

KOON TÍPUSÚ ANYAGMOZGATÓ RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁGA

Madarász Kata

BSc hallgató, Miskolci Egyetem
Logisztikai Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, email: madesz.k@gmail.com

Bányai Tamás

egyetemi docens, Miskolci Egyetem
Logisztikai Intézet

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, email: alttamas@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A logisztikai és anyagáramlási rendszerek tervezésének számos szempontja van: költség, kapacitás kihasználtság, rugalmasság, átláthatóság, környezetterhelés. A megbízhatóság ezen tervezési szempontokra jelentős hatást tud gyakorolni. A logisztikai rendszerek és ellátási láncok tervezésében a megbízhatósági kérdések megválaszolásának egyre nagyobb szerep jut, hiszen nagy igény mutatkozik a beruházási és üzemeltetési költségek csökkentésére a rendszerek és folyamatok megbízhatóságának fokozása mellett. Jelen kutatómunka célja a koon (k-out-of-n) típusú anyagáramlási folyamatok megbízhatóságának vizsgálata. Bemutatásra kerül az egyes rendszerelemek megbízhatóságának rendszer-megbízhatóságra gyakorolt hatása, valamint egy esettanulmányon keresztül bemutatjuk, hogy anyagmozgató gépek megbízhatóságát is lehet, mint rendszer-megbízhatóságot kezelni gépelemek, mint rendszerek megbízhatóságaként.

Kulcsszavak: megbízhatóság, logisztika, anyagkezelés, tervezés, ellátási lánc

Abstract

The design of logistics and material handling systems includes a wide range of design aspects: costs, capacity utilization, flexibility, transparency, ecology. The reliability has a great impact on these design aspects. The reliability of logistics and supply chain solutions has become more and more importance. There is an increasing demand for reducing investment and operation costs while reliability of systems and processes must be improved. The presented research work involves the description of k-out-of-n types of material handling systems. The objective is to study and evaluate the effect of system elements on the reliability of material handling systems. Also, it has been established that material handling machines can be analyzed as systems of machines elements.

Keywords: reliability, logistics, material handling, design, supply chain

1. Bevezetés

A megbízhatóság a műszaki rendszerek és folyamatok szinte minden területén kiemelt fontosságú, hiszen az emberélet és az anyagi javak megóvása mellett gazdasági következményekkel is járhat egy nem megfelelő megbízhatósággal rendelkező eszköz, rendszer vagy folyamat. Jelen kutatómunka keretében az anyagmozgató folyamatok egy speciális típusára, a „k-out-of-n” típusú rendszerekre (továbbiakban koon) fókuszálva mutatjuk be, hogy milyen hatással van az egyes rendszerelemek

megbízhatósága egy anyagmozgatási folyamat megbízhatóságára. Azt érdemes már a kutatómunka elején leszögezni, hogy nem lehet cél a 100%-os megbízhatóság elérése, hiszen egyrészt ennek műszaki akadályai vannak, másrészt nem minden esetben szükséges nagy megbízhatóság magas költségen történő biztosítása.

A termelési rendszerek komplexitásának növelése egyre nagyobb elvárásokat támaszt a kiberfizikai rendszereket felépítő technológiai és logisztikai objektumok megbízhatóságával szemben. A megbízhatóság fokozásának egyik eszköze az automatizált, robotizált megoldások alkalmazása, melyekkel nagymértékben fokozható a hagyományos, emberei közreműködéssel végzett tevékenységek megbízhatósága. Az egyre komplexebbé váló termékek egyre többfajta alkatrész, szerelvény és részegység beszerzését, gyártását és összeszerelését teszik szükségessé, ami egyre komplexebb ellátási láncok kialakulásához vezet. Ezen ellátási láncok egyik fontos jellemzője a kooperáció, mely előtérbe helyezi az olyan típusú ellátási láncok kialakítását, melyek alapvetően koon típusúak, azaz az ellátási lánc mindaddig működőképes és alkalmas a termeléshez szükséges alapanyagigények kielégítésére, amíg az ellátási lánc k eleméből n elem működőképes, azaz alkalmas feladatának ellátására.

