

Miskolci Egyetem
Gépészmérnöki és Informatikai Kar

**Rugalmas gyártórendszerek tervezési módszereinek továbbfejlesztése
ipar 4.0 eszközök alkalmazásával**

PhD értekezés

Készítette:

Molnár Zsolt

M.Sc. gépészmérnök, mérnök-tanár

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Informatikai tudományok

Doktori iskola vezető: Prof. Dr. Szigeti Jenő

Témavezető: Dr. Tamás Péter

Társtémavezető: Prof. Dr. Illés Béla



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

Miskolc

2024

Tartalomjegyzék

Nyilatkozat.....	4
Köszönetnyilvánítás.....	5
Bevezetés és motiváció.....	6
Irodalmi áttekintés.....	8
Kapcsolódó területek és módszerek áttekintése.....	18
Rugalmas gyártórendszerek áttekintése.....	18
Szisztematikus elrendezés tervezés (Systematic Layout Planning – SLP).....	23
Bemeneti adatok.....	24
Tervezési folyamat.....	25
Döntési táblák.....	28
Kritikus lánc projekt menedzsment.....	30
Digitális iker és szimuláció.....	32
Rugalmas gyártórendszerek tervezésének kihívásai.....	34
Rugalmas gyártórendszerek tervezésének módszertana, keretrendszere.....	36
Tervezési alapadatok.....	37
Rugalmas gyártórendszerek üzleti és életciklus vizsgálata.....	38
Digitális iker és szimuláció használata a tervezés során.....	44
Rugalmas gyártórendszerek elrendezés tervezése.....	46
Információ áram.....	49
Vezérlő rendszerek.....	51
Döntési táblák.....	52
Neurális hálók.....	52
Döntési táblák és neurális hálók.....	56
Rendszer méretezés.....	57
Gépek méretezése.....	57
Puffer méretezés.....	57

AGV darabszám meghatározása	64
Energiahatékonyság	71
Rugalmas gyártórendszerek informatikai biztonságra tervezése	72
Rugalmas gyártórendszer tervezés projekt kezelése	73
Tervezési módszertan összefoglalása, további kutatási lehetőségek	75
Tézisek	77
Mellékletek	78
Terminológia és rövidítés szótár	78
Esettanulmányok és alkalmazási példák	79
Esettanulmány, alkalmazási példa 1. – Döntési tábla alkalmazása	79
Esettanulmány, alkalmazási példa 2. – AGV méretezés	82
Esettanulmány, alkalmazási példa 3. – Puffer méretezés	87
Esettanulmány, alkalmazási példa 4. – Neurális háló alkalmazása sori vezérlési logikában	87
Irodalomjegyzék	91
Ábrajegyzék	97
Táblázat jegyzék	98

Nyilatkozat

Alulírott Molnár Zsolt kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos tartalommal, de átfogalmazva más forrásból átvettem vagy felhasználtam, egyértelműen a forrás megjelölésével láttam el és hivatkoztam.

Budapest,

.....

Molnár Zsolt

Köszönetnyilvánítás

A jelen doktori értekezés a Miskolci Egyetem Logisztikai Intézetében készült a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola képzésének keretein belül. Szakmai és emberi támogatásukért köszönetem illeti témavezetőimet, Dr. Illés Béla és Dr. Tamás Péter professzor urakat. Emellett köszönöm az intézet minden kollégájának támogatását, akik segítettek munkámat. Nagy köszönet illeti édesanyámat Dr. Petes Alizt, akitől a kutatás iránti fogékonyságomat örököltem, és aki végig támogatott ennek a doktori értekezésnek az elkészülte során.

Bevezetés és motiváció

Szakmai munkám során konzultánsként dolgozom digitális gyártáshoz kapcsolódó szoftvermegoldások (főleg Siemens megoldások) támogatásában, bevezetésében. Ennek köszönhetően számos ipari céggel volt alkalmam az elmúlt évek, sőt immár évtizedek során együtt dolgozni. A gyártás rugalmassága iránti törekvés mindig is jelen volt a vállalatok életében, de stratégiai célként az elmúlt pár évben jelent meg a legtöbb cég esetében. Ennek legfőbb okai az egyik oldalról a vevők egyre inkább növekvő igénye a rugalmas kiszolgálásra és az egyre inkább egyedi termékekre. A másik oldalon miközben a verseny növekszik a gyártó cégek között, a költségek csökkentése, a jobb erőforrás kihasználás kulcsfontosságúvá vált a vállalatok számára. Ezt a folyamatot az elmúlt évek gazdasági válsághelyzetei (pandémia, autóiipari válság, globális konfliktusok) tovább gyorsították. Mindezek pedig együtt a rugalmas gyártás iránti érdeklődés növekedésével jártak. Természetesen a gyártási rugalmasság a hozzá kapcsolódó logisztikában is rugalmasságot kíván. A munkám kapcsán közvetlen tapasztalatom van azzal kapcsolatban, hogy a gyártó cégeknél milyen gyakran hiányzik a gyártórendszerek és ezen belül kiemelten a komplexebb gyártórendszerek tervezéséhez kapcsolódó tudás és tapasztalat.

A gyártósorok tervezése és azon belül azok elrendezés tervezése jelentős üzleti probléma a vállalatok számára, amely magában foglalja a készletek, az átfutási idő és a helyhasználat csökkentését, az üzem alkalmazkodóképességét a jövőbeni változásokhoz, valamint egészséges, kényelmes és biztonságos környezetet biztosít a munkavállalók számára. A termelő és logisztikai terület megfelelő kihasználása minden gyár számára fontos működési tényező, mivel az anyagáramlás és az értéklánc meghatározásával az elrendezés közvetlen hatással van a szervezetre és a vállalat profitabilitására.

Néhány évvel ezelőtt sikerült megismernem a Richard Muther által kifejlesztett Systematic Layout Planning (SLP, Szisztematikus elrendezés tervezés) módszert, ami számos olyan előnnyel rendelkezik, amely alkalmassá teszi, teheti a rugalmas gyártórendszerek tervezésének támogatására.

A módszer érdekes magyar vonatkozása, hogy amikor a kutatás részeként felvettem a kapcsolatot az SLP módszertant jelenleg gondozó Richard Muther & Associates szervezettel kiderült, hogy Magyarországról jómagam voltam az első érdeklődő. Megosztottak velem egy kalandos történetet, ami az SLP módszertanhoz kapcsolódik és magyar vonatkozása is van. Egy magyar mérnök Nick Racz 1956-ban egy kisméretű bőrönddel menekült először Ausztriába, majd egy évvel később Chicagóba. A bőröndben egy pár személyes tárgy mellett egy könyvtári példány volt Muther Systematic Layout Planning könyvéből. Chicagóban az első állásinterjúm szóba került, hogy ismeri a módszertant, és különös egybeesés révén az interjúztatója Mr. Al Booth az egyetemen Muther szobatársa volt. Mr. Racz így kapta meg az első állását az Egyesült Államokban. Később találkozott Mr. Mutherrel akinek

odaajándékozta az eredeti könyvet, ami azóta is a Richard Muther & Associates pici múzeumában található.

A módszernek két fő előnye van az alkalmazhatóság szempontjából. Az első, ami a nevében is szerepel, hogy egy olyan szisztematikus módszert ad, amely jól definiált lépéseken vezeti végig a tervezőt. A második, hogy a módszer technikai megvalósítása táblázatos adatokra támaszkodik főleg, így digitális eszközökkel jól feldolgozható.

Személyes céljaim a dolgozattal:

- megtartva az SLP módszer lényegét, hogy akár egy papíron is hasznos eredményeket tud adni, olyan kiegészítés kidolgozása a gyártásban dolgozó mérnökök számára, amik segítenek nekik a korszerű gyártósorok tervezésében.
- kihasználva azt, hogy az SLP módszer egy jól strukturált, adat alapú módszer megmutatni, hogy a módszert digitális eszközökkel használva milyen további előnyök nyerhetők ki a tervezés során.

Hiszem, hogy az elrendezés a gyártósor lelke, mivel, ha a sori elrendezés nem megfelelő, annak számos negatív következménye lehet a teljesítményre. Az elrendezés tervezés egy olyan tevékenység, ami sok energiát és pénzt emészt fel, így a megfelelő módszertan kiválasztása komoly hatással lehet az eredményére. Bár az SLP módszer egy általános jól használható eszköztárt ad szinte tetszőleges gyártóhely, gyártósor tervezésére, a rugalmas gyártórendszerek egyedi sajátosságai miatt fontos kutatásnak tartom olyan továbbfejlesztését a módszernek, ami ennek a területnek a specifikus tervezési kihívásaira megoldást tud adni. A dolgozat felépítése is a fenti szándékot tükrözi.

Az első rész egy olyan irodalmi áttekintés, amely áttekinti a rugalmas gyártórendszerek tervezésével kapcsolatos nemzetközi kutatásokat és bemutatja a dolgozat témájának fontosságát. Az ezt követő rész azokat az alapismereteket és irodalmat foglalja össze, amelyre a dolgozat és a kapcsolódó kutatás támaszkodott. Ezek az SLP módszertan, a döntési táblák és kritikus lánc projekt menedzsment módszertan és a digitális iker.

A következő részben saját kutatás és ipari tapasztalataim alapján áttekintem a rugalmas gyártórendszerek tervezési problémáit és azokat a feladatokat, amelyeket a tervezés során meg kell oldani. Az ezt követő rész a módszer kidolgozását bemutató kutatás, amely a Muther könyv kiegészítő fejezeteként is felfogható, bemutatja az SLP módszertan alapján a rugalmas gyártórendszerek tervezésére kidolgozott manuális módszert. Az utolsó fejezet a rugalmas gyártórendszerek sztochasztikus viselkedéséből adódó tervezési feladatok kezelésére kidolgozott módszereket mutatja be.

A dolgozat végén, a mellékletben négy ipari példán keresztül mutatom be a módszer használatát.

Irodalmi áttekintés

Az irodalomkutatás során a kutatás alapjául szolgáló területeket és azok szakirodalmát tekintjük át. Ezek olyan információk, amelyek az alapjai a későbbiekben bemutatott kutatásnak. A szakirodalmi kutatás során elsődleges forrásként a Scopus adatbázisra támaszkodtam. A kutatás évei alatt többször is áttekintettem a rendelkezésre álló szakirodalmi forrásokat, a jelen összefoglalásban a 2023. december végi adatok találhatóak. A keresések során a kulcsszavak között kerestem.

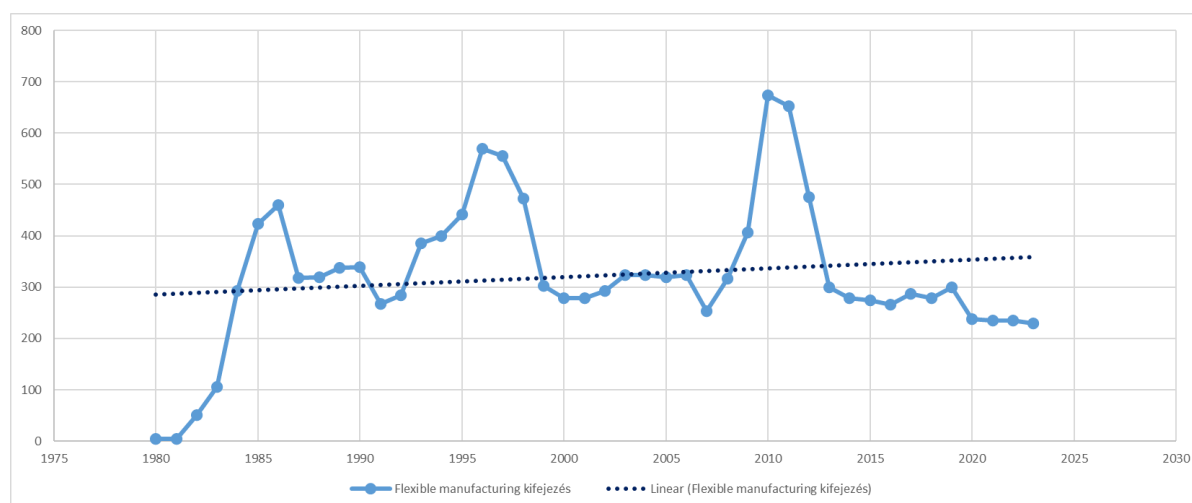
Az irodalmi áttekintés során követtem a szisztematikus irodalomkutatás (systematic literature review) lépéseit [1], amelyek összefoglalva a következők:



1. ábra Szisztematikus irodalomkutatás folyamata

Az első keresési kifejezés, amit megvizsgáltam a „flexible manufacturing” volt, amely a (1. ábra) grafikonon látható keresési eredményt adta. Jól látható, hogy a fogalom gyakran használt, a terület igen széleskörű szakirodalommal rendelkezik. A vizsgált időszak 1980 és 2023 közötti időszak volt.

A „flexible manufacturing” kifejezés az 1950-es években jelent meg először, amikor Jerome Hall először készített olyan gyártórendszert, amelyet számítógép jellegű chippek vezéreltek. Magát a szabványt Theo Williamson készítette el, és fejlesztette tovább a rendszer ezzel egyidőben 1965-ben.

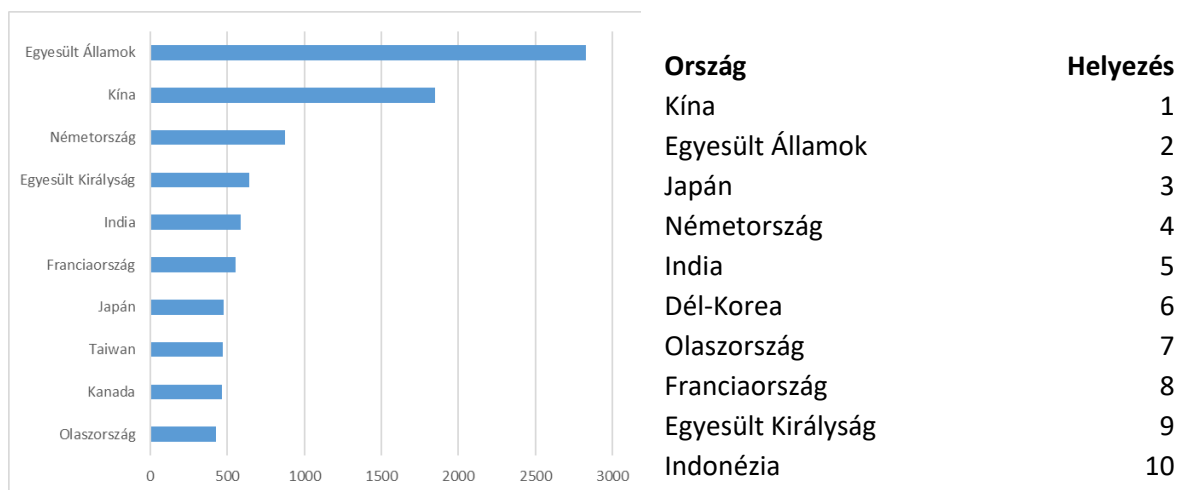


2. ábra Találatok éves bontásban a "Flexible manufacturing" kifejezésre a Scopus adatbázisban

Jól látható a grafikonon, hogy a rugalmas gyártórendszerek kutatása egy az 1980-as évek óta folyamatosan kutatott, releváns terület. A téma folyamatos aktualitását az a változás biztosítja, hogy világ gyártása az elmúlt fél évszázadban fokozatosan a kevés, de nagy mennyiségben gyártott termékek helyett mára már a nagy variációban és kisebb mennyiségben gyártott termékek irányába mozdult el. A grafikonra egy lineáris trendvonalat illesztve látható, hogy a trendvonal szerint is lassú, de folyamatos növekedés látható a releváns publikációk esetében. Szintén globális trend, amely a rugalmas gyártórendszerek szükségességét erősíti, hogy a termékek élelciklusa - tehát az a periódus, ami a termék fejlesztésétől a piacról történő kivonásig tart - jelentősen lecsökkent. Az új technológiák megjelenése és a gazdasági válságok minden esetben a kutatások aktívabbá válását okozták, ez figyelhető meg az 1980-as években, amikor a számítástechnika előretörésével a rugalmas gyártórendszerek megvalósítása jelentősen egyszerűbbé vált. Az 1990-es évek kutatási felfutása mögött valószínűleg a piac jelentősebb globalizációja, a növekvő versenyhelyzet és az automatizálás fejlődése áll. Hasonló növekedés látható a kutatásokhoz kapcsolódó publikációk számában a 2010-es években, ami a vevői igények rugalmasságának növekedésével és az egyre fejlettebb és egyre inkább összekapcsolt informatikai-automatizálási környezet megjelenésével magyarázható. Véleményem szerint a mesterséges intelligencia és az automatizálás egyre növekvő mértéke, és az automatizálásban az új eszközök elterjedése (pl. AGV-k, drónok) miatt a következő években ismét kiemelt kutatási területté válik a rugalmas gyártórendszerek területe.

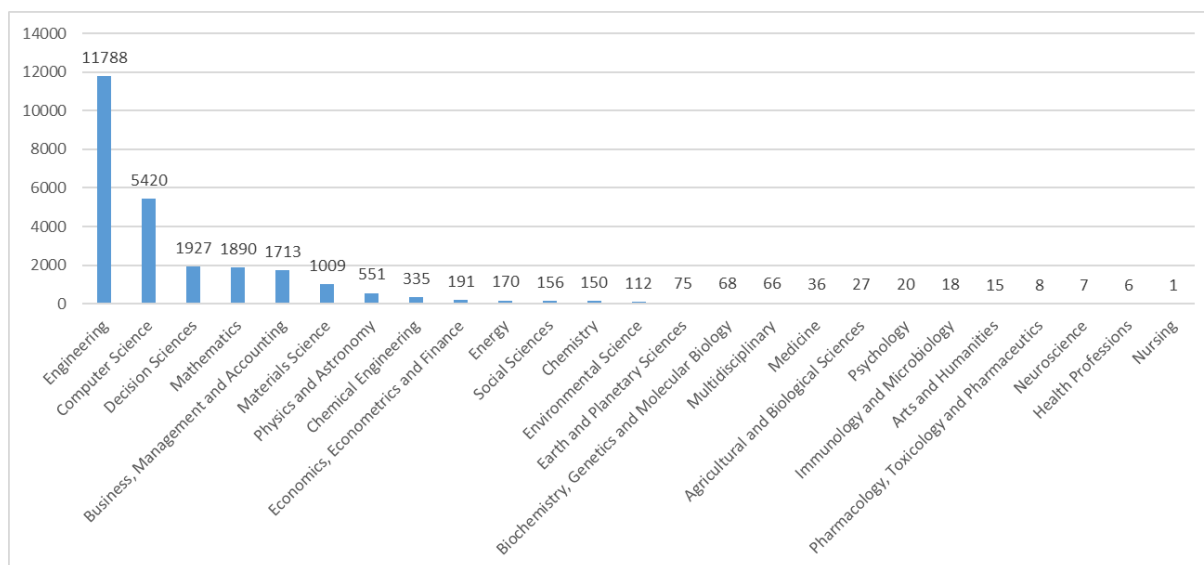
Bár a rugalmas gyártórendszer jellegű termelő területekre szoktak agilis és újrakonfigurálható gyártó rendszerekként is hivatkozni, véleményem szerint azok a fogalmak mást takarnak és nem feleltethetők meg egyértelműen a rugalmas gyártórendszer fogalmának. Ennek megfelelően azokkal kapcsolatos kereséseket nem végeztem.

A rugalmas gyártórendszerek kutatásának fontosságát alátámasztja az is, ha megvizsgáljuk, hogy a kutatások száma hogyan viszonyul az országok ipari-gyártási fejlettségéhez. A 3. ábra mutatja, hogy mely országokban készült a legtöbb publikáció a rugalmas gyártórendszerekkel kapcsolatban, illetve az ábra jobb oldala a 10 legnagyobb gyártó országot mutatja 2023-ból [2]. Láthatóan a 10 legnagyobb gyártó ország közül 8 ország rajta van a rugalmas gyártórendszerekkel kapcsolatban legtöbbet publikáló országok között. Tény, hogy a legnagyobb gazdasági erővel rendelkező országok szinte egyértelműen megjelennek egy ilyen listán, de nem lehet nem felfigyelni arra, hogy például Olaszország és Japán is megtalálható mindkét listán, ezek pedig a nagy gyártó országokhoz képest jóval kisebb országok.



3. ábra Rugalmas gyártórendszerekkel kapcsolatos publikációk és ipari termelés kapcsolata országoként

Látható a 4. ábra alapján, hogy a rugalmas gyártórendszerekhez kapcsolódó dokumentumok számos tudományághoz kapcsolódnak. Ennek részben az az oka, hogy a téma igen szerteágazó, részben pedig az, hogy szinte minden tudományág (egészségügy, energia szektor, mezőgazdaság stb.) számára kell gyártani, és a gyártás rugalmassága minden iparág számára fontos.



4. ábra Rugalmas gyártórendszerrel kapcsolatos kutatások tudományágak szerint

A kutatási célom az volt, hogy egy olyan, könnyen áttekinthető és gyorsan alkalmazható módszert dolgozzak ki a rugalmas gyártórendszerek tervezésére. Mivel már léteznek gyártósori elrendezés módszerek ezért a megközelítésem az volt, hogy egy már létező módszert szeretnék tovább fejleszteni.

Így az irodalomkutatás következő részében áttekintettem a leginkább ismert elrendezés tervezési procedurális módszereket. A vizsgálatba azok a módszerek kerültek bele, amelyek megfeleltek az alábbi kritériumoknak:

- részletesen dokumentált

- gyakorlatias, mérnökök számára készült
- megoldást nyújt a teljes elrendezés tervezési folyamatra

Immer alap lépések módszere (Immer's Basic Steps) (1950) a gyártósorok elterjedésének idejében jelent meg, nem véletlen, hogy azok tervezésére valósít meg egy módszert. A módszer három lépése a következő [3]:

1. A problémás folyamat papírra vetése
2. Anyagáram irányok felrajzolása
3. Anyagáram irányok helyettesítése konvektorokkal

Nadler ideális rendszere (Nadler's Ideal System Approach) (1961) egy olyan egymásra épülő megközelítést alkalmaz, amely

1. megcéloz egy elméletileg ideális rendszert,
2. koncepciót készít egy végcél ideális rendszert,
3. megtervez egy technológiailag működőképes ideális rendszert és
4. telepít egy javasolt rendszert [3].

Összességében törekszik a legjobb megoldásra, de lépésről lépésre a megvalósíthatóság céljából enged az eredeti elméletileg ideális rendszerből.

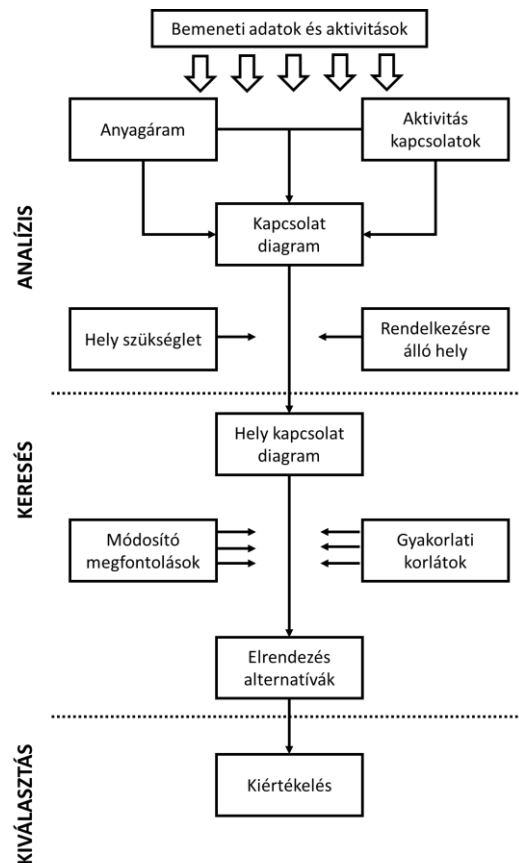
Reed gyár elrendezés módszere (Reed's Plant Layout Procedure) (1961) a következő lépéseket javasolja az elrendezés tervezés során [3]:

1. A gyártandó termék elemzése
2. A gyártási folyamat meghatározása
3. Elrendezés tervezési grafikonok elkészítése
4. Munkahelyek tervezése
5. Tároló hely igény elemzése
6. Minimális közlekedési folyosó szélesség meghatározása
7. Iroda terület igények meghatározása
8. Személyzeti helység és szolgáltatás igények meghatározása
9. Üzemi szolgáltatások felmérése
10. További fejlesztések biztosítása

Reed kiemeli, hogy a hatékony tervezéshez fontos, hogy a műveleti idők szttenderdek legyenek, illetve, hogy a folyamat során a gép és a dolgozói igény legyen kiegyensúlyozva.

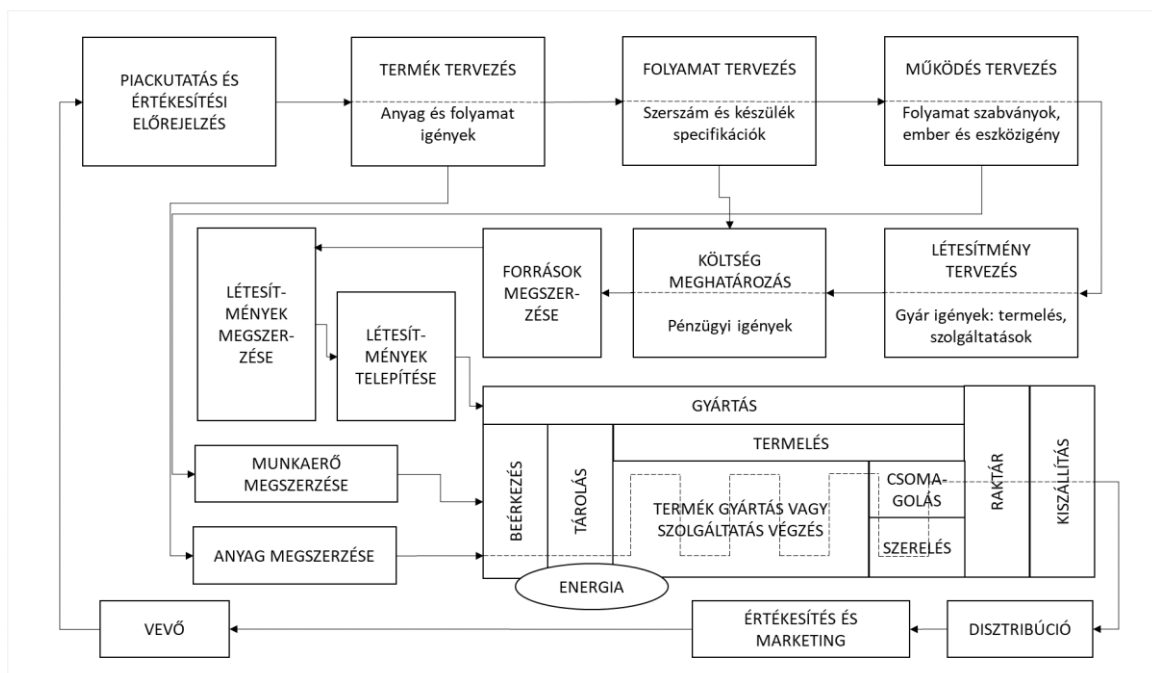
Muther szisztematikus elrendezés tervezés módszere (Muther's Systematic Layout Planning) (1961) az alábbi lépéseket követi [4]:

1. Alap adatok és aktivitások összegyűjtése
2. Anyagáram elemzése
3. Aktivitás kapcsolat diagram elkészítése
4. Kapcsolat diagram elkészítése
5. Hely igény felmérése
6. Rendelkezésre álló hely felmérése
7. Hely kapcsolat diagram elkészítése
8. Kényszerek és gyakorlati korlátok figyelembevétele
9. Elrendezés alternatívák készítése
10. Kiértékelés



5. ábra A Systematic layout Planning módszer folyamata [4]

Apple gyár elrendezés eljárása (Apple's Plant Layout Procedure) (1977) [5] hasonló folyamatot követ, mint Muther, azonban szélesebb körben foglalkozik a kapcsolódó menedzsment feladatokkal, és kevésbé mélyen foglalkozik a tervezés műszaki aspektusaival.



Ennek a módszernek a lépései a következők:

1. Alap adatok összegyűjtése
2. Alap adatok elemzése
3. Gyártási folyamat felépítése
4. Anyagáram minta megtervezése
5. Általános anyagmozgatási terv készítése
6. Berendezés darabszám szükséglet meghatározása
7. Az egyes munkahelyek, állomások megtervezése
8. Az anyagmozgató eszközök pontos kiválasztása
9. Műveletek csoportokba szervezése
10. Aktivitás kapcsolatok tervezése
11. Tároló hely szükséglet elemzése
12. Szolgáltatások és kiegészítő tevékenységek tervezése
13. Hely szükséglet elemzése
14. Aktivitások hozzárendelése a teljes területhez
15. Épület típusok átgondolása
16. Mester elrendezés átgondolása
17. Elrendezés kiértékelése, igazítása és ellenőrzése
18. Jóváhagyás
19. Telepítés
20. Az elrendezés karbantartása és életciklusának követése

Apple is kiemeli, akárcsak a többi módszer, hogy a lépések nem feltétlenül a fenti sorrendben követik egymást és az egyes lépések között időben átfedés is lehet. Szintén fontos, hogy bizonyos részei a tervezési folyamatnak iteratívak, egy adott lépés eredményétől függően elképzelhető, hogy egy korábbi lépésre vissza kell lépni módosításhoz.

Prasad és Srivastava cikkében [6] összehasonlította a fenti eljárásokat. A cikk 7 szempont alapján végezte az összehasonlítást és az eredmény azt tükrözi, hogy az adott módszer mennyire teljeskörűen fedí le egy elrendezés tervezési projekt feladatait.

A hét szempont a következő volt:

1. Szükséges bemeneti adatok
2. Grafikonok használata
3. Gráfok és diagramok használata
4. További fejlesztések figyelembevétele

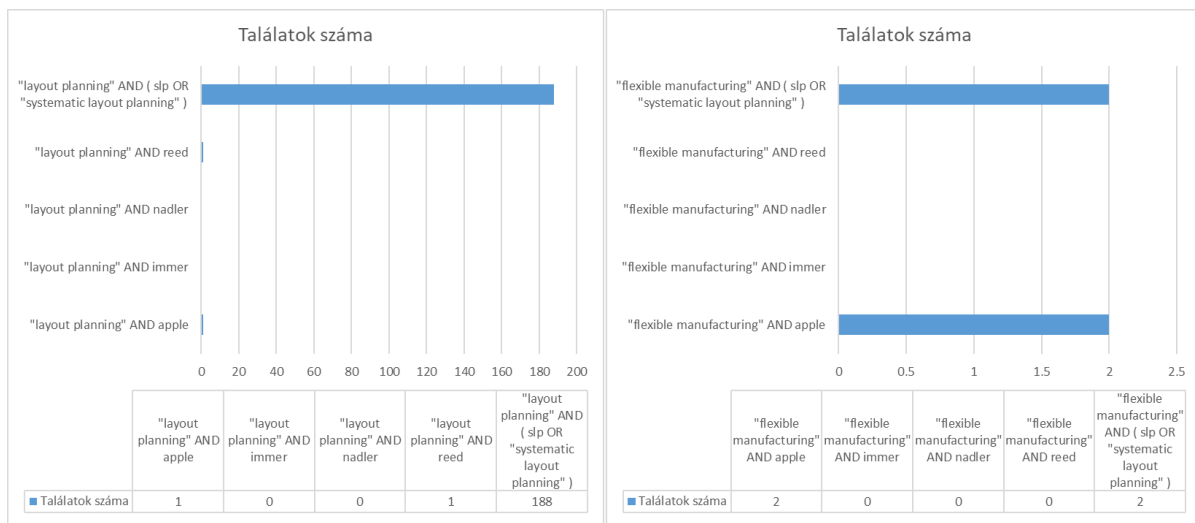
5. Kényszerek figyelembevétele
6. Folyamat alkalmazhatósága
7. Anyagkezelési szempontok figyelembevétele

Ezek alapján az alábbi sorrend jött létre arra vonatkozóan, hogy mennyire átfogó megoldást nyújt az elrendezés tervezésre az adott módszer:

1. Muther szisztematikus elrendezés tervezés módszere
2. Apple gyár elrendezés eljárása
3. Reed gyár elrendezés módszere
4. Nadler ideális rendszere
5. Immer alap lépések módszere

Fontos megjegyezni, hogy bár a Muther módszer magasan a legjobb eredményt érte el, két kiértékelési szempont esetében gyenge pontszámot kapott, ezek a további fejlesztések és az anyagkezelési szempontok figyelembevétele.

Az irodalom feldolgozása során ezeken túlmenően vizsgáltam, hogy a korábban leírt elrendezés tervezési módszertanok mennyire használtak kutatás céljára, melyek azok, amelyeket kutatók kibővítettek vagy továbbfejlesztettek 7. ábra.



