

MODELLEK A MŰSZAKI BIZTONSÁGTUDOMÁNYBAN

MODELS IN TECHNICAL SAFETY

Pokorádi László*

Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,
Óbudai Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

műszaki biztonság;
megbízhatóság
matematikai modell

Keywords:

technical safety
reliability
mathematical model

Cikktörténet:

Beérkezett 2016. augusztus 30.
Átdolgozva 2016. november 08.
Elfogadva 2016. november 10.

Összefoglalás

A Szerző kutatási területe a különböző matematikai modellek és alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a technikai rendszerek üzemeltetéséhez, valamint a műszaki megbízhatóság és biztonság területéhez kapcsolódó döntéshozatalokban. A tanulmány a Szerző legújabb kutatási eredményeit mutatja be.

Abstract

Author's research field is study of mathematical models and their possibilities of use for decision-making on maintenance process of technical systems, reliability and safety. This study presents the latest research results of the Author.

1. Bevezetés

Napjainkban az egyik legfontosabb társadalmi probléma a biztonság, a megbízhatóság és kockázat kérdése. Ez nagymértékben érinti a műszaki szakembereket, akik szakmai specifikumuknak megfelelően különböző technikai rendszereket terveznek, építenek és üzemeltetnek.

A Szerző — a különböző matematikai eszközök és jól algoritmizálható modellek kidolgozása és alkalmazási lehetőségeit tanulmányozza a technikai rendszerek üzemeltetéséhez, valamint a műszaki megbízhatóság és biztonság tudomány területéhez kapcsolódó döntéshozatalok támogatására. Külön kérdéskörként kezeli a modellbizonytalanságok leírási lehetőségeinek elemzését és mérnöki szempontú értelmezését.

A publikáció célja, a rövid elméleti bevezetõn túl, az elért legújabb eredmények bemutatása.

A tanulmány az alábbi fejezetekbõl áll: A 2. fejezet a modellezés és a szimuláció alapfogalmait mutatja be. A 3. fejezet a kanonikus rendszerek megbízhatóság érzékenységének elemzési módját írja le. A 4. fejezetben a komplex kapcsolatú rendszerek megbízhatóság érzékenységének vizsgálati eljárása kerül bemutatásra. Az 5. fejezetbõl az üzemeltetési folyamat Monte-Carlo szimulációs elemzési módja ismerhetõ meg. A tanulmány a 6. fejezetben összeggésszel zárul.

2. Modell és szimuláció

Modellezésen értjük a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését, és azok valamilyen formájú leképezését. Egy adott rendszer korszerű, tudományos igényû vizsgálatának feltétele a rendszermodell megalkotása.

A modellek közül a mérnöki gyakorlatban leggyakrabban matematikai modelleket alkalmazunk. A matematikai modell a matematika szimbólumrendszerén keresztül teremt kapcsolatot a vizsgált rendszer be- és kimenõ jellemzõi között [4]. A matematikai modell valamilyen vizsgált rendszerben lejátszódó jelenség, folyamat vagy tevékenység a vizsgálat szempontjából lényeges tulajdonságai közötti összefüggések matematikai megfogalmazása. A matematikai modell egyrészt

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 1 666 5419; Mobil: +36 30 9194929
E-mail cím: pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

absztrakt matematikai objektumokból (például számokból, vektorokból), másrészt az objektumok közötti relációkból áll.

2.1. A szimuláció

A szimuláció egy adott probléma megoldására felállított matematikai modell felhasználása a vizsgált jelenség vagy rendszer – a vizsgálat szempontjából – minél teljesebb mértékű megismerése érdekében. A szimuláció során az adott rendszer bemenetén megjelenő változók (a gerjesztések és a zavarások), valamint a rendszert jellemző úgynevezett belső paraméterek (például geometriai és/vagy anyagjellemzők) a rendszer kimenő paramétereire gyakorolt hatásait elemezhetjük. Mindezekhez először is szükségünk van az adott problémát – a megkívánt mérnöki pontossággal – leíró matematikai modell felállítására. A szimulációs eredmények pontosságát nagymértékben az alkalmazott modell szabja meg.

Monte-Carlo módszereknek nevezzük a matematikai modellek megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit, és azok jellemzőinek statisztikus értékelését [5]. Ez az eljárás felhasználható egy matematikai modell parametrikus bizonytalansági elemzéséhez, mivel az adott, névleges pont körüli lehetséges értékek valószínűségi eloszlását adja meg. A Monte-Carlo szimulációra láthatunk példát jelen tanulmány 5. fejezetében.

