

TARTALÉK ALKATRÉSZSZÁM MEGHATÁROZÁS SZIMULÁCIÓS ÜZEMELTETÉSI RENDSZERELEMZÉSSEL

DETERMINATION OF RESERVE PART'S NUMBER BY SIMULATION-BASED MAINTENANCE SYSTEM ANALYSIS

Pokorádi László¹, Fenyvesi Csaba²

¹Óbudai Egyetem, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet,
1081 Magyarország, Budapest, Népszínház utca, 8. +3630 99194929,
pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola,
1081 Magyarország, Budapest, Népszínház utca, 8., fenyvesic@npp.hu

Abstract

From the mathematical point of view, the operation of technical systems and equipment is a discrete state space stochastic process without after-effects, so it can be approximated with a Markov-chain. After setting up the transition probability matrix, matrix-algebraic tools can be used for investigating these processes with systems approach analysis. This paper is aimed to discuss the possibilities of the use of Markov matrix-based Monte Carlo Simulation of maintenance processes. The proposed simulation method can be used for the assessment of requested number for spare part depending on required estimating uncertainty.

Keywords: maintenance, Monte Carlo simulation, number for spare part

Összefoglalás

Matematikai szempontból az üzemeltetés egy diszkrét állapotterű, utóhatásmentes sztochasztikus folyamat, így azt Markov-lánccal lehet matematikailag leírni. Az üzemeltetési rendszer sztochasztikus modelljének felállítása után a vizsgált folyamatot rendszerszemléletű megközelítéssel tudjuk elemezni. Monte-Carlo módszernek nevezzük a matematikai modellek megoldásának véletlen mennyiségeket felhasználó numerikus eljárásait, és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. Jelen tanulmány bemutatja egy eszközpark szükséges tartalékberendezés-számának megfelelő kockázattal, azaz üzemeltetési biztonsággal történő Monte-Carlo-szimulációs becslési eljárását.

Kulcsszavak: üzemeltetés, Monte-Carlo-szimuláció, tartalék alkatrészek száma

1. Bevezetés

A gyakorlati mérnöki munkák egyik legfőbb területe a különböző (gyártó vagy szolgáltató) technikai eszközök, rendszerek és létesítmények üzemeltetése, karbantartása [6]. Tágabb értelmezés esetén az üzemeltetés a technikai eszközök használata, különböző szintű kiszolgálása és javítása által alkotott technikai folyamat. Ez a valós, technikai folyamat matematikai szempont-

ból utóhatásmentes, sztochasztikus (úgynevezett Markov) folyamat. Egy adott üzemeltetési folyamat vagy rendszer folytonos idejű, diszkrét állapotterű markovi- vagy fél-markovi folyamatként (azaz láncként) modellezhető és megfelelő statisztikai adatok birtokában elemezhető [4].

Beállt üzemeltetési folyamaton olyan folyamatot értünk, ahol a különféle állapotváltási – főleg a meghibásodási – valószínűségek időben nem (vagy csak elhanya-

golható mértékben) változnak. Ilyen üzemeltetési folyamatot tapasztalhatunk a bejáratási és a kiüregedési szakaszok között, ha nem lép fel jelentős változás az üzemeltetési körülményekben [5].

A technikai rendszerek üzemeltetése esetén bizonytalan paraméterek lehetnek a meghibásodási, valamint javítási idők. Ezen időket általánosságban a meghibásodások közti átlagidővel (MTBF – Mean Time Between Failures), illetve az átlagos javítási idővel (MTTR – Mean Time to Repair), vagy az átlagos megfordulási idővel (MRTT – Mean Repair Turnaround Time) jellemezzük.

Az üzemeltetési folyamatok valószínűségi modellezéséhez szükséges matematikai alapismeretek, többek közt, Bharucha-Reid [1], Karlin és Taylor [2], Wentzel és Ovcsarov [7], valamint Pokorádi [4] könyveiben olvashatók.

Pokorádi a Markov-mátrix alkalmazási lehetőségét mutatja be beállt, azaz stacioner, üzemeltetési folyamat sztochasztikus matematikai modelljének felállítására [3]. A leírt eljárás előnye a könnyű algoritmizálhatóság, mely a Szerző munkájának egyik legfőbb célja.

A Monte-Carlo-módszer egy igen széles körben (az alaptudományoktól a bonyolult rendszerek kockázatanalízisén át a pénzügyi életig) alkalmazott eljárás, amely a vizsgált rendszer vagy folyamat bemenő jellemzőinek véletlen generálásán alapul. Egy technikai rendszer vagy folyamat – és így matematikai modelljének – bemenő jellemzői gyakran valamilyen valószínűségi eloszlásokkal jellemezhetőek. Ha ismerjük ezeket az eloszlásokat, a Monte-Carlo-szimuláció véletlen mintavételezéssel végezhető el.

