

Műhely rendszerű termelés anyagmozgatási igényeinek sajátosságai

Specifications of material handling needs of functional production system



Absztrakt

A funkcionális elrendezésű termelési rendszerek előnye, hogy rendkívül rugalmas gyártási tevékenységet tesznek lehetővé. Anyagmozgatási igényük más termelési rendszerekkel összehasonlítva ugyanakkor magasabb és kevésbé kiszámítható. A rendszer speciális körülményein keresztül a kiszolgálási színvonal és a termelési rendszer veszteségei közötti összefüggést vizsgáljuk. A termelő berendezés ciklusideje meghatározó a kiszolgálási igény szempontjából. A szűkös erőforrások szakirodalmának feldolgozása után bevezetésre került a tartalékidő fogalma és képletek készültek az egyes gyártó berendezések várakozási költségének meghatározására. Ezzel kiszámolható, hogy egy adott gyártó berendezés adott körülmények között milyen mértékű gyártási veszteséget fog szenvedni, az anyagmozgatási rendszer követeztében. Ennek jelentősége, hogy közvetlen kapcsolat teremthető az anyagmozgatási tevékenység sajátosságai és a gyártási tevékenység veszteségei között. Az elemzés alapján a gyártó berendezésnél külön anyagmozgatási egységben elhelyezett puffer nagyban csökkenti a kiszolgálás miatti gépállás veszteségek költségeit. Amennyiben az adott gyártó berendezés terhelése és a teljes gyártási rendszer terhelése között különbség van, az így kialakuló tartalékidő valós költség növekedés nélkül felhasználható az anyagmozgatási feladatok elvégzésére.

Kulcsszavak: funkcionális elrendezés, műhely rendszer, anyagmozgatás, kiszolgálás, szűk keresztmetszetek

Abstract

The main advantage of functional production systems is the capability to enable flexible production processes. That being said the material handling needs are higher and less predictable than by other production systems. The connection between service level and production system losses is examined. The cycle time of the production equipment is the main factor for the service level. After reviewing the literature of bottleneck resources, various spare time definitions and a formula for determining the waiting cost of a given production system introduced. Using this method the losses of the given production equipment due to material handling can be calculated. The significance of this is that a direct connection can be made between the service level of the material handling activity and the losses of the manufacturing activity. According to the analysis, a buffer placed in

a separate material handling unit at the manufacturing machine greatly reduces the cost of machine stand losses. If there is a difference between the load of a given production equipment and the load of the entire production system, the resulting spare time can be used for material handling tasks without increasing the real cost.

Keywords: functional production system, job shop, material handling, service level, bottle neck

BEVEZETÉS

A műhely rendszerű, vagy más néven funkcionális elrendezésű gyártás az ipari gyártó rendszerek közül a lerugalmasabb 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. Emiatt a rendszerben változó helyeken szűk keresztmetszetek alakulhatnak ki. A szűk keresztmetszetek meghatározzák a teljes rendszer átbocsátási képességét, ezért ezek folyamatos termelési feladattal és alapanyaggal történő ellátásáról a termelési terv kialakítása és végrehajtása során gondoskodni szükséges.

Ellentétben a folyamatos rendszerű gyártással, ahol a termelési struktúra összehangolt, kiegyenlített elemekből áll, és az anyagmozgató rendszer szerves, összehangolt része a teljes termelő struktúrának, a műhely rendszerű termelés esetén a termelési és az anyagmozgató rendszer elkülönül egymástól, és általában univerzális anyagmozgató eszközökkel kerül megvalósításra. Az anyagmozgató feladatok beékelődnek a gyártási feladatok közé, ezért azokat a gyártási feladatok műveleteinek is lehet tekinteni. Ugyanakkor a hatékonyság és a szinergiák kihasználása érdekében az anyagmozgató tevékenység szervezése jellemzően több műhely anyagmozgató feladatait öleli fel. Ezért az anyagmozgató 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 anyagmozgató tevékenység tervezése és szervezése során tekintettel kell lenni a szűk keresztmetszetek kiemelt ellátására.

A tanulmányban az anyagmozgató rendszer és a műhely rendszerű termelés eltérő terheltségű berendezéseinek kapcsolatát vizsgáljuk. Vizsgálatunk az egyes munkahelyek logisztikai kiszolgálási igényén alapul és ebből vonunk le következtetéseket a teljes rendszerre vonatkozóan.

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, megkülönböztethetők 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 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 gyártóeszközök várakozási költségét befolyásolja az is, hogy az adott gyártóeszköz milyen mértékben van terhelve. Valós veszteséget az jelent, hogy ha a gyártóeszköz állása hatással van a teljes rendszer kibocsájtására, illetve egy alacsonyan terhelt gyártó berendezés magas színvonalú és költséges kiszolgálása nem jelent valós eredményt a rendszer egésze szempontjából.