2.2. Az érzékenységvizsgálat

A matematikai modell felhasználható a vizsgált rendszer különböző paraméterekkel szembeni érzékenységeinek elemzésére.

Egy $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ $f : \mathfrak{R}^k \rightarrow \mathfrak{R}$ általános skalár-vektor függvény (más szóval egy több-bemenetű – egy-kimenetű rendszer modellje) x_i független változó (bemenő jel vagy belső paraméter) szerinti érzékenységi együtthatója a

$$K_{y;x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y} \tag{1}$$

parciális differenciálegyenlettel határozható meg. Mindegyik független változó szerinti érzékenységi együttható felhasználásával az alábbi lineáris egyenletet kapjuk:

$$\delta y = K_{y;x_1} \delta x_{y;x_1} + \dots + K_{y;x_k} \delta x_k \tag{2}$$

amely a függő változó relatív érzékenységet írja le a független változók értékeinek változásával szemben [4].

Moduláris érzékenység vizsgálat esetén nem a rendszert leíró egyetlen skalár-vektor függvényt írjuk fel és határozzuk meg annak érzékenységi együtthatóit. Ekkor a vizsgálat szempontjából fontos modulokra bontjuk a rendszert és külön-külön írjuk le matematikailag azok viselkedését. A modulokat úgy célszerű kiválasztani, hogy azok érzékenységi együtthatói tipizálhatóak legyenek. Erre látunk példákat a 3. és 4. fejezetekben.

Ha a modulárisan vizsgált rendszer egy $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ $f : \mathfrak{R}^m \rightarrow \mathfrak{R}^n$ általános vektor-vektor függvényvel írható le (ahol $n \in \mathfrak{N}$ a függő; $m \in \mathfrak{N}$ a független változók száma) a kimenő rendszerjellemzők (függő változók) relatív érzékenységet a

$$\mathbf{A} \delta \mathbf{y} = \mathbf{B} \delta \mathbf{x} \tag{3}$$

illetve

$$\delta \mathbf{y} = \mathbf{D} \delta \mathbf{x} \tag{4}$$

mátrixegyenletekkel tudjuk leírni, ahol

$$\mathbf{D} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \tag{5}$$

érzékenységi mátrix elemei megmutatják, hogy a független paraméterek változása a függő változók milyen mértékű csökkenését, illetve növekedését okozzák. Másképpen fogalmazva: mely be-

menő vagy belső rendszerjellemző változása bír a legnagyobb hatással a kimenő jellemzőkre. Mérnöki szempontból ez azt mutatja meg, mely bemenő vagy belső jellemző értékének – műszaki megoldással történő – javításával tudjuk a legnagyobb, illetve legkisebb mértékben javítani a rendszer kimenő jellemzőinek értékeit.

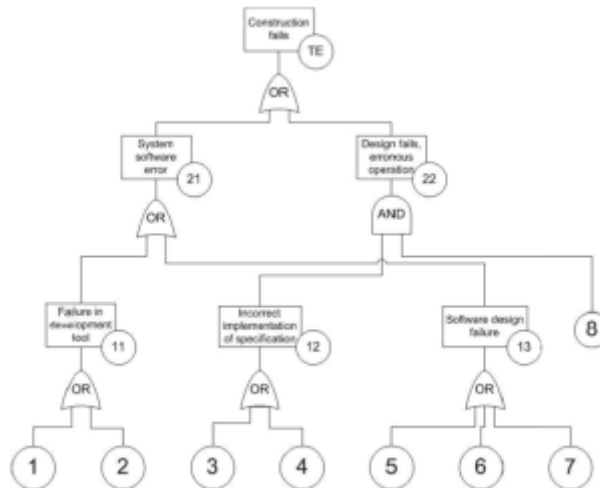
3. Kanonikus rendszerek megbízhatósági elemzése

A kanonikus rendszerek lényegi tulajdonsága az, hogy az egyes elemek vizsgálatakor „csak” két üzemállapotot különböztetünk meg: üzemképes, vagy üzemképtelen [3]. Egyszerű felépítésű kanonikus rendszerek megbízhatóság-elemzésének egyik legelterjedtebb módja a Hibafa-elemzés.

