

# Az ipari berendezések rendelkezésre állásának különböző számítási módjai és alkalmazásuk elemzése

## Different methods of calculating industrial equipment availability and analysis of their application

*Dr. ÁRPÁD István Walter*  
(ORCID: 0000-0002-5052-852X)

adjunktus, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék,  
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.; arpad.istvan@eng.unideb.hu

### Abstract

*Key Performance Indicators (KPIs) play an important role in modern industrial company management. The most important KPIs for operation (production and maintenance) are the measures of availability, reliability, maintainability, and safety. A useful practical measure is the availability measure (A), which must be determined not only for each piece of equipment but also for the whole production system and must be set to an appropriate level or value specified by management, considering the economic aspects. The difficulty arises from the fact that there are several different calculation methods for determining the availability measure, which need to be known and the resulting differences need to be interpreted. To achieve the availability value expected by management, it is usually necessary to improve individual equipment and technological solutions, and to be able to determine the impact of these improvements on the system. Only in this way can engineers find the effective solution to achieve the objective and avoid unnecessary actions and ineffective improvements. Since the equipment of industrial production systems constitute state-dependent behavioral systems, they should be analyzed from this point of view. This paper aims to help practitioners, managers, and engineering students in this area.*

**Keywords:** Maintenance, Key Performance Indicator (KPI), Availability, systems with state-dependent behavior

### Kivonat

*A modern vállalatirányításban fontos szerepet töltenek be a különféle teljesítménymutatók (Key Performance Indicators, KPIs). Ezek közül az üzemelés (a termelés és a karbantartás) szempontjából a legfontosabbak a rendelkezésre állás, a megbízhatóság, a karbantarthatóság és a biztonság mérőszámai. A gyakorlatban jól alkalmazható mérőszám a rendelkezésre állás mérőszáma (A), amelyet nem csak az egyes berendezésekre, hanem a teljes termelő rendszerre is meg kell határozni és értékét a gazdaságosság szempontjait is figyelembe vevő menedzsment által megadott megfelelő szintre, értékre kell beállítani. Nehézséget okoz, hogy a rendelkezésre állás mérőszámának meghatározására többféle számítási módszer is elterjedt, amelyeket egyrészt ismerni kell, másrészt az ebből adódó eltéréseket is értelmezni szükséges. A menedzsment által elvárt rendelkezésre állási érték eléréséhez az egyes berendezéseket, a technológiai megoldásokat általában fejleszteni szükséges, amely fejlesztések hatásait a teljes rendszerre is meg kell tudni határozni. Csak így képesek a mérnökök megtalálni a hatásos megoldást a cél elérésére és elkerülni a felesleges intézkedéseket, a nem eléggé hatásos beavatkozásokat. Mivel az ipari termelő rendszerek berendezései ún. állapotfüggő viselkedésű rendszereket alkotnak, ezért ezek elemzését is ilyen megfontolások szerint kell végezni. E cikk célja, hogy segítséget nyújtson a gyakorlati szakembereknek, a vezetőknek és a mérnökhallgatóknak ezen a területen.*

