

# Hagyományos és Ipar 4.0 alapú gyártócella összehasonlító elemzése hengeres fogaskerék példáján keresztül

Pethő Levente

Óbudai Egyetem, Székesfehérvár, Magyarország

[leventepetho3@gmail.com](mailto:leventepetho3@gmail.com)

**Összefoglalás** - A dolgozat célja egy hagyományos gyártósor és egy Ipar 4.0 szemléletű gyártócella összehasonlítása. A vizsgált munkadarab egy hengeres fogaskerék, amely három különböző típusban készül (eltérő átmérők és fogszámok), mindhárom alumínium anyagból. A kutatás a termelékenység, rugalmasság, minőség és költséghatékonyság szempontjait vizsgálja; továbbá bemutatja az Ipar 4.0 elemek (szenzorok, adatelemzés, automatizált folyamatvezérlés) bevezetésének hatását a gyártási folyamatokra.

**Kulcsszavak:** Ipar 4.0, gyártócella, fogaskerék, összehasonlítás, összehasonlító vizsgálat

**Abstract** — The aim of this thesis is to compare a traditional production line with an Industry 4.0-oriented manufacturing cell. The examined workpiece is a cylindrical gear produced in three different variants (with different diameters and tooth counts), all made from aluminium. The research evaluates productivity, flexibility, quality and cost-efficiency, and also examines the impact of introducing Industry 4.0 elements—such as sensors, data analytics and automated process control—on manufacturing operations.

**Keywords:** Industry 4.0, manufacturing cell, gear, comparison, COMPARATIVE ANALYSIS

## 1 BEVEZETÉS

A publikáció elsődleges célja, hogy összehasonlító elemzést adjon a hagyományos és az Ipar 4.0 standardnak megfelelő gyártási rendszerekről. A tanulmány fókuszában a két egymástól eltérő szemléletű gyártórendszerek működési elveinek, eszközeinek és szervezési logikájának összevetése áll. A későbbi taglalt vizsgálatban kitérve különböző alkalmazhatósági környezetekre, előnyökre és kihívásokra egyaránt.

Fontos hangsúlyozni, hogy a dolgozat nem arra törekszik, hogy rangsort teremtsen a két megközelítés között és nevesítse, hogy melyik a jobb vagy rosszabb a másikkal. A kutatás célja sokkal inkább az, hogy azonosítsa azokat a gyártási környezeteket és feltételeket, ahol az egyik vagy másik rendszer nagyobb előnyöket kínál.

Az irat célkitűzése, hogy gyakorlati szempontból mutasson rá, hogy milyen tényezők befolyásolják egy adott rendszer előnyösségét és milyen kompromisszumokkal, kihívásokkal kell számolni egy gyártási stratégia kiválasztásakor. Ezen keresztül feltett célja, hogy

támogatást nyújtson mindazon diákok és tanárok számára, akik a gyártási rendszerek fejlesztésével, tervezésével vagy optimalizálásával foglalkoznak.

Hagyományos gyártási rendszer alatt a továbbiakban azokat a termelési struktúrákat értjük, amelyek nem, vagy csak részben támaszkodnak digitális technológiákra. Ebben az esetben általános elmondható, hogy az automatizálás mértéke alacsonyabb, az emberi munka szerepe meghatározóbb, a döntéshozatal pedig emberek által, tapasztalati úton történik. Példaként említhetőek a klasszikus gépsorok, manuális vagy félautomata munkafolyamatok, valamint a nagyon egyszerű vezérléssel működő gyártócellák.

Ezzel szemben az Ipar 4.0 alapú rendszerek integrált, digitalizált és gyakran önszerveződő gyártási környezetet jelentenek. Ezekről a gyártócellákról, -sorokról elmondható, hogy a különböző eszközök kommunikálnak egymással, adatokat gyűjtenek és dolgoznak fel saját magukról és környezetükről, valamint előre meghatározott algoritmusok alapján képesek döntéseket hozni. A rendszereknek célja, hogy csökkentsék az emberi beavatkozás szükségességét, ezáltal a hibákat minimalizálják és optimalizálják a gyártási hatékonyságot.

A dolgozat részeként konkrét, az általam tervezett példákön keresztül kerül bemutatásra, hogy milyen jellemzőkkel rendelkeznek a különböző rendszerek, valamint hogyan lehet őket optimalizálni. Külön figyelemben részesülnek az ember-gép együttműködés formái és az adatalapú döntéshozatal szerepe.

## 2 IPAR 4.0 FOGALMA ÉS ALAPJAI

Az Ipar 4.0, vagy más néven a negyedik ipari forradalom, az ipari termelés fejlettségének új szintjét jelöli. A fogalom először 2011-ben jelent meg Németországban, a Hannover Messe kiállításon, ahol az ipar jövőjét meghatározó fejlesztési irányként határozták meg. Azóta globálisan elterjedt, és mára az ipari fejlesztések és innovációk egyik központi fogalmává vált.

Az Ipar 4.0 lényege a fizikai és digitális rendszerek összekapcsolása, amely során a gyártósorok, gépek, szenzorok és informatikai rendszerek intelligens, hálózatba kapcsolt egységekké válnak. Ezek a rendszerek nem csupán adatokat gyűjtenek, hanem képesek azok valós idejű elemzésére és a gyártási folyamatok automatikus

optimalizálására is. Az Ipar 4.0 alapvetően támaszkodik olyan technológiákra, mint a dolgok internete (IoT), a mesterséges intelligencia (AI), a gépi tanulás, a felhőalapú rendszerek, a robotika, a kibernetikai rendszerek (CPS), valamint a Big Data analitika.

Egy Ipar 4.0-kompatibilis gyártórendszerben a gépek képesek kommunikálni egymással, döntéseket hoznak és alkalmazkodnak a változó körülményekhez. A rendszerek közötti szoros integráció révén a termelés rugalmasabbá, gyorsabbá és költséghatékonyabbá válik, gyártott termék tulajdonságaitól függően. Ez különösen fontos a mai, gyorsan változó piaci környezetben, ahol a személyre szabott, kis szériás termékek előállítása egyre inkább háttérbe kerül.