A megbízhatósági modellek alkalmazása a logisztika területén nem számít újnak, de jelentőségüket nagymértékben növelte a kiberfizikai rendszerek megjelenése [1]. Nem csupán a termelési rendszerekhez [2], hanem a szolgáltatási tevékenységekhez kapcsolódó logisztikai folyamatok megbízhatósága nagy jelentőséggel bír, különösen az egészségügyi, közbiztonsági és tűzvédelmi szolgáltatások esetében [3]. A megbízhatósági modellek nem csupán determinisztikus, hanem sztochasztikus környezetben is értelmezhetőek, bár modellezésük jelentősen nagyon kihívást jelent [4]. A Miskolci Egyetem Logisztikai Intézetében az anyagmozgatási és logisztikai rendszerek tervezésére vonatkozóan több évtizede folynak kutatások, melyek számos területet ölelnek át: hagyományos gyártórendszerek, virtuális vállalatok [5] és holonikus gyártás [6]. A negyedik ipari forradalom megjelenésével egyre inkább fókuszba kerülnek a minőségirányítás és minőségbiztosítás vonatkozásai, hiszen ezek szorosan összefüggnek a rendszerek és folyamatok megbízhatóságával [7]. Ezen kutatói műhely munkájához kapcsolódik jelen kutatómunka.

Jelen kutatómunka kitűzött célja a koon típusú anyagáramlási folyamatok megbízhatóságának vizsgálata és egy esettanulmányon keresztül annak bemutatása, hogy az egyes rendszerlemek megbízhatósága hogyan befolyásolja a teljes folyamat megbízhatóságát. Ezen cél elérése érdekében jelen cikk a következő fejezetekből épül fel. A második fejezetben ismertetünk néhány megbízhatósági alapfogalmat, illetve azon megbízhatósági alapmodelleket, melyekből a koon típusú megbízhatósági modellek felépíthetőek. A harmadik fejezetben ismertetjük a koon típusú megbízhatósági alapmodelleket, illetve kísérletet teszünk arra, hogy valamilyen általános összefüggést találjunk az egyes analitikus megoldóképletek között, hiszen a szakirodalomban a koon típusú összetett rendszerek általában szimulációval kerülnek megoldásra. A negyedik fejezetben esettanulmányon keresztül mutatjuk be a koon típusú anyagmozgató rendszerek megbízhatósági számításait. Az ötödik fejezet a kutatómunka összefoglalását tartalmazza, magába foglalva a kutatómunka további lehetséges irányait.

2. Megbízhatósági alapmodellek

Az anyagmozgató gépek megbízhatósága az őket alkotó alkatrészek, az azok közötti kapcsolatok, illetve környezeti tényezők véletlenszerű eseményeinek alapján határozható meg, ezért leírásukra valószínűségi változókat célszerű alkalmazni. A valószínűségi változók számos tulajdonsága

fogalmazható meg, melyek közül a sűrűségfüggvény, az eloszlásfüggvény, a meghibásodási függvény, a meghibásodási függvény és a meghibásodási ráta fogalmát célszerű feleleveníteni az anyagmozgató gépek és rendszerek megbízhatóságának tárgyalása előtt [8,9].

- Egy ϑ valószínűségi változó $F(t)$ eloszlásfüggvényén az $\vartheta \leq t$ esemény valószínűségét leíró függvényt értjük:

$$F(t) = p(\vartheta < x) \quad (1)$$

Az eloszlásfüggvényekre igaz, hogy értékük mindig egy $[0,1]$ intervallumba esik, azaz $0 \leq F(t) \leq 1$.

- Egy ϑ valószínűségi változó $f(t)$ sűrűségfüggvényén az $F(t)$ eloszlásfüggvény deriváltja az $[0,1]$ intervallumba, amennyiben az $F(t)$ eloszlásfüggvény ezen intervallumon differenciálható.
- A meghibásodási függvény annak a valószínűségét adja meg, hogy egy adott elem t időn belül biztosan meghibásodik. Ezt az élettartamot leíró eloszlásfüggvénnyel lehet megadni.
- A megbízhatósági függvény annak a valószínűségét adja meg, hogy egy adott elem t időn belül biztosan nem hibásodik meg. A megbízhatósági függvény a meghibásodási függvény komplementereként definiálható.
- A meghibásodási ráta annak a valószínűségét adja meg, hogy egy adott t ideig üzemelő elem meghibásodik. Meghatározása az alábbi módon végezhető el a valószínűségi változó sűrűségfüggvényének és eloszlásfüggvényének segítségével:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{p(t)} \quad (2)$$