7. ábra Elrendezés tervezési módszerek és a kapcsolódó kutatási dokumentumok száma

Láthatóan más kutatók is leginkább a Muther féle szisztematikus elrendezés tervezési módszerre építve végeztek kutatásokat. Annak érdekében, hogy meggyőződjek, hogy hasonló kutatást nem végeztek még a találati listában szereplő cikkeket áttekintettem, összefoglalásuk az alábbiakban található. A Scopus adatbázis az SLP OR „systematic layout planning” 188 darab dokumentumot adott vissza. Ezeket átnézve 43 tételt zártam ki. A kizárások oka az volt, hogy az adott cikk nem gyártással kapcsolatban foglalkozott az SLP módszerrel, hanem például építőipar, oktatás vagy egészségügy területén. A

megmaradt 145 dokumentumot részletesen áttekintettem a téma, az alkalmazási terület és különös tekintettel a rugalmas gyártórendszerekkel való kapcsolat alapján.

A 145 dokumentumot további két nagy csoportba soroltam, a hagyományos alkalmazás és a digitális alkalmazás csoportokba. A dokumentumok áttekintése során látható, hogy az SLP módszer számos iparágban és területen használható.

A hagyományos alkalmazás csoportba kerültek azok a cikkek, összesen 96, amelyek az SLP módszert az eredeti papír alapú formájában alkalmazták. Ezek között több cikk is igyekezett más módszerekkel kombinálva továbbfejleszteni a módszert.

Ramos-Valle és szerzőtársai [7] és Diaz és szerzőtársai [8] kutatásaikban az 5S módszerrel egészítették ki az SLP módszert azzal a céllal, hogy az elrendezésen belül a dolgozói munkahelyek jobban használhatók legyenek.

Diaz és szerzőtársai [8] emellett a CONWIP és a Kanban módszerek felhasználásával a készletek csökkentése és a fölösleges dolgozói és anyagmozgatás csökkentése irányába fejlesztették a módszert.

Alvarado-Pajares és szerzőtársai [9] a Lean koncepciókat igyekeztek összevonva alkalmazni az SLP módszerrel, így egy már meglévő elrendezésen a gyártási folyamatok standardizálásával, az 5S és a továbbfejlesztés érdekében több PDCA ciklust használva érték el jelentős eredményt a teljes átfutási idő csökkentésével. A csökkenés legnagyobb része az elrendezés átalakításából és ezzel a szállítási távolságok és idők csökkenéséből származott.

Több kutatás is foglalkozott az SLP módszer utolsó lépésében kapott elrendezés alternatívák kiértékelésének módjával. Li és szerzőtársai [10] egy pontozási rendszert használtak, míg Quamar és szerzőtársai [11] több paraméteres súlyozott kritérium rendszert használtak az elrendezés alternatívák összevetésére.

Számos kutatás iránya az SLP módszer logisztikában és raktározásban történő alkalmazása. Liu is szerzőtársai [12] logisztikai központ kiszolgálásának fejlesztésében vizsgálták az SLP alkalmazhatóságát.

Több cikk az SLP módszer kifejlesztőihez kapcsolódó SHA (Systematic Handling Analysis) [13] módszerrel kombinálta a kutatást. Yang [14] az SLP elrendezés tervezését együtt vizsgálta alkalmazási példán keresztül az anyagmozgatás SHA módszerrel történő leírásával és így fejlesztette egy vállalat logisztikai kiszolgálási folyamatait. Hasonló alkalmazott kutatást végzett Jianhua és Lijing is [15].

A digitális alkalmazás csoportba 49 dokumentum került. Ezek közös jellemzője az, hogy az SLP módszer alkalmazása során felhasználtak valamilyen digitális eszközt. A felhasznált digitális eszközök széles palettán mozogtak az Excel makrók és megoldóktól a komplett digitális iker létrehozására alkalmas diszkrét esemény vezérelt szimulációig. Ezek a kutatások számomra kiemelten fontosak

voltak, mivel ezek is jól mutatják, hogy a gyártási folyamatok és az elrendezés tervezés fontos része a digitális ikerpár és az ahhoz kapcsolódó vizsgálatok.

Pacheco-Colcas és szerzőtársai [16] az élelmiszeriparban vizsgálta, hogy az SLP módszer hogyan kapcsolható össze a Lean módszerekkel és azon keresztül a karbantartás tervezéssel. A karbantartást (tisztítás) az élelmiszeriparban bevett gyakorlatnak megfelelően a sztenderd folyamat részeként kezelték. A kidolgozott módszerhez a gyártási sorrendet szimulációs modellben hozták létre és így tesztelték az eredményeket egy COVID előtti és a COVID által érintett üzleti környezetben.

Genetikus algoritmus alapú módszert többen használtak elrendezés tervezés részfeladatainak vizsgálatára. A genetikus algoritmushoz szinte kivétel nélkül valamilyen eseményvezérelt szimulációs szoftvert használtak a kutatók (Matlab, Plant Simulation, Simul8, Excel megoldó, Flexsim,...).

Granda-Gutierrez és szerzőtársai [17] egy ipari projektben a manuális gép és gépcsoport lokáció kiválasztásának felgyorsítására alkalmaztak genetikus algoritmust.

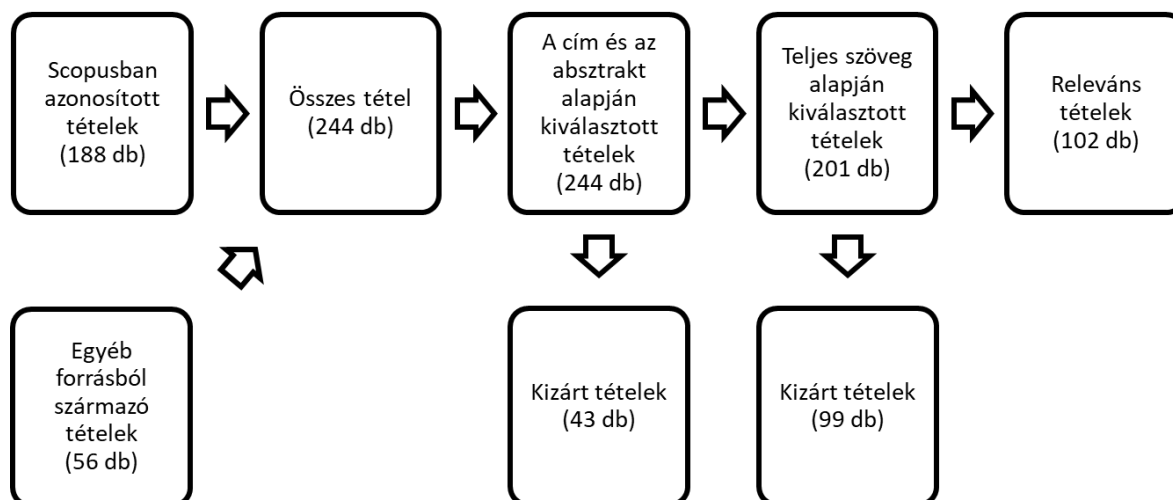
Gao és szerzőtársai [18] is egy ipari példán alkalmazták az SLP módszert, az optimalizálást mindösszesen az egyes gyártóhelyek pozíciójának változtatására és ezzel a szállítási útvonal csökkentésére használva.

A genetikus algoritmus alapú erőforrás helyzet optimalizálást többen is használták [19] [20] [21] [22], általában felhasználva az adott szoftvereszközben készen meglévő genetikus algoritmust.

Többen a raktározási részfeladatokat és raktár elrendezési feladatokat vizsgáltak ilyen módon. Zhang és szerzőtársai [23] egy disztribúciós központot elrendezését elemezték, itt is az anyagáram elemek pozícióját helyezve a központba.

Bár ezeknek a kutatásoknak mindegyike izgalmas területet ölel fel, közös jellemzőjük, hogy az eredeti SLP módszert változatlanul hagyták, csupán annak egyes fázisait korszerűbb számítási eszközökkel támogatták.

Az irodalom áttekintési folyamatot PRISMA folyamatábrában [24] foglaltam össze (8. ábra).



8. ábra A szakirodalom kiválasztási folyamatábrája a PRISMA modell alapján (saját szerkesztés)

Mivel a kutatás során erősen támaszkodtam a Systematic Layout Planning (SLP) módszertanra, ezért ezzel kapcsolatban is megvizsgáltam a releváns irodalmat. Itt a keresési kifejezés az SLP OR „systematic layout planning” kifejezés volt. Mivel több tudományág is használja az SLP betűszót különböző fogalmak rövidítéseként, ezért a találati listát leszűrtem az „Engineering” területre. Mivel még a mérnöki területen is különböző fogalmakra használják az SLP rövidítést (pl. stable link prediction) ezért a további szűrést már manuálisan kellett elvégezni főleg a cím és az absztrakt alapján.

Mivel a fenti két szakirodalmi terület vizsgálata során a kettő között átfedést nem találtam, ezért közvetlen kereséssel ezt is megvizsgáltam. A „flexible manufacturing” AND „SLP” illetve a „flexible manufacturing” AND „systematic layout planning” kifejezésekre a Scopus adatbázisban mindössze 2 darab publikáció található [25] [26].

A fenti irodalom áttekintésből is látható, hogy a kutatási területem releváns, viszont megállapítható, hogy az általam választott kutatási irány jelenleg egyáltalán nincs lefedve kutatásokkal és azokból származó eredményekkel.

Kapcsolódó területek és módszerek áttekintése

A kutatás során számos terület tudásanyagára és korábbi eredményeire támaszkodtam. Ezeknek a kutatás szempontjából fontos főbb elemeit foglalja össze ez a fejezet.

Rugalmas gyártórendszerek áttekintése

A vevői igények az elmúlt évtizedekben nagyon sokat változtak. Az már természetes, hogy egy autó rendelésekor szinte minden paraméterét külön lehet konfigurálni. A DELL volt a számítógépes gyártók közül az első, aki lehetővé tette az ügyfelek számára a számítógépek konfigurálását a rendeléskor. Még ezen is továbblépett a NIKE, amikor színében, mintájában, cipőfűző jellemzőiben teljesen konfigurálható cipőket kezdett árulni. Ezek az üzleti modellek sikeresek lettek, hiszen mindenki szeret egyedi lenni és az egyediség által kifejezni a személyiségét. Bár a vevők boldogok ezekkel az új rugalmas vásárlási lehetőségekkel, mindeközben komoly kihívások elé állítják a gyártó cégeket, akiknek ezeket az egyedi igényeket kell megvalósítaniuk a sorozatgyártásban.

A legfontosabb trendeket az alábbi három pontban lehet összefoglalni a gyártásban:

- növekvő termék komplexitás, összetettség,
- növekvő árharc,
- rövidebb piacra kerülési idő és lerövidült termék életciklus.

Az igények rugalmasságának növekedésére egyértelműen csak a kiszolgálás rugalmasságával lehet válaszolni, ami magával vonja a gyártás rugalmasságának igényét.

Mindezek miatt egyre fontosabbá válik, hogy a gyártósorok minél rugalmasabbak legyenek. A rugalmasság fő szempontja, hogy a lehető legrövidebb idő alatt és a lehető legalacsonyabb költség mellett lehessen új terméket bevezetni az adott gyártósorra. Számos olyan technológia tört előre az elmúlt években, amely nagy mértékben támogatja a gyártósorok rugalmasságát. Ezek többek között:

- a növekvő automatizáltsági szint főleg a szerelés területén
- az additív technológiák előretörése, amelyek nem csupán egyszerűsítik a folyamatokat, hanem növelik azok stabilitását is
- az ipari automatizálási eszközök fejlődésének köszönhetően komplex vezérlési logikák megvalósíthatósága, szükség esetén mesterséges intelligencia komponensek integrálásának lehetősége

Fontos megjegyezni, hogy a rugalmas gyártórendszerek a termékek sokfélesége és rövid életciklusa miatt sokkal jellemzőbbek a diszkrét gyártásra, mint a folyamatalapú vagy flow gyártásra.

A rugalmas gyártórendszerek (Flexible Manufacturing Systems, rövidítve FMS) eredete az 1960-as évekre vezethető vissza, amikor az első számítógéppel vezérelt gépeket fejlesztették ki a gyártásban

való felhasználásra. Ezek a gépek sokféle feladat elvégzésére voltak képesek, és sokkal rugalmasabbak voltak, mint a hagyományos gyártóberendezések. Az FMS a termelési folyamatok nagyobb alkalmazkodóképességének és hatékonyságának igényére adott válaszként fejlődött ki.

A rugalmas gyártással kapcsolatban Jerome H. Lemelson amerikai ipari mérnök és feltaláló dolgozta ki az alapokat és az 1950-es évek elején számos kapcsolódó szabadalmat nyújtott be. Eredeti terve egy robot alapú rendszer volt, amely képes hegeszteni, szegecselni, szállítani és ellenőrizni az iparcikkeket.

Az első valódi FMS a Molins Company által az Egyesült Királyságban 1967-ben készített gép volt, amelynek tervezése David Theodore Nelson Williamson nevéhez fűződik [27]. Ez a rendszer a System-24 nevet a napi 24 órában való felügyelet nélküli működési képessége miatt kapta. A rendszer a Molins cég számára készült és a fejlesztést szabványként is bejegyezték.

A szabvány bevezetőjében Williamson így foglalja össze a találmányának a lényegét [28]: „Egy rendszer, amely több numerikus vezérlésű szerszámgépet tartalmaz, amelyekben különböző a munkadarabok a megfelelő sorrendben a megfelelő műveletekkel kerülnek gyártásra úgy, hogy a darabokat egységes paletták juttatják el a gépekbe. Szállítóeszközök juttatják el a palettákat a szerszámgépekhez, a tárolókhoz és a munka vezérlő állomásokhoz, ahol a darabok a tárolókból felkerülnek a palettákra. A szerszámtárból is szállítóeszköz juttatja el a szerszámokat a gépekhez. A szállítási és a megmunkálási műveletek számítógépes vezérlésűek, és folyamatos a visszajelzés a paletták, tárolók és szerszámok helyéről a rendszerben.” Ez a megfogalmazás a mai rugalmas gyártórendszerek többségére is igaz.

A rugalmas gyártórendszerek fogalmának definíciójára számos megközelítés létezik [29] [28] [30] [31] [32], de véleményem szerint a legjobb definíció maga az elnevezés. Olyan gyártórendszer, ami rugalmas. A rugalmasság fogalma is változhat a gyártósorral kapcsolatos céltól függően [33], de a leginkább általános, hogy a gyártósor attól rugalmas, hogy a paramétereinek és komponenseinek rugalmassága révén különböző termék kombinációkat is az elvárt darabszámban tud gyártani.

A rugalmasság megjelenhet:

- a termék útvonalában illetve a folyamat rugalmasságában
- a gépek rugalmasságában
- a termékmix rugalmasságában
- a gyártandó mennyiség rugalmasságában

Ezzel a szemlélettel sikerült annak a korábbi elképzelésnek a megváltoztatása, hogy jó minőségű termékeket gyorsan és gazdaságosan csak tömeggyártással lehet készíteni.

A rugalmas gyártó rendszerek alapvető célja, hogy különböző termékek gyártását biztosítsa ugyanazon rendszeren belül. A rugalmas gyártórendszerek képesek arra, hogy egymástól akár jelentősen

különböző termékeket gyártsanak, ha azok technológiai lépései és igényei egymáshoz hasonlóak. A rugalmas gyártórendszerek célja emellett a termékek testreszabhatóságának a támogatása is a gyártás során. [34]

A vállalatoknak az egyre erősebb versenyben előbb-utóbb management szinten ki kell választaniuk egy-két olyan kompetenciát, amelyben az adott vállalat képes versenyezni, amelyik területen a versenytársainál jobb teljesítményt tud nyújtani. Ilyen kompetenciák lehetnek az ár, a minőség, extra szolgáltatások stb. Azzal, hogy a vevői igények egyre inkább rugalmassá válnak egyre több vállalat érzi úgy, hogy ilyen kulcs kompetencia a rugalmasság. Gyártó cégek esetében a rugalmasságnak két fő típusát különböztethetjük meg:

- termék rugalmassága (konfiguráció alapon széles termékpaletta gyártásának képessége)
- kapacitás rugalmassága (a kereslet mennyiségi változásaira való reagálás)

Ehhez az kell, hogy a termelésben lévő eszközök, rendszerek különböző sebességgel képesek legyenek működni.

A gyártási rugalmasság komponensei:

- gyártási rugalmasság: ugyanazon termék több gépen, vagy egy gépen többféle termék gyártása
- új termék rugalmasság: mennyire könnyen lehet új terméket integrálni a meglévő gyártásba
- gép rugalmasság: mennyire tudnak az eszközök alkalmazkodni a termék fejlesztése során létrejövő változásokhoz

A rugalmas gyártórendszerek jellemzően batch (kötegelt) gyártásban vagy job shop jellegű gyártásban jelennek meg.

Az FMS fő célja megközelíteni a tömeggyártás hatékonyságát, valamint fenntartani a kis és közepes sorozatnagyság adta rugalmasságot.

Annak, ha egy gyártósoron több terméket is lehet gyártani egy másik gazdasági előnye is van, jobban kihasználható a kapacitás. Ha az egyik termék iránt csökken a kereslet, akkor lehet a másiktól többet gyártani, vagy hasonlóan mindig egy gazdaságos gyártási termékmixet összeállítani.

A rugalmas gyártórendszerek lényege, hogy egy időben több terméktípust is tudnak hatékonyan gyártani. Régebben egy termékcsalád több tagjáról beszéltünk, a mai rugalmas gyártórendszerek gyakran már több termékcsalád tagjait is tudják gyártani. Azt, hogy milyen termékeket lehet egy gyártósoron gyártani legfőképpen az alkalmazott technológia szabja meg. Általánosságban elmondható, hogy azok a termékek integrálhatók hatékonyan egy gyártósorra, ahol a méretek hasonlóak, a felhasznált technológiai lépések nagy mértékben közösek és a gyártási idejük hasonló. A hatékonyság ebben az esetben főleg azt jelenti, hogy a többféle típus gyártása nem okoz komoly extra veszteséget a dedikált gyártósorokhoz képest. Ennek az alapja az, hogy ha az állomásokon az egyes típusok közötti

átállítás (szerszámcseré, konfiguráció változtatás, program frissítést stb.) ideje minimális, közel nulla. Ez azt jelenti, hogy az átállásokkal, a típusváltásokkal a sor csak csekély kapacitást veszít.

A rugalmas gyártórendszerek másik nagy előnye, a szinte tetszőleges gyártási szekvencia, vagyis az a képesség, hogy szinte tetszőleges sorrendben indíthatók el a termékek, elméletben a batch méret 1 darab. Ez jellemzően azt is jelenti, hogy ezek a gyártórendszerek kisebb soron belüli készletekkel és rövidebb átfutási időkkel tudnak működni.

A rugalmas gyártórendszerek esetében a hangsúly a rendszer kifejezésen van. A rugalmas gyártórendszerek legnagyobb előnye ugyanis, hogy egy rendszert képeznek, rendszer szinten tekintenek rá és hajtják végre az adott termékek gyártását. Ebből a magas fokú rendszerszemléletből származik a rugalmasságuk, viszont ez okozza azt a komplexitást is, ami miatt a tervezésük kihívást jelent.

Bár különböző definíciók léteznek a rugalmas gyártórendszerekre, abban mind egyetért, hogy olyan rendszer, amelynek a fő komponensei [35] [36]:

- a gyártó gépek és berendezések
- a köztük kapcsolatot létesítő automata anyagmozgató rendszerek
- és az előző kettőt vezérlő és a rendszer működését biztosító vezérlési logika.

A rugalmas gyártórendszereknek a kialakításuktól függően 5 fő típusát különböztetjük meg [35] (9. ábra):

- progresszív vagy sor jellegű (in-line or progressive)
- hurok jellegű (loop)
- létra (ladder) jellegű
- nyitott (open field) jellegű
- robotos (robot centric) jellegű

A rugalmas gyártórendszerek esetében nem ritka a 20-40 együttműködő gép sem. Azokban az esetekben, amikor néhány gép dolgozik együtt (2-5) azokat általában rugalmas gyártócelláknak nevezzük és robotos jellegű a megvalósításuk.

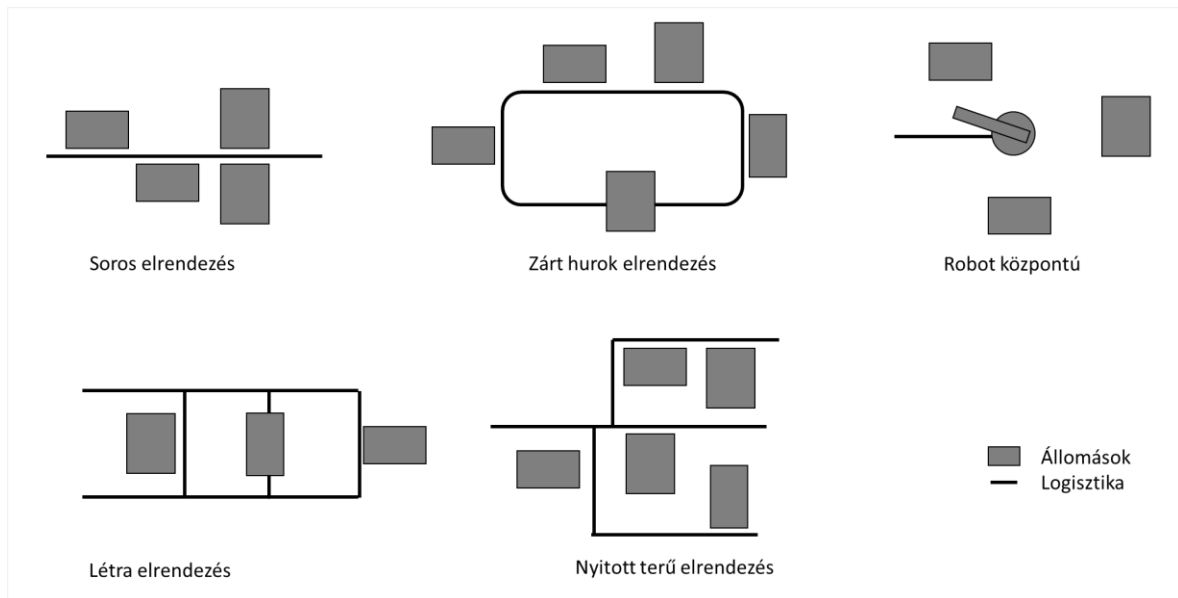
Ha megnézzük a rugalmas gyártórendszereket, akkor a legegyszerűbb bontásban az alábbi komponenseket különböztethetjük meg rajtuk:

- munkahelyek (ezek lehetnek manuális vagy automata állomások, megmunkálógépek, ellenőrző állomások, robotok vagy bármilyen más tevékenységet végző berendezések)
- tároló rendszerek (ilyenek például a pufferek, az alapanyag ellátó rendszerek)
- anyagkezelő rendszerek (ezek biztosítják a termékek, darabok továbbítását az állomások és a tároló rendszerek között)

- vezérlő rendszer (ez biztosítja a teljes rendszer működését a benne leképezett vezérlési logika segítségével, jellemzően számítógépek és PLC elemek együttese alkotja ezt)

A rugalmas gyártórendszerek tervezése során ezeknek a komponenseknek a tervezése nem választható el egymástól.

A munkahelyek esetében a vezérlő rendszernek kell biztosítani a megfelelő anyagellátást, a hibák és problémák esetén történő reagálást.



9. ábra Rugalmas gyártórendszerek típusai

A vezérlő rendszernek a fő feladatai az alábbiak lehetnek:

- munkahelyek kihasználtságának biztosítása megfelelő anyagellátással (anyagáram kontrollálása)
- rendszer elemei közötti kommunikáció kontrollálása, összehangolása
- a rendszer elemeinek kezelése nem várt események (hibák, stb.) esetén (ütemezés) és a változásoknak megfelelő adaptív döntések meghozása
- minőségbiztosítás és selejt kezelése
- a rendszer elemeihez kapcsolódó teljesítménymutatók összesítése (adatgyűjtés és elemzés)

A Loop, a Ladder és az Open Field layout esetében az anyagmozgatást vagy konvektor pályákkal, vagy gyakran AGV-k használatával oldják meg. Az AGV-k fő előnyei és hátrányai a következők a konvektor alapú anyagmozgatással összehasonlítva (1. táblázat):

Előnyök	Hátrányok
---------	-----------

Rugalmas anyagkezelést tesz lehetővé	Bár csökken a technológia ára, az akkumulátor
Segít a környező gyártórendszer rugalmasabbá tételében	ára korlátozza a további jelentős árcsökkenést
Jó anyagáram kontrollt tesz lehetővé	Vezérléséhez komolyabb informatikai környezet szükséges
Könnyen átépíthető	Az akkumulátor miatt a környezeti terhelés nagyobb lehet
Könnyen cserélhető meghibásodás esetén	A töltési ciklus miatt komplex vezérlőrendszer szükséges a megfelelő kihasználtságukhoz
Könnyű karbantarthatóság	
Rugalmas és adaptív vezérlés építhető köré	

1. táblázat AGV anyagáramlás előnyei és hátrányai konvejos anyagmozgatással szemben

A szállító, anyagmozgató eszközök esetében a szükséges mennyiség meghatározása kiemelkedően fontos, főleg azért, mert ezek az eszközök sok esetben a puffer szerepét is betöltik ezekben a rendszerekben.

Összefoglalva a rugalmas gyártórendszerek előnyeit és hátrányait (2. táblázat), szembetűnő, hogy a számos előny miatt gyakorlatilag mindenhol érdemes ilyen rendszert használni, ahol a magasabb költségeket ki tudja termelni.

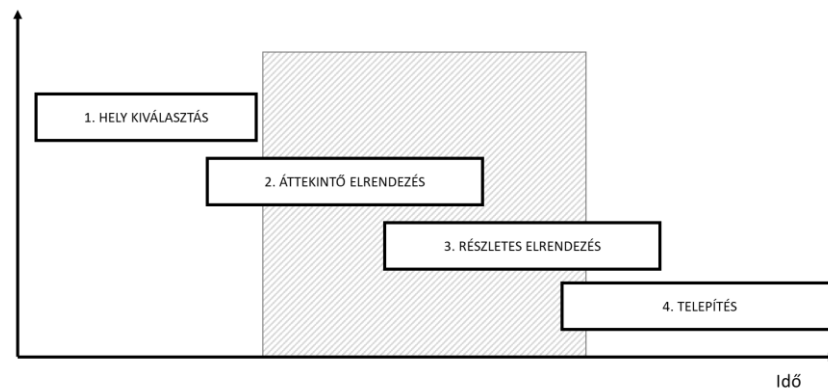
Előnyök	Hátrányok
Kevesebb selejt	Jellemzően alkatrészcsaládok gyártására használhatók (3D nyomtatás?)
Kevesebb munkaállomás	Nem minden esetben gazdaságos
Gyorsabb átállások	Dolgozói ellenállás az automatizálás miatt
Csökkentett állásidő	Magasabb költség
Jobb minőség	
Kevesebb dolgozó	
Hatékonyabb gépkihhasználtság	
Kisebb folyamat közti készlet (WIP)	
Nagyobb rugalmasság	

2. táblázat Rugalmas gyártórendszerek előnyei és hátrányai

Szisztematikus elrendezés tervezés (Systematic Layout Planning – SLP)

Az elrendezések tervezését sokféleképpen lehet végezni. Bár a módszerek különbözhetnek, a legfontosabb, hogy az elrendezés tervezés egy strukturált folyamat legyen, amely végigvezeti a tervezésben résztvevőket a tervezés kezdeti lépéseitől a telepítésig a teljes folyamaton. Az irodalomkutatás során látható volt, hogy a Muther féle SLP módszer a leginkább kidolgozott és leginkább nyitott módszer a továbbfejlesztésre. Ebben a részben áttekintjük az eredeti SLP elrendezés tervezési módszert, amelynek a folyamatát az 5. ábra mutatja be.

Az elrendezés tervezés során feltételezzük, hogy a gyártóterület, a gyártósor helye már kiválasztásra került, az ehhez kapcsolódó paraméterek (épület, terület) adottak. Ennek megfelelően nem témája az elrendezés tervezésnek az épület és gyártóhely építészeti és szerkezeti tervezése sem. Emellett nem foglalkozunk a sor telepítésének kérdéseivel sem, azok túlmutatnak a tervezési módszertanok keretein. Ennek megfelelően a kutatás témája a sor tervezése és annak folyamata.



10. ábra A gyártervezési folyamat fő lépései [4]

Az elrendezés tervezéshez természetesen minden esetben számos egyéb tevékenység is kapcsolódik (projekt management, pénzügyek kezelése stb.) azonban ebben a dolgozatban az elrendezés tervezés mérnöki részére helyezem a hangsúlyt. Emellett foglalkozni fogok a gyártósor, mint termék életciklusával is, mivel az közvetlenül befolyásolja a tervezési szempontokat.

Bemeneti adatok

Az első és legfontosabb lépés a tervezéshez szükséges adatok összegyűjtése. Erre az SLP módszertan a könnyen megjegyezhető PQRST rövidítést használja, ahol az egyes betűk jelentése a következő:

P(rodect): a gyártandó termék és annak jellemzői, beleértve az alapanyagot és a félkész vagy beépülő termékeket is.

Q(uantity): a gyártandó mennyisége a terméknek, illetve a felhasznált mennyisége az alapanyagoknak és a félkészeknek. Ez az adat általában szorosan kapcsolódik a termék darabjegyzékéhez (BOM – Bill of Material).

R(outing): ebbe az információs kategóriába tartozik a gyártási folyamatterv, a gyártási sorrend, illetve a gyártógépek fő jellemzői, amelyeken a termék gyártása történik.

S(upporting services): a támogató tevékenységek legfontosabb része a gyártást támogató logisztikai folyamatok. Ilyenek lehetnek pl. a megbeszélő területek, az AGV töltőállomások, bármi, ami kapcsolódik és szükséges a folyamatokhoz, illetve, aminek helyigénye van.

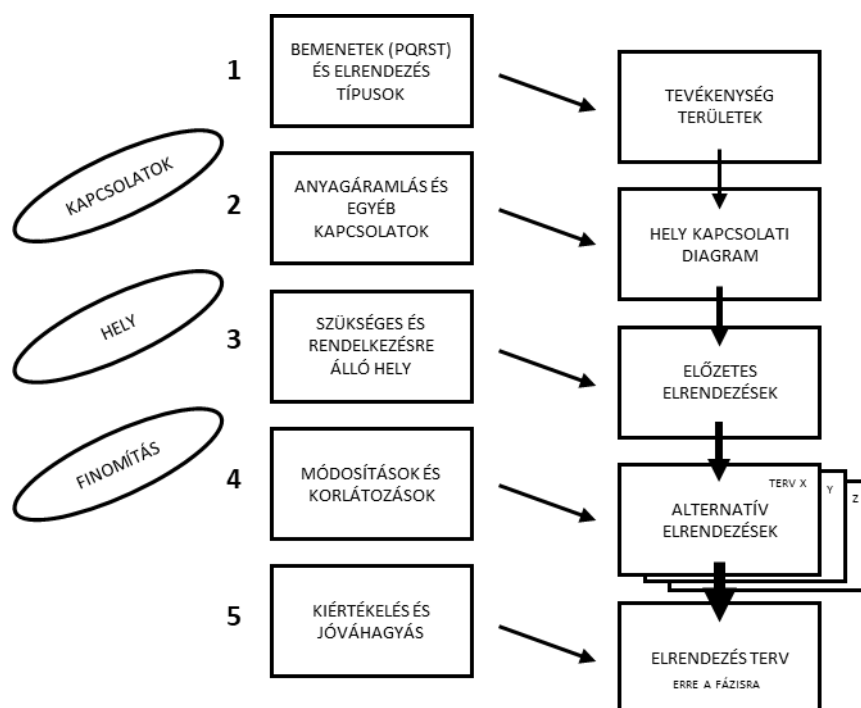
T(time): az időzítésbe bele tartozik a gyártósor ritmusa, a vevői igények alapján és minden olyan időzítési kérdés, amely a sori működést befolyásolja.

A módszertan alapja, hogy minden gyártási elrendezés három alapon nyugszik:

1. Kapcsolatok (relationships) – az elemek között megkívánt közelség vagy távolság foka.
2. Hely (space) – a szükséges és a rendelkezésre álló hely közötti kompromisszum megtalálása
3. Finomítás (adjustment) – a különböző elrendezésváltozatok közötti iteráció, kiválasztás

Tervezési folyamat

Az SLP tervezési folyamat 5 lépésből áll, amelyeket a tervezés különböző szintjén egymásra épülve többször meg lehet ismételni. Például ugyanezen lépések használhatók a csarnokon belül a gyártási területek helyének és kapcsolatának tervezésére és utána ugyanezen gyártási területeken belüli gépek és munkahelyek helyének és kapcsolatának részletes tervezéséhez.



11. ábra Az SLP tervezési módszertan mintázata [4]

A tervezési folyamat első lépése a bemeneti adatok (PQRST) feldolgozása. Ennek a lépésnek az eredménye a Tevékenység területek listája (részlegek, cellák, gépcsoportok, anyagátvevő területek stb.).

