

Doktori (PhD) értekezéstézisei

**Műszaki megbízhatóság alapú
ütemezési eljárás fejlesztése**

Pusztai László Péter

Témavezető: Dr. Budai István



DEBRECENI EGYETEM

Informatikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
Célkitűzések, tézisek	3
Anyagok és módszerek.....	6
Eredmények	7
Egygépes ütemezés.....	7
Többgépes ütemezés	11
A disszertáció új eredményei, megállapításai.....	14
Introduction	23
Objectives.....	25
Methodology.....	27
Results	28
Production schedule for one workshop.....	28
Production schedule for multiple workshops	32
Theses	35
Bibliography	38

Bevezetés

Minden piacon jelenlévő vállalatot ugyanaz a cél vezérli: minél több profitot termelni. Ezt a célt csakis úgy tudják megvalósítani, ha a vevők igényeit, elvárásait teljes mértékben kiszolgálják [1]. Gubán [2] alapján a vállalat által nyújtott termékekkel vagy szolgáltatásokkal, összefoglalóan javakkal, szemben megfogalmazható elvárások rendre a termék valamely jellemzőjére (mennyiség, minőség), illetve a hozzájutás körülményeire (hely, idő, ár) vonatkozik, amelyet összefoglalóan a logisztika 5M-jének is neveznek. A vevői igények a különféle terméket gyártó vállalat piacon való jelenléte miatt átalakulóban vannak, és ismét előtérbe helyeződött az egyedi termékek gyártása, alacsony átfutási idő mellett, a termelést már-már projektszerűen kezelve. Ilyen gyártási környezet mellett nehéz egy előre elkészített forgatókönyv alapján dolgozni, folyamatos kihívás elé állítják a termelésütemezést irányító szakembereket. Az általuk ismert és használt termelészabályozási és –szervezési módszerek átalakítását igénylik, új szempontok alapján, helyenként kibővítve, máshol egyszerűsítve.

A vevői profitszerzés egyik visszafogó tényezője a gyártás során felismert bizonytalanságok és az előre nem ismert kockázatok. Ezek a tényezők a gyártás egészét meghatározzák, a vállalat első kapcsolódási pontjától, a beszerzéstől a végéig, egészen az elosztásig jelen vannak. A kockázatok és a bizonytalanság ronthatja a gyártandó termék minőségét, veszélyeztetheti a termék szállítási határidejét, amely rendszerint a gyártási költség megnövekedésével jár, ütemezési és kapacitásproblémákat von maga után [3]. Ezért – amennyire lehet – mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy a gyártás teljes átfutási

ideje kockázatokkal és bizonytalanságokkal terhelt is megfelelő bizonyossággal előrejelezhető legyen, ennek megfelelően a végrehajtási fázisban hatékonyabb és rugalmasabb döntéshozatali eljárást biztosítva [3].

A jelenleg széleskörben alkalmazott kritikus út módszer (Critical Path Method - CPM és programértékelő és programellenőrző módszer (Project Evaluation and Review Technique – PERT) elemzések képesek a fent említett problémára megoldást nyújtani, azonban hatáskörük és megoldási, horizontjuk limitált, megbízhatóságuk pedig az eljárások miatt nem mindig kielégítő [4], [5].

A projektmenedzsment, mint ahogy a jellemzőit ismerteti a PMBOK Guide [6] is, egy általában nagy költséggel, hosszú átfutási idővel rendelkező termelési tevékenységre jön létre, így ennek folytán a kockázatok és a bizonytalanságok felmérése, kontrollja is a kiemelt célok közé tartozik. Az útmutató alapján viszont elmondható, hogy a kockázatmenedzsment leginkább kvalitatív, vagyis minőségi módszereket foglal magába [6]. Az említett módszerek közös jellemzője, hogy a gyártási folyamat minden tevékenységét elemzik, várakozásoknak megfelelően kockázatok és bizonytalansági tényezőket sorolnak fel, ezeket értékelik, továbbá intézkedéseket hoznak a potenciális hibák bekövetkezési valószínűségének csökkentésére [7], [8].

A hatékony kockázatmenedzsment érdekében a kockázatok azonosításán felül érdemes kategorizálni a lehetséges veszélyforrásokat, a kategóriáknak megfelelő, felelős csapatot alkotni, akkor szakértőhöz kerülhet a kockázatelemzés, így az a kockázatra adott reakciók is szakszerűbbek [9]. A kockázatok értékelése az úgynevezett RBS (Risk Breakdown Structure - kockázatlábontási struktúra) feladata, melyben több szinten keresztül,

hierarchikusan jeleníti meg a problémákat, mint ahogy azt az 1. táblázatban is látható:

1. táblázat: Kockázatelebontási struktúra (RBS), [6]

0. RBS-szint	1. RBS-szint	2. RBS-szint
A projektkockázat összes forrása	Műszaki kockázat	Pl.: Műszaki folyamatok, technológia, műszaki interfészek.
	Menedzsment kockázat	Pl.: Projektmenedzsment, Szervezet, erőforrások, kommunikáció.
	Üzleti kockázat	Pl.: Szerződéses feltételek, beszállítók és eladók, vevői stabilitás.
	Külső kockázat	Jogalkotás, versenytársak, szabályozások, devizaárfolyamok.

Célkitűzések, tézisek

A kutatásom elsődleges célja, hogy olyan kockázaton alapuló, projektgyártási struktúrába illő termelésütemezési eljárást fejlesszek, amely magába foglalja a potenciális műszaki megbízhatósági hibákat és azokra adott megoldások idejét, továbbá tartalmazza a gyártásban előforduló főbb mutatószámokat. A használatával a teljes átfutási idő közelítése pontosabb lesz a hagyományos determinisztikus módszerétől, hiszen plusz változó paraméterként szerepel a

modellben a tevékenységidő, valamint a hiba előfordulása is. A projektgyártásban általánosan használt hagyományos sztochasztikus kritikus út módszerben megjelenő bizonytalanságokon, kockázatokon felül a módszer fejlesztése során a fő hangsúly a gépek meghibásodásának előrejelezhetőségén van. Célom, hogy ezen indikátorokat figyelembe vegyem a fejlesztett szimulációs környezetben, ezáltal pontos képet kapva a gyártásban felmerülő problémákról, a kapacitások kihasználtságáról.

- C1: A legelterjedtebb projekt átfutási idő meghatározó módszerek kritikus elemzése.
- C2: Megbízhatósági indikátorok meghatározása és kiválasztása projekt átfutási idő meghatározásához Quality Function Deployment módszertan segítségével.
- C3: Projekt átfutási idő módszer fejlesztése a tevékenységekben, illetve a gépek meghibásodásában jelentkező bizonytalanságok figyelembevételével.
- C4: Kritikus útban potenciálisan bekövetkező változások értékelése.
- C5: Szimuláció eredményének megjelenítése a döntéshozók számára főbb gyártást leíró mutatókkal.
- C6: Keretrendszer készítése a módszer inputjaként szolgáló adatok Ipar 4.0 alkalmazásokból való kigyűjtése.