**Kulcsszavak:** karbantartás, fő teljesítmény mutatók, rendelkezésre állás, állapotfüggő viselkedésű rendszerek

## BEVEZETÉS

A modern vállalatirányításban fontos szerepet töltenek be a különféle teljesítménymutatók („Key Performance Indicators”, „KPIs”). Az ipari termelő vállalatoknál is ugyanez a helyzet. Bár a vállalati nyereséggel kapcsolatos mutatószámok (EBITDA, EBIT stb.) talán a legfontosabb mutatószámok, de a vállalat működésének alaposabb, részletesebb ismerete más mutatószámok meghatározását is igényli. A menedzsment és a különböző beosztási szintekhez tartozó dolgozók ezen teljesítménymutatók, mérőszámok értékei alapján képesek, ill. lesznek képesek objektíven megítélni munkájuk eredményét, eredményességét akár egy-egy részterületen is. A mutatószámok alapján az egyes területek fejlődési tendenciái is meghatározhatóak. Az üzemeltetés (a termelés és a karbantartás) szempontjából a legfontosabbak a megbízhatóság („reliability”), a karbantarthatóság („maintainability”), a termelékenység (hatásosság, „effectiveness”), a minőség („quality”) és a biztonság („safety”) mérőszámai. Sok ilyen mérőszám létezik, pl. csak a karbantartásnak - az MSZ EN 15341:2020 szabvány szerint - 183 teljesítménymutatóját dolgozták ki [1]. Ezek közül a gyakorlatban az egyik legfontosabb, jól alkalmazható mérőszám a berendezések üzemeltethetőségét jellemző ún. rendelkezésre állás mérőszáma („operational availability”, vagy csak egyszerűen „availability”, A). A rendelkezésre állást úgy definiálják, mint egy elem („item”) – ami jelenthet egy részegységet, vagy egy teljes berendezést, vagy akár egy teljes technológiai/gyártó sort is – azon képességét, hogy adott feltételek mellett, a szükséges külső erőforrások biztosítását feltételezve, a szükséges módon és időben teljesíteni tud [2]. Azaz a vizsgált egység funkcionálisan működőképes és teljesíteni tud, vagy teljesít is. A rendelkezésre állást számszerűsíteni lehet és ekkor már rendelkezésre állási teljesítményről beszélünk.

A szakma megkülönbözteti a pillanatnyi rendelkezésre állást („instantaneous availability”),  $A(t)$ , amely értelemszerűen időfüggő és az állandósult állapotú rendelkezésre állást („steady state availability”),  $A$ , amely nem időfüggő. Amennyiben a vizsgált egység rendelkezésre állása időfüggő, az ipari mérnöki gyakorlatnak megfelelően egy adott  $t_1$ -től  $t_2$ -ig tartó időtartamra az átlaggal számolhatunk,  $\bar{A}(t_1, t_2)$  [3].

A rendelkezésre állás – vagy más szóval az elérhetőség, vagy használhatóság – a megbízhatósággal (reliability) szorosan összefüggő fogalom. Valójában a megbízhatóságnál bővebb fogalom, mert a megbízhatóság mellett magába foglalja a karbantarthatóságot is, ugyanis nem mindegy mekkora állásidőkkel lehet javítani, karbantartani a berendezést, a rendszert. Ilyen értelemben a rendelkezésre állás a megbízhatóság és a karbantarthatóság kombinált mérőszáma [4].

A terjedelmi korlátok miatt csak az ipari gyakorlatban használatos állandósult állapotú megbízhatóságot tárgyalja a cikk, beleértve a vizsgált időtartamra átlaggal kifejezett rendelkezésre állást is. Ez elégséges a karbantartás gyakorlati értékeléséhez. A pillanatnyi, azaz az egy adott időpontra vonatkozó rendelkezésre állási valószínűségekre a cikk nem tér ki.

## A RENDELKEZÉSRE ÁLLÁS MÉRŐSZÁMÁNAK SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREI

Alapvetően kétféle számítási módszert különböztetünk meg:

- az idő alapú rendelkezésre állást és
- a termelésalapú rendelkezésre állást.

### 1.1. Az idő alapú rendelkezésre állás, A

Az idő alapú rendelkezésre állás megértéshez először meg kell ismerkedni az üzemeltetésben és a karbantartásban használatos időkkel kapcsolatos kifejezésekkel (1. ábra).

