

Kanonikus rendszerek hierarchikus megbízhatóság-érzékenységi elemzése

Pokorádi László

Óbudai Egyetem, Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(e-mail: pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)

Kivonat: A kanonikus rendszerek és azok megbízhatóságának elemzése számos jármű-, és közlekedésmérnöki területen kap fontos szerepet. Az egyik ilyen kérdés a teljes rendszer megbízhatóságának a különböző elemek megbízhatóságaival szembeni érzékenysége. A tanulmány célja a véges, nem komplex kapcsolatú kanonikus rendszerek megbízhatóságának és megbízhatósági érzékenységének hierarchikus elemzési módszerének bemutatása.

1. BEVEZETÉS

Az általános mérnöki gyakorlatban jelentős szerepet bír a különböző rendszerek megbízhatósági elemzése. Egy helyesen megalkotott matematikai modell segítségével előre kiszűrhetők az üzemeltetés során várhatólag fellépő műszaki hibák és azok következményeit (Pokorádi, 2019).

Jelen tanulmány az EFOP-3.6.2-16 „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” címet viselő projekt keretében készült. A kutatási konzorcium tagjai a Széchenyi István Egyetem, a Neumann János Egyetem, a Dunaújvárosi Egyetem és az Óbudai Egyetem (Lázár-Fülep, 2019).

A megbízhatóság-elemzési modelleket felhasználva megállapíthatjuk az adott technikai rendszer várható élettartamát, illetve adott üzemidőn belüli meghibásodási valószínűségét. A kanonikus rendszerek és az elemek vizsgálatakor „csak” két üzemállapotot különböztetünk meg: üzemképes vagy üzemképtelen. Ekkor nem vizsgáljuk külön a lehetséges meghibásodások módját az eszköz elhasználódásának folyamatát és mértékét.

Ezek a kétállapotú modellek rendkívül jól alkalmazhatók akár összetettebb rendszerek esetében is, ezért felhasználási területük elég változatos. Bármilyen rendszer kanonikus struktúráként modellezhető, amennyiben az elemeinek mindegyike Boole változóként kezelhető (Farkas, 2015).

A megbízhatósági diagram (Reliability Block Diagram – RBD) megmutatja, hogy milyen logikai kapcsolat van a rendszer működéséhez szükséges elemek között. A megbízhatósági (blokk) diagramnak is számos változata ismert. Ezen eltérő alkalmazások például Gertsbakh (2000) monográfiájából is megismerhetők.

Csiba (2011) a vasúti járművek megbízhatósági érzékenységi vizsgálatának fontosságára hívja figyelmet.

Kosztján (2016) tanulmánya szerint termelőrendszert megbízhatósági blokk diagrammal jellemezhetjük. Segítségével a rendszer megbízhatóságát (Total System Reliability – TSR)

határozhatjuk meg, amit a továbbiakban úgy értelmezünk, mint a helyes működés valószínűsége egy adott időintervallumban.

Kutatásunk célja olyan matematikai módszerek, eljárások kidolgozása, amelyek támogatják az autonóm járművekben és közlekedési rendszerekben megjelenő egyre nagyobb bonyolultsági fokot elérő hálózatok, rendszerek és hálózati-, vagy rendszerelemek megbízhatóságának elemzését. Ezek közé tartozik a járművekben alkalmazott szenzorhálózatok megbízhatóságának, illetve a hozzájuk kapcsolódó kockázatok vizsgálati eljárásainak kidolgozása, továbbfejlesztése.

A tanulmány célja a Megbízhatósági blokk diagram hierarchikus érzékenységi modellje (Hierarchical Sensitivity Model of Reliability Block Diagram – HSMoRBD) elemzési módszerének bemutatása egy esettanulmányon keresztül.

A tanulmány az alábbi fejezetekből áll: A második fejezet a megbízhatósági blokkdiagram elemzés módszerét mutatja be. A harmadik fejezetben az előzőekben felállított megbízhatósági modell moduláris érzékenységvizsgálata kerül leírásra. A negyedik fejezetben a modelleredményekből levonható következtetések olvashatók. Végezetül a Szerző összegzi a tanulmány eredményeit és megfogalmazza a jövőbeni kutatási célkitűzéseit.