A kutatásom elkészítése során megfogalmazott tézisek:

- T1: Megbízhatósági indikátorok fontosságának elemzése és kiválasztása többszemponútú döntéstámogató rendszer és termékfejlesztési módszertan kombinációjával.
- T2: Szimulációval támogatott projekttervezési modell hatékonyabban támogatja a döntéshozókat a tervezésben, mint a klasszikus determinisztikus modellek. Az eredeti kiindulási értékekhez viszonyítva akár 20 %-os javulás érhető el a módosított modell alkalmazásával.
- T3: Meghibásodások között eltelt átlagos idő, valamint átlagos állásidő indikátorok sztochasztikus kritikus út módszerben történő használata.
- T4: A ciklusonkénti MTBF indikátor alkalmazása a gépek műszaki megbízhatóságának egy újszerű megközelítése a projektszerű tervezés esetében. Lehetővé teszi, hogy az indikátor alkalmazásával szemben a változó mennyiségi és minőségi igényeket is be lehessen építeni a tervezés folyamatába, azaz kiszámolható, hogy egy adott projekt beindításakor várható-e egy adott berendezés meghibásodása.
- T5: Sztochasztikus kritikus út és lineáris programozási modell kombinációjával együtt megadható olyan termelésütemezési terv, amely figyelembe veszi a műhelyek meghibásodásának valószínűségét.

Anyagok és módszerek

A technológiai fejlődésnek köszönhetően a vállalatok által támasztott követelmények reprezentációja is kiemelt szerep kap módszertani fejlesztéskor. A felmérés során 7 egyértelműen megkülönböztethető igényt állapítottam gyakorlati szakemberek segítségével:

Időn alapuló módszertan fejlesztése (CR1), Mérhetőség (CR2), A problémák egymásra hatásának implementációja (CR3), Gyakoriság (CR4), A projektben minden kritikus útban beálló változás rögzítése (CR5), Termelésütemezési eljárásba való integráció lehetősége (CR6), Alacsony számítási kapacitás/idő (CR7)

A vevői elvárások többszempontú csoportos döntéshozatali (AHP) eljárás keretében került kiértékelésre, amelynek eredményeként az alábbi elvárások élveznek prioritást a szakemberek számára: Időn alapuló módszertan fejlesztése (CR1), Mérhetőség (CR2), A projektben minden kritikus útban beálló változás rögzítése (CR5), Termelésütemezési eljárásba való integráció lehetősége (CR6)

A műszaki paraméterek rangsorolásában pedig szakirodalmi áttekintés volt segítségemre. 7 megbízhatósági indikátor került kiválasztásra az irodalmi elemzés alapján: *Átlagos működési idő (RI1), Javítás előtti átlagos várakozási idő (RI2), 2 hiba között eltelt átlagos idő (RI3), Átlagos állásidő (RI4), Hibamentes gyártás valószínűség (RI5), Átlagos javítási idő (RI6), Átlagos élettartam (RI7).*

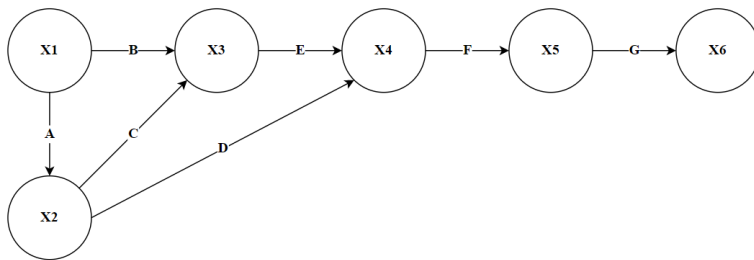
Az indikátorok vizsgálata a szűrés után 15 cikken keresztül történt meg. A cikkek nemzetközileg ismert és elismert folyóirat-adatbázisokból kerültek ki.

Az elemzést követően elmondható, hogy egyértelműen a két meghibásodás között eltelt átlagos idő (MTBF), átlagos működési idő (RI1), átlagos állásidő (RI3), valamint a javítás előtti átlagos várakozási idő (RI2) mutatói számítanak mérvadónak.

Eredmények

Egygépes ütemezés

A termelési folyamat egy projektgyártást mutat be, mely a megrendelő egyedi elképzelésének megfelelő terméket állít elő, magasabb darabszámban, a projekt szerint 100 db terméket kell előállítani. A termék gyártásának sajátja, hogy olyan emberek végzik a tevékenységet, akik az egész projekten végig kísérik a terméket. A folyamatban vannak olyan tevékenységek, amelyek párhuzamosíthatók, viszont a tevékenységek többsége lineárisan megy:



1. ábra: Gyártási folyamat leírása AOA hálózatban

A folyamatlépések idejének számításához valós idejű gyártási ciklust vettem alapul. A ciklusidők alsó-felső határai, valamint az alkalmazott béta-eloszlás α, β paraméterei a következő, 2. táblázatban található meg:

2. táblázat: Ütemezés inputjai egy gép esetén

Tevékenység megnevezése	Tevékenység (csomópontok)	Minimum érték (perc)	Maximum érték (perc)	Béta eloszlás (α, β)
A	X1-X2	7,5	8,5	$\beta(2; 2)$
B	X1-X3	6,0	6,5	$\beta(2; 2)$
C	X2-X3	3,0	3,3	$\beta(2; 2)$
D	X2-X4	5,0	0,7	$\beta(2; 2)$
E	X3-X4	3,0	4,0	$\beta(2; 2)$
F	X4-X5	8,0	9,6	$\beta(2; 2)$
G	X5-X6	3,0	3,3	$\beta(2; 2)$

Tapasztalati alapon az egyes tevékenységekhez is meghatározásra kerültek a megbízhatósági problémák, amelyek a tevékenység átfutási időkre vannak hatással. A szimuláció során optimalizálás is történik, így ennek megfelelően a célfüggvény:

$$x_n - x_1 \rightarrow MIN! \quad (1)$$

Az alábbi korlátozó tényezők figyelembevételével:

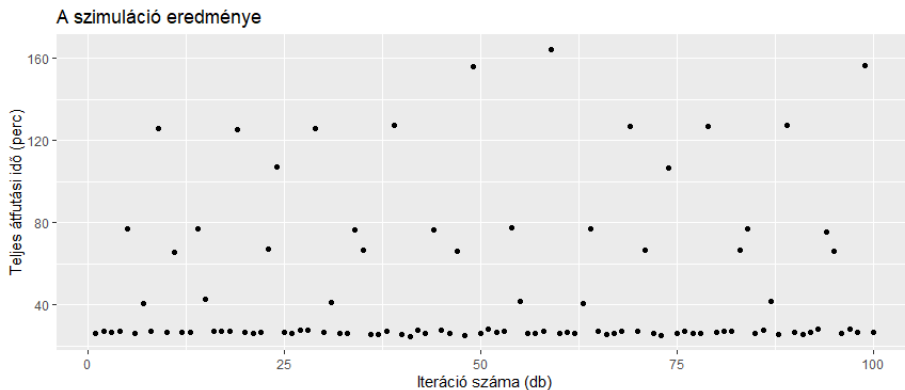
$$-x_i + x_j \geq t_{ij} \quad (2)$$

ahol:

$x_{i,j,n}$ = csomópontok jelölései,

t_{ij} = i . és j . csomópont közötti tevékenységidő (megegyezés szerint, pl. óra).