Jelölje $p_i(t)$ annak a valószínűségét, hogy egy anyagmozgató gép t időpontban működik. Ekkor az anyagmozgató gépekből felépülő rendszer t időpontban történő működésének valószínűsége az egyes elemek működési valószínűségeinek függvényeként határozható meg:

$$p_R(t) = f(p_1(t), p_2(t) \dots p_i(t) \dots p_n(t)) \quad (3)$$

Amennyiben egy anyagmozgató rendszer sorba kötött anyagmozgató gépekből épül fel, akkor az anyagmozgató rendszer megbízhatósága az egyes megbízhatóságok produktumaként határozható meg:

$$p_{Rs}(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) \quad (4)$$

Amennyiben a rendszerben található m darab gép megbízhatósága megegyezik, azaz $p_i(t) = p(t)$, akkor a rendszer megbízhatósága az (5) összefüggéssel határozható meg.

$$p_{Rs}(t) = p^n(t) \quad (5)$$

Amennyiben egy anyagmozgató rendszer párhuzamosan működő anyagmozgató gépekből épül fel, akkor az anyagmozgató rendszer megbízhatósága a (6) összefüggéssel határozható meg:

$$p_{Rp}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i(t)) \quad (6)$$

3. KOON típusú anyagmozgató rendszerek megbízhatóságának elméleti alapjai

3.1. K-out-of-n típusú anyagmozgató rendszerek megbízhatósága

Vannak olyan anyagmozgató rendszerek, amelyek esetében a rendszert addig tekintjük működőképeseznek, amíg m darab eleméből legalább k darab elem működik. Az angol nyelvű szakirodalom [10] az ilyen típusú rendszereket koon rendszereknek nevezi (k out of n). Az egy darab pótkerékkel rendelkező tricikli egy tipikus példa a 3o04 típusú rendszerre, hiszen amíg 3 kerék jó a 4-ből, addig a tricikli (a kerekek szempontjából) működőképes. A továbbiakban nevezzük mi is az ilyen típusú rendszereket koon rendszereknek. Az 1oon megfelel a soros rendszernek, míg az noon megfelel a párhuzamos rendszernek.

Feltételezve, hogy a rendszert felépítő gépek megbízhatósága megegyezik, annak az esélye, hogy n elemből pontosan k elem működik, a következő összefüggéssel határozható meg:

$$p_{koon}(t) = \binom{n}{k} p^k(t)(1-p(t))^{n-k} \quad (7)$$

Ebből következik, hogy annak a valószínűsége, hogy a rendszert felépítő n elemből legalább k elem működik, azaz a rendszer működőképes, a következő összefüggéssel határozható meg:

$$p_{koon}(t) = \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j(t)(1-p(t))^{n-j} \quad (8)$$

Amennyiben a rendszer 3 elemet tartalmaz és már két elem működése esetén működőképeseznek tekinthető a rendszer, a rendszer megbízhatósága az alábbi módon számítható:

$$p_{2oo3}(t) = p_1(t)p_2(t) + p_1(t)p_3(t) + p_2(t)p_3(t) - 2p_1(t)p_2(t)p_3(t) \quad (9)$$

Amennyibe a 2o03 rendszerben az elemek megbízhatósága megegyezik, akkor felhasználva a (9) összefüggést a 2o03 rendszer megbízhatósága az alábbi módon határozható meg:

$$p_{2oo3}(t) = 3p^2(t) - 2p^3(t) \quad (10)$$

A továbbiakban a koon megbízhatósági rendszerek néhány jellegzetes változatának analitikus megoldását állítjuk elő annak reményében, hogy sikerül valamilyen általános összefüggést találni az egyes analitikus megoldóképletek között.

