

INTELLIGENS ASZTAL KISZOLGÁLÁSA FUZZY ALAPÚ ÜTEMEZÉSI MÓDSZER SEGÍTSÉGÉVEL

SERVING AN INTELLIGENT TABLE USING A FUZZY LOGIC-BASED SCHEDULING METHOD

Piros Attila*, Trautmann Laura**

ABSTRACT

This paper presents a fuzzy logic-based scheduling method, the Compact Mamdani Fuzzy Inference System (CMFIS), for improving decision-making in manufacturing. CMFIS allows quick evaluation of various scheduling scenarios and can replace shift managers by efficiently handling multiple objectives like prioritization, production capabilities, and time uncertainties.

A case study at ESZO Ltd. illustrates CMFIS's application in optimizing cutting operations. The system considers machine capacities and material dimensions, dynamically adjusting machine assignments for efficient production. Configured through an Excel-based framework, it processes inputs and produces clear outputs through defuzzification, offering a practical tool for enhancing manufacturing decision-making.

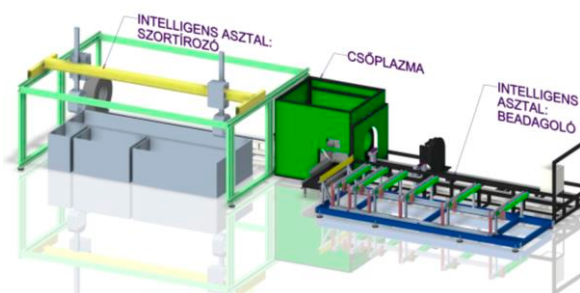
1. BEVEZETÉS

Ez a cikk egy fuzzy logikát alkalmazó munka-ütemezési módszert mutat be, a Compact Mamdani Fuzzy Inference System (CMFIS) rendszert, amely a műszakvezető döntéshozatalát képes helyettesíteni. A megközelítés lehetővé teszi a különböző ütemezési forgatókönyvek gyors értékelését. A fuzzy logika, a mesterséges intelligencia egyik módszere, mely alkalmazása megfelelő lehet a gyártás területén, különösen akkor, ha a kísérleti adatok korlátozottak. Alkalmazása segítheti a folyamatok kiválasztását, a gyártási döntéshozatalt, a minőség-előrejelzést, a kockázatértékelést stb.

A kifejlesztett módszer célja a gyártás hatékonyságának növelése, valamint potenciálisan a költségek csökkentése. Bár már más kutatások is alkalmaztak fuzzy logikát az ütemezés optimalizálására (olyan konkrét célokkal, mint az energiafogyasztás csökkentése vagy az átfutási idő minimalizálása) [1,2,3], a CMFIS kiemelkedik azzal, hogy több célt is képes egyszerre kezelni, beleértve a prioritásokat, a gyártási képességeket és az időalapú bizonytalanságokat.

2. ALKALMAZÁSI PÉLDA A FUZZY ALAPÚ ÜTEMEZÉS BEMUTATÁSÁRA

A cikk egy példát mutat be az ESZO Zrt. gyárában forgácsolási eljárásokhoz alkalmazott fuzzy logika alapú ütemezési rendszerre. A gyár az alapanyagokat félkész termékekké, például méretre vágott fémalkatrészekké dolgozza fel. A daraboló üzem az 1. ábrán látható.



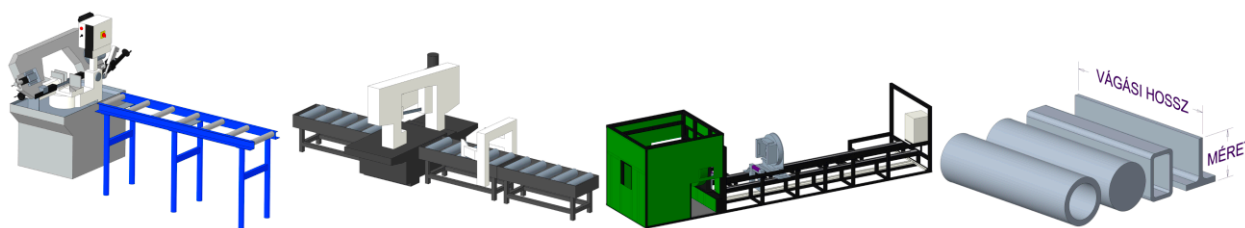
1. ábra Az intelligens asztal és a csőplazma berendezés.