A disszertációmban bemutatott várható problémákkal lefuttatva a modelletemet, az alábbi eredményt kaptam a tevékenységek átfutási idejeire:

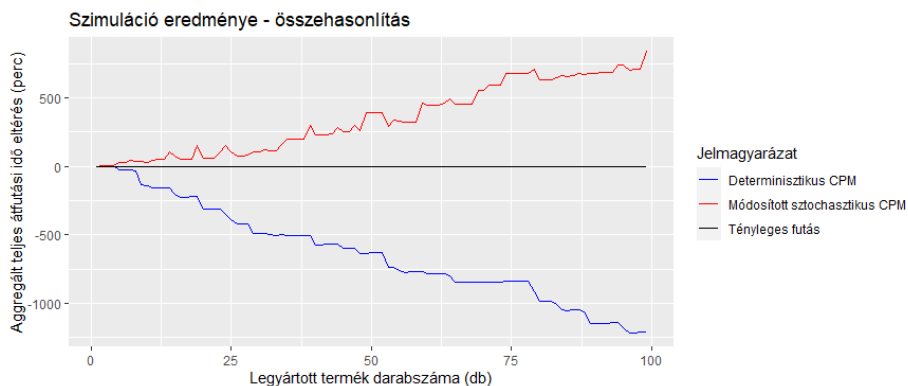


2. ábra: Projekt átfutási idők szimulációja

Lineáris regressziószámítással megkaptam a kis szériás projekt átfutási idejének egyenesét: $\hat{y} = 46,896x - 62,408$, a modell magyarázó ereje ($r^2 = 0,9996$) pedig nagyon magas, így hosszabb távon szinte lineárisnak tekinthető a folyamatunk. Ez természetesen hosszú távon értendő csak, ilyen tevékenységidőkkel tűnik lineárisnak, ez nem evidencia más termékek termelése esetén.

A kritikus út módszer kiegészítő elemzéseként 3 kritikus út lett azonosítva a szimulációs futások között: Az "A-C-E-F-G" út volt a legtöbbször megtalált kritikus út (73/100), de jelentős volt a "A-D-F-G" (21/100), illetve alkalmanként előfordult egy harmadik kritikus út is ("B-E-F-G"; 6/100). A projekt teljes átfutási ideje a 100 lefutást figyelembe véve 4664 perc lesz a szimuláció alapján, így megállapítható, hogy 5 munkanap, napi 2 db, 480 perces műszakkal megoldható a gyártás.

Az utolsó lépésben a klasszikus kritikus út módszer valamint az általam módosított sztochasztikus kritikus út módszer került összehasonlításra eredeti lefutással összehasonlítva.

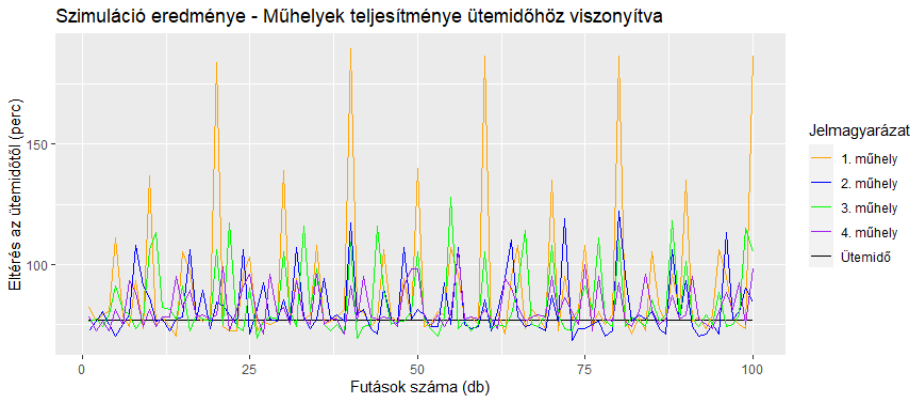


3. ábra: Gyártási folyamat elemzése kibocsátás tekintetében

Ahogy az ábrán is látszik, a klasszikus kritikus út módszer segítségével a teljes átfutási idő 1212,4 perc eltérést jelent a ténylegestől negatív irányban, ami a tényleges aggregált átfutási időnek a 31,7%-a. A módosított sztochasztikus módszer eltérése már pozitív irányú, értéke pedig 21,9%, így ha a projektvezető ilyen kondíciókkal vállalja el a projektet, úgy a gyártáshoz szükséges időt felülbecsüli, és tartalékidőt képez a projektben. Feltéve, hogy mind a két eset egyaránt rossz a vállalat számára, úgy a javulás mértéke abszolút értékben 9,8% a módosított sztochasztikus kritikus út módszer esetében, így megállapítható, hogy a módosított sztochasztikus modell hatékonyság javulásának mértéke 30,09% a determinisztikus módszerhez képest.

Többgépes ütemezés

Azonos folyamatlépésekkel, de különböző ciklusidő valamint műszaki megbízhatósági problémák mellett többgépes ütemezésre is meg lett vizsgálva a modellem. Ahogy a következő ábrán is látható, az egyes műhelyek önmagukban nem képesek az ütemidő (76,8 perc) szerint gyártani, így több műhely bevonása szükséges a projektgyártásba (így az ütemidő négy gép idejét tekintve 307,2 perc lett):



4. ábra: Ütemidőtől való eltérés

A szimuláció eredményeként megállapításra került 2 kritikus út: „A” jelzésű út a teljes gyártás 91,25%-át jelenti, míg a „B” jelzésű út 8,75%-ot.

Mivel több gép kerül bevonásra a projekt elvégzéséhez, lineáris programozási modell segítségével megnéztem 2 esetet: amikor van készletezési költségünk, és amikor nincs készletezési költségünk. A modellben alkalmazott egyenletek: Napi gyártásra vonatkozó korlátozó feltétel:

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad (3)$$

$$i \in [1; 4], j \in [1; 5]$$

ahol:

x_{ij} = i -edik műhelyben, j -edik napot gyártott mennyiség,

u_{ij} = i -edik műhelyben, j -edik napon maximálisan legyártható mennyiség.

Napi igényre vonatkozó feltételek:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 x_{ij} \geq I_j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^4 x_{i5} + T_4 \geq I_5 \quad (5)$$

ahol:

x_{ij} = a i -edik műhely j -edik napjain összesen legyártott mennyiség,

I_j = a vevő j -edik napi igénye,

T_4 = 4. nap végi készletszint.

Célfüggvény, mindkét esetben:

$$\min z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^4 T_j * c^k \quad (6)$$

ahol:

$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij}$ = j -edik műhely i -edik napi összesített termelési költsége,

$\sum_{j=1}^4 T_j * c^k$ = A négy nap összesített készletezési költsége.

A két esetnek megfelelően az alábbi termelésütemezések állnak rendelkezésre a projektgyártás kivitelezésére, ahogy az a 3. táblázatban bemutatásra kerül:

3. táblázat: Ütemezés készletezési költség nélkül

	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	5. nap
Műhely 1. készlet (db)	5	6	5	5	6
Műhely 2. készlet (db)	6	5	6	6	5
Műhely 3. készlet (db)	6	5	6	5	Ø
Műhely 4. készlet (db)	6	6	5	6	Ø
Készlet (db)	23	45	67	89	100

Az első esetben, amikor nincs költség, azonos gyártási költség mellett az optimalizáció alapján a gyártás leginkább a korai napokra koncentrálódna, ezzel az 5. napon szabad kapacitást felszabadítva a következő projekt előkészületeinek. Ez az ütemezés magában tartalmaz némi tartalékidőt is így a 4 műhelyet tekintve.

