozitív, ha az A mátrix Metzler mátrix, azaz a mátrix főátlón kívül eső elemei nem negatívak. (az elemek a főátlóban tetszőlegesek lehetnek. (Boothby, 1982; Sachkov, 1997).

A közlekedési rendszerek alaposabb megértése elengedhetetlen a teljes körű közlekedés - és útvonaltervezéshez. A hagyományos modellezési megközelítések számtalan megválaszolatlan kérdést hagynak nyitva, és a megfelelő dimenziók felállítására továbbra is fennálló probléma.

Azok a rendszerek melyek operatív szinten leírják az autóipari ellátási hálózatokat nagyméretű dinamikus sztochasztikus rendszerek. Nyilvánvalóan a közúti

közlekedési rendszer modell az egész ellátási lánc részeként szintén nagyméretű komplex dinamikus rendszer:

- Számptalan, az infrastruktúrából fakadó hatásnak van kitéve
- Számos specifikus szabályozás befolyásolja (pl. AETR szabály, maximális tengelyterhelés, különböző korlátozások stb.)
- A szembejövő járművek szintén kapcsolódnak valamilyen szinten egymáshoz. Kölcsönhatás érvényesül természetesen a bizonytalan járművezetők esetén, ez jobban megnyilvánul előzés közben, vagy amikor a szembejövő autók fénye megzavarják a forgalmat éjszaka.
- A parkolók általánosított szakaszokként kezelhetők és ugyanolyan dinamikus elemei a hálózatnak, mint a sávok. Ennek következtében, minden állapotjellemző értékkészlete a [0,1] intervallumban helyezkedik el és egyazon elemek sokaságából épül fel a közúti hálózat dinamikus modellje.
- A közlekedésben részt vevők nagy száma szintén fontos szerepet játszik
- Az emberi tényezőnek jelentős befolyása van a közlekedési folyamatok lefolyására
- Számptalan külső tényező van jelen, úgymint: szezonális hatások, időjárás, úthálózat minősége, útpadozat szélessége, domborzat stb.

Ugyanakkor a felállítandó modell alapkövetelménye a hatékonyság, ezért:

- A modell figyelembe kell vegyen minden olyan tényezőt melynek valós hatása van a működésre és figyelmen kívül hagyni azokat melyek hatása elhanyagolható az eredményeknél.
- Matematikailag érvényesnek kell lennie.
- A valós idejű irányításnak is teljesülnie kell

3.2 Dinamikus operatív modell

Modellezési szempontból nagyon fontos, hogy minden állapotjellemző értékkészlete a [0,1] intervallumban helyezkedik el és egyazon elemek sokaságából épül fel a közúti hálózat dinamikus modellje. Habár, az autóipari vállalatok nagy része a legtöbb esetben egy város széli külső ipari parkban helyezkedik el, köszönhetően az alhálózatoknak jó néhány jármű áthalad a városközpontoz tartozó kerületeken is. Ezért fontos, hogy a parkolók általánosított szakaszokként kezelhetők és ugyanolyan dinamikus elemei a hálózatnak, mint a sávok. Egy másik fontos jellemző, hogy a közúti közlekedési hálózati folyamatok matematikai modellezésére speciális hipermatrix struktúrát adunk meg, amely egy (nem feltétlenül egyszeresen összefüggő) tartományban elhelyezkedő hálózat esetén leírja a hálózati elemek közötti belső-belső, külső-belső, belső-külső és a külső-külső kapcsolatokat. (Péter et al., 2013).

A rendszer dinamikus operatív modellének új felírása az alapja a rendszerfolyamatok kiszámítására és irányítására. Ebből kifolyólag, az általános hálózati modell leírja a belső és külső hálózat működését, amely pozitív nemlineáris differenciálegyenlet-rendszer.

A belső és külső hálózat működését egyszerre leíró általános hálózati modell a következő:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle L \rangle^{-1} \\ \langle P \rangle^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{11}(x,s) & K_{12}(x,s) \\ K_{21}(x,s) & K_{22}(x,s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Ahol: $\langle L \rangle$ a belső szektorok és $\langle P \rangle$ a külső szektorok hosszát tartalmazó diagonális mátrixok:

$$\langle L \rangle = \langle l_1, l_2, \dots, l_n \rangle, \quad \langle P \rangle = \langle p_1, p_2, \dots, p_m \rangle \quad (3)$$

K_{11} belső-belső kapcsolati mátrix, K_{12} külső-belső kapcsolati mátrix, K_{21} belső-külső kapcsolati mátrix és K_{22} külső-külső kapcsolati mátrix. A mátrix elemek fizikai jelentése kapcsolati (átadási) sebesség.

