

# **DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**Monte-Carlo szimuláción és kockázatértékelésen alapuló folyamat  
elemző keretrendszer**

**Kocsi Balázs**  
**Témavezető: Dr. Budai István**



**DEBRECENI EGYETEM**  
**Természettudományi és Informatikai Doktori Tanács**  
**Informatikai Tudományok Doktori Iskola**

**Debrecen, 2020.**

# Tartalom

BEVEZETÉS.....	3
CÉLKITŰZÉSEK .....	4
ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK .....	5
EREDMÉNYEK .....	9
A DISSZERTÁCIÓ ÚJ EREDMÉNYEI, MEGÁLLAPÍTÁSAI .....	20
INTRODUCTION .....	28
OBJECTIVES .....	29
RESULTS.....	33
THESES .....	42
BIBLIOGRAPHY .....	49

## BEVEZETÉS

A jelenlegi globális trend alapján a vevők testreszabható terméket szeretnének vásárolni rövid átfutási idővel, amely komoly kihívások elé állítja az ipart. A különböző termékvariációkat rövid időablakon belül, elfogadható áron, hiba nélkül leszállítani nem egyszerű. Logisztikai problémák léphetnek fel, például: gondok az alapanyag-ellátásban vagy magas raktározási költség a rosszul választott készletezési stratégia miatt. Továbbá, ütemezési gondok is felléphetnek, amely magas gyártási költséget eredményezhet a nem megfelelő átállási program megválasztása miatt, valamint a megfeszített munkatempó miatt a hibás termékek gyártása is nagyobb valószínűséggel következik be. A gyártási folyamatoknak az optimális lefutás érdekében a tervezési- és gyártásirányítási szakaszban gyors és hatékony döntéshozatalra van szükségük.

Ezen kihívásokra egy lehetséges megoldás a negyedik ipari forradalom által létrejött ipar 4.0 megközelítés. A HMLV (High Mix Low Volume – magas termék mix alacsony gyártási tétel nagyság) termelési stratégia egy olyan globális trend, amely sok, rövid átállást igényel a gyártási eszközöktől annak érdekében, hogy képes legyen kiszolgálni a változó vevői igényeket rövid időablakon belül [1].

Számos termelés ösztönző rendszer próbál megoldásokat kínálni a fentebb taglalt problémára. Az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer az FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Hibamód- és Hatáselemzés). A hagyományos FMEA elemzés hiányosságai indukálták a kutatásomat, amelynek célja egy olyan kockázatelemző és hibafeltáró módszer létrehozása, amely a potenciális hibákat figyelembe véve képes előrejelzeni az üzleti folyamat átfutási idejét. Ezzel az előrejelzéssel ipar 4.0 környezetben értékes információt tudunk szolgáltatni a gyártásütemezésnek, mely ezen adatok figyelembevételével képes reagálni a folyamatban fellépő problémákra és újra ütemezve, a lehető legkisebb eltéréssel szállítani a vevői igényt a megkövetelt minőségben. Természetesen, mint megfelelő alap a saját módszertani fejlesztésemnek az irodalomban elérhető különböző módosított FMEA módszereket figyelembe vettem.

A kutatásom célja, egy olyan kockázat értékelő módszer fejlesztése, amely az FMEA-n alapul, tehát a hibákat rangsorolja azok súlyossága, gyakorisága és detektálhatósága alapján, azonban a paraméter értékek meghatározása mérés alapon történik. Fontos továbbá, hogy a módszer implementálható legyen kiber-fizikai rendszerbe, illetve képes legyen automatikusan feltárni a potenciális hibát annak bekövetkezése előtt, így védve meg a terméket, rendszert a sérüléstől.

## **CÉLKITŰZÉSEK**

A kutatás célja, hogy létrehozzak egy olyan folyamatdiagnosztikai keretrendszert, amellyel különböző üzleti folyamatokban a szakemberek képesek a potenciális hibákat mérés alapon rangsorolni. Fontos, hogy a hagyományos FMEA mint elemzőrendszer struktúráját betartva súlyosság, gyakoriság, és detektálhatóság paraméterek által lehessen értékelni a potenciális hibákat.

A keretrendszer további célja, hogy a feltárt hibák figyelembevételével képes legyen szimuláció segítségével a folyamat teljes átfutási idejét előrejelzeni, ezáltal fontos információt tud szolgáltatni a gyártásütemezésnek. Ez alapján, ha szükséges, a folyamat újraütemezése végrehajtható.

A keretrendszernek meg kell felelnie az ipar 4.0 feltételeinek, azaz egy olyan QR-kód-olvasó applikáció létrehozása a cél, amely a szükséges adatokat a beolvasás útján a keretrendszer számára biztosítja egy adatbázisban. Amennyiben ezek az adatok rendelkezésre állnak, a potenciális kockázatok és a gyártási folyamat átfutási ideje automatikusan kiszámolható.

### **Szimuláción és kockázat-értékelésen alapuló folyamatelemző keretrendszer létrehozása**

Célkitűzések:

1. Potenciális kockázatok értékelése és rangsorolása idő- és költség alapú KPI-val.

2. A legsúlyosabb hibák figyelembevételével a folyamat teljes átfutási idejének előrejelzése.
3. A hagyományos FMEA struktúrájának figyelembevétele, azaz súlyosság, gyakoriság és detektálhatósági paraméterek alapján a kockázatok értékelése.
4. Idő- és költség alapú KPI-k meghatározása a súlyosság, gyakoriság, detektálhatóság paraméterértékek megadására. Ezzel csökkentve a hagyományos FMEA szubjektív tényezőjét, amely a pontskála miatt alakulhat ki.
5. Az ipar 4.0 környezetbe történő alkalmazhatóság vizsgálata.

### **Szimuláción és kockázat-értékelésen alapuló folyamatelemző keretrendszer adatgyűjtését szolgáló QR- kód alapú alkalmazás fejlesztése**

Célkitűzések:

1. Folyamat-tevékenységek ciklusidejének mérésére alkalmas QR-kód alapú applikáció fejlesztése.
2. A potenciális kockázatok rangsorolásának algoritmusát integrálni az applikációba, ezáltal automatizálni a kockázatok értékelését és rangsorolását.
3. A potenciális kockázatok figyelembe vevő, teljes folyamatátfutási időt előre jelző algoritmus integrálása az applikációba

## **ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK**

### *FMEA változatok értékelése*

Az irodalomkutatás során először a hagyományos FMEA hátrányait kigyűjtöttem majd a szakirodalomban fellelhető különböző, módosított FMEA változatokat meghatározott kategóriákba rendeztem. Továbbá a különböző kategóriáknak meghatároztam az előnyeit és hátrányait. A megállapított hátrányok alapján, megfogalmazásra kerültek az új, módosított FMEA módszerrel szemben támasztott követelmények.

## QFD terméktervezési eljárás

A második lépésben QFD (Quality Function Deployment) alapú terméktervezési módszertannal kifejlesztettem az új FMEA módszert, amely megfelel az ipar 4.0-ba történő implementálhatóságnak. A QFD egy termékminőség tervezési és fejlesztési eljárás, amelynek célja, a vevői igények átalakítása műszaki paraméterekké. A következő lépéseken keresztül alkalmaztam a QFD módszertanát.

1. Irodalomkutatás alapján a kockázatértékelő keretrendszerrel szemben támasztott követelmények meghatározása.
2. Irodalomkutatás alapján lehetséges kockázat értékelő paraméterek meghatározása, mint műszaki paraméterek.
3. Követelmények fontossági sorrendjének meghatározása AHP-val. A követelmények részét képezi a hagyományos FMEA S (severity – súlyosság), O (occurrence – gyakoriság), D (detectability – detektálhatóság) paraméterek, amelyeket azonos fontossági súllyal vettem figyelembe. Tehát a fontossági sorrend meghatározásakor ezen paraméterek nem képezték a bemenet készletét.
4. A kockázatértékelő paraméterek és a követelmények összemérése kapcsolati mátrixban.
  - 9 jelenti az Erős kapcsolatot
  - 3 jelenti a Közepes kapcsolatot
  - 1 jelenti a Gyenge kapcsolatot
  - Üres cella jelenti azt, hogy Nincs kapcsolat [2]
5. Kockázat értékelő paraméterek fontossági sorrendjének meghatározása a kapcsolati mátrix és a követelmények fontossági sorrendje alapján.

$$W_j = \sum_{i=1}^n d_i * r_{ij} \quad (1)$$

Ahol,  $W_j$  a fontossági súlya a j-edik kockázatértékelő paraméternek,  $d_i$  a fontossági súlya az i-edik követelménynek; és  $r_{ij}$  a kapcsolati mátrix koefficiense az i-edik követelménynek és a j-edik kockázatértékelő paraméternek, ami a kapcsolati mátrixból előálló érték.