A következő táblázatban (4. táblázat) pedig azt lehet látni, hogy készletezési költség számításával a gyártás az utolsó napokra koncentrálódna, annak érdekében, hogy a legkisebb összeget kelljen a vállalatnak fizetnie a készletezésért, azonos termelési költség mellett.

4. táblázat: Ütemezés készletezési költséggel

	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap	5. nap
Műhely 1. készlet (db)	Ø	6	5	5	6
Műhely 2. készlet (db)	6	5	6	6	6
Műhely 3. készlet (db)	Ø	5	6	5	7
Műhely 4. készlet (db)	3	6	5	6	6
Készlet (db)	9	31	53	75	100

Jelen esetben pedig az első munkanapon lenne kihasználatlan kapacitást, amit akár arra is fel lehet használni, hogy az előző projekt befejező műveleteit elkészítse a két szabad műhely.

Ha a készletezési költség elhanyagolható a projekt tekintetében, bármelyik végpontja az optimalizációnak választható, így kellő rugalmasságot adva a döntéshozónak.

A disszertáció új eredményei, megállapításai

Megbízhatósági indikátorok fontosságának elemzése és kiválasztása többszempontú döntéstámogató rendszer és termékfejlesztési módszertan kombinációjával.

- A kutatás során elsődleges cél volt, hogy megállapítsam, milyen megbízhatósági indikátorok szükségesek az ipar számára kis szériás projekt struktúrában. Az irodalmi kutatás eredményeként a „két meghibásodás között eltelt átlagos idő”, valamint az „átlagos állásidő”

mutatók voltak a legfontosabbak. Ezek közös használatát a munkám során számos tanulmányban láttam, viszont ennek kritikus-út módszerben történő használatáról nem volt tudományos beszámoló.

- A mutatók és az elvárások közötti összefüggést, továbbá a fejlesztési módszeremet az úgynevezett „Minőség háza” módszer alapozta meg, ahol az egyes komponensek korrelációját vizsgáltam meg, továbbá itt fogalmazódott meg, hogy milyen szempontok szerint haladjon a módszertani fejlesztés

Meghibásodások között eltelt átlagos ciklus, valamint átlagos állásidő indikátorok sztochasztikus kritikus út módszerben történő használata.

- A folyamatszimulációba épített „MTBF” indikátorát célszerűbb az eltelt idő helyett annak használatának száma alapján számszerűsíteni, hiszen projektgyártás esetén nem biztosított, hogy adott gép, szerszám vagy eszköz is használva lesz, így az indikátor hibás eredményt szolgáltat a döntéshozó számára.
- A projektszimuláció során a gépek hibáinak előfordulása összekapcsolható, vagyis az egyes hibák egymásra gyakorolt hatása is modellezhető a szimulációban.

Módosított sztochasztikus kritikus út és lineáris programozási modell kombinációjával együtt megadható olyan termelésütemezési terv, amely figyelembe veszi a műhelyek meghibásodásának valószínűségét.

- A kiszámított várható napi kapacitásadatokból gyártásütemezési eljárás készíthető. A módszer eredményeként előálló gyártásütemezési eljárás képes több szempontból megvizsgálni a gyártási tervet, többféle eredményt szolgáltatva segíteni a döntéshozót az általa preferált döntések meghozatalában.

Szimulációval támogatott projekttervezési modell hatékonyabban támogatja a döntéshozókat a tervezésben, mint a klasszikus determinisztikus modellek. Az eredeti kiindulási értékekhez viszonyítva 20 %-os javulás érhető el a módosított modell alkalmazásával.

- Esettanulmányon keresztül bemutattam a determinisztikus és sztochasztikus módszerek közötti különbséget. Az átfutási idők egyenként tekintve a folyamat hektikusságának köszönhetően a determinisztikus modell alacsonyabb átlagos abszolút eltérést mutat a valós modellhez képest, viszont a teljes időhorizontot tekintetében a teljes projektátfutási idő megközelítőleg 20%-kal pontosabb eredményt szolgáltat a modellem.

Az Ipar 4.0 módszerei által támogatott termelés elegendő adatot szolgáltat a tevékenységidők előrejelzésére, valamint mintázatok fedezhetőek fel az egyes gépek meghibásodásainál. Ezek lehetnek egymásra ható meghibásodások (ha „A” hiba bekövetkezik, akkor a „B” hiba is be fog → „dominó-effektus”), vagy csak egyedüli hibák. A Manufacturing Execution System (MES) által szolgáltatott adatok lefedik a folyamat szimulációhoz szükséges inputokat,

amelyek a következők: folyamat kezdetét jelző időbélyeg („process start”), folyamat végeztét jelző időbélyeg („process_end”), utóbbival pedig a termék egyes környezeti és gyártási információit, amely alapján eldől, hogy a termék jól lett-e elvégezve, és így mehet tovább a transzformációs folyamatban, avagy sem.



Nyilvántartási szám: DEENK/494/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Pusztai László Péter
Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10056956

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Investigation of a production process under uncertainty.
Pollack Period. 15 (2), 49-59, 2020. ISSN: 1788-1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2020.15.2.5>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

2. **Pusztai, L. P.**, Nagy, L., Budai, I.: A risk management framework for industry 4.0 environment.
Sustainability. "Accepted by publisher", 1-17, 2022. ISSN: 2071-1050.
IF: 3.889 (2021)
3. **Pusztai, L. P.**, Nagy, L., Budai, I.: Selection of Production Reliability Indicators for Project Simulation Model.
Appl. Sci.-Basel. 12 (10), 1-15, 2022. ISSN: 2076-3417.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/app12105012>
IF: 2.838 (2021)

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

4. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Industrial process modelling with operations research method.
In: The 11th Conference of PhD Students in Computer Science : volume of short papers : CS2, University of Szeged, Institute of Informatics, Szeged, 106-109, 2018.





További közlemények

Idégen nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

5. Matonya, M. M., Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Production Planning, Scheduling and Risk Analysis in Manufacturing Operations by Robotic Process Automation.
In: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020) : Eger, Hungary, January 29-31, 2020. Eds.: Gergely Kovásznai, István Fazekas, Tibor Tómacs, [CEUR Workshop Proceedings], Eger, 232-241, 2020, (CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073 ; 2650.)

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

6. Törő, L., **Pusztai, L. P.**: Előrejelzési módszerek elemzése és összehasonlítása egy kisvállalat számára.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 5 (1), 14-21, 2020. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2020.1.2>
7. Cspikés, M., **Pusztai, L. P.**, Nagy, L.: Energiamenedzsment térhódítása Magyarországon = The importance of energy management in Hungary.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 3 (1), 72-79, 2018. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.1.9>.
8. Oláh, J., Nagy, L., Popp, J., Füzesi, I., **Pusztai, L. P.**: A készlettervezés és az előrejelzési modellek kapcsolata.
Acta Carolus Robertus. 7 (2), 115-132, 2017. ISSN: 2062-8269.
9. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Talajlazító mezőgazdasági vontatmány összeszerelési folyamatának fejlesztése = Product assembly process improvement of agricultural cultivator trailers.
IJEMS. 2 (1), 59-62, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.1.11>.

