



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

## **Építési folyamatok modellezése logisztikai kontextusban**

**Gyimesi András Dániel**

**Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar  
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék  
2018.**

# Tartalom

Tartalom.....	2
1. Bevezető, a kutatás főbb célkitűzései .....	3
2. Az elért eredmények rendszerezése .....	5
3. A kutatás során megfogalmazott tézisek.....	6
1. Tézis.....	6
2. Tézis.....	6
3. Tézis.....	7
4. Tézis.....	8
5. Tézis.....	8
4. Összefoglalás és jövőbeni kutatás .....	10
Hivatkozások.....	10

## 1. Bevezető, a kutatás főbb célkitűzései

A kutatás célja, hogy az építési folyamatok logisztikai szempontokat szem előtt tartott elemzésén keresztül, azok modellezésének területén új tudományos eredményeket érjek el. A munkát nagymértékben segítette, hogy a logisztika többi területén már olyan bevált technológiai fejlesztések és módszerek álltak rendelkezésre, melyek felhasználhatóak voltak munkámban. Ezek az eszközök, illetve módszerek pedig a maguk területén sem öncélúak, a termelékenységet növelik, illetve az erőforrásokkal való megfelelő gazdálkodást segítik, előmozdítva a termelési és így az építési logisztikai folyamatok költséghatékonyabbá válását. A kutatásom azonban az adaptáción túlmutat, hiszen középpontjában egy új építési logisztikai folyamatmodell kidolgozása helyezkedik el, illetve annak útvonaloptimalizációs alrendszerének új metodikájára.

Több oka is van, amiért érdemesnek találtam ezt a területet arra, hogy mélyebbre ható vizsgálatnak és fejlesztésnek vessem alá. Az első nyilvánvaló ok, hogy Magyarország számára a gazdaság dinamikus fejlődéséhez az építőipar kiemelt jelentőséggel bír, hiszen a jól működő építőipar mind az új beruházások létrejöttét, mind az infrastrukturális háttér fejlődését is segíti. Az építőipari folyamatok megfelelő irányítása, monitorizálása, valamint az ezek segítségével történő optimalizálás (időszükséglet, költség és erőforrás szükséglet-minimalizálás) tehát ösztársadalmi hasznosulás szempontjából sem elhanyagolható.

Természetesen ennek a problémakörnek a felismerése az Egyetemen és azon belül az ALR Tanszéken gazdag hagyományokkal rendelkezik. A terület elsősorban az építőgépek munkacsoport kompetenciájába tartozik, de a tanszéken belül a szerteágazó logisztikai kompetenciáknak köszönhetően számos fellelhető szinergiát is hasznosítani tudtam. A második ok tehát az, hogy kihasználva az újonnan alakult tanszék szinergiáit, az építésgépesítési és építéstechnológiai folyamatok logisztikai tervezésére és szervezésére koncentrálnom, ám emellett hangsúlyt fektethettem az elméletben működő megoldások gépészeti illetve automatizálás-technikai megvalósítására is, azaz a gépészmérnöki, mint pedig management szempontokat integráló megoldás kifejlesztésére nyílt lehetőségem.

További ok, hogy hazánk Európai Uniói tagsága megköveteli, hogy a külföldön, a tudományos- és fejlesztési területen elért eredményeket a hazai iparban (esetünkben az építésgépesítésben) is alkalmazzuk. Ez a törekvés a magyar ipar versenyképességének javítása területén is kedvező hatásokat fejthet ki.

A kutatásomban két fő irányt határoztam meg. Egyrészt, a nemzetközi szakirodalomban fellelhető, már kidolgozott tudományos módszerek, korszerű gépészeti- és informatikai megoldások alkalmazhatóságát vizsgáltam az építési folyamatok és építésgépesítés területén, másrészt a logisztika más területein (üzemi logisztika, szállítási logisztika, city logisztika, Lean logisztika stb.) meglévő tudományos eredményekre alapoztam, és így kívántam szolgálni az építőipar folyamatainak logisztikai szempontú fejlesztését. További célja volt a munkámnak, hogy létrehozzak egy labor körülmények között működő olyan tesztrendszert, ahol valós körülmények között is megvalósítom azt a folyamatirányító, monitorizáló funkcióval is bíró rendszert, mely lehetőséget nyújt a folyamatok optimalizálásra is. A tesztelő rendszeren végzett vizsgálatok eredménye a kutatás elméleti feltevéseit a gyakorlatban is igazolták, vagyis példát adtak az elmélet gépészeti és infokommunikációs kivitelezhetőségére.

