

JÁRMŰ BEÉRKEZÉSEK IPAR 4.0 TECHNOLÓGIÁKKAL VALÓ OPTIMÁLHATÓSÁNÁNAK VIZSGÁLATA

Szentmiklósi István

doktorandusz hallgató, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: quality2000@citromail.hu

Illés Béla

egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Logisztikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: altilles@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A szakirodalom a jármű beérkezés témakört leginkább a járat, ill. járatszervezés szempontjából közelíti meg. Raktárak üzemeltetése során fontos szempont a jármű beérkezések pontos ismerete, mert azok kihatással vannak a raktári folyamatokra, amelyekben a várakozási idők és az azokkal összefüggő költségek folytonos optimalálása alapvető feladat. Ismertetünk egy olyan eljárást, amelyben a modern technikai eszközök alkalmazásával pontosabban meghatározható a jármű beérkezések időpontja és felállítottuk az ezt a folyamatot irányító matematikai modellt. A járművek beérkezési idejének folyamatos összehasonlításával kidolgoztunk egy a járműveket az időkapukhoz dinamikus hozzárendelő algoritmust, amely a raktári folyamatok további hatékonyságának növelésére alkalmas.

Kulcsszavak: jármű beérkezés, raktár, dinamikus hozzárendelő algoritmus

Abstract

The literature focuses on the topic of vehicle arrivals in terms of flight and flight planning. An accurate knowledge of vehicle arrivals is important when operating warehouses, as they affect warehouse processes where continuous optimization of waiting times and associated costs is a critical task. We have described a method whereby the time of arrival of the vehicle can be more precisely determined by the application of modern technical tools and we have set up a mathematical model controlling this process. By continuously comparing the arrival time of the vehicles, I have developed an algorithm for the dynamic assignment of the vehicles to the time gates, which is suitable for increasing the efficiency of warehouse.

Keywords: vehicle arrival, warehouse, dynamic mapping algorithm

1. Bevezetés

Raktári folyamatok tervezhetőségében egy régóta meglévő, kulcsfontosságú kérdés a szállítmány beérkezési ideje. A kipakolás, mennyiségi,- minőségi vizsgálat, elszállítás, betárolás folyamata stb. elvégzéséhez kell eszközöket és erőforrásokat biztosítani. Jármű késése esetén a kiszolgáló személyzet várakozik, a berendezések állnak, így növekednek a folyamatban a várakozási idők, ezzel jelentősen romlik a raktár hatékonysága, logisztikai teljesítménye. A késés a következő módon számítható [2]:

$$\text{Késés} = 1 - \frac{T_{\text{szállítás_időtartam}} - T_{\text{szállítás_időigénye}}}{T_{\text{szállítás_időtartam}}} \quad (1)$$

A szakirodalom szerint, hagyományos eszközökkel a szállítás időigényét pontosan nem lehet meghatározni [3]. A pontatlan beérkezésből, késésből következő várakozási időknek nagyon kedvezőtlen kihatásuk van [4], legfontosabb logisztikai feladat tehát ennek a csökkentése. A szállító járművek célállomásra, raktárba való beérkezésekor tapasztalható késésekért általában a következő okok felelősek [3,5]:

- szállítmány késve indul el,
- forgalmi okok: forgalmi dugók, forgalom sűrűsége nagyvárosok vonzáskörzetében, határátkelőn való átlépés,
- időjárási viszonyok,
- nem megfelelő infrastruktúra,
- sofőr helyismerete,
- sofőr vezetéspszichológiai tulajdonságai,
- pihenőidők betartása,
- hatósági ellenőrzés

2. Irodalmi áttekintés

A tapasztalat azt mutatja, hogy olyan esetekben, amikor bizonyos események egymás után következő időpillanatokban események következnek be és mindegyik esemény megtörténtét egyetlen időpont jelez, akkor valamely időintervallumban bekövetkező események száma közelítőleg Poisson – eloszlású. Paramétereit a gyakorlatban statisztikai úton kell becsülni. Mivel a λ paraméter az eloszlás várható értéke, ezért a várható érték becslését kell megadni vagy mivel a várható érték egyenlő a szórás négyzet becsült értékével, akkor elegendő ezt kiszámítani.