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 költségek. 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

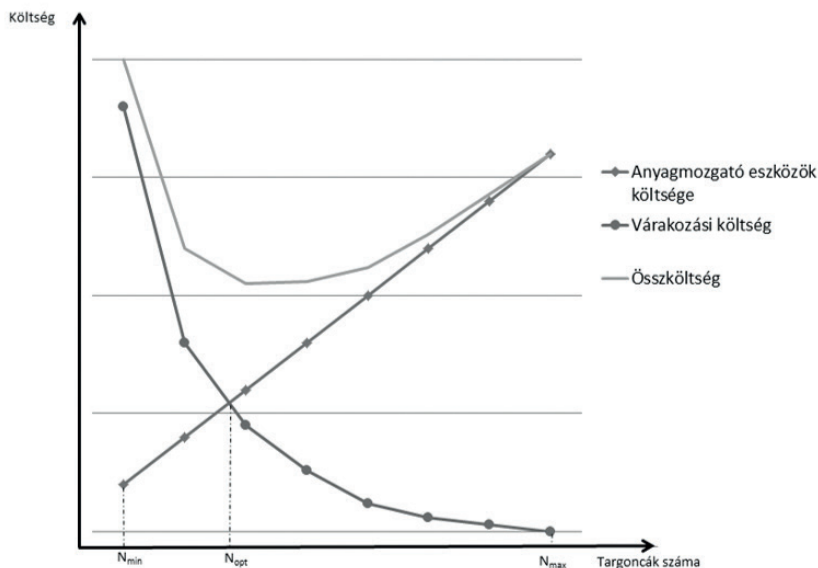
Az 1. ábra mutatja a képlet alapján az anyagmozgató eszközök és a gyártó berendezések várakozási költség függvényeit és az összköltség függvény alakját. Az anyagmozgató eszközök száma az alábbi határok között mozoghat:

- N_{\min} : az a targonca szám, ami alatt az üzemi kiszolgálási feladathoz kapcsolódó anyagáramlási teljesítmény nem végezhető el. Ez a szükséges teljesítmény már a tervezési fázisban meghatározható, és az anyagmozgató eszközök kapacitásának teljes kihasználását eredményezi. A szükséges minimális anyagmozgató eszközszámot a teljes anyagmozgatási igény (pl. tonnakiló méterben kifejezve) és az egy anyagmozgató eszköz időszak alatti teljesítményének hányadosa adja.
- 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 anyagmozgató eszközök költségének függvénye lineárisan emelkedik a targonca mennyiséggel arányosan. Ennek során feltételezzük, hogy azonos típusú és költségű targoncák állnak alkalmazásban és a költséget a kihasználtság nem befolyásolja. Az optimum pont ez alapján annál a targonca számnál található, ahol a két függvény összegének minimumpontja van.

1. ábra: Az anyagmozgatási költség és a gyártó berendezések várakozási költségei az anyagmozgató berendezések számának függvényében

Figure 1 The material handling costs and the waiting costs of the production equipment, depending on the number of material handling equipment



Forrás: Saját szerkesztés

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. MŰHELY RENDSZERŰ TERMELÉS LOGISZTIKAI SAJÁTÓSÁGAI

A műhely rendszerű termelés operatív anyagmozgatási kiszolgálásra jellemző, hogy általában univerzális, de az üzem által gyártandó termékek tömeg- és méretjellemzőihez igazodó anyagmozgató berendezéseket igényel. Ezek lehetnek egyszerű kézi anyagmozgató eszközök, melyekkel a megmunkáló berendezések kezelői végzik el a műhelyen belüli és a műhelyek közötti anyagmozgatási feladatokat. Amennyiben az üzem mérete, a műhelyek távolsága illetve a gyártandó termékek tömege ezt indokolja, nagy teherbírású és költséges anyagmozgató eszközöket és azok szakképzett kezelőit szükséges fenntartani. Ebben az esetben az anyagmozgatás szervezése már külön specializált szervezetet igényelhet, ami akár több műhely anyagmozgatási igényeit együttesen kezeli.

Megfogalmazható, hogy a termelő berendezések közvetlen logisztikai kiszolgálása hatással van azok termelő tevékenységgel tölthető idejére. A kiszolgálási színvonal és ezzel az üzemi teljesítmény egyik meghatározó tényezője az anyagmozgató eszközök száma, ugyanakkor azok költsége negatív irányba befolyásolja a teljes vállalat gazdasági teljesítményét. Minden gazdasági profitra törekedő vállalat elemi érdeke, hogy a költségeit optimalizálja. Ebben az esetben két, egymástól független vezérlésű, mégis egymásra hatást gyakoroló rendszert szükséges összehangolni. Ezek alapján az anyagmozgatási tevékenység szerves és elválaszthatatlan része a termelési folyamatoknak.