Itt szeretnék köszönetet mondani a KTIA AIK 12-1-2013-0009 azonosító számú, „Építési folyamatok kutatása a logisztikai és informatikai jellemzők javítása érdekében” című projekt állami támogatásáért, melynek keretében a kutatásom zajlott és az értekezésem született. A projekt állami finanszírozása is jelzi azt, hogy az ösztársadalmi hasznosulása fent leírtaknak nagy reményekkel kecsegtet.

## 2. Az elért eredmények rendszerezése

Az értekezés az építési folyamatok leírásának és az építőipari logisztika fejlesztési lehetőségeit több irányból vizsgálja. Az alábbiakban az elért eredményeket röviden, összefüggéseiben kívánom bemutatni, még a téziseinek kifejtése előtt, hogy a teljes kutatási ív láthatóvá váljék.

A vonatkozó kutatás első lépéseként azt a tézist alapoztam meg, mely szerint az építési folyamatok modellezésének területe elmaradásban van a más ipari területeken használt folyamat-modellezési metodikákhoz képest, illetve, hogy a jelenleg a logisztikában használatos folyamatmodellezési metodikákat elemeztem, abból a szempontból, hogy mely módszerek használhatók közvetlenül az építési folyamatok leírására szolgáló modell megalkotásánál. A vizsgálatom eredménye, hogy vannak olyan, a logisztikában már bevált módszerek, melyeket egyes részfolyamatokra megfelelően alkalmazhatunk az építőipari alkalmazások területén is, de az építési folyamatok komplexitása és az egyedi gyártáshoz hasonló jellege miatt közvetlenül egyik módszer sem használható, így új építési folyamatra adaptált modellre van szükség.

A második tézis már az általam megalkotandó új, logisztikai elvű modellre fókuszál: egyértelművé válik, hogy az építési folyamatok esetében kiemelkedő jelentőséggel bír a térbeli elhelyezkedés a nagy és szabadtéren elterülő munkaterületek miatt, valamint a folyamatosan változó layout okán. A térbeliség új, szakirodalomban eddig fel nem lelhető leképezését és modellezését dolgoztam ki.

A harmadik tézis az általam létrehozott új, logisztikai megközelítésű építési modellt mutatja be, mely egy komplex és valós építési folyamat modellezésére is képes, több funkcióval és az adaptivitás eszközeivel.

A negyedik tézis kapcsán az értekezésem ennek a modellnek az alkalmazhatósági vizsgálatával és hardveroldali igényeivel, valamint a modell tesztelésére létrehozott fizikai tesztrendszeren futtatott tesztek eredményeivel kapcsolatos tárgyalást tartalmazza.

### 3. A kutatás során megfogalmazott tézisek

#### 1. Tézis

##### A tézis alapja:

A kutatás első lépéseként a jelenleg az iparban használatos, valamint a szakirodalomban fellelhető építési folyamatmodelleket elemeztem. Az építőipari modellalkotás tudománya igen szerteágazó és így igen sokszínű megoldás-palettát kínál a folyamatok leképezésére, mint arról több cikkben is értekeztem [1,2]. A gyakorlatban jellemzően MPM (Material Potential Method) típusú hálós ütemtervet használnak a folyamatok lefutásának szemléltetésére, illetve erre alapul a legtöbb építési modell is. Természetesen léteznek ennél kifinomultabb modellek is, de mindegyiknek jellemzője az, hogy a logisztikai paramétereket, melyek nagy befolyással vannak a folyamatra, nem veszik figyelembe.

##### Tézis:

*Komplex építési feladatok esetében a **jelenleg használatos építési folyamatmodellezési eljárások nem elégségesek** a folyamat logisztikai szempontú jellemzőinek megfelelő becslésére. A folyamatmodellek kritikai elemzésével feltártam azok hiányosságait.*

#### 2. Tézis

##### A tézis alapja:

Az építési, építésgépesítési folyamatoknál a fellelhető szakirodalomban ugyan nem jellemző a logisztikai oldalról történő megközelítés, ám a logisztika több ágában is rendelkezésre állnak olyan komplex folyamatmodellek, melyek tanulmányozása hasznosnak bizonyult a kutatás szempontjából. Vannak továbbá más kutatóintézetekben korábban kidolgozott olyan modellezési módszerek, melyek az ipari gyakorlatban nem terjedtek el, de elemeiket érdemes megvizsgálnunk alkalmazhatósági szempontból. Meghatároztam az építési logisztikára jellemző, az iparral összevethető tulajdonságokat, ami alapján behatárolható az alkalmazható eljárások köre:

- Az építési folyamatokra jellemző a projekt jelleg, így termelési logisztikában az egyedi gyártás supply chain feladataihoz hasonló folyamatokkal találkozhatunk
- A technológiai feladathoz azzal párhuzamosan alakul az anyagellátási rendszer

##### Tézis:

*A szakirodalmi alkalmazások figyelembevételével kijelentem, hogy a jelenleg a különböző logisztikai ágak folyamatmodellezésére használatos eszközöket át lehet ültetni az építési folyamatok modellezési metodikájába, ám azok nem elégségesek az iparágra jellemző technológiához szorosan kapcsolódó logisztikai folyamatok megfelelő leírására.*

### 3. Tézis

#### A tézis alapja:

A fizikai rendszer térbeliségének fontosságát vizsgálva jutottam arra a következtetésre, hogy elkerülhetetlen a részfolyamatok és a logisztikai csomópontok térbeli elhelyezkedésének és az anyagáramlási potenciális utak vizsgálata. Ennek érdekében áttekintettem az úthálózati modelleket.

Két fő lehetőség van az úthálózatok modellezésére, az egyik az akadályok modellezése, és annak a feltételnek a használata, hogy minden „nem akadályt” felhasználhatunk az anyagáramlási folyamatainkhoz. Ez az úgynevezett „cella alapú módszer” Ebben az esetben a munkaterületet elemi részekre bontjuk és az optimális útvonalak meghatározásához ezeknek a celláknak az egymásutánosságát vizsgáljuk.

A másik lehetőségünk az úgynevezett „szkeletonizáló eljárás”, ahol útvonalhálózatot modellezünk, és gráfelméleti megközelítéssel határozzuk meg a felhasználható útvonalakat. Építési folyamatok sajátosságainak elemzésével arra jutottam, hogy az építkezések jellegéből adódóan a cellarácsos módszer megfelelőbb az anyagáramlási utak meghatározására. A „Development of an Intelligent Path Planning Method for Materials Handling Machinery at Construction Sites” című cikkben [3] kidolgoztam egy olyan cellarács alapú modellt, mely megfelelően leképezi az igényeink szerint a rendszert. Erre a modellre Rózsa Zoltán kollégám ráfejlesztett egy A\* alapú optimalizációt, melyet szintén sikeresen használtunk. Később a Transport Vilnius tudományos folyóiratban [4] megjelent cikkben szintén Rózsa Zoltán szerzőtársammal az algoritmus hatékony működését vizsgáltuk. Azt állítjuk hogy 2D cellarácsos modell elegendő, ahol akadály/szabad-út szétválasztás van (kétállapotú elemi mező), azzal a korlátozással, hogy egy cellában egyszerre egy jármű tartózkodhat.

#### Tézis:

*Az építési folyamatmodell megfelelő működéséhez **elengedhetetlen a fizikai rendszer, és elemeinek térbeli elhelyezkedésének figyelembe vétele.** A kutatás során kidolgoztam egy módszert az anyagáramlási kapcsolatok térbeliségének modellezésére.*

#### 4. Tézis

##### A tézis alapja:

A fenti elvek alapján kidolgoztam egy modellt, ami a folyamatirányítási funkciót is megvalósító adaptív szimulációt is integrálja. Az új, logisztikai megközelítésű építési folyamatmodellt publikációmban be is mutattam [5]. A kidolgozott elméleti modell egy keretrendszer, mely a modellezésbe bevont területeket és ezek viszonyát mutatja be. Ennek megfelelően bemutatásra kerülnek a szimuláció alkalmazási területei, valamint az építési logisztika funkciói. Ezen belül beszállítói és az építési területi logisztikai tevékenységek kerülnek ábrázolásra. A modell a technológiai folyamatok, és berendezések, valamint a logisztikai folyamatok viszonyát is tárgyalja.