Idégen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

10. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I.: Making engineering projects more thoughtful with the use of fuzzy value-based project planning.
Pollack Period. 14 (1), 25-34, 2019. ISSN: 1788-1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2019.14.1.3>
11. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Analysis of activity times in the process of a wooden box manufacturing.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 3 (4), 475-484, 2018. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.39>.





12. Nagy, L., **Pusztai, L. P.**, Csipkés, M.: Application of the multiple objective programming in the optimization of production structure of an agricultural holding.
J. Agricult. Inf. 9 (2), 54-65, 2018. ISSN: 2061-862X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17700/jai.2018.9.2.441>
13. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I.: Business process development with the application of simulation technique.
IJEMS. 2 (3), 109-118, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.3.11>.

Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

14. Kocsi, B., Matonya, M. M., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Real-Time Decision-Support System for High-Mix Low-Volume Production Scheduling in Industry 4.0.
Processes. 8 (8), 1-26, 2020. EISSN: 2227-9717.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pr8080912>
IF: 2.847

Egyéb folyóiratközlemények (2)

15. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Material Flow Optimization with The Application of Generalized Network Flow Model. Utánpótlás nyelvi változat,
Műsz. tud. közl. = PTS. 9 (1), 203-206, 2018. ISSN: 2601-5773.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33894/mtk-2018.09.46>
16. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre - ipari folyamat racionalizálása = Business process improvement - a case study - rationalisation of industry process. Utánpótlás másodközlés,
Műsz. tud. közl. = PTS. 7, 343-347, 2017. ISSN: 2601-5773.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mtk-2017.07.78>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

17. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Alapanyag áramlásának optimalizálása általánosított hálózati folyam modellel.
In: A XXIII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 203-206, 2018. ISBN: 9789634490777
18. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre: ipari folyamat racionalizálása = Business Process Improvement : a Case Study : Rationalization of Industry Process.
In: A XXII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai = Proceedings of the XXIIth International Scientific Conference of Young Engineers. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 343-346, 2017. ISBN: 9789634490180





Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

19. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: New approach for resource allocation in digital healthcare 4.0.
In: 5th CARPE Conference : Horizon Europe and beyond. Eds.: Javier Orozco Messana, Juan Miguel Martínez Rubio, Editorial Universitat Politècnica de Valencia - UPV, Valencia, 244-251, 2019. ISBN: 9788490487891
20. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I., Szűcs, E.: How to build our houses in order to consume the minimum energy.
In: 12th Conference on Advanced Building Skins, Advanced Building Skins GmbH, Sarnen, 399-405, 2017. ISBN: 9783952488317

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (3)

21. Kovács, I., **Pusztai, L. P.**: Exploratory research on motivation of foreign engineer students of the University of Debrecen.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, aer 53, 2018. ISBN: 9789634292845
22. **Pusztai, L. P.**, Budai, I., Nagy, L.: Multi period production planning under uncertainty.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, aer 80, 2018. ISBN: 9789634292845
23. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Total process time prediction in complex manufacturing environment.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, , 2018. ISBN: 9789634292845

A közlő folyóiratok összesített impact faktora: 9,574

A közlő folyóiratok összesített impact faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre): 6,727

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.12.09.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Development of technical reliability-based
production scheduling method**

by Pusztai László Péter

Supervisor: Dr. Budai István PhD.



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Informatics

Debrecen, 2022.

Introduction

All companies present on the market are driven by the same goal: to generate as much profit as possible. They can only achieve this goal if they fully serve the needs and expectations of their customers [1]. According to Gubán [2], the expectations that can be formulated for the products or services provided by the company, in summary goods, respectively apply to a characteristic of the product (quantity, quality) or to the conditions of access (place, time, price), which are summarized in the 5M of logistics also called Customer needs are changing due to the presence on the market of a company that produces various products, and the production of individual products has once again come to the fore, with a low lead time, and production is handled almost like a project. In such a production environment, it is difficult to work on the basis of a pre-prepared scenario, and the professionals managing the production schedule are constantly challenged. They require the transformation of the production control and organization methods they know and use, based on new aspects, expanded in some places, simplified in others. Uncertainties and unknown risks recognized during production are one of the restraining factors of customer profit making. These factors determine the entire production, they are present from the first contact point of the company, from procurement to the end, all the way to distribution. Risks and uncertainty can impair the quality of the product to be manufactured, jeopardize the delivery deadline of the product, which usually involves an increase in the production cost, schedule and capacity problems [3]. Therefore, as much as possible, everything must be done to ensure that the entire production lead time can

be predicted with sufficient certainty, even when burdened with risks and uncertainties, thus ensuring a more efficient and flexible decision-making process in the implementation phase [3]. The currently widely used Critical Path Method (CPM) and Project Evaluation and Review Technique (PERT) analyzes are able to provide a solution to the above-mentioned problem, but their scope and horizon are limited, and their reliability is not due to the procedures is always satisfactory [4], [5]. Project management, as its characteristics are described in the PMBOK Guide [6], is created for a production activity with a generally high cost and a long lead time, so as a result, the assessment and control of risks and uncertainties are among the priority goals. However, based on the guide, it can be said that risk management mostly includes qualitative methods [6]. The common feature of the mentioned methods is that all activities of the production process are analyzed, risks and uncertainty factors are listed as expected, they are evaluated, and measures are taken to reduce the probability of occurrence of potential causes of errors [7], [8]. For the sake of effective risk management, in addition to identifying risks, it is worthwhile to categorize the possible sources of danger, to form a responsible team corresponding to the categories, then the risk analysis can be entrusted to an expert, so the reactions to the risk are also more professional [9]. The assessment of risks is the task of the so-called RBS (Risk Breakdown Structure), in which problems are displayed hierarchically through several levels, as shown in Table 1:

Table 1.: Risk Breakdown Structure (RBS), [6]

0. RBS-level	1. RBS-level	2. RBS-level
All sources of risk	Technical risk	E.g.: Technical processes, technical technologies or interfaces.
	Management risk	Pl.: Projectmanagement, organizational, resources or communication.
	Business risk	Pl.: Contract conditions, suppliers and customers, customer stability.
	External risk	Legislation, competitors, regulations exchange rates.

Objectives

The primary goal of my research is to develop a risk-based production scheduling procedure that fits into a project production structure, which includes potential technical reliability errors and the time of their solutions, and also includes the main indicators occurring in production. By using it, the approximation of the total lead time will be more accurate than the traditional deterministic method, since the activity time and the occurrence of errors are also included as additional variable parameters in the model. In addition to the uncertainties and risks appearing in the traditional stochastic critical path method commonly used in project production, the main focus during the

development of the method is on the predictability of machine failures. My goal is to take these indicators into account in the developed simulation environment, thereby obtaining an accurate picture of the problems arising in production and the utilization of capacities.

- C1 Critical analysis of the most common project lead time determination methods.
- C2 Definition and selection of reliability indicators for determining project lead time using the Quality Function Deployment methodology.
- C3 Development of the project lead time method, taking into account uncertainties in activities and machine breakdowns.
- C4 Evaluation of potential changes in the critical path.
- C5 Displaying the results of a simulation for decision-makers with indicators describing the main production.
- C6 Creation of a framework for the collection of data from Industry 4.0 applications that serve as input to the method.