Az Ipar 4.0 célja nem pusztán a termelés automatizálása, hanem egy intelligens, adaptív és előrelátó rendszer kialakítása, amely képes önállóan reagálni a váratlan eseményekre, hibákra vagy megrendelés-változásokra. Ez jelentős mértékben csökkenti az emberi beavatkozás szükségességét, miközben növeli a gyártás hatékonyságát és minőségét.

Fontos azonban megjegyezni, hogy az Ipar 4.0 nem csupán technológiai újítás, hanem szemléletváltás is. Egy olyan komplex ökoszisztéma, amelyben a gyártás mellett a logisztika, a karbantartás, a minőségbiztosítás, terméktervezés is digitalizált, adat vezérelt módon történik. Ehhez nem csak új technológiák, hanem új kompetenciák, képzetek és vállalati kultúra is szükséges.

Az Ipar 4.0 bevezetése tehát nem univerzális recept, hanem egy folyamat, amely minden vállalatnál eltérő módon és ütemben történik. A bevezetés sikere nagymértékben függ a meglévő infrastruktúrától, a humán erőforrástól, a pénzügyi lehetőségektől, valamint a menedzsment stratégiai elköteleződésétől. [1] [2]

### 3 GÉP ÉS EMBER KAPCSOLATA A GYÁRTÁSBAN

Az ipari automatizálás célja, hogy a termelési folyamatokat gyorsabbá, kiszámíthatóbbá és költséghatékonyabbá tegye. Automatizálás során olyan emberi feladatokat helyettesítünk gépekkel, amelyek jellemzően ismétlődőek, pontosan meghatározhatók és nem igényelnek kreatív vagy intuitív döntéshozatalt.

Mitől lesz egy feladat automatizálható?

Egy feladat automatizálhatóságát több tényező határozza meg. Alapvető feltétel, hogy a feladat pontosan definiálható legyen: világos lépésekből álljon, mérhető bemenetekkel és elvárható kimenetekkel. Például egy csavar behajtása, egy alkatrész pozicionálása vagy egy egyszerű minőségellenőrzés relatív könnyedséggel automatizálható folyamatok lehetnek. Emellett fontos, hogy a környezet stabil és jól szabályozható legyen – például zárt gyártócellákban kevesebb a külső zavaró tényező, így könnyebb automatizált rendszert tervezni.

*Miben jók az automatizált sorok?*

Az automatizált gyártósorok kiválóan teljesítenek az olyan területeken, ahol nagy mennyiségű, standardizált termék előállítása a cél. Előnyük a nagy sebesség, a kiváló ismétlődőképesség, a kedvező hibaarány és a munkavállalók fizikai terhelésének csökkentése. A modern rendszerek már képesek önálló diagnosztikára, előrejelzésre (pl. karbantartás szükségessége), valamint a gyártási paraméterek dinamikus módosítására is.

*Mit nem lehet helyettesíteni gépekkel?*

A gépek kiválóan működnek szabályalapú feladatok esetén, azonban még mindig kihívást jelent számukra az összetett emberi készségek helyettesítése. Ilyenek például a komplex döntéshozatal, a rugalmasság, az érzelmi intelligencia, vagy a kreativitás. Problémamegoldó képesség, hirtelen fellépő zavarok kezelése vagy egy új folyamat gyors adaptálásának esetén az ember még mindig felülmúlja a gépeket. Emellett a gépek nem képesek erkölcsi, etikai vagy szociális szempontok mérlegelésére, ami bizonyos helyzetekben elengedhetetlen lehet.

*Mi az ember szerepe egy automatizált közegben?*

Egy modern, Ipar 4.0-kompatibilis gyártási környezetben az ember szerepe átalakul, de nem szűnik meg. A fizikai munkavégzés helyett a felügyelet, az irányítás, az adatértelmezés, a döntéshozatal és a fejlesztés kerül előtérbe. Az ember feladata többek között a rendszerek karbantartása, optimalizálása, vagy épp a gyártási rendellenességek okainak feltárása. Az operátorok szerepe így fokozatosan átalakul. Hagyományos gépkezelés helyett vagy mellett már további készségekre is szükségük lesz, ezáltal további oktatásban kell részesülniük. Mindezek mellett általános szemléletváltásra is szükség lesz, hogy befogadóbbak legyenek a munkavégzésükhöz tartozó adatok értelmezéséhez és felhasználáshoz.

Összességében elmondható, hogy a gépek és emberek nem egymás versenytársai, hanem kiegészítói a modern gyártásban. Míg a gépek az ismétlődő, strukturált feladatokat végzik tökéletes pontossággal, addig az emberi szerep az intelligens döntéshozatalban, a rendszer egészének megértésében és az innovációban válik kulcsfontosságúvá. [3] [4]

### 4 MUNKADARAB GYÁRTÁSA

A dolgozat összehasonlító elemzése egy hagyományos és egy Ipar 4.0 követelményeinek megfelelő gyártócella vizsgálatán keresztül valósul meg. A két rendszer működésének bemutatásához olyan munkadarab került kiválasztásra, amely egyaránt gyártható a klasszikus, kevésbé automatizált eszközökkel, valamint az intelligens, adat vezérelt gyártási környezetekben is.

A választott munkadarab egy fogaskerék, amely gyakori gépelem rengeteg szerkezetnek. Jellemző gyártási műveletei közé tartozik az esztergálás, fogazás (például dörzsárazás vagy marás), furatmegmunkálás, valamint a végső minőségellenőrzés. A fogaskerekre pontos

kialakítása kulcsfontosságú a gépelemek zavartalan működése szempontjából, ezért az alkatrész jól szemlélteti azokat a folyamatokat, ahol a gyártási precizitás és a hibamentesség kiemelt követelmény.