Egy üzemeltetési folyamat irányításához, a megfelelő rendszerszintű üzemképesség fenntartásához a döntéshozók által elvárt pontossággal tudnunk kell a szükséges tartalékberendezések számát.

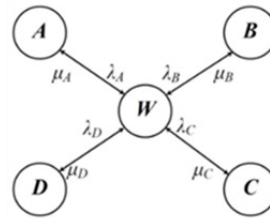
A tanulmány célja – a fentiekben ismertett tudományos munkákra támaszkodva –

a beállt üzemeltetési folyamatok stacioner Markov-modelljére épülő Monte-Carlo-szimuláció alkalmazásával kidolgozott elemzési eljárás bemutatása. A leírt módszer alkalmas a megfelelő, vagy elvárt szintű üzemképesség fenntartásához szükséges tartalékberendezések számának meghatározására.

A tanulmány az alábbi részekből áll: A 2. fejezet a vizsgált üzemeltetési rendszer matematikai modelljét írja le röviden. A 3. fejezetben a rendszer Monte-Carlo szimulációs vizsgálatát találjuk meg. A 4. fejezet a kapott eredmények szakmai kiértékelését mutatja be. Végül az 5. fejezet összegzi a tanulmány elkészítésekor szerzett tapasztalatokat.

2. A folyamatmodell

Egy nagyméretű hálózati rendszeren belül tömegesen alkalmazott berendezés üzemeltetése során négy (*A*; *B*; *C*; *D*) eltérő típusú – egy-egy részegységéhez kötődő – meghibásodást tapasztaltak. A berendezés javításának sajátossága, hogy – a *C* típusú meghibásodás kivételével – jelentős méretű (mintegy másfél hónapos) logisztikai időigényt is jelent.



1. ábra. *A folyamat gráf modellje*
W – rendelkezésre állás;
A – *A* típusú meghibásodás javítása;
B – *B* típusú meghibásodás javítása;
C – *C* típusú meghibásodás javítása;
D – *D* típusú meghibásodás javítása

Mivel vizsgálatunkat alapvetően a végfelhasználó szempontjából végeztük, így a javításhoz kötődő oda-vissza történő szállítást is a javításokhoz kötöttük, azaz a javítás

időigényét az úgynevezett átlagos megfordulási idővel jellemezzük. Továbbá az is megállapítható volt, hogy a meghibásodások esetén a berendezés helyszíni cseréjének ideje elhanyagolható a meghibásodások közti, illetve megfordulási időkhöz képest. Így ezen időigényektől a modellalkotás során eltekintünk.

A meghibásodások és azok javítási idejeinek főbb statisztikai adatait az **1. táblázat** tartalmazza. A folyamatot az **1. ábrán** látható súlyozott élű, irányított gráffal szemléltetjük, ahol az élek súlyát az állapotváltási valószínűség sűrűségek (meghibásodási, illetve megfordulási ráták) adják meg.

1. táblázat. Statisztikai elemzés főbb adatai

	MTBF [óra]	λ [óra ⁻¹]	MRTT [óra]	μ [óra ⁻¹]
A	183627	$5,446 \cdot 10^{-6}$	1080,8	$9,252 \cdot 10^{-4}$
B	162059	$6,171 \cdot 10^{-6}$	1081,1	$9,250 \cdot 10^{-4}$
C	152800	$6,545 \cdot 10^{-6}$	167,13	$5,983 \cdot 10^{-3}$
D	179789	$5,562 \cdot 10^{-6}$	1079,8	$9,261 \cdot 10^{-4}$

A vizsgált állandósult üzemeltetési folyamat sztochasztikus modellje az alábbi – a Szerző [3] tanulmányában részletesen levezetett – mátrixalakban írható fel:

$$\begin{bmatrix} -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D) & \mu_A & \mu_B & \mu_C & \mu_D & 1 \\ \lambda_A & -\mu_A & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \lambda_B & 0 & -\mu_B & 0 & 0 & 1 \\ \lambda_C & 0 & 0 & -\mu_C & 0 & 1 \\ \lambda_D & 0 & 0 & 0 & -\mu_D & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_W \\ P_A \\ P_B \\ P_C \\ P_D \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. A szimuláció futtatása

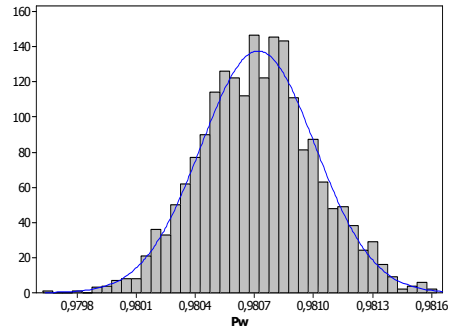
A **2. táblázat**ban megadott gerjesztéseket alkalmazva futtattuk le az (1) mátrixegyenlettel leírt sztochasztikus modellt.