Az idő alapú rendelkezésre állás egy adott időszak alatt annak az időnek a százalékos aránya, amely alatt egy elem (berendezés) képes volt teljesíteni, amikor szükséges volt. A gyakorlatban különböző módon számolják ki ezt a százalékos arányt:

1. Az üzemidő (Up Time, UT) és az adott időszak üzemelésre igénybe vehető teljes idejének aránya (Total Time, TT) [2]:

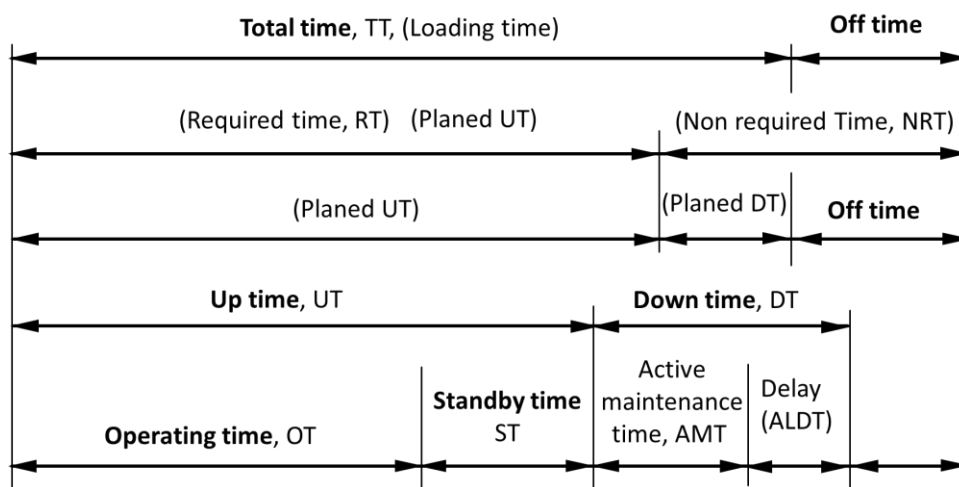
$$A|_{TT=UT+DT} = \frac{UT}{TT} \cdot 100 = \frac{UT}{UT+DT} \cdot 100 . \quad (1)$$

Az 1. ábrán látható, hogy a teljes időszak időtartama két fő részre oszlik, a „Total Time” és az „Off Time”. Az „Off Time” jelzi azt az időtartamot, amivel a termelés szempontjából a gazdálkodó egység nem tud számolni. Pl. valamilyen törvényi előírás miatt nem üzemelhet, vagy nincs éjszakai műszak, tehát az éjszakai műszak időszaka nem jöhet szóba a termelés időszakaként (üzemidőként).

Az (1) képlet szerinti számításnál a  $TT=(UT+DT)$ -vel. Azonban lehet olyan szituáció a gyakorlatban, hogy a karbantartási, javítási munkának az elvégzését úgy szervezik meg, hogy annak egy része az „Off Time” időszakra essen, hogy a termelésre szánt üzemidő csak kisebb mértékben csökkenjen. Ilyenkor alkalmazható a rendelkezésre állás mérőszámának kiszámítására, hogy az arányszámnál nem a „Total Time”-ra, hanem az üzemidő (UT) és az állásidő (DT) összegére vonatkoztatunk. Értelemszerűen az így kiszámított rendelkezésre állás már kisebb számértéket fog mutatni, mint az előző esetben, ugyanis  $TT < (UT+DT)$ :

$$A|_{TT < UT+DT} = \frac{UT}{UT+DT} \cdot 100 \quad (2)$$

Ha ez utóbbi szituáció fennáll, akkor célszerűbb a (2)-es képletet alkalmazni, mert ez jobban kifejezi a valós viszonyokat.



1. ábra. Az üzemeltetéssel és a karbantartással kapcsolatos idők felosztása,  $A = UT/TT \geq UT/(UT + DT)$  (saját ábra)

2. A működési idő (Operating Time, OT) és a működési idő plusz a meghibásodástól a helyreállításig eltelt idő (OT+TTR) összegének aránya (Time to Repair, TTR – a javítási idő) [2]:

$$A = \frac{OT}{OT+TTR} \cdot 100 \quad (3)$$

Ez az arány azt méri, hogy a vizsgált egység hány százalékban teljesített, amikor kellett, kizárva azokat az eseteket, amikor a hibáktól (meghibásodásoktól) eltérő okok miatt nem teljesített. Ez a mutatószám még megbízhatóbban adja vissza a rendelkezésre állást, mert nem veszi figyelembe a készenléti állapotot, ugyanis az  $OT=UT-ST$ , és a TTR is pontosabb információt ad a helyreállítás időtartamáról, mint a DT. A Készenléti állapot a kezelése általában problémát jelent olyankor, amikor a készenléti állapotban lévő berendezésre szükség lenne, de nem lehet beindítani, mégsem működik, a készenléti állási idő alatt is elromolhat. Ez a képlet kikerüli ezt a problémát.

