

## **Műhely rendszerű termelés anyagmozgatási igényének meghatározása sorbanállási modell alkalmazásával.**

### **Determining the material handling needs of functional production system by using queuing model.**

Ferenczi Balázs<sup>1</sup> – Németh Péter<sup>2</sup>

#### Absztrakt

A gyártási rendszerek egyik legfontosabb kiszolgáló alrendszere a technológiai fázisok közötti anyagmozgatást végző logisztikai, mely a gyártási struktúrától függő mértékben integrálódik. A rendkívül rugalmas műhelyrendszerű termelés sajátossága, hogy az anyagmozgatási rendszer jellemzően elkülönül és a mozgatási igények egymástól függetlenül, sztochasztikusan jelentkeznek, így a elvárt termelési cél eléréséhez az anyagmozgató rendszer rugalmassága is szükséges.

A rugalmasság feltétele, a minimálisan szükségesnél magasabb anyagmozgató kapacitás fenntartása, ami viszont a közvetett költségek növekedésével jár együtt. Ezért szükséges egy olyan módszer felállítása, amivel a rugalmasság eredményei és a költségei összevethetőek, az optimum megtalálható.

**Kulcsszavak:** funkcionális elrendezés, műhely rendszer, anyagmozgatás, kiszolgálás, sorbanállási modell.

#### Abstract

One of the most important subsystems of manufacturing is material handling between production phases. The peculiarity of highly flexible functional production is that the material handling system is typically separate and the movement needs are stochastically independent of each other. The flexibility of the material handling system is also required in order to achieve the expected production goal. A key factor for flexibility is that the material handling capacity has to be higher than the minimum necessary, but it has the wrong result to the indirect costs. The lack of material handling capacity results the loss of the machine working capacity due to the waiting for the handling. This is a trade-off situation where the optimum solution must be found.

**Keywords:** functional production system, job shop, material handling, queuing theory, service level,

## **BEVEZETÉS**

A műhely rendszerű, vagy más néven funkcionális elrendezésű gyártás az ipari gyártó rendszerek közül a legrugalmasabb működést teszi lehetővé. Ebben a termelési rendszerben a gyártó eszközök az alkalmazott technológia szerint kerülnek csoportosításra, a munkadarabok pedig a technológia sorrendnek megfelelően mozognak a gyártó eszközök között. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a szaktudás az egyes műhelyekben koncentrálódjon, illetve, hogy az üzem a változó vevői igényekre rugalmasan reagáljon, ugyanakkor a gyártó berendezések kihasználtsága erősen eltérő lehet és az üzemi tevékenység tervezése szervezése bonyolult.

Ellentétben a folyamatos rendszerű gyártással, ahol a termelési struktúra összehangolt, kiegyenlített elemekből áll, és az anyagmozgató rendszer szerves, összehangolt része a teljes

---

<sup>1</sup> Ferenczy Balázs, PhD hallgató, Széchenyi István Egyetem, feba78@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. Németh Péter, egyetemi Docens, Széchenyi István Egyetem, nemethp@sze.hu

termelő struktúrának, a műhely rendszerű termelés esetén a termelési és az anyagmozgatási rendszer elkülönül egymástól, és általában univerzális anyagmozgató eszközökkel kerül megvalósításra. Az anyagmozgatási feladatok beékelődnek a gyártási feladatok közé, ezért azokat a gyártási feladatok műveleteinek is lehet tekinteni. Ugyanakkor a hatékonyság és a szinergiák kihasználása érdekében az anyagmozgatási tevékenység szervezése jellemzően több műhely anyagmozgatási feladatait öleli fel. Ezért az anyagmozgatási rendszer egy, a gyártással együttműködő és arra jelentős hatást gyakorló, de külön vezérelt alrendszerként jelenik meg, melyet mind teljesítmény, mind költség oldalról össze kell hangolni a teljes gyártási rendszerrel. Az anyagmozgatási tevékenység tervezése és szervezése során tekintettel kell lenni a szűk keresztmetszetek kiemelt ellátására.

A tanulmányban az anyagmozgató rendszer kapacitásának és ennek a termelési rendszerre gyakorolt hatásának összefüggését vizsgáljuk.

## **1. AZ ANYAGMOZGATÓ ESZKÖZÖK SZÁMÁNAK MEGHATÁROZÁSA ÉS OPTIMALIZÁLÁSA**

A termelési és anyagmozgatási tevékenység optimalizálása jellemzően két fázisban történik. Az első fázis a gyár tervezési szakaszában történik, amikor a műhelyek helye még szabadon választható. Ekkor azok egymáshoz viszonyított elrendezésével minimalizálható a tervezett működéshez szükséges anyagmozgatási teljesítmény igény (Tarigan–Ambarita, 2018; Abad, 2018). A döntésekre hatást gyakorolhatnak a rendelkezésre álló anyagmozgatási technológiák, illetve azok fajlagos költségei is, ezért ebben a fázisban kerül meghatározásra az anyagmozgató rendszer tervezett működése és eszközparkja.