A korábbi Monte-Carlo szimulációknál szerzett tapasztalatok alapján a gerjesztések számát 2000-ben határoztuk meg. Ez a gerjesztés szám már statisztikailag elegendő

adatot szolgáltat, így korrekt szakmai következtetéseket vonhatunk le a kapott futtatási eredményekből. Az eredmények közül a **2. ábra** szemlélteti a – jelen vizsgálatunk szempontjából fontos – P_w üzemképességi valószínűségek hisztogramját, illetve **3 táblázat**ban olvashatóak a statisztikai elemzésük főbb adatai.

2. táblázat. Kiinduló szimulációs adatok statisztikai elemzésének eredményei

	MTBF [óra]	szórás [óra]	MRTT [óra]	szórás [óra]
A	183627	2033	1080,8	23,9
B	162059	1881	1081,1	23,7
C	152800	1659	167,13	23,16
D	179789	2198	1079,8	24,3



2. ábra. Az üzemképességi valószínűségek hisztogramja

3. táblázat. Az üzemképességi valószínűségek statisztikai elemzésének főbb adatai

Átlag m_W	$9,81 \cdot 10^{-1}$
Minimum	$2,91 \cdot 10^{-4}$
Maximum	$9,80 \cdot 10^{-1}$
Szórás s_W	$9,82 \cdot 10^{-1}$

4. A szükséges tartalékberendezések számának meghatározása

Vizsgálatunkat alapvetően az üzemeltető szempontjából végeztük el. Így számunkra a legfontosabb kérdés a tartalékberendezések szükséges számának ismerete.

Ezért az **3. táblázat** adatai – a szimulációs eredmények valószínűségi eloszlása – alapján meg kell határoznunk mely N_{RNS} tartalékberendezés szám esetén lesz az üzemeltető által elfogadható R kockázati valószínűségnél kisebb a P_W rendelkezésre-állítás bekövetkezési valószínűsége. Például, 10%-os becslési kockázat (90% üzemeltetési biztonság) esetén:

$$P_{RNS} = m_W - 1.29s_W \quad (2)$$

Az N_{RNS} szükséges tartalékberendezés szám meghatározását a berendezés P_W rendelkezésre állási valószínűség ismeretében tudjuk elvégezni az alábbi egyenlet segítségével:

$$N_{RNS} = \left\lceil \left(\frac{1}{P_W} - 1 \right) N \right\rceil \quad (3)$$

ahol: N a rendszerben működő berendezések száma (vizsgálatunk során: $N = 20000$).

Ennek ismeretében határoztuk meg a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza a **4. táblázat**.

4. táblázat. Szükséges tartalékberendezés szám a becslési kockázat függvényében

R	P_{RNS}	N_{RNS}
10%	0,9803	402
5%	0,9802	404
1%	0,9800	409
0,1%	0,9799	411
0,01%	0,9798	413

5. Összegzés

A tanulmány bemutatta egy beállt üzemeltetési folyamatok Markov-mátrixszal leírt stacioner sztochasztikus modellel épülő Monte-Carlo-szimulációs elemzésének egy új módszerét. Az esettanulmány során

kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy kidolgozott elemzési eljárás alkalmas a karbantartási rendszer hatékonyságának biztosításához, annak növeléséhez szükséges döntések támogatására. A szimulációs eredmények felhasználhatóak egy technikai rendszer üzemeltetéséhez szükséges tartalékberendezések számának – megfelelő becslési kockázattal, azaz üzemeltetési megbízhatósággal történő – meghatározására.

A Szerző célja az üzemeltetési, karbantartási menedzsment döntéshozatalát támogató további matematikai modellezésen, matematikai szimuláción alapuló folyamat-, és rendszerelemzési eljárások kidolgozása, valamint – esettanulmányok felhasználásával – gyakorlati alkalmazási lehetőségeinek bemutatása.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bhruha-Reid A.T.: *Elements of the Theory of Markov Processes and Their Applications*, McGraw-Hill, New York, 1960.
- [2] Karlin S.; Taylor H.M.: *Sztochasztikus folyamatok*, Gondolat, Budapest, 1985.
- [3] Pokorádi L.: *Availability Assessment Based on Stochastic Maintenance Process Modeling*, Debreceni Műszaki Közlemények 2013/1, pp 37-46.
- [4] Pokorádi L.: *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008.
- [5] Rohács J.; Simon I.: *Repülőgépek üzemeltetési zsebkönyve*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [6] Szabó J.Z.: *Műszaki diagnosztikai módszerek*, Budapest: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2015.
- [7] Wenczel E.; Ovcharov L.: *Applied Problems in Probability Theory*, Mir Publisher, Moscow, 1986.