6. Versenyelemzés a lehetséges alternatívák között. A lehetséges alternatívák összehasonlítása mindegyik követelmény esetében AHP-elemzéssel történt

### *AHP (Analytical Hierarchy Process)*

A kutatásban a kockázati követelmények fontossági súlyának meghatározása és az alternatívák egyes követelmények szerinti értékelése történt. A döntési cél, hogy kockázatértékelő rendszert fejlesszünk figyelembe véve a rendszerrel szemben támasztott követelményeket. Az AHP eredménye a követelmények fontossági sorrendje lesz, valamint az alternatívák sorrendje a teljesítményük alapján

Az elemzés lépései a következők:

1. A döntési struktúra létrehozása.
2. Páros összehasonlítás elkészítése a következő skála alapján:
  - (1) egyformán fontos/ előnyös/ nem létezik
  - (3) mérsékelten fontosabb/ előnyösebb
  - (5) sokkal fontosabb/ előnyösebb
  - (7) nagyon sokkal fontosabb/ előnyösebb
  - (9) rendkívüli mértékben fontosabb/ előnyösebb
3. Fontossági súlyszámok számolása minden szinten.

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_i^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

4. Minden szinten inkonzisztencia-mérés CI *konzisztencia-indexszel*

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Ahol,  $\lambda_{max}$  a párosösszehasonlítás-mátrix legnagyobb sajátértéke és n a párosösszehasonlítás- mátrix sorainak a száma. A konzisztencia-index értékeit minden n esetre véletlenszerűen generált párosösszehasonlítás-mátrixok segítségével adjuk meg és RI-vel jelöljük. RI értéke 8 elem esetében 1,40. A konzisztencia-hányados (CR) a következő képlettel számolandó [3]

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Akkor fogadható el az összehasonlítás, ha a konzisztencia-hányados  $CR < 0,1$ .

### *Google Apps script*

A Google sheet biztosít egy felhőalapú programozási nyelvet, amely a Google Apps Script (GAS). Google Apps script egy Javascript amely egy felhőalapú nyelv, amely segítségével könnyen lehet feladatokat automatizálni. A kódszerkesztő elérhető a böngészőben, a szkriptek a Google szerverein futnak. A Google Apps script webes alkalmazás funkcióját használtam az applikáció fejlesztéshez. A környezet használata megszab bizonyos feltételeket az alkalmazás közzétételéhez. A kódnak rendelkeznie kell **doGet (e)** vagy **doPost (e)** funkciókkal. A függvényeknek vissza kell adnia egy **HtmlOutput** objektumot a HTML-szolgáltatásból, egy **UiInstance**-objektumot a felhasználói felület-szolgáltatásból vagy egy **TextOutput**-objektumot a tartalom-szolgáltatásból [4].

A szolgáltatás a Javascript 1.6-on alapul 1.7- és 1.8-verzió-javításokkal.

### *Gsheet*

A Gsheet a Google felhőalapú táblázatkezelő eszköze, amely rendelkezik azokkal a funkciókkal, amellyel a Microsoft Office 365



Excel. Továbbá elérhető hozzá a már fentebb írt scripting-szolgáltatás, amely segítségével különböző feladatok automatizálására képes [4].

### *App Inventor*

Az MIT App inventory egy online platform mobil applikációk fejlesztésére. Az online platformnak kettő interfésze van. Az első a design interfész, amely segítségével a mobilapplikáció grafikai megjelenítését lehet megtervezni. A második interfész a blokk interfész, ahol a blokkalapú kódolás történik.

A blokkalapú kódolás kettő kategóriába sorolt elemeket tartalmaz. Az első a „built-in” blokkok, amelyek az alapeseményeket, tulajdonságokat tartalmazzák. A második kategória a „component” blokk, amely a programozási nyelveket tartalmazza: számok, betűk, képletek, matematikai operátorok [5].

## **EREDMÉNYEK**

### **Szimuláción és kockázat értékelésen alapuló folyamatelemző keretrendszer létrehozása**

A rendszerrel szemben támasztott követelmények fontossági súlyát AHP-val számoltam melynek az eredményét a következő 4. táblázat tartalmazza

1. táblázat: A Rendszerrel szemben támasztott követelmények

Követelmények	Fontossági súly	Sorrend
A kockázati paraméterekkel matematikai alapon ki lehessen számolni a kockázati számot	0,245	1
Objektív	0,242	2
Emberi tényező minimalizálása	0,225	3
Előrejelzés	0,092	4
Valós időben mérhető (i 4.0)	0,071	5
Kockázatok dominóhatásának figyelembevétele	0,051	6
Gyorsan számítható kockázati szám	0,038	7
Egyszerűen mérhető adatok	0,036	8
Súlyosság	0,100	x
Előfordulás	0,100	x
Detektálhatóság	0,100	x

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A folyamat teljesítményére alkalmazható folyamat indikátorok a következők:

2. táblázat: A Lehetséges kockázat értékelő paraméterek

No.	Paraméter	Abszolút súly	No.	Paraméter	Abszolút súly
1	Ciklusidő	6,97	6	Tevékenység költsége	5,73
2	Meghibásodások között eltelt idő	6,52	7	Hiba belső költsége	5,64
3	Gyártáskiesés	6,43	8	Hiba külső költsége	5,50
4	Minőségi mutató	6,03	9	Hibagyakoriság	3,29
5	Javítási idő	5,80	10	Minőség költsége	2,57

Forrás: Saját szerkesztés, 2020

A követelményeknek megfelelően és a kockázati paraméterek kombinációjával a következő lehetséges kockázatértékelési idő- és

költségalapú kockázati szám (tcRPN) számítási eljárásokat hoztam létre.

Ha van lehetőség a folyamatban a hiba belső és külső költségét mérni, akkor a következő képlettel határozható meg a hiba kockázati száma.

$$tcRPN = [(P_i \times C_{ai} + P_e \times C_{ae}) + C_f] \times F \times T_p \quad (5)$$

Ahol,  $P_i$  = Annak a valószínűsége, hogy a hibát detektálják szállítás előtt;  $C_{ai}$  = Hiba belső költsége;  $P_e$  = Annak a valószínűsége, hogy a hibát nem detektálják szállítás előtt;  $C_{ae}$  = Külső hiba költsége;  $C_f$  = Hiba költsége;  $F$  = Hiba gyakorisága;  $T_p$  = 1+ SMAPE (Symmetric mean absolute percentage error - Szimmetrikus átlagos abszolút százalékos hiba).

A gyártási folyamatok elemzésére ma elterjedt megközelítés a discrete-event szimuláció. Mivel számszerű értéket kell előrejelzeni, különféle ismert tényezők figyelembevételével a gyártási átfutási idő előrejelzése regressziós probléma. Az előrejelzési hiba leírására SMAPE használható

$$SMAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|F_i - A_i|}{(|F_i| + |A_i|)/2} \quad (6)$$

Ahol  $F_i$  a szimulált ciklus ideje;  $A_i$  a tényleges ciklus ideje az  $i$ -edik tevékenységnek.

Tehát a  $T_p$  megadásához folyamatszimulációt kell futtatni. Ehhez szükséges egy eseményvezérelt folyamatlánc-diagram, a tevékenységek ciklusideje, a ciklusidők eloszlásfüggvénye és a tevékenységek bekövetkezési valószínűsége.