A második fázisban az operatív működést vizsgálva a költségek és hatások összességét elemezve kerülnek kialakításra az anyagmozgatást vezérlő szabályrendszerek és az optimális működéshez szükséges flottaméret is.

A műhely rendszerű termelés logisztikájának szervezésekor jelentkező egyik nehézség a rendszer optimális működéséhez szükséges anyagmozgató eszközök számának meghatározása. A probléma kezelésére, melyet a szakirodalom „Fleet size estimation” kulcsszó alatt tárgyal, megkülönböztethetőek az analitikus és a szimulációs módszerek (Rajotia et al., 1998; Chawla et al., 2018).

Az analitikus módszerek többféle megközelítést alkalmazhatnak: a termelés ellátásához szükséges anyagmozgatási teljesítményből kiindulva, majd a bizonytalansági faktorokkal és az üres futásokkal közelítve (Egbelu, 1987), vagy a meglévő flotta mért terheltségből kiindulva (Maxwell–Muckstadt, 1982). Gazdasági alapú analitikus megközelítés az összköltség és az anyagmozgató flotta összteljesítménye közötti összefüggések vizsgálata (Rajotia et al., 1998). Optimalizálási szempont lehet a készlettartás költsége és az anyagmozgató eszközök költségének minimalizálása. (Koo et al., 2004). Kidolgozásra kerültek gazdasági megközelítésű számítási metódusok, amelyek az anyagmozgató géppark mérete és költsége, illetve az ezzel összefüggésben álló kiszolgálási színvonal miatti termelés kiesés költsége közötti gazdasági optimum keresésen alapulnak. Egyes módszerek átlagolt, egységes bemeneti paraméterekkel kalkulálnak (Prezenszki, 1997), és vannak egyedi, termék vagy berendezés sajátosságokat is kezelni képes módszerek is (Raman et al., 2008), melyek rendkívül komplex modellek alapján dolgoznak.

A korszerű szimulációs módszerek pontosabb, átláthatóbb eredményt adnak, illetve a változó körülmények és követelmények könnyen beépíthetőek. Ugyanakkor ezek hátránya az analitikus megközelítéshez képest, hogy hosszabb idő elkészíteni őket, illetve valamilyen szimulációs rendszer meglétét és alapos ismeretét igényelik (Valmiki et al., 2018).

Általánosan az optimalizációs problémákra alkalmazhatóak a gépi tanuláson alapuló mesterséges intelligencia megoldások, melyek az emberi elme számára átláthatatlanul nagy

adattömegekből vett összefüggéseket is kezelni tudnak, illetve jó közelítéssel előrejelzik az eseményeket (Németh et al., 2016). Ezek a sokoldalú módszerek, mint például a neurális hálózatok vagy a fuzzy logikán alapuló kalkulációk, a tudomány számos területén alkalmazhatóak. (Gupta, 2017) és az adott terület kutatói speciálisan adaptálják az általuk megoldandó problémákra (Bilkay et al., 2004; Lilik et al., 2018).

## 2. ÖSSZEFÜGGÉS AZ ANYAGMOZGATÓ ESZKÖZÖK SZÁMA ÉS A GYÁRTÓ ESZKÖZÖK VÁRAKOZÁSI IDEJE KÖZÖTT

Az ipari tapasztalatok alapján a műhely rendszerű termelési egységek logisztikai kiszolgálásának problémája annak köszönhető, hogy az egyes termelő berendezések gyakran egymástól függetlenül, a saját ciklusidejük szerint termelnek. Emiatt az anyagmozgatási igények időben véletlenszerűen oszlanak el és egy időben akár több gyártó berendezés kiszolgálási igénye is felmerülhet, több, mint amennyi anyagmozgató eszköz rendelkezésre áll. A logisztikai kiszolgáló rendszer nem lesz képes minden igényre azonnal reagálni, tehát egyes gyártó berendezéseknek várniuk kell a kiszolgálásra, ezért az elméleti kapacitáshoz képest veszteség várható. Ez a veszteség, mint időegységre eső fajlagos költség, gyártó berendezésenként számszerűsítendő, melynek összetevői többek között a gyártóeszköz kezelőjének bére, az üzemi általános költség és az elmaradt haszon is.