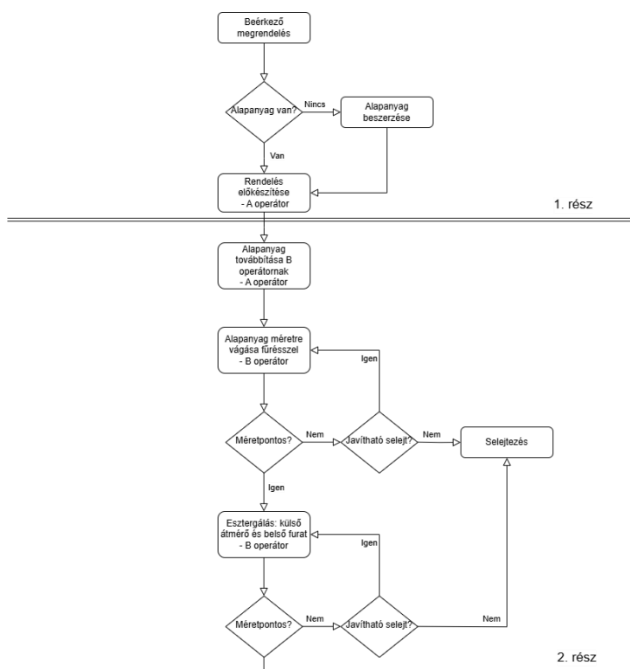
A vizsgálat hat különböző típusú fogaskerék gyártására terjed ki, amelyek az alábbi jellemzőkben térnek el:

- Külső átmérő (Ø40 mm, Ø60 mm, Ø80 mm)
- Fogszám (20, 30, 40 fog)

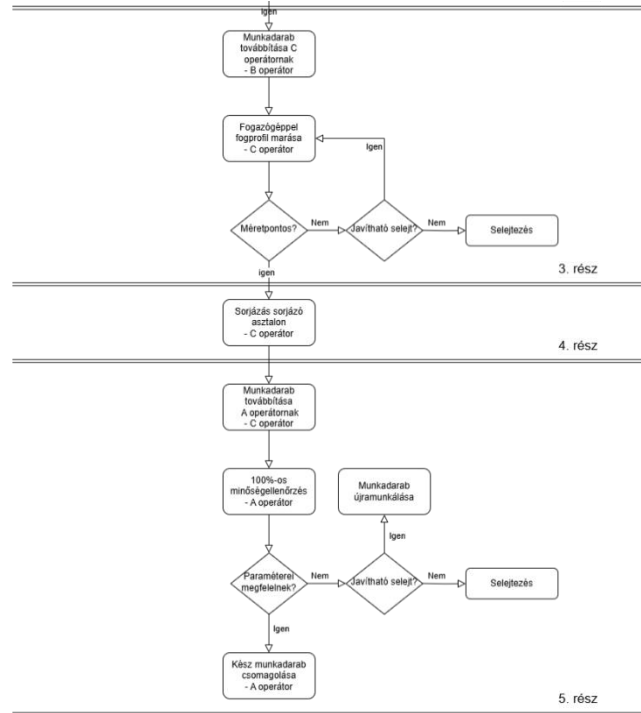
A három típus kezelésének képessége biztosítja, hogy a gyártósorok rugalmassága, átállíthatósága és termelési stratégiája összehasonlítható legyen. Elemezhetővé teszi, hogy milyen lépések szükségesek az egyes típusok gyártásához a két különböző gyártási rendszerben, és hogy miként különböznek ezek hatékonyság, kezelhetőség, adatkezelés és emberi erőforrás-igény szempontjából.

A gyártási rendszer célja nem pusztán az alkatrészek előállítását, hanem az, hogy rávilágítson arra, mikor előnyösebb a hagyományos megközelítés, és mikor érdemes az Ipar 4.0 lehetőségeit kihasználni. A vizsgálat nem egyértelműen egy „jobb” vagy „rosszabb” rendszert kíván megnevezni, hanem azt keresi, melyik megközelítés milyen gyártási helyzetben kínál több előnyt.

## 5 HAGYOMÁNYOS GYÁRTÁS FOLYAMATA



5.1a Ábra: Hagyományos gyártás folyamata



5.1b Ábra: Hagyományos gyártás folyamata

A hagyományos gyártócella lineárisan, egymást követő műveleti lépésekre épül, amelyeket különálló gépeken vagy munkaállomásokon végeznek el. A munkadarabot az operátor mozgatja egyik géptől a másikig, miközben minden műveletet kézi beállítással és felügyelettel indítanak el.

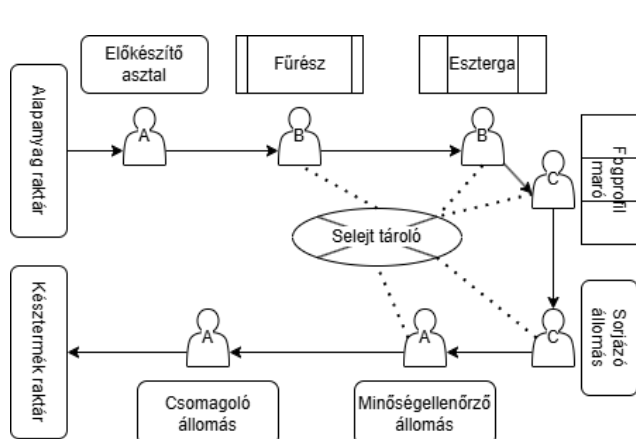
A folyamat során kevés, vagy egyáltalán nincs gépek közötti adatkommunikáció, a termelési állapotok nyomon követése általában egyszerűsítve, táblázatokkal vagy szóbeli jelentéssel történik. Gyártás végeztével jellemzően digitális rendszerben vezetve van a legyártott jó darabszám, keletkezett selejt és újramunkálendő termékek mennyisége.