3.1. A SZŰK KERESZTMETSZETEK HATÁSA

A műhely rendszerű termelés egy másik sajátossága, hogy a termelési programnak megfelelően egyes gyártó berendezések alacsonyan, míg mások magasan vannak terhelve. Minden rendszer esetében, a rendszer leglassabb eleme határozza meg a teljes rendszer sebességét. A termelési rendszerek esetében a szűk keretmetszet jelenti a teljes kibocsájtási képességet.

A szakirodalomban a „Theory of constraints” témakör alatt tárgyaltak fejtik ki a termelési rendszerek szűk keresztmetszeteinek hatását a teljes rendszerre és azokat a stratégiákat, amelyek a szűk keresztmetszetek hatását minimalizálják (Goldratt, 1990). Mahmoud ezeket az elveket alkalmazta az Optimized production technology (OPT) rendszerről szóló munkájában (Mahmoud, 2015, 1-4)

- „Egy erőforrás alkalmazása és kihasználása nem ugyan azt jelenti. Nem nyereség az, hogyha egy nem kihasznált erőforrás készletet épít a szűk keresztmetszet előtt.
- Egy órás veszteség a szűk keresztmetszeten egy órás veszteség a teljes rendszer számára.
- 1 óra megtakarítás a nem szűk keresztmetszeten nem valóságos megtakarítás.
- Nem állhat elő az a helyzet, amikor a szűk keresztmetszet anyaghiány miatt áll.
- A szállítási mennyiség és a gyártási mennyiség nem szükségszerűen egyenlő. A szállítási egységet rugalmasan kell meghatározni.
- A gyártási egység nem szükségszerűen egyezik meg gyártási lépésként. Természetesen a szűk keresztmetszet gyártási egységéhez minden további-nak alkalmazkodnia kell.
- Az áramlást szükséges kiegyenlíteni, nem a kapacitást.
- A rendszer teljes optimuma nem egyezik meg a helyi optimumok egészével.”

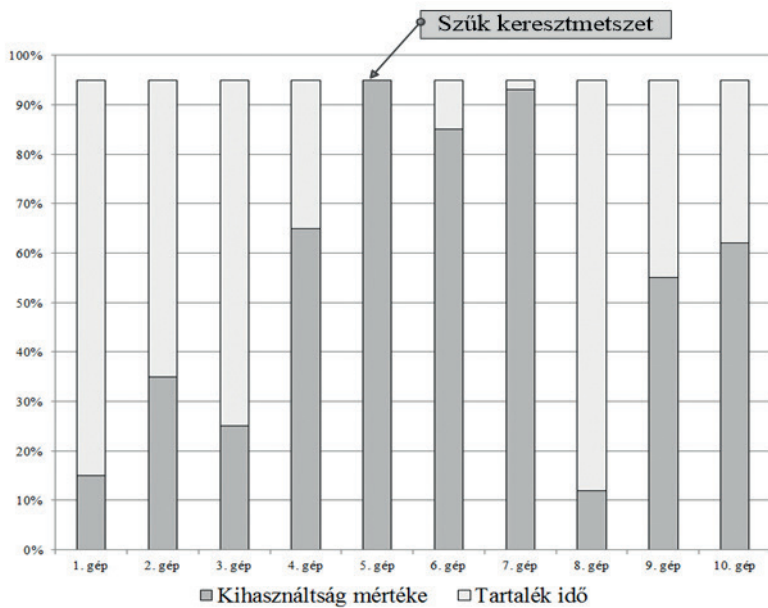
A fenti logika tehát egyértelműen a termelési feladatok meghatározása során a szűk keresztmetszetek szünet- és késlekedés nélküli kiszolgálását tartja a termelési cél elérése érdekében legfontosabb teendőnek, és másodlagosnak a kapacitás tartalékkal rendelkező keresztmetszetekét. Tekintve, hogy az anyagmozgatási feladatok a gyártási feladatok közé ékelődnek, ezért ugyanazokat a szabályokat és elveket szükséges rájuk is alkalmazni, mint a fizikai megmunkálással járó műveletekre. A szűk keresztmetszetek az anyagmozgatási feladatok végrehajtását is befolyásolják. Amennyiben az anyagmozgatási kiszolgálás hiánya veszteséget okoz a szűk keresztmetszet során, azt a rendszer teljes veszteségeként kell értelmezni. A nem szűk keresztmetszetet jelentő berendezések kiszolgálási színvonalát pedig olyan alacsonyra lehetséges venni, hogy az a teljes rendszer szempontjából még ne okozzon veszteséget.