A várakozási költség csökkentését az anyagmozgató eszközök számának növelésével lehet elérni. Ugyanakkor az anyagmozgató eszközök számának növelése szintén költség tényezőként jelentkezik. Az anyagmozgató eszközök költségei az eszköz bérleti vagy amortizációs költsége, a használatarányos és fix karbantartási költsége, a gépkezelő bérköltsége illetve az üzemanyag költsége. Ezek alapján felírható egy összköltség függvény, ami a rendszerben működő anyagmozgató eszközök számától függ (Prezenszki, 1997).

$$K_{(s)} = K_{vár} + K_{am}$$

Ahol:

$K_{(s)}$ : összes működési költség

$K_{vár}$ : gépek várakozási költsége

$K_{am}$ : anyagmozgatás költsége, egyenesen arányos az anyagmozgató eszközök számával

Az anyagmozgató eszközök számával összefüggő várakozási költség számítására a szakirodalmi kutatásaink alapján nem találtunk egzakt, a műhely rendszerű termeléshez igazodó módszert. Ezért célunk megvizsgálni a műhely rendszerű gyártás szervezési és anyagmozgatási kiszolgálásának sajátosságait és ez alapján számítási módszert felállítani.

## 3. SORBANÁLLÁSI MODELLEK.

A sorbanállási elmélet az élet számtalan területén előforduló kellemetlen jelenség, a várakozás vizsgálatával foglalkozik. (Sztrik, 2011) A telefonközpontba befutó hívások várakoznak a kapcsolásra, az áruházakban a pénztárakhoz érkező vevők a sorban várakoznak a fizetésre, ugyan így a hivatalokban az ügyfelek az ügyeik intézésére, az étteremben a vendégek a pincérre, a sérültek a sürgősségi ellátásnál és még számos területet sorolhatnánk fel. Mindegyik eset jellemzője, hogy nem előre ütemezetten érkeznek ügyfelek, akiknek az igényét fel kell dolgozni és kalkulálni szükséges, hogy ez mekkora erőforrást igényel a feldolgozás oldaláról és ez milyen hatással van az ügyfelekre. Például lehetséges, hogy egyes ügyfelek igénybe sem veszik a szolgáltatást, hogyha a sor túl hosszú, vagy megszakítják a sorban állást és távoznak ha túl régóta várakoznak (ez egy sürgősségi baleseti ellátás esetén akár tragikus is lehet).

Mennyivel csökken várható várakozás hossza, hogyha növelésre kerül a feldolgozó eszközök száma? Ez a kérdés amellett hogy rendszerek alapvető működésének meghatározására alkalmazható, további gazdasági optimalizáció számításának alapja is lehet. Például ha az étterem vendégei rendszeresen távoznak a túl hosszú várakozási idő miatt, akkor ezzel a vállalkozó veszteséget szenved. Megvizsgálandó, hogy eggyel több pincér vagy szakács alkalmazásának milyen hatása lesz.

A sorbanállási elméletek különböző érkezési és feldolgozási jellemzők alapján arra adnak választ, hogy az igények milyen valószínűség alapján mennyi ideig fognak várakozni, mekkora várakozó sor alakul ki, a feldolgozó eszközök mennyire lesznek terheltek illetve milyen valószínűséggel következnek be esetek a várakozás során. (Sztrik, 2011)

Egy adott sorbanállási rendszer jellemzéséhez az alábbi adatokra van szükség:

- A beérkező folyamat általában az egymás után beérkező igények közötti időintervallumok, mint valószínűségi változók eloszlásának segítségével jellemezhető. Az érkezési intenzitás mutatja meg, hogy időegység alatt mennyi ügyfél érkezik be a rendszerbe és ez milyen eloszlást követ.
- A kiszolgálás időszükséglete, amit a feldolgozási intenzitás mutat meg: időegység alatt mennyi ügyfelet tud egy feldolgozó egység kezelni.
- Feldolgozó, kiszolgáló egységek száma.
- Feldolgozó egységek befogadóképessége
- Milyen rendszer szerint történik a feldolgozás A leggyakoribb a FIFO elv szerinti, tehát az érkezési sorrendben történő kiszolgálás, de prioritizálhatóak is az egyes igények.

A sorbanállási rendszer vizsgálatához többek között az alábbi rendszerjellemzők határozandók meg:

- Az igények várakozási ideje
- A rendszerben lévő igények száma
- A kiszolgáló eszközök kihasználtsága.

Ezek alapján a műhely rendszerű termelés anyagmozgatási kiszolgálási rendszerében megfeleltethető:

- az az egyes anyagmozgatási igények az ügyfelek,
- a kiszolgáló eszközök a targoncák,
- az érkezési intenzitás az anyagmozgatási igények keletkezésének gyakorisága,
- a feldolgozási intenzitás pedig, hogy egy targonca az időegység alatt mennyi gép kiszolgálását tudja elvégezni.