2. A MEGBÍZHATÓSÁGI BLOKKDIAGRAM

A blokk-diagram megbízhatóság-elemző módszer az adott rendszer elemeinek megbízhatósági kapcsolatát ábrázolja és a részrendszerek, valamint a teljes rendszer működőképességére gyakorolt hatását mutatja be. Az egyes elemek megbízhatóságainak ismeretében – felhasználva a blokk-diagramm modellt – határozhatjuk meg a részrendszerek és a teljes rendszer megbízhatóságát. Az elemek egymáshoz való kapcsolata alapján alapvetően megkülönböztethetünk soros és párhuzamos felépítésű rendszereket (MSzT, 2017).

Sorosnak nevezzük azt a rendszert, amelyikben bármelyik elem meghibásodása a rendszer üzemképtelenségét okozza. Megbízhatósága az

2.1 Az első réteg

$$R = \prod_{i=1}^n r_i \quad (1)$$

formulával számolható, ahol:

r_i – az i -edik elem megbízhatósága;
 n – az elemek száma.

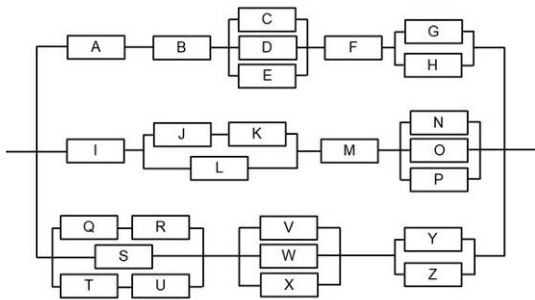
A soros rendszer redundancia-mentes, azaz nincs átfedés az elemek vagy részrendszerek között.

Párhuzamosnak nevezzük azt a rendszert, amelyik mindaddig üzemképes, amíg egyetlen eleme is még működőképes. Megbízhatósága az

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i) \quad (2)$$

módon határozható meg. Egy párhuzamos rendszer redundáns, vagyis funkció szempontjából egyik elem vagy részrendszer helyettesítheti a másikat, azaz a párhuzamos felépítésű rendszerek mindig tartalmaznak tartalékot.

A biztonságkritikus rendszerek, mint például a repülőgépek, és az autonóm járművek megbízhatósági blokkdiagramja összetett, nem alkalmazható közvetlenül a soros vagy rendszer elve.

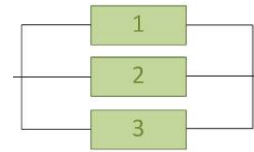


1. ábra A vizsgált rendszer

Fontos hangsúlyozni, hogy a megbízhatóság szempontjából vizsgált modellekben a soros és párhuzamos kapcsolat nem azonos az elemek valóságban (időben vagy térben) elfoglalt helyzetével. A modell készítésekor fontos tisztában lennünk a szerkezet működésével, és ez alapján kell meghatározni az elemek közti megbízhatósági kapcsolatot. Egy egyszerű példa erre: Képzeljünk el egy olyan vasúti szerelvényt, melyet két mozdony húz egyszerre. Ha az egyik mozdony meghibásodik, a másik még el tudja vontatni a vagonokat, tehát a rendszer működőképes marad. Belátható, hogy bár a szerelvény egymással fizikailag sorba kapcsolt elemekből áll, a rendszer megbízhatóság szempontjából mégis párhuzamos kapcsolatot jelent.

Vegyes kapcsolat esetén a rendszert úgynevezett rétegeket kialakítva kisebb alrendszerekre, blokkokra bontjuk, és a fenti két egyenlet valamelyikét használjuk, amíg el nem jutunk a teljes rendszer megbízhatóságáig. A vizsgált rendszer blokk-diagramját szemlélteti az 1. ábra.

Az első rétegben három párhuzamos ágat látunk, melyeket a 2. ábra szemléltet.