– $n=4, k=2$ (2o04)

$$p_{2oo4} = \sum_{j=2}^4 \binom{4}{j} p^j(1-p)^{4-j} \quad (11)$$

$$p_{2oo4} = \binom{4}{2} p^2(1-p)^2 + \binom{4}{3} p^3(1-p)^1 + \binom{4}{4} p^4 \quad (12)$$

$$p_{2oo4} = 6p^2 - 12p^3 + 6p^4 + 4p^3 - 4p^4 + p^4 = 6p^2 - 8p^3 + 3p^4 \quad (13)$$

– $n=4, k=3$ (3o04)

$$p_{3oo4} = \sum_{j=3}^4 \binom{4}{j} p^j(1-p)^{4-j} \quad (14)$$

$$p_{3004} = \binom{4}{3} p^3 (1-p)^1 + \binom{4}{4} p^4 \quad (15)$$

$$p_{3004} = 4p^3 - 4p^4 + p^4 = 4p^3 - 3p^4 \quad (16)$$

– $n=5, k=2$ (2005)

$$p_{2005} = \sum_{j=2}^5 \binom{5}{2} p^2 (1-p)^{5-2} \quad (17)$$

$$p_{2005} = \binom{5}{2} p^2 (1-p)^3 + \binom{5}{3} p^3 (1-p)^2 + \binom{5}{4} p^4 (1-p)^1 + \binom{5}{5} p^5 \quad (18)$$

$$p_{2005} = 10p^2(-3p + 3p^2 - p^3) + 10p^3(1 - 2p + p^2) + 5p^4(1 - p) + p^5 = -20p^2 + 45p^4 - 4p^5 \quad (19)$$

– $n=5, k=3$ (3005)

$$p_{3005} = \sum_{j=3}^5 \binom{5}{3} p^3 (1-p)^{5-3} \quad (20)$$

$$p_{3005} = \binom{5}{3} p^3 (1-p)^2 + \binom{5}{4} p^4 (1-p)^1 + \binom{5}{5} p^5 \quad (21)$$

$$p_{3005} = 10p^3(1 - 2p + p^2) + 5p^4(1 - p) + p^5 = 10p^3 - 15p^4 - 4p^5 + 10p^6 \quad (22)$$

– $n=5, k=4$ (4005)

$$p_{4005} = \sum_{j=4}^5 \binom{5}{4} p^4 (1-p)^{5-4} \quad (23)$$

$$p_{4005} = \binom{5}{4} p^4 (1-p)^1 + \binom{5}{5} p^5 \quad (24)$$

$$p_{4005} = 5p^4(1 - p) + p^5 = 5p^4 - 4p^5 \quad (25)$$

Megnézve ezeknek a rendszereknek a megbízhatóságait egyes esetekben láthatjuk, hogy nagy szabályszerűséget nem találunk köztük. Az összefüggés az esetek között mindösszesen annyi, hogy ha az n értéke nem változik, a k értéke pedig nő, akkor mindig az előző eseti egyenletből egy tag kiesik. Így az összevonás utáni végképletekben ez nem mutatkozik meg. Az előbb levezetett képletekkel szemléltetve:

$$p_{2005} = 10p^2(-3p + 3p^2 - p^3) + \boxed{10p^3(1 - 2p + p^2) + 5p^4(1 - p) + p^5} = -20p^2 + 45p^4 - 4p^5$$

$$p_{3005} = \boxed{10p^3(1 - 2p + p^2) + 5p^4(1 - p) + p^5} = 10p^3 - 15p^4 - 4p^5 + 10p^6$$

$$p_{4005} = \boxed{5p^4(1 - p) + p^5} = 5p^4 - 4p^5$$

4. Esettanulmányok

4.1. 6008 típusú anyagmozgató rendszer megbízhatósága

Egy külszíni fejtésen a kifejtett érc szállítására nyolc szállítópálya áll rendelkezésre, melyek közül legalább hatnak kell működőképesnek lennie ahhoz, hogy a kitermelt érc a kitermelés megszakítása nélkül elszállítható legyen. Tapasztalatok alapján az egyes szállítópályák megbízhatósága 80%. A szállítópályák működése egymástól független. Mennyi a valószínűsége, hogy a kitermelés zavarmentesen megvalósítható a vizsgálati időhorizonton belül?

$$p_{6008} = \sum_{j=6}^8 \binom{8}{j} p^j (1-p)^{8-j} \quad (26)$$

Kifejtve az összefüggést azt kapjuk, hogy:

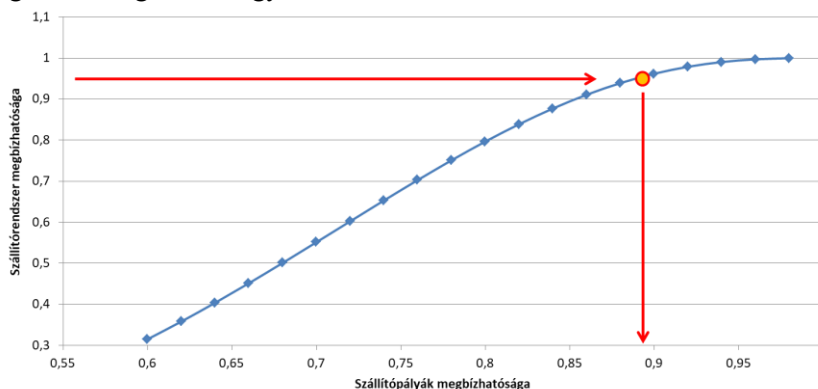
$$p_{6008} = \binom{8}{6} p^6 (1-p)^2 + \binom{8}{7} p^7 (1-p)^1 + \binom{8}{8} p^8 \quad (27)$$

Felbontva a fenti összefüggést azt kapjuk, hogy:

$$p_{R6008} = 28p^6 - 48p^7 + 21p^8 = 0,79 \quad (28)$$

Tehát a rendszer eredő megbízhatósága 79%, amennyiben 6 szállítópálya üzemképessége esetén az anyagmozgató rendszert működőképesnek tekintjük.

A menedzsment részéről elvárásként fogalmazódott meg, hogy az egyes szállítópályák megbízhatóságát a karbantartási tevékenység fokozásával olyan mértékben kell javítani, hogy a rendszer eredő megbízhatósága 95% legyen.



1. ábra 6008 szállítórendszer megbízhatósága az azonos megbízhatóságú szállítópályák megbízhatósági értékeinek függvényében

4.2. 2004 típusú koon ellátási rendszer megbízhatósága

Egy termelési folyamatban 4 beszállító alkalmas a gyártott termékekhez szükséges alkatrészek beszállítására, viszont a beszállítók által gyártott alkatrészek iránti nagy kereslet miatt a beszállítók megbízhatósága 77,5%, ami azt jelenti, hogy ilyen arányban tudják elvállalni az érkező megrendelések határidőre történő beszállítását.

$$p_{2004} = \sum_{j=2}^4 \binom{4}{j} p^j (1-p)^{4-j} \quad (29)$$

Kifejtve az összefüggést azt kapjuk, hogy:

$$p_{2004} = \binom{4}{2} p^2 (1-p)^2 + \binom{4}{3} p^3 (1-p)^1 + \binom{4}{4} p^4 \quad (30)$$

Felbontva a fenti összefüggést azt kapjuk, hogy:

$$p_{2004} = 6p^2 - 8p^3 + 3p^4 = 0,96 \quad (31)$$

A beszállítói rendszer eredő megbízhatósága 96%, amennyiben 2 beszállító rendelkezésre állása esetén a rendszert működőképessnek tekintjük. Tehát annak az esélye, hogy a rendszer nem működőképés 4%.

4.3. Anyagmozgató gép, mint rendszer megbízhatósága

A megbízhatósági vizsgálatok nem csupán rendszerek, hanem gépek esetében is elvégezhetőek, és ezen esetekben a gépet is tekinthetjük rendszernek, hiszen a gép nem más, mint gépelemekből felépülő rendszer. Az alábbi példa ezt a megközelítést szemlélteti.

Egy automatizált áruosztályozó rendszerben hajtott görgőspályás anyagmozgatás folyik. A hajtott görgőspálya egyes görgőit általában 1500 óránként kell cserélni, viszont a görgők 8%-a több mint 3000 órát is kibír. Határozzuk meg annak a valószínűségét, hogy egy görgő 2500 órát is kibír.