A keresett információ, hogy a targoncák számától függően, az egyes gépek kiszolgálásának az egyes igények felmerülésétől kezdve mennyi időt kell várakozni. Az igények elméletileg végtelen ideig várakozhatnak a sorban, de egy munkahelyenként és gyártott termékenként eltérő ún. nyitott idő után a várakozás folyamatosan növekvő költségként jelentkezik. Amennyiben a kiszolgáló eszközök száma növekszik a várakozási idő és ezzel a költség csökken.

Sorbanállási modellek segítségével számolható, hogy a vizsgált időszak alatt mekkora gyártási veszteség várható kiszolgálásra várakozás formájában illetve ez összevethető a targoncák számával és üzemeltetési költségével.

## 4. A PROBLÉMÁRA MEGFOGALMAZOTT MATEMATIKAI MODELLEK:

Feltételezve, hogy az anyagmozgatási igények exponenciális eloszlással, poisson folyamat szerint érkeznek be a modell alkalmazásához az alábbi adatokra van szükség:

- Az érkezési intenzitás
- A feldolgozási intenzitás
- A feldolgozó eszközök száma

### 4.1. ÉRKEZÉSI INTENZITÁS

Meghatározandó, hogy átlagosan milyen gyakorisággal fog anyagmozgatási igény érkezni a rendszerbe. Ehhez meghatározandó az összes anyagmozgatás száma, amit el kell osztani az időalappal. Ezt az adott időszak alatt előforduló anyagmozgatási igények továbbiakban hívások száma határozza meg.

$$Call_{xj} = \frac{Prod_x}{Pack_{xj}}$$

Ahol:

$x$ : a termékek halmaza

$j$ : a gyártó eszközök halmaza

$Call_{xj}$ : az időszak alatt az  $x$  termék előállításánál a  $j$  berendezésnél szükséges hívások száma az  $x$  termék időszak alatti tervezett gyártási mennyisége

$Pack_{xj}$ : az  $x$  termék továbbítási egysége a  $j$  megmunkáló gép után

$t$ : tervezési időalap

Az érkezési intenzitás: (időegység) alatt érkező igények száma:

$$\lambda = \frac{\sum_{x=0}^x \sum_{j=0}^j Call_{xj}}{t}$$

### 4.2. A FELDOLGOZÁSI INTENZITÁS

Az anyagmozgató eszközök feldolgozási intenzitása: a sorbanállási modellek ezt az tényezőt egy konstansként kezelik, ezért egy átlagos értéket kell képezni. Ezt feltételezésünk szerint az egyes gépek és termékek egyszeri kiszolgálási igényének program szerinti súlyozott átlagával határozható meg. Ezzel a módszerrel a gyakoribb mozgatósi igények ideje nagyobb súllyal számít az átlagba, mint a ritkábbaké.

Az átlagos feldolgozási idő:

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^j \sum_{x=1}^x Call_{xj} * P_{xj}}{\sum_{x=0}^x \sum_{j=0}^j Call_{xj}}$$

Ahol:

$P_{xj}$ : a  $j$  gép kiszolgálásának végrehajtási ideje amennyiben  $x$  terméket gyártják rajta

$Call_{xj}$ :  $x$  termék előállításánál a  $j$  berendezésnél szükséges anyagmozgatások száma

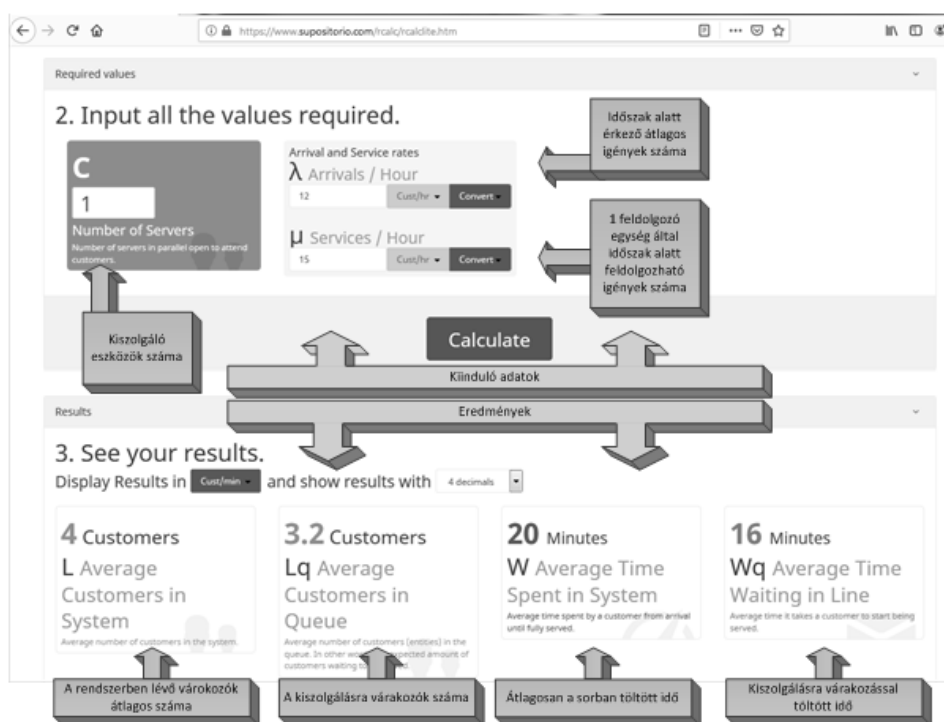
### 4.3. A HÍVÁSONKÉNTI VÁRAKOZÁSI IDŐ SZÁMÍTÁSA.