Ez, az általam készített folyamatábra (6.1 Ábra) csak egy lehetőség a sok közül, mely segítségével megvalósítható a fogaskerekek gyártása.

Folyamat fő lépései:

1. Alapanyag előkészítés: rúdanyag darabolása kézi vagy félautomata fűrészsel.
2. Esztergálása a külső átmérőnek és a belső furat elkészítése.
3. Fogazás elkészítése fogprofil maróval.
4. Keletkezett sorja eltávolítása kézzel.
5. Minőségellenőrzés választott módon: tolómérővel, mikrométerre, idomszerrel.
6. Alkatrész kézi mozgatása a folyamatok között.

## 6 HAGYOMÁNYOS GYÁRTÁS BLOKKSÉMÁJA



6.1 Ábra: Hagyományos gyártás blokk-sémája

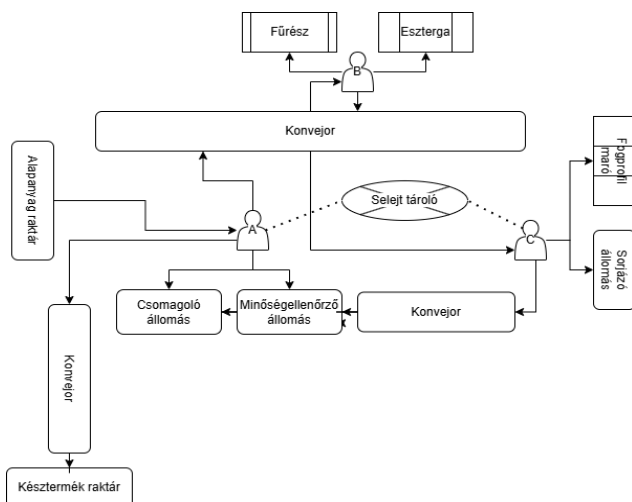
A hagyományos gyártócella blokk-sémája egy egyszerű, lineárisan felépített elrendezést követ, amelyben az egyes munkaállomások sorban követik egymást (például: 6.1 Ábra). A kialakítás fő célja a műveleti sorrend követése, az operátorok mozgásának egyszerűsége és a gyártás átláthatósága. Az anyagáramlás balról jobbra történik. A cella tervezéséből adódóan 2-3 operátor van jelen, beosztásuk a gyakorlatuk alapján szabadon változtatható.

Az operátorok feladatkörei ebben a struktúrában:

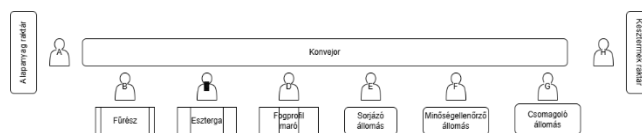
1. Munkadarab előkészítés.
2. Megmunkáló gépek kézi vezérlése, felülvizsgálata.
3. Minőségellenőrzés.
4. Karbantartási tevékenységek.
5. Dokumentáció vezetése a gyártásról, manuálisan.
6. Kommunikáció a többi operátorral.

## 7 HAGYOMÁNYOS GYÁRTÁS BLOKKSÉMA ALTERNATÍVÁK

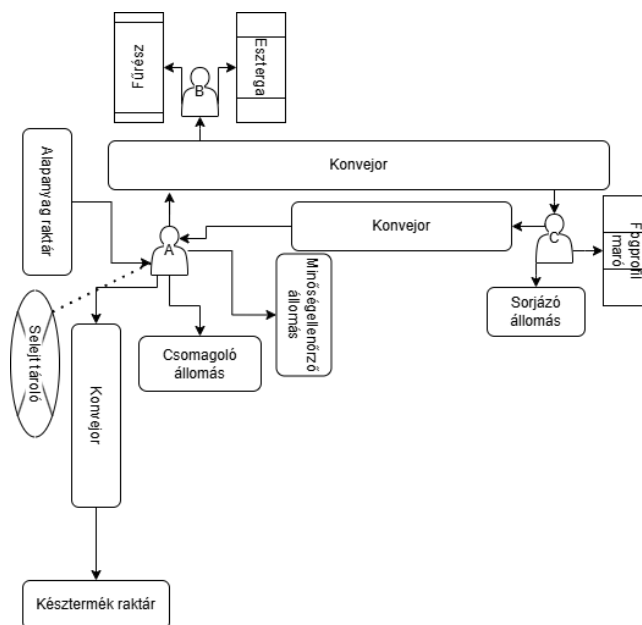
A dolgozat egy hagyományos gyártócella konstrukcióját részletesen ismerteti az előző fejezetben (6 fejezet, 6.1 ábra). Fontos azonban kiemelni, hogy egy ilyen gyártási struktúrát számtalan módon meg lehet alkotni.



7.1 Ábra: Hagyományos gyártás példája 1



7.2 Ábra: Hagyományos gyártási példája 2



7.3 Ábra: Hagyományos gyártási példája 3

Ezek a blokk-sémák ezt hivatottak jelképezni (8.1, 8.2, 8.3 ábrák) a hagyományos gyártás nem egy kötött, sablonos struktúra, hanem rugalmasan igazítható megannyi féle gyártási környezethez. Az elrendezés módja azonban közvetlen hatással van a hatékonyságra, ciklus időre és a munkaszervezésre is, így a megfelelő konfiguráció tervezése kulcsfontosságú lépés a gyártás szervezése során.

## 8 IPAR 4.0 GYÁRTÁS FOLYAMATA

Az Ipar 4.0-nak megfelelő gyártócella tervezése közben a legmodernebb technológiákból indultam ki, a hatékony, rugalmas és teljesen automatizált termelés elérése érdekében. A cella jellemzőit és a cella fő részeit is hét részre bontottam szét.