A Hibafa-elemzés során egy valós vagy feltételezett rendszerhibából, az úgynevezett főeseményből indulunk ki, és fokozatosan derítjük fel azokat a részrendszer alkotóelem meghibásodási lehetőségeket, melyek az adott, nem kívánt esemény bekövetkezéséhez vezetnek vagy vezethetnek [1].

A Hibafa-elemzés érzékenységvizsgálatának célja annak meghatározása, hogy az elemi események bekövetkezési valószínűségeinek változásaira milyen mértékben reagálnak – milyen mértékben érzékenyek – a hozzá kapcsolódó közbülső események és a főesemény bekövetkezési valószínűségei.

Szemléltetésképpen egy egyszerű példát mutatunk be, melyet az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Hibafa (mintapélda)

Hibafa moduláris érzékenység-elemzése során a vizsgált modulok a gráf különböző logikai kapui lesznek. Egy nem elemi (közbülső-, és fő-) esemény bekövetkezési valószínűsége, valamint annak érzékenységi együtthatója meghatározható az azt kiváltó események – melyek lehetnek tovább nem bontható, elemi vagy alacsonyabb szintű közbülső események – bekövetkezési valószínűségeinek, illetve a kapcsolatot leíró logikai kapu ismeretében, azaz:

ÉS kapu (ha mindegyik kiváltó ok kell a bekövetkezéshez) esetén:

$$P = \prod_{i=1}^k P_i \rightarrow K_i = 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (6)$$

VAGY (ha elegendő az egyik kiváltó ok a bekövetkezéshez) kapu esetén:

$$P = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - P_j) \rightarrow K_j = \frac{P_j}{P} \prod_{i=1, i \neq j}^k (1 - P_i) \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (7)$$

ahol: $P_i \in [0, 1] \subset \mathfrak{R} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, k\}$ az i -edik kiváltó esemény bekövetkezési valószínűsége; $k \in \mathfrak{N}$ a kiváltó események száma.

1. Táblázat. A Hibafa eseményei és a kiinduló adatok

<i>i</i>	Hiba típusa	P_i
1	fordítóprogram (compiler) hibája	0,0005
2	errata check (fordítókörnyezet ismert hibáinak figyelembevétele)	0,002
3	rendszer specifikáció követelményeit hibásan implementálták	0,01
4	szegmentációs hiba	0,005
5	hibásan implementált követelmények (interfész szempontjából)	0,01
6	rossz szoftver architektúra alkalmazása	0,005
7	nem megfelelően strukturált szoftver	0,005
8	a hardver felépítés szintű hibás port kiosztás	0,0005

Következő lépésként különválasztjuk a vizsgált Hibafa eseményeit az elemi és nem-elemi eseményekre (az utóbbiak mindegyike valamelyik logikai kapu kimenő – függő – változója).

Az 1. Táblázat adatainak felhasználásával a főesemény relatív érzékenységi vektora:

$$\mathbf{d} = [0,0218 \quad 0,0872 \quad 0,4331 \quad 0,2155 \quad 0,4398 \quad 0,2188 \quad 0,2188 \quad 0,0003254] . \quad (8)$$

A fő esemény relatív érzékenységi vektorából, ami a (4) egyenletben szereplő érzékenységi mátrix első sora, az alábbi következtetések vonhatók le:

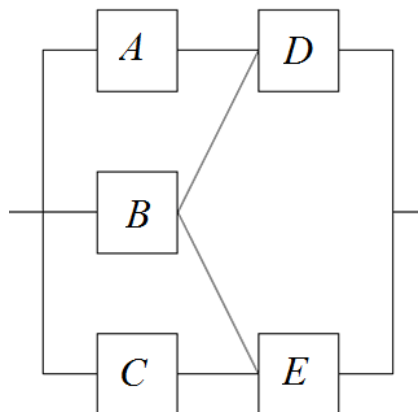
- rendszer specifikáció követelményei hibásan kerültek implementálásra;
- hibásan implementált követelmények (interfész szempontjából).

Az érzékenységelemzés mérnöki lényegének megértéséhez érdemes megnéznünk az 1. Táblázat, illetve a (8) vektor értékeit. Az **1** és **8** elem hiba bekövetkezési valószínűségei megegyeznek. Viszont, ha a főesemény érzékenységének mértékét vizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy a **8** elemi esemény bekövetkezési valószínűsége csökkentésének hatása két nagyságrenddel kisebb lesz, mint az **1** elemi esemény valószínűségének ugyanolyan mértékű csökkentése.

