Ferenczi Balázs

Műhelyrendszerű termelés logisztikai kiszolgálásának optimalizálása

Doktori tézisek

Témavezetők:

Dr, Németh Péter Széchenyi István Egyetem

Dr Lilik Ferenc Széchenyi István Egyetem

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

2023

A műhelyrendszerű termelés - rugalmassága és relatív alacsony beruházási igénye miatt - elsősorban a kis- és középvállalkozások körében elterjed termelési módszer. Nevét onnan kapta, hogy a gyártó berendezések technológiák szerint csoportosítva, műhelyekbe kerülnek elhelyezésre. Előnye a nagyfokú rugalmasság, hátránya, hogy a gyártás ütemezése és a logisztikai kiszolgálása rendkívül összetett feladat.

A termelési tevékenységhez közvetlenül kötődő anyagmozgatás, vagyis a gyártó berendezések alapanyaggal történő ellátása és a késztermék elszállítása, kulcsfontosságú a termelés folyamatosságának fenntartása érdekében. Ellentétben más termelési rendszerekkel, a műhelyrendszer esetében, annak változatossága miatt, az anyagmozgatás menetrendszerű szervezése nem megvalósítható. A műhely rendszerű termelés logisztikájának összetettségét az adja, hogy a különböző gazdasági jelentőségű gyártó berendezések különböző ütemben, különböző ciklusidővel termelnek. Emiatt a hektikusan felmerülő gépkiszolgálási feladatokat szűk időablakon belül kell elvégezni, ami minden esetben egyedi feladat struktúrát eredményez. Ezt a helyzetet tovább bonyolíthatja, hogy a kiszámíthatatlan igények miatt az anyagmozgató eszközök terhelése is kiszámíthatatlan.

A logisztikai szakirodalomban a feladatok végrehajtásának operatív irányításáról nagyon kevés megoldás található, az ipari gyakorlatban pedig túlnyomórészt a helyi szakértők tapasztalati úton kialakított, helyszínfüggő módszerei kerülnek alkalmazásra. Az egyik jellemző szervezési módszer, hogy a termelési területeket a várható terhelés alapján körzetekre osztják, de a körzeten belül a rövidtávon felmerülő anyagmozgatási feladatok ütemezésének komplex feladata már a helyszínen dolgozókra, jellemzően a targonca vezetőkre hárul. A targoncavezetőnek követni kell a hozzárendelt területen zajló termelési folyamatokat, és folyamatosan döntenie szükséges, hogy az egyes gépkiszolgálási feladatokat milyen sorrendben hajtsa végre. Ennek a módszernek két hátrányos következménye van, egyrészt az emberek által meghozott komplex döntések nem feltétlenül a legjobbak, emiatt a vállalat gazdasági károkat szenved el, amennyiben a termelési kapacitásának egy részét a logisztikai kiszolgálásra várva elveszíti. Másrészről pedig a folyamatos, egyedi döntések kényszere miatt a targoncavezetőre, és az érintett egyéb termelési dolgozókra is jelentős stressz nehezedik. Ez különösen megterhelő az olyan átmeneti, kapacitás hiányos időszakokban, amikor a feladatok összetorlódnak.

Kutatási munkám célja a műhelyrendszerű termelés operatív, vagyis rövid távú, maximum 4 óra időtávban történő anyagmozgatási tevékenységének fejlesztése olyan módon, hogy az anyagmozgatási feladatok végrehajtási sorrendjének meghatározását az ember helyett számítógép végezze, de az anyagmozgató berendezést továbbra is ember kezeli. A

munkahelyekről beérkező igényeket az optimalizációs algoritmus rendezi végrehajtási sorrendbe, és osztja szét a feladatokat targoncák között. Ennek létrehozása érdekében megalkottam a szükséges logikai modellt, melynek bemeneti adatai:

- Az egyes feladatok határideje
- Az egyes feladatokhoz tartozó gépek időegységre jutó várakozási költsége
- Az egyes feladatokhoz tartozó gépek közötti távolság (a közlekedés időszükséglete).
- Az egyes feladatokhoz előre meghatározott végrehajtási normaidők.
- Az egyes targoncák mely feladatokat tudják ellátni.