A gyártási folyamat fő jellemzői:

1. Digitális gyártási igény fogadása (pl. MES vagy ERP rendszerből) A gyártócella egy magasabb szintű vállalati rendszerből kapja a gyártási parancsot, amely tartalmazza a munkadarab típusát, darabszámot, prioritást és határidőt.
2. Munkadarab azonosítása és előkészítése (RFID). A beérkező alumínium fogaskerék nyersdarab RFID címkével van ellátva. A cella bejáratánál található szenzorok és olvasók segítségével automatikusan beazonosításra kerül a munkadarab típusa.

3. Automatizált **megfogás és adagolás** (robotkar). Egy ipari robotkar megfogja a nyersanyagot vagy munkadarabot és a megfelelő megmunkáló állomásra helyezi azt. Annak érdekében, hogy a robot minden munkaállomást ki tudjon szolgálni egy 7. tengelyen csúszik.
4. **Megmunkálási folyamat** (CNC, automatizált maró/eszterga gép). A munkadarabot a gép automatikusan beállítja a programozott paraméterek alapján. A gyártás során valós idejű szenzoradatok segítik az optimális működést.
5. **Minőségellenőrzés** (kamera alapú automatikus ellenőrzés). A munkadarab gyártását követően egy automatikus ellenőrző állomás méret-, súly- és felületellenőrzést végez. A rendszer azonnal képes felismerni és kiszűrni a hibás darabokat. Minden adatot egy „etalon” darabhoz hasonlítva értékeli és a folyamat végén „OK” vagy „NOK” jelzést ad. A kamera megfelelő működéséhez elengedhetetlen, hogy a munkadarab jól legyen pozícionálva.
6. **Adatgyűjtés és visszacsatolás** (IoT + felhő alapú adatkezelés). A gyártási és ellenőrzési adatokat szenzorok gyűjtik össze, és egy felhőalapú rendszer tárolja azt. Ezek az adatok lehetővé teszik a prediktív karbantartást, a hatékonyság elemzését, valamint a gyártási paraméterek finomhangolását.
7. Késztermék **tárolása és visszajelzés** a rendszernek. A hibátlan munkadarabok automatikusan egy tárolórendszerbe kerülnek, miközben a gyártócella visszajelzést küld a központi rendszer felé a folyamat lezárásáról és a termék állapotáról. Hasonló alapon jár el a selejtezéssel is. Fontos adat, hogy melyik munkafolyamat után mikor, mennyi selejt keletkezett. Ezekből az adatokból egyszerűen vizsgálható a termelési egység gazdaságossága és esetleges beavatkozás szükségessége is könnyen megállapítható.

A gyártási folyamat fő részei:

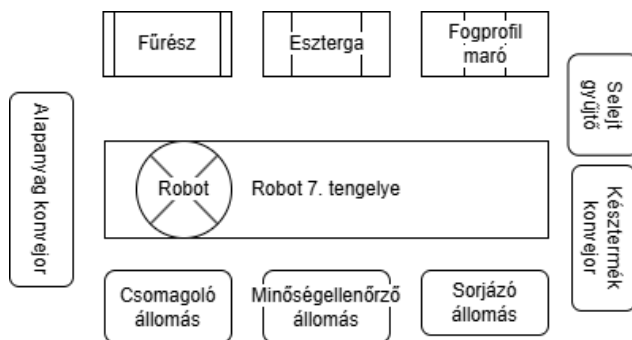
1. Rendelésfeldolgozás.
2. Fűrészelés folyamata.
3. Esztergálás folyamata.
4. Marás folyamata.
5. Sorjázás folyamata.
6. Minőségellenőrzés folyamata.
7. Csomagolás folyamata.

További folyamatként említhető, de nem külön tagolt a robot alapanyag, munkadarab, valamint késztermék szállítási folyamata.

Ezen munkafolyamatokhoz tartozó ciklusdiagrammok a csatlományok között találhatóak, terjedelmük miatt. (9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7 Ábra)

## 9 IPAR 4.0 GYÁRTÁS BLOKKSÉMÁJA

Az Ipar 4.0 alapelveinek megfelelő gyártócella elrendezése nem csak a termelékenység maximalizálását célozza, hanem az intelligens, valós idejű adatkapcsolatok biztosítását is. A felülnézeti rajz (10.1 Ábra) tervezésénél figyelembe vettem, hogy minden a folyamatábrán megfogalmazott paraméternek meg tudjon felelni a cella.



9.1 Ábra: Ipar 4.0 gyártócella blokk-sémája

A rendszer egyik legnagyobb előnye a modularitás és az intelligens irányítás: a cella képes alkalmazkodni a gyártási igények változásaihoz anélkül, hogy hosszabb leállásra vagy manuális beavatkozásra lenne szükség. Emellett a folyamatos adatgyűjtés lehetővé teszi a prediktív karbantartást és a gyártás optimalizálást, amely jelentős versenyelőnyt biztosít.

A gyártócella fő elemei:

1. Alapanyag konvektor. A cella alapanyag ellátásáért felelős része.
2. Fűrész. Automatán működő fűrész, amely az alumínium rudakat képes pontosan méretre vágni.
3. Eszterga. A külső átmérőt és a belső furatot képes automatán kialakítani.
4. Fogprofil maró. A fogprofil automatán történő kialakítására alkalmas berendezés.
5. Sorjázó állomás. A megmunkálást követően ott maradt sorját képes teljesen automata módon eltávolítani a felületről.
6. Minőségellenőrző állomás. Egy kamera segítségével képes méret és alak hibákat detektálni, automata módon.
7. Csomagoló állomás. A már vevő számára jó termék lecsomagolásáért felelős állomás.
8. Késztermék konvektor. A késztermék ezen a konvektor szakaszon távozik a raktár felé.
9. Selejt gyűjtő. Egy konténer vagy doboz, melybe a selejteket szórja a rendszer.
10. Ipari robot kar, mely a rendszer lelkét adja.
11. Robot 7. tengelye. A robot mozgását biztosítja, hogy mindegyik munkaállomást el tudja érni.