A vágógépek ütemezési algoritmusát úgy tervezték, hogy megfeleljen számos kulcsfontosságú követelménynek, beleértve az anyagméreteket, a gép képességeit és a gépek kihasználásának optimalizálását. Lehetőségeket biztosít bizonyos vágási feladatok prioritizálására is. A gyár különböző gépeket (kis- és nagy szalagfűrészeket, csőplazmavágókat) használ, mely mindegyike egyedi azonosítóval rendelkezik a fuzzy rendszerben. Bár számos paraméter befolyásolja a megmunkálási folyamatot [4], a CMFIS módszer értékelése csak a vágást alapvetően befolyásoló két tényezőre korlátozódik, az egyes munkadarabok maximális keresztmetszeti méretére és vágási hosszára.

Az ütemezési algoritmus fuzzy logikát használ, amelyet általában a műszaki folyamatokban alkalmaznak a feladatok kezelésére. A CMFIS-nek (Compact Mamdani Fuzzy Inference System) nevezett rendszer egy Excel-táblázaton keresztül konfigurálható, és az SMath

* egyetemi docens, Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar

** egyetemi adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék



KIS FŰRÉS

NAGY FŰRÉS

CSŐPLAZMA

MUNKADARABOK

2. ábra Kimenetek és munkadarab dimenziók

keretrendszerrel valósítható meg. Az értékelés két fő paraméterre összpontosít: a maximális keresztmetszeti méretre és a munkadarabok vágási hosszára (2. ábra).

vágási prioritás) különféle prioritási szintek vannak meghatározva, mint a nincs, alacsony, közepes vagy magas. A rendszer előre meghatározott szabályokon keresztül kapcsolja össze a bemeneti és kimeneti paramétereket, lehetővé téve a valós élethelyzetek szimulációját.

3. FUZZY LOGIKA

A fuzzy logika a fuzzy halmazok logikája [5]. A fuzzy logika alapvetően abban különbözik a Boolean logikától, hogy nem éles (crisp), hanem fuzzy értékekkel dolgozik. Egy fuzzy következtetési rendszerben (Fuzzy Inference System, FIS) az éles bemeneti adatokat fuzzy értékekkel alakítjuk (fuzzifikáció), azok feldolgozása szabályalapú műveletekkel történik, majd visszakonvertáljuk határozott kimeneti értékekkel (defuzzifikáció).

A Mamdani rendszer a FIS-nek megfelelően kezeli a crisp bemeneteket, logikai kapcsolatokon alapuló szabályokat alkalmaz, tagsági függvények kiszámításával fuzzifikálja a bemeneteket. Ezeket a függvényeket súlyozzuk, összegezzük, hogy fuzzy kimeneti értékeket kapjanak. A végső kimeneti értéket ezután defuzzifikáljuk olyan módszerekkel, mint például a centroid vagy a bisector (amelyek gyakran hasonló eredményeket adnak). Egy olyan forgatókönyvben, ahol az egyik bemenet fuzzy, a másik éles, a rendszer hasonlóan működik. A fuzzy bemenet feldolgozása a függvények metszéspontja alapján történik, ezt követően a lépések megegyeznek a crisp bemeneteknél alkalmazottakkal.