Abban az esetben, ha vannak rendelkezésre álló historikus adataink és a termék javítható, a képlet a következőképpen módosul.

$$tcRPN = [(P_i \times C_{ai} + P_e \times C_{ae}) + C_f] \times MTBF \times T_p \quad (7)$$

Ahol, MTBF (Mean time between failures - meghibásodások közt átlagosan eltelt idő)

$$MTBF = \frac{th_{365}}{AFR} = \frac{th_{365}}{\frac{H_s \times \left(\frac{52}{T_s}\right)}{E_s}} \quad (8)$$

Ahol,  $th_{365}$ = Évenkénti órák száma;  $H_s$ = Hibaszám a mintavételi szakaszban;  $T_s$ =Mintavételi szakasz hossza hetekben;  $E_s$ =Egységek száma a sorozatban

A folyamat teljes átfutási idejének figyelembevétele elengedhetetlen a kockázatértékelés szempontjából. Viszont nagyon fontos a folyamat sajátosságait figyelembe venni a folyamat teljes átfutási idejének előrejelzésénél.

Egyedi gyártás esetén a teljes átfutási időt megkaphatjuk a kritikus tevékenységek idejének összegeként, amelyet összefoglalóan kritikus útnak nevez a szakirodalom. Amennyiben a kritikus úton bármely tevékenység valamilyen hiba folytán több időt vesz igénybe, mint amennyi a becsült vagy tapasztalatra alapozott tervezés, úgy a projekt teljes átfutási ideje is nőni fog. Ez az összefüggés csak akkor áll fent a nem kritikus tevékenységek esetében, ha a növekedés mértéke elért egy olyan szintet, amelynek során a kritikus út is megváltozik. Ha a nem kritikus tevékenységek idejének növekedése nem éri el ezt a határvonalat, akkor nem lesz hatása a tevékenység teljes átfutási idejére.

A szakirodalomban számos olyan esetet láthatunk, ahol a teljes átfutási időt egy lineáris regresszió eredményeként jelzik előre [6-9]. Ez az összefüggés felhasználható a jelen disszertációban is bemutatott tcFMEA-számításhoz. A Monte-Carlo szimuláció során előre meghatározott számú iteráció eredményeként előálló adatbázis értékei között fennálló kapcsolatot felírhatjuk az alábbi lineáris regressziós képlettel:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (9)$$

ahol:  $\hat{y}$  = A teljes átfutási idő (TPT) becsült értéke (függő változó);  $\beta_0$  = A függvény metszéspontja (intercept);  $\beta_i$  = A lineáris regresszió egy  $i$  tevékenységéhez kapcsolódó együttható (független változó);  $x_i$  = A tevékenység becsült átfutási ideje;  $\varepsilon$  = hiba.

Természetesen, előfordulhat a szimuláció futtatása utáni elemzés készítésekor, hogy egy nem kritikus tevékenység koefficiensének szignifikanciája elfogadási tartományban van ( $p \leq 0.05$ ), abban az esetben további vizsgálatnak kell alávetni a kapott eredményt. Érdekes ilyenkor az egyes tevékenységidők Pearson-féle korrelációját megvizsgálni, és a regresszióból adódó téves következtetéseket kiigazítva a kockázati számításba belevenni az adatokat.

A korrelációs együttható ( $r$ ) számítása két változóra vett minta  $X_1, X_2, \dots, X_n$  és  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  esetén.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

Egyedi gyártás esetén vagy építő ipari kivitelezésnél a hiba belső és külső költségei nem minden esetben értelmezhetőek [19]. Tehát ezeket a paramétereket ki kell váltani. A kockázatok értékelésére ilyen esetben egy lehetséges alternatíva lehet az EMV (Expected Monetary Value – Várható pénzbeli érték) [19]. A tcRPN képlete a következő képen változik.

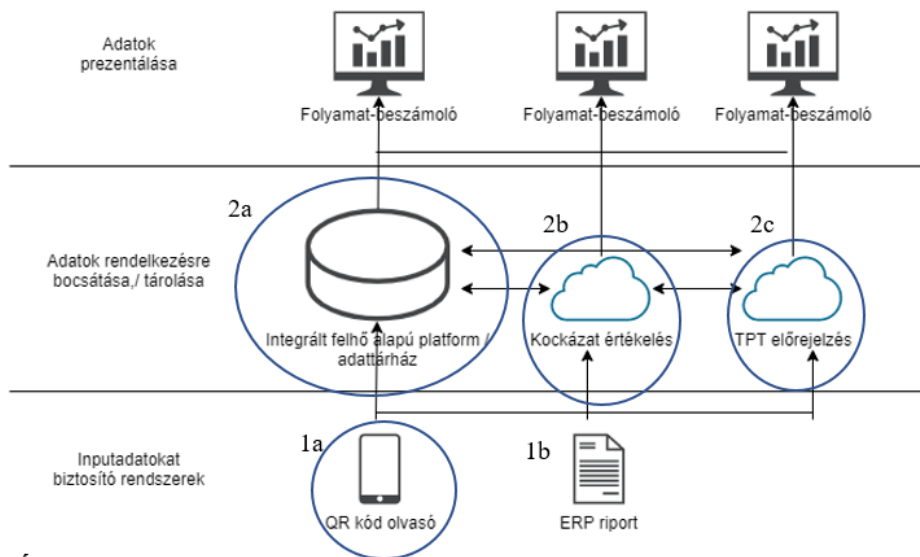
$$tcRPN = EMV \times F \times \left(\frac{TPT_t}{TPT_e}\right) \times P_d = (P_i \times C_f) \times F \times \left(\frac{TPT_t}{TPT_e}\right) \times P_d \quad (11)$$

Ahol,  $TPT_t$  = tervezett teljes átfutási idő;  $TPT_e$  = A hiba felmerülése esetén várható teljes átfutási idő,  $P_d$  = Késés valószínűsége

A fentebb bemutatott tcRPN képletekkel lehet a kockázatokat rangsorolni a tcFMEA esetén. (time and cost oriented Failure Mode and Effect Analysis -idő és költség orientált Hibamód és Hatáselemzés). A kockázat értékelési folyamat felgyorsítására és megkönnyítésére egy QR kód alapú applikációt fejlesztettem, amely képes mérni a tevékenységek ciklusidejét.

**Szimuláción és kockázat értékelésen alapuló folyamatlemző keretrendszer adatgyűjtését szolgáló QR-kód alapú alkalmazás fejlesztése**

A folyamatirányítás támogatására létrehozott applikáció adattárházon alapuló integrált platform, amelynek az architektúra felépítése a következő ábrán látható.



**Ábra 1: Adattárházon alapuló kockázatértékelő platform.**

Forrás: Saját szerkesztés, 2020.

Adattárházon alapuló integrált platformban nincs olyan elem, amely egy folyamatkontrolling számítási logikáját explicit leképezné. Ez a számítási logika egy a vállalat által már használt informatikai megoldásban integrálhatóan található meg.

Az adatgyűjtő alkalmazás a folyamat teljesítmény méréséhez szükséges tevékenység ciklus időket gyűjti (1a). Minden tevékenységnek egyedileg dedikált QR kódja van. Ha a munkadarab átáramlik a kamera előtt, akkor az a tevékenység kezdetét jelenti, ha a munkadarab újra átáramlik a kamera előtt, akkor az a tevékenység végét jelenti. Mind a kettő esetben egy időbélyeg kerül rögzítésre az adattárházban (2a), amely a google szolgáltatás által biztosított Gsheet munkafüzet. A QR kód olvasó és a GSheet közötti kapcsolatot a GAS biztosítja.