A mátrixalgebrai levezetés, illetve megoldás ismertetése a [7] irodalomban részletesen megismerhető.

4. Komplex kapcsolatú rendszerek megbízhatósága

A komplex kapcsolatú kanonikus rendszerekben az elemek közt található összetett kapcsolatok következtében a Hibafa-elemzés során a közbülső események nem tekinthetők független eseménynek, azaz az előző fejezetben leírt moduláris megközelítésű érzékenységelemzési eljárás nem megfelelő. Az ilyen struktúrájú rendszer vagy hálózat megbízhatóságának meghatározására egyik megoldásként a Boole-féle igazságtáblázatot célszerű alkalmaznunk.



2. ábra. Egy egyszerű komplex kapcsolatú rendszer (forrás: [3])

Szemléltetésképpen vizsgáljuk meg a 2. ábrán látható rendszert, mely öt elemet tartalmaz,

ahol az elemeket az alábbi két paraméterrel jellemzünk:

- az r_i megbízhatóságukkal, azaz a hibamentes működésük valószínűségével;
- a p_i meghibásodási valószínűségükkel.

Mivel e két állapot alkotja a teljes eseményteret (mivel a rendszer kanonikus), az alábbi egyenlőség írható fel:

$$p_i = 1 - r_i \quad (9)$$

A teljes rendszer lehetséges állapotait, illetve ezen állapotok bekövetkezési valószínűségeinek meghatározását szemlélteti a 2. Táblázat, ahol az állapotokat jelző oszlopokban az **1** üzembélyes, a **0** pedig hibás, működésképtelen állapotot jelöl.

Ez azt is jelenti, hogy a moduláris érzékenységelemzés során a lehetséges rendszerállapotokat tekintjük a moduloknak és alkalmazzuk a 3. fejezetben röviden, illetve a [5] irodalomban részletesen, bemutatott mátrixalgebrai eljárást.

A rendszer a 10; 11; 12; 14; 15; 16; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 26; 27; 28; 29; 30; 31 és 32 sor-számú állapotok valamelyikének fennállása esetén működőképes. Ezen események már egymástól függetlenek – egy időben csak az egyik állapotban lehet a rendszer –, ezért a rendszer megbízhatósága az

$$R_{\text{sys}} = Q_{10} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{14} + Q_{15} + Q_{16} + Q_{19} + Q_{20} + Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} + Q_{24} + Q_{26} + Q_{27} + Q_{28} + Q_{29} + Q_{30} + Q_{31} + Q_{32} \quad (10)$$

összegzéssel számítható ki.

2. Táblázat. A vizsgált rendszer lehetséges állapotai és azok bekövetkezési valószínűségei

i						R.	Q _i	i						R.	Q _i
	A	B	C	D	E				A	B	C	D	E		
1	0	0	0	0	0	0		17	0	0	0	0	1	0	
2	1	0	0	0	0	0		18	1	0	0	0	1	0	
3	0	1	0	0	0	0		19	0	1	0	0	1	1	$p_A r_B p_C p_D r_E$
4	1	1	0	0	0	0		20	1	1	0	0	1	1	$r_A r_B p_C p_D r_E$
5	0	0	1	0	0	0		21	0	0	1	0	1	1	$p_A p_B r_C p_D r_E$
6	1	0	1	0	0	0		22	1	0	1	0	1	1	$r_A p_B r_C p_D r_E$
7	0	1	1	0	0	0		23	0	1	1	0	1	1	$p_A r_B r_C p_D r_E$
8	1	1	1	0	0	0		24	1	1	1	0	1	1	$r_A r_B r_C p_D r_E$
9	0	0	0	1	0	0		25	0	0	0	1	1	0	
10	1	0	0	1	0	1	$r_A p_B p_C r_D p_E$	26	1	0	0	1	1	1	$r_A p_B p_C r_D r_E$
11	0	1	0	1	0	1	$p_A r_B p_C r_D p_E$	27	0	1	0	1	1	1	$p_A r_B p_C r_D r_E$
12	1	1	0	1	0	1	$r_A r_B p_C r_D p_E$	28	1	1	0	1	1	1	$r_A r_B p_C r_D r_E$
13	0	0	1	1	0	0		29	0	0	1	1	1	1	$p_A p_B r_C r_D r_E$
14	1	0	1	1	0	1	$r_A p_B r_C r_D p_E$	30	1	0	1	1	1	1	$r_A p_B r_C r_D r_E$
15	0	1	1	1	0	1	$p_A r_B r_C r_D p_E$	31	0	1	1	1	1	1	$p_A r_B r_C r_D r_E$
16	1	1	1	1	0	1	$r_A r_B r_C r_D p_E$	32	1	1	1	1	1	1	$r_A r_B r_C r_D r_E$