Az SLP módszertan a termék (P) és mennyiség (Q) információkhoz kapcsolódóan fontosnak tartja a tervezés során ezek időbeni P-Q függvényének vizsgálatát is. A P-Q függvény úgy hozható létre, hogy csökkenő sorrendbe állítva az adott időszakra (pl. év) a termékek gyártási mennyiségét, a vízszintes tengelyen a termékeket és a függőleges tengelyen a belőlük gyártandó mennyiséget ábrázoljuk.

A PQ arány hatással van annak kiválasztására, hogy milyen jellegű gyártósor kerül kialakításra. Ha például a PQ arány azt jelzi, hogy csak 1-2 típust kell gyártani nagy darabszámban, akkor érdemes

dedikált gyártósort készíteni ezekre. Ha a PQ arányból az látszik, hogy a sok különböző terméket kell gyártani kisebb darabszámban, akkor viszont valószínűleg egy műhely jellegű elrendezés a megfelelő.

Az alap adatokból meg kell határozni az ún. Tevékenység területeket (Activity areas). Ezek azok a területek, amelyek bármilyen szempontból fontosak a gyártás számára, ezek az alábbi főbb kategóriákba sorolhatók [4]:

- Termeléshez kapcsolódó részlegek
 - o Szerelés, festés, minőségellenőrzés, tesztelés, ...
- Személyzeti részlegek
 - o Étkező, pihenő, mosdó, öltöző, parkoló, ...
- Támogató részlegek
 - o Recepció, tárolók, raktárak, irodák, ...
- További részlegek
 - o Oktatóterem, ügyfélszolgálat, konferenciaterem, ...

A következő lépésben az anyagáramlás vizsgálata történik. Az anyagáramlás leírására két módszert javasol a módszer. Az egyik a folyamat grafikon (3. táblázat), a másik pedig a honnan-hova táblázat (4. táblázat).

Termék/ gép	P1	P2	P3	P4
S1	1	1		1
S2	2	2	1	2
S3				
S4	3	3	2	
S5		5		3

3. táblázat Folyamat grafikon példa

Az anyagáram vizsgálatának a javasolt SLP eszköze nagy számú, változatos termék esetén a honnan-hová táblázat [4]. Az SLP terminológiát használva a honnan és a hova helyek megfeleltethetők a korábban összegyűjtött Tevékenység területeknek. A táblázat formátumát a 4. táblázat mutatja. Az egyes cellák a

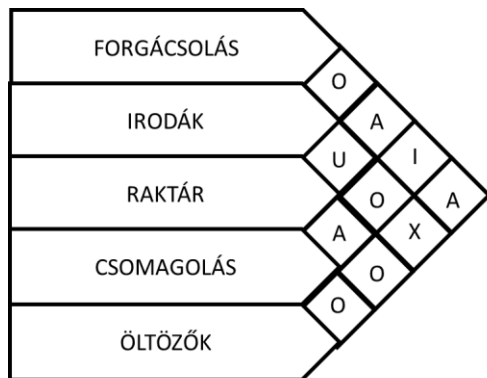
Honnan - hová	S1	S2	S3	S4	S5
S1	0				
S2		0			
S3			0		
S4				0	
S5					0

4. táblázat Honnan-hova táblázat formátuma

Az SLP módszertan kifejti [4], ahogy az anyagáram önmagában nem elégséges egy rendszer elrendezésének és működésének egyértelmű meghatározására. Az alábbi tényezők is fontosak lehetnek:

- a támogató szolgáltatásokat (logisztika, szerszámellátás stb.) is integrálni kell a folyamatba, az anyagáramba
- lehetnek olyan tevékenység helyek, amelyekbe bár nem történik anyagáram, a közelségük a termeléshez fontos lehet (pl. egy iroda, ahonnan irányítják a termelést)

A fentiek figyelembevételére érdekében az SLP módszertan bevezette a Kapcsolati diagramot (relationship chart), amely az egyes tevékenység területek kapcsolatának gyakran nem is számszerűsíthető paramétereit foglalja össze.



	FORGÁCSOLÁS	IRODÁK	RAKTÁR	CSOMAGOLÁS	ÖLTÖZŐK
FORGÁCSOLÁS	-	O	A	I	A
IRODÁK		-	U	O	X
RAKTÁR			-	A	O
CSOMAGOLÁS				-	O
ÖLTÖZŐK					-

12. ábra Kapcsolati diagram és táblázatos megjelenítése

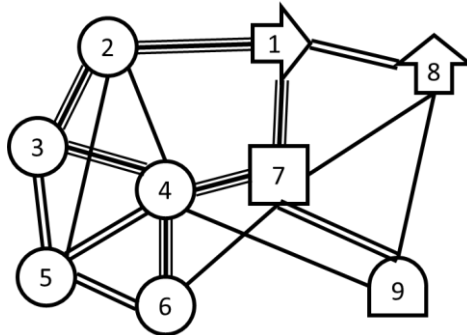
A kapcsolati diagram megmutatja, hogy mely tevékenység területek kapcsolódnak mely tevékenységi területekhez. Emellett súlyozza a fontosságát a területek egymáshoz való közelségének. A súlyozás kategóriák alapján történik.

Kategória jelölés	Elnevezés
E	Especially important (elengedhetetlenül fontos)
I	Important (igazán fontos)

O	Ordinary (ott pont jó lesz)
U	Unimportant (úgy is jó lesz)
X	Not desirable (nem kell figyelembe venni)

5. táblázat Kapcsolati diagram közelségi kategóriái

A Kapcsolati diagram metszéspontjaihoz szokás indoklást is fűzni a közelség kategória mellé. Mivel a metszéspont mezőkben elérő információ erősen korlátozott, ezért ezeket sorszámokkal, és külön gyűjtött sorszám és indoklás mezőket tartalmazó listákkal lehet leírni.



13. ábra Aktivitás kapcsolat diagram

Az eddigiek alapján felrajzolható egy ún. aktivitás kapcsolat diagram (13. ábra), amely tartalmazza az aktivitás pontokat, az összekötő vonalakkal reprezentálja a közelségi viszonyukat. Az egyes aktivitás pontokhoz szükséges területet (négyzetméterben mért befoglaló méret) rendelve különböző elrendezés variációk készíthetők.

A szisztematikus elrendezés tervezést, mint keretrendszert használok fel a rugalmas gyártórendszerek tervezési módszertanának kidolgozása során.

Döntési táblák

„A döntési táblázat a rendszerben előforduló állapotfeltételek és az ezek megléte esetén szükséges tevékenységek kombinációinak ábrázolására szolgáló táblázatos ábra.” [37] A definíció tökéletesen leírja, hogy a döntési táblázatok egymásra épülő logikai kapcsolatok leírására szolgálnak. Az 1960-as években fejlesztették ki őket, a túl bonyolult folyamatábrák helyett egy strukturáltabb, jobban áttekinthető leírási módként. Hasznossága miatt bekerült többek között a német szabványok közé is (DIN 66241 - [38]). A döntési táblázatoknak megvalósítástól függően több fajtája lehet, itt most az egyik legegyszerűbb, de a mérnöki feladatokra jól használható változatot mutatom be.

A döntés táblázatok felépítése a 6. táblázat szerint épül fel. A táblázat a tagolt felépítése miatt jól áttekinthető, könnyen értelmezhető. A táblázatos leírás egyszerűvé teszi az informatikai leképezését is.

A felső részben a feltételekben található a probléma összes feltétele, míg az alsó részben található a feltételek teljesülése vagy nem teljesülése esetén megtörténő tevékenységek. A szabályok foglalják össze az adott esetben vizsgálandó eseteket (nem feltétlenül az összes kombinációt, mivel a feladattól függően bizonyos kombinációk értelmezhetetlenek lehetnek). A döntési táblázatot fentről lefelé és balról jobbra kell olvasni.

	Szabály ₁	Szabály ₂	Szabály ₃	Szabály _n
Feltételek						
Feltétel ₁	Igen	Igen				
Feltétel ₂	Igen	Nem				
...						
Feltétel _i						
Tevékenységek						
Tevékenység ₁	X					
Tevékenység ₂		X				
...						
Tevékenység _j						

6. táblázat Döntési táblázat formátuma

A 6. táblázat esetében a Feltétel₁ és a Feltétel₂ teljesülése esetén a Tevékenység₁ kell, hogy megtörténjen és ezt a Szabály₁ adja meg. Hasonlóan a Feltétel₁ teljesülése és a Feltétel₂ nem teljesülése esetén pedig a Tevékenység₂, aminek meg kell történnie a Szabály₂ alapján.

A döntési táblák komplexitását, méretét jól leírja a CAR szám, ami a három komponens angol neveiből származik C(ondition), A(ction) és R(ule). A három adat között nincs közvetlen összefüggés [37]. A három szám összege azonban mindenképpen jelzi a táblázat bonyolultságát.

$$CAR = n + i + j$$

A legtöbb döntési táblában, így az általunk használtakban is, a feltételek között ÉS kapcsolat van.

A feltételek állapota többféle lehet, a leggyakoribb az Igen, Nem és a kötőjel (nem értelmezhető az adott feltétel). A teljesülő tevékenységeket X jelzi. Az ilyen módon felépített táblákat korlátozott bejegyzésű táblázatnak nevezzük.

A feltételek egymáshoz való viszonya négy féle lehet, amelyet a 14. ábra foglal össze egyszerű példákkal [37].

Kizáró

A kisebb B	Igen	-
A nem kisebb B	-	Igen

Független

Függő

Targonca?	Igen	Igen	Nem	Nem
Piros?	Igen	Nem	Igen	Nem

Vegyes

Megrendelve	Igen	Nem	-	-	Kisebb, mint nulla	Igen	Nem	Nem
Szállítva	-	-	Igen	Nem	Nagyobb, mint nulla	-	Igen	Nem

14. ábra Feltételek állapota döntési táblában

A kizáró esetben csak egy feltétel lehet egy időben igaz. A függő esetben minden feltétel állapot minden kombinációja előfordul. A független esetben egy szabálynak csak egy esetben van érvényes állapota, de táblán belül többféle állapotuk is fellép. A vegyes esetben tetszőleges állapot előállhat, tehát egy döntési táblán belül többféle feltétel állapot is kombinálható.

Általánosságban egy döntési tábla az alábbi lépésekben készíthető el:

- Probléma megértése
- Feltételek elkészítése
- Tevékenységek elkészítése
- Szabályok létrehozása
- Táblázat ellenőrzése teljesség és ellentmondásmentesség szempontjából

A döntési táblákat a kutatás „Vezérlési logika” részében használom fel.

Kritikus lánc projekt menedzsment

A kritikus útvonal módszer (vagy CPM, angolul Critical Path Method) egy olyan projektmenedzsment technika, amely lehetővé teszi a projekt befejezéséhez szükséges alapvető feladatok azonosítását. A hagyományos kritikus útvonal projekt kezelés célja, hogy meghatározza azt a leghosszabb szükséges időt, ami a projekt végrehajtásához szükséges. A kritikus útvonal a projektben a szigorúan függő tevékenységeknek a leghosszabb sorozata, azoknak a tevékenységeknek a sorrendje, amelyek közül bármelyiknek a csúszása a projekt csúszását vonja magával.

A kritikus útvonal projekt menedzsment lépései:

1. feladatok azonosítása: a projekt össze feladatának összegyűjtése
2. feladatok közötti függőségek meghatározása: a feladatok egymástól függőségének és egymásra épülésének meghatározása
3. időszükséglet becslése: minden egyes feladatra a szükséges idő kiszámítása valamilyen, általában tapasztalati módszerrel
4. kritikus útvonal meghatározása: a leghosszabb időtartamú feladatok sorozata, amelyen végig kell haladni ahhoz, hogy a projekt elkészüljön

A tevékenységekhez szükséges idő ráfordításokat valamilyen tapasztalati úton határozza meg, és bár figyelembe veszi a feladatok sorrendjét, nem veszi figyelembe a feladatokhoz szükséges erőforrások kapacitását, végességét. Ennél a módszernél a tevékenységekhez szükséges idő meghatározásakor kerül bele az időbe a puffer, az időtartalék.

Az Eliyahu M. Goldratt által kifejlesztett kritikus lánc projekt menedzsment (Critical Chain Project Management, CCPM) [39] [40] ezzel szemben a projekt erőforrás kihasználására összpontosít, célja, hogy elkerülje az erőforrás ütközéseket. A kritikus lánc módszert a korlátok elmélete (theory of constraints) részeként fejlesztette ki, és nagyban támaszkodik annak szemléletére.

A módszer alapvetően két fő különbséggel rendelkezik a fentebb tárgyalt kritikus útvonal projekt menedzsmenttel szemben [41]:

1. erőforrások figyelembevétele: a hagyományos kritikus útvonal esetében a projekt idővonalat úgy kell megtervezni, hogy csak a feladatok sorrendjét és egymástól való függőségét kell figyelembe venni. A kritikus lánc viszont figyelembe veszi az erőforrások korlátosságát is. Például egy gyártásnál nem csak a gyártási lépések egymásutánosságára figyel, hanem arra is, hogy a szükséges dolgozók rendelkezésre állnak-e a gyártáshoz?
2. pufferek kezelése: a hagyományos kritikus útvonal esetében az esetleges csúszások és késések kezelésére az egyes feladatok kapnak saját puffert, ezzel akár jelentősen növelve a projekt teljes idejét. A kritikus lánc esetében projekten belüli puffert készítenek, ami a projekt egyes szakaszainak zárásánál található. A projekt időtartamba nem számítódik bele. A két módszer puffert kezelésének különbségét az 1. ábra mutatja. Láthatóan a kritikus lánc módszer legnagyobb előnye, hogy a projekt általában hamarabb készül el.

Kritikus útvonal projekt kezelés



Kritikus lánc projekt kezelés



3. ábra. Projektmenedzsment módszerek összehasonlítása

A kritikus lánc projekt menedzsment fő lépései a következők: [42]

1. feladatok és azok sorrendjének azonosítása
2. agresszív idő becslések létrehozása a feladatokra
3. erőforrások hozzárendelése és az esetleges erőforrás konfliktusok feloldása
4. kritikus lánc meghatározása
5. pufferek hozzáadása és a terv elkészítése

Ahogy látszik a fenti lépésekből a kritikus lánc módszer az ütemezés során a feladatokat a lehető legrövidebb idővel tervezi és a lehetséges projektcúsúszt a tervbe épített pufferekkel kompenzálja.

Három féle puffert különböztet meg a kritikus lánc módszer:

1. Projekt puffer (project buffer): ez egy darab puffer a projekt végén, ami a projekt teljes csúsúsát hivatott kompenzálni
2. Etető puffer (feeding buffer): a projekt terv egyes szakaszainak a csúsúsát kompenzálja
3. Erőforrás puffer (resource buffer): mesterséges pufferek az erőforrás elérhetőség biztosítására

A pufferek méretezésére Goldratt egy egyszerű 50%-os szabályt javasolt, azaz a puffer mérete legyen az 50%-a a puffer által kezelt projekt időtartamnak. A módszer alkalmazási területétől függően ennél komplexebb számítási módok is léteznek [39] [40] [42].

A puffer méretezésére számos módszer létezik, a gyártási gyakorlathoz és a praktikus, egyszerű felhasználáshoz a négyzetösszegek módszere (root squared error method) jól használható.

Ennek a képlete:

$$Puffer\ méret = \sqrt{\sum Variancia}$$

Ez azt jelenti, hogy a puffer méretét az egyes tevékenységek időtartamának varianciáinak négyzetének összegéből négyzetgyököt vonva számolják ki. A variancia már a négyzetre emelt eltéréseket tartalmazza.

A módszer előnyei, hogy a variancia négyzetgyökével megkapjuk a szórást, a varianciák összeadásával az összes paraméter hatását figyelembe tudjuk venni és a négyzetgyök segít kezelhető mértékegységre hozni azokat, illetve így az eltérések nagyságát is figyelembe tudjuk venni a számítás során.

A kritikus lánc projekt menedzsment alapjait használom fel a kutatás „Pufferek méretezése” részében.

Digitális iker és szimuláció

Viszonylag ismert tény, hogy a digitális iker fogalmát a NASA alkotta meg, és az első digitális iker az Apollo 13 volt, amelyhez 15 szimulátort készítettek az űrhajósok és a földi vezérlőszemélyzet képzéséhez. A digitális iker akkori NASA definíciója a következő volt: „A digitális iker egy integrált többfizikai, többléptékű, valószínűségi szimuláció egy létező járműhöz vagy rendszerhez, amely az elérhető legjobb fizikai modelleket, érzékelőfrissítéseket, repülési történetet stb. használja, hogy tükrözze a hozzá tartozó repülő iker életét.” [43]

Azóta számos egyéb definíció született [44] [45] a digitális iker fogalmára, de az alapja nem változott, a digitális iker egy meglévő rendszer olyan szintű leképezése, amely alkalmas arra, hogy ennek a

digitális ikernek a tanulmányozásával a valós rendszerre vonatkozó következtetéseket vonhassunk le. A digitális iker két térben mozog, a fizikai és a virtuális térben és azokat kapcsolja össze.

A digitális iker elkészítésének a főbb kihívásai:

- nem megfelelően definiált cél a digitális iker modell elkészítésével
- hibás bemeneti paraméterek és specifikáció
- rosszul definiált kimenetek
- túl elnagyolt vagy túl részletes modellezés
- nem megfelelően validált modell

A szimuláció definíciója a német mérnökkamara megfogalmazásában: „A szimuláció egy rendszer leképezése dinamikus folyamataival együtt egy olyan modellben, amellyel kísérletezni lehet. Célja olyan eredmények szerzése, amelyek a valóságban felhasználhatók.” [46] A szimuláció, és ezen belül a diszkrét eseményvezérelt szimuláció a gyártással és logisztikával kapcsolatos feladatok elsődleges digitális iker készítési módszere.

Rugalmas gyártórendszerek tervezésének kihívásai

A korábbiakban már láttuk, hogy a rugalmas gyártórendszerek komplexitásukból adódóan átgondoltabb tervezést és előkészítést igényelnek. Ebben a fejezetben összegyűjtöm azokat a szempontokat, kihívásokat, amelyekkel a rugalmas gyártórendszerek tervezése során szembe kell nézni.

Bár az SLP módszer egy jól használható általános módszer, nem lett továbbfejlesztve a modern, magasabb szinten automatizált gyártó és logisztikai rendszerek tervezésének támogatására. A fejezetben leírt kihívásokra az SLP módszer nem nyújt közvetlenül használható eszközt.

Az első feladat, annak az eldöntése, hogy egyáltalán szükség van-e rugalmas gyártórendszerre az adott termékek gyártásához? Egy új gyártósor vagy gyártórendszer elkészítése minden esetben komoly beruházást igényel a gyártól, de soha nem elég ezt az oldalát vizsgálni a döntés előtt, hanem meg kell vizsgálni a megtérülés oldalát is. Ehhez pedig mindenképpen figyelembe kell venni azt, hogy az adott termékeknek milyen hosszú lesz az életciklusa. Sőt, mivel rugalmas gyártórendszerrel beszélünk meg kell azt is vizsgálni, hogy milyen új termékek kerülhetnek erre a gyártósorra a későbbiekben. Ezt pedig nem lehet elválasztani magának a gyártósornak az életciklusának a vizsgálatától. Mivel a rugalmas gyártórendszerek általában hosszabb időre, több termék generációra készülnek, fontos, hogy az idővel változó tulajdonságú komponensek szerepét is vizsgáljuk [47].

A következő feladat annak eldöntése, hogy a korábban bemutatott elrendezések (9. ábra) közül melyik elrendezést érdemes megvalósítani. A különböző elrendezés fajták más jellegű működést és logisztikai támogatást igényelnek, s így közvetlen hatásuk lehet a beruházás mértékére is. Bizonyos esetekben érdemes lehet több elrendezés variációt is megvizsgálni, mivel a gépek egymástól való távolsága, az áramlás és a hozzáférhetőség egyensúlyban tartása az anyagmozgatási távolságok minimalizálása mellett kihívást jelent.

A rugalmas gyártórendszerek esetében logisztikai tervezési feladatok is felmerülnek. A kiválasztott elrendezéstől függően ilyenek lehetnek a paletta vagy szállítóeszköz szám meghatározása, vagy a pufferek méretezése. Az FMS-ek legtöbbször puffereket használnak a munkaállomások közötti áramlás kezelésére. A pufferek típusának és méretének meghatározása kritikus kihívás. Ha túl kicsi, akkor szűk keresztmetszetek léphetnek fel; ha túl nagy, akkor többletkészlet halmozódik fel. Ezért ezeknek a megfelelő méretezése közvetlenül befolyásolja a rendszer teljesítményét.

Ha sikerült kiválasztani az elrendezés típusát, kiválasztani és méretezni a szükséges gépeket és logisztikai eszközöket, akkor foglalkozni kell a rendszer működésével is, magyarul létre kell hozni a vezérlést is. Mivel számos esetben különböző gyártók különböző elven működő rendszereit kell integrálni, ezért fontos, hogy legyen egy olyan leírás, amely mindegyikkel „kompatibilis”. A vezérlés

a rendszer lelke, ezért annak részletes kidolgozása nagyon fontos a tervezés, de utána a fizikai megvalósítás során is.

A rugalmas gyártórendszerek logisztikai tervezése egy kiemelten fontos feladat. Ellentétben a hagyományos gyártórendszerekkel, ahol a logisztikára sokszor „kiszolgáló” szerepként tekintenek, a rugalmas gyártórendszerek esetében a logisztika a gyártósor integrált része. A szerszámváltás, az alapanyag adagolás, a szállítás a sor integrált részeként kell, hogy működjön, így a rugalmas gyártórendszerek tervezése nem csupán gyártó, hanem gyártó és logisztikai rendszer tervezése is egy időben.

A rugalmas gyártórendszerek automatizált vezérléssel rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy nem elég az anyagáram tervezésével foglalkozni, hanem végig kell gondolni az információáramlást is a rendszerben. Mivel a rugalmas gyártórendszerek informatikai szempontból is összetettek lehetnek ezért érdemes foglalkozni az informatikai biztonságukkal is.

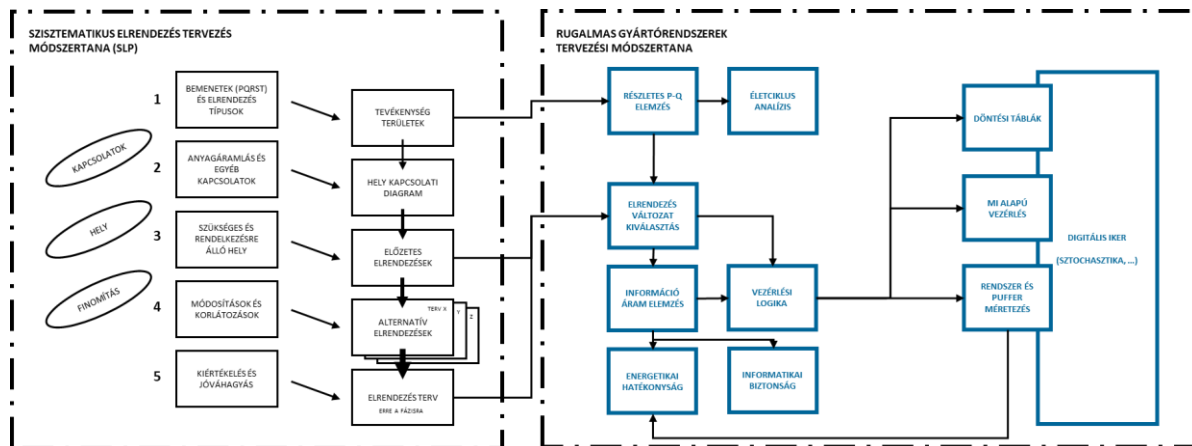
Ahogy a korábbiakban is látható volt a rugalmas gyártórendszerek komplexitása nő, ami egyre nehezebbé teszi a hagyományos módszerekkel történő tervezésüket. A fentieket figyelembe véve jó eredményt lehet elérni az első szintű tervezésben, de a pontos rendszer méretezéshez szükséges a rendszer dinamikájának figyelembevétele. A dinamika (sztochasztika) az alábbi fő forrásokból származhat a rugalmas gyártórendszerek esetében:

- Terméktípusok, átállások, típusfüggő gyártási idők
- Meghibásodások
- Anyagmozgató gépek áramellátása
- Pufferek viselkedése

Láthatóan a rugalmas gyártórendszerek tervezése komoly kihívást igénylő feladat. A következő fejezetben ennek a támogatására kidolgozott keretrendszert mutatom be.

Rugalmas gyártórendszerek tervezésének módszertana, keretrendszere

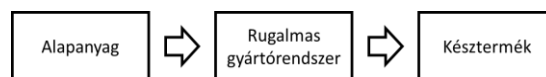
Ebben a fejezetben bemutatom, hogy az SLP módszert milyen módon sikerült továbbfejleszteni annak érdekében, hogy a tervezés során jobban támogassa a rugalmas gyártórendszerek sajátosságait.



15. ábra A kidolgozott tervezési módszertan és kapcsolódási pontjai

Két változata különböztethető meg a gyártási elrendezés tervezésnek, ezek a greenfield (zöldmezős) tervezés és a re-layout. A greenfield design teljesen új gyárak, termelő területek, sorok tervezését jelenti, míg a re-layout meglévő termelő területek áttervezése. A rugalmas gyártórendszerek esetében mindkét eset előfordulhat, a kezdeti kialakítás greenfield jellegű, később új termékek bevezetése a sorra pedig re-layout jellegű tevékenység. A kidolgozott módszer mindkét esetben alkalmazható.

A 15. ábra mutatja a rugalmas gyártórendszerek tervezésére kidolgozott módszertan felépítését. Bal oldalon a korábban bemutatott Muther-féle szisztematikus elrendezés tervezés módszer található, ezt egészíti ki és teszi egységes keretrendszerré a jobb oldalon található rész, amely a kutatás és ezen dolgozat témája. Az SLP módszer általános keretrendszer a gyártósorok és gyártó helyek tervezésére. A rugalmas gyártórendszerek esetében azonban a folyamat bizonyos elemek kiemelt szerepet kapnak, míg más elemek jelentősen egyszerűsíthetők, vagy elhanyagolhatók.



16. ábra Rugalmas gyártórendszer kapcsolatai

A rugalmas gyártórendszerek jellegzetessége, hogy nem különösebben kell foglalkozni a gyáron belüli elhelyezkedésükkel. Mivel ezek a sorok egy külön egységet képeznek, az általános működésük egy bemenet, ahol az alapanyag érkezik és egy kimenet, ahol a kész darabok elhagyják a sort (16. ábra). Maguk a sorok magas szinten automatizáltak. A kapcsolódó szolgáltatások és a logisztika a soron belül vannak megoldva, nem jellemző, hogy bármely soron belüli folyamat (kivéve a karbantartást) a gyár

más részével megosztott erőforrást használna. Emellett a sor természetesen kapcsolódik az alapanyag és a készáru raktárhoz.

Tervezési alapadatok

Egy jól működő gyártósor tervezéséhez számos adatra van szükség. Ezeknek az adatoknak az összegyűjtése sokszor nem egyszerű, például azért, mert a végleges gyártási idők a gépeket szállító cégeken múlnak, vagy azért meg a logisztikai időket jelentősen befolyásolhatja az, hogy melyik beszállító eszközei kerülnek a sorra. Az SLP módszer a korábban részletezett PQRST szisztéma szerint gyűjti össze a tervezéshez szükséges alap adatokat. A 7. táblázatban összefoglaltam a legfontosabb adatokat, amelyek szükségesek a rugalmas gyártórendszerek tervezéséhez. A legfontosabb rugalmas gyártórendszer specifikus elemek a darabszám előrejelzés függése az életciklus mentén, a vezérlési logika kiemelt szerepe és a támogató eszközök méretezésének feladata. Emellett a táblázat azt is tartalmazza, hogy az adott tervezési paraméter statikus vagy sztochasztikus jellegű adat-e?

Kategória		Paraméter	Lehet sztochasztikus?	Megjegyzés
P-Q	Termék	Típusok		Szükség esetén termékcsaládok alkotása, ha túl sok típusról van szó
		Darabszámok	IGEN	Időbeni változással
		Fizikai jellemzők		Gyártás szempontjából fontos jellemzők (súly, méret, stb.)
		Gyártási folyamatlépések		Alternatívák, esetleges selejt kezelése, tesztelési hurkok
		Előrejelzések	IGEN	Időben megadva
R	Erőforrások	Gépek száma		
		Gyártási idő (gépenként)	IGEN	Típusfüggő gépidők
		Meghibásodások (gépenként)	IGEN	
		Átállási idő		Típusfüggő átállási idők
		Továbbítási méretek (LOT)		
		Puffer méretek		
		Dolgozó szükséglet		
		Karbantartás rendje		
S	Készülékek, berendezések	Elektromos fogyasztás		Szerszámok, logisztikai tároló és anyagmozgató eszközök
S-T	Vezérlés	Gyártási program	IGEN	Felrakási terv, termékmix, gyártási sorrend

		Döntési pontok	IGEN	
T	Idő	Életciklus hossza		Vizsgált időtartam
	Egyéb	Műszakrend		Munkaidő és szünetek

7. táblázat Rugalmas gyártórendszer tervezéséhez szükséges paraméterek

A módszertan kidolgozása során feltételeztük, hogy a termék adatok elérhetők, a termékek gyárthatóság szempontjából megfelelők, a technológizálás megtörtént, vagyis tudjuk, hogy milyen gyártási lépéseken kell a terméknek végig haladnia a gyártás során. A valós életben - szerencsére ritkán - előfordulhat olyan, hogy a gyártástervezés során derül ki egy termékről, hogy nem, vagy csak nehezen, drágán gyártható az adott technológiákkal és emiatt a terméket át kell tervezni. Ebben az esetben a termék geometriája mellett általában a gyártási technológia is módosul.

Ahhoz, hogy a tervezést el lehessen kezdeni a fenti adatok nagy részével rendelkezni kell. Mivel egy gyártósor esetében a fő működési paraméter a gyártani kívánt darabszám, ezért a legtöbb esetben a gépek és erőforrások méretezése során visszafelé számolással lehet meghatározni azok fő paramétereit. Ez azonban általában jóval komplexebb és iteratívabb feladat, mint elsőre látszik.

A tervezés során az adatok minősége és pontossága fokozatosan javul, és ennek megfelelően elképzelhető, hogy bizonyos tervezési lépésekhez vissza kell lépni, azokat újra kell számolni az újabb információk birtokában. Például ilyen újabb információ lehet a gépgyártótól a gépek rendelkezésre állása, vagy a több típus közül kiválasztott AGV üzemi paraméterei.

Rugalmas gyártórendszerek üzleti és életciklus vizsgálata

Egy gyártó vállalat esetében az a döntés, hogy rugalmas gyártórendszer lenne a leginkább alkalmas egy termék gyártásához nem csupán szakmai, hanem pénzügyi döntés is. Mivel a rugalmas gyártórendszereket 5-10 éves élettartamra tervezik számos kérdést kell megválaszolni, mielőtt felelős döntést lehet hozni a tervezésük elkezdésével kapcsolatban. Üzleti oldalról a beruházási és a bevételi oldalt kell megvizsgálni a döntéshez. Mindkettőt érdemes a gyártósor életciklus mentén megközelíteni.

		Jövő (évek)				
		+1	+2	+3	+5	+10
Bemeneti adatok	P					
	Q					
	R					
	S					
	T					

17. ábra A PQRST adatok időbeni változásának vizsgálatára szolgáló tábla

Ahhoz, hogy a sori életciklust vizsgálni tudjuk érdemes megnézni, hogy az életciklus során hogyan változnak a bemenő (PQRST) adatok (17. ábra). A rugalmas gyártórendszerek esetében kiemelten fontos, hogyan változnak a termékek és a termékmix az életciklus során. Ez vonja magával a szükséges

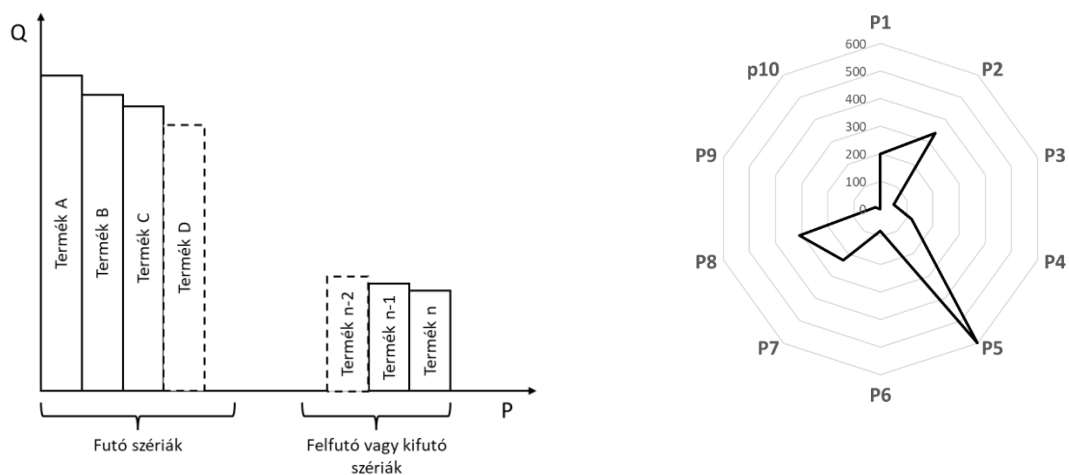
erőforrások (pl. extra állomás vagy gép az igény változás alapján) és a támogató szolgáltatások (pl. több szállító eszköz) változását is.