Feltételezve, hogy a görgők élettartama normál eloszlás szerinti, ahol 1500 óra a várható élettartam és a megbízhatósági függvény az alábbi formában írható fel:

$$p(t > 3000) = 1 - p\left(\frac{t - 1500}{\sigma} \leq \frac{3000 - 1500}{\sigma}\right) = 0,08 \quad (32)$$

Mivel

$$\theta\left(\frac{1500}{\sigma}\right) = 0,92. \quad (33)$$

A standard normális eloszlású változók eloszlásfüggvényének táblázatából kiolvasható, hogy $\theta(1,405) \approx 0,92$, amiből következik, hogy

$$\frac{1500}{\sigma} = 1,405, \quad (34)$$

azaz a görgők élettartamának szórása: $\sigma = 1068$ óra.

Az élettartam szórásértékének ismeretében meghatározható, hogy milyen valószínűséggel bír ki egy görgő 2500 órát:

$$p(t > 2500) = 1 - p\left(\frac{t-1500}{1068} \leq \frac{2500-1500}{1068}\right), \quad (35)$$

$$p(t > 2500) \approx 1 - \theta(0,936) \approx 0,1755, \quad (36)$$

Tehát egy görgő 17,55% valószínűséggel bír ki 2500 órát.

5. Összefoglalás

Az anyagmozgató rendszerek megbízhatósága a kiéleződő piaci versenyben egyre fontosabbá válik a termelési rendszerekben, hiszen a fokozódó vásárlói igények kielégítése csak nagy rendelkezésre-

állással bíró rendszerekkel valósítható meg költséghatékonyan, ugyanakkor a nagyfokú megbízhatóság megvalósításának is komoly költségvonzata van. Jelen kutatómunka keretében azt vizsgáltuk, hogy a koon típusú anyagmozgató rendszerek megbízhatóságát hogyan lehet meghatározni. Esettanulmányokon keresztül mutattuk be a koon típusú anyagmozgató rendszerekben a rendszer megbízhatóságának függését az egyes rendszerelemek megbízhatóságától, illetve demonstráltuk azt, hogy az anyagmozgató gépeket gépelemek rendszerének tekintve rendszerként is vizsgálhatjuk. A kutatás további irányaként fogalmaztuk meg a koon típusú anyagmozgató rendszerek szimulációs vizsgálatát.

6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Zhang, Z.Y., Zhao, J.Y., Cui, J., Nie, H. Reliability analysis of logistics network of rail-sea intermodal transportation in Internet of Things environment. *Journal of Coastal Research* 2018, 83:823-827. <https://doi.org/10.2112/SI83-135.1>
- [2] Skapinyecz, R.; Illés, B.; Bányai, Á. Logistic aspects of Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018, 448:012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012014>
- [3] Wang, W., Huang, L., Liang, X.D. On the simulation-based reliability of complex emergency logistics networks in post-accident rescues. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, 79(1):79. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010079>
- [4] Lin, Y.K., Huang, C.F., Liao, Y.C. Reliability of a stochastic intermodal logistics network under spoilage and time considerations. *Annals of Operations Research* 2019, 277(1):95-118. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2572-6>
- [5] Cser, L., Cselényi, J., Geiger, M., Mantyla, M., Korhonen, A.S. Logistics from IMS towards virtual factory. *Journal of Materials Processing Technology* 2000, 103(1):6-13. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00412-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00412-X)
- [6] Cselényi, J., Tóth, T. Some questions of logistics in the case of holonic production systems. *Journal of Intelligent Manufacturing* 1998, 9(2):113-118. <https://doi.org/10.1023/A:1008859711052>
- [7] Tamás, P., Illés, B., Dobos, P., Skapinyecz, R. New Challenges for Quality Assurance of Manufacturing Processes in Industry 4.0, *Solid State Phenomena* 2017, 261:481-486. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.261.481>
- [8] Szántó, J. Karbantartásszervezés és ökonómiája. Forrás: <https://www.tankonyvtar.hu/>. Letöltve: 2019. augusztus 12.
- [9] Pupos, T., Pintér, G. Döntéstámogató módszerek. Forrás: <https://www.tankonyvtar.hu/>. Letöltve: 2019. augusztus 12.
- [10] Rausand, M.; Hoyland, A. *System reliability theory: models, statistical methods and applications*. John Wiley & Sons. 2004. Hoboken, New Jersey.