Az érkezési és feldolgozási tevékenységet számos jellemzővel lehet leírni. A már taglalt érkezési és feldolgozási intenzitás mellett ezek eloszlása, a sorok maximális hossza, a

kiszolgálás jellege, a kiszolgálás prioritása és még számos tényező befolyásolhatja, hogy a sorbanállási rendszer hogyan fog viselkedni. Az ezek alapján történő kalkuláció módját, matematikai háttérét számos szakirodalom taglalja (Sztrik, 2011) (Haghighi, Mishev, 2008) ebben a tanulmányban ezekre terjedelmi okokból nem térünk ki. A „Waiting line calculator” vagy a „Queuing theory calculator” keresőszóval számos olyan weboldal, online program található, amivel ezek a kalkulációk elvégezhetőek. A lent található számításokhoz a <https://www.supositorio.com/rcalc/rcalc-lite.htm> oldalon található kalkulátort alkalmaztuk, melynek használatát és a kinyerhető eredmények egy részét az 1. ábra mutatja be. Ezek mellett az oldalon számos egyéb eredmény és grafikon is készül a megadott alap adatok alapján.

1. ábra: Az eredmények kalkulálására használt weboldal képe.

Figure 1: The webpage used to calculate the results



Forrás: saját szerkesztés

A műhely rendszerű termelés kiszolgálásának jellemzéséhez ezek közül a „kiszolgálásra várakozással töltött idő” ( $W_q$ ) a szükséges információ.

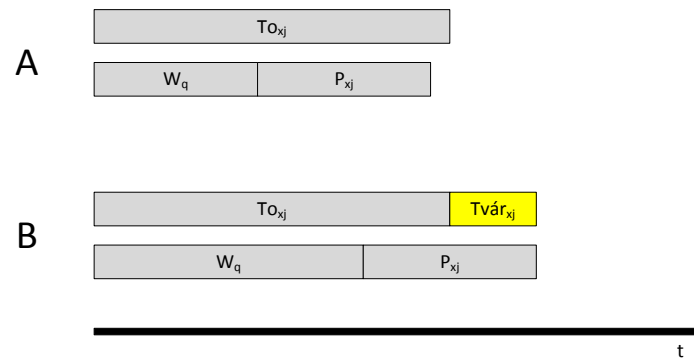
#### 4.4. A GYÁRTÁS RENDSZER ANYAGMOZGATÁSBÓL SZÁRMAZÓ VESZTESÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA.

A műhely rendszerű termelés egyik sajátosságaként került megfogalmazásra, hogy az anyagmozgatási igények (hívások) jelentkezésétől számított nyitott időn belül elvégzett kiszolgálás esetén nem merül fel várakozási költség, azon túl viszont igen. A nyitott idő és az ebből származó hívásonkénti veszteség költség számítására ebben a cikkben nem térünk ki, ezeket most munkahelyenként és termékenként adott értéként kezeljük, arról egy korábbi tanulmányunkban részletesen szó esett. (Ferenczi, Németh, 2019) A sorbanállási modell segítségével számolt hívásonkénti átlagos várakozási idő, munkahelyre és termékre jellemző kiszolgálási idő és a nyitott idő viszonya fogja meghatározni, hogy az adott munkahely és a termék esetében várható-e várakozásból fakadó veszteség költség. Ezek alapján veszteség

akkor keletkezik, hogyha az adott munkahely nyitott ideje kisebb mint a kiszolgálásra várakozás és a kiszolgálás idejének összege. (2. ábra)

2. ábra: A nyitott idő a kiszolgálásra várakozási idő és kiszolgálási idő viszonya várakozás nélkül (A) és várakozással (B)

Figure 2: The relation of open time the service time and the waiting for service time in caes of non waiting (A) and waiting(B)



Forrás: Saját szerkesztés

Az „A” esetben:

$W_q + P_{xj} < To_{xj}$  ezért várakozási idő és ezzel költség nem alakul ki.