Természetesen a képlet használatban van a következő módon is [2]:

$$A = \frac{OT}{OT+DT} \cdot 100 \quad (4)$$

A DT nem minden esetben egyenlő a TTR-rel, ugyanis a javítás, a helyreállítás után nem biztos, hogy egyből termelni kezd a berendezés.

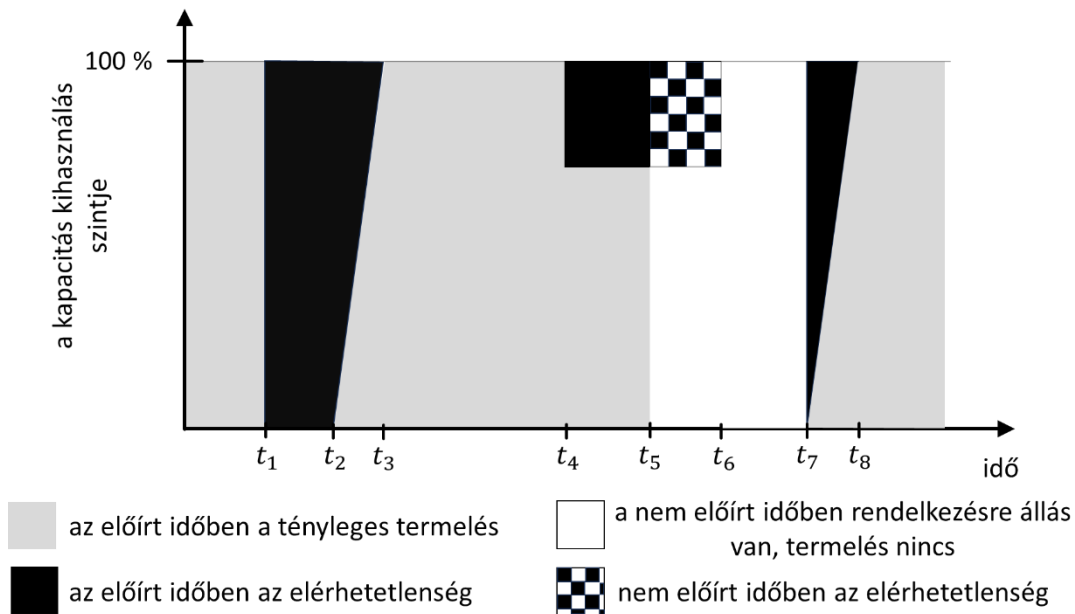
3. A szakirodalom, pl. [5], is megerősíti, hogy a gyakorlatban alkalmazzák az átlagos hibamentes működési idő (Mean Time Between Failure, MTBF) és az átlagos hibamentes működési idő plusz az átlagos javítási idő (Mean Time To Repair, MTTR) összegének arányát:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \cdot 100. \quad (5)$$

A MTBF a megbízhatóság egyik mérőszáma, míg a MTTR a karbantarthatóság egyik mérőszáma.