A cél, hogy minden feladat végrehajtásra kerüljön úgy, hogy az összes várakozási költség minimális legyen. Ennek érdekében megalkottam a rendszer modelljét, feltártam az összefüggéseit és a korlátozásokat, majd MILP alkalmazásával optimalizáltam, kidolgoztam egy szakértői tudáson alapuló fuzzy szignatúra alapó optimalizációs algoritmust, melynek hatékonyságát a MILP-hez hasonlítottam. Az üzemi állapot számszerűsítésére létrehoztam egy mutatószámot *(st),* és ennek segítségével javítottam a korábban létrehozott fuzzy szignatúra alapú algoritmus hatékonyságán.

A kutatási munkám során a következő téziseket fogalmaztam meg.

1. tézis

Mixed Integer Linear Programming (MILP) alapú optimalizációs modellt alkottam a műhelyrendszerű termelésben végzett anyagmozgatással összefüggésben felmerülő teljes várakozásiköltség minimalizálására a feladatvégrehajtási sorrend meghatározásával.

A modell alapja egy olyan irányított gráf, ami a műhelyrendszerű termelés anyagmozgatási feladatait és a hozzájuk tartozó bejárható útvonalakat ábrázolja, a gráf élei a végrehajtási idő és a közlekedési idő összegét, míg a csúcsai a feladatok teljesülését reprezentálják.

A tézishez kapcsolódó publikációk:[F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7)

2. tézis

A műhelyrendszerű termelés logisztikai kiszolgálásának ütemezésére szakértői tudásra épített fuzzy szignatúra alapú priorizációs algoritmust hoztam létre. Az algoritmus bemeneti adatai, a végrehajtási idő, a feladat végrehajtásához szükséges utazási távolság, a feladat határideje és a kiszolgálandó berendezés állásköltsége (várakozási költség, azaz a berendezés gazdasági

jelentősége). A rendszer paraméterei és az azok közötti függési viszonyok alapján fuzzy szignatúrát hoztam létre, amivel az algoritmus meghatározza az egyes feladatok fontosságát.

Megmutattam, hogy az általam létrehozott modell hatékonysága az optimális eredményt adó MILP és a szakirodalomban található egyszerű ütemezési módszerek között helyezkedik el.

A tézishez kapcsolódó publikációk:[F8,F9,F10,F11]

3. tézis

A műhelyrendszerű termelés körülményei között végzett alapanyag-ellátási tevékenység üzemi állapotának jellemzésére mérőszámot hoztam létre. Ez a mérőszám megmutatja, hogy egy adott anyagmozgatási feladatcsoport esetén a várakozási költség minimalizálása mennyire összetett feladat, és létezik-e olyan végrehajtási sorrend, mellyel a várakozási költség elkerülhető. Kísérletekkel igazoltam, hogy az általam számszerűsített állapot (*st*) két jellemző tartományt határoz meg: míg *st* ≤ 1esetén a várakozás nem kerülhető el (és *st* minél kisebb, a gyakorlati várakozási költség annál magasabb), addig st > 1 esetén létezik olyan végrehajtási sorrend, amivel a várakozás elkerülhető, (és *st* minél a nagyobb ez az érték a várakozási költség elkerülése annál egyszerűbb). Az üzemi állapotot jellemző mérőszám (*st*) a következő (1):

$$st = \frac{\bar{D}}{\frac{n+1}{2} * \frac{(\bar{P} + \bar{t} + \sigma_P + \sigma_t)}{K}}, \tag{1}$$

ahol az átlagos határidő $\bar{D}$, az átlagos végrehajtási idő: $\bar{P}$, átlagos végrehajtási idő szórása: σ_P, az átlagos utazási idő:$\bar{T}$, az átlagos utazási idő szórása: σ_t, a targoncák száma: *K, és a* feladatok száma: *n*

A tézishez kapcsolódó publikációk:[F11,F12]

4. tézis

A műhelyrendszerű termelés logisztikai kiszolgálásának ütemezésére a második tézisben bemutatottnál hatékonyabb fuzzy szignatúra alapú feladatütemezési algoritmust hoztam létre, melyben hatékonyságnövekedést az egyes tényezők üzemi állapotnak megfelelő súlyozása biztosítja. Kimutattam, hogy ez az algoritmus átlagosan 10%-kal alacsonyabb várakozási költségeket eredményez.

A legalkalmasabb súlyok megállapítására kísérleteket végeztem, és meghatároztam az egyes állapotokban legjobban teljesítő súlyarányokat, illetve javaslatot tettem ezek alkalmazására.