##### Tézis:

*Olyan építési folyamatmodellre van szükség, melyek a predikciós és emulációs funkciókat egyaránt magukba foglalják, adaptív működésüket a technológiai és a logisztikai paraméterek is befolyásolják, valamint a „big-data” elv mentén lehetőség van a környezeti változók figyelembevételére. A munkám során egy ilyen új alapokon nyugvó építési folyamatmodellt dolgoztam ki, mely a logisztikai folyamatokat kiemelten figyelembe veszi.*

#### 5. Tézis

##### A tézis alapja:

Elméleti modell gyakorlati alkalmazhatóságának elemzéséhez szükség volt egy valós rendszer kifejlesztésére is. Ehhez első lépésben meg kellett határozni mindazon hardveres és informatikai funkciók és eszközök körét, melyeket a megvalósítás során fel tudunk használni. A vizsgálat során integrált hardverelemek köre: automatikus azonosító eszközök, lokalizációs eszközök, Ember-gép kapcsolatot lehetővé tevő beviteli és adatmegjelenítő interfészek, intelligens adaptív irányító rendszer (mint a fenti tézisben is igazoltam), adatbázis rendszer (SQL alapút teszteltünk a széleskörű vagy akár open-source hozzáférhetőség miatt), különböző hardver-eszközöket integráló kommunikációs rendszerek (WIFI, Bluetooth) és a hozzá tartozó hardver interfészek. Ezen kívül az adaptivitás folyamatának meggyorsítására felhasználói beavatkozások fogadására is alkalmas szoftver eszközökre (pl. [6]) is szükség volt.

Így a folyamatmodell működési tesztjéhez megtervezésre került egy pilot rendszer, melyet a tanszék laborjában meg is valósítottunk. A tesztrendszeren folytatott vizsgálataim alapján kijelentem, hogy az általam kifejlesztett új modell alkalmas - a megfelelő informatikai háttérrel - a modellezés és szimuláció mellett a folyamatvezérlés megvalósítására is.



**Tézis:**

A kutatás során meghatároztam azon hardveres és informatikai funkciók körét mely alapján a valós folyamatokhoz illesztett rendszer megvalósítható. Ennek igazolására megtervezésre és megvalósításra került egy pilot rendszer, mellyen kutatásaim eredményeit igazoló vizsgálatokat is végeztünk.

## 4. Összefoglalás és jövőbeni kutatás

Az értekezésben bemutatott eredmények nagy területet fednek le, a tudományos eredmények mégis fókuszáltnak egy irányba mutatnak: milyen modell alkalmas az építőipari kivitelezések anyagáramlási rendszerének kielégítő leképezésére. A bemutatott kutatás jellegéből adódóan a kibernetikai rendszerek, illetve az Industry 4.0 eredetileg termelési rendszerekre értelmezett fogalmának speciális alkalmazása miatt is egyedülálló gondolatokat tartalmaz, hiszen az építési folyamatokat komplexitásuk miatt nem jellemző ilyen mértékben ezek alá sorolni. A kutatás során megtapasztalhattam, hogy egy működő rendszer kifejlesztése során számos nehézséget kell legyőzni a különböző rendszerelemek közötti kommunikáció és az adatbevitel sokszínűsége miatt.

Jövőbeni kutatások során érdemesnek tartom megfontolni annak vizsgálatát, hogy az általános modellt hogyan lehet alkalmazni (vagy kifejleszhetőek-e olyan változatai, melyek alkalmasak) a speciális építési/építésgépesítési területek (mint például a speciális mélyépítés, alagútépítés, vasút vagy közúthálózat fejlesztés) építőipari logisztikai és technológiai jellemzőinek leírására.

### Hivatkozások

- [1] Sztrapkovic-Gyimesi: Lean eszközök gyakorlati alkalmazása az építőiparban  
- Eurotrade 2015. május ISSN: 1586-3921
- [2] Gyimesi: Már megjelent, az építőipar számára is hasznosítható modellezési technikák  
- Eurotrade 2015. november ISSN: 1586-3921
- [3] Bohács, Gyimesi, Rózsa: Development of an intelligent path planning method  
- Periodica Poitronika: TRANSPORTATION ENGINEERING (ISSN : 1587-3811)
- [4] Bohács, Gyimesi, Rózsa: Performance evaluation of an A\* algorithm based control system for transport operations at construction sites - Transport Vilnius (ISSN 1648-4142)
- [5] András Gyimesi, Gábor Bohács: Developing a New Logistics Based Model and Pilot System for Construction;  
- Periodica Polytechnica Transportation Engineering (2015) paper 7845 DOI: 10.3311/PPtr.7845
- [6] Dr. Gábor Bohács, Angéla Rinkács, András Gyimesi: Entwicklung eines interaktiven Simulationstools für die Unterstützung adaptiver Modellierung.  
- Logistische Modellierung 2. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben (Wild);  
[25. - 26. September 2014]. - München [u.a.] : Hampp, ISBN 978-3-95710-015-3. - 2014, p. 47-55