A gyártósor életciklusa alatt fontos, hogy a sor profitabilitását fenn lehessen tartani. A sor általában néhány típusal indul, aztán új típusokkal bővül a gyártott termékek száma, miközben idővel régebbi termékek gyártása megszűnik. A rugalmas gyártórendszerek esetében fontos, hogy a régebbi típusok kivezetése után is van általában lehetőség azok újra gyártására, például, ha cseredarabra, vagy pótalkatrészre van szükség. A termékek életciklusát táblázatosan lehet összefoglalni (8. táblázat) majd grafikonon ábrázolni.

Típus/Idő periódus	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T1	100	200	400	1000	1200	900	600	150	0
T2	50	100	300	500	400	200	20	0	0
T3	0	0	0	200	400	600	1400	800	600
T4	0	0	0	0	0	150	300	600	1200

8. táblázat Típus-mennyiség táblázat példa

A táblázatban a terméktípusok és az idő periódusok jelennek meg. A rendelkezésre álló adatok részletességétől függően az idő periódus lehet év, hónap, ritkább esetben és rövid életciklusú termék esetén hét is. Mivel a profitot nem csak a darabszám határozza meg, a táblázat abban is segít, hogy profit értékeket rendelve a termékekhez megvizsgálható a termék életciklusok során a profitabilitás is. A táblázat egy-egy időszakát megnézve látható továbbá a termékmix is, amit az adott időszakban gyártani kell.



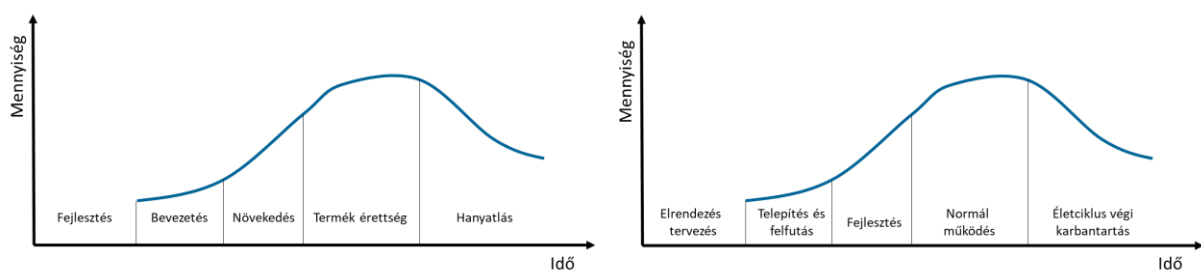
18. ábra Rugalmas gyártórendszerek Termék-Mennyiség grafikonja és radardiagramja

Amennyiben a táblázatot egy adott időpillanatban P-Q (termék-mennyiség) grafikonon ábrázoljuk, és a termékeket gyártási mennyiség szerinti sorrendben jelenítjük meg (18. ábra bal oldala), akkor a rugalmas gyártórendszerek esetében általában élesen elkülöníthető két területet kapunk a grafikonon. Egyrészt vannak a nagy mennyiségben futó típusok, másrészt pedig az éppen kifutó és ebből adódóan

csökkenő darabszámú, másrészt pedig a felfutó és ebből adódóan növekvő darabszámú típusok. A kettő között pedig az aktuális „nagy futó” típusok találhatóak. Emellett a grafikon pillanatnyi állapotát befolyásolhatják a vevői igények változásai és az esetleges szezonális is a termékek iránti igényben. A pillanatnyi P-Q arány ábrázolására jól használható még a radardiagram (18. ábra jobb oldala), ahol a határolt terület alakja azonnal mutatja, hogy mennyire egyenletes vagy nem egyenletes a terméktípusok iránti gyártási igény.

A gyártósor maga is egy termék. Általános esetben egy gyártósor életciklusa követi a rajta gyártott termék/termékek életciklusát. Egy rugalmas gyártórendszer életciklusa addig tart, amíg az utolsó terméktípus gyártása is kifut róla.

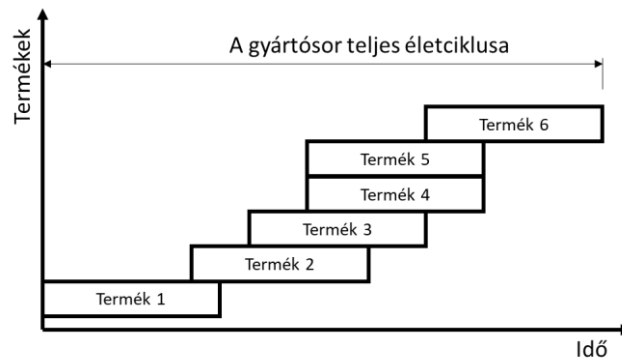
A 19. ábra bal oldala mutatja egy termék életciklus görbáját, a tervezéstől, a piacra bevezetésen, majd növekedésen át, a piaci érettségen keresztül a termék hanyatlásáig, piaci kivonásáig. Ugyanezek az életciklus lépések a termék gyártására szolgáló gyártóhelyre is igazak (19. ábra). Ebben az esetben az életciklus a sor tervezésével kezdődik, majd a telepítés és a próbagyártás után elkezdi a gyártott darabszám felfutni. A gyártás jellegzetessége, hogy a meglévő eszközökből mindig a legjobb teljesítményt szeretné kihozni, ezért a következő folyamatos gyártási fázisban a sor továbbfejlesztése történik. Ez történhet hagyományos pl. Lean módszerekkel vagy akár modern digitális megoldásokkal. A normál működési szakasz, amikor a kapacitáskorlátokat már sikerült elérni az adott soron jelentős teljesítményjavulást már csak jelentős extra beruházásokkal vagy jelentős átalakítással lehetne elérni. Az életciklus végén általában már csak az okvetlenül szükséges karbantartás történik meg, ilyenkor csökken a darabszám, esetleg még az előírt garanciához szükséges cseredarab mennyiséget gyártja le a sor. Ilyen görbét akár a gyártósor minden egyes gépére, eszközére és a támogató logisztikai rendszerekre is lehet készíteni, a görbe jellege hasonló lesz.



19. ábra Termék és gyártó terület életciklus görbe

A fenti leírás jól mutatja, hogy egy termék esetében hogyan néz ki a termék és a kapcsolódó gyártósor életciklusa. Abban az esetben azonban, hogyha egy gyártósoron több termék is gyártódik, akkor már minden egyes termék külön-külön járja be ezt az életciklust, ami azt is jelenti, hogy a gyártósor életciklusa jóval hosszabb lesz, mint egy terméknek az életciklusa. Természetesen ez azzal is jár, hogy a gyártósor életciklusa során többször történhet elrendezés változás, akár kisebb, akár nagyobb mértékben.

A 20. ábra azt mutatja, hogyan alakul az életciklusa egy rugalmas gyártósornak. Induláskor jellemzően 1 vagy 2 terméktípussal indul a sor, a gyártandó és gyártható termékek száma az idő előrehaladtával bővül. Miközben új termékek kerülnek fel a gyártósorra, más termékek pedig elérik az életciklusuk végét, és befejeződik a gyártásuk. Ezeket a változásokat a gyártósor elrendezésnek követnie kell.



20. ábra Rugalmas gyártórendszeren új termék bevezetések az életciklus során

Az új termék bevezetések esetében két fő esetet különböztethetünk meg:

- Termékkonfigurációk: ebben az esetben egy meglévő termék paramétere változik. Sokszor csak például néhány alkatrész cseréjét jelenti ez (pl. más színű burkolat). A termék útvonal ugyanaz, vagy minimálisan különbözik az egyes termékkonfigurációk között.
- Különböző termékek: ebben az esetben a soron több, egymástól jelentősen különböző termék gyártása történik. A termék útvonal különböző lehet, de a felhasznált technológiák között jelentős az átfedés. Általában logisztikai szempontból komplexebb kiszolgálást igényel.

Bár az elrendezés tervezés első pillanatban mérnöki problémának tűnik, nem választható el azonban a pénzügyi/megtérülési döntésektől. Egy gyártósor célja, hogy az élettartama elején mihamarabb megtérüljön és az életciklusának jelentős részében profitot termeljen.

Egy hagyományos gyártósor esetében az életcikluson belül a gyártósor költsége két fő tételből tevődik össze, a kezdeti költségből és az utána következő üzemeltetési költségből. A rugalmas gyártórendszerek esetében azzal, hogy kitolódik és hosszabb lesz a gyártósor élettartama, ez a profit termelési periódus jelentősen megnőhet.

A fentiek alapján egy sor életciklusának költsége felírható az alábbi módon:

$$ECK = PK + TK + EK + MK + KK + RK + HK + \sum_{i=1}^n UK + IK$$

ahol:

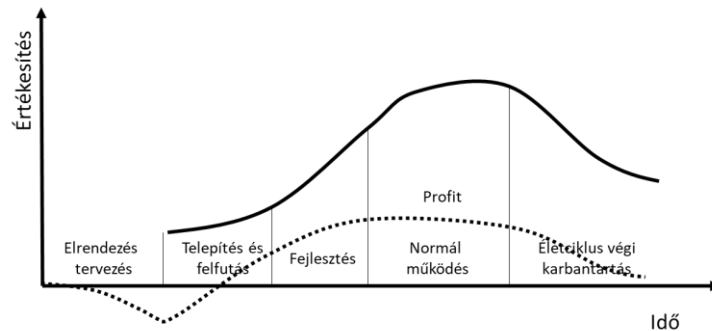
ECK – életciklus költség

HK – gépleállítás, meghibásodás költsége

PK – előkészítési és induló költség
 TK – beszerzési és telepítési költség
 EK – energia költség
 MK – működési költség
 KK – karbantartási költség

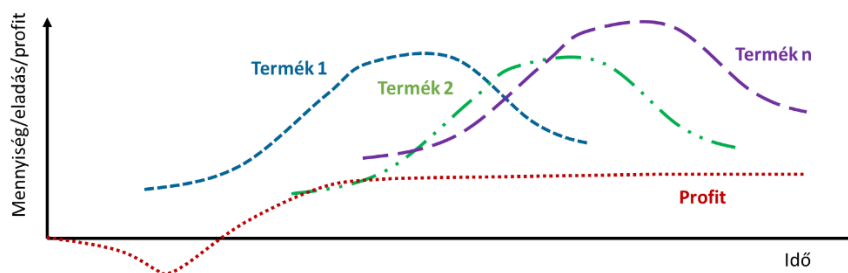
RK – kivonás és újrahasznosítás költsége
 UK – új termék bevezetés költsége
 IK – egyéb, előre nem tervezhető költségek és kiadások
 n – az új termék bevezetések szám a soron az élelciklus során

Üzleti szempontból a termékek gyártási volumene, egyértelműen megfeleltethető az értékesítés volumenével (21. ábra). A profit a termék növekedési és érettségi fázisában megfelelő, azonban amint az adott termék értékesítése csökkenni kezd a profit is gyors csökkenésnek indul. A profit számításakor a fix és a változó költségekkel is számolni kell. A gyártási elrendezéshez kapcsolódó fix költségek lehetnek például a berendezések, gépek, telepítési költségek. A gyártási elrendezés döntésekhöz kapcsolódó változó költségek például a karbantartási költségek, anyagmozgatási költségek stb.



21. ábra A termék élelciklus értékesítési és profit görbéje

Hagyományos gyártósor esetén a profit csökkenése a gyártósor végét is jelenti. A rugalmas és konfigurálható gyártósorok esetében viszont ilyen esetekben megoldást jelent a gyártósorra egy új termék bevezetése, amivel ismét vissza lehet állítani a gyártási volument és ezzel együtt a profitabilitást. A megfelelően megtervezett új termék bevezetésekkel biztosítható a sor vagy gyártó terület folyamatos megfelelő profitszintje (22. ábra).



22. ábra Az új termék bevezetések hatása a profit görbére

A cél a profit adott tartományon belül tartása, ennek mértékének megállapítása üzleti, menedzsment feladat és döntés.

$$\text{Elvárt profit minimum} < \sum \text{Profit}_i < \text{Elvárt profit maximum}$$

ahol:

i – az i-edik termék

Bár a fenti képletből úgy tűnhet, hogy minden egyes terméknek profitábilisnak kell lennie, ennek ellenére elképzelhető olyan szituáció, amikor $\text{Profit}_i < 0$, vagyis veszteséges az i-edik termék gyártása.

Ez általában üzleti döntés eredménye, például ilyen és ehhez hasonló esetekben:

- a terméket megéri minimális veszteséggel gyártani, mert a termék vevője kiemelten fontos és hosszútávú üzleti cél a megtartása
- a terméket megéri veszteséggel gyártani, mert a vevő több terméket is gyártat a cégnél és a lényeg, hogy az összes termék együttes gyártása profitábilis legyen
- a termék gyártása ideiglenesen veszteséges lehet, amíg felfut a termelés és több erőforrást kell allokálni hozzá, több selejt keletkezik, ami majd a gyártás felfutásával normalizálódik
- a termék gyártás ideiglenesen veszteséges lehet, mert kifutó termék és már csak minimális darabszámot kell gyártani belőle, a termék életciklusa során keletkezett annyi profit, ami elbírja az életciklus végi veszteséget

Cox kutatása alapján a termék életciklus egyes szakaszait felírhatjuk az $Y = a + bX + cX^2$ másodfokú egyenlet alakban [48].

Ennek megfelelően az alábbi egyenletrendszer adja meg az X időpillanatban a teljes termékportfólió profitját:

$$PROFIT = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i X + c_i X^2)$$

ahol:

i – az i-edik termék

a_i, b_i, c_i – az i-edik termékhez tartozó másodfokú egyenlet paraméterek

n – a termékek száma

Amennyiben az időpillanatot és az adott időpillanatban gyártani kívánt mennyiséget ismerjük, abból számítható a profit. A profit és az idő értékek alapján a fenti másodfokú egyenlet megoldható, a képlet felírható.

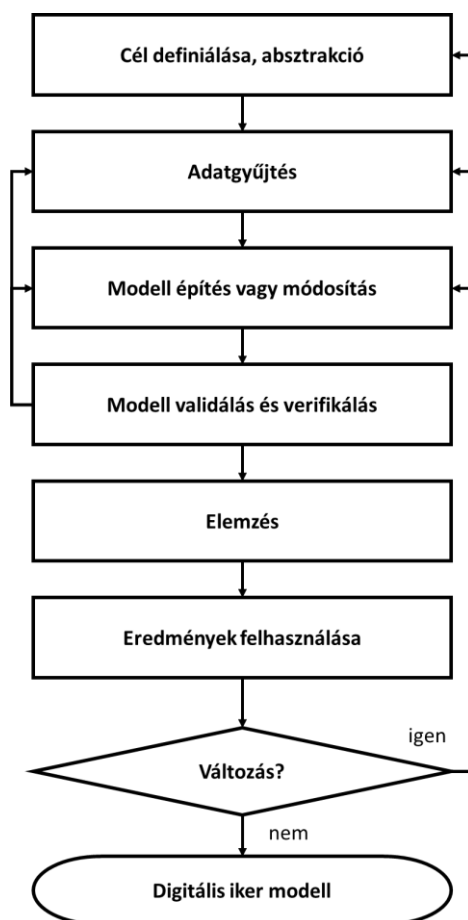
A profit paraméterek alapján pedig üzleti-műszaki döntés, hogy rugalmas gyártórendszert érdemes-e tervezni és használni.

Digitális iker és szimuláció használata a tervezés során

A digitális iker készítésének a gyártási folyamatok leképezés esetén az egyik leginkább elterjedt módszer a diszkrét esemény vezérelt szimuláció (DES). Ezek a rendszerek tartalmazzák az anyagáram leképezéshez, a gyártási folyamat adatainak kezeléséhez szükséges építőelemeket és általában számos olyan eszközt is, amely a kapott eredmények kiértékelésére szolgál.

Az egyik leginkább elterjedt és elfogadott módszer a gyártósorok tervezése és fejlesztése során a szimuláció, ezen belül is a diszkrét eseményvezérelt szimuláció.

A digitális iker fogalom bár igen elterjedt a mérnöki gyakorlatban, a definíciójára számos meghatározást találhatunk. Véleményem szerint a digitális iker legfontosabb jellemzője, hogy az adott rendszer olyan leképezése, amely a vizsgálat szempontjából fontos paraméterek tekintetében a valós rendszernek megfelelően viselkedik. Ily módon a digitális ikerben készített vizsgálatok eredményei a valós rendszerbe átültethetők.



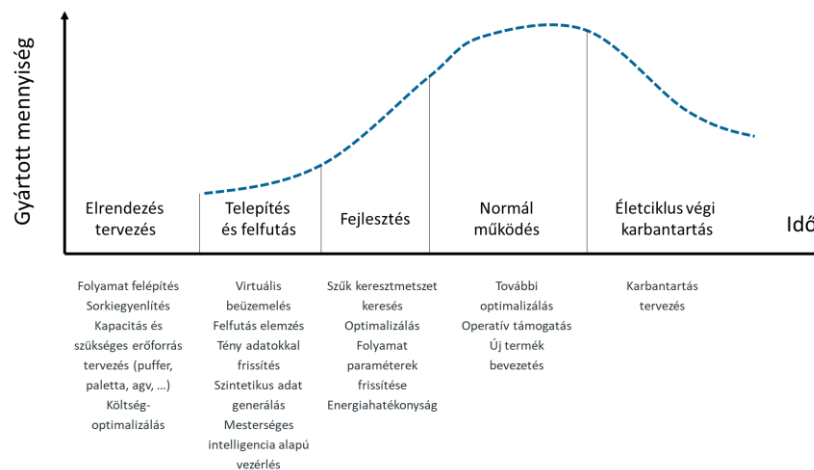
23. ábra Digitális iker készítésének lépései

Digitális iker készítésének a főbb lépései:

1. Cél meghatározása: a cél meghatározása mellett, hogy definiálja a digitális iker elvárt kimeneteit, meghatározza azt is, hogy milyen komplexitású digitális ikert szükséges készíteni. Amennyiben több célja is van a digitális iker készítésének, akkor a részletesség szintjének meghatározása még nagyobb körültekintés igényelhet. Az is elképzelhető, hogy több, különböző célt csak több, különböző digitális iker felépítésével lehet meghatározni.
2. Adatgyűjtés: egy digitális iker kimenete annyira lesz pontos, mint amennyire a bemeneti adatok pontosak. Az elrendezés tervezéshez használt digitális iker esetében a tervezési folyamat során a bemenő adatok fokozatosan válnak egyre pontosabbá.

3. Digitális modell felépítése: a modell felépítésének struktúráját, részletességét a cél határozza meg. A modell felépítése során érdemes a valósághoz hasonló struktúrát felépíteni a könnyebb értelmezhetőség érdekében.
4. Validálás és verifikálás: az elkészült digitális ikert két szempontból kell megvizsgálni, megfelel-e a felépítése az adatoknak (a valóságnak) és meg tudja-e válaszolni a cél meghatározás során feltett kérdéseket. Ha igen, akkor a modell érvényes és ellenőrzött. Amennyiben nem, akkor valamelyik korábbi lépésre vissza kell térni, vagy az adatgyűjtéshez és pontosabb adatokat gyűjteni, vagy a modellépítéshez és megtalálni, hogy hol nem megfelelő a leképezés.
5. Elemzés: a digitális iker esetében az elemzés történhet egy esetre vagy számos különböző esetre. Az elrendezés tervezés esetén az elemzés leginkább a tervezett rugalmas gyártórendszer áttekintő működésének vizsgálatára szolgál. A cél alapján fontos annak meghatározása, hogy milyen időperiódusra történjen a vizsgálat.
6. Eredmények felhasználása: amennyiben a cél meghatározása során felmerült kérdéseket az elemzés meg tudja válaszolni, akkor a kapott eredmények felhasználhatók. A gyártósor tervezés során ez azt jelenti, hogy a kapott eredmények alapján készül el a fizikailag telepített gyártósor.

Amennyiben változás történik a gyártórendszerben, vagy a tervben, akkor egy korábbi lépésre kell visszatérni a változás mértékétől és jellegétől függően.



24. ábra Digitális iker felhasználási lehetőségei az életciklus mentén

A 24. ábra tartalmazza a rugalmas gyártórendszer életciklus során azokat a legfontosabb területeket, amelyekkel kapcsolatos kérdésekre érdemes digitális iker modellt készíteni. A továbbiakban a digitális iker készítés egyik legelterjedtebb eszközét, a diszkrét eseményvezérelt szimulációt használom digitális iker készítésére.

A szimuláció főbb előnyei a gyártósor tervezésben:

- Támogatja top-down tervezési módot, vagyis lehetőséget nyújt arra, hogy először egy durva elrendezés modellt lehessen elkészíteni, majd azt részletezni. Az elrendezés tervezés általában egy időben hosszabban elnyúló folyamat, aminek során fokozatosan egyre több adat áll rendelkezésre a modell egyre részletesebb kidolgozásához.
- A sortervezés szinte teljes életciklusát tudja támogatni. A kezdeti elrendezés kidolgozásának támogatása egyértelmű, hiszen a jól felépített szimulációs modell gyakorlatilag a gyártósor digitális ikerpárja. A szimulációs modell többek között tartalmazza és kezeli a gyártás és a gyártósor alábbi paramétereit:
 - o Méretek, elrendezés
 - o Folyamat lépések és folyamat paraméterek (idők, rendelkezésre állások, meghibásodások)
 - o Karbantartási és átállási adatok
 - o Műszakrend
 - o Anyagellátás és egyéb logisztikai szabályok
 - o Gyártandó mennyiségek vagy vevői igények
- Támogatja különböző elrendezés változatok elkészítését és gyors kiértékelését. A különböző elrendezés változatok esetében a szimuláció számos KPI használatára és összehasonlítására nyújthat lehetőséget.
- A telepítés és felfutás fázisban lehetőség nyílik arra, hogy virtuális beüzemelés segítségével a telepítés előtt álló gyártósor funkcionalitását, vezérlését a meglévő szimulációs modellen tesztelni lehessen. Ennek egyik gyakori módja a sort vezérlő controller rákapcsolása a szimulációs modellre és így a vezérlő egység működésének, logikájának tesztelése.
- A szimulációban tetszőlegesen hosszú időszak lefuttatható, így szimulálható, vizsgálható akár a tervezett teljes életciklusa is a sornak.
- A sor továbbfejlesztési fázisában a szimulációs modell a termelésben történt problémák elemzésére és megoldására nyújt eszközöket. Ilyenek lehetnek például az átállások optimalizálása, vagy a sorkiegyenlítés.
- A normál működés során a szimulációs modell általában már arra készül fel, hogy milyen módon integrálható a következő termék a sorra, milyen módosítások szükségesek a sori elrendezésben, vezérlésben ahhoz, hogy az új termék is gyártható és hatékonyan gyártható legyen a soron.

Rugalmas gyártórendszerek elrendezés tervezése

Ahogy a 15. ábra is mutatja a rugalmas gyártórendszerek esetében is végig kell menni az SLP módszer lépésein, de számos esetben kiegészítő lépések, vagy további megfontolások szükségesek.

Miután megszületett a döntés, hogy rugalmas gyártórendszerre lesz szükség és sikerült a tervezés elkezdéséhez szükséges alapadatok összegyűjtése, a következő lépés az anyagáramlás vizsgálata.

Az elrendezés kiválasztás alapja a honnan – hova táblázat. A rugalmas gyártórendszerek alap elrendezés típusai (9. ábra) és a honnan – hova táblázat között sikerült felállítani egy kapcsolatot, ami segít a megfelelő elrendezés típus kiválasztásában. A rugalmas gyártórendszerek esetében sokkal fontosabb a gépek egymáshoz való viszonya, merthogy ezek dedikált sorok egy adott fix területen, általában nem túl jelentős területen belül.

Így bevezethető az anyagáram intenzitás fogalma, amely két részből tevődik össze:

1. a gépek közötti távolságok
2. a gépek közötti távolságok súlyozása, amely leírható az egyes gépek között mozgó darabok (anyagáram) mennyiségével egy adott időszakon belül (műszak).

A gépek közötti távolságok meghatározása történhet a két fő irányú (x, y) távolság meghatározásával, az euklideszi távolság meghatározással, vagy a konkrét közlekedési útvonalak alapján történő meghatározással.

Az első esetben a távolság:

$$d_{i,j} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

A második esetben a távolság:

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

A harmadik esetben a távolság:

$$d_{i,j} = \sum_{i=1}^n l_i$$

ahol,

l_i – az adott útvonal szakasz hossza

n – az i és j lokációkat összekötő útvonal szakaszok száma

A távolság számítása természetesen függ a kiválasztott elrendezés típusától, amennyiben az anyagmozgatás főleg konvektorokon történik, akkor merőleges, euklideszi távolság használata a megfelelő, amennyiben szabad mozgású AGV-k vagy robotos anyagmozgatás történik, akkor a legrövidebb távolsággal is lehet számolni.

Alternatív útvonalak esetében a leginkább „megterhelőt” kell választani, vagyis a legmagasabb értéket.

Távolságok				
Honnan - hová	S1	S2	S3	S4
S1	0			
S2		0		
S3			0	
S4				0

Súlyok				
Honnan - hová	S1	S2	S3	S4
S1	0			
S2		0		
S3			0	
S4				0

Így az anyagáram intenzitás táblázat mátrix elemei felírhatók az alábbi módon:

$$I_{x,y} = D_{x,y} * W_{x,y}$$

ahol:

$I_{x,y}$ – az x és y gépek közötti anyaáram mozgás intenzitása

$D_{x,y}$ – az x és y gépek közötti távolság

$W_{x,y}$ – az x és y gépek közötti anyagáramlás súlyozás

A táblázat értelmezhető egy n oszlopból és n sorból álló négyzetes mátrixként. Az alábbi példákban i az aktuális sort, j az aktuális oszlopot jelöli a H mátrixban. A példákban az X jelölés azt mutatja, hogy hol lehet anyagáramlás. A fentiek alapján jelölje \underline{H} a honnan – hova táblázatot, mint mátrixot, akkor a mátrix elemeit felírhatjuk a következő módon:

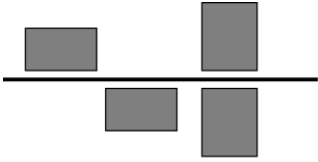
$$H = [x_{i,j}], \text{ ahol } 1 \leq i \leq n \text{ és } 1 \leq j \leq m$$

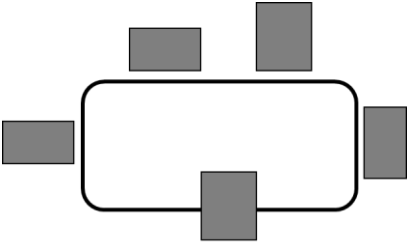
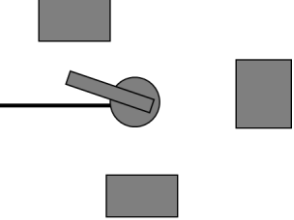
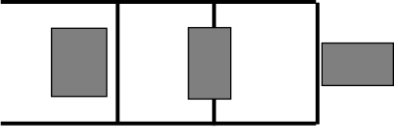
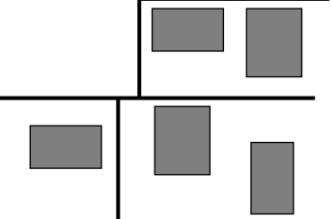
ahol

n, m – a soron lévő elemek száma, mivel $n = m$ ezért a mátrix négyzetes (kvadratikus)

$x_{i,j}$ – az, i-edik oszlop és j-edik sorhoz kapcsolódó anyagáramlás jelölése

A mátrix főátlójában nincsenek elemek (értékük nulla).

Elrendezés típus	Honnan – hova táblázat jellege																									
 <p>Soros elrendezés</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>S1</th> <th>S2</th> <th>S3</th> <th>S4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>S1</th> <td>0</td> <td>X</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S2</th> <td></td> <td>0</td> <td>X</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S3</th> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S4</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Az anyagáramlás egyenes, ebből adódóan a táblázatban a bejegyzések közvetlenül a főátló fölött találhatók a $H[i, j] = H[i, i + 1]$ mezőkben. Amennyiben a selejt vizsgálat nem a soron történik, akkor az áramló mennyiségek egyenlőek, azaz $H[i, i + 1]$ állandó minden i-re.</p>		S1	S2	S3	S4	S1	0	X	0	0	S2		0	X	0	S3			0	X	S4				0
	S1	S2	S3	S4																						
S1	0	X	0	0																						
S2		0	X	0																						
S3			0	X																						
S4				0																						

 <p>Zárt hurok elrendezés</p>	<table border="1" data-bbox="683 237 1010 434"> <thead> <tr> <th></th> <th>S1</th> <th>S2</th> <th>S3</th> <th>S4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>S1</th> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S2</th> <td></td> <td>0</td> <td>X</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S3</th> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S4</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		S1	S2	S3	S4	S1	0	X	X	0	S2		0	X	0	S3			0	X	S4				0
	S1	S2	S3	S4																						
S1	0	X	X	0																						
S2		0	X	0																						
S3			0	X																						
S4				0																						
 <p>Robot központú</p>	<table border="1" data-bbox="683 595 1010 792"> <thead> <tr> <th></th> <th>S1</th> <th>S2</th> <th>S3</th> <th>S4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>S1</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S2</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S3</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S4</th> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Az anyagáramlás ebben az esetben jellegzetesen mutatja, hogy a robot közepén felvesz egy darabot, lead egy darabot, a mátrixban az az elem, amelynek a sorában vagy oszlopában bejegyzések vannak, az a robot.</p>		S1	S2	S3	S4	S1	0	0	0	X	S2	0	0	0	X	S3	0	0	0	X	S4	0	X	X	0
	S1	S2	S3	S4																						
S1	0	0	0	X																						
S2	0	0	0	X																						
S3	0	0	0	X																						
S4	0	X	X	0																						
 <p>Létra elrendezés</p>	<table border="1" data-bbox="683 981 1010 1178"> <thead> <tr> <th></th> <th>S1</th> <th>S2</th> <th>S3</th> <th>S4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>S1</th> <td>0</td> <td>X/Y</td> <td>X/Y</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S2</th> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>X/Y</td> </tr> <tr> <th>S3</th> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>X/Y</td> </tr> <tr> <th>S4</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Az anyagáramlás ebben az esetben adott arányban osztott anyagáramot mutat az egyes ágak között.</p>		S1	S2	S3	S4	S1	0	X/Y	X/Y	0	S2		0	0	X/Y	S3			0	X/Y	S4				0
	S1	S2	S3	S4																						
S1	0	X/Y	X/Y	0																						
S2		0	0	X/Y																						
S3			0	X/Y																						
S4				0																						
 <p>Nyitott terű elrendezés</p>	<table border="1" data-bbox="683 1330 1010 1527"> <thead> <tr> <th></th> <th>S1</th> <th>S2</th> <th>S3</th> <th>S4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>S1</th> <td>0</td> <td>X</td> <td>0</td> <td>X</td> </tr> <tr> <th>S2</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>X</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S3</th> <td>X</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>S4</th> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ebben az esetben az anyagáram teljesen szabad lehet, mindkét irányú anyagáram elképzelhető.</p>		S1	S2	S3	S4	S1	0	X	0	X	S2	0	0	X	0	S3	X	0	0	0	S4	0	0	0	0
	S1	S2	S3	S4																						
S1	0	X	0	X																						
S2	0	0	X	0																						
S3	X	0	0	0																						
S4	0	0	0	0																						

9. táblázat Elrendezések és a súlyozott anyagáram mátrixok kapcsolata

A fenti táblázat alapján a tervezni kívánt rugalmas gyártórendszer elrendezése kiválasztható, a kiválasztott elrendezés alapján lehet folytatni a tervezést a további lépésekkel.

Információ áram

Az SLP módszertan alapjainak bemutatásánál láttuk, hogy a kapcsolati diagram hasznos és fontos eszköz a sor egyes elemeinek pozíciójának meghatározásához.

A rugalmas gyártórendszerek legfontosabb eleme a működésüket biztosító vezérlési logika. Az SLP módszer továbbfejlesztése során bevezettük az információs áram diagramot, amely a gyártósor egyes elemei között mutatja az információs kapcsolat szükségességét. Jelentős különbség a kapcsolati diagrammal szemben, hogy ebben a diagramban nem csak a gépek és a fő aktivitási pontok jelenhetnek meg, hanem bármilyen információ nyújtó vagy fogadó eszköz. Ilyen lehet pl. egy robot vagy egy AGV.

Az információs áram diagram is ábrázolható táblázatos formában (10. táblázat). Mivel a rendszer elemei között mindkét irányba történhet információ áram, ezért a táblázat, mint mátrix főátlója felett az egyik irányba, a főátló alatt a másik irányba történő információ áramlás található.

Honnan - hová	S1	S2	S3	S4	S5	AGV
S1	-	F1				
S2	F2	-				
S3			-			F4
S4				-		
S5					-	
AGV	F3					-

10. táblázat Információs áram táblázat példa

A táblázatban viszonylag kevés hely van, ezért ott általában csak az információáramlás meglétét érdemes jelölni. Ez is egy Honnan-Hova jellegű tábla, amelyben az átló fölötti rész az oszlop-> sor irányú, az átló alatti rész a sor-> oszlop irányú információ áramlást mutatja.