Theses formulated during the preparation of my research:

- T1 Analysis and selection of the importance of reliability indicators using a combination of multi-aspect decision support system and product development methodology.
- T2 A simulation-supported project planning model supports decision-makers in planning more effectively than classical deterministic

models. Compared to the original starting values, an improvement of up to 20% can be achieved by using the modified model.

- T3 Use of average time between failures and average downtime indicators in the stochastic critical path method.
- T4 The application of the cycle-by-cycle MTBF indicator is a novel approach to the technical reliability of machines in the case of project-based planning. It makes it possible to incorporate variable quantity and quality requirements into the planning process, in contrast to the use of the indicator, i.e. it is possible to calculate whether a specific equipment failure is expected at the start of a given project.
- T5 Together with the combination of stochastic critical path and linear programming model, a production scheduling plan can be given that takes into account the probability of workshop failures.

Methodology

Due to the technological development, the representation of the requirements imposed by the companies is also given a prominent role in methodological development. During the survey, I established 7 clearly distinguishable needs with the help of practical experts: Development of a time-based methodology (CR1), Measurability (CR2), Implementation of the interaction of problems (CR3), Frequency (CR4), Recording of all changes occurring in the critical path in the project (CR5), Possibility of integration into the production scheduling procedure (CR6), Low computing capacity/time (CR7) The customer expectations were evaluated in the framework of a multi-

aspect group decision-making (AHP) procedure, as a result of which the following expectations are prioritized for the professionals: Development of a time-based methodology (CR1), Measurability (CR2), Recording of all changes occurring in the project's critical path (CR5), Possibility of integration into production scheduling procedure (CR6) A literature review helped me rank the technical parameters. 7 reliability indicators were selected based on the literature analysis: Average operating time (RI1), Average waiting time before repair (RI2), Average time between 2 failures (RI3), Average downtime (RI4), Probability of error-free production (RI5), Average repair time (RI6), Average lifetime (RI7). After filtering, the indicators were examined through 15 articles. The articles were extracted from internationally known and recognized journal databases. After the analysis, it can be said that the average time between two failures (MTBF), average operating time (RI1), average downtime (RI3), and the average waiting time before repair (RI2) indicators are considered authoritative.

Results

Production schedule for one workshop

The production process presents a project production, which produces a product according to the customer's unique vision, in a higher quantity, according to the project, 100 products must be produced. The production of the product is characterized by the fact that the activity is carried out by people who accompany the product throughout the entire project. There are activities

in the process that can be parallelized, but most of the activities go linearly, as it can be seen in Figure 1.:

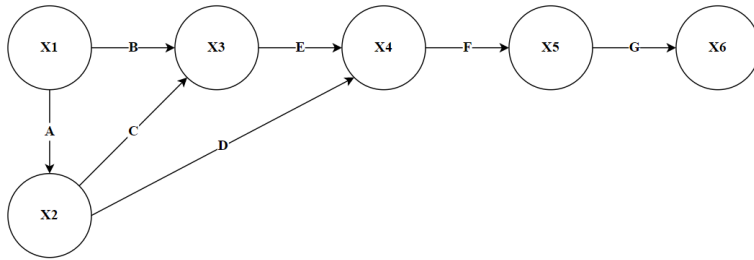


Figure 1.: Production process with AOA network

To calculate the time of the process steps, I used a real-time production cycle as a basis. The lower and upper limits of the cycle times, as well as the α , β parameters of the applied beta distribution, can be found in the following table (Table 2):

Table 2. Stochastic values of production

Activity	Between nodes	Minimum time (minute)	Maximum time (minute)	Beta distribution (α, β)
A	X1-X2	7,5	8,5	$\beta(2; 2)$
B	X1-X3	6,0	6,5	$\beta(2; 2)$
C	X2-X3	3,0	3,3	$\beta(2; 2)$
D	X2-X4	5,0	0,7	$\beta(2; 2)$
E	X3-X4	3,0	4,0	$\beta(2; 2)$
F	X4-X5	8,0	9,6	$\beta(2; 2)$
G	X5-X6	3,0	3,3	$\beta(2; 2)$

Based on experience, the reliability problems that affect the activity's lead times have also been determined for each activity. Optimization also takes place during the simulation, so the objective function is accordingly:

$$x_n - x_1 \rightarrow MIN! \quad (1)$$

Considering these constraints:

$$-x_i + x_j \geq t_{ij} \quad (2)$$

where:

$x_{i,j,n}$ = indication of nodes,

t_{ij} = activity time between i . and j . nodes (e.g. hour).

Running my model with the expected problems presented in my dissertation, I got the following result for the lead times of the activities, see Figure 2.:

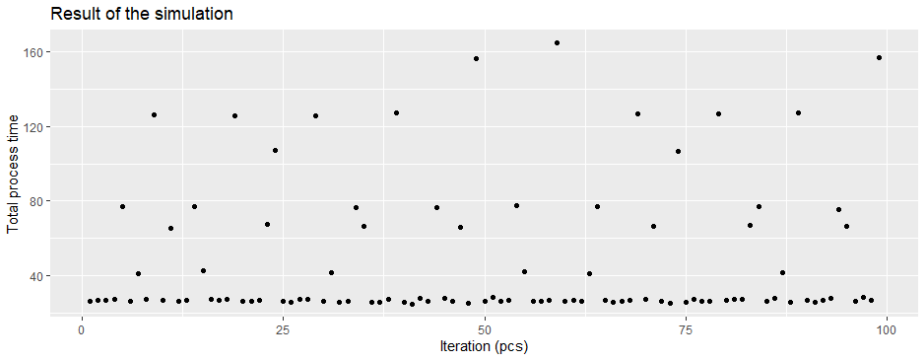


Figure 2.: Result of the simulation

Using a linear regression calculation, I obtained the straight line of the lead time of the small series project: $\hat{y} = 46.896x - 62.408$, and the explanatory power of the model ($r^2 = 0.9996$) is very high, so our process can be considered almost linear in the long term. Of course, this can only be

understood in the long term, with such activity times it seems linear, this is not evident in the case of the production of other products. As an additional analysis of the critical path method, 3 critical paths were identified among the simulation runs: The "A-C-E-F-G" path was the most frequently found critical path (73/100), but the "A-D-F-G" (21/100) was significant, and there was an occasional also a third critical path ("B-E-F-G"; 6/100). The total lead time of the project, taking into account the 100 runs, will be 4664 minutes based on the simulation, so it can be concluded that the production can be solved with 5 working days, 2 shifts of 480 minutes per day. In the last step, the classic critical path method and the modified stochastic critical path method were compared with the original run, see Figure 3.