2. ábra A vizsgált rendszer első rétege

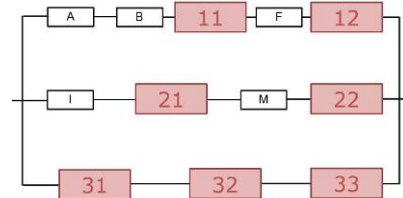
A teljes rendszer megbízhatósága az

$$R_{\text{sys}} = 1 - \{(1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3)\} \quad (3)$$

egyenlettel határozható meg.

2.2 A második réteg

A második rétegben három párhuzamos ág külön-külön sorba kapcsolt elemeit, illetve részrendszereit látjuk a 3. ábrán.



3. ábra A vizsgált rendszer második rétege

A második réteg három ágának megbízhatóságát külön kell meghatározni.

$$R_1 = r_A r_B R_{11} r_F R_{12} \quad (4)$$

$$R_2 = r_I R_{21} r_M R_{22} \quad (5)$$

$$R_3 = R_{31} R_{32} R_{33} \quad (6)$$

2.3 A harmadik réteg

A 4. ábrán szemléltetett harmadik réteg vizsgálatakor a második réteg 11; 12; 21; 22; 31; 32 és 33 részegységeinek megbízhatóságát külön kell meghatározni.

$$R_{11} = 1 - \{(1 - r_C)(1 - r_D)(1 - r_E)\} \quad (7)$$

$$R_{12} = 1 - \{(1 - r_G)(1 - r_H)\} \quad (8)$$

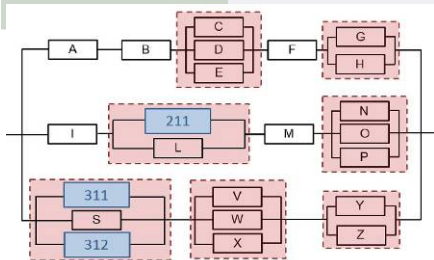
$$R_{21} = 1 - \{(1 - R_{211})(1 - r_L)\} \quad (9)$$

$$R_{22} = 1 - \{(1 - r_N)(1 - r_O)(1 - r_P)\} \quad (10)$$

$$R_{31} = 1 - \{(1 - R_{311})(1 - r_S)(1 - R_{312})\} \quad (11)$$

$$R_{32} = 1 - \{(1 - r_V)(1 - r_W)(1 - r_X)\} \quad (12)$$

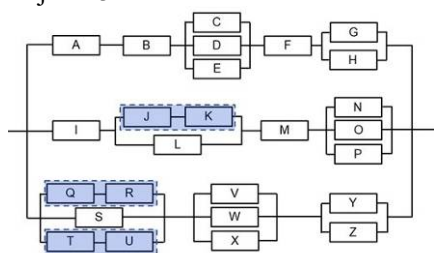
$$R_{33} = 1 - \{(1 - r_Y)(1 - r_Z)\} \quad (13)$$



4.ábra A vizsgált rendszer harmadik rétege

2.4 A negyedik réteg

Végezetül a negyedik rétegben három (211;311 és 312) részrendszerek látjuk a 3. ábrán.



5.ábra A vizsgált rendszer negyedik rétege

A réteghez kapcsolódóan a három részrendszer megbízhatóságai:

$$R_{211} = r_J r_K \quad (14)$$

$$R_{311} = r_Q r_R \quad (15)$$

$$R_{312} = r_T r_U \quad (16)$$

A rétegek vizsgálata és a részrendszerek megbízhatósága után a (3) – (16) egyenletek felhasználásával egy.

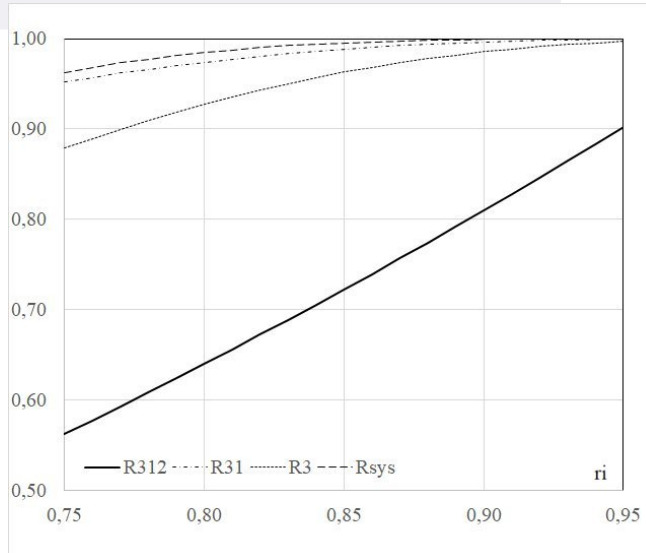
$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) \quad (17)$$