Az egyes gyártó eszközök termelési kapacitásának kihasználását a kapacitás index adja meg, ami az egyes berendezések összesített terhelt gépórájának és a produktív idő alap hányadosa, százalékban kifejezve 0 és 100 közé eső érték. Az egyes gépek mindenkor kihasználási színvonalát adja meg (Kovács et al., 2012).

Ez alapján a termelési rendszert alkotó gépekre meghatározható a terheltég értéke. A 2. ábra mutatja egy fiktív gyártó berendezésekből álló rendszer terheltégi mutatószámait.

2. ábra: Példa egy műhely rendszerű gyártás terheltségi viszonyaira és a szűk keresztmetszetre

Figure 2 Example of equipment load conditions and bottlenecks in job-shop production



Forrás: Saját szerkesztés

A legmagasabb terheltségű gép jelenti a teljes kibocsájtás szűk keresztmetszetét (az ábrán az 5. gép). A többi berendezés esetében az adott gép terheltsége és a szűk keresztmetszetű gép terheltsége közötti különbség mutatja, hogy az adott berendezés milyen mértékű hatással van a szűk keresztmetszetet jelentő gépre. Amennyiben ez az érték alacsony vagy 0 (tehát az adott gép maga a szűk keresztmetszet), a kiszolgálását előre kell sorolni. Ha az érték magas, akkor az adott berendezés kiszolgálásának ideje hátra sorolható, nem lesz hatása a gyártási rendszer teljes kibocsájtására. Ez alapján kimondható, hogy az egyes gyártó berendezések kihasználtság szerinti csökkenő sorrendbe rendezése a kiszolgálás prioritási sorrendet is megadja.

Az adott berendezés esetében az adott gép terheltsége és a szűk keresztmetszetű gép terheltsége közötti különbség szorozva az idő alappal továbbá azt is megadja, hogy az adott gyártó berendezés mekkora tartalékidővel rendelkezik úgy, hogy ne befolyásolja a szűk kapacitást és ezzel a teljes rendszert.

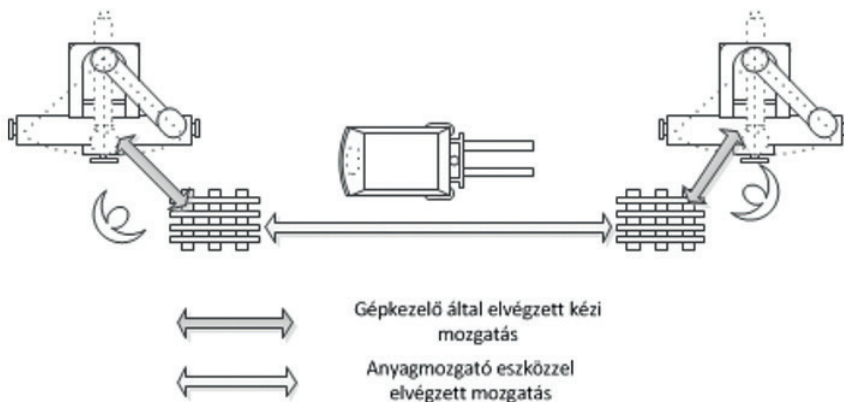
3.2. EGY ADOTT MUNKAHELY LOGISZTIKAI KISZOLGÁLÁSÁNAK JELLEMZŐI A MŰHELY RENDSZERŰ TERMELÉS SORÁN

A műhely rendszerű termelés esetén a logisztikai kiszolgálás alatt a gyártó berendezések alapanyaggal történő ellátását és az elkészült munkadarabok elszállítását értjük. A munkadarabok jellemzően anyag tároló eszközökön (raklap, láda, kaloda stb.) kerülnek elhelyezésre és mozgatásra. A gyártás technológia tervezés során történik meg annak kialakítása, hogy milyen anyag tároló eszközön történik a termékek munkahelyek közötti továbbítása

Vizsgálatunkban azt a struktúrát elemezzük, amikor a gyártó berendezést kezelő dolgozó a gyártó berendezés elé helyezett anyag tároló eszközből maga emeli be és ki a munkadarabot a gyártó berendezésbe (kézzel vagy daru segítségével). Az anyag tároló eszköz mozgatását viszont csak az anyagmozgatást végző szervezet tudja elvégezni. A 3. ábra mutatja ennek sematikus ábráját.