4. CMFIS (COMPACT MAMDANI FUZZY INFERENCE SYSTEM)

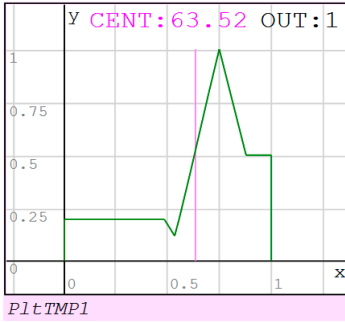
A Compact Mamdani Fuzzy Inference System (CMFIS) rendszerben a tagsági függvények (Membership Function, MF) olyan bemeneti paraméterekhez vannak kötve, mint például a méret (ami lehet kicsi, közepes, vagy nagy). A méretkategóriákat a gépi vágási kapacitások határozzák meg. Ezek a függvények normalizáltak, a reprezentált mennyiségek a vízszintes tengelyen 0 és 1 között vannak átskálázva, míg a függőleges tengelyen a kimeneti értékek szintén 0-1 között találhatóak. A kimeneti paraméterekhez (pl.

5. KÜLÖNBÖZŐ MÉRETŰ ALAPANYAGOK ÜTEMEZÉSE

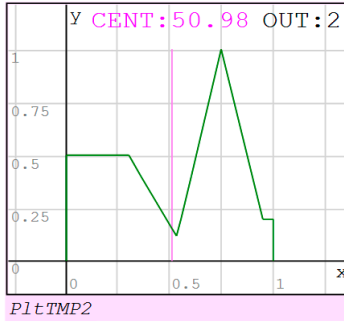
Egy jól konfigurált fuzzy rendszer a különböző méretű nyersanyagokhoz hatékonyan tudja hozzárendelni a vágóberendezéseket. A munkadarabok osztályozhatóak méreteik (keresztmetszeti méretük és hosszuk), gépigényük és sürgősségük alapján. A rendszer prioritási értékeket (CENT) rendel a különböző gépekhez. A magasabb értékek magasabb prioritást jeleznek bizonyos munkadarabokhoz. Kis munkadarabok (pl. 12 mm átmérőjű) esetén a nagyobb gépek korlátai miatt a kisméretű fűrész részesül előnyben, amely a legmagasabb értéket kapja (63,52) (3. ábra).

A munkadarab méretének növekedésével a nagyobb gépek alkalmasabbá válnak, és ennek megfelelően növekszik a prioritásuk (4. ábra). Például egy nagy fűrész 57,11-es prioritást kap nagyobb keresztmetszeteknél, és ha mind a méret, mind a hossz növekszik, akkor a prioritás tovább tolódik a nagyobb kapacitású gépek felé.

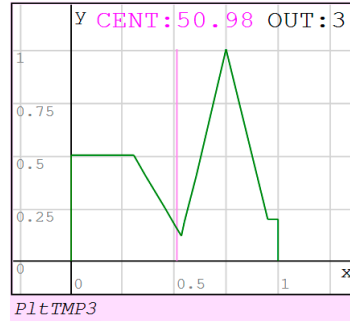
OUT mf1: kis fűrész



OUT mf2: nagy fűrész



OUT mf3: csőplazma



Méret: $VALinp_1 = 12 \text{ mm}$

Vágási szög: $VALinp_2 = 0^\circ$

Vágási hossz: $VALinp_3 = 100 \text{ mm}$

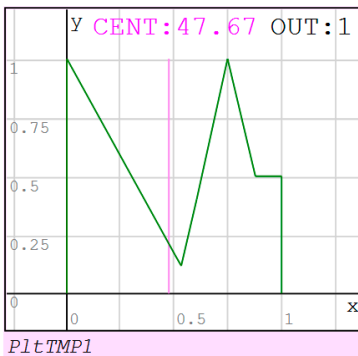
Sürgősség: $VALinp_5 = 0\%$

Kihasznátság - kis fűrész: $VALinp_6 = 0\%$

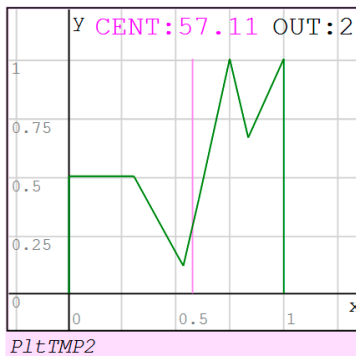
Kihasznátság - nagy fűrész: $VALinp_7 = 0\%$