általános vektor-vektor függvényt tudunk felállítani, ahol:

\mathbf{x} – az elemek megbízhatóságainak vektora;

\mathbf{y} – a teljes rendszer és a részrendszerek megbízhatóságainak vektora.

A 6. ábra szemlélteti a 312; 31; 3 részrendszerek megbízhatóságának változását az elemek azonos értékű megbízhatóságának függvényében.



6.ábra A teljes rendszer és 3; 31 és 311 blokkok megbízhatóságainak változása az elemek megbízhatóságának függvényében

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} R_{sys} \\ R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_{11} \\ R_{12} \\ R_{21} \\ R_{22} \\ R_{31} \\ R_{32} \\ R_{33} \\ R_{211} \\ R_{311} \\ R_{312} \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} r_A \\ r_B \\ r_C \\ r_D \\ r_E \\ r_F \\ r_G \\ r_H \\ r_I \\ r_J \\ r_K \\ r_L \\ r_M \\ r_N \\ r_O \\ r_P \\ r_Q \\ r_R \\ r_S \\ r_T \\ r_U \\ r_V \\ r_W \\ r_X \\ r_Y \\ r_Z \end{bmatrix} \quad (18)$$

3. ÉRZÉKENYSÉGI ELEMZÉS

A megbízhatósági érzékenység elemzés célja annak meghatározása, hogy a teljes rendszer vagy valamely részrendszer megbízhatósága ennyire érzékeny a különböző elemek megbízhatóságának változására. Az érzékenység elemzés eredménye alapján meg tudjuk határozni, hogy mely elemek megbízhatóságának növelése bír legnagyobb hatással a teljes rendszer megbízhatóságára. Fontos hangsúlyozni, hogy az adott elem megbízhatóságát technikai megoldással kell növelni.

Egy általános, $f(x_1; x_2; \dots; x_m)$ alakban felírt függvény x_i független változóval szembeni érzékenységét a

$$K_{y, x_i} = \frac{\partial f(x_1; x_2; \dots; x_m)}{\partial x_i} \frac{x_i}{f(x_1; x_2; \dots; x_m)} \quad (19)$$

együttható bevezetésével határozhatjuk meg, amely felhasználásával az alábbi lineáris egyenletet kapjuk:

$$\delta y = K_{y1} \delta x_1 + K_{y2} \delta x_2 + \dots + K_{ym} \delta x_m, \quad (20)$$

amely a vizsgált rendszer paramétereinek relatív változásai közti kapcsolatot – azaz a kimenő jellemző relatív érzékenységét – írja le (Pokorádi, 2008).

A Megbízhatósági Blokk Diagram esetén az érzékenységi együtthatók az alábbi tipizált módon határozhatóak meg:

Soros megbízhatóságú rendszer vagy részrendszer esetén, felhasználva az (1) egyenletet:

$$R = \prod_{i=1}^n r_i \Rightarrow K_i = 1 \quad (21)$$

Párhuzamos megbízhatóságú rendszer vagy részrendszer esetén, a (2) egyenletet felhasználva:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - R_i) \Rightarrow K_i = \frac{R_i}{R_{\text{sys}}} \prod_{j=1, j \neq i}^m (1 - R_j) \quad (22)$$

Az így meghatározott érzékenységi együtthatók felhasználásával a (17) egyenlet alapján fel tudjuk írni a vizsgált rendszer megbízhatóságának

$$\mathbf{A} \delta \mathbf{y} = \mathbf{B} \delta \mathbf{x} \quad (23)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \quad (24)$$

$$\delta \mathbf{y} = \mathbf{S} \delta \mathbf{x} \quad (25)$$

általános lineáris érzékenységi modelljét, ahol:

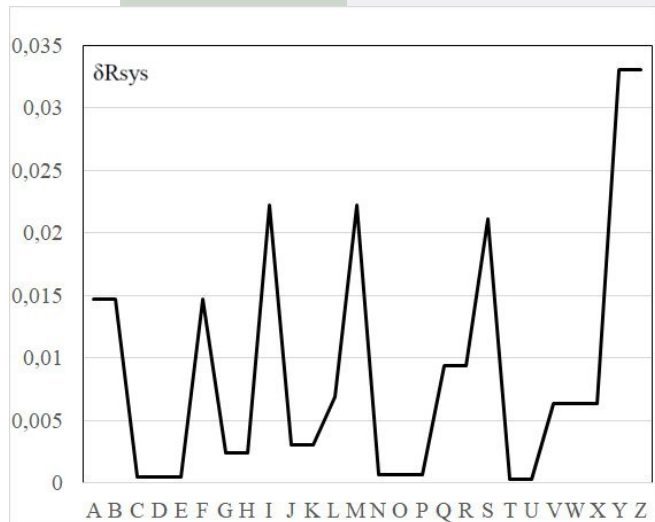
- A** – függő események együttható mátrixa;
- B** – független események együttható mátrixa;

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -K_1 & -K_2 & -K_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -K_{211} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -K_{311} & -K_{312} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

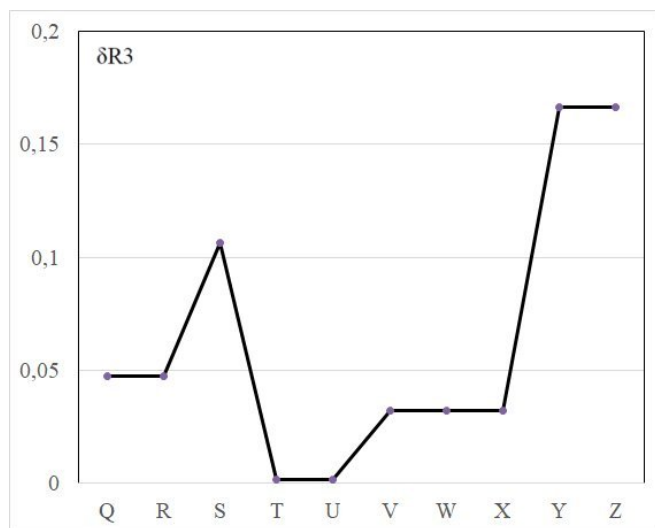
$$\mathbf{B}^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_C & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_D & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_E & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_G & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_H & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_L & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_O & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_P & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_V & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_W & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_Y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_Z & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

S – a rendszer megbízhatóságának relatív érzékenységi együttható mátrixa.

Az **S** relatív érzékenységi együttható mátrix i -edik sorának j -edik eleme azt mutatja meg, hogy az i -edik függő esemény bekövetkezési valószínűségének relatív változását milyen mértékben befolyásolja a j -edik független esemény bekövetkezési valószínűségének (a rendszer j -edik elem üzemképessége) relatív változása. A 7. ábra a teljes rendszer, illetve a 8. ábra a 3 számú részrendszer megbízhatóságának érzékenységét szemlélteti.



7.ábra A teljes rendszer megbízhatóságának érzékenysége az elemek megbízhatóságára ($r_i = 0.8$)



8.ábra A 3 számú blokk megbízhatóságának érzékenysége az elemek megbízhatóságára ($r_i = 0.8$)

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett megbízhatósági és megbízhatóság-érzékenységi elemzések eredményei alapján vonható következtetések az alábbiakban foglaljuk össze:

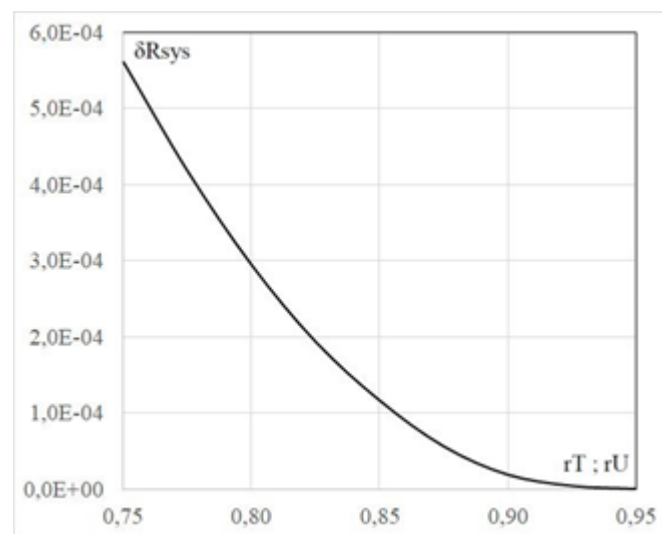
4.1 A vizsgált rendszer megbízhatóságával kapcsolatos következtetések

A. a 312 számú blokk megbízhatósága négyzetesen növekszik az elemek megbízhatóságának növekedése esetén;

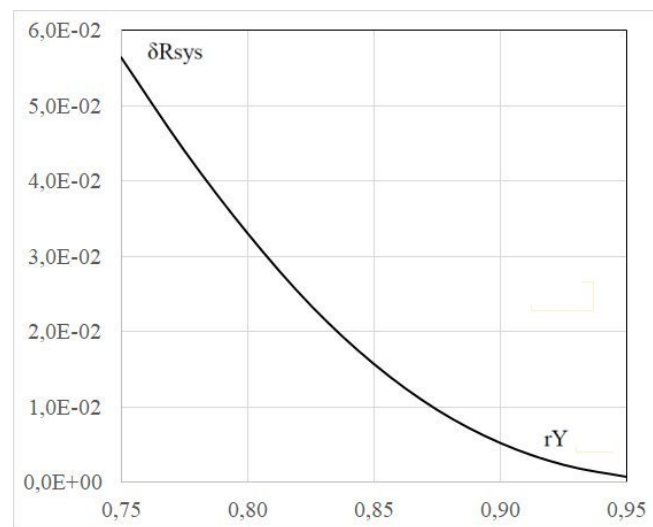
Ennek oka az, hogy a blokk csak soros kapcsolatú elemekből áll.

B. a 31 és 3 számú blokkok, valamint a teljes rendszer megbízhatósága aszimptotikusan közelítenek az 1-hez

az elemek megbízhatóságának növekedése esetén; Ennek az az oka, hogy mindegyikőjük tartalmaz párhuzamosan kapcsolódó alsóbb rétegbe, vagy rétegekbe tartozó összetevőket.



9.ábra A teljes rendszer megbízhatóságának érzékenységének változása a T és U elemek az elemek megbízhatóságának függvényében



10.ábra A teljes rendszer megbízhatóságának érzékenységének változása az Y és Z elemek az elemek megbízhatóságának függvényében

C. a 3 számú blokk megbízhatósága kisebb, mint a 31 számú blokk megbízhatósága;

Ez azzal magyarázható, hogy a magasabb rétegben lévő 31 számú blokk két másik alacsonyabb rétegbe tartozó, a 31 számú blokkal soros kapcsolatban lévő, összetevőt is tartalmaz.

4.2 A vizsgált rendszer megbízhatósági érzékenységgel kapcsolatos következtetések

- D. a rendszer megbízhatósága legnagyobb mértékű érzékenységgel az Y és a Z elemek megbízhatóságával szemben bír;

Ezen következtetés alapján kijelenthető, hogy a teljes rendszer megbízhatóságának leghatékonyabb növelése érdekében az Y és Z elemek megbízhatóságát célszerű javítani – valamilyen műszaki, technológiai vagy szervezési megoldással.

- E. a rendszer megbízhatósága legkisebb mértékű érzékenységgel a T és az U elemek megbízhatóságával szemben bír;
- F. a rendszer érzékenysége csökken, aszimptotikusan közelít a nullához az elemek megbízhatóságának növekedése esetén.