3. ábra: A munkahelyi anyagmozgatás sematikus vázlata

Figure 3 Schematic sketch of workplace material handling



Forrás: Saját szerkesztés

Az anyagtároló eszközön méret és tömegtől függő számú, de minimum egy munkadarab helyezhető el, tehát az egyes munkahelyeknél jelentkező anyagmozgatási igények gyakorisága az adott berendezés termelési ciklusidejétől és az egy tároló eszközbe helyezett munkadarabok számától függ. Az anyagmozgatási igények jelentkezését a továbbiakban hívásnak nevezzük. A hívás az értelmezésünk szerint az a diszkrét momentum, amikortól az adott gyártó berendezésnél a láda cseréje megkezdhető, tehát a láda iránytól függően vagy tele van, vagy üres.

$$T_{hiv(i)} = T_{cikl(i)} * N_{em(i)}$$

Ahol:

$T_{hiv(i)}$: Hívási időköz

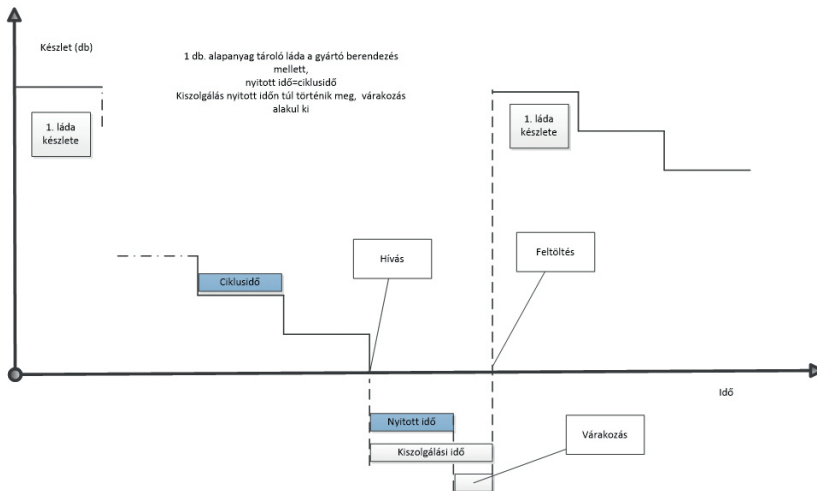
$T_{cikl(i)}$: A termelő berendezés ciklusideje

$N_{em(n)}$: Egy tároló eszközben elhelyezett munkadarabok száma

A 4. ábra mutatja a munkahely mellé helyezett alapanyagot tartalmazó eszközön található készletet és az idő függvényében a kiszolgálási szakaszokat. Az anyagtároló eszközön a készlet folyamatosan csökken a munkahely ciklusidejének függvényében. Amikor az utolsó munkarab is kikerült a tároló eszközből, a hívás megtörténik és amennyiben egy ciklusidőn belül megtörténik a kiszolgálás, a munkahely termelése zavartalan lesz. Amennyiben a kiszolgálás ideje hosszabb, mint a ciklusidő, a munkahelyen várakozás alakul ki. A későbbiekben a hívástól a berendezés megállásig eltelt időt nyitott időnek nevezzük. Amennyiben a munkahely mellett egyetlen ládát lehet elhelyezni, a nyitott idő megegyezik a ciklusidővel.

4. ábra: Egy adott munkahelyen található alapanyag készlet alakulása és a kiszolgálási szakaszok (egy anyagtároló láda estén)

Figure 4 The inventory of raw material at a particular workplace and the service stages (in the case of one storage container)



Forrás: Saját szerkesztés

Amennyiben a munkahely mellett kettő, vagy több láda helyezhető el, a nyitott idő hosszabb lesz, ezáltal a termelési rendszer és az anyagmozgatási rendszer

egymástól való függése csökkenthető. Amennyiben a munkahely mellett 2 darab anyagtároló eszköz helyezkedik el, az első eszköz kiürülésekor a gyártó berendezést kiszolgáló dolgozó a 2. eszközre vált át, onnan kezdi fogyasztani az alapanyagot, ezzel a nyitott idő megnyúlik.

A gyártó berendezésenkénti nyitott idő ezek alapján az alábbi képlettel írható le:

$$T_{ny(i)} = T_{cikl(i)} + (N_{tl(i)} - 1) * (T_{cikl(i)} * N_{em(i)})$$

Ahol:

$T_{ny(i)}$: Nyitott idő

$T_{cikl(i)}$: A termelő berendezés ciklusideje

$N_{tl(i)}$: A gyártó berendezés mellé helyezett tároló egységek száma

$N_{em(i)}$: Egy tároló eszközben elhelyezett munkadarabok száma

A képletből következik, hogy amennyiben a gyártó berendezést kiszolgáló dolgozó által segítség nélkül felhasználható puffer készlet képezhető, az anyagmozgatási kiszolgálás sokkal kisebb mértékben képes befolyásolni a termelési folyamatokat. A munkahelyeken képzett puffer készlet tartási költsége ebben az esetben növeli az üzemeltetési költségeket, de további vizsgálatot igényel annak számszerűsítése, hogy ezek hatása összemérhető-e az anyagmozgatási és várakozási költségekben okozott megtakarítással.