A K_{11} és K_{22} fő átlójában 0 vagy negatív érték lépnek fel. Az összes mátrix minden más eleme 0 vagy pozitív értéket vesz fel.

x a belső szektorok állapotjellemző vektora,
 s a külső szektorok állapotjellemző vektora,
 \dot{x} a belső szektorok állapotjellemző vektorának idő szerinti deriváltja,
 \dot{s} a külső szektorok állapotjellemző vektorának idő szerinti deriváltja,

$$x = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, \quad s = \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \\ \vdots \\ s_m(t) \end{bmatrix}, \quad \dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) \end{bmatrix}, \quad \dot{s} = \begin{bmatrix} \dot{s}_1(t) \\ \dot{s}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{s}_m(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

A modell általánosításával megadtuk a globális hálózati folyamatok működését leíró nemlineáris pozitív differenciálegyenlet-rendszert is. (Péter et al., 2015; Szauter et al., 2015).

3.3 Közlekedési hálózati modell

- A modellünkben $0 \leq x_i(t) \leq 1$ normált járműsűrűség állapotjellemzőt használunk ($i=1, \dots, n$). Az egy szakaszon, v szektorban tartózkodó járművek együttes hosszát osztjuk a szakasz hosszával. Ez a számítás alkalmazható a parkolók esetében is, így a parkolók is általánosított szakaszok a modellben
- A modellezés tárgya egy nemlineáris pozitív rendszer. A hálózaton változó sebességgel és általunk definiált időtől függő $\alpha_{ij}(t)$ -vel jelölt szétosztási tényezővel áramlik az „anyag”. Az anyagot a közúti járművek testesítik meg.

A sebesség több változótól függ, elsősorban a járműsűrűségtől, maximuma szakaszonként limitálva van. Ezen kívül a sebességfüggvényt befolyásolják a környezeti paraméterek, az időjárás, a látási viszonyok, az út geometriája, minősége és szélessége.

- $\beta_{ij}(t)$ -vel jelöljük az egyes szakaszok átadásánál fellépő akadályozást ($0 \leq \beta_{ij}(t) < 1$), vagy rásegítést ($1 < \beta_{ij}(t)$).
- $0 \leq u_{ij}(t) \leq 1$ kapcsolási függvény az egyes szakaszok átadásánál működő forgalmi lámpák hatását veszi figyelembe.
- A párhuzamosan haladó szakaszok (sávok), továbbá szakaszok és parkolók is adnak át egymásnak járművet a hálózaton. Ezt az átadást $0 \leq \gamma_{ij}(t)$, vagy $0 \leq \gamma_{ij}(x_i(t), x_j(t), t)$ arányossági függvény veszi figyelembe.
- Belső tiltó automatizmusok is működnek a hálózaton: j-ből nem adhatunk át i-re, ha i tele van, $x_i(t)=1 \rightarrow S(x_i(t))=0$. Ugyancsak j-ből nem adhatunk át i-re, ha j üres $x_j(t)=0 \rightarrow E(x_j(t))=0$. A normált állapotjellemzők alkalmazásával ezek a feltételek egyszerűen követhetők. Ezek biztosítják a modellben, hogy nem veszünk el „anyagot” onnan ahol nincs (sűrűség nem lép negatív tartományba, pozitív a rendszer) és nem adunk oda, ahol a sűrűség már elérte az 1-et.
- A hálózatot egy „G” zárt görbével körülkerített, nem feltétlenül egyszeresen összefüggő tartományban vizsgáljuk. Azon külső szakaszokon, amelyek közvetlen átadási/átvételi kapcsolatban vannak valamely hálózati szakasszal, mérjük a normált $0 \leq s_i(t) \leq 1$ forgalomsűrűséget ($i=1, \dots, m$).
- A közlekedési modell: ún. „makroszkopikus” modell.
- A matematikai modell: nemlineáris, nem autonóm differenciálegyenlet-rendszer.

A modellből a fentiek alapján közvetlenül kinyerhetők a sebességfolyamatok a hálózat tetszőleges trajektoriaiban is. Ekkor a hálózat egy tetszőleges „A” pontjából t_0 időpontban elindulunk a hálózat egy másik „B” pontjába egy megválasztott trajektória mentén. A továbbiakban ezen az útvonalon vizsgáljuk a járműdinamikai hatásokat.

A kijelölt trajektória mentén kiszámolható a haladás szempontjából fontos $X(t)$ út-idő függvény is és a hozzá tartozó T - célba érési idő is. Az állapotegyenlet által kiszámítható a kiegyenesített X trajektóriához és t időponthoz tartozó $V(t, X)$ kétváltozós sebesség függvény.