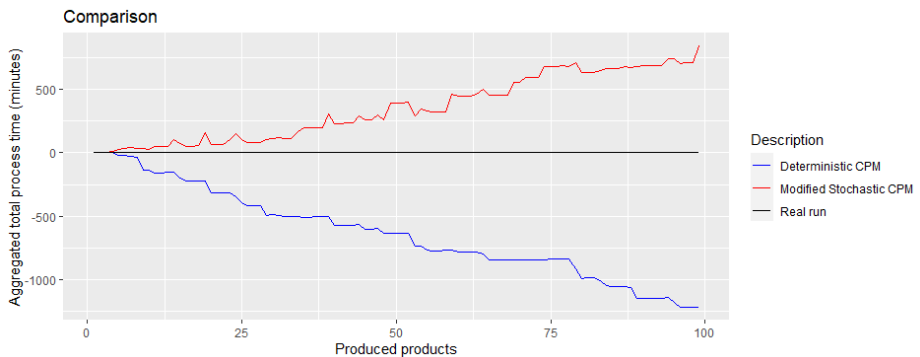


Figure 3.: Comparison of simulated and real data

As can be seen in the figure, using the classic critical path method, the total lead time is 1212.4 minutes in the negative direction, which is 31.7% of the actual aggregated lead time. The deviation of the modified stochastic method is already positive, and its value is 21.9%, so if the project manager undertakes

the project with such conditions, he overestimates the time required for production and creates reserve time in the project. Provided that both cases are equally bad for the company, the degree of improvement in absolute value is 9.8% in the case of the modified stochastic critical path method, so it can be concluded that the degree of improvement of the efficiency of the modified stochastic model is 30.09% compared to the deterministic method.

Production schedule for multiple workshops

With the same process steps, but with different cycle times and technical reliability problems, my model was also tested for multi-machine scheduling. As you can see in the 4th Figure, the individual workshops are not able to produce according to the schedule time (76.8 minutes), so it is necessary to involve several workshops in the project production (so the schedule time was 307.2 minutes in terms of the time of four machines):

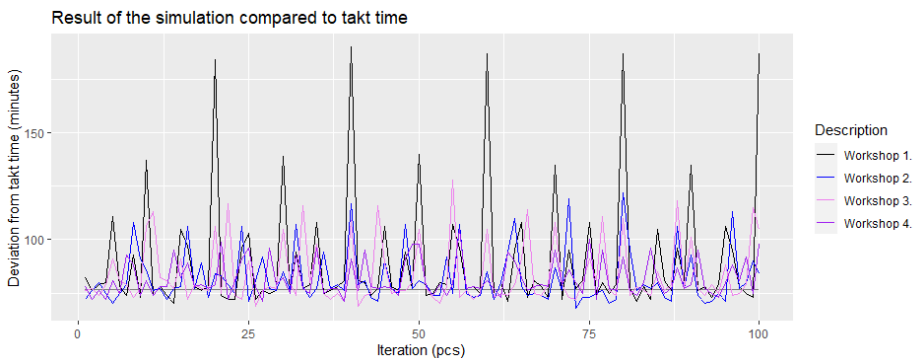


Figure 4.: Deviation from takt time

As a result of the simulation, 2 critical paths were established: the path marked "A" represents 91.25% of the total production, while the path marked "B"

represents 8.75%. Since more machines are involved to complete the project, I used a linear programming model to look at 2 cases: when we have inventory costs and when we don't have inventory costs. Equations used in the model: Constraints for daily production:

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad (3)$$

$$i \in [1; 4], j \in [1; 5]$$

where:

x_{ij} = i -th workshop, j -th day production,

u_{ij} = maximum value for i -th workshop, j -th day production.

Constraints for daily customer demand:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 x_{ij} \geq I_j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^4 x_{i5} + T_4 \geq I_5 \quad (5)$$

where:

x_{ij} = Daily production for i -th workshop j -th days,

I_j = Customer demand in the j -th day,

T_4 = Inventory level for the day 4.

Objective for both scenarios:

$$\min z = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^4 T_j * c^k \quad (6)$$

where:

$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_{ij} x_{ij}$ = Total cost of production,

$$\sum_{j=1}^4 T_j * c^k = \text{Total inventory cost.}$$

According to the two cases, the following production schedules are available for project production (Table 3.):

Table 3.: Production schedule without inventory cost

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
Workshop 1.	5	6	5	5	6
Workshop 2.	6	5	6	6	5
Workshop 3.	6	5	6	5	Ø
Workshop 4.	6	6	5	6	Ø
Total	23	45	67	89	100

In the first case, when there is no cost, with the same production cost, based on the optimization, production would be mostly concentrated on the early days, freeing up free capacity on the 5th day for preparations for the next project. This schedule also includes some spare time in terms of the 4 workshops. And in the following table, you can see that by calculating inventory costs, production would be concentrated on the last days, so that the company would have to pay the smallest amount for inventory, with the same production cost.

Table 4.: Production schedule without inventory cost

	Day1	Day2	Day3	Day4	Day5
Workshop 1.	Ø	6	5	5	6
Workshop 2.	6	5	6	6	6
Workshop 3.	Ø	5	6	5	7
Workshop 4.	3	6	5	6	6
Total	9	31	53	75	100

In this case, there would be unused capacity on the first working day, which could even be used for the two free workshops to complete the finishing operations of the previous project. If the inventory cost is negligible for the project, any endpoint of the optimization can be chosen, thus giving the decision maker sufficient flexibility.

Theses

Analysis and selection of the importance of reliability indicators using a combination of multi-aspect decision support system and product development methodology.

- During the research, the primary goal was to determine what reliability indicators are necessary for the industry in a small series project structure. As a result of the literature research, the "average time between two failures" and the "average downtime" indicators were the most important. I have seen the joint use of these in many studies during my work, but there was no scientific report on its use in the critical path method.
- The correlation between indicators and expectations, as well as my development method, was based on the so-called "House of Quality" method, where I examined the correlation of individual components, and it was also formulated here according to which aspects the methodological development should proceed

Using the average cycle elapsed between failures and average downtime indicators in the stochastic critical path method.

- It is more appropriate to quantify the "MTBF" indicator built into the process simulation based on the number of times it has been used instead of the elapsed time, since in the case of project production it is not guaranteed that a given machine, tool or device will be used, so the indicator provides incorrect results for the decision maker.
- During the project simulation, the occurrence of machine errors can be linked, that is, the effect of individual errors on each other can also be modeled in the simulation.

Combined with a modified stochastic critical path and a linear programming model, a production scheduling plan can be specified that takes into account the probability of shop failures.

- A production scheduling procedure can be prepared from the calculated expected daily capacity data. The production scheduling procedure resulting from the method is capable of examining the production plan from several perspectives, providing multiple results and helping the decision-maker to make the decisions he prefers.

A simulation-supported project planning model supports decision-makers in planning more effectively than classical deterministic models. Compared to the original starting values, a 20% improvement can be achieved by using the modified model.

- Through a case study, I presented the difference between deterministic and stochastic methods. Considering the lead times individually, due to the hectic nature of the process, the deterministic model shows a lower average absolute deviation compared to the real model, but with regard to the entire time horizon, the total project lead time is approximately 20% more accurate with my model.

Production supported by Industry 4.0 methods can provide sufficient data to predict activity times, and patterns can be discovered in individual machine failures. These can be failures that affect each other (if failure "A" occurs, failure "B" will also occur → "domino effect") or only single failures. The data provided by the Manufacturing Execution System (MES) covers the inputs required for process simulation, which are the following: time stamp indicating the start of the process ("process_start"), time stamp indicating the end of the process ("process_end"), and with the latter, the product can be used for certain environmental and production information, on the basis of which it is decided whether the product was done well and can continue in the transformation process or not.