A kockázat értékelés a Gsheetbe képletezett tcFMEA, amely a tartalmazza folyamatstruktúráját és a potenciális hibaokokat (2b). A TPT előrejelzés modul is a Gsheet része amely egy Monte-Carlo szimulációs alapú folyamat teljes átfutási idő előrejelző algoritmus (2c). A kockázat értékelés és a TPT előrejelzés együtt dolgozva kalkulálja a lehetséges átfutási időt és rangsorolja a potenciális kockázatokat, az adattárba gyűjtött adatokból. Ha szükség van még egyéb bemeneti adatra a kalkulációkhoz akkor azok ERP riport formájában biztosíthatóak. A kockázat értékelés eredményét és az előrejelzett TPT értékét egy Dashboardon jeleníti meg a rendszer Az ábrán látható kék körök jelzik azokat a részeket, amelyek a saját munkám eredménye.

Amikor egy felhasználó meglátogatja, az Apps Script futtatja a doGet (e) függvényt. Amikor egy program HTTP POST kérést küld az alkalmazásnak, az Apps Script futtatja a doPost (e) parancsot. Mindkét esetben az e argumentum olyan eseményparamétert képvisel, amely információt tartalmazhat bármely kérési paraméterről.

Az alkalmazás először megnyitja az adattárban elhelyezett Gsheetet URL alapján és meghatározott munka fűzetett előhívja,

```
function doGet(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
function doPost(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
```

Az alkalmazás az aktuális időbélyeget hozzáadja egy „in” cellához amikor egy munkadarab beáramlik a munkaterületre, ehhez egy in akciót határoztam meg. Az alkalmazás az aktuális időbélyeget hozzáadja az adott munkadarab „out” cellájához amikor elhadja a munkaterületet, ehhez egy out akciót határoztam meg.



```

function inTime(e){
    var id = e.parameter.id;
    var values = sheet.getRange(2,2,sheet.getLastRow(),1).getValues();
    for(var i = 0 ; i<values.length ; i++){
        if(values[i][0] == id){
            i=i+2;
            var in_time = Utilities.formatDate(new Date(), "CET", "HH:mm:ss");
            sheet.getRange(i,4).setValue(in_time);
            return ContentService.createTextOutput("Thank You ! Your In Time is
"+in_time).setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
        }
    }
    return ContentService.createTextOutput("Id Not
Found").setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
}

```

Az in funkció esetén az adott QR-kód beolvasásakor az időbélyeg bekerül a munkafüzet meghatározott sorába és oszlopába. Fontos az, hogy ha egy másik kódon egy másik termék érkezik akkor egy sorral lejjebb az új kódhoz kerüljön be az időbélyeg.

```

function outTime(e){
    var id = e.parameter.id;
    var values = sheet.getRange(2,2,sheet.getLastRow(),1).getValues();
    for(var i = 0 ; i<values.length ; i++){
        if(values[i][0] == id){
            i=i+2;
            var out_time = Utilities.formatDate(new Date(), "CET", "HH:mm:ss");
            sheet.getRange(i,5).setValue(out_time);
            return ContentService.createTextOutput("Thank You ! Your Out Time
is "+out_time).setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
        }
    }
    return ContentService.createTextOutput("Id Not
Found").setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
}

```

Az out funkció esetén az adott QR-kód beolvasásakor az időbélyeg bekerül a munkafüzet meghatározott sorába és oszlopába. Fontos az, hogy ha egy másik kódon egy másik termék haddja el a munkaterületet akkor egy sorral lejjebb az új kódhoz kerüljön be az időbélyeg.

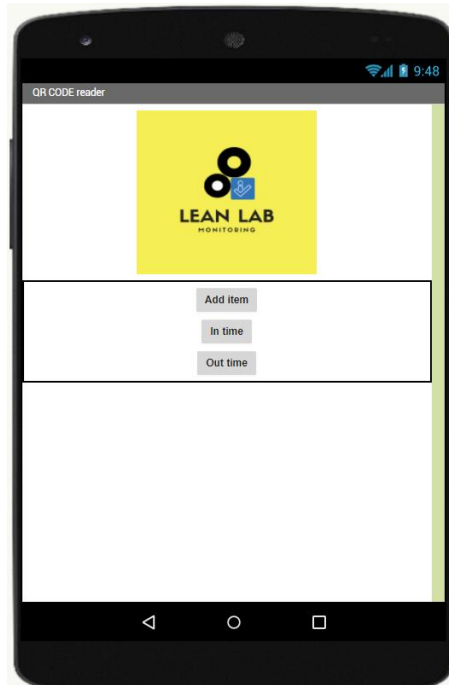
```

function insert(e,sheet){
    // reciving scanned data from client i.e android app
    var sdata = e.parameter.sdata;
    var date = new Date()
    sheet.appendRow([date,sdata]);
}

```

A harmadik és utolsó funkciója az alkalmazásnak, az új tevékenység felvitele egy új QR kóddal. Ebben az esetben az adattárhoz egy új sor kerül, amely az új QR kód. Minden tevékenységnek egyedi QR kódja van és minden tevékenységet csak 1 QR kód alapján lehet azonosítani.

Az alkalmazás a következő képernyőképpel rendelkezik:



**Ábra 2: Alkalmazás kezdőképe tableten.**

Forrás: Saját szerkesztés, 2020.

Az alkalmazás a mobiltelefon vagy tablet saját QR kód olvasóját használja. Egy Webes kapcsolat és egy óra került még bekötésre. Az alkalmazás az In, Out, Add Item funkciók futtatásához, az előbbieken bemutatott GAS scriptet hívja elő és scriptben meghatározott URL-en található Gsheetre menti az adatokat.

## A DISSZERTÁCIÓ ÚJ EREDMÉNYEI, MEGÁLLAPÍTÁSAI

- Az üzleti folyamatban fellépő kockázatok idő- és költségtulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek mérhetők vagy kalkulálhatók. Ha ezeket a tulajdonságokat használjuk a kockázat-értékeléskor, akkor, a szubjektivitást csökkentve, mérés alapon lehet a kockázatokat rangsorolni.
- Folyamatszimulációval támogatott kockázatértékelés során képesek vagyunk vizsgálni azt, hogy a kockázatok a felmerülésük esetén milyen hatással vannak a folyamatra idő és költség tekintetében. Figyelembe véve a bizonytalanságot realiztikusabb kockázatértékelés végezhető a determinisztikus megközelítésekhez képest.
- Idő- és költségalapú kockázat-értékelésre a következő folyamatindikátorok alkalmasak tcFMEA esetén: tevékenység-ciklusidő és azokban történő eltérés, gyártáskiesés, meghibásodások között eltelt idő. Ezen indikátorok használatával csökken a szakértői vélemények súlya az elemzés során, csökken a kockázatértékelés szubjektivitása.
- A mérhető adatok teszik a tcFMEA-elemzést is automatizálhatóvá. Ipar 4.0 környezetben a szükséges adatok egyszerűen mérhetőek és tárolhatóak, a rendszerben fellépő változásokat számos esetben mérni tudja.
- A tcFMEA-alapú kockázatértékelés, nem támaszkodik iparági specifikumokra, nem kell adatokat vagy skálát transzformálni (5%-os selejt arány lehet alacsony egy faiparban, míg lehet magas a repülőgépiparban).
- A tcFMEA-val támogatott gyártásütemezés képes lehet előrejelezni a gyártás átfutási időt a bizonytalanságok és kockázatok figyelembevételével. Ezen megközelítést alkalmazva egy vállalat számos esetben nagyobb biztonsággal, gyorsabban, eredményesebben reagálhat a

változó vevői igényekre magas termék-variabilitás és relatíve alacsony termékszám mellett.

- Szimulációval támogatott tcFMEA-kockázatértékelés magasabb számítási kapacitást igényel, de megbízható, releváns bemeneti paraméterek alkalmazása esetén képes lehet a valósághoz közeli eredményt adni, amely különféle folyamatlefutások figyelembevételével vizsgálja a kockázatok hatását a folyamat teljes átfutási időre.