A gyakorlati megfigyelések is azt mutatják, hogy a szállító járművek raktárba érkezését sok, néha kiszámíthatatlan tényező befolyásolja. A beérkezések véletlenszerű folyamatot alkotnak és statisztikai vizsgálat alapján általában λt paraméterű homogén Poisson eloszlást követnek [1], amely:

$$P_k(t) = \frac{\lambda^k(t)}{k!} e^{-\lambda} \quad (2)$$

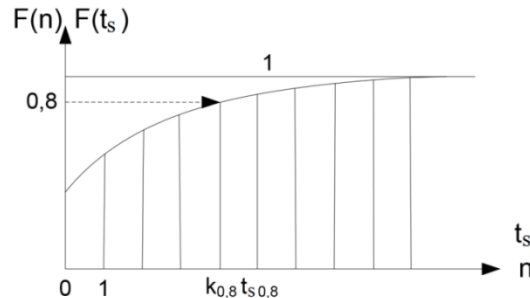
egyenlettel írható le, ahol $P_k(t)$ annak a valószínűsége, hogy t időpontig k számú jármű érkezik be, k amelynnek várható érték $E = \lambda$, szórás a $D = \sqrt{\lambda}$. Az átlagos várakozási idő:

$$\bar{t}_w = \frac{\sum_{i=1}^m t_{wi}}{m} \quad (3)$$

ahol m – a kiszolgált igények száma. Természetesen az anyagáramlási rendszereknél alapvető célunk, hogy a várakozási időt minimalizáljuk, vagyis $\bar{t}_w \rightarrow \min$ [1]. Legyen az igény jelentkezési időpontja T , továbbá az igény kiszolgálására a kiszolgáló csatorna rendelkezésre állási időpontja τ . Ha $T > \tau$ akkor a kiszolgáló csatorna várakozik. Ebben az esetben a kiszolgáló csatorna várakozási ideje: $t_s = T - \tau$.

Az eloszlásfüggvények alapján meg tudjuk határozni a beérkezések időközzeit. Exponenciális eloszlásúnak tekinthetők bizonyos időtartamok, várakozási idők. Gyakorlatban akkor használjuk, ha

valószínűségi változó az esemény bekövetkezéséig eltelt időtartamot jelöli és az eredmény bekövetkezésének esélye az adott időintervallumon független annak kezdetétől.



1. ábra. Sorban álló egységekre vonatkozó eloszlásfüggvény [6]

Ez véletlen számok segítségével történik. Mivel az eloszlásfüggvények függvényértéke $[0;1]$ intervallumban változik, ugyanezen intervallumban előállított egyenletes eloszlású véletlen számoknak az eloszlásfüggvényeken való transzformációjával előállíthatók a beérkezések időközzei. Az 1. ábra alkalmas az eloszlásfüggvényből grafikus módszer segítségével az inverz érték keresésére. A közelítő exponenciális eloszlás megmutatja, hogy milyen időközönként érkeznek be a raktárba az áru. Ahogy a függvény nő úgy nő a valószínűsége az áru beérkezésének. Az $F(x) = 1 - e^{-\lambda t}$, $t > 0$ függvényből logaritmussal az időt is meg tudjuk határozni [6].

A bemutatott eljárás a tényleges beérkezésekre nincs hatással, a raktári személyzet és az eszközök a beérkezésig más feladatot látnak el, amennyiben tudnak.