Könnyen belátható, hogy az információs kapcsolatok maximális száma:

$$\text{Az információs kapcsolatok összes száma} = N * (N - 1)$$

ahol N – a gyártósor információcserében részt vevő elemeinek száma

Elmondható a rugalmas gyártórendszerekről és általánosságban minden gyártórendszerről, hogy ahol információáramlás történik, ott valamilyen döntés, vagy az információra reagálás is szükséges. Például, ha egy puffer jelzi, hogy megtelt, akkor lehet, hogy az oda vezető konvektor pályát le kell zárni.

A részletes információáramlás leírás szövegesen vagy döntési táblákkal írható le. Például (10. táblázat) szöveges leírás lehet az irodák (S1) és a maróüzem (S2) között (F1), hogy a termelési tervet publikálni kell az irodából a termelés felé. Az ellentétes (F2) irány pedig a termelési visszajelentési információ lehet. A maró részlegnek az elkészült darabokról jelezni kell az AGV-knek (F3) az elszállításához. A megérkezett darabokról pedig az AGV-k jelentenek a raktár felé (F4).

A rugalmas gyártórendszer projektek esetében fontos még, hogy mennyire lesz komplex az elkészült rendszer. Az előzőekben bevezetett információs áram diagram mezőibe a hozzá kapcsolódó döntési

táblák szabályainak számát beírva és az így kapott információs áram diagram elemeit összegezve egy olyan mérőszámot kapunk, ami egyértelműen utal a rendszer komplexitására.

A fentiek alapján jelölje M az információs áram diagramot, mint mátrixot, akkor a mátrix elemeit felírhatjuk a következő módon:

$$M = [d_{i,j}], \text{ ahol } 1 \leq i \leq n \text{ és } 1 \leq j \leq m$$

ahol

n, m – a soron lévő elemek száma, mivel $n = m$ ezért a mátrix négyzetes (kvadrátikus)

$d_{i,j}$ – az, i -edik oszlop és j -edik sorhoz kapcsolódó döntési tábla szabályainak száma

A mátrix főátlójában nincsenek elemek (értékük nulla).

Ez alapján a rendszer komplexitására utaló C mérőszám értékét a következő módon lehet meghatározni:

$$C = \sum d_{i,j}$$

A rendszer összetettsége annál nagyobb, minél magasabb ez a szám.

Hasonlóan jó mérőszám a rugalmas gyártórendszer komplexitására a döntési szabályok átlagos száma a rendszerben, amit így írhatunk le:

$$D_{average} = C/n$$

A rendszer komplexitásának mérése és ismerete segíthet a digitális iker felépítése során is a szükséges munka megbecsülésében.

Vezérlő rendszerek

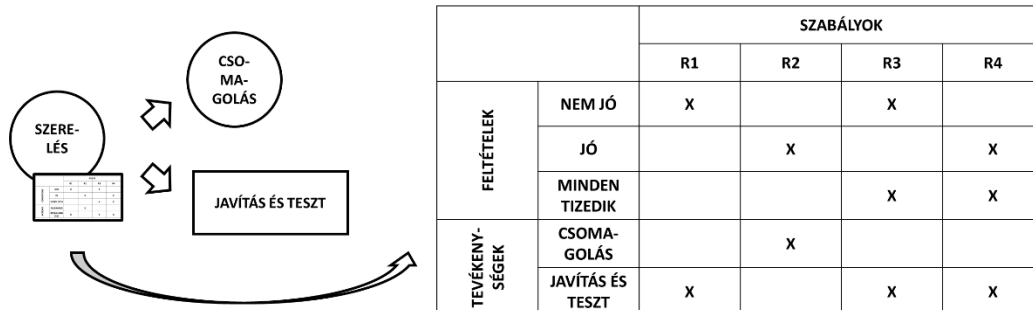
A rugalmas gyártórendszerek esetében a három fő komponense a gépek, a logisztika és a vezérlés, amely tulajdonképpen a működéshez szükséges vezérlési logikát jelenti. Ennek működésének átgondolása a gyártórendszer tervezésének elengedhetetlen része. A rugalmas gyártórendszerek esetében a vezérlési logika nagyon szorosan kapcsolódik a rendszer logisztikájához.

A vezérlési logika mindenképpen valamilyen döntési mechanizmus, általában alacsony szinten a vezérlő hardverben (pl. PLC) leprogramozva.

A következő részben megvizsgáljuk két módszert a vezérlési logika leképezésére és kezelésére, a döntési táblák és a neurális hálók használatát.

Döntési táblák

Két gyártási elem közötti vezérlési kapcsolat leírására bevezettem a döntési táblákat. A döntési táblák kiváló eszközt nyújtanak vezérlési logikák leírására. A döntési táblák két fő részből állnak, a feltételekből a feltételek teljesülése esetén végrehajtandó akciókból.



25. ábra Egyszerű gyártási folyamat és döntési táblája

Egy egyszerű döntés táblát mutat a 25. ábra, ahol egy szerelde után a döntési tábla alapján halad tovább a darab a folyamat útvonalon. A szabály az, hogy minden 10. darabot tesztelni kell a teszt állomáson. Emellett a rossz darabok is a teszttel egybe épített javító állomásra mennek. A jó darabok, amelyek nem 10. darabok, a csomagolás felé folytatják tovább az útjukat. Ebből a példából is látható, hogy a tervezés során a döntési táblák nagy segítséget nyújtanak a logikák felépítésében.

A tervezés befejezése után pedig a telepítés során a PLC programozás és a termelés vezérlése során nyújt kiemelkedő segítséget a döntési táblák alapján elkészített logika. A döntési táblák használatának további előnye, hogy

Neurális háló

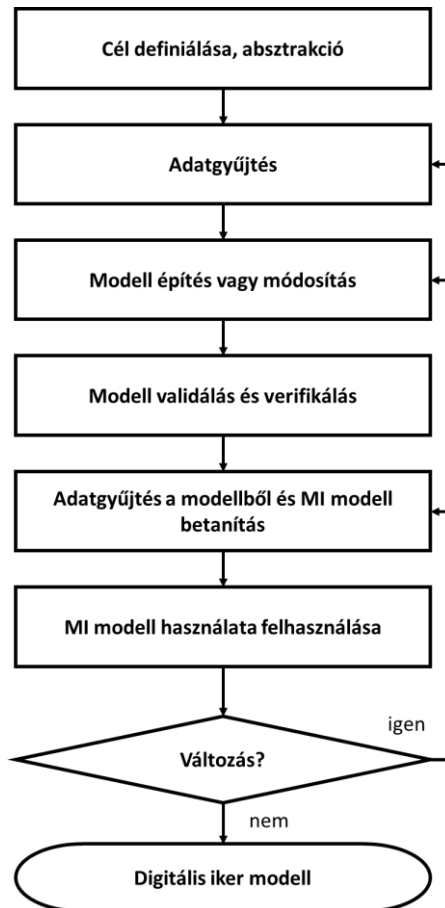
A rugalmas gyártórendszerek vezérlésének tervezése sok esetben azért komplex, mert az új típusok és típusvariációk bevezetését nem minden esetben tudja a sori vezérlés átprogramozása követni, ami leálláshoz, gyártási problémákhoz vezethet.

Amennyiben sikerül valamilyen neurális háló alapú vezérlést készíteni, akkor a vezérlési logika adathiányból adódó problémáinak nagy részét sikerülhet kiküszöbölni, mivel a hiányzó adatokat a neurális háló képes előre megmondani (megjósolni).

Hasonlóan jól használható egy neurális háló alapú vezérlés abban az esetben is, ha a vezérlés túl komplex és nem egyértelmű, hogy minden egyedi, a termelésben előforduló esetet sikerül vele lekezelni.

Emellett szükség lehet neurális háló alapú vezérlésre az olyan öntanuló gyártási rendszerek esetében, ahol egy adott paraméter a korábbi tapasztalatok alapján már előre megmondható (megjósolható).

Ahhoz, hogy neurális háló alapú vezérlési logikát lehessen készíteni, mindenképpen valamilyen digitális módszerre, digitális ikerre van szükség. A legtöbb szimulációs rendszer integráltan tartalmaz mesterséges intelligencia komponenst, vagy könnyen integrálható az elterjedt mesterséges intelligencia rendszerekkel, környezetekkel.



26. ábra Neurális hálóval kiegészített digitális iker készítési folyamata

A neurális hálóval kiegészített digitális iker elkészítésének folyamata (26. ábra) nagyban hasonlít a korábban tárgyalt digitális iker készítési folyamathoz (23. ábra).

A cél meghatározása adja meg, hogy mennyire részletes modellre van szükség. A részletesség befolyásolja a modell futási sebességét, ezen keresztül pedig az MI modell tanulási sebességét.

Az adatgyűjtés során fontos az adatminőség és az adatok eloszlásfüggvényeinek pontos megfogalmazása, mert az adatminőség egyértelműen meghatározza a betanítás minőségét.

Az adatgyűjtés a modelltől lépésben történik a modell futtatása a megfelelő bemeneti adatokkal és azok alapján a modell tanításhoz szükséges adatok kigyűjtése.

A digitális iker előnye, hogy az abból kapott adatok minősége elvileg megfelelő ahhoz, hogy minden torzítás kiküszöbölés és szerkesztés nélkül felhasználhatók legyenek. A digitális iker felépítés után a tulajdonképpen egy virtuális gyárból történik az adatgyűjtés. Ez a virtuális adatgyűjtő rendszer az alábbi adatokat gyűjtheti és használhatja fel a betanításhoz:

- rendelések és műveletek adatai, kezdési és befejezési időpontjai
- dolgozói adatok, tevékenység, szünetek
- anyag mozgási adatok, beleértve az alapanyagot és a félkész termékeket is
- gép adatok, működési állapotok, különös tekintettel a meghibásodásokra
- minőségi adatok, javítás és selejt kezelő folyamatok adatai
- termékek adatai, szükség esetén darab követéssel
- készülék adatok, szerszámok, karbantartások adatai

A futtatás és betanítás során fontos a megfelelő tanítási paraméterek és tanítási hossz meghatározása és az eredmények adott hibahatáron belül tartása.

A rugalmas gyártórendszerek sajátossága, hogy folyamatosan változnak, ha nem is az elrendezés, de a gyártott típusok és azoknak a technológiai paraméterei. Változás esetén meg kell vizsgálni, hogy a változásnak lehet-e hatása a modell működésére és ezen keresztül a modell által generált adatokra. Ha a válasz nem, akkor tovább használható a meglévő MI modell. Ha a válasz igen, akkor vissza kell térni a modell építési fázisba és el kell készíteni a módosításokat. Természetesen a megváltozott modellt ugyanúgy validálni és verifikálni kell mielőtt az új tanítás ciklus elkezdődne. Az új tanítási ciklus után használható a frissített MI modell, alkalmazás.

A digitális iker építési folyamat mellett fontos áttekinteni, hogy mikor milyen adat érhető el a modell építéséhez és betanításához. A 27. ábra a gyártósorok életciklus görbáját tartalmazza. Az ábrán látható életciklus görbe jól mutatja, hogy ha valós adatgyűjtésről beszélünk, azt leghamarabb a sor telepítése és felfutása során tudjuk elkezdni és nagyobb mennyiségű adat csupán a fejlődési periódusban áll rendelkezésre. Adatminőség szempontjából a felfutás során gyűjtött adatok minősége gyakran megkérdőjelezhető, mivel abban a fázisban általában jóval több a sor beüzemeléséből származó extra probléma, leállás. Amikor a sorra szeretnénk valamilyen mesterséges intelligencia alapú döntési elemet telepíteni, rövid idő alatt csapdába esünk, mivel az MI komponens működéséhez adat kell, de addig nincs adat, amíg nem működik üzemszerűen a rendszer. Ha egy már régebben működő sorba szeretnénk AI komponenset integrálni, akkor általában könnyebb helyzetben vagyunk.

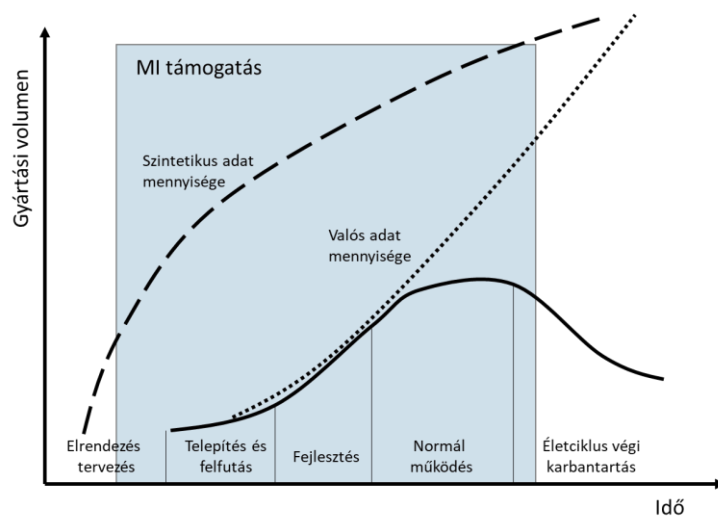
A digitális iker által generált ún. szintetikus adat szerepe megkerülhetetlen az MI alapú vezérlő rendszerek tervezése, fejlesztése során.

A szintetikus adat olyan adat, amelyet valamilyen modell generál a valós adat helyettesítésére. Azzal, hogy az adatgenerálási folyamat kontrollált, a szintetikus adat minősége jobb lehet gépi tanítási célra. A szintetikus adat tetszőleges léptékben, mennyiségben, időtartamra létrehozható. Lényeges, hogy a szintetikus adatok tükrözik a valós adatok jellegét, összetételét, arányait. A szintetikus adatok készítése során modellezzük az adatok disztribúcióját és szerkezetét [49] [50]. A szintetikus adatok legnagyobb előnye, hogy a létrehozásukat teljes mértékben kézben lehet tartani. A szintetikus adatok még egy komoly előnye, hogy általában kevesebb személyes adatot tartalmaznak, így a személyes adatok kezelésének problémája (GDPR) ritkábban jelenik meg. Például egy valós sori adatgyűjtő rendszer általában név szerint tartalmazza, hogy melyik dolgozó végezte a munkát, míg ugyanennek a szintetikus megvalósításában a dolgozók már csupán sorszámozott objektumként jelennek meg.

A szintetikus adatok generálásának leginkább elterjed módszerei a következők [49]:

- szabály alapú módszerek: ez jól használható módszer, ha a generált adatoknak valamilyen kényszernek vagy szabálynak kell megfelelnie.

- generatív módszerek: ezek a módszerek igen elterjedtek például képek generálásához, ahol a korábbi valós adatok feldolgozásával és az alapján új generálásával készül az adat.
- szimuláció alapú módszerek: abban az esetben, ahol valós eseteket kell modellezni, a valós világ egy leképezését kell elkészíteni (digitális ikerpár), ez a módszer nagyon jól használható. Az adatokat a valós esetet leképező, azzal megegyezően viselkedő szimuláció generálja.
- adat kibővítésen alapuló módszerek: ebben az esetben a valós adatok kibővítése történik illeszkedő adatokkal annak érdekében, hogy megfelelően nagy adathalmaz álljon rendelkezésre. Az eredményül kapott adat a valós és generált adatok keveréke lesz.



27. ábra A valós és a szintetikus adatok elérhetősége a gyártósor életciklusa során

A 27. ábra alapján a hagyományosan gyártósori adatgyűjtésből származó adatok gyűjtése a sor felfutási periódusától kezdődhet el. Ekkor azonban a beüzemelésből származó zavarok miatt az adatok minősége még általában nem alkalmas gépi tanuláshoz való felhasználásra. Jobb minőségű adatokat csak az üzemszerű működés közben tudunk gyűjteni. Ez viszont sokszor már késő, ha olyan MI modellel dolgozunk, aminek a feladata a sor vezérlése. A szintetikus adatok esetében sokkal jobb a helyzet. Akár már a gyártósor tervezési fázisában, a tervezési adatokat felhasználva generálhatók olyan szintetikus adatok, amelyekből dolgozni lehet. Később a tervezési adatok pontosabbá válásával és utána a telepített sor paramétereire alapján a szintetikus adatok minősége javítható. Az adatok generálás során alkalmazható az adatok mixelése is, amikor az MI modell tanításához felhasznált adatsomag egyaránt tartalmaz valós mért adatokat és szintetikus adatokat. Az ilyen mixelt adatok sokszor jobban jellemzik a rendszer szélsőséges állapotait.

Érdeemes a szintetikus adatokat összehasonlítani a valós adatokkal néhány adatokra jellemző szempont alapján. Mivel a gyártásban nagy mennyiségű adattal dolgozunk, ezért megvizsgálhatjuk, hogy a big data 5V modelljéhez hogyan illeszkedik a két adattípus (11. táblázat).

Big data paraméter	Valós, gyűjtött adat	Szintetikus adat
--------------------	----------------------	------------------

Velocity (sebesség)	A sor telepítése után folyamatosan növekvő adat.	Az adat generálás már a tervezés során elindulhat.
Volume (mennyiség)	A mennyiség a folyamat komplexitásától függ.	A mennyiség a folyamat komplexitásától függ a korábban kezdődő adatgyűjtés miatt több adat.
Veracity (érvényesség)	A sor változásával az adatok invaliddá, elavulttá válhatnak, ekkor új adatgyűjtési ciklust kell indítani, ami hosszú idő után ad eredményt, a sor az átmeneti idő alatt rosszul betanított modellel működhet. Az adatok számos esetben tisztítást igényelnek, illetve duplikációt tartalmaznak.	Az adatok minősége és pontossága a digitális iker modell pontosságától függ. Bár a sor változásával az adatok itt is elavulnak, új – a megváltozott helyzetet leképező adatok – gyorsan generálhatók. Az adatgenerálási folyamat ügyelhet az adat minőségére.
Variety (sokszínűség)	Az adat struktúrája a termelési adatgyűjtő rendszertől függ, sok esetben különböző rendszerek, különböző formátumú adatai.	Az adatstruktúra egységes, a digitális iker modellben kialakított jól strukturált adat.
Value (érték)	Amennyiben az adatok elavulnak az üzleti értékük a továbbiakban nulla, sőt az elavult betanítási adatok hibás gyártási, üzleti döntésekhez vezethetnek.	A jól felépített és folyamatosan frissített digitális iker.

11. táblázat A valós és a szintetikus adat összehasonlítása 5V szempontból

A fenti táblázatból is láthatók a szintetikus adatok legfőbb előnyei, az adatminőség és a tervezési ciklus során a szinte azonnali elérhetőségük.

Döntési táblák és neurális hálók

Az előzőekben tárgyalt két lehetőség akár egymást kiegészítve is használható az alábbi két módszer szerint.

1. A döntési táblák esetében bármely döntési feltételhez lehet hozzárendelni egy tevékenységet, amely egy neurális háló alapján ad meg értéket, végez el vezérlési feladatot.
2. Bár a modern sori vezérlőeszközök akár már közvetlenül is tudnak neurális hálót használni, amennyiben ez valamilyen okból nem lehetséges még mindig megoldható az, hogy a neurális hálót lekérdezve az összes bemeneti kombinációra, ami előfordulhat, az alapján felépíthető egy döntési tábla. Bár az ilyen táblázat nagyon nagy méretű is lehet több millió adattal, maga a neurális hálóból generálása és utána a vezérlés általi elérése megfelelően gyors lehet a diszkrét gyártás követelményeinek, és így a rugalmas gyártórendszerek számára.

Rendszer méretezés

Egy rugalmas gyártórendszer, ahogy a nevében is szerepel egy rendszer. Bár a gyártósor tervezés során a legtöbb tervezési-méretezési feladat adott különálló komponensekre történik, a végén ezeknek a különálló komponenseknek rendszerként kell működniük.

A kidolgozott keretrendszer számos eleme alkalmas arra, hogy a rendszer elemei közötti kapcsolatot vizsgálja (információ áram, döntési táblák, ...) egy ilyen komplex rendszernek a teljeskörű méretezését csupán digitális eszközökkel lehet elvégezni. Ennek érdekében egészítettük ki és tettük teljessé a keretrendszert a digitális ikerrel kapcsolatos módszerekkel.

Ebben a részben a rugalmas gyártórendszerek vezérlésen kívüli komponenseivel, vagyis a gépekkel és az anyag továbbítást biztosító logisztikai rendszerek statikus méretezésével foglalkozom. Bár a méretezés statikus módszereken alapszik számos olyan szempontot elemzek, amelynek a hatása a digitális iker modellben részletesen elemezhető.

Gépek méretezése

A gépek esetében kapacitás tervezés történik, a lényeg, hogy minden időszakban képesek legyenek az adott mennyiséget legyártani. Az időszakot leggyakrabban műszakban definiáljuk.

A szükséges gépek számára a legegyszerűbb képlet:

$$\text{Gépek száma} = \frac{\text{Műszakonként elvárt darabszám}}{\text{Műszakonként gyártható darabszám}} = \frac{\text{Gépenkénti darabidő}}{\text{Elvárt darabidő}}$$

Mivel a méretezését a gépeknek a legnagyobb terhelésre érdemes végezni, ezért a darabidő esetében a legrövidebb darabidejű termékkel érdemes számolni.

Puffer méretezés

A rugalmas gyártórendszerek fő célja, hogy több, különböző terméket is hatékonyan tudjon gyártani. Bár a rugalmas gyártórendszereken gyártott termékek általában a technológiai igényeiken túlmenően is hasonlatosak egymáshoz valamennyire (geometria, gyártási lépések), a különbségeknek jelentős hatása lehet az egyes termékek átfutási idejére a folyamaton. Az átfutási idő minimumára törekvés a gyártási és logisztikai folyamatok esetében nagyon hasonló a projekt menedzsmentből ismert törekvésre, vagyis a lehető leggyorsabb projekt végrehajtásra való törekvésre. A gyártási folyamatok és a projekttervezés közötti hasonlóság azonban nem ér itt véget, hasonlóan pufferekkel próbálja mindkét terület kezelni a folyamatokban felmerülő bizonytalanságokat. Azonban miközben a projekt tervezés esetében van olyan módszer, ami a pufferek méretezését támogatja, ilyen, a gyakorlatban is elterjedt módszer a gyártásban nincsen.

Klasszikus módon a gyártási átfutási időt a projekttervezésből is ismert kritikus útvonal (critical path) módszerrel szokták meghatározni. Ez a módszer a projekt átfutásának legrövidebb idejét úgy határozza meg, hogy összesíti a leghosszabb műveletek idejét, amelyek mindenképpen szükségesek a projekt végrehajtásához. Ez a módszer figyelembe veszi azt, hogy milyen feladatokat kell végrehajtani, hogy azok milyen sorrendben követik egymást és mindegyik ilyen feladathoz hozzárendel valamilyen végrehajtási időt.

A kritikus útvonal módszer abban az esetben nem működik, amikor a folyamatokon belül a feladatokhoz rendelt erőforrás is korlátos lehet.

A gyártósorok esetében a pufferek legfontosabb célja a különböző zavarok, meghibásodások, nem tervezett leállások hatásának csökkentése. Ilyen problémák az alábbiak lehetnek:

- műveleti idők szórása
- terméktípus átállás
- meghibásodások
- bármilyen a folyamat indulását akadályozó tényező (hiányzó anyag, készülék, dolgozó stb.)

A rugalmas gyártórendszerek esetében a műveleti idők szórása nem jellemző, mivel a gépek, állomások jelentős része automata állomás, így az ebből származó puffer igényel nem foglalkozunk. A rugalmas gyártórendszerek rugalmasságának a kulcsa, hogy a termékek közötti váltás ideje (az átállás) minimális legyen, praktikusán nulla. Bár ez nem minden esetben teljesül, az ebből adódó puffer igényel sem foglalkozunk. A fentiek alapján a rugalmas gyártórendszerek esetében a pufferek szükségességének fő oka a sori meghibásodások.

A rugalmas gyártórendszer elrendezés típusok esetében a pufferek szerepe az alábbiak szerint alakul:

- soros elrendezés: általában egymás után lévő gépek jellemzik ezt az elrendezést. A folyamat sorban halad végig a gépeken, nem jellemző a sorrendben a hurok. Így a puffer fő szerepe a soron lévő problémák hatásának tompítása. Mivel a sor struktúrája nagyon egyszerű a pufferek jellemzően FIFO elven működnek, a darabok nem előznek be a gyártás során.
- zárt hurok elrendezés: ennél az elrendezésnél a kötött pálya miatt FIFO a működés, kivéve abban az esetben, ha pl. teszteléshez kisorolás történik a sorról. A sorrend kötött.
- létra elrendezés: ez az elrendezés általában akkor használatos, ha a terméktípusok útvonala nem kötött, vannak olyan állomások, amelyeket kihagynak bizonyos terméktípusok. Előfordulhat előzés a termékek között.
- nyitott terű elrendezés: ez az elrendezés már nem kötött pályás, hanem valamilyen automata jármű valósítja meg a darabok mozgatását. Ennél az elrendezés típusnál két féle pufferrel különböztethetünk meg, egyrészt a fix puffereket, amelyek sori állomásként jelennek meg, másrészt pufferként értelmezhetjük a sori szállítóeszközöket is. Itt a puffer értelmezése is

megváltozik, gyakorlatilag a puffer mérete az adott két állomás között elérhető szállítójárművek száma. A szállítójárművel száma korlátozható és dedikálható állomásonként, de olyan is előfordul, hogy a teljes gyártósorra adott a rendelkezésre álló szállítójármű szám. Például, ha AGV-k szállítják a darabokat és a soron 20 darab AGV érhető el, akkor a soron belül a puffer kapacitás 20 darab, ha nincs külön sori puffer a gyártósoron.

- robot központú elrendezés: mivel ez az elrendezés kompakt, kis területen működő gyártóhely, ezért ebben az esetben általában minimális folyamatközi pufferrel dolgozik a sor. A puffer működésére jellemző a FIFO vagy a LIFO rendszer.

A puffer méretezési folyamat:

1. minden egyes termékre a kritikus lánc meghatározása
2. minden egyes termékre a kritikus láncban szükséges pufferek teljes méretének meghatározása
3. minden egyes termékre a teljes pufferméret elosztása a meghibásodások arányának megfelelően
4. a termékek közül az egyes pozíciókban a meghatározott legnagyobb pufferek kiválasztása
5. ezek a pufferek lesznek a javasolt pufferméret a soron

A puffer méretezés esetében a Projekt menedzsment igényeire kidolgozott Critical chain (kritikus lánc) módszert használtam.

A rugalmas gyártórendszerek fő jellemzője, hogy képesek gyorsan és hatékonyan reagálni a változó vevői igényekre és a termelési környezetben bekövetkező változásokra. A rugalmas gyártórendszerek termelési környezetben a dedikált gyártósorok és a műhely rendszerű gyártás között helyezkednek el. Alkalmassak arra, hogy viszonylag nagy termékvariációt gyártsanak és mindezt egy elfogadható sebességgel teszik. A rugalmasság fogalom értelmezhető a gyártott mennyiségre, a termékmixre, a gyártási technológiára egyaránt. [32]

A rugalmas gyártórendszerek gépek olyan elrendezése, amelyeket szállító és tároló rendszer köt össze és valamilyen központi vezérlés irányít. Ebből a definícióból is látszik a rugalmas gyártórendszerek egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy ezek olyan gyártósorok, amelyekbe a sori logisztika teljes mértékben integrálva van. [35] [36]

A rugalmas gyártórendszereket az alábbi három kifejezés írja le legjobban: automatizálás, integráció és optimalizálás. Ezek a rendszerek általában magas szinten automatizáltak, ennek eredményeképpen magas rendelkezésreállással tudnak üzemelni. Természetesen az anyagellátás és a karbantartás területén továbbra is emberi támogatást igényelnek. Az integráció szerepe nagyon fontos, a tervezés során a rugalmas gyártórendszerek esetében fontos a megfelelően illeszkedő komponensek kiválasztása, mert ez határozza meg a rendszer sebességét. Az optimalizálás főleg a vezérlési logikához kapcsolódik, mivel a rugalmas gyártórendszerek esetében minden elem általában egy logikai döntési pont is. Ezeknek a döntési logikáknak a felépítése határozza meg a rugalmas gyártórendszerek produktivitását. [33]

A rugalmas gyártórendszerek fő komponensei az állomások (megmunkáló, szerelő, hegesztő, mérő, stb.), a logisztikai anyagkezelő rendszerek (tárolók, anyagmozgató eszközök) és a vezérlési logika.

A rugalmas gyártórendszerek esetében a gépek általában rendelkeznek egy, a darabok fogadására és leadására szolgáló felülettel, ezeket betöltő és kiadó (load és unload) állomásoknak szokták nevezni. Kialakítástól függően ezek lehetnek a gépek részei vagy külön állomások.

A rugalmas gyártórendszereknek kulcsfontosságú elemei azok az elemek, amelyek összekötik az állomásokat. Ezeknek a legfontosabb funkciója az anyagmozgatás, de emellett felelősek a folyamatok stabilitásáért is. A leggyakrabban használt ilyen elemek a pufferek, amelyek a megvalósításuktól függően sokfélék lehetnek: szállítószalag, polcrendszer de akár a sorban álló anyagmozgató önjáró járművek is ide sorolhatók. Ezek a pufferek a rugalmas gyártórendszerek esetében a legtöbb esetben FIFO felépítésűek, a továbbiakban mi is ezekkel foglalkozunk.

Általános esetben két gép (S1 és S2) között puffer található (28. ábra).



28. ábra Rugalmas gyártórendszer egy szakaszának felépítése

Elmondható, hogy ideális esetben ha

- $tw(S1) = tw(S2)$, akkor az áramlás teljesen kiegyensúlyozott a puffer folyamatosan üres
- $tw(S1) > tw(S2)$, akkor az S2 folyamatosan vár az S1 gépre, a puffer üres
- $tw(S1) < tw(S2)$, akkor az S1 gép gyorsabb, mint az S2, a puffer fokozatosan megtelik, a C kapacitás megteléséhez

ahol,

$tw(S_i)$ – az i-edik állomás műveleti ideje

C – a puffer kapacitása

A legutolsó esetben a puffer megteléséhez szükséges idő az alábbiak szerint számolható: mivel S1 gép $1/tw(S1)$ sebességgel, az S2 gép pedig $1/tw(S2)$ sebességgel gyártja a darabokat, és mivel az első darab közvetlenül áthalad (még nem tölti a puffert), az alábbi összefüggés írható fel a puffer feltöltődéséhez szükséges időre:

$$T = tw(S1) + \frac{C}{\text{Sebesség különbség}} = tw(S1) + \frac{C}{\left(\frac{1}{tw(S2)} - \frac{1}{tw(S1)}\right)}$$

Ez az összefüggés általánosságban is használható bármely $tw(S_i)$ és $tw(S_{i-1})$ kombinációra.

Ahogy látszik ideális esetben a szükséges pufferméret meghatározása viszonylag egyszerű feladat. A gyártási rendszerek azonban nem statikusak és a műveleti időhöz gyakran hozzáadódik valamilyen nem tervezett idő is. Ez a nem tervezett idő általában két forrásból származhat, a termékek közötti átállásból és a gépek meghibásodásából.



29. ábra Gyártási idő elemei

Így az egy P_j termék gépen lévő gyártási ideje felírható a következő módon (29. ábra):

$$PT = tw(S_i, P_j) + tf(S_i, P_j)$$

ahol,

$tw(S_i, P_j)$ – az i -edik állomáson a j -edik termék műveleti ideje

$tf(S_i, P_j)$ – az i -edik állomáson a j -edik termék nem tervezett ideje

Ebben az esetben a nem tervezett idővel megnövelt gyártási idő alatt töltődik a gépek közötti puffer, ami mivel gyorsabb, mint a normál töltődés, ezért az időkülönbség kiküszöböléséhez nagyobb pufferméret is szükséges. Emellett a nem tervezett idő miatt a korábban vizsgált $tw(S1) = tw(S2)$ és $tw(S1) > tw(S2)$ esetekből is $tw(S1) < tw(S2)$ eset lehet, tehát ilyen esetekben is szükség lehet pufferre a gépek között.

Láthatóan a pufferek és az állomásokon keresztül egymáshoz kapcsolt pufferek méretezése összetett feladat.

Amennyiben megvizsgáljuk a rugalmas gyártórendszerekben alkalmazott gépeket a működésük szempontjából az alábbi megállapításokat tehetjük:

- a rugalmas gyártórendszerek esetében az egyes darabok gépeken töltött ideje két részből tevődik össze, a műveleti időből és az esetleges nem tervezett időből (2. ábra).
- a műveleti idő általában típusfüggő.
- a nem tervezett idő a folyamat sztochasztikájából származik. Két forrása lehet, a típusok közötti átállási idő és a gép bármilyen zavarából, meghibásodásából származó idő. Ezek közül az átállási idő a termékhez kötődő adat, míg a meghibásodás a géphez kapcsolódó információ. A

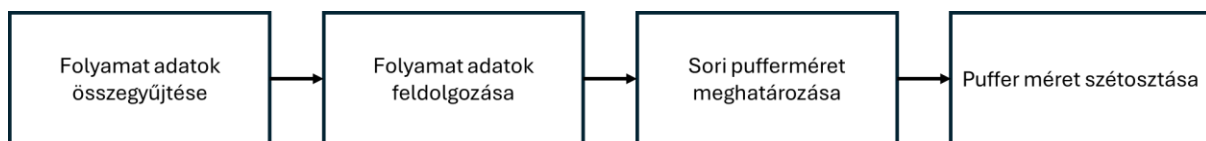
rugalmas gyártórendszerek általában magas szinten automatizált rendszerek ezért a folyamatidők sztochasztikájával nem szükséges foglalkozni.