Nyilvántartási szám: DEENK/360/2020.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Kocsi Balázs

Doktori Iskola: Informatikai Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10040144

## A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

### Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. Abusaleem, O., Bertalan, N., **Kocsi, B.**: Implementing quantitative techniques to improve decision making in construction projects: a case study.  
*Pollack Period.* 14 (3), 223-234, 2019. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2019.14.3.21>
2. 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>

### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

3. **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: 2.753 (2019)
4. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Potential connections of unique manufacturing and industry 4.0.  
*LogForum.* 13 (4), 389-400, 2017. ISSN: 1895-2038.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2017.4.1>

## További közlemények

### Magyar nyelvű könyvek (1)

5. Budai, I., **Kocsi, B.**: Tevékenységmenedzsment - Folyamatelemzés, folyamatoptimalizálás (elmélet). Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 81 p., 2015. ISBN: 9789634739135





Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

6. 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>.
7. Nyárádi, A., **Kocsi, B.**, Tornyos, I., Budai, I.: Autóipari termelő vállalat gyártási folyamatának optimalizálása lean eszközökkel = Optimization of automotive industry's manufacturing process with lean tools.  
*IJEMS. 1 (2)*, 81-89, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.11>.
8. **Kocsi, B.**, Budai, I.: Kapacitászámítási modell fejlesztése = Developing of Capacity analysis method.  
*IJEMS. 1 (1)*, 1-19, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.1.27>.
9. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Hogyan lehet a Kárpát-medencei szervezetek működési hatékonyságát javítani egy hazai cég logisztikai folyamatának példáján keresztül?  
*Taylor. 6 (3)*, 214-223, 2014. ISSN: 2064-4361.

Magyar nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

10. **Kocsi, B.**, Oláh, J., Budai, I.: A gyártási folyamat racionalizálása a Partner Pont Kereskedelmi és Szolgáltatói Kft.-nél.  
*Közgazdász fórum. 15 (112)*, 22-37, 2013. ISSN: 1582-1986.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (7)

11. Tóth, J., **Kocsi, B.**: Comparative case study on system-integrated measurement technologies.  
*Pollack Period. 15 (2)*, 60-69, 2020. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2020.15.2.6>
12. 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>
13. 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>.
14. Szendrei, J., **Kocsi, B.**, Szűcs, E.: Role of biomass in urban energy management.  
*Int. J. Eng. Manag. Sci. 3 (4)*, 62-76, 2018. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.7>.





15. 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>.
16. Szendrei, J., **Kocsi, B.**, Budai, I., Grasselli, G., Szűcs, E.: Role of Lean and Agile Supply Chain Models for Pellet Fuel Technologies.  
*IJEMS*. 2 (3), 119-130, 2017. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.3.12>.
17. Szendrei, J., Grasselli, G., **Kocsi, B.**, Budai, I., Szűcs, E.: Model calculations on the use of mobile and stationary units for wood pellet production.  
*IJEMS*. 1 (1), 1-8, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.1.42>.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

18. Franyó, D., **Kocsi, B.**, Bukta, E., Szabó, J., Dombrádi, Z. R.: Assessing the intestinal carriage rates of vancomycin-resistant Enterococci (VRE) at a tertiary care hospital in Hungary.  
*Folia Microbiol.* 65 (3), 483-490, 2019. ISSN: 0015-5632.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00751-x>  
IF: 1.73
19. Franyó, D., **Kocsi, B.**, Lesinszki, V., Pászti, J., Kozák, A., Bukta, E., Szabó, J., Dombrádi, Z. R.: Characterization of Clinical Vancomycin-Resistant Enterococcus faecium Isolated in Eastern Hungary.  
*Microb. Drug Resist.* 24 (10), 1559-1567, 2018. ISSN: 1076-6294.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1089/mdr.2018.0074>  
IF: 2.397

Egyéb folyóiratközlemények (4)

20. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Acélszerkezeteket gyártó vállalat beszállítói értékelése = Evaluation of suppliers at a steel structure manufacturer. Utánközlés másodközlés,  
*Műsz. tud. közl. = PTS*. 9 (1), 111-114, 2018. ISSN: 2601-5773.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mtk-2018.09.23>
21. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Evaluation of Suppliers at A Steel Structure Manufacturer. Utánközlés nyelvi változat,  
*Műsz. tud. közl. = PTS*. 9 (1), 111-114, 2018. ISSN: 2601-5773.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.33894/mtk-2018.09.23>
22. 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>







23. Pusztai, L. P., **Kocsi, B.**: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre - ipari folyamat racionalizálása = Business process improvement - a case study - rationalisation 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>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (3)

24. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Acélszerkezeteket gyártó vállalat beszállítói értékelése.  
In: A XXIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 111-114, 2018. ISBN: 9789634490777
25. 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
26. 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

Idegen nyelvű konferencia közlemények (3)

27. **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
28. 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.
29. **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 (6)

30. Tóth, J., **Kocsi, B.**: Comparative case study on system-integrated measurement technologies.  
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





31. Abusaleem, O., Bertalan, N., **Kocsi, B.**: Implementing quantitative techniques to improve decision making in construction projects: case study.  
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
32. **Kocsi, B.**, Budai, I.: Optimization of syntactic metal matrix foam manufacturing.  
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
33. **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
34. **Kocsi, B.**, Tóth, J., Budai, I.: "Green Laboratory": Lean Methods in the Preanalytical Phase.  
*Clin. Chem. Lab. Med.* 53 (4), 83-84, 2015. ISSN: 1434-6621.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/cclm-2015-0091>
35. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Rationalization of business processes at Partner-Pont Ltd.  
In: Agrárinformatika 2013 Nemzetközi Konferencia - Agricultural Informatics 2013 International Conference / [kiad. a] Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Debrecen, , 2013.

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 6,88**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 2,753**

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, 2020.11.25.



**SHORT THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF  
PHILOSOPHY (PHD)**

**Development of Process analysis framework based on Monte-  
Carlo Simulation and risk assessment**

**by Kocsi Balázs  
Supervisor: István Budai PhD, Dr.**



**UNIVERSITY OF DEBRECEN  
DOCTORAL SCHOOL OF INFORMATICS**

**Debrecen, 2020.**

## INTRODUCTION

Based on the global trend, customers would like to buy customized product with short lead time. It causes challenges for the industry. Companies have to deliver different product variations with short lead time and low cost which requires precise manufacturing. High inventory cost, problem in the logistics' processes, failure in the raw material supply or wrongly chosen market strategy can be followed because of this situation. Production cost can increase due to wrong scheduling strategy, furthermore, the possibility of product's damage is higher due to the overwork. Good decision making is required for the production processes in the planning and the control phases[1].

A solution for the above-mentioned problem can be the industry 4.0. The customized product can be delivered with short lead time by HMLV (High mix low volume) production system under cyber-physics environment. With the use of several short setup time, the company can react for the changing customer need in a short time window.

Many production management systems are trying to offer solutions for the problem described above. One of the most commonly used methods is the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis). The shortcomings of the traditional FMEA analysis have induced my research, which aims at creating a risk and failure analysis method that can predict the lead time of the business process with considering potential failure. With this estimation, we can provide valuable information to the production schedule in an industry 4.0 environment. They can detect the failures, problems in the process and reschedule the production to deliver customer demand in the required quality with as small deviation as it is possible. Of course, as an appropriate basis for my own methodological development, I took into consideration the various modified FMEA methods available in the literature. The aim of my research is to develop a risk assessment method based on the FMEA to prioritize failures with measured based severity, occurrence and detectability parameters. It is also important that the method should

be implemented into a cyber-physical system and has the ability to automatically detect a potential failure before its occurrence, thus protecting the product and system to get damage.

## **OBJECTIVES**

The aim of the research is to create a process diagnostic framework that allows professionals in different business processes to rank potential failures on a measurement basis. It is important to be able to evaluate potential failures by severity, occurrence, and detectability parameters, following the structure of the traditional FMEA as an analysis system.

A further goal of the framework is to be able to predict the total process time of the production by simulating the detected failures, thus providing important information to the production schedule. Based on this, rescheduling of the process can be performed if necessary.

The framework must meet the requirements of industry 4.0, i.e. the goal is to create a QR code reader application that provides the necessary data to the framework by scanning and store it in a database. If the data are available, the potential risks and lead times of the manufacturing process can be calculated automatically.