4.3 A Megbízhatósági blokk diagram hierarchikus érzékenységi modellje (Hierarchical Sensitivity Model of Reliability Block Diagram – HSMoRBD) módszerrel kapcsolatos következtetések

- G. jól algoritmizálható;
- H. a rész-érzékenységi együtthatók – az azonos struktúrájú függvények következtében – könnyen meghatározhatók;
- I. a tipikus, vagy tipizálható részegységek érzékenységi együtthatói struktúrája azonos, így csak a paramétereik behelyettesítésével egyszerűen kiszámíthatók;
- J. az érzékenységi mátrix megadja a különböző rétegek (részrendszerek, elemcsoportok) érzékenységi együtthatóit is.

Ezt szemlélteti a 7. és 8. ábra.

- K. a D és E következtetések alapján a Szerző javasolja a „strukturális érzékenység” és a „strukturális érzékenységi együttható” fogalmak bevezetését.

A strukturális érzékenységi együttható az adott komponens megbízhatóságának a teljes rendszer megbízhatóságára gyakorolt hatását konstrukciós szempontból jellemzi. Értékét csak az adott rendszerben való elhelyezkedése határozza meg – nem az elem megbízhatóságának értéke.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány véges, nem komplex kapcsolatú kanonikus megbízhatóságának és megbízhatósági érzékenységének elemzésére kidolgozott Megbízhatósági blokk diagram hierarchikus érzékenységi modellje (Hierarchical Sensitivity Model of Reliability Block Diagram – HSMoRBD) eljárást mutatta be. A kitűzött célból, és az elért eredményekből adódóan általánosítható eredmények születtek a technikai rendszerek és hálózatok modellezései feltételeinek, valamint a felállított modellek, algoritmusok gyakorlati alkalmazási

módjainak leírására.

Az elemzési módszer kidolgozása során szerzett tapasztalatok felhasználhatóak anyag-, és/vagy energia, illetve közlekedési, logisztikai vagy informatikai hálózatok és rendszerek megbízhatóságának érzékenység és parametrikus bizonytalanság elemzéseire is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával megvalósuló EFOP-3.6.2-16-2017- 00016: „Autonóm járművek dinamikája és irányítása az automatizált közlekedési rendszerek követelményeinek szinergiájában” projekt támogatta..

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Csiba J. (2011), A műszaki rendszerek megbízhatósága érzékenység vizsgálatának szükségessége és módszere, In: *MÁV Zrt. Vasúti Mérnöki – és Mérésügyi Szolgáltató Központ Évkönyve* Mezei, István (szerk.), Budapest.
- Farkas L. (2015), Kanonikus struktúrák megbízhatósági elemzése, ÓE.MEI, TDK dolgozat, Budapest (konzulens: Pokorádi László)
- Gertsbakh I. (2000), Reliability Theory – With Applications to Preventive Maintenance, Berlin.
- Kosztján Zs. T. (2016). Bekössük? Ne kössük? – avagy a hálózatelmélet alkalmazása a karbantartás-menedzsmentben. *VEZETÉSTUDOMÁNY* 47: 9 pp. 26-40.
- Lázár-Fülep, T. (2019), Egy folyamatban lévő tudományos kutatás áttekintése a nagybonyolultságú járműrendszerek megbízhatósági kérdéseiről. In: *IFFK 2019: XIII. Innováció és fenntartható felszíni közlekedés*, Péter, Tamás. (szerk.), p. 4., Budapest
- Magyar Szabványügyi Testület (2017), Megbízhatósági tömbdiagramok MSZ EN 61078:2017 (IEC 61078:2016), Budapest.
- Pokorádi L. (2008), Rendszerek és folyamatok modellezése Campus Kiadó, Debrecen.
- Pokorádi L. (2019), Models in Safety Management, *Machine Design* 11 : 3 pp. 85-94. ,
- Pokorádi L., Barányi I. (2020), Hierarchical Sensitivity Analysis of Reliability Block Diagram, *Gép, LXXI* : 3-4 pp. 81-85.