3. ábra Kis keresztmetszetű és rövid hosszúságú munkadarab vágása

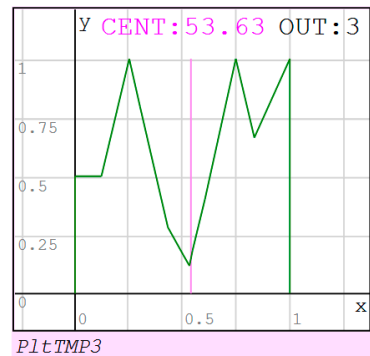
OUT mf1: kis fűrész



OUT mf2: nagy fűrész



OUT mf3: csőplazma



Méret: $VALinp_1 = 30 \text{ mm}$

Vágási szög: $VALinp_2 = 0^\circ$

Vágási hossz: $VALinp_3 = 100 \text{ mm}$

Kapcsolat más darabokkal: $VALinp_4 = 0\%$

Sürgősség: $VALinp_5 = 0\%$

Kihasznátság - kis fűrész: $VALinp_6 = 0\%$

Kihasznátság - nagy fűrész: $VALinp_7 = 0\%$

Kihasznátság - csőplazma: $VALinp_8 = 0\%$

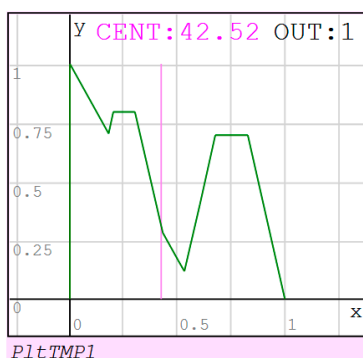
4. ábra Nagyobb keresztmetszetű és rövid hosszúságú munkadarab vágása

7. AZ EGYEDI MUNKADARABOK ELSŐBBSÉGÉNEK KEZELÉSE

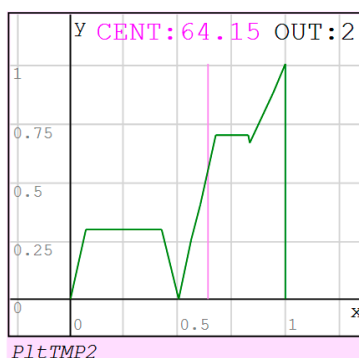
Ez a fejezet bemutatja, hogyan kezelhetjük az egyedi munkadarabok elsőbbségét olyan gyártási környezetben, ahol a gépek kihasználtsága változó. Jelenlegi forgatókönyv szerint a gépek különböző terhelésekkel működnek, és ennek megfelelően osztályozzuk a munkadarabokat. Például egy kis fűrész nem tud megbirkózni a nagy munkadarabokkal, ezért ezeket vagy egy csőplazmavágóhoz, vagy egy nagy szalagfűrészhez kell hozzárendelni. Ha váratlan esemény történik, például gyártási hiba, és egy munkadarabot sürgősen reprodukálni kell, a rendszernek prioritást kell adnia.

Annak ellenére, hogy a csőplazmavágó alkalmasabb, a magas kihasználtsága miatt (65%) a fuzzy rendszer hozzárendelheti a darabot a kisebb kihasználtságú (15%), nagyméretű fűrészhez. Az algoritmus megemeli a nagyfűrész prioritását (64,15%-ra), és azonnal elkezdheti a vágást, tükrözve a reális gyártási döntési folyamatot (5. ábra).