### **Establish a process analysis framework based on simulation and risk assessment**

Objectives:

1. Assess and prioritize potential risks with the use of time and cost based KPIs.
2. Estimate the total process time with taking into account the most serious failures.
3. Keeping the structure of the traditional FMEA, i.e. risk assessment based on severity, occurrence and detectability parameters.
4. Defining time and cost based KPIs to specify severity, frequency, detectability parameter values. This reduces the

subjective factor of traditional FMEA that may occur due to the point scale.

5. Investigation of applicability to the industry 4.0 environment.

## **Development of a QR code-based application for data collection of a process analysis framework to simulation and risk assessment**

Objectives:

1. Development of a QR code-based application for measuring the cycle time of process activities.
2. Integrate the potential risk ranking algorithm into the application, thereby automate risk assessment and ranking.
3. Integration of an algorithm that predicts potential risks and predicts the total process lead time into the application.

## **METHODOLOGY**

### *Evaluation of modified FMEAs*

I have collected the shortcomings of FMEA in the first phase of the literature research. In the second phase I have collected and categorized different modified FMEAs that are available in the scientific database. After that I have determined the different benefits and shortcomings of the categories, and in the last step, the requirements of the new developed system were stated.

### *QFD product development process.*

After the literature research, a modified FMEA method was developed by QFD (Quality Function Deployment). During the development process the new method's possibility of industry 4.0 readiness was taken into account. During the QFD process, the customer needs were transformed to technical parameters. I performed the following steps in my research to transform the requirements of the risk assessment framework to key process indicators.

1. Determination of the requirements of the risk assessment framework based on literature research.

2. Determination of possible risk evaluation indicators based on literature research.
3. Rank the requirements based on their importance by AHP method. The severity, occurrence and detectability are the part of the requirements but they are not part of the pairwise comparison. So they were not taken into account during the calculation of weight numbers.
4. Perform the relationship matrix of QFD.
  - a. 9 stand for strong relationship
  - b. 3 stands for moderate relationship
  - c. 1 stands for week relationship
  - d. empty cell stands for no relationship. [3]
5. Calculating the relative weight number of risk evaluation indicators by relationship matrix. The relationship coefficients are the following

$$W_j = \sum_{i=1}^n d_i * r_{ij} \quad (12)$$

Where,  $W_j$  is the weight of  $j^{\text{th}}$  risk evaluation indicator,  $d_i$  is the weight of  $i^{\text{th}}$  requirements and  $r_{ij}$  coefficient of the relationship matrix related to the  $i^{\text{th}}$  requirements and  $j^{\text{th}}$  evaluation indicator.

6. Competitor analysis among the potential alternatives by AHP

#### *AHP (Analytical Hierarchy Process)*

The weights of risk assessment requirements and the competitor analysis of the modified FMEA alternatives were calculated by pairwise comparison. The goal of the AHP is to develop a risk assessment framework which rank the risk based on measurable indicators and take into account the industry 4.0 environment. The steps of the AHP are the following:

1. Creating the decision structure.
2. Pairwise comparison based on the following scale:
  - a. (1) equal importance
  - b. (3) somewhat more important

- c. (5) much more important
  - d. (7) very much more important
  - e. (9) absolutely more important
3. Calculating the weight numbers

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_i^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

4. Calculating the consistency in each level

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (14)$$

where,  $\lambda_{max}$  is the eigen value of the pairwise comparison matrix. RI is the random consistency index. If the n is 8, the number of RI is 1.41. The calculation of consistency ratio is the following [3]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (15)$$

If the value of CR is smaller or equal to 0.1, the inconsistency is acceptable.

### *Google Apps script*

The Google sheet provides a cloud-based programming language as Google Apps Script (GAS). Google Apps script is based on Javascript which is a cloud language that makes it easy to automate tasks. The code editor is available in the browser, the scripts run on Google's servers. I used the Google Apps script to develop the app. Using the environment imposes certain conditions for publishing your app. The code must have doGet (e) or doPost (e) functions. Functions must return an HtmlOutput object from the HTML service, a Uilstance object from the UI service, or a TextOutput object from the content service [4]. The service is based on Javascript 1.6 with version 1.7 and version 1.8 fixes.

### *Gsheet*



Gsheet is Google's cloud spreadsheet tool that has the same features as Microsoft office 365 Excel. It also includes the scripting service already written above, which allows you to automate various tasks [4].

### *App Inventor*

MIT App inventory is an online platform for developing mobile apps. The online platform has two interfaces. The first is the design interface, which allows you to design a graphics of the mobile app. The second interface is the block interface, where block-based encoding takes place. Block-based encoding contains two categories. The first is "built-in" blocks, which contain standard events and properties. The second category is the "component" block, which contains programming languages: numbers, letters, formulas [5].

## **RESULTS**

### **Establish a process analysis framework based on simulation and risk assessment**

The weight numbers of the framework requirements were calculated by AHP. The result can be seen in the table 1.

*Table 1.: Requirements of risk assessment framework*

<b>Requirements</b>	<b>weight n.</b>	<b>rank</b>
Based on mathematical calculation	0,245	1
Objective	0,242	2
Minimizing human factor	0,225	3
Estimation	0,092	4
Real time	0,071	5
Take into account the domino effect of the root causes	0,051	6
The calculation of risk priority number is fast	0,038	7
Easy to measure	0,036	8
Severity	0,100	x
Occurrence	0,100	x
Detectability	0,100	x

Source: Author's own work, 2020

The process indicators for process measurements can be seen in the next table

*Table 2.: Indicators*

<b>No.</b>	<b>Indicator</b>	<b>Weight</b>	<b>No.</b>	<b>Indicator</b>	<b>Weight</b>
1	Cycle time	6,97	6	cost of activity	5,73
2	Mean time between failures	6,52	7	internal cost of failures	5,64
3	Production loss	6,43	8	external cost of failure	5,50
4	Quality	6,03	9	frequency of failure	3,29
5	repairing time	5,80	10	cost of quality	2,57

Source: Author's own work, 2020

With the combination of the indicators, the new risk priority number is established which rank the risks based on time and cost indicators.

If the internal and the external cost of failure are measurable the following formula available for the calculation of risk priority number.

$$tcRPN = [(P_i \times C_{ai} + P_e \times C_{ae}) + C_f] \times F \times T_p \quad (16)$$

Where,  $P_i$ = The probability of risk detection before delivery  $C_{ai}$ = Internal cost of failure;  $P_e$ = The probability of risk not detected before delivery;  $C_{ae}$ = external cost of failure;  $C_f$ = Cost of the failure;  $F$ = Frequency of the failure;  $T_p$ = 1+ SMAPE (Symmetric mean absolute percentage error)

A common approach for analysis of production processes is the discrete event simulation. A numerical value should be forecast, predicting production lead time is a regression problem, taking into account various known factors. In that case SMAPE can be used to describe the forecast error.

$$SMAPE = \frac{1}{N} \sum \frac{|F_i - A_i|}{(|F_i| + |A_i|)/2} \quad (17)$$

Where  $F_i$  is the simulated cycle time of i-th activity,  $A_i$  is the real cycle time of i-th activity.

In order to determine the  $T_p$ , simulation is required, where the following inputs are needed: event driven process chain diagram as the process model, cycle time of activities, distribution function of cycle times, probability of activities.

If there are historical data about previous failures, the formula changes followingly:

$$tcRPN = [(P_i \times C_{ai} + P_e \times C_{ae}) + C_f] \times MTBF \times T_p \quad (18)$$

Where, MTBF is Mean time between failures

$$MTBF = \frac{th_{365}}{AFR} = \frac{th_{365}}{\frac{H_s \times (\frac{52}{T_s})}{E_s}} \quad (19)$$

Where,  $th_{365}$ = hours/year;  $H_s$ = number of failures in the sample;  $T_s$ =length of sampling period;  $E_s$ =number of units in the series.