Kiindulva a fent említett OPT (Optimized Production Technology) szemlélet szűk és nem szűk keresztmetszetre vonatkozó elveiből, az anyagmozgatási tevékenység szervezése során is szükséges figyelembe venni, hogy az egyes gyártó berendezésnek mekkora a terheltsége. Egy alacsony terheltségű berendezés esetén a rendszerben tartalék idő van, tehát a kiszolgálás késése nem jelent valódi költséget.

A szűk keresztmetszetet jelentő gép esetében tartalék idő nincsen, a nyitott időn túli kiszolgálás azonnal termelés kiesést és ezzel veszteséget generál. Az egyes gépek terheltségének és a szűk keresztmetszetet jelentő gépek terheltségének különbsége megadja mekkora az az idő tartalék, ami még az egyes kiszolgálások esetében rendelkezésre áll a nyitott időn felül anélkül, hogy veszteség keletkezne. A gépenként átlagos tartalék idő hívásonként határozandó meg:

$$T_{tart(i)} = \frac{(L_{szk} - L_{(i)})}{\frac{T_{ia} * L_{(i)}}{T_{hiv(i)}}}$$

Ahol:

$T_{tart(i)}$: Az adott termelő berendezés hívásonkénti tartalék ideje

$L_{(i)}$: Az adott gyártó berendezés terheltségi értéke (%)

L_{szk} : A legnagyobb mértékben terhelt, szűk keresztmetszetet jelentő gyártó berendezés terheltségi értéke (%)

T_{ia} : Idő alap

Ez alapján figyelembe véve az adott gyártó berendezés terheltségi viszonyait is, a gyártó berendezés idő alap alatti várakozási költsége az alábbiak szerint alakul:

$$K_{vár} = (T_{kisz(i)} - T_{ny(i)} - T_{tart(i)}) * K_{ve(i)} * \left(\frac{T_{ia}}{T_{hív(i)}}\right)$$

Ahol:

$K_{ve(i)}$: Gép egység idő alatti várakozási költsége

$T_{kisz(i)}$: Az adott gyártó berendezés kiszolgálási idő normája

$T_{ny(i)}$: Nyitott idő

$T_{hív(i)}$: Hívási időköz

T_{ia} : Idő alap

A várakozási költség csak abban az esetben merül fel, ha a várakozási idő nagyobb, mint 0, így a nyitott időnél gyorsabb kiszolgálásnak nincsen gazdasági haszna.

3.3. SZÁMÍTÁSI PÉLDA

Adott egy gyártó berendezés, a működési ciklusideje és a hívásra történő kiszolgálási idő normája. A kiszolgálási idő norma magasabb, mint a ciklusidő, tehát a gyártó berendezés állásra kényszerül, amennyiben a kiszolgálást akkor kezdik meg, amikor az utolsó darabot kiemelték a tároló egységből. A gyártó berendezés mellett 1, illetve 2 db tároló láda is elhelyezhető. A cél annak vizsgálata, hogy az adott gyártó berendezésnél adott idő alatt mekkora várakozási költség fog keletkezni 1, illetve 2 db tároló láda alkalmazása esetén és a terhelés függvényében.

A gyártó berendezés és a kiszolgálás adott adatai:

- A termelő berendezés gyártási ciklusideje: $T_{cikl(i)}$: = 5 perc/db
- Az adott gyártó berendezés kiszolgálási idő normája: $T_{kisz(i)}$ = 8 perc/hívás (Ez tartalmazza a logisztikai kiszolgálás idejét és a kiszolgálásra várakozás idejét is.)
- Idő alap: T_{ia} = 9600 perc (1 hónap, 1 műszakos munkarend, 8 munkaóra/nap, 5 napos hetek, 4 hét)
- A gyártó berendezés egység idő alatti várakozási költsége: $K_{ve(i)}$ = 450 Ft/perc
- Egy tároló eszközben elhelyezett munkadarabok száma: $N_{em(i)}$ = 5 db

Ezek alapján meghatározható a hívási időköz, a gyártó berendezésnek ennyi percenként szükséges a kiszolgálása: $T_{hív(i)} = 5 * 5 = 25$ perc. Az 1 hónapos időszak alatt $9600 / 25 = 384$ hívás, vagyis kiszolgálási igény fog érkezni.

Vizsgálatra kerül, hogy az 1 hónapos idő alap alatt a gyártó berendezés kiszolgálása mekkora várakozási veszteség költséget generál annak függvényében, hogy:

- a gyártó berendezés mellett 1 vagy 2 láda kerül elhelyezésre,
- a gyártó berendezés terhelése a teljes gyártási rendszerhez képest hogyan viszonyul.