A komplex kapcsolatú rendszerek megbízhatósági modelljeiben a lehetséges rendszerállapotok bekövetkezési valószínűségei – lásd 2. Táblázat – az alábbi általános formában írhatóak fel:

$$Q_k = f_k(r_1; r_2; \dots; r_k) = \prod_{j=1}^n u_j(r_j) \quad , \quad (11)$$

ahol az u_j belső függvény az alábbi két forma egyikét veheti fel:

- ha a vizsgált elem üzemképes, akkor a belső függvény, illetve a (11) függvény r_j -szerinti érzékenységi együtthatója:

$$u_j = r_j \rightarrow K_{Q_k r_j} = 1 \quad ; \quad (12)$$

- ha a vizsgált elem hibás, akkor a belső függvény, illetve a (11) függvény r_j -szerinti érzékenységi együtthatója:

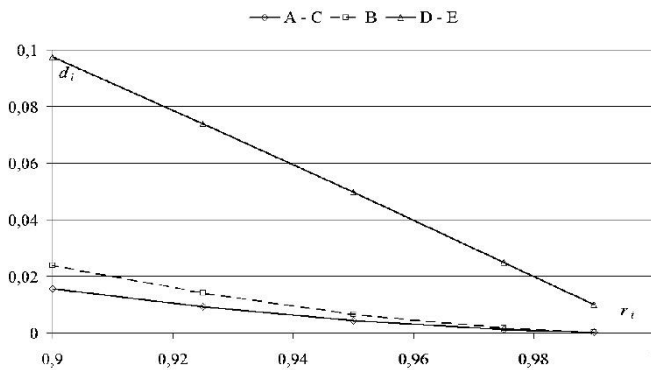
$$u_j = 1 - r_j \rightarrow K_{Q_k r_j} = -\frac{r_j}{Q_k} \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^n u_k \quad . \quad (13)$$

A rendszer megbízhatóságának – lásd (10) egyenlet – az üzemképes rendszerállapotok bekövetkezési valószínűségei szerinti érzékenységi együtthatók:

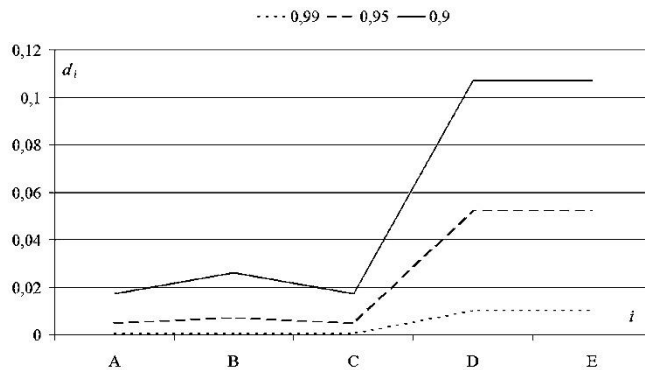
$$K_{Ri} = \frac{Q_i}{R_{sys}} \quad . \quad (14)$$

Az elvégzett elemzések, melyek során mindegyik elem ugyanazon megbízhatósággal rendelkezett. A kapott eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatóak le:

- Az elemek megbízhatóságának növelése esetén csökken a rendszer megbízhatóságának relatív érzékenysége (3. ábra).



3. ábra. A rendszer-megbízhatóság relatív érzékenysége az elem-megbízhatóságok függvényében



4. ábra. Rendszer-megbízhatóság relatív érzékenységei különböző elem-megbízhatósági értékek esetén

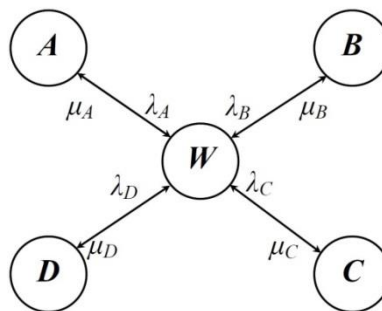
- A rendszer érzékenysége alapvetően „szimmetrikus”.
- A rendszer érzékenyebb a „második sorban” található **D** és **E** elemek megbízhatósági paramétereinek változására.
- Az „első sor” elemei közül a középső, **B** elem megbízhatóságával szemben nagyobb érzékenységet mutat a rendszer megbízhatósága, mint a másik két elem esetén (4.ábra).
- A módszer hátránya, hogy a rendszer lehetséges állapotainak száma exponenciálisan növekszik az elemek száma függvényében.