- a rugalmas gyártórendszerek esetében a gépek kialakításának során törekednek a minimális vagy nulla átállási időre. Amennyiben az mégsem nulla, akkor a vezérlés a legtöbb esetben már a következő darab odaérkezésére elvégzi az átállást az előző darabról.
- a meghibásodások esetében történhetnek rövidebb és hosszabb meghibásodások. Hosszabb meghibásodásoknak nevezzük azokat a meghibásodásokat, amelyek hatását már nem tudjuk pufferek segítségével kompenzálni.
- a meghibásodás hosszának definiálására használhatjuk a gyártásban elterjedt MTTR (Mean Time to Repair -javításhoz szükséges idő) fogalmát.
- amennyiben szeretnék meghatározni a szükséges puffer méretet, akkor érdemes a gyártási szempontból legrosszabb helyzetet vizsgálni, ami a leghosszabb leállást okozza, így a legnagyobb pufferigényt támasztja a leállás kompenzálására. Ezt nevezhetjük a rendszer szűk keresztmetszetének.

A pufferek méretezésére kidolgozott módszertan támaszkodik az előzőekben a pufferek természetéről készített információkra és a kritikus lánc projekt menedzsment módszertanára.

A kritikus lánc módszer esetében az agresszív időbecsléssel kapott idő a műveleti idő, míg a szórást a nem tervezett időből lehet számítani. Ez azért is egybevág a gyártással, mert a kritikus lánc módszer esetében a minimálisan szükséges idő az pont ugyanaz, mint a gyártás esetében az ideális állapot műveleti ideje.

A kritikus lánc módszer esetében fontos szempont még az erőforrás ütközések kezelése a projekt ütemtervben. Amennyiben a kritikus lánc módszert rugalmas gyártórendszerek esetében akarjuk használni, akkor ezzel a következő okok miatt nem szükséges foglalkoznunk. A rugalmas gyártórendszerek esetében erőforrás konfliktust jellemzően a hurok jellegű folyamatok okozhatnak, amelyek esetében a gyártott termék visszatér a folyamat során egy korábbi állomásra. Mivel azonban a darabra jutó gyártási idő a leállások idejének töredéke és mivel a rugalmas gyártórendszerek esetében a gépek kapacitása általában kiegyensúlyozott, ezért a visszatérő darab nincs jelentős hatással a sor dinamikájára.



30. ábra Puffer méretezés folyamatábrája

A kidolgozott módszer az alábbi lépéseken keresztül alkalmas a sori pufferek méretezésére (30. ábra):

Folyamat adatok összegyűjtése: ebben a lépésben össze kell gyűjteni a műveleti időket és a meghibásodás paramétereit (gyakoriság, hossz). A műveleti idők a rugalmas gyártórendszerek esetében termékfüggők. Amennyiben van átállás az is termékfüggő. A meghibásodás adatok gépfüggő paraméterek.

Folyamat adatok feldolgozása: a pufferek méretezését érdemes a legrosszabb esetre végezni, ezért a folyamatban a minden gép (állomás) esetében ki kell választani a leghosszabb műveleti idővel rendelkező terméket. Ez azért fontos, mert a leghosszabb gyártási idejű termék tudja leglassabban feldolgozni a gép előtt lévő pufferből a benne lévő darabokat. Ezek az idők lesznek a kritikus lánc módszernek az agresszív idő becslései. A nem tervezett idők esetében meg kell határozni, gépenként, hogy a pufferekkel milyen mértékű leállásokat akarunk kompenzálni. Például egy gép esetében el lehet dönteni, hogy 10 perces leállásokat még szeretnénk a pufferrel kiegyenlíteni, de az annál hosszabb „nagy” leállásokat már nem. Ezek az idők adják meg a nem tervezett idők szórását. Mivel a gyártási folyamatokban a minimális időt használjuk az agresszív becslés gyanánt, így a variancia esetében csak pozitív eltérésről beszélhetünk.

Sori pufferméret meghatározása: az előző lépésben kiszámított paraméterek alapján a kritikus lánc módszer négyzetösszegek módszere használható a sori pufferméret meghatározására. Lineáris vagy körkörös sor esetén „projekt” pufferről beszélhetünk. Elágazásokkal rendelkező sor esetén pedig „etető” puffer kapacitást számolhatunk az egyes becsatlakozó ágakra.

Puffer méret szétosztása: a kapott sori pufferméretet ellentétben a projektkezeléssel nem a vizsgált szakasz végére illesztjük be, hanem annak érdekében, hogy minden állomás egyéni pufferigényét kielégítsük, szétosztjuk a sor mentén. A folyamat adatok feldolgozása lépésben típusonként és gépenként meghatározott agresszív idő becslések arányainak megfelelően osztható szét az egyes gépek előtt.

A fenti kidolgozott módszer egy strukturált, adat alapú, jól kezelhető módszer a gyártósori pufferek méretének meghatározására. További előnyei a módszernek, hogy

- a puffer méretek az AGV alapú gyártósorok esetében jó támpontot adhatnak a szükséges AGV darabszám meghatározásában is.
- a puffer méretek a palettás gyártósorok esetében a palettaszám meghatározását is segítik, mivel a palettaszám = pufferméret + gépkapacitás összeg a soron.

A puffer méretezés nagyban függ a rendszer dinamikájától, ezért a kapott eredményeket érdemes digitális iker modellben, javasoltan szimulációban ellenőrizni.

AGV darabszám meghatározása

A rugalmas gyártórendszerek a logisztika területén is rugalmasságot igényelnek, nem véletlen hát, hogy a rugalmas gyártórendszerek öt elrendezés változatából három esetében is használhatók AGV-k az anyagmozgatásra (zárt hurok, létra és nyitott terű elrendezés). A kialakítás szempontjából az AGV-k lehetnek kötött pályások vagy szabadon mozgók. A rugalmas gyártórendszer elrendezés típusok közül a hurok és a létra elrendezés általában kötött pályás nyitott terű kialakítás pedig szabadon mozgó AGV-eket használ.

A rugalmas gyártórendszerek esetében két fő típusa használt az AGV-knek:

- Csak anyagmozgatásra használt AGV (ilyenkor az AGV az állomások között szállítja a darabot, legnagyobb hátránya, hogy viszonylag költséges megoldani minden állomás esetében a fel és lerakódó rendszert).
- Munkahelyként is funkcionáló AGV (ilyenkor a darab az AGV-n marad az egyes állomásokon is és a művelet úgy hajtódik végre, hogy a termék végig az AGV-n marad. Általában egyszerűbbek és kisebbek így az állomások, viszont több AGV-t igényel a rendszer)

A kettő közül a gyártott termék paraméterei és a gyártási paraméterek alapján lehet dönteni. Nagyobb, nehezebb termék esetében jobb, ha a darab az AGV-n marad, hosszabb gyártási folyamatok esetén pedig jobb, ha felszabadul a gyártás alatt az AGV, mert akár más tevékenységet is végezhet ez alatt.

Az AGV tevékenységek jellemzően az alábbi lépésekből állnak:

- darab felvétel
- darabbal utazás állomások között
- darabon gyártási tevékenység végzése
- darab leadás
- üresen utazás
- töltőn tartózkodás

Így egy AGV műszakon belüli tevékenységéhez szükséges idő felírható az alábbi képlettel:

$$t_{AGV} = \sum t_{Felvétel} + \sum t_{Gyártás} + \sum t_{Leadás} + \sum t_{Darab\ szállítás} + \sum t_{Üres\ szállítás} + \sum t_{Töltés}$$

Gyakori megoldás, hogy az AGV miközben visz egy darabot egy állomásra, onnan el is viszi az időközben elkészült darabot. Könnyű belátni, hogy ebben az esetben, ha az új darab akkor érkezik az állomásra, amikor még nincs kész a korábbi, akkor várakoznia kell az AGV-nek, ami kapacitáskiesést okoz. Hasonlóan kapacitáskiesést okoz, ha a régi darab már készen van és az új darab nem érkezett még

oda az állomásra. Az első esetben az AGV vár, a második esetben maga az állomás. A várakozó AGV-k tulajdonképpen egy várakozási sort, puffert alkotnak a gép előtt.

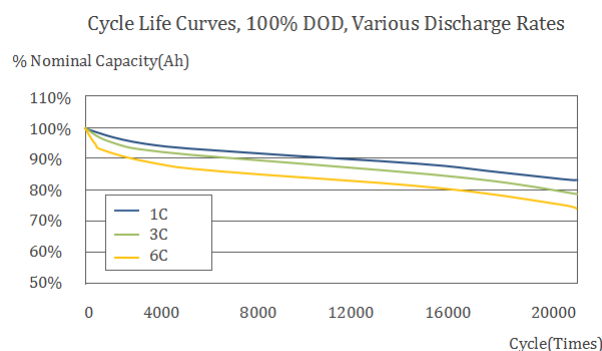
Az alábbi táblázat összefoglalja a fő jellemzőit a két változatnak:

AGV csak szállításra	AGV, mint munkahely
Kisebb termékek esetében	Nagyobb termékek esetében
Rövidebb AGV körök	Hosszabb AGV körök
Általában szabadon mozgó AGV-k	Általában kötött pályán haladó AGV-k
Kevesebb AGV szükséges	A munkahelyen töltés is történhet
Komplexebb vezérlés	Több AGV szükséges
	Egyszerűbb vezérlés

12. táblázat Különböző típusú AGV-k összehasonlítása

A fenti táblázatból látszik, hogy az AGV-k legtöbb hátránya (ár, komplexebb vezérlés stb.) az akkumulátor jellegéből adódik, ezért érdemes ezt a témát mélyebben is megvizsgálni. A régebbi AGV-k főleg Lítium-ion akkumulátorokat használnak, ezeknek az élettartama körülbelül 2000 töltési ciklus [51]. A modern AGV-kben jellemzően Lítium-titán (LTO) akkumulátorokat használnak. Ezeknek az akkumulátoroknak nagyon komoly az életciklusuk, körülbelül 20000 töltési ciklust bírnak ki [52] [53].

Jelenleg viszonylag kevés hosszú távú tapasztalat érhető el az AGV akkumulátorok degradációjával kapcsolatban, ezért kénytelenek vagyunk a gyártók által megadott (néha minden bizonnyal optimista) specifikációkra hagyatkozni. Jól látható azonban [25], hogy ezek az akkumulátorok kb. 4000 töltési ciklus után már jelentős, több, mint 15%-os kapacitásvesztést is szenvedhetnek (31. ábra).



31. ábra LTO akkumulátorok degradációja a töltési ciklusok számának függvényében [25]

Számos további tényező van, ami befolyásolja az akkumulátoros AGV-k élettartamát és viselkedését [54]:

- Üzemeltetési hőmérséklet – ez szélsőséges esetben 5-10%-kal csökkentheti a kapacitást
- Töltési ciklusok száma
- Korosodás

- Elindulások, megállások száma
- Mozgatott teher súlya

Ezeknek a befolyásoló hatását főleg kísérletezéssel, méréssel lehet meghatározni.

Egy átlagos AGV egy töltéssel 4 órás üzemre képes, amit 1-2 órás töltés követ, így egy három műszakos gyártás esetében napi 4 töltési cikluson esik keresztül, a minimális 200 munkanappal számolva ez 800 ciklus évente. Ez azt is jelenti, hogy kb. 5 év után már csupán nagyjából az eredeti kapacitása 90%-át lehet használni, további 5 év után pedig ez az érték 80-85% közé csökkenhet.

Az AGV-k esetében az újratöltésre két fő módszert szoktak használni, az akkumulátor cserét (swap) és az akkumulátor újratöltést (charge). Gyártási környezetben az utóbbi egyszerűbben megvalósítható és kezelhető, ezért a továbbiakban ezzel foglalkozunk. Az újratöltésen belül lehetnek dedikált töltőállomások, de bizonyos esetekben olyan megoldások is léteznek, hogy munkaállomáson, amíg a darabon munkát végeznek az azt hordozó AGV töltődik.

A töltés szempontjából tehát a töltés történhet:


- töltő ponton folyamat közben
- dedikált töltőállomáson
- folyamat lépés során (in-process)
- ezek kombinációjával

A rugalmas gyártórendszerre szükséges AGV darabszám meghatározás komplex feladat. Két megközelítést lehet rá alkalmazni, és azok eredményét kombinálni:

1. az AGV-k mennyiségének ki kell elégíteni az adott időszakra vonatkozó szállítási, darab mozgatási igényt, figyelembe véve az AGV-k akkumulátor kapacitás jellemzőit és a töltési helyzetet. Ebben az esetben az adott időszakra szükséges töltési kapacitás alapján végezzük a méretezést.
2. az AGV-k emellett puffer szerepet is töltenek be a gyártási folyamatban, így a korábban tárgyalt puffer méretezési megfontolásokat is figyelembe kell venni. Ebben az esetben a sorban álló AGV-k pufferként működnek, így alkalmazható rájuk a korábbi puffer méretezési módszer.


Foglalkozunk a szállítási, anyagmozgatási kapacitás meghatározásával. Egy AGV a gyártási-logisztikai folyamat során három állapotban lehet: vagy mozog, vagy áll, vagy töltés alatt van. A mozgást még érdemes lehet különválasztani terhelt állapotú mozgásra és nem terhelt (visszaszállítás, vagy üres) mozgásra. A méretezési módszer során az üzemidőt fogjuk használni, mint méretezési mérőszámot, mivel az mérnöki szempontból és gyártási szempontból a legjobban értelmezhető jellemzője a rendszernek.

Az AGV-k esetében a gyártók sokszor csak minimális információt adnak meg, szerencsés esetben [55] (32. ábra) azonban elérhetők azok az információk, amelyek az akkumulátort jellemzik.



SAFELOG
NO CHANCE FOR ERRORS

AGVM4
AUTOMATED GUIDED VEHICLE
DATA SHEET



SAFELOG GmbH | Henleinstr. 4 | D-85570 Markt Schwaben | www.safelog.de

SAFELOG
NO CHANCE FOR ERRORS

General information

- Forward and backward driving
- Wearfree in-process charging via inductive charging system
- Scalable battery capacity with LiFePo4 batteries to adapt to process requirements
- Flat design with a height of only 220 mm (8.66") – ideal for driving underneath trolleys
- 7" touch display for easy handling
- Agent based software communicates decentralized with other AGVs and its environment
- Electric lifting pin for automated pick-up and drop-off of carriers up to 1.5 t
- Driving speeds from 0.02 m/s (0.05 mph) to 1.6 m/s (3.58 mph)
- Hybrid navigation: combination of magnetic track, contour navigation, camera navigation and odometry
- Safety laser scanners in each direction of travel

Technical data

Description	SAFELOG AGV M4
Article number	106148
Electrical data	
Operative voltage AGV [V]	24 DC
Charging time (with 1 / 2 / 3 / 4 batteries) [min]	30 / 40 / 60 / 80 *
Capacity (with 1 / 2 / 3 / 4 Batteries) [Ah]	21 / 42 / 63 / 84
Operation	
Temperature [°C] [°F]	5 - 35 41 - 95
Accuracy of positioning [mm] [inch]	+ / - 5 * + / - 0.2 *
Min. turning radius [m] [inch]	1 39.4
Max. speed (with carrier/without carrier) [m/s] [mph]	1.0 * / 1.6 * 2.2 * - 3.58 *
Endurance driving without load (with 1 / 2 / 3 / 4 batteries) [h]	4 / 8 / 12 / 16 *
Mechanical data	
Housing material	Steel
Dimensions (L / W / H) [mm] ["]	1460 / 400 / 220 57.5 / 15.7 / 8.66
Weight AGV [kg] [lb]	235 518
Max. load capacity AGV (topload) [kg] [lb]	200 * 440 *
Max. pulling capacity (carrier) [kg] [lb]	1500 * 3300 *

*This value depends on the application environment.
The imperial units are only for orientation. If there is any deviation in the specification, the metric system is valid.

32. ábra Egy AGV gyártói adatlapja [55]

Az AGV rendszerek elemzése során érdemes bizonyos feltételezésekkel élni, főképp azért, mert a pontosításhoz szükséges adatok megszerzése nem mindig lehetséges. Ezek a feltételezések:

- Az AGV-k sebessége konstans (v). A valóságban a kanyarsebesség és a tolatási mindig lassabb, illetve az állomás ráközelítés és leválás során is lassabb a mozgás. Sajnos legtöbb esetben a gyártók nem adják meg ezeket az adatokat, ezért legfeljebb mérni lehet ezeket.
- Az AGV-k fogyasztása lineáris. Szintén egy olyan paraméter, amelyet a gyártó ismer, de nem publikál. Ismert, hogy az AGV-k fogyasztása függ a terheléstől (a szállított tömegtől), a környezeti hőmérséklettől és az akkumulátor állapotától.
- Az AGV-k töltése lineáris. Ezt a paramétert főleg az akkumulátor gyártók ismerik. A modern akkumulátorok esetében a töltés nem teljesen lineáris, a töltési ciklus elején gyorsabb a töltés, aztán lassabb. Befolyásolja a töltés karakterisztikáját az is, hogy az akkumulátor milyen töltöttségi szinten kerül a töltőre, illetve, hogy milyen állapotban van az akkumulátor.

A méretezés alapja valamilyen időegység, praktikusán a műszak lehet. A minimális információ, amit gyakorlatilag minden gyártó megad az AGV-ekkel kapcsolatban, hogy mennyi ideig működnek normál kondíciók mellett egy töltéssel, mennyi a töltési idejük és milyen sebességgel közlekednek.

Amennyiben csak ennyi adat áll rendelkezésünkre, akkor a méretezés lépései a következők lehetnek:

1. a korábban elkészített anyagáram intenzitás táblázat alapján a műszakban az AGV-k által megteendő távolság meghatározása, ez az anyagáram intenzitás táblázat celláiban szereplő értékek összege:

$$D_{teljes} = \sum d_{x,y}$$

ahol,

D_{teljes} – a teljes megteendő távolság a műszakon belül. Itt érdemes a szállítás maximum értékeit használni, hogy a legnagyobb terhelésre legyen méretezve a rendszer.

$d_{x,y}$ – az anyagáram intenzitás táblázat x-edik oszlopában és y-adik sorában lévő érték

2. A teljes távolság és az AGV sebesség alapján meghatározható a szükséges szállítási idő:

$$t_{igény} = \frac{D_{teljes}}{v_{AGV}}$$

ahol,

$t_{igény}$ – a teljes szállítási időigény

v_{AGV} – az AGV sebesség

3. A szállítási időigényt elosztva a műszak hosszával megkaphatjuk a szükséges elméleti AGV darabszámot:

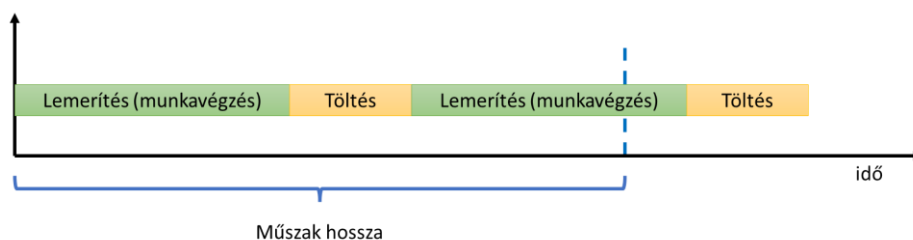
$$N_{elm} = \frac{t_{igény}}{t_{műszak}}$$

ahol,

N_{elm} – az elméletileg szükséges AGV darabszám

$t_{műszak}$ – a műszak hossza

A műszak hossza egy jól használható érték abban az esetben, ha egy AGV egy töltéssel kibír egy műszakot, abban az esetben amennyiben viszont nem, akkor foglalkozni kell az AGV töltési ciklusával is.



A 33. ábra egy példa AGV töltési ciklust mutat, amiből jól látszik, hogy ha az AGV egy töltéssel végzett szállítási kapacitása kisebb, mint a műszak hossza, akkor az AGV-t a műszakon belül tölteni kell. A töltési idő pedig csökkenti az AGV rendelkezésre állását. Így a fenti képlet az alábbi alakra módosul:

4. figyelembe vesszük az AGV-k műszakon belüli valós szállítási kapacitását.

$$N = \frac{t_{igény}}{t_{műszak} - N * t_{töltés}}$$

ahol,

N – az elméletileg szükséges AGV darabszám

$t_{töltés}$ – az AGV töltési ideje a műszakon belül

átalakítva egy másodfokú egyenletet kapunk:

$$-t_{töltés} * N^2 + t_{műszak} * N - t_{teljes} = 0$$

aminek a megoldása:

$$N = \frac{-t_{műszak} \pm \sqrt{t_{műszak}^2 + 4 * t_{töltés} * t_{teljes}}}{-2 * t_{töltés}}$$

Az AGV-eket érdemes a teljes életciklusra méretezni, ahogy a degradációval csökken a kapacitásuk, a töltés sűrűbben történik, hosszabb töltési időt kell behelyettesíteni a fenti képletekbe. Ennek megfelelően a degradációval magasabb szükséges AGV szám fog kijönni.

A szükséges töltőállomás számot a műszakra az alábbi módon számolhatjuk ki:

$$CN = N * \frac{t_{töltés}}{t_{műszak}}$$

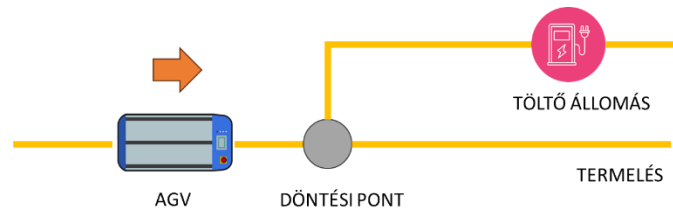
ahol,

CN – a szükséges töltőszám

Ezek a számított értékek optimista számítások, a valós életben 10%-kal legalább érdemes több AGV-t használni. Az AGV szám pontos meghatározásához digitális iker építése szükséges.

A 33. ábra rámutat még egy fontos területére az AGV alapú rendszereknek, a töltés ütemezésre. Ha az ábra szerint a műszak elején az összes AGV teljes töltöttségen működik, akkor a lemerítési ciklus is egyszerre végződik, egyszerre lenne igény az összes AGV töltésére, ami a termelés azonnal leállításával járna és pont annyi töltőt igényelne, ahány AGV van a rendszerben. Ez nem járható út, az AGV-eket

egymástól időben eltolva kell tölteni, sokszor nem is várva meg a lemerülésüket. Ez a valós életben a flottakezelő szoftver dolga, amit általában az AGV gyártója biztosít.



34. ábra Töltési döntési pont kialakítása

A folyamatokban mindig lesz egy döntési pont (34. ábra), amikor eldől, hogy az adott AGV a töltő felé haladjon tovább, vagy folytathatja a munkáját a termelésben. Bár ezeket a döntéseket a flottakezelő rendszer elvileg kezeli, érdemes megnéznünk, hogy milyen töltési stratégiák létezhetnek (13. táblázat):

Töltő puffer logika	Leírás
LILLO	Level in Level out – adott lemerültségi szintnél, vagy alatta az AGV töltőre kerül és adott töltöttségi szintet elérve tovább megy
WILO	Lowest in Level out – a legalacsonyabb töltöttségi szinten álló AGV töltőre kerül és adott töltöttségi szintet elérve tovább megy
FXLO	First expired Level out - a mostantól legkorábban lemerülő AGV töltőre kerül és adott töltöttségi szintet elérve tovább megy
LIFO	Level in Full out – adott lemerültségi szintnél, vagy alatta az AGV töltőre kerül és teljesen feltöltve megy csak tovább
WIFO	Lowest in Full out – a legalacsonyabb töltöttségi szinten álló AGV-t választja ki a felszabadult töltőállomásra és ha teljesen feltöltődik, akkor küldi tovább
FXFU	First expired Full out – a mostantól legkorábban lemerülő AGV-t választja ki a felszabadult töltőállomásra és ha teljesen feltöltődik, akkor küldi tovább

13. táblázat AGV töltő puffer stratégiák

A fenti módszer jól használható az AGV-k méretezésére, de a pontos méretezéshez érdemes az alábbiakat is megfontolni és amennyiben rendelkezésre áll róluk adat, a méretezésbe belevenni:

- az AGV egy töltéssel nyújtott kapacitása függ a terheléstől, a sebességtől, a környezeti hőmérséklettől. Ezeket az értékeket méréssel lehet meghatározni, illetve számos AGV vezérlőszoftverének naplójából kinyerhetők.
- az AGV sebessége nem konstans, a kanyarodás alacsonyabb sebességgel történik, a megállás előtti lassulás és az elindulás utáni gyorsulás is változó sebességgel történik. Amennyiben ez jelentősen módosítja az átlagsebességet, akkor ezt is érdemes a számítások során figyelembe venni.

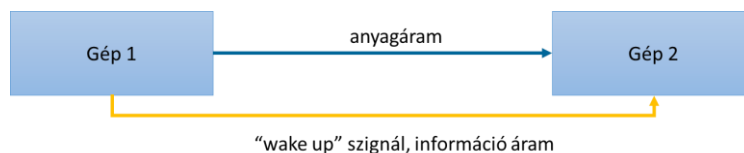
- olyan útvonal szakaszokon, ahol nagy a forgalom, és az AGV gyakran megállhat ütközés elkerülése miatt, a honnan-hova táblázatban érdemes kompenzációs faktort beépíteni.
- az idő haladtával az AGV állomány erősen inhomogénné válik az akkumulátor kapacitás szempontjából. Lesznek régebbi AGV-k rosszabb állapotú akkumulátorral, újabb AGV-k teljes kapacitású akkumulátorral és a kettő között bármilyen állapotú AGV-k a javítás vagy a köztes beszerzés, esetleg más termelőterületről áthelyezés miatt változó állapotú akkumulátorral. Ilyen esetekben a legbiztonságosabb a tervezés szempontjából, ha a legalacsonyabb meglévő kapacitást tekintjük a rendszerben lévő AGV-k kapacitásának.

Az AGV darabszám méretezés nagyban függ a rendszer dinamikájától, ezért a kapott eredményeket érdemes digitális iker modellben, javasoltan szimulációban ellenőrizni.

Energiahatékonyság

A rugalmas gyártórendszerek esetében az energiahatékonyság jelentősen csökkentheti az üzemeltetési költségeket. A legtöbb modern gép rendelkezik olyan „stand-by” funkcióval, amely a gépet alacsonyabb fogyasztású állapotba tudja kapcsolni és egy adott jelre vissza tudja azt kapcsolni.

Ezeknél a rendszereknél a működési modell (35. ábra), hogy a megelőző gép éppen időben küldi a következő állomás ébresztő jelét, hogy az már ismét üzemképes legyen, mire az anyagáramban a következő darab megérkezik. Így elkerülhető a veszteség, amint a darab a géphez ér, azonnal megkezdődik a feldolgozása.



35. ábra Energiahatékonyság működési modellje

Számos konvektor vezérlés tartalmaz olyan funkciót, ami leállítja a folyamatosan mozgó pályát abban az esetben, amikor nem érkezik szállítandó darab. Itt is az a fontos, hogy időben megkapják azt az információt, hogy mikor kell újraindítani a konvejtort, hogy az érkező darabnak ne kelljen várakoznia, hanem azonnal tovább tudjon haladni.

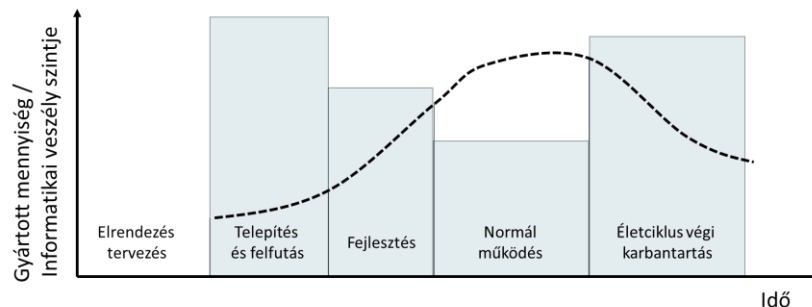
Az energiahatékonysági funkciók megvalósítását az információ áram diagram és a döntési táblák kombinációjával lehet megtervezni és dokumentálni.

Rugalmas gyártórendszerek informatikai biztonságra tervezése

A rugalmas gyártórendszerek erejét az összekapcsolt, hatékonyan működő komponensek adják. Az összekapcsolásnak két szintje van:

- anyagáram szempontjából történő összekapcsolás: ez határozza meg, hogy merre haladnak a darabok a gyártórendszerben
- információ áram szempontjából történő összekapcsolás: ez jelzi, hogy a komponensek között milyen irányban milyen adatok kerülnek átadásra a komponensek között a működés és a vezérlés céljából

Ebben a részben az információárammal és az informatikai infrastruktúrával kapcsolatos tervezési feladatokat vizsgáljuk meg.



36. ábra Gyártórendszerek informatikai biztonsága az életciklus során

A gyártórendszer életciklusa mentén vizsgálva az informatikai biztonság kérdését az egyes életciklus lépésekben a következők jellemzők:

- elrendezés tervezés: ebben a fázisban érdemes megtervezni a gyártórendszer biztonságát
- telepítés és felfutás: ekkor általában a legtöbb eleme a gyártórendszernek teszt üzemmódban működik, amely jellemzően egy informatikai szempontból kockázatosabb állapot (nyitott portok, köztes szoftververziók stb.)
- fejlesztés: ez a leginkább biztonságos állapot, a gyártórendszer működik, az összes informatikai elem a legfrissebb szoftververzióval fut, általában korszerű technológiák kerülnek letelepítésre
- normál működés: a gyártósor termel, de fennáll a veszélye, hogy a rendszeres informatikai karbantartások elmaradnak, a szoftververziók frissítése nem történik meg
- életciklus végi karbantartás: ez az időszak, amikor a legnagyobb a veszélye annak, hogy a gyártósor informatikai biztonsági szempontból elavul. Azzal, hogy a gyártósorról már mindenki tudja, hogy előbb-utóbb bezárásra kerül, a rendszeres informatikai frissítések száma jelentősen csökkenhet

Jó hír a rugalmas gyártórendszerekkel kapcsolatban, hogy annak köszönhetően, hogy ezeken a gyártósorokon folyamatosan jelennek meg új termékek, ezért általában ezek esetében az új termékek

bevezetésével egy időben az informatikai rendszer frissítése is megtörténik. A rugalmas gyártórendszerek biztonsági kialakításával kapcsolatos javaslatokat több szervezet is közzétett [56] [57].

Az informatikai biztonságot kezelni lehet a korábban használt információáram táblázatban, amelyet ki lehet egészíteni az informatikai kockázat kategóriájával vagy szintjével.

A kockázati kategóriák felállításánál a szempontok lehetnek:

- különböző informatikai architektúrák kapcsolódása
- már nem támogatott informatikai architektúra
- egyedileg fejlesztett rendszer
- adatvesztés kockázata
- külső és belső támadás kockázata
- rendszer meghibásodások kockázata

Az informatikai biztonsággal kapcsolatban az alábbi szabványok és eljárások határozzák meg a gyártó cégek működését:

- NIS2: az Európai Unió általános kiberbiztonsági és információbiztonsági szabványa, amelyet a tagállamoknak 2024. októberéig kellett átültetniük az adott ország jogi gyakorlatába.
- ISO 27001: Információbiztonsági management rendszer szabványa, amely a gyártási információk védelmére irányul.
- TISAX: német autóiipari információbiztonsági szabvány, amely az ISO 27001-es szabványon alapul, de az autóiipar egyedi igényeit emeli ki.
- IEC 61508: Vállalatok által alkalmazott biztonsági szabvány, amely a gyártási rendszerek biztonságának biztosítására irányul. Az elektronikai és hardverelemek biztonságát célozza.

Rugalmas gyártórendszer tervezés projekt kezelése

Egy rugalmas gyártósor, illetve gyártórendszer tervezése összetett, komplex folyamat, számos tevékenységből és résztvékenységből állhat. Emellett tovább növeli a komplexitását, hogy a tervezésében általában több szervezeti egység is érintett, ezért a tervezési projekt koordinálása is kihívást jelenthet. Ebben a részben összefoglalom, hogy a gyártósor tervezési projektben jellemzően milyen szerepkörök érintettek a vállalaton belül és egy példa projektterven bemutatom, hogy az egyes tervezési folyamatok hogyan tudnak kapcsolódni egymáshoz.