Az $X(t)$ út-idő függvényt kiszámíthatjuk a meghatározott $V(t, X)$ kétváltozós sebesség függvény ismeretében az alábbi (5) integrál-egyenletet megoldásával:

$$x(t) = \int_{t_0}^t V(\tau, x(\tau)) d\tau \quad (5)$$

A feladat az elsőrendű nemlineáris differenciálegyenlet megoldását igényli, az $X(t_0)=x_0$ kezdeti feltétel mellett. A t_1 célba érési időponttól $X(t)$ már nem növekszik, tehát pl. a célba érési idő $T=t_1-t_0$. Minden trajektória mentén, a t időpontig befutott X hosszúságú út egy $X(t)$ útvonal-függvényt eredményez, amelyhez a „B”- pontba érkezéskor egy T eljutási idő tartozik és ez a leképezés szolgáltatja a J valós funkcionált: $J: x(t) \rightarrow T$

A komplex ellátási láncban a logisztikai tervezés a nagyméretű közlekedési hálózati modellt a valós idejű, forgalmat figyelembe vevő útvonaltervezésre használja.

Az optimális trajektória megválasztásával a közlekedés biztonsága szintén nő. Ez szintén egy olyan fontos kritérium, mely nem elhanyagolható a közlekedéstervezés szempontjából. Az optimális trajektória számításakor további lényeges irányelv például, hogy a energiafelhasználás és a káros anyag kibocsátás is becsülhető legyen a várható forgalom függvényében.

Szintén forgalomtól függő az is, hogy a célunkat rövidebb, vagy hosszabb idő alatt érjük el. Az utazási/szállítási időt, egy exponenciális eloszlású valószínűségi változóval jellemezhetjük. A célállomáson az áruk kirakodásra kerülnek. A beérkezett járművekhez és a már sorban álló járművekhez az erőforrásokat hozzá kell rendelni. A ki-és berakodási feladatok szintén exponenciális eloszlást követő valószínűségi változóval és írhatók le. Miután a lerakodás megtörtént a művelet befejezettnek tekinthető. (Vadvári és Várlaki, 2015).

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Elemeztük az ellátási lánc működését és az arra hatással lévő úthálózat környezetet. A vizsgálat során bemutatásra kerültek azok az elemek, amelyek az ellátási lánc dinamikus működését befolyásolják és a komplex hálózati modell alkalmazásával egy valósághoz közelebb álló egzakt modell került megfogalmazásra. Ez további lehetőséget kínál a szállítási folyamatok optimális irányítására is.

A növekvő komplexitás ellenére, - melyet az egyénre szabott vásárlói igények, operációs hatékonyság, globális beszerzés stb. okoznak, - a dinamikus modellezés segít azonosítani és megérteni a kapcsolatot a hálózat egyes elemei között, a piac gazdasági mechanizmusait és a vevői igények változását.

A komplex és pozitív rendszerek tudománya lehetőséget ad a fentiek modellezésére. Különösen a gráfelmélet dinamikus alkalmazása segít abban, hogy a hálózati folyamatok összefüggéseit pontosabban elemezhesük. Ezért a közlekedési hálózatok és az ellátási láncok tudománya igen közelálló módszerek alkalmazását igényli.

Az kutatás egyik lehatároltsága abban áll, hogy az elemzés során többnyire matematikai modelleket alkalmaztunk, a felhasználhatóságához előfordulhat, hogy további interdiszciplináris területekkel is össze kell ezt kötni. A

jövőbeli kutatásokban célszerű figyelembe venni, hogy a gyakorlati és elméleti módszerek hogyan követhők össze ahhoz, hogy a teljes rendszer irányítható legyen, figyelembe véve a környezetvédelmi szempontokat, a változatos utazási szokásokban és a digitalizáció fejlődését. Ennek egyik eszköze lehet az Ipar 4.0 filozófiája.

Világszerte küzd a hagyományos gyártó ipar a digitális átalakulással, amely felgyorsult az exponenciálisan növekedő technológiák által (pl. intelligens robotok, önállóan működő drónok, szenzorok, érzékelők, 3D nyomtatás). A cégek gyártási folyamatainak át kell venniük ezt a gyors változást, ha nem szeretnék lemaradni a szektorukban és a konkurenciáiknál történő fejlesztések során. A dolgok, szolgáltatások, adatok és emberek internete át fogja alakítani a gyártást. A szakemberek erre a fejlődésre az „Ipar 4.0” kifejezést használják, amelyben szinte biztos, hogy olyan szakemberek kellenek a jövőben, akik nemcsak a saját szakterületükön jártasak, hanem rálátnak és otthonosan mozognak a modern területeken is. (Husi, 2016)