5. Üzemeltetési folyamat Monte-Carlo szimulációs elemzése

A műszaki eszközök karbantartása, javítása a mindennapi mérnöki tevékenységek egyik legfontosabb területe [9]. A technikai rendszerek üzemeltetése egy, a berendezésekre, azok üzemeltetését, karbantartását, előkészítését és javítását végző személyekre és eszközökre, illetve annak irányítására szolgáló utasításokra épülő összetett folyamat. Matematikai szempontból az üzemeltetés egy diszkrét állapotterű, utóhatásmentes sztochasztikus folyamat, így matematikailag azt Markov-lánccal tudjuk leírni, és rendszerszemléletű megközelítéssel elemezni [8].

Jelen fejezet egy eszközpark szükséges tartalékberendezés-számának megfelelő biztonsággal történő Monte-Carlo szimulációs becslési eljárását mutatja be.

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 45 napos – logisztikai időigényt is jelent.



5. 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 a végfelhasználó szempontjából végezzük, a javításhoz kötődő szállításokat is a javításokhoz kötjük, azaz azt az átlagos megfordulási idővel jellemezzük. Továbbá az is megállapítható, hogy a meghibásodások esetén a berendezés helyszíni cseréjének ideje elhanyagolható a meghibásodások közti, illetve megfordulási időkhöz képest, ezért ezen időigényektől a modellalkotás során eltekintünk.

3. Táblázat Mérés adatok statisztikai elemzésének eredményei

Meghibásodás (<i>i</i>)	A	B	C	D
Minta szám	23	24	25	21
Meghibásodások közti átlagidő $MTBF_i$ [óra]	183663	162129	152848	179820
Meghibásodási idők szórása [óra]	2035	1873	1618	2247
Megfordulási átlagidő $MRTT_i$ [óra]	1092,2	1081,8	161,86	1084,3
Megfordulási idők szórása [óra]	19,4	25,1	22,43	25,5

A meghibásodási és a javítási idők adatait a 3. Táblázat tartalmazza. A rendelkezésre álló adatok viszonylag kis száma miatt a statisztikai illeszkedésvizsgálatról eltekintettünk, és az általá-

nos mérnöki gyakorlatnak megfelelően feltételeztük, hogy a jellemzők normál valószínűségi eloszlással bírnak.

A folyamatot az 5. ábrán látható súlyozott élű, irányított gráffal szemléltetjük, ahol az élek súlyát az állapotváltási valószínűség sűrűsége,

$$\lambda_i = \frac{1}{MTBF_i} \quad , \quad \mu_i = \frac{1}{MRTT_i} . \quad (16)$$

meghibásodási, illetve megfordulási ráták jelentik.

A folyamat Kolmogorov-féle differenciál-egyenletrendszer – mely az állapotokban való tartózkodás valószínűségeinek időbeni változását írja le – az alábbi módon adható meg:

$$\begin{aligned} \frac{dP_W}{d\tau} &= -(\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D)P_W + \mu_A P_A + \mu_B P_B + \mu_C P_C + \mu_D P_D \\ \frac{dP_A}{d\tau} &= \lambda_A P_W - \mu_A P_A \\ \frac{dP_B}{d\tau} &= \lambda_B P_W - \mu_B P_B \\ \frac{dP_C}{d\tau} &= \lambda_C P_W - \mu_C P_C \\ \frac{dP_D}{d\tau} &= \lambda_D P_W - \mu_D P_D \end{aligned} \quad (15)$$

Mivel az általunk vizsgált folyamatot időben változatlanoknak tekinthetjük, így:

$$\frac{dP_W}{d\tau} = \frac{dP_A}{d\tau} = \frac{dP_B}{d\tau} = \frac{dP_C}{d\tau} = \frac{dP_D}{d\tau} = 0 \quad . \quad (16)$$

A megoldás további feltétele az is, hogy

$$\sum_{i=W}^D P_i(\tau) = 1 \quad , \quad (17)$$

amely azt fejezi ki, hogy az üzemeltetés tárgya csak a fenti öt állapot valamelyikében tartózkodhat.