Egy rugalmas gyártórendszer tervezésében általában az alábbi személyek, illetve szerepkörök érintettek:

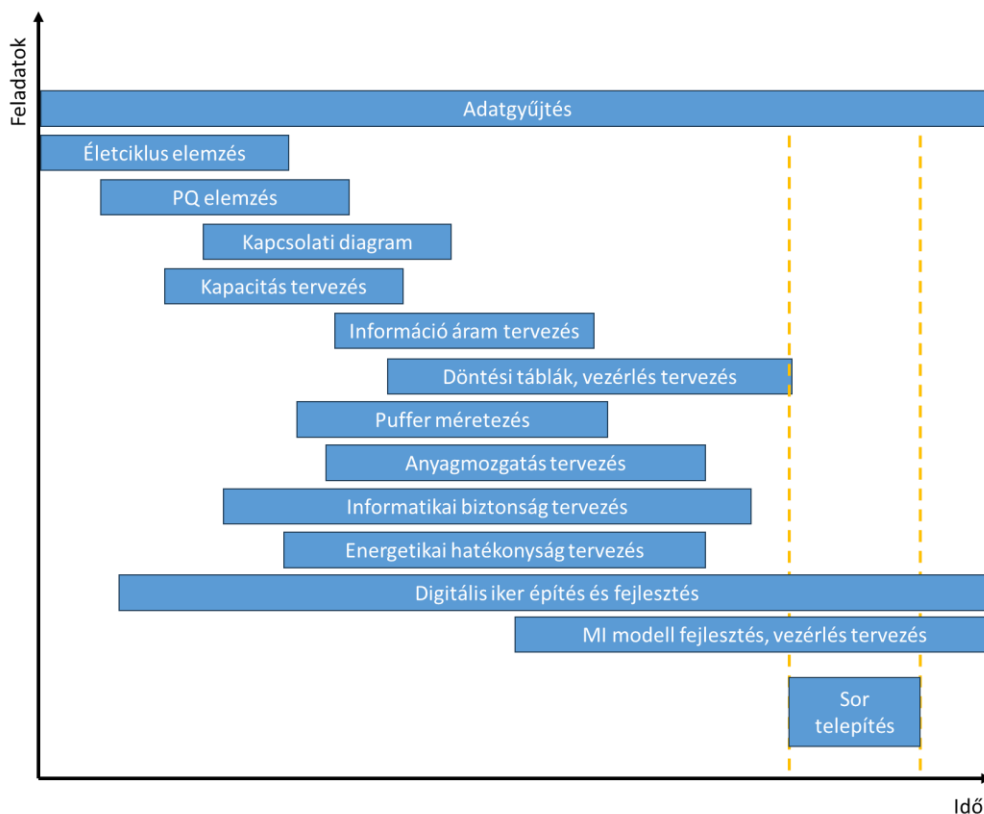
- menedzsmet: ők hozzák meg a döntés, hogy milyen gyártósor készüljön

- pénzügy: biztosítják a szükséges anyagi erőforrásokat
- beszerzés: megadják a várható gyártási terveket, előrejelzéseket
- terméktervezés: a termékek megtervezése, lehetőleg gyárthatósági szempontok figyelembevételével
- folyamattervezés: a feladatuk a technologizálás és a kapcsolódó folyamatok megtervezése
- termelés: gyakorlati tapasztalatukkal rámutathatnak a folyamatok továbbfejlesztési lehetőségeire
- logisztika: szorosan együttműködve a folyamattervezéssel kialakítják a szükséges logisztikai hátteret, beszállítók, anyagmozgatás és erőforrás szempontból
- üzembiztonság: minden gyártósor esetében kulcsfontosságú, hogy produktív és biztonságos legyen
- informatika: a gyártórendszerek esetében egyre több informatikai eszköz kapcsolódik, feladatuk az információáramlás és a döntések áramlásának megfelelő biztosítása

Bár a legtöbb esetben a tervezés addig nem is kezdődik el, amíg nem születik meg az a döntés, hogy rugalmas gyártórendszer lesz megvalósítva, ennek ellenére akár még a részletes tervezés után is születhet olyan döntés, hogy mégsem rugalmas gyártórendszerre van szükség. Ennek jellemzően három oka lehet:

- a felmerült túl magas megvalósítási költségek
- túl komplex vezérlés megvalósításának szükségessége, és annak kihívásai
- túl nagy bizonytalanság az alapadatokban (előrejelzés és jövőbeni vevői igények, típusok, technológiák) ami túl nagy üzleti kockázatot jelent egy ilyen költséges gyártósor megvalósítására

Minden gyártórendszer tervezése és ez igaz a rugalmas gyártórendszerekre is, csapatmunka. Mivel egy csapat dolgozik rajta a feladatok nagy része átfedi egymást a tervezési folyamat nem szigorúan szekvenciális. Emellett, mint minden mérnöki tevékenységnél nagy szerepet kap az iteráció, az új információk és tapasztalatok alapján történő újragondolása egy-egy területnek, feladatnak. A 37. ábra ábra egy példán mutatja meg, hogy ez a folyamat mennyire összetett.



37. ábra Rugalmas gyártórendszer tervezési projekt lehetséges terve

A tervezési folyamat lépései időben párhuzamosan történnek, a korábban felsorolt területek résztvevőivel. Már ebből is jól látható, hogy a projekt sikere szempontjából kiemelt fontosságú a szervezetten belüli hatékony kommunikáció. Amennyiben minden szervezeti egység elvégzi a megfelelő feladatot, a tervezési projekt a sor telepítésével és beüzemelésével záródik. Azonban mivel a rugalmas gyártórendszerek az életciklusuk során tovább fejlődnek, ezért bizonyos – a tervezéshez kapcsolódó tevékenységek – a sor telepítése után is folytatódnak. Ilyenek az adatgyűjtés, immáron a valós sorról, a digitális iker fejlesztése, és amennyiben a sornak része, akkor az MI vezérlés továbbfejlesztése, aktuális információkkal való betanítása.

Tervezési módszertan összefoglalása, további kutatási lehetőségek

Ez a rész még kidolgozás alatt áll.

A kutatás során fontos felismerés volt, hogy a kidolgozott módszertan nagy része nem csupán a rugalmas gyártórendszerek, hanem szinte bármilyen modern automatizált gyártó terület tervezése során

használható. A kutatás további iránya a módszer kiegészítése és kibővítése annak érdekében, hogy teljeskörűen támogassa a modern automatizált gyártósorok és az automatizált logisztikai egységek (pl. raktárak és egyéb logisztikai területek) tervezését.

Tézisek

I. Tézis: Feltártam a gyártó rendszerek életciklusához kapcsolódó gazdasági sajátosságokat, melyek felhasználásával döntés hozható a rugalmas gyártórendszerek alkalmazására vonatkozóan

II. Tézis: A szakirodalom elemzését követően kidolgoztam a rugalmas gyártórendszerek elrendezés tervezésének innovatív módszertanát, amely a gyakorlatban eddig alkalmazott Systematic Layout Planning (SLP) egy új, a digitalizáció adta lehetőségeket figyelembe vevő továbbfejlesztett változata

III. Tézis: A kritikus lánc módszer felhasználásával megalkottam a rugalmas gyártórendszerek kritikus logisztikai paramétereinek (pufferek, anyagmozgató eszközök) méretezésére szolgáló módszertant, melynek gyakorlati alkalmazhatóságát esettanulmány formájában igazoltam

IV. Tézis: Létrehoztam és esettanulmánnyal igazoltam a rugalmas gyártórendszerek vezérlési logikájának leírására alkalmazható döntési táblákra és neurális hálózatokra épülő adatstruktúráját, valamint alkalmazási módszertanát, mely a tervezési és a megvalósítási fázisban is alkalmazható

Mellékletek

A mellékletekben gyűjtöttem össze azokat a kiegészítő gyakorlati információkat, illetve a kidolgozott módszertan alkalmazására vonatkozó példákat, amelyek szükségesek ahhoz, hogy a dolgozat teljes egészét alkothasson. A példák az elmúlt évek ipari példáin, tapasztalatain alapulnak.

Terminológia és rövidítés szótár

Mivel az elrendezés tervezés és a rugalmas gyártórendszerek, illetve az SLP módszertan terminológiája idehaza kevésbé ismert és kiforrott, ezért fontosnak tartottuk, hogy egy szószeret keretében összegyűjtsük az angol terminológia és a javasolt és a dolgozatban használt magyar terminológia kifejezéseit.

Angol	Magyar
Action	Tevékenység
Activity area	Aktivitás terület/tevékenység terület
Activity relationship diagram	Aktivitás kapcsolati diagram
Artificial intelligence (AI)	Mesterséges intelligencia (MI)
Automated guided vehicle (AGV)	Automatizáltan irányított jármű
Battery degradation	Akkumulátor öregedés
Condition	Feltétel
Control relationship diagram	Vezérlési kapcsolati diagram
Critical chain	Kritikus lánc
Critical path	Kritikus útvonal
Decision table	Döntési tábla
From-to Chart	Honnan-hová táblázat
Flexible Manufacturing System (FMS)	Rugalmas gyártórendszer
Information flow diagram	Információ áram diagram
Layout	Elrendezés
Process Chart	Folyamat grafikon
Relationship diagram	Kapcsolati diagram
Routing	Termék útvonal vagy Útvonal
Programmable logic controller (PLC)	Programozható logikai vezérlő
Rule	Szabály
Space relationship diagram	Hely kapcsolati diagram
Systematic Layout Plannig (SLP)	Szisztematikus elrendezés tervezés

Esettanulmányok és alkalmazási példák

Az előző fejezetben bemutatott módszertan könnyen digitalizálható, a modern informatikai rendszerekkel jól kezelhető segítséget tud nyújtani a tervezőknek. Egyszerűbb változatában táblázatkezelőben is kezelhetők a módszer főbb elemei.

Az alábbiakban bemutatásra kerülő példák mindegyike konkrét ipari projekten alapszik. A kutatás során a Siemens Plant Simulation rendszerét használtuk az elemzések elkészítésére. A rendszer széles körben használt a gyártó cégek körében.

Esettanulmány, alkalmazási példa 1. – Döntési tábla alkalmazása

A kidolgozott módszer bemutatására nézzünk meg egy példát a vezérlési logika tervezésére és leképezésére. A példában szereplő gyártósor egy robot központú gyártósor, ami tervezés szempontjából talán a legegyszerűbb típusa a rugalmas gyártórendszereknek.

Ahogy korábban is írtuk a vezérlési logikát, a döntési táblákat meg lehet papíron tervezni, de mivel a működés dinamikus, ezért a teszteléshez szimulációs eszközt használtunk. A szimuláció abban is segít, hogy meggyőződhessünk abban, hogy a kitalált vezérlési logika működni fog a valóságban.

A gyártósor műanyag alkatrészeket készít, a folyamat első lépése egy 3D nyomtatás, ez a granulátumot egy tartályból kapja. Ez után egy megmunkálás következik, majd egy méréssel záródik a folyamat. A megmunkálás két gépen történik. A gyártási idők típusfüggők.

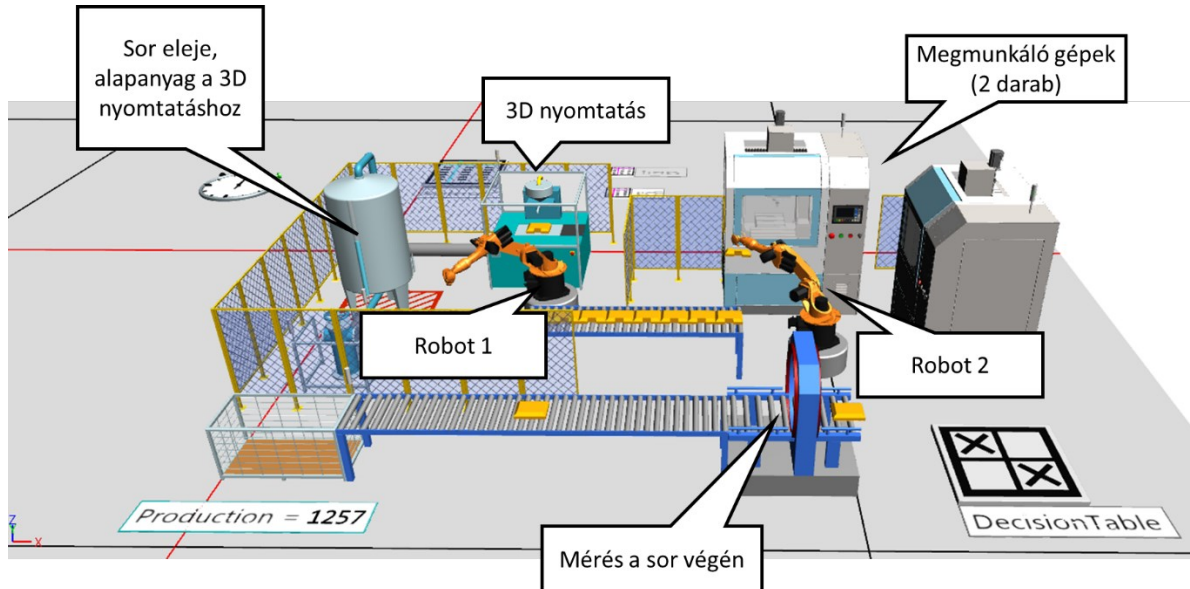
Mivel a cella robot központú, ezért a kapcsolati diagram (14. táblázat) könnyen elkészíthető, az elkészítés során a két fő szempont:

- az egymás követő műveletek közel legyenek egymáshoz és
- a robot elérje az összes állomást, ahonnan és ahova darabot kell pakolnia.

	RAW MATERIAL TANK	3D PRINTER	MACHINING1	MACHINING2	MEASUREM ENT	ROBOT
RAW MATERIAL TANK		A	U	U	U	X
3D PRINTER			I	I	U	E
MACHINING1				O	I	E
MACHINING2					I	E
MEASUREM ENT						E
ROBOT						

14. táblázat Kapcsolati diagram a példa robotos sorhoz

Ezen adatok alapján az alábbi elrendezés (38. ábra) készíthető el. A távolságok miatt az eredetileg tervezett berendezéseken, eszközökön kívül egy plusz robot lett szükséges a 3D nyomtatás és a megmunkáló gépek felé szállító konvektor közé, mivel a gépek fizikai méretei miatt egy robot nem éri el az összes cél pozíciót.



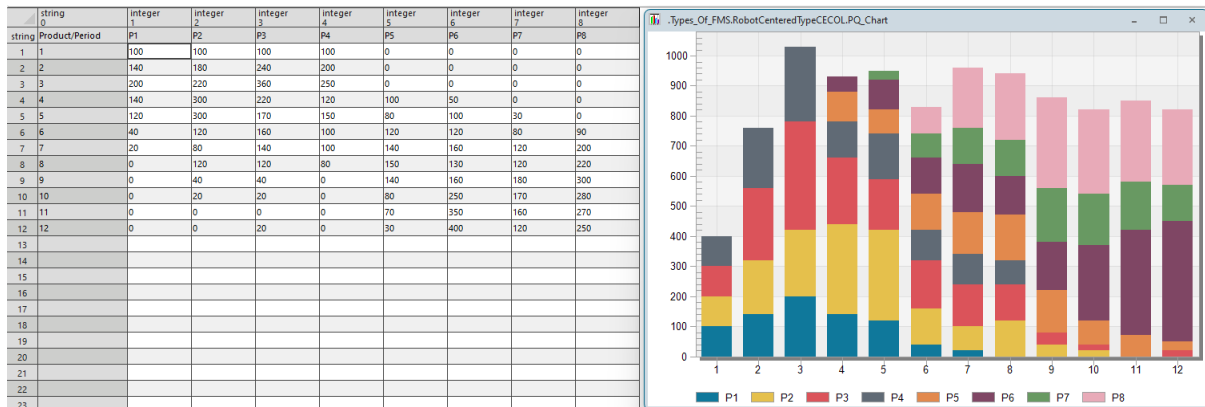
38. ábra A példa rugalmas gyártórendszer elrendezése

Az információs kapcsolat táblázat azt mutatja be, hogy mely eszközök és berendezések kommunikálnak egymással (15. táblázat). Ebben az esetben ezek azok a funkciók, amelyek révén az egyik állomás ellenőrizni tudja, hogy a következő állomás elérhető-e a darab számára.

	RAW MATERIAL TANK	3D PRINTER	MACHINING1	MACHINING2	MEASUREMENT	ROBOT1	ROBOT2
RAW MATERIAL TANK		X					
3D PRINTER			X	X		X	
MACHINING1					X		X
MACHINING2					X		X
MEASUREMENT							X
ROBOT1							
ROBOT2							

15. táblázat Információs kapcsolat táblázat a példához

A gyártósort legalább 8 évre tervezték, de már az első évben képesnek kell lenni gyártani a sornak az összes típust az alábbi termék-mennyiség táblázat szerint (39. ábra):



39. ábra Termék-mennyiség elemzés a példa sorra

Látszik az adatokból, hogy valóban szükség van a rugalmas gyártórendszerre, van olyan hónap, amikor csak 4 típus gyártódik, van, amikor 7 típus is gyártásban van a 8-ból.

A döntési táblák felépítésére két fő megközelítés lehet. Minden döntési hely rendelkezhet saját döntési táblával, vagy az egyszerűbb rendszerek esetében össze lehet gyűjteni a teljes vezérlést, egy darab központi döntési táblában. Ebben a példában a központi döntési táblát választottuk, amelyben az első feltétel szűri le, hogy melyik állomáshoz kapcsolódik az adott döntési logika.

string 0	string 1	string 2	string 3
string Collecting Conditions	R1	R2	R3
1	CONDITIONS		
2	makepathrelative(@.location)="Machining1" or makepathrelative(@.location)="Machining2"		X
3	makepathrelative(@.location)="Printer3D"	X	
4	makepathrelative(@.location)="Conveyor"		X
5	ACTIONS		
6	@.destination:=Conveyor	X	
7	@.move	X	
8	waituntil (Machining1.empty or Machining2.empty) and PickAndPlace.empty prio 2		X
9	if Machining1.empty then @.destination:=Machining1 end		X
10	if Machining2.empty then @.destination:=Machining2 end		X
11	@.move		X
12	waituntil Measure.empty and PickAndPlace.empty prio 1		X
13	@.destination:=Measure		X
14	@.move		X

40. ábra Döntési tábla a példa sorra

Az elkészült döntési tábla (40. ábra) minimális programozási ismerettel is könnyen értelmezhető. Az egész rendszer vezérlését sikerült három szabállyal leírni. Minden esetben megnézzük, hogy milyen feltétel teljesülése esetén lesz aktív az adott szabály, majd megnézzük, hogy mi történik az adott szabály aktivizálódásakor. Az alábbiakban ezeket nézzük meg részletesen:

R1: a feltétel, hogy ha elkészült egy darab a 3D nyomtatón. Ebben az esetben a darab következő állomása a konvektor, amire tovább küldjük azt. A robot vezérlésével nem törődünk külön a vezérlőrendszer a „destination”, célállomás attribútum alapján ezt automatikusan kezeli.

R2: a feltétel az, hogy a konvektor végére odaért egy a 3D nyomtatásról érkező darab készen arra, hogy tovább haladjon a következő műveletre a megmunkálásra. A tovább haladáshoz arra van szükség, hogy a vagy a Machining1 vagy a Machining2 megmunkáló gép üres legyen és emellett a robot is üres legyen, vagyis képes legyen a darab továbbítására. Ha ez teljesül, akkor a szabad gépre megy tovább a darab.

R3: a feltétel az, hogy a megmunkáló gépek valamelyikén elkészült egy darab. Ekkor amennyiben a mérőgép szabad és a robot is szabad a darab továbbítására, a darab továbbmegy a mérőgépre.

Ez a három szabály alkalmas arra, hogy a rendszer működését leírja. Láthatóan bármilyen sori változás esetén a logika könnyen módosítható, illetve, ha szükséges több vezérlés variáció is könnyen kipróbálható.

Az így elkészült döntési tábla jó alapot nyújt a sori vezérlő hardver (PLC) programozásához is.

Esettanulmány, alkalmazási példa 2. – AGV méretezés

Ez a példa egy valós példa alapján mutatja be a dolgozatban kidolgozott módszer alkalmazását. Egy multinacionális autógyár spanyolországi gyárának rugalmas gyártórendszerének tervezésében alkalmaztam a módszert.

A sor, amelynek a tervezéséhez a módszert használtuk egy autóiipari karosszéria gyártó, hegesztő sor. A tervezés elején eldöntött tény volt, hogy az állomások között a darabokat AGV-k szállítják, ennek megfelelően a sori elrendezés bár kötött pályás AGV anyagmozgatású.

A használt szimulációs rendszer rendelkezik azzal az előnnyel is, hogy támogatja az AGV-k modellezését, sőt beépített funkciókkal rendelkezik az AGV-k akkumulátorával kapcsolatos jellemzők és az akkumulátor töltés kezelésére. A Plant Simulation az AGV-k esetében az alábbi akkumulátor jellemzőket kezeli [58] (16. táblázat):

Attribútum	Leírás
Charge (Ah)	Az akkumulátor aktuális töltöttségi szintje ($0 < \text{Charge} < \text{Capacity}$)
Basic consumption (A)	Alap energia fogyasztás, attól függetlenül, hogy az AGV mozog-e vagy sem
Driving consumption (A)	Az alap fogyasztáshoz hozzáadódó fogyasztás abban az esetben, ha az AGV mozog
Capacity (Ah)	Az AGV akkumulátorának kapacitása

Reserve (Ah)	Az a biztonsági szint, ami alatt tölteni kell az akkumulátort, ekkor az AGV meghívja a töltési kontrollt
Charge current (A)	A töltőáram erőssége

16. táblázat AGV-k szimulációs jellemzői

Statisztikai szempontból az alábbi értékeket jellemzik az AGV-t (17. táblázat):

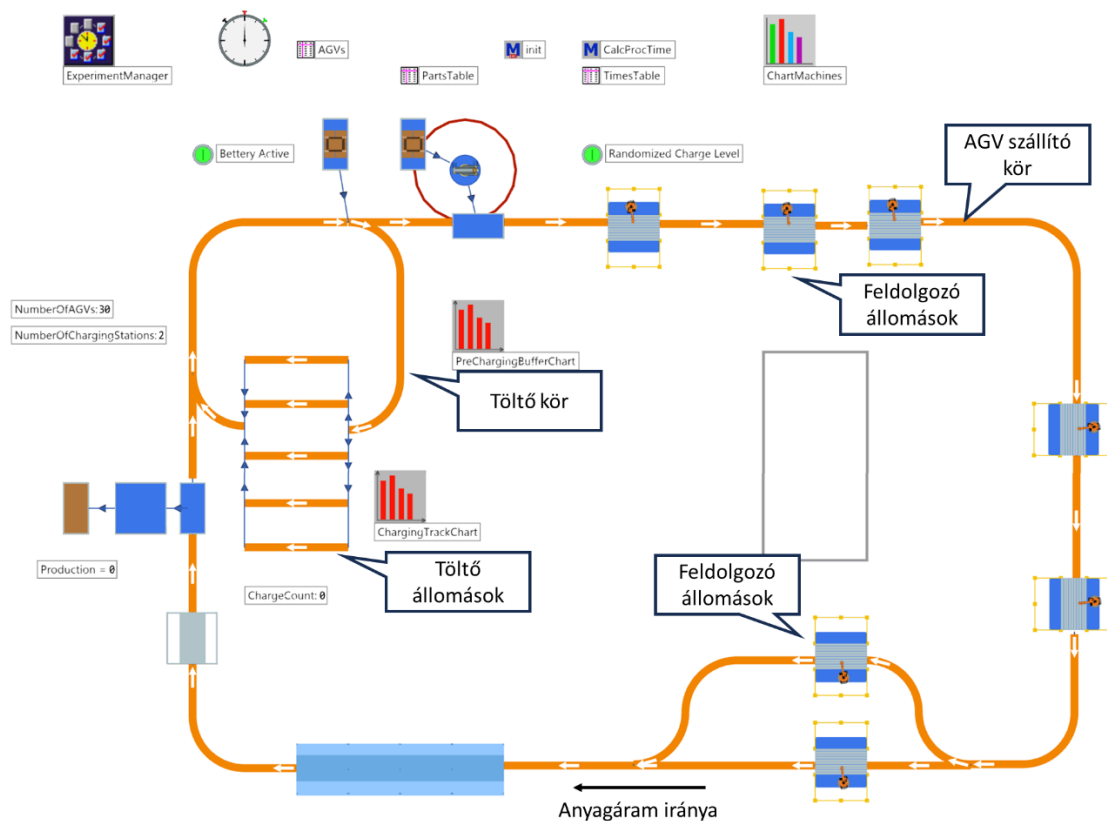
Attribútum	Leírás
Number of charges	Megmutatja, hogy hányszor volt az akkumulátor töltve az aktuális szimuláció során
Portion	Megmutatja, hogy a szimulációs időben az adott AGV az idő hány százalékában volt töltésen

17. táblázat A szimuláció által gyűjtött statisztikai értékek az AGV-re

Ahogy említettük, egy autóiipari jellegű példát használunk. A 41. ábra mutatja a modellt és rajta a sor elrendezését. Ez egy hurok elrendezésű rugalmas gyártórendszer, robotos hegesztő és szerelő állomásokkal. A termékek autó karosszéria elemek. A sort legalább 10 éves élettartamra tervezték. A gyár heti 7 nap, 3 műszakban dolgozik.

A vizsgálat során most egy terméktípusra vizsgáljuk a rendszert, mivel:

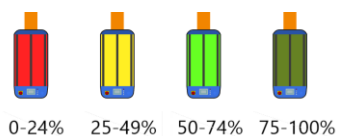
- a termékek gyártási idejei az állomáson nagyon hasonlóak,
- a termékek között az állomásokon (kivéve a teszt állomást) nincs átállás.



41. ábra A példamodel elrendezése

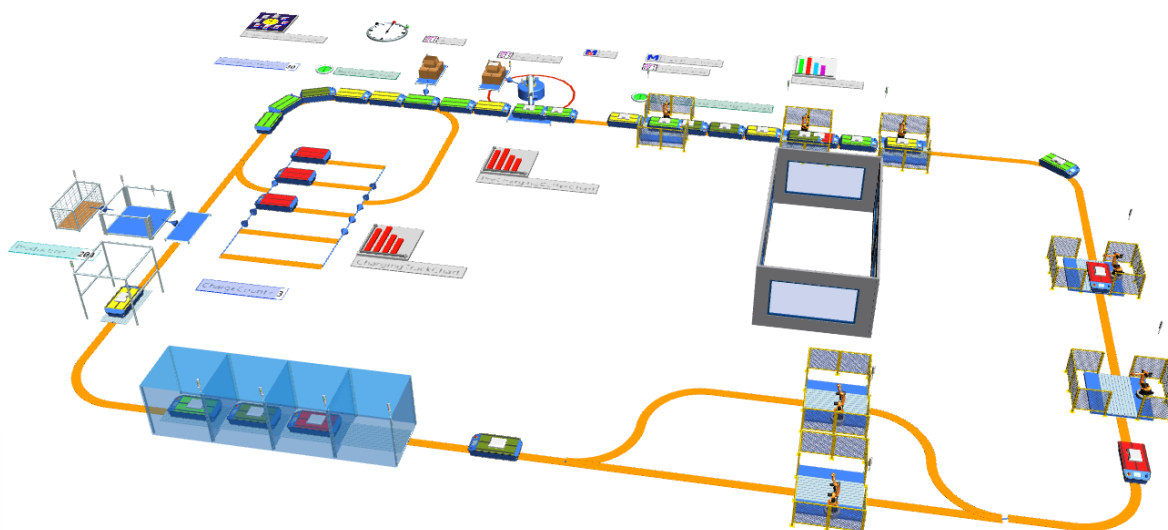
A példában SHARP TYPE B AGV-t [59] használunk 200 kg-os szállítási kapacitással, 60 m/perc (1 m/s) maximális sebességgel és minden AGV-ben 2 darab 42 Ah kapacitású akkumulátorral. Ezekre az AGV-kre 8 órás folyamatos üzemelést vállal a gyártó, így elméletben akár egy teljes műszakot is kibírnak újra töltés nélkül.

A példában fontos volt az akkumulátor szint vizualizálása, ezért kiegészítettük a gyári AGV objektumot az akkumulátor szinttől függő rakodólap színezéssel (42. ábra).



42. ábra Töltöttségi szinkódolás az AGV-k esetében

Ennek eredményeképpen a modellben minden esetben jól látható az egyes AGV-k töltöttségi állapota (43. ábra).



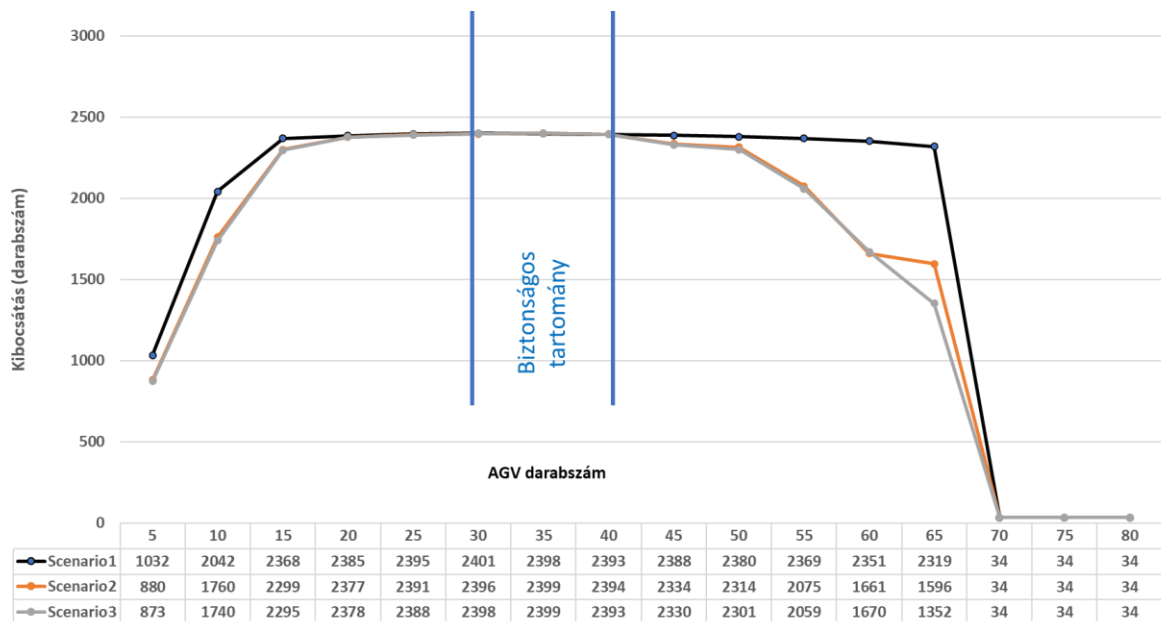
43. ábra Modell futási állapot

A rendszer tervezésének és méretezésének folyamatát a 18. táblázat foglalja össze.

Vizsgálati lépés	Megjegyzés
1. Szükséges AGV kapacitás kiszámolása	Szimuláció futtatása teljes kapacitáson lévő AGV-vel, korlátlan akkumulátor kapacitással
2. Kalkulációk és kísérletek a jelenlegi AGV flotta paraméterekkel	Tervezési, elrendezési problémák felderítése és a szükséges töltőállomás szám meghatározása. Ez a lépés emellett információt ad az AGV flottakezelő rendszer beállításához is (ezt a rendszert általában az AGV beszállítója biztosítja).
3. Kísérletek a sor, a termékek és az AGV-k jövőbeni változásaival kapcsolatban	Ebben a lépésben vizsgálható az akkumulátor öregedés és azon egyéb paraméterek hatása, amelyek várhatóan változni fognak a soron az életciklus során.

18. táblázat A rendszer tervezés folyamata

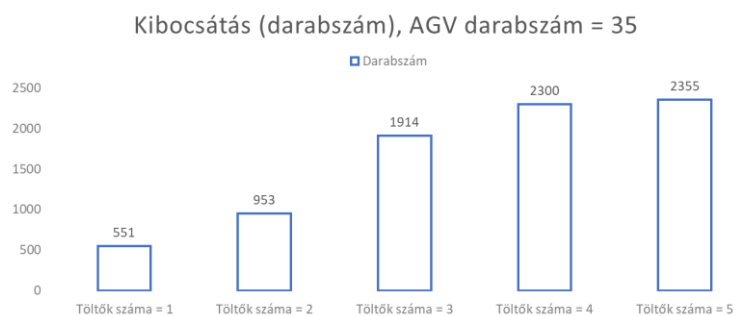
A példában az első lépés célja a normál üzemben folyamatosan szükséges AGV darabszám meghatározása. Ez „ideális” környezetben történik, az AGV-k esetében nem kerül szimulálásra az akkumulátor működése. Azonban a soron az összes sztochasztikus paraméter benne van a vizsgálatban (gép meghibásodás stb.) (Scenario 1). A második lépésben az akkumulátor merülésének és töltésének hatása kerül elemzésre. Ez adja meg, hogy valójában mennyi AGV szükséges a soron. Itt lehet meghatározni azt is, hogy hány töltőpontra van szükség (Scenario2). A harmadik lépés pedig annak megvizsgálása, hogy hosszabb idő elteltével, amikor az AGV akkumulátorok degradációja már jelentős, akkor mennyi AGV szükséges a sorra. Ekkor módosulhat a szükséges töltőhelyek száma is, mivel a rosszabb állapotú AGV-k esetében gyakoribb töltésre van szükség (Scenario3).