Ezekkel az elemekkel az alumíniumból készült hengeres fogaskerék gyártására lehetőség nyílik, egy modern és megbízható módon.

Az operátor szerepe ilyen környezetben majdnem teljesen átalakul a hagyományos gyártáshoz képest. A cella

effektív támogatásához szemlélet váltásra és más típusú tudásra van szükség.

Az operátorok feladatkörei ebben a gyártási környezetben:

1. Rendszerfelügyelet.
2. Adatkezelés és értelmezés.
3. Gyártási programok kezelése.
4. Beavatkozás rendellenesség esetén.
5. Karbantartási feladatok ellátása, visszajelzés alapján.

#### 10 IPAR 4.0 GYÁRTÓCELLA KOMMUNIKÁCIÓS ARCHITEKTÚRÁJA

Az Ipar 4.0 szemléletű gyártócella egyik legfontosabb jellemzője a gépek, rendszerek és emberek közötti valós idejű adatkommunikáció. Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek a cella fő technológiai szereplői és a kapcsolási pontok.

Ahhoz, hogy a folyamat minden lépése pontosan nyomon követhető legyen, mindegyik elemének kommunikálnia kell egymással és egy központi rendszerrel. Ezt a fajta adatmegosztást többféle szenzor, eszköz támogatja és rengeteg kifinomult rendszer létezik az adatok feldolgozására.

A gyártósori példában a kommunikáció középpontjában a robot áll, hiszen minden állomás visszajelzéssel van állapotáról a robot felé. A rendszer ezeket a kommunikációkat rögzíti, hogy amennyiben valamelyik adat fals és a struktúra szerkesztésének igénye felmerül, könnyen lehessen javítani.

Kommunikációs felek:

1. Adatbázis
  - a. Az adatbázisban rögzítésre kerülnek a meghibásodások. Amennyiben az egyik állomáson zavar lép fel, a többi felé ezt kommunikálni kell, annak érdekében, hogy a gyártást fel lehessen függeszteni.
  - b. Amennyiben a rendszer túrésen túli értékeket produkál erről visszajelzést kell küldenie az operátornak.
  - c. Minden legyártott termék RFID-ját és a hozzá tartozó adatokat könyvelnie kell. Legyen az adott végtermék vevőnek megfelelő, újra munkálandó vagy selejt.
2. Alapanyag konvektor
  - a. Adatbázis. – Kinyert adatból indítja el az alapanyag szállítását és állítja meg a folyamatot, amennyiben az alapanyag a végállás szenzort eléri.
  - b. Robot. – A robotnak szükséges tudnia, hogy az alapanyag az előre meghatározott pozícióba ért.
3. Megmunkáló állomások
  - a. Adatbázis. – Az adatbázisban szerepelnie kell a szerszám állapotának, legalább megközelítő jelleggel. Könyvelve kell

lennie, hogy mikor, milyen típusú anyag került és hagyta el a munkaállomást, hogy annak a státusza visszakövethető, szükség esetén módosítható legyen.

- b. Robot. – A robotnak tudnia kell, hogy a munkaállomás mikor, milyen munka stádiumban van, lehetséges vagy sem a megközelítése és terhelése.
4. Minőségellenőrző állomás
    - a. Adatbázis. – Az állomásnak a kamerával készült képeket továbbítania kell az adatbázis felé. Eltérés esetén ez különösen fontos szerepet játszhat.
    - b. Robot. – A robotnak tudnia kell, hogy a munkaállomás mikor, milyen munka stádiumban van, lehetséges vagy sem a megközelítése és terhelése.
  5. Csomagoló állomás
    - a. Adatbázis. – A pontos lecsomagolt jó termékről információt kell nyújtania az állomásnak az adatbázis felé.
    - b. Robot. – A robotnak tudnia kell, hogy a munkaállomás mikor, milyen munka stádiumban van, lehetséges vagy sem a megközelítése és terhelése.
  6. Selejt gyűjtő
    - a. Robot. – Adatbázis kommunikáció. Abból kiindulva, hogy a robot hányszor mozdult el a selejt gyűjtőhöz megállapítható, hogy mennyi selejt termék képződött. Ennek következtében a selejt gyűjtőt nem kell további szenzorral felruházni.
  7. Robot 7. tengelye
    - a. Robot. – Folyamatos kommunikációnak kell lennie a robot és a tengely között, hogy a munkafolyamatok elvégezhetőek legyenek.

A szükséges adatáramlásnak nagyobb része PLC segítségével könnyedén megvalósítható. Fontos, hogy a kommunikáció valós idejű legyen. Az operátor szerepe a klasszikus irányításhoz képest jelentősen megváltozott: nem kizárólag a fizikai beavatkozást végez, hanem adatellenőrzést, hibakeresést, rendszerfelügyeletet is végrehajt.

Ez a hálózat lehetővé teszi az adat alapú döntéshozatalt, azonnali hibadetektálást, valamint a gyártási folyamat valós idejű optimalizálását, amely a hagyományos gyártósorok esetén nehezen vagy egyáltalán nem volt megvalósítható.

#### 11 FOLYAMATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A fejezet célja egy kibővített összehasonlító értékelést nyújtani a hagyományos gyártási folyamatmodell és az Ipar 4.0 alapú rendszerek között.

A hagyományos modell lényege, hogy a folyamat lineáris és szakaszos lépésekben halad, ahol a döntéshozatal és minőségellenőrzés elsődlegesen emberi operátorok kezében van. Ebben az esetben a munkafolyamatok során

az egyes szakaszokban köztes ellenőrzésre kerül sor: például a vágás, esztergálás vagy fogazás után manuális vagy épp az ellenőrzési pontokon vizsgálják a termékek paramétereit, és döntéseket hoznak arról, hogy szükséges-e újra munkálni vagy selejtezni. Az emberi tapasztalatra épülő modell előnye, hogy egy-egy különösen összetett helyzetben a szakképzett operátor gyors, helyzetfüggő beavatkozásokat képes végrehajtani. Ugyanakkor ez a megközelítés több hibalehetőséget is hordoz magában, mivel a manuális ellenőrzések gyakran késedelmesek, eltérő minőségi szintet eredményezhetnek, és a munkafolyamatok közötti koordináció nehézkessé válhat a folyamatos visszacsatolás hiánya miatt.