Vizsgálatunkat alapvetően az üzemeltető szempontjából végeztük el. Így számunkra a legfontosabb kérdés a tartalékberendezések szükséges számának ismerete. Az N_{RNS} szükséges tartalékberendezés szám meghatározását a berendezés P_W rendelkezésre-állási valószínűség ismeretében tudjuk elvégezni az alábbi egyenlet segítségével:

$$N_{RNS} = \left\lceil \left(\frac{1}{P_W} - 1 \right) N \right\rceil \quad , \quad (18)$$

ahol: N a rendszerben működő berendezések száma (vizsgálatunk során: $N = 5000$).

4. Táblázat Szükséges tartalékberendezés szám a becslési bizonytalanság függvényében

Becslési bizonytalanság R	Rendelkezésre-állási valószínűség P_{RNS}	Szükséges tartalékberendezés szám N_{RNS}
10 %	0,98030	101
1 %	0,98008	102
0,5 %	0,98001	103

A szimulációs eredmények valószínűségi eloszlása alapján meghatározhatjuk a különböző becslési kockázati értékekhez tartozó szükséges tartalékberendezés számot. Ezen eredményeket tartalmazza a 4. Táblázat. Azaz, ha 102 darab tartalékberendezéssel rendelkezünk a hálózati

rendszeren belül működő 5000 darabon túl, annak a valószínűsége, hogy az egyik berendezés meghibásodása esetén nem lesz beépíthető tartalékberendezés 0,01 (1 %). Ezen valószínűség elfogadása vagy el nem fogadása már a menedzsment feladata.

6. Összegzés

A biztonsági, megbízhatósági és kockázati kérdések megválaszolása napjainkban egyre fontosabb feladatává válik a mérnöki társadalomnak. A Szerző legfőbb kutatási céljának tekinti olyan matematikai modellek, eszközök, rájuk épülő eljárások kidolgozását, melyek segítik a technikai rendszerek, folyamatok biztonságos működéséhez szükséges döntéseket. A tanulmány röviden bemutatta a témakörben doktoranduszokkal és az Óbudai Egyetem Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely ($\mu\beta\sigma$) keretein belül tevékenykedő hallgatóival közösen elért legújabb eredményeket.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban bemutatott tudományos eredmények elérését segítette Molnár Boglárka, Ványi Gábor, a *Virtual Lab of Process & System Modeling* egykori és mostani tagjai (Dr. Bera József, Mr. Vahid Farrokhi, Fenyvesi Csaba, Szamosi Barna, Varga Tamás, Portik Tamás, Vekov Géza), valamint az *Óbudai Egyetem Műszaki Biztonságtudományi Szakműhely* ($\mu\beta\sigma$) hallgatói (Tráj Krisztina, Bera Bálint, Farkas Levente). A Szerző ezúton is megköszöni az általuk nyújtott önzetlen segítséget.

Irodalomjegyzék

- [1] IEC: *Fault Tree Analysis (FTA)*. Genf: International Electrotechnical Commission, 1990.
- [2] Kehl Dániel: „Monte-Carlo-módszerek a statisztikában” *Statisztikai Szemle*, 2012. no 6. pp. 522 – 543.
- [3] Myers Albert: *Complex System Reliability*. London: Springer-Verlag, 2010.
- [4] Pokorádi László: *Rendszerek és folyamatok modellezése*. Debrecen: Campus Kiadó, 2008.
- [5] Pokorádi László: „Komplex kapcsolatú rendszerek megbízhatóságának moduláris érzékenységelemzése” *Repüléstudományi Közlemények* 27, no1. (2015) pp. 81-89.
- [6] Pokorádi László: „Karbantartási folyamat Monte-Carlo szimulációs elemzése.” *Repüléstudományi Szemelvények*. Szolnok: NKE KRI, 2016. pp. 37-56.
- [7] Pokorádi László, Ványi Gábor, „Gépjármű fékrendszer szoftverfejlesztésének Hibafa-elemzése” *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés: IFFK 2016*, paper 38. p. 4
- [8] Rohács József, Simon István: *Repülőgépek üzemeltetési zsebkönyve*. Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1989.
- [9] Szabó József Zoltán: *Műszaki diagnosztikai módszerek*. Budapest: Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2015.