A „B” esetben:

$W_q + P_{xj} > To_{xj}$ , ezért várakozási idő keletkezik, aminek értéke:

Ezekből a munkahelyenként és termékenkénti várakozási költség:

$$Tvár_{xj} = (W_q + P_{xj}) - To_{xj},$$

Ahol:

$W_q$ : a hívásonkénti átlagos várakozási idő (sorbanállási modellel kalkulálva)

$To_{xj}$ : a j gépen gyártott x termék nyitott ideje

$Tvár_{xj}$ : a j gépen gyártott x termék várakozási ideje hívásonként.

A rendszer időszak alatti teljes várakozási költsége az egyes munkahelyek hívásonkénti várakozási idejének, ennek fajlagos költségének és a hívások számának szorzata lesz.

$$K_{vár} = \sum_{x=1}^x \sum_{j=1}^j Tvár_{xj} * Call_{xj} * K_j$$

Ahol

$K_j$ : a j gyártó berendezés időegység alatti várakozási költsége

#### 4.5.AZ ANYAGMOZGATÁSI KÖLTSÉG SZÁMÍTÁSA.

Az anyagmozgatási rendszer költségének állandó összetevőjét az anyagmozgató eszközök rendelkezésre állásának illetve a kezelő személyzet bér költségei jelentik, változó része az üzemanyag és a futás arányos karbantartási költség. A jelen tanulmányban ezt eszközönként konstans értéként kezeljük és feltételezzük, hogy az anyagmozgatási feladatok azonos

paraméterű és költségű targoncákkal elvégezhetőek. Ez alapján az anyagmozgatási rendszer költségei a targoncák számától és azok időegység alatti költségétől függenek.

$$K_{am} = n \times K_{targ}$$

Ahol:

$n$ : a targoncák száma

$K_{targ}$ : 1 targonca időegység alatti üzemeltetési költsége

#### 4.6.A RENDSZER OPTIMUMÁNAK KERESÉSE:

A rendszer optimumpontjának megtalálásához keressük azt a targonca számot, ahol

$$K_{(s)} + K_{am} \rightarrow \min$$

Ehhez a fenti kalkulációs módszert a minimálistól folyamatosan növekvő számú targoncával elvégezve megkapjuk az összköltség görbét, melynek minimum pontja mellett lesz az optimális targonca szám. A görbéből az is leolvasható, hogy az anyagmozgató eszközök száma függvényében mekkora gyártási veszteség jelezhető előre.

A 3. ábra egy valós adatokon alapuló számítás eredményét mutatja, az anyagmozgató eszközök és a gyártó berendezések várakozási költsége az anyagmozgató eszközök számának függvényében. Az anyagmozgató eszközök száma az alábbi határok között mozoghat:

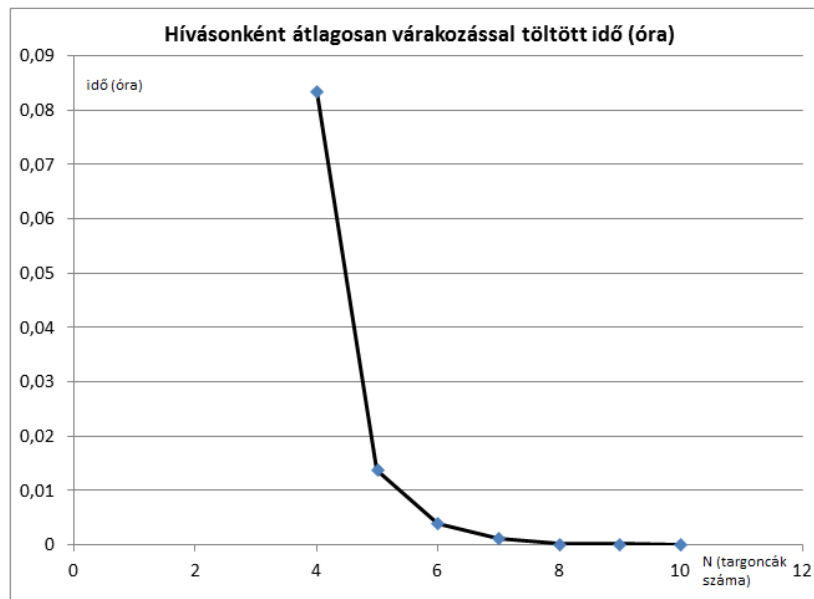
- $N_{\min}$ : az a targonca szám, ami alatt az üzemi kiszolgálási feladathoz kapcsolódó anyagáramlási teljesítmény nem végezhető el. A szükséges minimális anyagmozgató eszközsámot a az érkezési intenzitás és a feldolgozási intenzitás hányadosa adja meg.
- $N_{\max}$ : a maximális targoncaszám, ami megegyezik a kiszolgálandó gyártó berendezések számával. Ez egy olyan robosztus megoldás, ahol minden egyes gyártó berendezéshez hozzárendelnek egy anyagmozgató eszközt. Ebben az esetben a gyártó eszközök kapacitását az anyagmozgató eszközök száma nem befolyásolja.