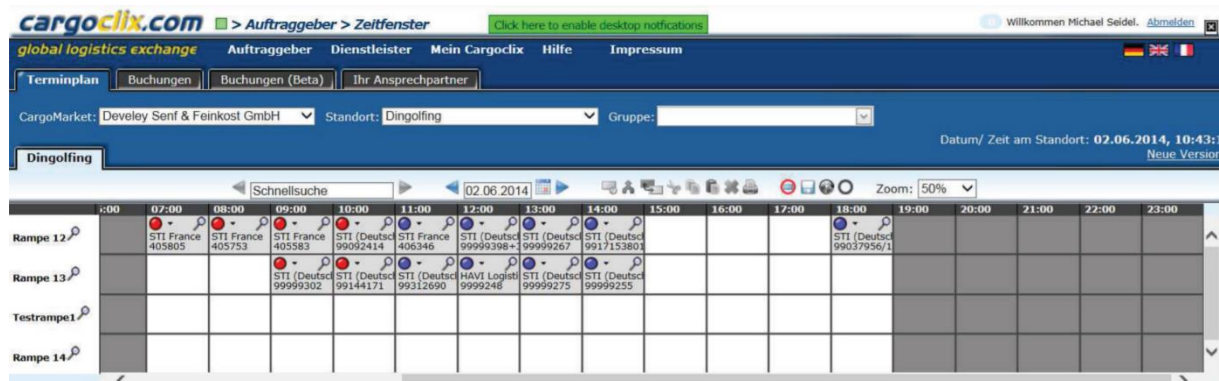
A jelenlegi gyakorlatban elterjedt eljárás, hogy a beérkező járművek a raktárhoz tartozó parkolóban várakoznak a kiszolgálás megkezdéséig [7]. Ennek az eljárásnak hátránya az is, hogy nem áll rendelkezésre megfelelő számú hely a parkolóban, ahol a kiszolgálásra váró járművek várakozni kényszerülnek. Ez a szállító cég oldalán jelentős hatékonyság csökkentést okoz. Csúcsidőben pedig több jármű érkezik be, mint amennyi parkolóhely rendelkezésre áll. További hátránya lehet az is ennek az eljárásnak, hogy a várakozási idő nem esik egybe a sofőr törvényileg előírt pihenő- és munkaidejével [7].

Kidolgozásra és bevezetésre került az u.n. "Időkapu Rendszer", ahol a szállítmányozó vállalat fix időpontot foglal le a raktározó cégnél beszállításra, hogy a berakodást és a kirakodást elvégezzék. Ennek legfőbb célja a beérkezési csúcsok elsimítása napi, ill. heti lebontásban, egy vagy két órás időintervallumok kiosztásával. A raktári folyamatok így pontosabban tervezhetőek, ezáltal hatékonyabbá válnak.

A tehergépkocsi vezető számára általában csak egy nagyon kis kirakodási időablak van nyitva. Mivel azonban a forgalmat nem lehet pontosan előre megmondani, gyakran vannak forgalmi dugók, hatósági ellenőrzések és hosszú várakozási idők a rakodóállomáson. A fogadó oldalon viszont vannak olyan időszakok, amikor nem kell tehergépjárművet be- és kirakni, ekkor a raktári személyzet várakozik.

A Német Szövetségi Teherforgalmi Hivatal (BAG) felmérése szerint a teherautók 50 % - a pontosan, 30 % - a korán és 20 % - a késve érkeznek a megadott időkapura [7].

Egy időkapu management rendszer nem oldja meg a meglévő kapacitások korlátaiból adódó problémákat kitárolásnál vagy betárolásnál, nincs kihatással a beérkezések pontosságára, a várakozási idők hosszúságára és a kiszolgálások időigényére [9].



2. ábra. Cargoclix időkaps management rendszer [8]

Az időkaps management rendszerekkel kapcsolatban a szakirodalomban nagyszámú publikáció található a járatszervezés (VRP) ill. az időkapsra való járatszervezés (VRPTW) optimalizálhatóságára pl. újraütemezési eljárás használatával, de a leírt eljárások a problémát mindig egyoldalúan a jármű, ill. a járművet üzemeltető flottamanagement szemszögéből közelítik meg. Nézzük meg, hogy a jelenleg üzemben lévő technikai eszközök segítségével megoldható – e ez a probléma.

3. Raktárak működésének optimalizálásához alkalmazható technológiák

Közlekedési központok: Európa országaiban az útkezelő és üzemeltető társaságok az úthálózat mentén folyamatos üzemmel működő forgalomszámláló automata mérőhelyek segítségével, a forgalomszámlálás módszerét alkalmazva, forgalom számlálást végeznek [10]. Országoként a forgalmi központok rögzítik, elemzik és irányítási döntésekké és forgalimirányítási stratégiákká alakítják az úthálózat közlekedési információit [11]. Az Észak- Rajna-Vesztfália összes forgalmi jelentésének mintegy 85% -át ma már a fixen telepített forgalomszámláló eszközök adatai alapján nyerik ki. A forgalmi megfigyelés további megerősítése az autópálya-hálózatban és a további adatforrások bevonása potenciálisan javíthatja a közlekedési információk minőségét. A járművek mozgásából szerzett adatok (pl. FCD) alapján folyamatos képet ad a forgalmi helyzetről ezzel felgyorsíthatja a helyi mérési helyek között keletkező torlódások felismerését [11].