Taking into account the overall lead time of the process is essential for risk assessment. However, it is very important to take into account the specificities of the process when predicting the total lead time of the process. In the case of unique production, the total lead time can be given as the sum of the time of critical tasks, which is summarized as a critical path by the literature. If any task on the critical path takes more time than the planned due to a failure the total lead time of the project will increase. If some delay occurs on the activity which is not the part of the critical path, the total lead time won't increase until there is no change on the critical path. In the literature, there are a number of cases where the total lead time is predicted as a result of a linear regression [6-9]. This relationship can be used for the tcFMEA calculation presented in this dissertation.

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (20)$$

where:  $\hat{y}$  = total lead time;  $\beta_0$  = intercept point;  $\beta_i$ = variables of the activity;  $x_i$ = estimated cycle time of activity  $\varepsilon$  = error.

When an analysis is performed after the simulation and the significance of a non-critical task coefficient is in the acceptance range ( $p \leq 0.05$ ), in which case the result must be further tested. It is a good idea to examine Pearson's correlation of each task time and adjust the incorrect conclusions of the regression to include the data in the risk calculation. the correlation coefficient is calculated on two variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$  and  $y_1, y_2, \dots, y_n$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (21)$$

The internal cost of the failures cannot be calculated in the case of unique production or during constructions project. Instead of this

parameter the EMV (Expected Monetary Value) is the used parameter. The formula is the following:

$$tcRPN = EMV \times F \times \left(\frac{TPT_t}{TPT_e}\right) \times P_d = (P_i \times C_f) \times F \times \left(\frac{TPT_t}{TPT_e}\right) \times P_d \quad (22)$$

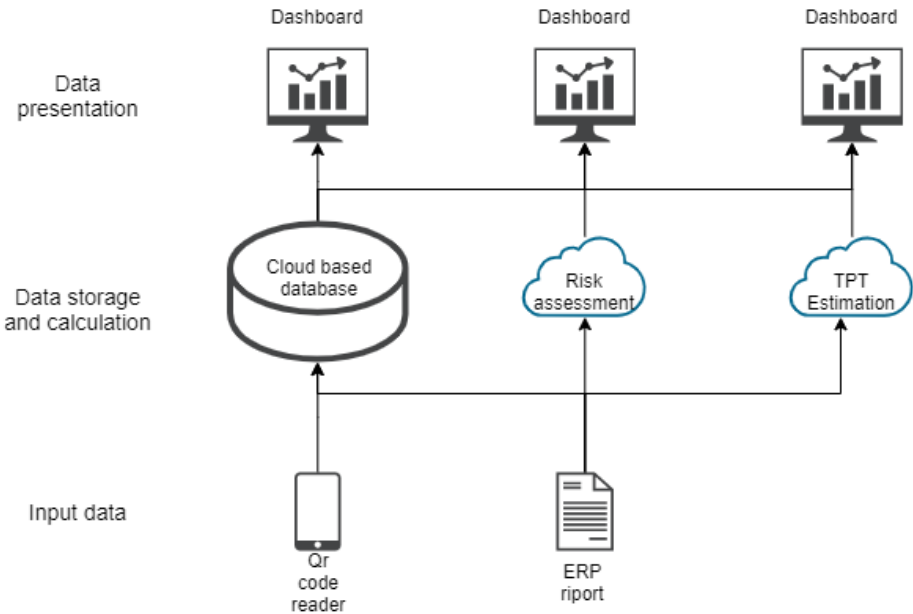
Where  $TPT_t$ = planned total lead time;  $TPT_e$ =estimated total lead time when the failure occur,  $P_d$ = probability of delay.

The tcRPN formulas shown above can be used to prioritize risks for tcFMEA. (time and cost oriented Failure Mode and Effect Analysis)

In order to speed up and facilitate the risk assessment process, I have developed a QR code-based app that can measure the cycle time of activities.

### **Development of a QR code-based application for data collection of a process analysis framework to simulation and risk assessment**

The developed app is an integrated platform based on data store. The goal of the app is to support the process management. The next figure shows the platform.



**Figure 1: Cloud based risk assessment framework**

Source: edited, 2020.

There is no item in the integrated system which take into account the process controlling calculation logic that the company already uses.

The app is collecting the cycle time of the activity in the process measurement system. Every activity has a dedicated qr-code. If the item goes through the QR code reader, a timestamp is recorded in the database. When the item left the activity, another timestamp recorded in the database. The cycle time is the time between the two timestamps. The database is a GSheet worksheet, the communication between the database and the qr code reader is provided by GAS.

The risk assessment is the part of the Gsheet which is the tcFMEA. This database consists the logical structure of the process and the potential failures. The total lead time estimation is also the part of the GSheet which is a Monte-Carlo simulation based estimation algorithm. The risk assessment part ranks the potential failures with the use of the simulation result. If more data necessary,

the ERP system can provide it. The result of the risk assessment can be seen in the dashboard.

When a user uses the app, Apps Script runs the doGet (e) function. When a program sends an HTTP POST request to the application, Apps Script runs doPost (e). In both cases, this argument represents an event parameter that may contain information about any request parameter.

The application opens the Gsheet and the determined worksheet first based on a URL.

```
function doGet(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
function doPost(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
```

The application adds a timestamp to the in cell when the item enters to the working area. The application adds a timestamp to the out cell when the item leaves the working area. "In" and "OUT" action used here.

```
function doGet(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
function doPost(e){
  var action = e.parameter.action;
  if(action == "in")
    return inTime(e);
  if(action == "out")
    return outTime(e);
  insert(e,sheet);
}
```

In the case of IN action, the timestamp is inserted into a specific row and column in the worksheet when the specified QR code is read. It is important that if another product arrives on another code, the timestamp is inserted for another cell.



```

function outTime(e){
    var id = e.parameter.id;
    var values = sheet.getRange(2,2,sheet.getLastRow(),1).getValues();
    for(var i = 0 ; i<values.length ; i++){
        if(values[i][0] == id){
            i=i+2;
            var out_time = Utilities.formatDate(new Date(), "CET", "HH:mm:ss");
            sheet.getRange(i,5).setValue(out_time);
            return ContentService.createTextOutput("Thank You ! Your Out Time
is "+out_time).setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
        }
    }
    return ContentService.createTextOutput("Id Not
Found").setMimeType(ContentService.MimeType.TEXT);
}

```

In the case of OUT action, the timestamp is inserted into a specific row and column in the worksheet when the specified QR code is read again. It is important that if another product leave on another code, the timestamp is inserted for another cell.

```

function insert(e,sheet){
    // reciving scanned data from client i.e android app
    var sdata = e.parameter.sdata;
    var date = new Date()
    sheet.appendRow([date,sdata]);
}

```

The third function of the app is to add a new activity with the insert button. Every activity has an unique QR code, so if there is a

new activity occur its required to add to the database with a new qr code.



***Figure 2: Starting page of the application***

Source: edited, 2020

The app is using the default qr code reader of a mobile phone or tablet. The application calls up the GAS script to run the In, Out, Add Item functions, and saves the data to Gsheet on the URL specified in the script.

## **THESES**

- Risks in the business process have time and cost properties that can be measured or calculated. If these properties are used in risk assessment, subjectivity can be reduced, risks can be ranked on a measurement basis.
- In a process simulation-supported risk assessment, we are able to examine the impact of risks on the process related to

time and cost. Taking into account the uncertainty, a more realistic risk assessment can be carried out compared to deterministic approaches.

- For time and cost-based risk assessment the following indicators are suitable: cycle time of activity and delay, production loss, mean time between failures, With the use of these indicators the weight of expert's opinion decreases during the risk assessment. The subjectivity of risk assessment is decreased.
- Measurable data makes tcFMEA analysis automate. In an industry 4.0 environment, the necessary data can be easily measured and stored, and changes in the system can be measured and followed in many cases.
- TcFMEA-based risk assessment does not rely on industry specifics, no need to transform data or scale (5% scrap rate can be low in a timber industry, while it can be high in aerospace industry).
- tcFMEA may be able to predict production lead time, taking into account uncertainties and risks. By taking this approach, a company can respond to changing customer needs with high product variability and low product lots with higher reliability, faster and more effective way.
- Simulation-assisted tcFMEA risk assessment requires higher computational capacity, but if reliable, relevant input data are used, it may be able to produce a close-to-reality result that examines the impact of risks on the process lead time.