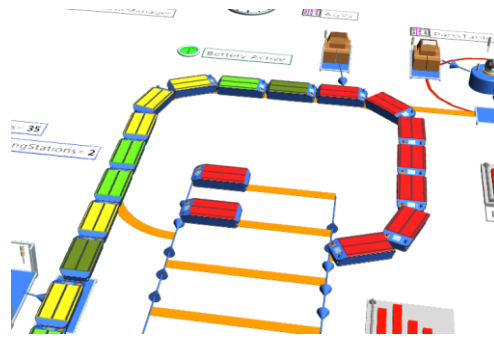
44. ábra Napi gyártott mennyiség az AGV darabszám függvényében

Az eredmények (44. ábra) grafikus ábrázolása után az alábbi következtetések vonhatók le. Jól láthatóan a túl kevés AGV nagyon alacsony termelékenységet eredményez, a túl sok AGV a kötött pályán pedig akadályozza egymást, ezért drasztikusan lecsökken a darabszám. Ez jellemző viselkedése minden palettás és hurok elrendezésű AGV-s rendszernek.

Jól látható, hogy mindhárom eset eredményeit ábrázolva a 30-40 közötti az az AGV szám, amely a maximális gyártott darabszámot biztosítja mindhárom esetben, ezt nevezhetjük a rendszer biztonságos tartományának.



45. ábra A szükséges töltőállomás szám szimulációja



46. ábra Elrendezés probléma a töltőkör esetében

Felhasználva a fenti eredményeket, további vizsgálat történt a szükséges töltőállomás szám meghatározására, amelynek az eredményét a 45. ábra mutatja. Az 1-3 töltőállomás esetén az alacsony darabszám oka olyan elrendezés probléma volt, amely a szimulációban jól látható (46. ábra):

- Az AGV töltő kör feltorlódott és gyakorlatilag blokkolt ez a kör és vele együtt a termelési főkör is. Ezt az elrendezésben a töltőkör hosszának bővítésével lehet kezelni
- A töltő kör hosszának növelésével egy másik probléma is előjön, hogy ha túl sok AGV áll sorban várakozva töltésre, előfordulhat, hogy mire a töltőre jutna az AGV a várakozás közben lemerül. Ezt azzal a paraméterrel lehet szabályozni, amely megadja, hogy milyen merülési szintet elérve kell az AGV-knek töltőre menniük. Látszik, hogy mennyire fontos az AGV esetében annak a töltési szintnek a jó beállítása, amelynél az AGV már a töltőkör felé indul az elágazásban.

Esettanulmány, alkalmazási példa 3. – Puffer méretezés

Megjegyzés: ez az alkalmazási példa kidolgozás alatt áll.

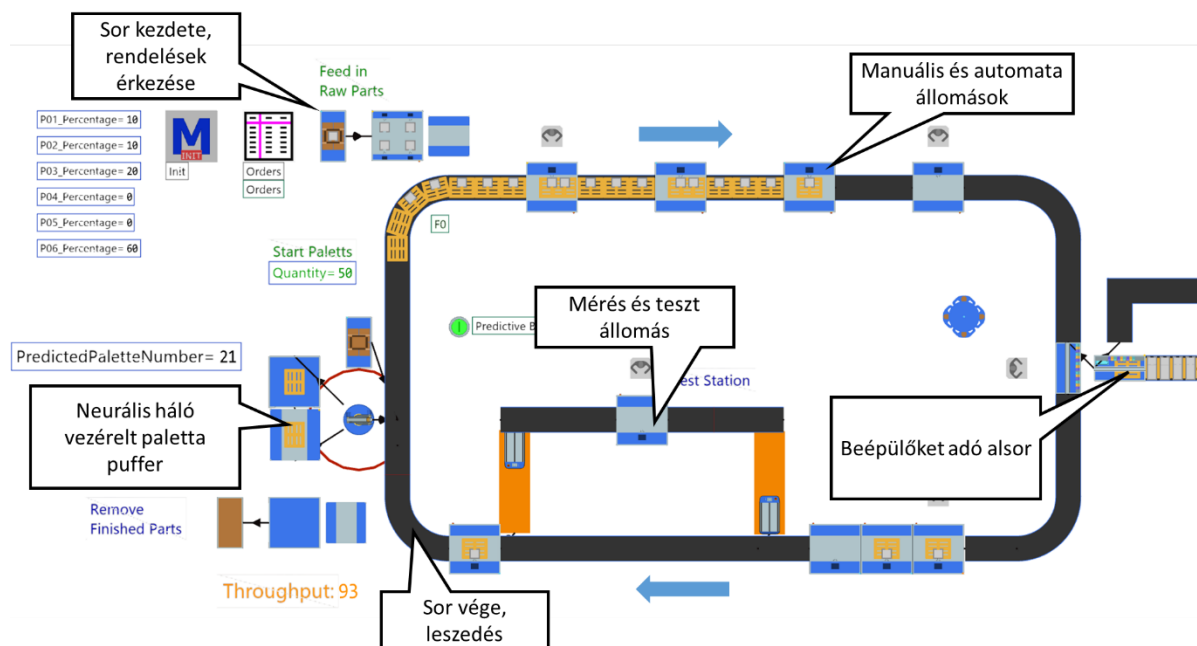
Esettanulmány, alkalmazási példa 4. – Neurális háló alkalmazása sori vezérlési logikában

Az alábbi példában a Siemens Plant Simulation diszkrét esemény vezérelt szimulációs rendszerét használjuk egy olyan feladat megoldására, amikor a gyártósor egy részét egy neurális háló alapú döntésnek kell vezérelnie. Az alkalmazási példa alapja a Plant Simulation egyik beépített példája egy körpályás, palettás rugalmas gyártósor, amely nagyban hasonlít az egyik hazai, autóiipari ügyfél

példájához. A palettás gyártósorok esetében kritikus a megfelelő palettaszám meghatározása, hiszen a palettás gyártósorok esetében két probléma akadályozza a rendszer jobb teljesítményét:

- a túl sok paletta, amikor feltorlódnak a paletták és a rendszer ezért veszít kapacitást
- a túl kevés paletta, amikor a paletták nem érnek időben a következő állomásra, és a rendszer ezért veszít kapacitást.

A gyártósor egy hurok elrendezésű rugalmas gyártórendszer (47. ábra). A gyártósoron 6 különböző termék gyártása folyik (P01-P06) változó termékmixben, mivel a vevői igények erősen változók. Előfordulhat, hogy a P01 termékből egyik nap nulla darabot kell gyártani, és a többi termék teszi ki a gyártási volument. A másik nap pedig elképzelhető, hogy a P01 termék adja a teljes gyártási mennyiséget. Mivel a terméktípusok gyártási ideje az automata állomásokon jelentősen eltér egymástól, ezért a maximális kihozatal érdekében az optimálisan szükséges palettaszám is különbözhet a termékmixtől függően.



47. ábra A gyártósor elrendezése és fő elemei

A rendszer főbb jellemzői:

- automata és manuális állomások vannak a gyártósoron
- a manuális állomások esetében a gyártási időnek van szórása
- az automata állomások esetében a gyártási idő típusfüggő
- egy darabos áramlás történik, a batch méret 1
- napi tervezés történik a soron, napi szinten adott százalékos értékkel van megadva a termékmix
- a soron 50 paletta áll rendelkezésre
- a cél a napi gyártott darabszám maximalizálása

A rendszer kritikus eleme a palettaszám, ezért az a döntés született, hogy a sor végén a kész darab leszedése után lesz egy olyan elem, ami a palettaszám szabályozására szolgál. Ez minden esetben kiszámolja, hogy az aktuális soron lévő termékmix alapján mennyi palettával tud a sor a legjobban működni, és ennek megfelelően a kontroll ponthoz érkezett palettát leveszi a sorról, vagy ha szükséges új palettát tesz fel a sorra. A termékmixekhez az ideális palettaszám meghatározásához érezhetően rengeteg modell futtatásra lenne szükség.

Amennyiben szeretnénk az összes lehetséges kombinációra, úgy, hogy a 6 termék 0 és 100 közötti értékeit felvegye, de oly módon, hogy az összegük 100 legyen az alábbi számú kombinációt kellene kezelnünk és az alábbi mennyiségű kísérletet kellene lefuttatnunk:

$$\text{Kombinációk száma} = C(n+k-1, k-1) = C(109, 4)$$

ahol:

n – az összeg, amit el kell érni

k – a számok száma, amelyek kiadják az n összeget

Behelyettesítve:

$$C = n! / k! * (n - k)! \quad \text{ahol } 0 \leq k \leq n$$

A kombinációk esetében ismétléses kombinációval kell számolnunk, mivel a termékek különbözők és különböző gyártási paraméterekkel rendelkeznek.

behelyettesítve $C = 96\,560\,646$, és megszorozva a palettaszám lehetőségek számával ($50-20 = 31$) a lehetséges kísérletszám $= 2\,993\,380\,026$. Ezen kívül a szimulációk esetében egy-egy esetre több futtatást is szokás csinálni a sztochasztikus folyamatjellemzők figyelembevételére. Ez alapján az előző szám 5-10-szerese a reális futtatás szám. Ez a szám még a mai modern számítógépek és az elosztott futtatási lehetőségek mellett is egy jelentős szám és jelentős idő, amennyiben az összes esetet szeretnénk megvizsgálni. Amennyiben neurális hálót használunk, ez a szám jelentősen csökkenthető.

A neurális háló betanításához korlátozott számú esetet futtatunk le, amelyeket úgy generálunk, hogy a termékmixet 0 és 100 között 10%-os lépésekben kombináljuk. A termékmix összegének természetesen 100%-nak kell lennie.

$$\text{Ebben az esetben a kombinációk száma} = C(n+k-1, k-1) = C(19, 4)$$

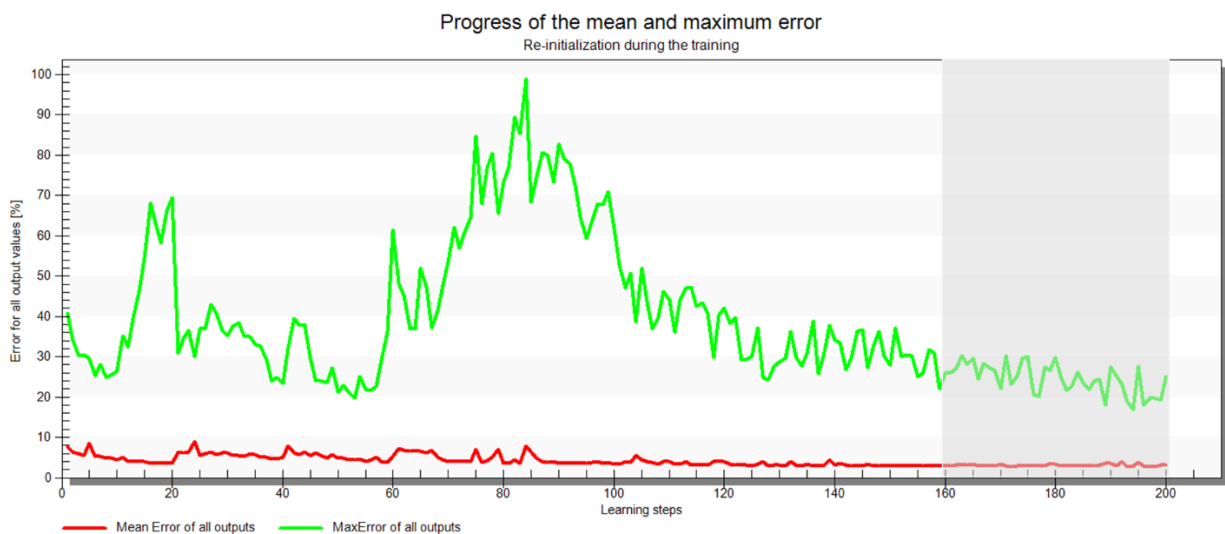
$$\text{Behelyettesítve a fenti módon: } C = 3\,003$$

A példában a paletta számok esetében a 20-50 közötti palettaszám tartományt 5-ös lépésenként vizsgáltuk. Így összesen $3\,003 * 7 = 21\,021$ futtatásra volt szükség a neurális háló alapadatainak létrehozásához.

Beállítás	Érték
Number of training steps	180
Hidden layer dimension	7
Activation function	Sigmoid
Input	Product mix (6 numbers) and the palette number
Output	Number of produced parts

19. táblázat Neurális háló beállításai

A neurális hálót a 19. táblázatban szereplő alapadatokkal tanítottuk be. A tanítási görbét a 48. ábra mutatja. Látható, hogy 160 tanítási ciklus után a hiba értéke alacsony, jelentősen nem csökken már, és emellett a maximális hiba értéke is elfogadható szintre csökkent. A tanítás 2,531%-os hiba mellett fejeződött be, amit elfogadhatónak ítéltünk.



48. ábra Neurális háló tanítási görbéje

Az így elkészült neurális hálót beépítettük a modellbe és ismét lefuttattuk az eredeti paraméter mixeket (a 21 021 darabot). Az eredmény az, hogy az esetek több, mint 25%-ában a folyamatosan optimalizált palettaszámmal többet tudunk gyártani, és a maradék 75% esetében sem gyártunk kevesebbet. Például a 10 %, 10 %, 20 %, 0 %, 0 %, 60 % termékmix esetében fix palettaszámmal 73, míg a neurális hálóval vezérelt rendszerrel 93 darab gyártható egy nap alatt.

A kialakított neurális háló alapú döntési rendszer mindaddig használható, amíg

- nem történik új termékbevezetés
- nem történik változás a gyártási paraméterekben (műveleti idő, gép paraméterek, elrendezés...)

Ekkor a változásoknak megfelelően módosítani kell a digitális iker modellt és újra létre kell hozni a neurális hálóhoz szükséges tanítási adatokat.

Irodalomjegyzék

- [1] D. Ridley, *The Literature Review*, London: SAGE Publications Lt, 2012.
- [2] „Safeguard Global,” [Online]. Available: <https://www.safeguardglobal.com/resources/top-10-manufacturing-countries-in-the-world-2023/>. [Hozzáférés dátuma: 19 01 2024].
- [3] J. R. Immer, *Layout Planning Techniques*, McGraw-Hill, 1950.
- [4] Muther, R. & Hales, L. , *Systematic Layout Planning*, Management & Industrial Research Publications, ISBN 978-0-933684-06-5, 2015.
- [5] J. M. Apple, *Plant Layout and Materials Handling*, Wiley, 1977.
- [6] D. R. k. S. Dr. Bikas Prasad, „Comparative Analysis of Procedural Approaches for Facility Layout design,” *International Journal of Applied Engineering Research*, %1. kötet13, %1. szám9, pp. 238-243, 2018.
- [7] R.-V. E., P. A., C. P., A. J.C. és N. S., „Pilot Implementation of Innovative Proposal for Service Level Improvement in a Spare Parts Trading Company,” *International Journal of Engineering Research in Africa*, %1. kötet62, pp. 173-187, 2022.
- [8] D. D.E.A., G. Y.S., S. G.Q. és C. E., „Optimization Model to Increase the Productive Flow, Applying SLP, 5s and Kanban-Conwip Hybrid System in Companies of the Metalworking Sector,” *Proceedings - 2022 8th International Conference on Information Management, ICIM 2022*, pp. 186-190, 2022.
- [9] A.-P. M., B.-C. D. és L.-C. C., „Design of a Production System using 5S, SLP and Work Study to Increase Productivity at a Bakery SME,” *Proceedings - 2022 8th International Conference on Information Management, ICIM 2022*, pp. 160-165, 2022.
- [10] L. Z., C. J. és X. J., „Optimization design for production logistics system of corrugated box,” *Advanced Materials Research*, pp. 962-966, 2012.
- [11] Q. A.M., M. O.T., A. A.H. és A. H.A., „Optimization of Plant Layout in Jordan Light Vehicle Manufacturing Company,” *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, %1. kötet101, %1. szám4, pp. 721-728, 2020.

- [12] L. Y. és Z. Q., „Research on logistics center layout based on SLP,” *Lecture Notes in Electrical Engineering*, %1. kötet286, pp. 17-28, 2015.
- [13] C. J. R. H. Richard Muther, *Simplified Systematic Handling Analysis*, Kansas City: Management and Industrial Research Publications, 1994.
- [14] Y. J., „Design on layout rearrangement of plant logistics based on the combination of SLP and SHA,” *Applied Mechanics and Materials*, %1. kötet, összesen: %258-60, pp. 932-937, 2011.
- [15] J. Y. és L. P., „Optimizing design of layout arrangement for workshop logistics system,” *Journal of Convergence Information Technology*, %1. kötet7, %1. szám13, pp. 499-507, 2012.
- [16] P.-C. F.A., M.-T. M.P. és Q.-F. J.C., „Production Model based on Systematic Layout Planning and Total Productive Maintenance to increase Productivity in food manufacturing companies,” *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 299-306, 2022.
- [17] G.-G. E.M.A., S. F., G. L. és A. S., „Incorporate data analytics tools to optimize the SLP method with application to a plant of a leading global company,” *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2019.
- [18] G. G., F. Y., Z. Z., W. S. és Y. Z., „Integrating SLP with simulation to design and evaluate facility layout for industrial head lettuce production,” *Annals of Operations Research*, %1. kötet321, %1. szám1, pp. 2029-240, 2023.
- [19] W. Y., L. Y.R. és Z. Y.Q., „Research on the facilities layout planning in MTO manufacturing industry based on genetic algorithm,” *Advanced Materials Research*, %1. kötet695, %1. szám702, p. 842, 2014.
- [20] B. G.M.T., R. L.A.R. és R. J.F.O., „Optimization models in layout; [Modelos de optimización de la distribución en planta],” *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2014.
- [21] L. Q. és H. L., „Workshop facility layout optimization design based on SLP and flexsim,” *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, %1. kötet17, %1. szám8, 2016.
- [22] H. S.S., M. S.A. és W. K.Y., „Improving multi-floor facility layout problems using systematic layout planning and simulation,” *Communications in Computer and Information Science*, %1. kötet409, pp. 58-69, 2013.

- [23] Z. S., Z. Y. és L. G., „Research on distribution center layout optimization based on genetic algorithm,” *Journal of Physics: Conference Series*, %1. szám1, 1976.
- [24] S. O. J. T. David Gough, *An Introduction to Systematic Reviews*, London: SAGE Publications Ltd, 2012.
- [25] G. E. M. B. Sly David P., „Layout design & analysis software,” *IIE Solutions*, %1. kötet28, %1. szám7, pp. 18 - 25, 1996.
- [26] Z. Z. Z. J. W. J. Zhang Z., „Construction of intelligent integrated model framework for the workshop manufacturing system via digital twin,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, %1. kötet118, %1. szám9-10, pp. 3119 - 3132, 2022.
- [27] R. S. Publishing, „David Theodore Nelson Williamson”.
- [28] L. E. David T. N. Williamson, „Automated Machine Installation and Method”. United States Szabadalom száma: 4,621,410, 11 11 1986.
- [29] N. R. Greenwood, *Implementing Flexible Manufacturing Systems*, Hampshire: MacMillan Education Ltd., 1988.
- [30] H. J. Evans G.W., „Modelling tools for flexible manufacturing systems,” *Production Planning and Control*, %1. kötet3, %1. szám2, pp. 158-167, 1992.
- [31] I. B. W. G. Fükő László, „A hagyományos és rugalmas gyártórendszerek logisztikai aspektusai,” *Multidiszciplináris tudományok*, %1. kötet10, pp. 377-381, 2020.
- [32] P. E. J., „Flexible Manufacturing Systems: An Overview,” *Fall Industrial Engineering Conference, American Institute of Industrial Engineers*, pp. 639-645, 1983.
- [33] Zubair M. Mohamed, *Flexible Manufacturing Systems: Planning Issues and Solutions*, Garland Publishing Inc., 1994.
- [34] György Czifra, Zsolt Molnár , Miroslava Milkva , Peter Szabó, “Dehumilization and Humilization in the context of Industry 4.0 and Industry 5.0”.
- [35] N. R. Greenwood, *Implementing Flexible Manufacturing Systems*, London: MACMILLAN EDUCATION LTD, 1988.
- [36] M. B. V. K. H.K. Shivanand, *Flexible Manufacturing System*, New Delhi: New Age International Limited, 2006.

- [37] Z. T. Dr. Halassy Béla, Döntési táblázatok, Magánkiadás, 1973.
- [38] D. 66241, Entscheidungstabelle, 1979.
- [39] E. M. Goldratt, Critical Chain, Great Barrington: The North River Press, 1997.
- [40] L. P. Leach, Critical Chain Project Management, Norwood: Artech House, 2005.
- [41] M. Vanhoucke, Project Management with Dynamic Scheduling, Berlin: Springer, 2012.
- [42] D. K. P. V. W. H. K. L. T. D. Anna Slusarczyk, „A Comparison of Buffer Sizing Techniques in the Critical Chain Method,” *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, %1. kötet7, %1. szám3, pp. 43-56, 2013.
- [43] D. S. E. H. Glaessgen, „The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles,” in *Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*.
- [44] Soori, Mohsen & Arezoo, Behrooz & Dastres, Roza, „Digital Twin for Smart Manufacturing, A Review. 10.1016/j.smse.2023.100017.” 2023.
- [45] M. Z. A. N. Fei Tao, Digital Twin Driven Smart Manufacturing, London: Academic Press, 2019..
- [46] V. D. I. e.V, VDI 3633 Blatt 1 Simulation Von Logistik, Materialfluss und Produktionssystemen, Verein Deutscher Ingenieure e.V, 2014.
- [47] Zsolt Molnár, Péter Tamás, Béla Illés, „The Life cycle of the layouts of flexible and reconfigurable manufacturing areas and lines,” *Advanced Logistic Systems – Theory and Practice*, Vol. 15, No. 1 (2021), pp. 20-29., <https://doi.org/10.32971/als.2021.003> .
- [48] P. F. Hui Cao, „Product Life Cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950-2009,” Computer Integrated Manufacturing Research Unit (CIMRU), National University of Ireland, Galway, Ireland.
- [49] L. M. R. H. Khaled El Emam, Practical Synthetic Data Generation: Balancing Privacy and the Broad Availability of Data, O'Reilly Media, 2020.
- [50] M. & P. H. & C. K. Rabaev, „Leveraging Synthetic Data and Machine Learning for Shared Facility Scheduling,” %1. szám10.1007/978-981-99-8324-7_34, 2024.
- [51] Li, Jianxun & Cheng, Wenjie & Lai, Kin Keung & Ram, Bhagwat., „Multi-AGV Flexible Manufacturing Cell Scheduling Considering Charging.” *Mathematics*. 10. 10.3390/math10193417. , 2022.

- [52] L. H. P. L. Zhang H.M., „Study on Li-ion battery intelligent management system based on AGV,” *Applied Mechanics and Materials*, pp. 1101-1104, <https://doi.com/10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.1101>, 2014.
- [53] Harit Bajaj and Chandrakant R. Kini, „Thermal management systems for EV's and HEV's,” *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 2019, ISSN 1819-6608, pp. 265-269..
- [54] L. B. P. H. P. O. G. P. B. E. C. TIMILSINA, „Battery Degradation in Electric and Hybrid Electric Vehicles: A Survey Study,” *IEEE Access*, %1. kötet4, %1. szám11, pp. 42431 - 42462, 2016.
- [55] SAFELOG, „AGVM4 Automated Guided Vehicle Data Sheet,” SAFELOG, Markt Schwaben, 2024.
- [56] N. I. o. S. a. Technology, „Cybersecurity for Smart Manufacturing Systems,” National Institute of Standards and Technology, 17 12 2021. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/programs-projects/cybersecurity-smart-manufacturing-systems>. [Hozzáférés dátuma: 09 05 2024].
- [57] C. a. I. S. Agency, „Critical Manufacturing Sector Security Guide,” CISA, 2020.
- [58] Siemens, Plant Simulation version 2302 Help, Siemens, 2023.
- [59] Sharp, „Smart AGV <XF Series>,” Sharp, [Online]. Available: https://global.sharp/business/en/agv/products/xf_series/. [Hozzáférés dátuma: 15 07 2023].
- [60] S. M. C. Barbara Kitchenham, „Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering,” Keele University, University of Durham, 2007.
- [61] O.-N. A., D. L. R.-R. N., C.-D. M. és R.-R. M., „Service Management Model Based on Lean Service and Systematic Layout Planning for the Improvement of Customer Satisfaction in an SME in the Restaurant Sector in Peru,” *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 242-249, 2022.
- [62] Erika Sujová, Daniela Vysloužilová, Helena Čierna, Roman Bambura, *Manufacturing Technology*, October 2020, Vol. 20, No. 4, ISSN 1213–2489, DOI: 10.21062/mft.2020.064.
- [63] N. R. Ullah I., “Achieving mass customization capability: the roles of flexible manufacturing competence and workforce management practices,” *Journal of Advances in Management Research*, pp. 273-296, <http://doi.org/10.1108/JAMR-05-2020-0067>, 2020.

- [64] „AGV battery - Factors to consider before making a purchase,” Tycorun Energy, [Online]. Available: <https://www.takomabattery.com/agv-battery/#Factors-affecting-the-performance-of-AGV-battery>. [Hozzáférés dátuma: 23 03 2024].
- [65] Erika Sujová, Elena Štrihavková, Helena Čierna, „An Analysis of the Assembly Line Modernization by Using Simulation Software,” *Manufacturing Technology*, October 2018, Vol. 18, No. 5, ISSN 1213–2489.
- [66] L. V. F. P. Musil M., „Analysis of logistic processes using the software tecnomatix plant simulation,” *13th International Conference on Industrial Logistics*, pp. 195-200, 2016.
- [67] J. N. A. S. T. V. M. M. Abanda F.H., „Digital twin for product versus project lifecycles’ development in manufacturing and construction industries,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, pp. <https://doi.com/10.1007/s10845-023-02301-2>, 2024.
- [68] „ELB ENERGY GROUP (SHENZHEN) LIMITED,” ELB ENERGY GROUP (SHENZHEN) LIMITED , [Online]. Available: <https://www.ecolithiumbattery.com/product/20ah-lto-battery/>. [Hozzáférés dátuma: 23 03 2024].
- [69] V. & C. C. & C. J. Buggineni, „Enhancing Manufacturing Operations with Synthetic Data: A Systematic Framework for Data Generation, Accuracy, and Utility,” *Frontiers in Manufacturing Technology*, %1. szám10.3389/fmtec.2024.1320166, 2024.
- [70] S. K. R., „Flexible Manufacturing Systems: An Industry Overview,” *Production and inventory management Washington, D.C.*, %1. kötet27, %1. szám4, pp. 1-9., 1986.
- [71] Gartner, „Gartner,” 13 02 2018. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-02-13-gartner-says-nearly-half-of-cios-are-planning-to-deploy-artificial-intelligence>. [Hozzáférés dátuma: 10 04 2024].
- [72] K. & R. M. & P. H. Chan, „Generation of synthetic manufacturing datasets for machine learning using discrete-event simulation,” *Production & Manufacturing Research*, pp. 337-353. 10.1080/21693277.2022.2086642. , 2022.
- [73] Joppen, Robert & von Enzberg, Sebastian & Gundlach, Jan & Kühn, Arno & Dumitrescu, Roman, „Key performance indicators in the production of the future,” *Procedia CIRP*. 81. 759-764., DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.190, 2019.
- [74] „SHEN ZHEN PACE ELECTRONICS CO., LTD,” [Online]. Available: <https://www.pacebattery.com/agv-battery-pack.html> . [Hozzáférés dátuma: 15 07 2023].

- [75] K. G. K. S. Gubán M., „Simulation of Complex Logistical Service Processes,” *Management and Production Engineering Review*, pp. 19-29., <https://doi.org/10.1515/mper-2017-0014>, 2017.
- [76] F. H. L. S. M. B. G. C. C. M. S. N. C. A. W. James Jordon, „Synthetic Data - what, why and how?,” The Alan Turing Institute, The Royal Society, London, 2022.
- [77] A. Kerim, *Synthetic Data for Machine Learning: Revolutionize your approach to machine learning with this comprehensive conceptual guide*, Packt Publishing, 2023.
- [78] A. Bangsowmi, *Tecnomatix Plant Simulation Modeling and Programming by Means of Examples*, Second Edition, <https://doi.com/10.1007/978-3-030-41544-0>, 2020.

Ábrajegyzék

1. ábra Szisztematikus irodalomkutatás folyamata	8
2. ábra Találatok éves bontásban a "Flexible manufacturing" kifejezésre a Scopus adatbázisban	8
3. ábra Rugalmas gyártórendszerekkel kapcsolatos publikációk és ipari termelés kapcsolata országonként	10
4. ábra Rugalmas gyártórendszerrel kapcsolatos kutatások tudományágak szerint	10
5. ábra A Systematic layout Planning módszer folyamata [4]	12
6. ábra Az Apple féle gyár elrendezés tervezési folyamat [5]	13
7. ábra Elrendezés tervezési módszerek és a kapcsolódó kutatási dokumentumok száma	14
8. ábra A szakirodalom kiválasztási folyamatábrája a PRISMA modell alapján (saját szerkesztés)....	17
9. ábra Rugalmas gyártórendszerek típusai.....	22
10. ábra A gyártervezési folyamat fő lépései [4]	24
11. ábra Az SLP tervezési módszertan mintázata [4]	25
12. ábra Kapcsolati diagram és táblázatos megjelenítése	27
13. ábra Aktivitás kapcsolat diagram	28
14. ábra Feltételek állapota döntési táblában	30
15. ábra A kidolgozott tervezési módszertan és kapcsolódási pontjai	36
16. ábra Rugalmas gyártórendszer kapcsolatai	36
17. ábra A PQRST adatok időbeni változásának vizsgálatára szolgáló tábla	38
18. ábra Rugalmas gyártórendszerek Termék-Mennyiség grafikonja és radardiagramja	39
19. ábra Termék és gyártó terület életciklus görbe	40
20. ábra Rugalmas gyártórendszeren új termék bevezetések az életciklus során	41

21. ábra A termék életciklus értékesítési és profit görbéje	42
22. ábra Az új termék bevezetések hatása a profit görbére.....	42
23. ábra Digitális iker készítésének lépései	44
24. ábra Digitális iker felhasználási lehetőségei az életciklus mentén.....	45
25. ábra Egyszerű gyártási folyamat és döntési táblája.....	52
26. ábra Neurális hálóval kiegészített digitális iker készítési folyamata.....	53
27. ábra A valós és a szintetikus adatok elérhetősége a gyártósor életciklusa során	55
28. ábra Rugalmas gyártórendszer egy szakaszának felépítése	60
29. ábra Gyártási idő elemei	61
30. ábra Puffer méretezés folyamatábrája.....	62
31. ábra LTO akkumulátorok degradációja a töltési ciklusok számának függvényében [25]	65
32. ábra Egy AGV gyártói adatlapja [55]	67
33. ábra Példa AGV töltési ciklusra.....	69
34. ábra Töltési döntési pont kialakítása.....	70
35. ábra Energiahatékonyság működési modellje.....	71
36. ábra Gyártórendszerek informatikai biztonsága az életciklus során	72
37. ábra Rugalmas gyártórendszer tervezési projekt lehetséges terve	75
38. ábra A példa rugalmas gyártórendszer elrendezése	80
39. ábra Termék-mennyiség elemzés a példa sorra	81
40. ábra Döntési tábla a példa sorra	81
41. ábra A példamodell elrendezése	84
42. ábra Töltöttségi szinkódolás az AGV-k esetében	84
43. ábra Modell futási állapot	85
44. ábra Napi gyártott mennyiség az AGV darabszám függvényében	86
45. ábra A szükséges töltőállomás szám szimulációja	86
46. ábra Elrendezés probléma a töltőkör esetében.....	87
47. ábra A gyártósor elrendezése és fő elemei.....	88
48. ábra Neurális háló tanítási görbéje.....	90

Táblázat jegyzék

1. táblázat AGV anyagáramlás előnyei és hátrányai konvejos anyagmozgatással szemben	23
2. táblázat Rugalmas gyártórendszerek előnyei és hátrányai.....	23
3. táblázat Folyamat grafikon példa.....	26
4. táblázat Honnan-hova táblázat formátuma	27
5. táblázat Kapcsolati diagram közelségi kategóriái.....	28

6. táblázat Döntési táblázat formátuma.....	29
7. táblázat Rugalmas gyártórendszer tervezéséhez szükséges paraméterek	38
8. táblázat Típus-mennyiség táblázat példa	39
9. táblázat Elrendezések és a súlyozott anyagáram mátrixok kapcsolata	49
10. táblázat Információs áram táblázat példa.....	50
11. táblázat A valós és a szintetikus adat összehasonlítása 5V szempontból	56
12. táblázat Különböző típusú AGV-k összehasonlítása	65
13. táblázat AGV töltő puffer stratégiák.....	70
14. táblázat Kapcsolati diagram a példa robotos sorhoz	79
15. táblázat Információs kapcsolat táblázat a példához	80
16. táblázat AGV-k szimulációs jellemzői	83
17. táblázat A szimuláció által gyűjtött statisztikai értékek az AGV-re	83
18. táblázat A rendszer tervezés folyamata.....	85
19. táblázat Neurális háló beállításai.....	90