Helyzetmeghatározó rendszerek: Az új technológiák és a mobileszközök egyre növekvő használata a járművekben új módokat nyit a forgalom felismerésére a jövőben. A helyhez kötött rögzített forgalmi adatok helyett a járműben rögzített adatokat használják fel a pillanatnyi forgalmi helyzet részletesebb megszerzéséhez. Az új technológiák példái [11]:

GPS (Global Positioning System) azaz Globális Helymeghatározó Rendszer egy olyan műholdakból álló hálózat, amelyek a Föld körül keringenek és állandó jeleket sugároznak, amelyeket a GPS vevők képesek fogadni. A jelek időközönként és földrajzi adatokat is tartalmaznak, így a felhasználó képes a pontos helyzetét, sebességét és az időt is meghatározni. A GPS egy olyan helymeghatározó rendszer, amellyel 3 dimenziós helyzet meghatározást, időmérést és sebességmérést végezhetünk földön, vízben vagy levegőben. A GPS rendszer lényege a műholdas távolságmérés. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, két nagyon pontos órával (atomóra) és a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejének ismeretével, meghatározhatjuk a forrás távolságát [16].

Floating Phone Data (FPD) / Floating Traveler Data (FTD): A jármű helyzetének meghatározása, kiszámítása a mobiltelefonoknak a mobil rádiócellákon történő be -, és kijelentkezésén alapul. Így a helyzet

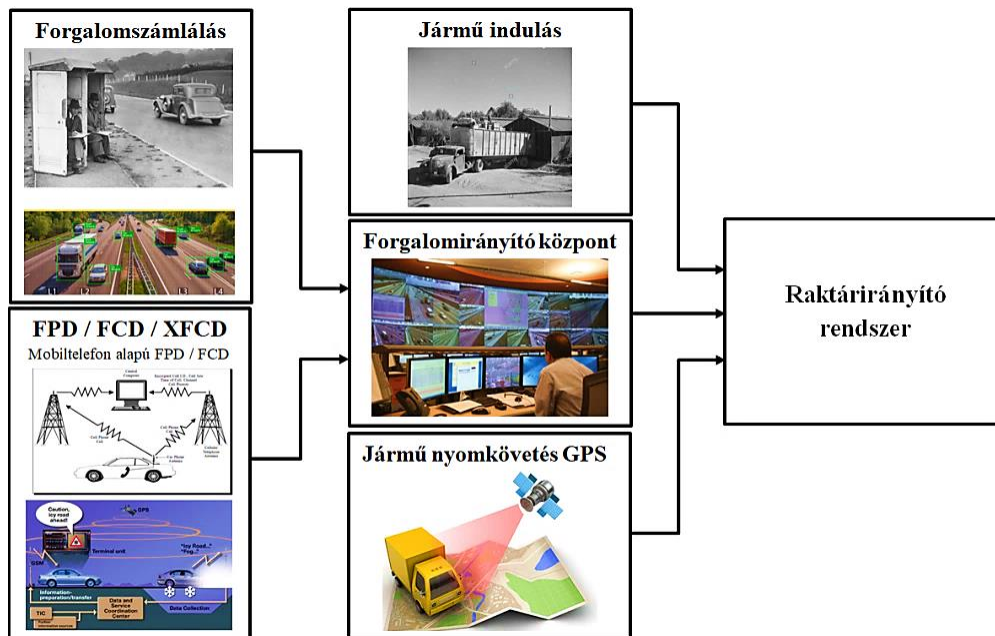
meghatározásához nincs szükség további terminálokra a járműben. A pontosnak nem nevezhető pozíció meghatározás miatt ez a fajta forgalmi felismerés jelenleg csak az autópályákon való utazás idejének kimutatására szolgál [13], [14].