Registry number: DEENK/360/2020.PL  
Subject: PhD Publication List

Candidate: Balázs Kocsi  
Doctoral School: Doctoral School of Informatics  
MTMT ID: 10040144

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in Hungarian journals (2)

1. Abusaleem, O., Bertalan, N., **Kocsi, B.**: Implementing quantitative techniques to improve decision making in construction projects: a case study.  
*Pollack Period.* 14 (3), 223-234, 2019. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2019.14.3.21>
2. 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>

#### Foreign language scientific articles in international journals (2)

3. **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: 2.753 (2019)
4. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Potential connections of unique manufacturing and industry 4.0.  
*LogForum.* 13 (4), 389-400, 2017. ISSN: 1895-2038.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17270/J.LOG.2017.4.1>

### List of other publications

#### Hungarian books (1)

5. Budai, I., **Kocsi, B.**: Tevékenységmenedzsment - Folyamatelemzés, folyamatoptimalizálás (elmélet). Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 81 p., 2015. ISBN: 9789634739135





Hungarian scientific articles in Hungarian journals (4)

6. 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>.
7. Nyárádi, A., **Kocsi, B.**, Tornyoos, I., Budai, I.: Autóipari termelő vállalat gyártási folyamatának optimalizálása lean eszközökkel = Optimization of automotive industry's manufacturing process with lean tools.  
*IJEMS*. 1 (2), 81-89, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.2.11>.
8. **Kocsi, B.**, Budai, I.: Kapacitászámítási modell fejlesztése = Developing of Capacity analysis method.  
*IJEMS*. 1 (1), 1-19, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.1.27>.
9. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Hogyan lehet a Kárpát-medencei szervezetek működési hatékonyságát javítani egy hazai cég logisztikai folyamatának példáján keresztül?  
*Taylor*. 6 (3), 214-223, 2014. ISSN: 2064-4361.

Hungarian scientific articles in international journals (1)

10. **Kocsi, B.**, Oláh, J., Budai, I.: A gyártási folyamat racionalizálása a Partner Pont Kereskedelmi és Szolgáltatói Kft.-nél.  
*Közgazdász fórum*. 15 (112), 22-37, 2013. ISSN: 1582-1986.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (7)

11. Tóth, J., **Kocsi, B.**: Comparative case study on system-integrated measurement technologies.  
*Pollack Period*. 15 (2), 60-69, 2020. ISSN: 1788-1994.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/606.2020.15.2.6>
12. 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>
13. 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>.
14. Szendrei, J., **Kocsi, B.**, Szűcs, E.: Role of biomass in urban energy management.  
*Int. J. Eng. Manag. Sci.* 3 (4), 62-76, 2018. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.7>.





15. 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>.
16. Szendrei, J., **Kocsi, B.**, Budai, I., Grasselli, G., Szűcs, E.: Role of Lean and Agile Supply Chain Models for Pellet Fuel Technologies.  
*IJEMS*. 2 (3), 119-130, 2017. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2017.3.12>.
17. Szendrei, J., Grasselli, G., **Kocsi, B.**, Budai, I., Szűcs, E.: Model calculations on the use of mobile and stationary units for wood pellet production.  
*IJEMS*. 1 (1), 1-8, 2016. EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2016.1.42>.

Foreign language scientific articles in international journals (2)

18. Franyó, D., **Kocsi, B.**, Bukta, E., Szabó, J., Dombrádi, Z. R.: Assessing the intestinal carriage rates of vancomycin-resistant Enterococci (VRE) at a tertiary care hospital in Hungary.  
*Folia Microbiol.* 65 (3), 483-490, 2019. ISSN: 0015-5632.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00751-x>  
IF: 1.73
19. Franyó, D., **Kocsi, B.**, Lesinszki, V., Pászti, J., Kozák, A., Bukta, E., Szabó, J., Dombrádi, Z. R.: Characterization of Clinical Vancomycin-Resistant Enterococcus faecium Isolated in Eastern Hungary.  
*Microb. Drug Resist.* 24 (10), 1559-1567, 2018. ISSN: 1076-6294.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1089/mdr.2018.0074>  
IF: 2.397

Other journal articles (4)

20. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Acélszerkezeteket gyártó vállalat beszállítói értékelése = Evaluation of suppliers at a steel structure manufacturer. Utánközlés másodközlés,  
*Műsz. tud. közl. = PTS*. 9 (1), 111-114, 2018. ISSN: 2601-5773.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.33895/mtk-2018.09.23>
21. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Evaluation of Suppliers at A Steel Structure Manufacturer.  
Utánközlés nyelvi változat,  
*Műsz. tud. közl. = PTS*. 9 (1), 111-114, 2018. ISSN: 2601-5773.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.33894/mtk-2018.09.23>
22. 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>





23. Pusztai, L. P., **Kocsi, B.**: Esettanulmány üzleti folyamatfejlesztésre - ipari folyamat racionalizálása = Business process improvement - a case study - rationalisation 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 (3)

24. Keller, K., **Kocsi, B.**, Budai, I.: Acélszerkezeteket gyártó vállalat beszállítói értékelése.  
In: A XXIII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai. Szerk.: Bitay Enikő, Erdélyi Múzeum Egyesület (EME), Kolozsvár, 111-114, 2018. ISBN: 9789634490777
25. 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
26. 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 (3)

27. **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
28. 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.
29. **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

Foreign language abstracts (6)

30. Tóth, J., **Kocsi, B.**: Comparative case study on system-integrated measurement technologies.  
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





31. Abusalem, O., Bertalan, N., **Kocsi, B.**: Implementing quantitative techniques to improve decision making in construction projects: case study.  
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
32. **Kocsi, B.**, Budai, I.: Optimization of syntactic metal matrix foam manufacturing.  
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
33. **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
34. **Kocsi, B.**, Tóth, J., Budai, I.: "Green Laboratory": Lean Methods in the Preanalytical Phase.  
*Clin. Chem. Lab. Med.* 53 (4), 83-84, 2015. ISSN: 1434-6621.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/cclm-2015-0091>
35. **Kocsi, B.**, Oláh, J.: Rationalization of business processes at Partner-Pont Ltd.  
In: Agrárinformatika 2013 Nemzetközi Konferencia - Agricultural Informatics 2013 International Conference / [kiad. a] Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Magyar Agrárinformatikai Szövetség, Debrecen, , 2013.

**Total IF of journals (all publications): 6,88**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 2,753**

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.

25 November, 2020





## BIBLIOGRAPHY

1. 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, 912. 2020
2. Griffin, A.: Evaluating QFD's use in US firms as a process for developing products, *Journal of Product Innovation Management*, 9:3, 171–187. 1992.
3. Durán O, Aguilo J: Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach. *Expert Syst Appl* 34:1787–94. 2008
4. Michael M., Your Guide to Buidling Spreadsheet Applications in the Cloud, leanpub, 2015.
5. Xie, B., Shabir, I., Abelson, H. Measuring the usability and capability of app inventor to create mobile applications. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Programming for Mobile and Touch 1–8. *ACM* 2015.
6. Rosen, R.; Von Wichert, G.; Lo, G.; Bettenhausen, K.D. : About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC PapersOnLine* 48, 567–572. 2015.
7. Dávid Gy.; András P.; Gábor N.; Viola G.; Wilfried S.; László M.;; Lead time prediction in a flow-shop environment with analytical and machine learning approaches, *IFAC* 51:11, 1029-1034, 2018.
8. Edelman, E. R., van Kuijk, S., Hamaekers, A., de Korte, M., van Merode, G. G., & Buhre, W.: Improving the Prediction of Total Surgical Procedure Time Using Linear Regression Modeling. *Frontiers in medicine*, 4: 85.
9. Lukas L.; Viola G.; Fazel A.; Dávid Gy.; András P.; Wilfried S.; László M.;; Lead time prediction using machine learning algorithms: A case study by a semiconductor manufacturer, *Procedia CIRP*, 72, 1051-1056. 2018