### 1.2. A termelés alapú rendelkezésre állás, A

A termelés alapú rendelkezésre állás megértéshez először meg kell ismerkedni a 2. ábrával, amely egy elképzelt üzemeltetési (gyártási) forgatókönyvet mutat be (2. ábra). A  $t_1$  időpontig a berendezés a névleges teljesítményen, 100 %-os kapacitáson üzemel. Ekkor, a  $t_1$  időpontban, elromlik és teljesen leáll. A  $(t_1, t_2)$  időtartam alatt a berendezést kijavítják és azonnal a  $t_2$  időpontban üzembe veszik. A  $(t_2, t_3)$  időtartam szükséges ahhoz, hogy a berendezés elérje a névleges teljesítményét. A  $(t_3, t_4)$  időtartam alatt a berendezés a névleges teljesítményén üzemel, majd a  $t_4$  időpontban egy olyan meghibásodás lép fel, amely miatt a berendezés csak kb. 70 %-os kapacitással tud üzemelni. A  $(t_5, t_7)$  időtartam a nem tervezett üzemeltetés időtartama (Off Time). A  $t_5$  időpontban, a nem tervezett üzemelési időtartam kezdetén a berendezést leállították. Az ábrán az egyszerűség kedvéért egy azonnali leállás lett ábrázolva, de ez is lehetne egy fokozatos teljesítménycsökkenéssel megvalósuló leállás is. A nem tervezett üzemelési idő alatt, a  $(t_5, t_6)$  időtartam alatt, a berendezést kijavították. A kijavított berendezést a  $t_7$  időpontban újra üzembe veszik, mert ez már a következő üzemelésre tervezett időszak kezdete. A berendezés a  $(t_7, t_8) = (t_2, t_3)$  időtartam alatt éri el megint a névleges teljesítményét.



2. ábra. Egy üzemelési (gyártási) forgatókönyv (saját ábra, felhasználva a [2] irodalom)

A termelés alapú rendelkezésre állást kétféleképpen lehet a 2. ábra alapján kiszámítani [2].

1. Az első esetben a tényleges termelési mennyiség és a maximális (névleges) termelési mennyiség százalékos aránya:

$$A = \frac{\text{tényleges termelés}}{\text{tényleges termelés} + \text{termelés elérhetetlenség a tervezett üzemidő alatt}} \cdot 100 = \quad (6)$$

2. A második esetben a tényleges termelési mennyiség és a maximális termelési mennyiség plusz az üzemidőn kívüli rendelkezésre nem állás (elérhetetlenség) időtartama alatt névlegesen megtermelhető mennyiség százalékos aránya:

$$A = \frac{\text{tényleges termelés}}{\text{tényleges termelés} + \text{termelés elérhetetlenség a tervezett üzemidő alatt} + \text{termelés elérhetetlenség a tervezett üzemidőn kívüli időszakban}} \cdot 100 = \quad (7)$$

Értelemszerűen ez utóbbi számítási képlet alapján a (6) képlet szerint számított rendelkezésre állási teljesítményhez képest kisebb vagy egyenlő rendelkezésre állási teljesítmény (mérőszám) adódik. Ezzel a képlettel tehát a menedzsment (a módszer) hátrányosan értékeli azt a szituációt is, amikor a nem tervezett üzemidő alatt a berendezés hibás állapotban van.

Összességében, a termelésalapú rendelkezésre állás már nem csak az időt, hanem a teljesítményt is figyelembe veszi. Ilyen értelemben egy komplexebb mutatószám, mint az időalapú rendelkezésre állás.

Az MSZ EN 15341:2020 szabvány ismerteti a teljes berendezés hatásosságát (Total Equipment Effectiveness, T.E.E.), mint egy fontos teljesítménymutatót, amely figyelembe veszi az időalapú rendelkezésre állást, a teljesítmény tényezőt és a minőség tényezőt is [1]. A komplexitás, az információtartalom szerint tehát a termelés alapú rendelkezésre állás az időalapú rendelkezésre állás és a teljes berendezés hatásosság között helyezkedik el:

$$A_{\text{időalapú}} \xrightarrow{\text{információ tartalom növekedés}} A_{\text{termelés alapú}} \xrightarrow{\text{információ tartalom növekedés}} T.E.E. .$$

### 1.3. Több berendezésből álló rendszer eredő rendelkezésre állása, $A_s$

A többtagú rendszer rendelkezésre állását (availability of multi-element system) könnyen meg lehet határozni a termelésből gyűjtött, a rendszerre vonatkozó adatok alapján, de meg kell tudni határozni számítással is a rendszert felépítő berendezések (elemek) rendelkezésre állásaiból. A mért és a számítással meghatározott eredményeket pedig egyrészt össze lehet hasonlítani, hogy a számítási módszerünk megfelelő-e, másrészt a számítási, analitikai módszerek ismeretében meg lehet határozni azokat a kritikus elemeket, ahol a rendelkezésre állás javításával hatásosan lehet növelni az egész rendszer rendelkezésre állását.