Bibliography

- [1] D. Krisztina, Termelés, szolgáltatás, logisztika, Budapest: Wolters Kluwer Kft., 2014.
- [2] G. Ákos, Logisztika - Felvetések, példák, válaszok, Budapest: Saldo Zrt., 2013.
- [3] B. Kocsi, M. Matonya, L. Pusztai és I. Budai, „Real-Time Decision-Support System for High-Mix Low-Volume Production Scheduling in Industry 4.0,” *Processes*, 2020.
- [4] W. L. Winston, Operations Research: Applications and algorithms, Belmont: Brooks/Cole - Thomson Learning, 2004.
- [5] C. Ragsdale, spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Business Analytics, Boston: Cengage Learning, 2017.
- [6] P. M. Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) – and the Standard for Project Management, Project Management Institute, 2017.
- [7] A. L. e. al., „FMEA and consideration of real work situations for safer design of production systems,” *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, pp. 1-8., 2016.
- [8] D. R. C. R. Christian Spreafico, „A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents,” *Computer Science Review*, pp. 19-28, 2017.

- [9] B. N. K. B. Abusalem Osama, „Implementing quantitative techniques to improve decision making in construction projects: A case study,” *Pollack Periodica*, pp. 223-234, 2019.



Registry number:

DEENK/494/2022.PL

Subject:

PhD Publication List

Candidate: László Péter Pusztai

Doctoral School: Doctoral School of Informatics

MTMT ID: 10056956

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

1. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Investigation of a production process under uncertainty.
Pollack Period. 15 (2), 49-59, 2020. ISSN: 1788-1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2020.15.2.5>

Foreign language scientific articles in international journals (2)

2. **Pusztai, L. P.**, Nagy, L., Budai, I.: A risk management framework for industry 4.0 environment.
Sustainability. "Accepted by publisher", 1-17, 2022. ISSN: 2071-1050.
IF: 3.889 (2021)
3. **Pusztai, L. P.**, Nagy, L., Budai, I.: Selection of Production Reliability Indicators for Project Simulation Model.
Appl. Sci.-Basel. 12 (10), 1-15, 2022. ISSN: 2076-3417.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/app12105012>
IF: 2.838 (2021)

Foreign language conference proceedings (1)

4. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Industrial process modelling with operations research method.
In: The 11th Conference of PhD Students in Computer Science : volume of short papers : CS2, University of Szeged, Institute of Informatics, Szeged, 106-109, 2018.

List of other publications



Foreign language Hungarian book chapters (1)

5. Matonya, M. M., Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Production Planning, Scheduling and Risk Analysis in Manufacturing Operations by Robotic Process Automation.
In: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Informatics (ICAI 2020) :



Eger, Hungary, January 29-31, 2020. Eds.: Gergely Kovásznai, István Fazekas, Tibor Tómacs, [CEUR Workshop Proceedings], Eger, 232-241, 2020, (CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073 ; 2650.)

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (4)

6. Törő, L., **Pusztai, L. P.**: Előrejelzési módszerek elemzése és összehasonlítása egy kisvállalat számára.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 5 (1), 14-21, 2020. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2020.1.2>
7. Csapkés, M., **Pusztai, L. P.**, Nagy, L.: Energiamenedzsment térhódítása Magyarországon = The importance of energy management in Hungary.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 3 (1), 72-79, 2018. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.1.9>.
8. Oláh, J., Nagy, L., Popp, J., Füzesi, I., **Pusztai, L. P.**: A készlettervezés és az előrejelzési modellek kapcsolata.
Acta Carolus Robertus. 7 (2), 115-132, 2017. ISSN: 2062-8269.
9. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Talajlazító mezőgazdasági vontatmány összeszerelési folyamatának fejlesztése = Product assembly process improvement of agricultural cultivator trailers.
IJEMS. 2 (1), 59-62, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.1.11>.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (4)

10. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I.: Making engineering projects more thoughtful with the use of fuzzy value-based project planning.
Pollack Period. 14 (1), 25-34, 2019. ISSN: 1788-1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2019.14.1.3>
11. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Analysis of activity times in the process of a wooden box manufacturing.
Int. J. Eng. Manag. Sci. 3 (4), 475-484, 2018. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.39>.
12. Nagy, L., **Pusztai, L. P.**, Csapkés, M.: Application of the multiple objective programming in the optimization of production structure of an agricultural holding.
J. Agricult. Inf. 9 (2), 54-65, 2018. ISSN: 2061-862X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17700/jai.2018.9.2.441>
13. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I.: Business process development with the application of simulation technique.
IJEMS. 2 (3), 109-118, 2017. EISSN: 2498-700X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.3.11>.





Foreign language scientific articles in international journals (1)

14. Kocsi, B., Matonya, M. M., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Real-Time Decision-Support System for High-Mix Low-Volume Production Scheduling in Industry 4.0. *Processes*. 8 (8), 1-26, 2020. EISSN: 2227-9717.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pr8080912>
IF: 2.847

Other journal articles (2)

15. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Material Flow Optimization with The Application of Generalized Network Flow Model. Utánközlés nyelvi változat, *Műsz. tud. közl. = PTS*. 9 (1), 203-206, 2018. ISSN: 2601-5773.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33894/mtk-2018.09.46>
16. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre - ipari folyamat racionalizálása = Business process improvement - a case study - racionalisation of industry process. Utánközlés másodközlés, *Műsz. tud. közl. = PTS*. 7, 343-347, 2017. ISSN: 2601-5773.
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mtk-2017.07.78>

Hungarian conference proceedings (2)

17. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B., Budai, I., Nagy, L.: Alapanyag áramlásának optimalizálása általánosított hálózati folyam modellel.
In: A XXIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 203-206, 2018. ISBN: 9789634490777
18. **Pusztai, L. P.**, Kocsi, B.: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre: ipari folyamat racionalizálása = Business Process Improvement : a Case Study : Rationalization of Industry Process.
In: A XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai = Proceedings of the XXII-th International Scientific Conference of Young Engineers. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 343-346, 2017. ISBN: 9789634490180

Foreign language conference proceedings (2)

19. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: New approach for resource allocation in digital healthcare 4.0.
In: 5th CARPE Conference : Horizon Europe and beyond. Eds.: Javier Orozco Messana, Juan Miguel Martínez Rubio, Editorial Universitat Politècnica de Valencia - UPV, Valencia, 244-251, 2019. ISBN: 9788490487891
20. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I., Szűcs, E.: How to build our houses in order to consume the minimum energy.
In: 12th Conference on Advanced Building Skins, Advanced Building Skins GmbH, Samen, 399-405, 2017. ISBN: 9783952488317

Foreign language abstracts (3)





21. Kovács, I., **Pusztai, L. P.**: Exploratory research on motivation of foreign engineer students of the University of Debrecen.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, aer 53, 2018. ISBN: 9789634292845
22. **Pusztai, L. P.**, Budai, I., Nagy, L.: Multi period production planning under uncertainty.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, aer 80, 2018. ISBN: 9789634292845
23. Kocsi, B., **Pusztai, L. P.**, Budai, I.: Total process time prediction in complex manufacturing environment.
In: Abstract book for the 14th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences. Eds.: Attila Fülöp, Péter Iványi, Pollack Press, Pécs, , 2018. ISBN: 9789634292845

Total IF of journals (all publications): 9,574

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 6,727

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

09 December, 2022