Floating Car Data (FCD): Az FPD adatokkal ellentétben az FCD adatok továbbítják a GPS pozícióját a GPS modulon keresztül. A pozíció meghatározás pontosabb, de a szükséges fedélzeti berendezések (GPS-modul, telefon, terminál) technikai összetettsége nagyon magas, így használatuk nem mindig rentábilis.

Extended Floating Car Data (XFCD): A GPS által támogatott FCD adatok alapján a jármű további információi (ABS, ASR, ESP, esőérzékelő, hőmérséklet) kerülnek továbbításra.

4. A beérkezési időintervallum pontosabb meghatározása

Az előző fejezetben bemutatott technikai eszközökből elkészíthető a 3. ábrán látható rendszer.

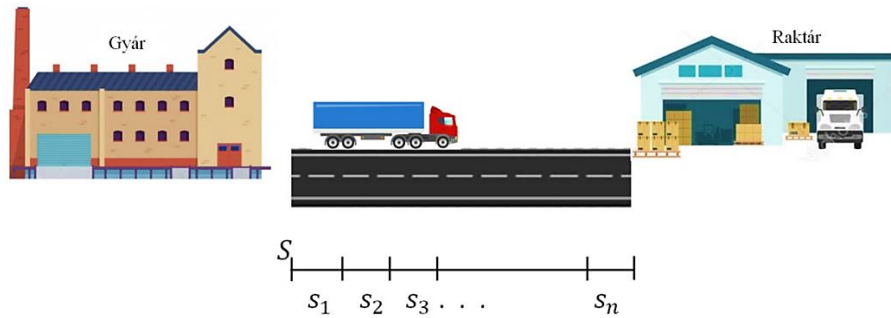


3. ábra. Tervezett beérkezési időintervallum kiszámításához szükséges rendszer blokkvázlata

A beérkezési időintervallumot a következő technikai berendezés által szolgáltatott adatok segítségével az eddigiektől eltérő módon adom meg:

- A szállító jármű indulásának időpontja,
- Közúti közlekedés paraméterei, mint pl.: forgalom sebessége (v), forgalom sűrűsége,
- A szállítójármű aktuális pozíciója.

Lényege, hogy tervezett S hosszúságú utat bontunk fel olyan n db s_i szakaszra, amelyeken ismert az s_i útszakasz hossza, v_i az i - edik útszakaszon Real-Time adatokból az átlagsebesség. Így az s_i útszakasz megtételéhez szükséges t_{s_i} tervezett idő $t_{s_i} = \frac{s_i}{v_i}$.

4. ábra. S út felosztása s_i szakaszokra

Az i – edik útszakasz hossza ismert v_i átlagsebesség és a megtételéhez szükséges t_i esetén.

$$s_i = v_i \cdot t_i \quad (4)$$

illetve az $i + 1$ – dik útszakasz megtétele után a kiindulástól mért út hossza

$$s_{i+1} = v_{i+1} \cdot t_{i+1} + s_i \quad (5)$$

Az S út megtételéhez, tehát a szállításra fordított szükséges elméleti idő:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{v_i} \quad (6)$$

Nyilvánvaló, hogy a fenti összefüggést ki kell egészíteni még a tervezett indulástól való eltérés idejével (ez lehet pozitív, ill. negatív is), a kötelező szünetekkel és az esetleges forgalmi akadályokból adódó idővel. Így a 6. összefüggés a következő módon írható le:

$$t = t_{tény} - t_{terv} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{v_i} + \sum t_{szünetek} \quad (7)$$

A v_i értékét az adott jármű helyzet meghatározási adataiból Real-Time módon lehet kinyerni, továbbá a forgalomirányító központok rendelkeznek az adott útszakaszra vonatkozó valós idejű forgalmi adatokkal (útpályához kapcsolódó járműérzékelés, FPD, FTD, FCD, XFCD stb.), amelyek segítségével a lokális átlagsebesség ismeretében meg lehet határozni az útszakasz forgalmának átlag sebességét, a 8. összefüggés szerint [17]:

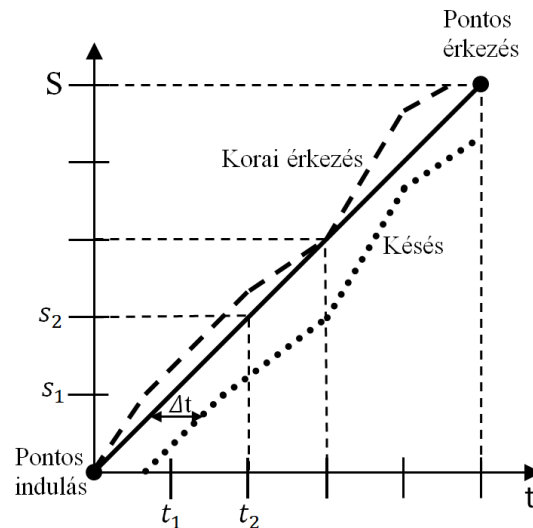
$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_j}{n} \quad (8)$$

ahol n a megfigyelt időintervallumban áthaladó járművek száma.

Mivel az egyes útszakaszokon a javasolt technikai berendezések segítségével pontosabban ismerjük a v_i átlagsebességeken felül az ún. $v_{i,pill}$ pillanatnyi sebességeket is, így a még hátralévő (megteendő) út megtételéhez szükséges idő lett a legfontosabb tényező, amely a k -edik útszakasz után a célig lévő időtartam felírható:

$$t_{\text{hátralévő idő}} = \sum_{i=k+1}^n \frac{s_i}{v_{i,\text{pill}}} \quad (9)$$

alakban.



5. ábra. Példák beérkezésekre

Az 5. ábra szemlélteti az S út és t idő függvényében a jármű beérkezéseket, amelyek lehetnek pontos, korai, illetve késve beérkezések. Az egyenes vonal mutatja azt az ideális esetet, amikor a szállítójármű pontosan indul, s_i útszakaszt t_i időpontban tesz meg és pontosan érkezik meg. A pontozott vonal olyan esetet szemléltet, amikor a jármű Δt idővel késve indul és késve érkezik. A szaggatott vonal olyan esetet mutat, amikor a jármű pontosan indul, és korán érkezik be. Az ideális esettől eltérő esetekben vagy a szállító jármű, vagy a raktári személyzet várakozik, ilyenkor intézkedések megtétele szükséges.

5. Kiszorgások időpontjainak dinamikus kiosztása a beérkezési időintervallumok alapján

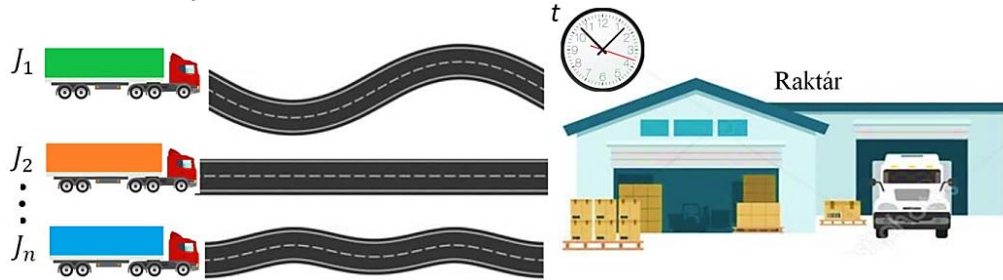
Az előző fejezetben ismertettem egy a beérkezési idő pontosabb meghatározására alkalmazható eljárást. Ebben a fejezetben ismertetem az előző eljárás felhasználásával elkészíthető rendszert, amely az idő kapu management továbbfejlesztésére alkalmas, ezzel optimalizálja a jármű beérkezéseket.

A gazdaságosság miatt a gyakorlatban fontos követelmény, hogy ne csak ismerjük, hogy késik – e a szállítmány vagy hogy mekkora a késés mértéke, hanem a raktári logisztika teljesítmény növelésének és az itt lévő várakozási idők csökkentésének érdekében érdemes több szállítmány beérkezési időpontját összehasonlítani. Ha az adott szállítmány a valós idejű adatok számítása alapján nem érhet oda időben a lefoglalt időkapuhoz a kiszorgásra, akkor egy másik jármű, amelyik a számított adatok szerint odaérhet az előző jármű által lefoglalt időre, akkor az átveheti a ki nem használt időkaput. Nézzük meg ez milyen módon oldható meg.