A rendszer modellezésére is számos módszert lehet alkalmazni, amelyek közül a legelterjedtebbek a Markov technika [6], a megbízhatósági blokk diagram (Reliability Block Diagram, RBD) [7], és a Petri háló technika [8].

Először azt kell megvizsgálni, hogy az egyes berendezések rendelkezésre állását hogyan lehet javítani. A legegyszerűbben a Pareto vizsgálattal lehet megállapítani a kritikus (a lényeges) hibákat, majd a kritikus hibák elkerülésére tett fejlesztési intézkedésekkel a berendezés rendelkezésre állása növelhető. Ezt követően lehet alkalmazni a rendszer meghibásodása szempontjából kritikus egységeknél a redundanciát (ritkábban, illetve bizonyos területeken a diverzitást is). Természetesen minden intézkedést gazdaságilag is elemezni szükséges.

Ebben a cikkben a terjedelmi korlátok miatt a többtagú rendszerekre vonatkozó részletesebb tárgyalást ismertetni nem lehetséges, de a gondolatmenet zárásához egy egyszerű példát mégis szükséges bemutatni. Vegyünk egy gyártási technológiát (lásd 3. ábra a. változat), amely 5 sorba kapcsolt egységből áll. Az egyes egységek rendelkezésre állása az összegyűjtött adatok alapján:  $A_1 = A_4 = A_5 = 99,0 \%$ ;  $A_2 = 96,5 \%$ ;  $A_3 = 98,5 \%$ .

Mivel a rendelkezésre állás a megbízhatósághoz nagyon hasonló mérőszám, ezért üzemeltető mérnöki szempontból használhatjuk a megbízhatósági blokk diagramoknál (RBD) alkalmazott számítási módszereket az eredő rendelkezésre állás meghatározására. Így a soros rendszerünk eredő megbízhatósága [9] [10] [11]:

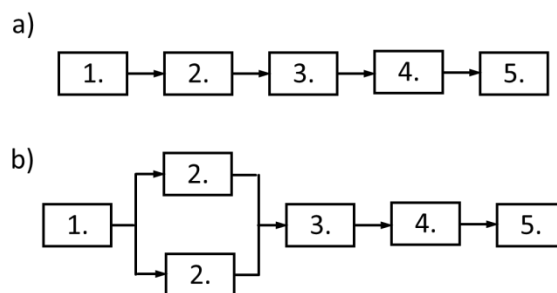
$$A_s = \prod_i A_i = 0,922 . \quad (8)$$

Látható, hogy az eredő rendelkezésre állás (92,2 %) kisebb, mint az egyes egységek rendelkezésre állása. A menedzsment elvárása az, hogy a rendszer rendelkezésre állása 95,0 % legyen. Ekkor ennek elérésére az egyik megoldási lehetőség az, hogy a „leggyengébb láncszemnél”, a 2. egységnél redundanciát, duplikált rendszert alkalmazunk (lásd 3. ábra b. változat). Ekkor a 2. egység eredő rendelkezésre állása az alábbiak szerint alakul [11]:

$$A_{2,duplikált} = 1 - [(1 - A_2) \cdot (1 - A_2)] = 0,999 . \quad (9)$$

Tehát 99,9 % a redundáns 2. egység rendelkezésre állása. Az új rendszer eredő rendelkezésre állása pedig várhatóan a következő lesz:

$$A_{s,új} = A_1 \cdot A_{2,duplikált} \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 = 0,955 . \quad (10)$$



3. ábra. A példában szereplő technológia felépítése; a) az eredeti állapot; b) az új, fejlesztett állapot

## ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK

Az üzemeltetés (a termelés és a karbantartás) területének egyik legfontosabb teljesítmény mutatószáma a mérnökök és a menedzsment számára a berendezések rendelkezésre állása (availability, A). A cikk felhívja a figyelmet arra, hogy a gyakorlatban több, egymástól némileg eltérő számítási módszer is kialakult és van alkalmazásban jelenleg is a rendelkezésre állás mérőszámának meghatározására. Két fő számítási alap létezik. Az egyik az időalapú rendelkezésre állás, a másik a termelés alapú rendelkezésre állás. Az időalapú rendelkezésre állás megértéséhez a cikk ismerteti a termelés során megkülönböztetett időtartamokat, majd bemutat és értékeli 5 féle számítási gyakorlatot az időalapú rendelkezésre állás mérőszámának meghatározására. A termelésalapú rendelkezésre állás számításának megértéséhez pedig egy termelési diagramot ismerteti a cikk és bemutat kétféle számítási módszert a termelésalapú rendelkezésre állás mérőszámának meghatározására. Az egyes számítási módszerek persze többnyire eltérő mérőszámokat eredményeznek, ezért fontos tisztázni, hogy milyen számítási módszert alkalmazott vagy alkalmazzon a vállalat, valamint, ha egy értéket közölnek, az pontosan milyen számítási módszerre vonatkozik.

Természetesen nagyon fontos az egyes berendezések rendelkezésre állását ismerni és a kívánt mértékre javítani, de a lényeg mégis a teljes gyártási rendszer rendelkezésre állásának a kívánt színvonalon tartásán, illetve elérésén van. A cikk ezért egy egyszerű példán keresztül ismerteti egy komplex gyártósor, illetve technológiai folyamat eredő rendelkezésre állásának kiszámítását és a javítására megtehető intézkedéseket. Remélhetőleg a cikk segítségével lesz a gyakorlati szakembereknek, a menedzsereknek és a mérnökhallgatóknak.

**IRODALMI HIVATKOZÁSOK**

- [1] Technical Committee "Maintenance" of European Committee for Standardization (CEN/TC 319), *MSZ EN 15341:2020 Karbantartás. A karbantartás kulcsfontosságú teljesítménymutatói*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2020.
- [2] Technical Committee "Maintenance" of European Committee for Standardization (CEN/TC 319), *MSZ EN 13306:2018 Karbantartás. A karbantartás terminológiája*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2018.
- [3] IEC Technical Committee 56: Dependability, *IEC 60050-192:2015 International electrotechnical vocabulary*, Geneva, Switzerland: IEC Central Office, 2015.
- [4] C. H. Lie, C. L. Hwang és F. A. Tillman, „Availability of Maintained Systems: A State-of-the-Art,” *A I I E Transactions*, kötet 9., szám 3., pp. 247-259., 1977.
- [5] J. R. Sifonte és J. V. Reyes-Picknell, *Reliability Centered Maintenance - Reengineered*, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300; Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017, ISBN 9781498785174.
- [6] IEC Technical Committee 56: Dependability, *IEC 61165:2006 Application of Markov techniques*, Geneva, Switzerland: IEC Central Office, 2006.
- [7] IEC Technical Committee 56: Dependability, *IEC 61078:2016 Reliability block diagrams*, Geneva, Switzerland: IEC Central Office, 2016.
- [8] IEC Technical Committee 56: Dependability, *IEC 62551:2012 Analysis techniques for dependability – Petri net techniques*, Geneva, Switzerland: IEC Central Office, 2012.
- [9] Z. Gaál, *Tudásbázisú karbantartás*, Veszprém: Veszprémi Egyetemi Kiadó, 2003.
- [10] J. Kövesi, J. Erdei, T. Jónás és Z. E. Tóth, *Minőség és megbízhatóság a menedzsmentben*, Budapest: BME Gazdaság és Társadalomtudományi Kar és a Typotex Elektronikus Kiadó Kft., 2011.
- [11] K. S. Trivedi és A. Bobbio, *Reliability and Availability Engineering - Modeling, Analysis, and Applications*, Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2017.