Az érkezési intenzitás  $\lambda = 67$ , az egy targoncára jutó feldolgozási intenzitás  $\mu = 19$  eset/óra. A kettő hányadosa  $\frac{\lambda}{\mu} = 3,5$  ami meghatározza a  $N_{\min}$  értéket. Ez a targoncaszám alatt a rendszer nem működőképes. Az  $N_{\max}$  lehetséges legnagyobb értéke a gyártó berendezések száma ami 12.

A várakozási rendszerre jellemző, esetünkben keresett információ a „hívásonkénti várakozási idő a targonca szám függvényében”. A kalkulátor weboldal segítségével számított adatok láthatóak a 3. ábrán:



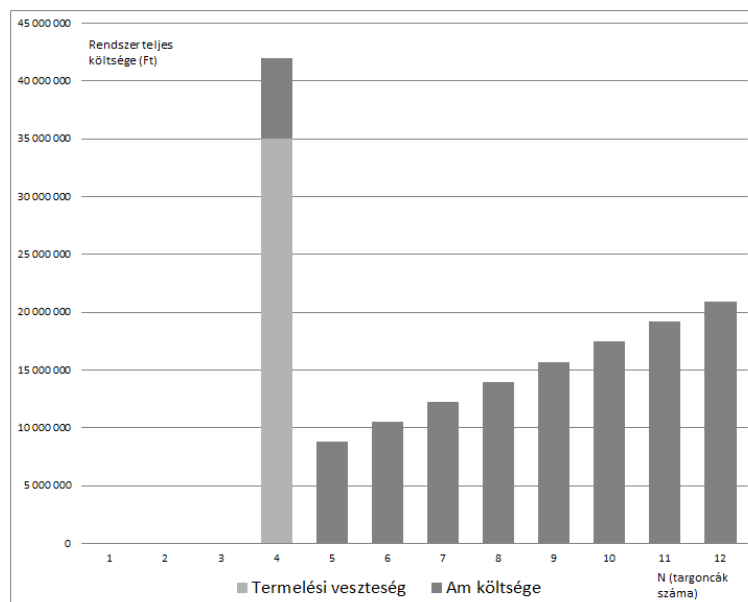
3. ábra: a hívásonkénti várakozási idő alakulása a targonca szám függvényében  
 Figure 3: The average waiting time according to the number of forklifts in the system



Forrás: saját szerkesztés

Látható, hogy az átlagos várakozási idő a feldolgozó elemek számával növelésével közelíti majd eléri a 0-t. A rendszer teljes üzemeltetési költségeit az 4. ábra mutatja.

4. ábra: a teljes rendszer üzemeltetési költsége a targonca szám függvényében  
 Figure 4. The total cost of the system according to the number of the forklifts



Forrás: Saját szerkesztés

Az  $N_{\min}$  érték (4) esetén jelentős várakozási költség merül fel, míg a targonca szám növelésével ez gyakorlatilag 0 lesz és csak a targoncák lineárisan növekvő üzemeltetési költségei maradnak. Az optimális megoldást ez alapján az 5 targoncából álló rendszer adja,

ahol ugyan van némi várakozási költség, de a teljes rendszer összköltsége minimális. Ezen felül a várakozási költség közel 0, és a targoncák számának növelése felesleges.

## 5. TOVÁBBI KUTATÁSOK

A tanulmányban használt átlagos feldolgozási idő képlet feltételezésünk szerint jó közelítéssel alkalmazható a sorbanállási modell bemeneti adataként, ugyanakkor ennek hatásossága bizonyítást igényel. Tekintve, hogy a gazdasági veszteséget generáló, valódi gyártási környezetben történő tesztelés nem lehetséges, terveinkben szerepel egy olyan számítógépes gyártás szimuláción alapuló rendszer megalkotása, amivel a bemeneti adatok alapján reális gyártási környezetet szimulál. Ezzel ugyan azon adatsorokon elvégezve a sorbanállási modell segítségével végzett kalkulációt és a gyártás szimulációt megtudhatjuk, hogy a kidolgozott módszer mennyiben felel meg a gyakorlati alkalmazásra.