A tézishez kapcsolódó publikációk:[F11,F12]

Összefoglaló

A kutatás során az volt a célom, hogy a műhely rendszerű termelés anyagmozgatásának számítógépes irányítására olyan módszert dolgozzak ki, ami javítja a kiszolgálás hatékonyságát és leveszi a döntések terhét és felelősségét a dolgozókról. Ennek érdekében alkottam meg a rendszer logikai modelljét, amit MILP alkalmazásával optimalizáltam. Ezzel egy vállalti környezetben a gyakorlatban is működtethető módszert dolgoztam ki, aminek alkalmazásától az alábbi előnyök várhatók:

- A kvázi optimális feladat optimalizálási rendszer lehetővé teszi, hogy a targoncavezető nagyobb területet szolgáljon ki, ezáltal kevesebb targonca szükséges.
- A komplex optimalizálási feladatok számítógéppel történő megoldása jobb eredményt biztosít, mintha ugyanezt emberek végeznék.
- Az emberi tényező, mint bizonytalansági faktor kikerül a döntési rendszerből.
- A dolgozókra— beleértve a vezetőket is — nehezedő stressz csökken, mert a feladatvégrehajtás ütemezése objektív, utólagosan elemezhető módon történik, amit számítógép végez.

Bár az általam létrehozott MILP modell kísérleti körülmények között jól működik, a gyakorlati használata elsősorban kis és közép vállalkozások esetében azonban megkérdőjelezhető. Ennek oka, hogy az ilyen vállalatoknál, elsősorban a méretükből fakadóan, jellemzően nem áll rendelkezésre az ilyen összetett modellek megalkotásához és az optimalizációs rendszer üzemeltetéséhez szükséges szakértelem. Emellett az műhelyrendszerre jellemző bennfentes, helyismereten alapuló vállalati kultúra sem feltétlenül támogatja a szofisztikált, átlagos képesítésű felhasználó számára átláthatatlan optimalizációs módszerek alkalmazását. Ezen okok miatt egyszerűbb, emberközelibb optimalizációs módszer használatának lehetőségét vizsgáltam meg. Abból indultam, ki, hogy a helyismereten alapuló vállalati kultúrákban a helyi szakértők döntési módszerének az átvétele könnyebben elfogadhatóvá teszi az új rendszert. A vállalati szakértők (ezesetben a targoncavezetők) tudása alapján fuzzy szignatúra alapú szakértői rendszert hoztam létre, és a hatékonyságát valós adatokon alapuló esetek segítségével összehasonlítottam a korábban megalkotott MILP alapú algoritmuséval és néhány egyszerűen alkalmazható egyéb ütemezési módszerrel. Arra jutottam, hogy a fuzzy szignatúra alapú

algoritmus eredményei ugyan kedvezőtlenebbek mint az optimális MILP-é, ugyanakkor jelentősen jobbak, mint más egyszerűen alkalmazható módszeré. Ugyanakkor a fuzzy szignatúra alapú optimalizáció átlagos képzettségű dolgozók számára is átlátható, egyszerű matematikai műveleteken alapul és könnyen módosítható vagy fejleszthető amennyiben ez szükségessé válik.

A kutatás során felismertem, hogy érdemes megvizsgálni, hogy az éppen aktuális feladatcsoport esetében a várakozás elkerülése mennyire nehéz feladat, illetve ha elkerülhetetlen, mekkora várakozásra lehet számítani. Emiatt a rendszer pillanatnyi állapotának számszerűsítésére egy mérőszámot hoztam létre (*st*). Az állapot (*st*) figyelembevételével vizsgálva a fuzzy szignatúra alapú algoritmus átlagos eredményessége közel konstans értékben tér el a legjobb eredményt adó MILP-től, azaz a módszer stabil, eredményessége jól előre jelezhető. Ez nagyban megkönnyíti a módszerek közötti választást, amennyiben egy vállalat a rendszer gyakorlati bevezetése mellett dönt.

A feladatok pillanatnyi állapotának ismeretében lehetőség nyílt arra, hogy ezt a fuzzy szignatúra működtetésében is figyelembe vegyem. A szignatúrát úgy alakítottam át, hogy az egyes tényezők súlyozottan kerülnek figyelembe vételre, a súlyokat pedig az állapot függvényéven változtatom. Az optimális súlyarányokat kísérleti úton határoztam meg, amiknek alkalmazásával a súlyozatlan fuzzy szignatúrához képest kedvezőbb várakozási költség érhető el, úgy, hogy az átlagos várakozási költség továbbra is közel konstans mértékben tér el a MILP-től.