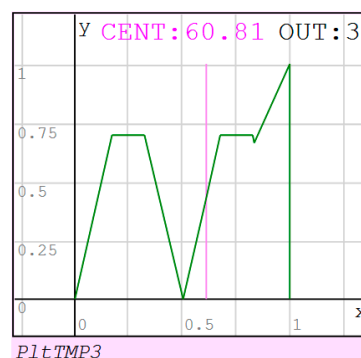
OUT mf1: kis fűrész



OUT mf2: nagy fűrész



OUT mf3: csőplazma



Méret: $VALinp_1 = 300 \text{ mm}$

Vágási szög: $VALinp_2 = 0^\circ$

Vágási hossz: $VALinp_3 = 2500 \text{ mm}$

Kapcsolat más darabokkal: $VALinp_4 = 0\%$

Sürgősség: $VALinp_5 = 70\%$

Kihasznátság - kis fűrész: $VALinp_6 = 40\%$

Kihasznátság - nagy fűrész: $VALinp_7 = 15\%$

Kihasznátság - csőplazma: $VALinp_8 = 65\%$

5. ábra Nagy keresztmetszetű és hosszú munkadarab vágása, figyelembe véve a gép kihasználtságát

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Ez a cikk bemutatja a Compact Mamdani Fuzzy Inference System (CMFIS) rendszert, amely egy fuzzy logikán alapuló ütemezési módszer a gyártási döntéshozatalhoz. A rendszer gyorsan értékeli az ütemezési forgatókönyveket, növelve a hatékonyságot és csökkentve a költségeket azáltal, hogy több célkitűzést is kezel, például a feladatok prioritását, a gépi kapacitásokat és az időbeli bizonytalanságokat.

Az ESZO Zrt.-nél végzett esettanulmány bemutatja a rendszer alkalmazását a darabolási műveletek ütemezésére, amely optimalizálja a gépek kihasználtságát az anyagméretek alapján. A rendszer fuzzy logikával dolgozza fel a bemeneteket, és dinamikusan igazítja a prioritásokat, biztosítva a hatékony ütemezést még váratlan helyzetek, például géphibák vagy sürgős feladatok esetén is.

9. SUMMARY

This article presents the Compact Mamdani Fuzzy Inference System (CMFIS), a fuzzy logic-based scheduling method for manufacturing decision-making, replacing shift managers. It rapidly evaluates scheduling scenarios, improving efficiency and reducing costs by handling multiple objectives like task prioritization, machine capabilities, and time uncertainties.

A case study at ESZO Ltd. showcases its application in cutting operations, optimizing machine utilization based on material sizes. The system processes inputs through fuzzy logic and adjusts priorities dynamically, ensuring efficient scheduling even in unexpected situations, such as machine failures or urgent tasks.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka a 2018-1.1.2-KFI-2018-00074 jelű pályázat részeként, a TKP-6-6/PALY-2021 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

11. IRODALOM

- [1] Huang, K., Gong, W. & Lu, C. An enhanced memetic algorithm with hierarchical heuristic neighborhood search for type-2 green fuzzy flexible job shop scheduling. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 130, 107762, (2024) <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107762>
- [2] García Gómez, P., Vela, C. R. & González-Rodríguez, I. Neighbourhood search for energy minimisation in flexible job shops under fuzziness. *Nat. Comput.* 22, 685–704, (2023) <https://doi.org/10.1007/s11047-023-09967-w>
- [3] Chawla, S. & Singari, R. M. Energy-Efficient Fuzzy Scheduling System for Crankcase Covers Manufacturing. *J. The Inst. Eng. (India): Ser. C* <https://doi.org/10.1007/s40032-024-01026-2> (2024)
- [4] Kónya, G. & Kovács, Z. F. Effects of machining parameters and tool reconditioning on cutting force, tool wear, surface roughness and burr formation in nickel-based alloy milling. *Materials* 16, <https://doi.org/10.3390/ma16227140> (2023)
- [5] Zadeh, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on systems, Man, Cybern.* 28–44 (1973).