A nyitott idő, amin belül a kiszolgálást el lehet végezni anélkül, hogy a gyártó berendezés várakozásra kényszerülne, a gyártó berendezés mellett elhelyezett anyag tároló egység számának függvénye:

- 1 láda esetén a nyitott idő megegyezik a gyártási ciklusidővel és így a nyitott idő: 5 perc.
- 2 láda esetén a gyártási ciklusidő és a következő láda megtelési ideje: $5+5 \cdot 5=30$ perc, tehát ennyi idő áll rendelkezésre a logisztikai kiszolgálásra.

A vizsgált gyártó berendezés terhelésének hatása sávosan kerül elemzésre. A 100%-os és a tényleges terhelés közötti különbség olyan idő alapot jelent, ami alatt a gyártó berendezés megállása nem okoz a teljes gyártási rendszer szempontjából költségnövekedést. Ez az idő tartalék időként hozzáadódik a nyitott időhöz és ezzel kitolódik az az időhatár, ami után felmerül a gépállás költsége.

A terheltség mértékétől függő hívásonkénti tartalék idő alapok kalkulált értékeit az 1. táblázat mutatja. Példaként 80%-os terhelés esetén az idő alap 20%-a felhasználható tartalék időként. A teljes időalap 20%-át elosztva az idő alap alatti hívások számával megkapjuk, hogy az egyes hívások esetében a tartalék idő: $9600 \cdot 0,2/384=5$ perc.

1. táblázat: A hívásonkénti tartalék idő értékei a gyártó berendezés meghatározott terheltségi százaléka esetében

Table 1 Standby values according to the percentage of the load of the production equipment

$L_{(i)}$:	100%	80%	60%	40%	20%
$T_{\text{tart}(i)}$:	0 perc	5 perc	10 perc	15 perc	20 perc

Forrás: Saját számítás

A kiszolgálási időből kivonva a nyitott idő és a tartalék idő összegét meghatározhatjuk, hogy hívásonként mekkora várakozási idővel kell számolni. A korábbi példánál maradva: Amennyiben a gyártó gép mellett 1 láda tárolására van lehetőség, a nyitott idő 5 perc. 80%-os terhelésnél a hívásonkénti tartalék idő 10 perc. A kiszolgálás 8 perc alatt megtörténik, így a várakozási idő: $8-(5+5)= -2$ perc lesz. A gyártó berendezés ugyan megáll 3 percre, de a tartalék idő miatt ennek nincsen jelentősége, vagyis a teljes rendszer szempontjából nem lesz várakozási költség. A 2. táblázat tartalmazza a hívásonkénti várakozási időket a gép kihasználtság és a gép mellett lévő láda szám függvényében.

2. táblázat: A hívásonkénti várakozási idő a gép mellett elhelyezett láda készlet és a gép terhelés függvényében

Table 2 Production machine waiting time according to the storage bins and the percentage of the load of the production equipment

$L_{(i)}$:	100%	80%	60%	40%	20%
1 láda	3	-3	-7	-12	-17
2 láda	-22	-27	-32	-37	-42

Forrás: Saját számítás

A 3. táblázatban látható, hogy a hívásonkénti várakozási időt megszorozva a hívások számával és a fajlagos várakozási költséggel megkapjuk az adott gyártó berendezés vizsgált időszak alatti várható várakozási költségét.

3. táblázat: Az időszak alatti várakozási költség a gyártó gép mellett elhelyezett láda készlet és a gép terhelés függvényében

Table 3 Production machine waiting cost during the period, according to the storage bins and the percentage of the load of the production equipment

$L_{(i)}$:	100%	80%	60%	40%	20%
1 láda	515 156	0 (-343 437)	0 (-1 202 031)	0 (-2 060 625)	0 (-2 919 218)
2 láda	0 (-3 777 812)	0 (-4 636 405)	0 (-5 494 999)	0 (-6 353 593)	0 (-7 212 186)

Forrás: Saját számítás

A számítási eredményekből látható, hogy 100%-os kihasználtság és 1 láda elhelyezése esetén a gyártó berendezés 515 156 Ft várakozási költséget fog az adott időszak alatt felhalmozni. Amennyiben 2 láda egység helyezhető el, ez a költség nem keletkezik. Ugyancsak nem keletkezik költség, hogyha a gép terhelése 80%-os szintre csökken.

A várható várakozási költség ismeretében már megalapozott döntést lehet hozni:

- az anyagmozgatási kapacitás növelésére, amennyiben azzal a kiszolgálási idő csökkenthető,
- vagy a gyártó berendezés melletti puffer készlet növelésére, amennyiben ez lehetséges,
- illetve a jövőbeni terhelés ismeretében a költségek alakulására.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a műhely rendszerű gyártás egyik sajátossága, hogy a gyártó berendezések a ciklusidőtől és a helyi puffer lehetőségétől függően eltérő ideig állhatnak az anyagmozgatási kiszolgálásra várva. Ezt akkor számoljuk helyesen, ha gépenként eltérő nyitott időt, és a gépenként eltérő várakozási költséget és gépenként eltérő tartalék időt számolunk. További kutatási terveink között szerepel egy olyan számítási metódus kialakítása, ami a tömeg kiszolgálási módszeren alapuló gazdasági optimalizáció logikájára épül, és figyelembe veszi az egyes munkahelyek eltérő paramétereit.