Az Ipar 4.0 alapú struktúra ugyanakkor olyan digitális és automatizált megoldásokkal ellátott rendszer, amelyek révén a gyártási folyamat nem csupán előre meghatározott lépésekben, hanem dinamikus, valós idejű adatáramlás és adatfeldolgozás alapján zajlik. A legmodernebb technológiák alkalmazása azt eredményezi, hogy az alapanyag- és készletgazdálkodás, valamint a gépi munkafolyamatok során bekövetkező eltérések már a termelés korai szakaszában azonosíthatóak, így a prediktív karbantartás és az intelligens döntéshozatal miatt a rendszer képes beavatkozni. A valós idejű minőségellenőrzés és az algoritmusok által folyamatosan nyomon követett adatok alapján a gyártás hatékonysága és a hibák korrigálásának ideje jelentősen csökken, ugyanakkor a rendszer magas szintű technológiai beruházást, valamint egy más típusú operátori szaktudást igényel.

A felvezetett szempontokból az összehasonlítás alapvetően két filozófia ütközését tükrözi: míg a hagyományos modell az emberi tényezőre, valamint a tapasztalati alapú, szakaszos visszacsatolásra épít, addig az Ipar 4.0 megközelítés a folyamatos adatáramlás, a prediktív analitika és az automatizált beavatkozások segítségével szeretné megszüntetni az emberi természetből adódó késedelmeket és hibalehetőségeket. Ez alapvetően a termelékenység, a minőségbiztosítás és a ciklus idő csökkentése mellett jelentős költségcsökkentést is eredményezhet hosszú távon. A hagyományos rendszer alkalmazása viszont rugalmasabb lehet olyan esetekben, amikor a környezet vagy a termék egyedi jellemzői miatt a standard automatizálási algoritmusok nem képesek optimális döntést hozni, így az emberi beavatkozás elengedhetetlennek bizonyul.

Továbbá, az Ipar 4.0 modell egyúttal lehetőséget teremt az integrált folyamatmenedzsment megvalósítására, ahol a gyártási ciklus minden szakasza – az alapanyag beérkezésétől a késztermék csomagolásáig – egy központi, összekapcsolt rendszer keretében működik. Erre példa az a folyamatrendszer is, amit a dolgozat részeként az előző fejezetekben kifejtésre került. Ez a rendszerszintű integráció nem csupán a termelési sebességet és a minőséget javítja, hanem hozzásegít a karbantartási és optimalizálási döntések korai előrejelzéséhez is, ami a későbbiekben a selejtes munkadarabok arányának csökkenéséhez vezethet. Ezzel szemben a hagyományos modell decentralizált, részrendszerek között kevésbé

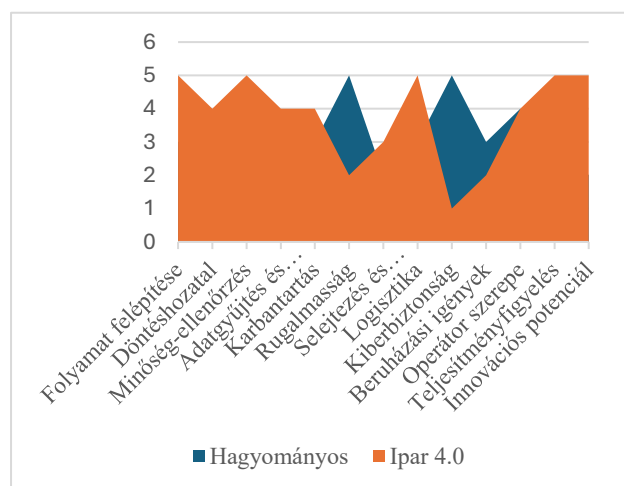
átlátható az adatáramlás, ami a hibák gyors felismerését és korrigálását nehezíti.

Végül soron az összehasonlító értékelés rámutat arra, hogy a digitális integráció révén működő Ipar 4.0 rendszerek hosszú távon versenyképesebbek, rugalmasabbak, és jelentős mértékben képesek csökkenteni az előre nem látható fenakadásokat. Ugyanakkor nem szabad figyelmen kívül hagyniuk az ebből fakadó magas beruházási költségeket és az átfogó kihívásokat. A hagyományos modell tapasztalat-alapú rugalmassága és az emberi döntéshozatal adaptivitása olyan helyzetekben használható, ahol az egyedi termelési igények megkövetelik a személyes beavatkozást. A jövő ipari rendszereiben valószínű, hogy a két megközelítés egymás mellett lesz alkalmazva: az automatizált, valós idejű adat vezérelt döntéstámogatás mellett megtartják a tapasztalt operátorok szerepét, akik a rendszer által generált riasztások és javaslatok felülvizsgálatával biztosítják a végtermék folyamatos megfelelését.

## 12 ÖSSZEHASONLÍTÁSI TÁBLÁZAT

Az összehasonlítási szempontok:

1. Folyamat felépítése
2. Döntéshozatal
3. Minőségellenőrzés
4. Adatgyűjtés és feldolgozás
5. Karbantartás
6. Rugalmasság
7. Selejtezés és hibakezelés
8. Logisztika
9. Kiberbiztonság
10. Beruházási igények
11. Operátor szerepe
12. Teljesítményfigyelés
13. Innovációs potenciál



12.1 Ábra: Összehasonlítási diagramm

A két modell összehasonlító vizsgálatának eredménye (12.1 Ábra) arra enged következtetni, hogy a jövő gyártási folyamatai egy integrált, hibrid megközelítést alkalmaznak, amelyben a digitális technológiák és az emberi döntéshozatal kéz a kézben működnek. Ez a kombináció nemcsak a termelés hatékonyságát növeli, hanem hosszútávon a vállalatok innovációs és versenyképességi potenciálját is alapjaiban alakítja át.