A kutatásaim legfontosabb eredménye a működési modell és azok az optimalizációs módszerek, amikkel a műhely rendszerű termelést folytató kis és középvállalkozások hatékonysága javítható anélkül, hogy működés kialakult struktúrájába jelentősen be kellene avatkozni. Továbbá fontos eredménynek tartom azt is, hogy a probléma vizsgálata során bebizonyosodott, hogy a fuzzy szignatúra alapú optimalizáció a gyakorlatban is egyszerűen alkalmazható, mégis kielégítően jó eredményt adó módszer.

Saját publikációk

[F1] Ferenczi B, Németh P: Funkcionális elrendezésű termelési rendszer logisztikájának automatizált irányítása in XIX. ENELKO – XXVIII. SzámOk Konferencia, Tusnádfürdő, Románia 2018 Október (2018)

[F2] Ferenczi B, Németh P. :Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatásának optimalizálására alkalmazható stratégiák elemzése, In: Bihari, Erika; Molnár, Dániel; Szikszai-Németh, Ketrin (szerk.) Tavaszi Szél 2019 Konferencia = Spring Wind 2019: Konferenciakötet III. (2019)

[F3] Ferenczi B, Németh P: Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatásának optimalizálása lineáris programozás alkalmazásával In: Koncz, István; Szova, Ilona (szerk.) PEME XVIII. PhD - Konferencia : A PEME XVIII. PhD - Konferenciájának előadásai (2019)

[F4] Ferenczi B, Németh P.,: Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatási igényének meghatározása sorbanállási modell alkalmazásával In: Kreatív ipar-digitális gazdaság (2019)

[F5] Ferenczi B, Németh P: Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatási igényeinek sajátosságai. TÉR-GAZDASÁG-EMBER 2019 VII/2-3 145-161 (2019)

[F6] Ferenczi, B. Németh, P. Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatásának optimalizálása In: Dr. Sebestyén-Pál, György; Dr. Szabó, Loránd; Dr. Biró, Károly-Ágoston (szerk.) ENELKO 2019 SzámOkt 2019: XX. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia, XXIX. Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia Kolozsvár, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2019) pp. 159-164

[F7] Ferenczi B., Németh P.,: Műhely rendszerű termelés logisztikai kiszolgálásának automatizálási lehetőségei International journal of engineering and management sciences / műszaki és menedzsment tudományi közlemények (2498-700X): 5 1 210-221 (2020)

[F8] Ferenczi, B., Németh, P.: Műhelyrendszerű termelés anyagmozgatásának optimalizálása In: Horváth, Balázs; Horváth, Gábor (szerk.) XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia Közlekedés a Járvány után: folytatás vagy újrakezdés" (2021)

[F9] Ferenczi, B., Koczy, L. Lilik, F.: Fuzzy signature based model in material handling management, ESCIM 2021 Book of abstracts (2021)

[F10] Ferenczi, B., Lilik, F.: Fuzzy Signature Based Organization of the Material Handling in Functional Production Systems, Tér-Gazdaság-Ember 2022/4 Széchenyi István Egyetem, Győr (2022)

[F11] Ferenczi, B., Lilik, F.: Soft Computing Aided Material Handling For Functional Production System, Logisztikai Évköny 2022, Magyar Logisztikai Egyesület, Budapest.

[F12] Ferenczi, B., T. Kóczy, L., Lilik, F.: Fuzzy Signature Based Model in Material Handling Management. In Computational Intelligence and Mathematics for Tackling Complex Problems 4 (pp. 169-179). Cham: Springer International Publishing. (2022).

[F13] Ferenczi, B., Koczy, L. T., Lilik, F.:State Dependent Weighting in Fuzzy Signatures Optimizing Material Handling Management Problems. Journal of Computational and Cognitive Engineering 2022, Vol. 00(00) 1–7 (2022)

[F14] Ferenczi B., Lilik F.: Anyagmozgatási feladatok várakozási költségeinek optimalizálása az állapot figyelembevételével. Logisztikai Évkönyv 2023. Magyar Logisztikai Egyesület, Budapest. (2023)