4. ÖSSZEGZÉS

A tanulmányban elemeztük a műhely rendszerű termelés logisztikai sajátosságait. Ennél a termelési rendszernél az egyik kulcstényező a termelési cél eléréséhez a megfelelő logisztikai kiszolgálás, aminek alapja az elégséges nagyságú géppark. A rendszer egyik sajátossága az eltérő terheltségű gyártó berendezések. A szűkös erőforrások szakirodalmának feldolgozása során összegyűjtöttük a szűk keresztmetszetek kezelésére használható a stratégiákat. Ez alapján megállapítottuk, hogy egyes gyártó berendezések esetében az adott berendezés terheltsége és a szűk keresztmetszetet jelentő gép terheltsége közötti különbség olyan tartalék időként áll rendelkezésre, aminek az anyagmozgatási célokra történő felhasználása nem befolyásolja a teljes rendszer kibocsájtását.

Korábbi kutatásainkban az egyes gyártó munkahelyek anyagkészletén keresztül vizsgáltuk az anyagmozgatási kiszolgálás hatását a munkahelyre. Megállapítottuk, hogy a munkahely ciklusideje, az anyagmozgatási kiszolgálás normaideje és a munkahelyen elhelyezhető anyagtároló egységek száma meghatározza, hogy az adott munkahely anyagmozgatási kiszolgálása milyen hatással van az adott munkahely várakozásból adódó veszteségeire. Ez alapján vezettük be a „nyitott idő” fogalmát, ez az az időtartam, ami alatt az anyagmozgatási kiszolgálás elvégzésének nincsen hatása a gyártó berendezés működésére. A tanulmányban a korábbi eredményeket kiegészítettük az adott munkahely kihasználtságából következő „hívásonkénti tartalék idő” fogalmával, ez alapján az adott berendezés esetébe csak akkor merül fel várakozási költség, hogyha a kiszolgálási idő magasabb, mint a nyitott idő és a hívásonkénti tartalék idő. Ez alapján megalkotunk olyan képleteket, amelyekkel a gyakorlati, valós költség alapú számítások elvégezhetőek. Egy számítási példán keresztül bemutattuk, hogy egy munkahely várakozási költségeit hogyan befolyásolják a munkahelyi puffer készletek és a munkahely terheltségi viszonyai. Megállapítható, hogy a külön tároló egységben elhelyezett munkahelyi puffer készlet lehetővé teszi a kiszolgálásra rendelkezésre álló nyitott idő növelését és ezzel csökkenti várakozási költségeket. Ugyancsak csökkenti a várakozás költséget, hogyha a gyártó berendezés kapacitás indexe alacsony és ettől a tartalék idő értéke magas.

További kutatásinkban tervezzük a várakozási költségek az anyagmozgató flotta számának összefüggéseit feltárni, és ez alapján egy könnyen alkalmazható analitikus módszert felállítani a szükséges anyagmozgató flotta méretének meghatározására. Vizsgálni szükséges, hogy a termelésben tárolt készletek költsége és az ezzel elérhető anyagmozgatási és várakozási költség megtakarítás milyen arányban áll egymással. Terveinkben áll továbbá olyan egzakt döntési módszer felállítása, amivel az egy időben jelentkező anyagmozgatási igények optimális végrehajtási sorrendjének meghatározását lehet elvégezni.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abad, J. (2018) Ergonomics and simulation-based approach in improving facility layout. *Journal of Industrial Engineering International*, 14, 4, pp. 783–791.
- 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.
- 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.
- Egbelu, P. (1987) The use of non-simulation approaches in estimating in an AGV based transport system. *Material flow*, 4, pp. 17–32.
- 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
- 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.
- Kovács P.-Bona K.-Juhász J.-Kovács G.-Lénárt B.-Tokodi J. (2012) *Üzemszervezés*. Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest.
- 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. In: *Interactions Between Computational Intelligence and Mathematics Cham*. Springer International Publishing, Germany. pp. 31–42.
- Mahmoud, M. (2015) *Optimized production technology*. University of Technology, Baghdad.
- Maxwell, W. L.-Muckstadt, J. A. (1982) Design of Automatic Guided Vehicle Systems. *A I I E Transaction*, 14, 2, pp. 114–124.
- Németh, P.-Ladinig, T. B.-Ferenczi, B. (2016) Use of artificial neural networks in the production control of small batch production. In: *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.
- 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.

- 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.
- 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.