### 13 ÖSSZEGZÉS

A kutatás célja az volt, hogy egy konkrét munkadarabon keresztül összehasonlítsa a hagyományos és az Ipar 4.0 szemléletű gyártócellák működését, felépítését, valamint azok előnyeit és korlátait. A vizsgálat során világossá vált, hogy mindkét gyártási módszer rendelkezik olyan erősségekkel, amelyek bizonyos helyzetekben előnyösebbé tehetik az egyiket a másikkal szemben.

A hagyományos rendszerek egyszerűségük és jól bevált működésük révén még mindig megállják a helyüket alacsonyabb komplexitású, kis- vagy közepes szériaszámú gyártás esetén. Ezzel szemben az Ipar 4.0 technológiák – beleértve az automatizálást, a szenzorhálózatokat, a robotikát és az adatvezérelt döntéshozatalt – különösen előnyösek nagy szériaszámú, magas minőségi elvárásokat támaztó vagy gyakori átállításokat igénylő gyártási környezetben.

Fontos megállapítás, hogy az Ipar 4.0 nem kizárólag a technológiáról szól, hanem egyúttal szemléletváltást is jelent. Az emberi munka nem tűnik el, hanem átalakul: a fizikai tevékenység helyett egyre inkább a felügyeleti, rendszerszintű és döntéshozói szerepkörök kerülnek előtérbe. Ez új készségek és gondolkodásmód fejlesztését követeli meg az ipari munkavállalóktól.

A jövő gyártása tehát várhatóan a két megközelítés integrációjában rejlik – ahol a hagyományos rendszerek stabilitása és az Ipar 4.0 rugalmassága kiegészíthetik egymást. A folyamatos fejlődés és kutatás pedig elengedhetetlen annak érdekében, hogy az ipari szereplők valóban ki tudják aknázni a digitalizáció kínálati lehetőségeket.

A kutatómunka eredményei alapján lenne lehetőség egy olyan szoftver fejlesztésére, ami képes előre megadott paraméterek szerint eldönteni, kiértékelni, hogy az adott folyamat automatizálására műszaki és gazdasági lehetőség van-e. A rendszer figyelembe vehetné például a termelési volumeneket, a gyártott termékek varianciáját, az automatizáláshoz szükséges beruházási költségeket, a meglévő géppark állapotát, valamint az emberi erőforrás igényét is.

Egy ilyen döntéstámogató eszköz különösen hasznos lehetne azok számára, akik gyártási beruházások előtt állnak, és szeretnék megérteni, hogy a jelenlegi rendszer mely pontokon fejleszhető automatizálás útján, illetve milyen költség- és megtérülési mutatókkal lehet számolni. A szoftver alapját egy olyan értékelési modell képezhetné, amely súlyozva veszi figyelembe az egyes paramétereket (pl. darabszám, gépóráköltség, munkaerőköltség, átállítási idő, hibaarány), és ezek alapján javaslatot ad az automatizálás műszaki indoklásáról és gazdasági racionalitásáról.

A modell a gyakorlati alkalmazhatóság érdekében különböző gyártási környezeteket is figyelembe vehetne: például külön modul tartalmazhatna sorozatgyártásra és egyedi gyártásra optimalizált rendszerekre, eltérő szintű technológiai fejlettségi szinttel. Egy gyártócella szimulációján keresztül a felhasználó összehasonlíthatná a hagyományos és az Ipar 4.0 megközelítéssel működő alternatívákat, a becsült ciklusidők, munkaerőigények, selejtráták és megtérülési időszak alapján.

A dolgozatban vizsgált példák (pl. alumíniumból készült hengeres fogaskerek gyártása) is azt mutatják, hogy még egy látszólag egyszerű termék előállítására is többféle technológiai és szervezési megközelítést igényelhet. A választás gyakran nem egyértelmű, és számos kompromisszumot kíván: például lehet, hogy egy automatizált rendszer gyorsabb és pontosabb, de a beruházási költsége magas, és csak nagyobb szériaszám esetén térül meg. Egy ilyen szoftver pontosan ezekre a kérdésekre adhat választ, objektív és számításalapú döntéstámogatással.

A koncepció hosszú távon kiegészíthető lenne mesterséges intelligencia alapú tanulómóduddal is, amely korábbi gyártási adatok alapján finomítja az előrejelzéseket. Ezáltal a rendszer nemcsak az egyedi adatok kiértékelésére lenne képes, hanem tapasztalati úton, gépi tanulással javíthatná a javaslatait.

Összességében elmondható, hogy a jövő gyártási döntései nem kizárólag technológiai megérzéseken vagy tapasztalaton kell, hogy alapuljanak, hanem egyre inkább adatvezérelt, modellalapú értékelési rendszerekre támaszkodnak. Egy ilyen döntéstámogató szoftver hozzájárulhatna a hazai kis- és középvállalkozások versenyképességéhez is, hiszen strukturáltan segítené a gyártásfejlesztési lehetőségek felismerését és optimalizálását.

### 14 IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group.
- [2.] Xu, X., Xu, X., Zheng, Y., & Liu, C. (2018). A survey of industrial Internet: A cyber-physical systems perspective. *IEEE Access*, 6, 78238–78259. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2884906>
- [3.] Rauch, E., Linder, C., & Dallsaga, P. (2020). Anthropocentric perspective of production before and within Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105644. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.018>
- [4.] Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (4th ed.). Pearson.
- [5.] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, 8(1), 37–44.
- [6.] Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (2008). Smart Factory – A Step towards the Next Generation of Manufacturing. *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, Springer, 115–118.
- [7.] Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 55, 290–295.
- [8.] Zuehlke, D. (2010). SmartFactory—Towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, 34(1), 129–138.