Üzemeltetünk egy hagyományos időkapu management rendszert, amelyben a J_i járművek előre lefoglalnak I_i időpontokat kiszorgásra.

$$I_i \leftrightarrow J_i \quad (10)$$

A rendszer Real-Time módon folyamatosan figyeli az összes beszállító járműnek a lefoglalt időkapura való pontos beérkezésének idejét.



6. ábra. Kiszolgálás időpontjainak dinamikus kiosztása

legyen,

J_i : forgalomban lévő beszállítást végző járművek

I_i : lefoglalt kiszolgálási időpontok, időkapuk

Ha J_i jármű beérkezhet I_i lefoglalt időpontra, akkor és csak akkor J_i megkapja I_i időkaput.

$$t_{J_i} \cong t_{I_i} \Leftrightarrow I_i \leftrightarrow J_i \quad (11)$$

Ha J_i jármű nem ér oda a számára lefoglalt I_i időpontra, akkor J_i elveszti I_i időkaput, így az szabaddá válik.

$$t_{J_i} \neq t_{I_i} \Rightarrow I_i \leftrightarrow J_i \quad (12)$$

Mivel I_i időkapu szabaddá vált, de a raktárban a várakozási időket célszerű minimalni ezért meg kell vizsgálni, hogy egy másik jármű be tud-e érkezni I_i időkapura. Ezt egy minimum érték kereséssel végezhetünk el, az n elemből álló adatsorozatunkban.

A t_{J_i} jármű beérkezési időket tömbbe foglaljuk, mert újra szükség lehet ezekre az értékekre és nézzük meg a legkisebb elem hányadik a sorozatban. A tömb legelső eleme a legkisebb adat t_{J_1} , ami annak a járműnek a hátralévő ideje, amelyik nem érkezik be a lefoglalt időpontra. Össze kell hasonlítani t_{J_1} -el a tömb összes többi elemet t_{J_2} -től t_{J_n} -ig. Amennyiben találunk nála kisebb értéket, az lesz a minimumértékünk, amely ezáltal hozzárendelődik az aktuális időkapuhoz. Ezt a keresési ciklust a következőképpen adom meg:

$II := tJ[1];$

for $i := 2$ to n do begin

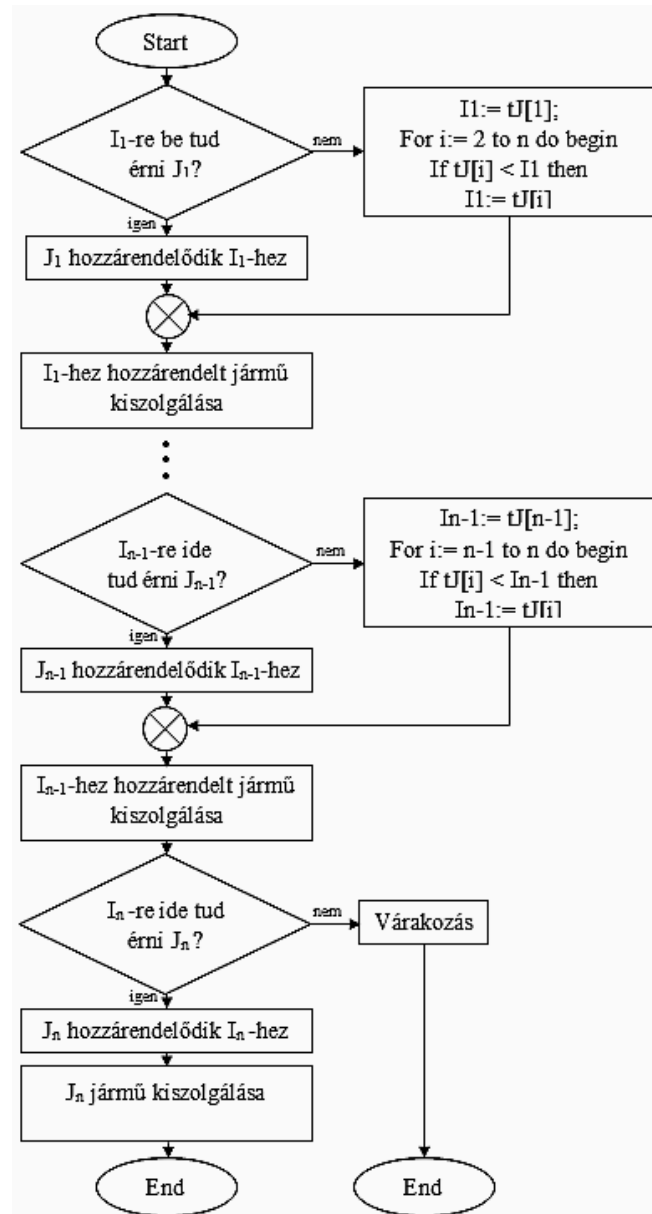
if $tJ[i] < II$ then

$II := tJ[i];$

ekkor,

$$t_{\min J} \leftrightarrow I_1 \quad (13)$$

Az utolsó időkapu I_n esetén nem kell elvégezni a minimum keresést, ha a bejelentkezett jármű oda tud érné kiszolgálásra, akkor az kiszolgálásra kerül, amennyiben nem, akkor a raktár várakozik.



7. ábra. Járművek dinamikus hozzárendelése időkapukhoz folyamatábra

Így megtaláltuk azt a járművet, amelyiknek a legkevesebb idő szükséges a szabaddá vált időkapuba való beérkezéshez. Ennek a járműnek parancsot adunk, hogy például az átlagsebességét növelje, tervezett pihenési idejét tolja el, stb., így a Real-Time módon van lehetőség a kirakodást megkezdeni és a raktár kapacitását optimalni.

6. Összefoglalás

A cikkben bemutatásra került a jármű beérkezések témaköre, amely jelentős befolyást gyakorol a raktári folyamatok tervezhetőségére. Az ismertetett modern technikai eszközök használata ugyan nem teszi pontosabbá a beérkezéseket, de lehetőséget nyújthat a hátralévő idők folyamatos Real-Time idejű meghatározásával a jármű beérkezések dinamikus újraszervezésére. Egy ilyen módszer került bemutatásra. A további munkáinkban ennek a módszernek a kihatását vizsgáljuk raktári folyamatokban fellépő várakozási időkre és költségekre.

7. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatallodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Cselényi, J., Illés, B.: Logisztikai rendszerek I., Egyetemi tankönyv, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2004.
- [2] Bühler, G.: Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr, Physica-Verlag Heidelberg, 2006, ISBN: 978-3-7908-1754-6.
- [3] Vollrath, M., Krems, J., F., Hasselhorn, M.: Verkehrspsychologie, 1. Auflage, Kohlhammer W. GmbH, 2011, ISBN-10: 9783170208469
- [4] Wittenbrink, P., Wilting, F., Hagenlocher, S.: Schlussbericht Schnittstelle Rampe – Lösungen zur Vermeidung von Wartezeiten, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Karlsruhe, 2013
- [5] Bundesamt für Güterverkehr: Marktbeobachtung Güterverkehr, Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, 2011.
- [6] Cselényi, J., Illés, B.: Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I., Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó, 2006
- [7] Bundesamt für Güterverkehr: Sonderbericht zur Situation an der Laderampe, Köln, 2011.
- [8] Seidel, M., Szczepaniak, A.: Logistische Anlieferbedingungen der Develley-Gruppe, Develley Gruppe, 2012
- [9] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Schnittstelle Radelampe - Gute Beispiele, Berlin, 2014.
- [10] Magyar Közút Nonprofit ZRt.: Az Országos Közutak 2017., Budapest, 2018, Témaszám: VB-2018/0029243/00
- [11] Marz, Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bergisch Gladbach, 1999
- [12] Geistefeldt, J.: Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Wirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- [13] Schlaich, J.: Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Stuttgart, 2009

- [14] Krampe, S.: Nutzung von Floating Traveller Data (FTD) für mobile Lotsendienste im Verkehr, Dissertation, TU Darmstadt, 2007
- [15] Breitenberger, S., Grüber, B., Neuherz, M.: Extended Floating Car Data – Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn, 2004
- [16] Rudolf, Á.: GPS Rendszer Működése és Alkalmazása a Biztonságtechnikában, Hadmérnök, VII. évfolyam 1. szám, 2012, pp. 40 - 47, ISSN: 1788-1929
- [17] Tettamanti, T., Varga, I.: Közúti forgalomtechnikai paraméterek mérése és becslése, BME, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék, 2015