IRODALOMJEGYZÉK

- Albert, R., Jeong, H., Barabási, A.-L. (1999) *Diameter of the WorldWide Web.Nature*. 401, pp. 130-131.
DOI: [10.1038/43601](https://doi.org/10.1038/43601)
- Barabási, A.-L. (2003) *Behálózva. A hálózatok új tudománya*. (Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means.) Magyar Könyvklub, Budapest. (in Hungarian)
- Bollobás, B. (2001) *Random Graphs*. Cambridge Studies in Advanced Mathematics, Cambridge University Press, Cambridge.
- Boothby, W. M. (1982) Some comments on positive orthant controllability of bilinear systems. *SIAM Journal on Control and Optimization*. 20(5), pp.634-644.
DOI: [10.1137/0320047](https://doi.org/10.1137/0320047)
- Buchmann, T., Pyka A. (2013) *The Evolution of Innovation Networks: The Case of the German Automotive Industry, Innovation Networks*. FZID Discussion Paper 70, Forschungszentrum Innovation und Dienstleistung Universität Hohenheim, Hohenheim
- Ducruet, C., Lugo, I. (2013) Cities and transport networks in shipping and logistics research. *Asian Journal of Shipping and Logistics*. 29(2), pp. 149-170.
- Husi G. (2016) *Ipar 4.0*, Jegyzet, Debreceni Egyetem. <http://www.eng.unideb.hu/userdir/vmt2/images/tantargyak/robottechnika/Ipar%204.0%20jegyzet.pdf>
Letöltve: 2016.08.21
- Kopeček, P., Pinte, M. (2014) Optimization Heuristics for Supplies of Assembly Lines. *Periodica Polytechnica-Transportation Engineering*. 42(1), pp. 49-51.
DOI: [10.3311/PPtr.7118](https://doi.org/10.3311/PPtr.7118)
- Lakatos István, (2004) Effect of timing on the efficiency and exhaust of four-stroke, uncharged SOHC Otto-engines, MicroCAD International Scientific Conference. Miskolci Egyetem, 2004.03.18-2004.03.19. pp. 77-83. In: Lehoczky László; and Kalmár László
- Luenberger, D. G. (1979) *Introduction to Dynamics Systems: Theory. Models and Applications*, John Wiley and Sons, New York
- Péter, T. (2012) Modeling nonlinear road traffic networks for junction control. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science (AMCS)*. 22(3), pp. 723-732. DOI: [10.2478/v10006-012-0054-1](https://doi.org/10.2478/v10006-012-0054-1)
- Péter, T., Bokor, J., Strobl, A. (2013) Model for the analysis of traffic networks and traffic modelling of Győr. In: IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications (ACATTA 2013), Istanbul, Turkey, Sept. 16-17, 2013, pp. 167-172.
- Péter, T., Fazekas, S. (2014) Determination of vehicle density of inputs and outputs and model validation for the analysis of network traffic processes. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 42(1), pp. 53-61. DOI: [10.3311/PPtr.7282](https://doi.org/10.3311/PPtr.7282)
- Péter, T., Lakatos, I., Szauter, F. (2015) Analysis of the complex environmental impact on urban trajectories. In: ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA). Boston, Massachusetts, USA, August 2-5, 2015, DETC2015-47077, pp. 1-7.
DOI: [10.1115/DETC2015-47077](https://doi.org/10.1115/DETC2015-47077)
- Sachkov, Y. L. (1997) On positive orthant controllability of bilinear systems in small codimensions. *SIAM Journal on Control and Optimization*. 35(1), pp. 29-35.
DOI: [10.1137/S0363012994270898](https://doi.org/10.1137/S0363012994270898)
- Szauter, F., Péter, T., Bokor, J. (2015) Complex analysis of the dynamic effects of car population along the trajectories. In: ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), Boston, Massachusetts, USA, August 2-5, 2015, DETC2015- 47075, pp. 1-6.
DOI: [10.1115/DETC2015-47075](https://doi.org/10.1115/DETC2015-47075)
- Vadvári, T., Várlaki, P. (2015) Identification of Supply Chains Based on Input- Output Data. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 43(3), pp. 162-167. DOI: [10.3311/PPtr.7931](https://doi.org/10.3311/PPtr.7931)
- Zhang, X. (2014) Analysis for Scale-Free Network Characteristics of Logistics Distribution Network. *Journal of Service Science and Management*. 7(3), pp. 189-195. DOI: [10.4236/jssm.2014.73015](https://doi.org/10.4236/jssm.2014.73015)