## ÖSSZEGZÉS

A tanulmányunkban a műhely rendszerű termelés anyagmozgatási kapacitásának optimalizálására törekedtünk. A rendszer hektikus, nem ütemezhető anyagmozgatási igényei miatt a korlátozottan rendelkezésre álló targoncák esetén a gyártó berendezések várakozására kell felkészülni. A várakozási idő és a targoncák száma közötti összefüggés sorbanállási modellek használatával került meghatározásra. Megalkotásra került egy matematikai modell, amivel a termelési rendszer jellemző adataiból a sorbanállási modell bemenő adatai előállíthatóak. A sorbanállási modell kalkulációi egy erre a célra általánosan használható weboldal felületén kerültek elvégzésre. A keresett kimeneti adat az átlagos várakozási idő, mely a targonca szám függvényében változik. Ez alapján minden reális targonca számra elvégzendő a kalkuláció és ez alapján a várakozási és anyagmozgatási költség függvény felrajzolható. Az összköltség függvény minimumánál található az a targonca szám, amivel a rendszer várakozási és anyagmozgatási költség optimuma van. Az elméleti kalkuláció egy számszaki példával került illusztrálásra. Megfogalmazásra került a további kutatási igény, egy szimulációs rendszer felállítása, amivel a feldolgozási intenzitás számolására alkalmazott képlet és az egész kalkulációs módszer validálható.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a "Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen" című (azonosító szám: EFOP-3.6.1-16-2016-00017) projekt keretében készült.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Abad, J. (2018) Ergonomics and simulation-based approach in improving facility layout. *Journal of Industrial Engineering International*, 14, 4, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0260-z>
- Bilkay, O.–Anlagan, O.–Kilic, S. E. (2004) Job shop scheduling using fuzzy logic. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23, 7–8, pp. 606–619. <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1771-2>
- Chawla, V. K.–Chanda, A. K.–Angra, S. (2018) Automatic guided vehicles fleet size optimization for flexible manufacturing system by grey wolf optimization algorithm. *Management Science Letters*, 8,2, pp. 79–90. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2017.12.004>

- Egbelu, P. (1987) The use of non-simulation approaches in estimating in an AGV based transport system. *Material flow*, 4, pp. 17–32.
- Ferenczi, B., Németh, P., (2019) Műhely rendszerű termelés anyagmozgatási igényeinek sajátosságai. *Tér-Gazdaság-Ember*, 7,2-3, pp. 145-163.
- Goldratt, E. M. (1990) *Theory of constraints*. Croton-on-Hudson, North River.
- Gupta, P. (2017) Applications of Fuzzy Logic in Daily life. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8,5, pp. 1795–1800
- Haghighi, A., Mishev, D., (2008) *Queuing models in industry and business*, Nova Science Publishers Inc., New York
- Koo, P.–Jang, J.–Jungdae S. (2004) Estimation of part waiting time and fleet sizing in AGV systems. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16, 3, pp. 211–228. <https://doi.org/10.1007/s10696-005-1008-9>
- Lilik, F.–Nagy, S.–Kóczy, L. T. (2018) On combination of wavelet transformation and stabilized kh interpolation for fuzzy inferences based on high dimensional sampled functions. *Interactions Between Computational Intelligence and Mathematics Cham*. Springer International Publishing, Germany. pp. 31–42. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74681-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74681-4_3)
- Maxwell, W. L.–Muckstadt, J. A. (1982) Design of Automatic Guided Vehicle Systems. *AIIE Transaction*, 14, 2, pp. 114–124. <https://doi.org/10.1080/05695558208974590>
- Németh, P.–Ladinig, T. B.–Ferenczi, B. (2016) Use of artificial neural networks in the production control of small batch production. *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)*. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp). pp. 237–240.
- Prezenszki J. (1997) *Logisztika I*. Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest.
- Rajotia, S.–Shanker, K.–Batra, J. L. (1998) Determination of optimal AGV fleet size for an FMS. *International Journal of Production Research*, 36, 5, pp. 1177–1198. <https://doi.org/10.1080/002075498193273>
- Raman, D.–Nagalingam, V.–Gurd, B. W.–Lin, G. (2008) Quantity of material handling equipment – A queuing theory based approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, 2, pp. 348–357. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2008.01.004>
- Sztrik, J. (2011) *A sorbanállási elmélet alapjai*. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- Tarigan, U.–Ambarita, M. B. (2018) Production layout improvement by using line balancing and Systematic Layout Planning (SLP) at PT. XYZ. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309, 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/309/1/012116>
- Valmiki, P.–Reddy, A. S.–Panchakarla, G.–Kumar, K.–Purohit, R.–Suhane, A. (2018) A study on stimulation methods for AGV fleet size estimation in a flexible manufacturing system. *Materials Today: Proceedings*, 5, 2, pp. 3994–3999. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.658>