

Novák Mátyás¹ – Békési Bertold² – Kárpáti Attila³ – Zsigmond Gyula⁴

EGYSZERŰSÍTETT UAV IRÁNYÍTÓ RENDSZER MEGBÍZHATÓSÁGI VIZSGÁLATA⁵

A cikkben egyszerűsített repülőgép irányító rendszer megbízhatósági elemzésével foglalkozunk. A vizsgálatokban 1+1 típusú tartalékolást tételezünk fel, azaz a rendszer 2 számítógépet és 3 érzékelő csoportot tartalmaz. Minden érzékelő csoportban két egyenértékű érzékelő van. A vizsgálatokat a diszkrét homogén Markov-folyamatok felhasználásával végezzük. Megadjuk a feltételezett rendszer állapotgráfját, majd módszert adunk a fontosabb megbízhatósági jellemzők számítására. A cikk néhány számítási eredmény ismertetésével zárul.

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF UAVs

This paper deals with the reliability analysis of a simplified control system of an aircraft. In the investigations 1+1 redundancy is assumed, i.e. the system consists of 2 computers and 3 sensor groups. There are two equivalent sensors in every sensor group. The discrete homogenous Markov-process is used in our investigation. We show the state graphs of the hypothetical system, then a method will be given for the calculation of the main features of reliability. At the end the paper brings out some calculation results.

1. A LEGFONTOSABB DEFINÍCIÓK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

Minden rendszernek két alapállapota van, ezek: 0 → hibátlan állapot, F → hibás állapot. Redundáns rendszereknél a két alapállapot között köztes állapotok is fellépnek, amikor a rendszer bizonyos részei már hibásak, de a rendszer az eredeti feladatát még el tudja látni. A közbülső állapotokból lehetséges az elmozdulás a további meghibásodások, illetve a 0 állapot (javítás) felé. Számításokkal minden állapotban való tartózkodási valószínűsége meghatározható, mint az idő függvénye, ahol az n-ik állapotban való tartózkodás valószínűsége $P_n(t)$. Az egyes állapotok közötti átmeneteket az egyes átmenetekhez tartozó meghibásodási ráták (λ) és az átlagos javítási idők (μ , **MTTR**⁶) határozzák meg. Egy rendszer leginkább ismert megbízhatósági jellemzője az **MTBF**⁷ érték, ami a meghibásodások között eltelt idők középértéke. Az MTBF érték a F állapotban való tartózkodás valószínűségével arányos. Gyakorlati esetekben a készülék hasznos élettartama alatt $\lambda =$ állandó értéket tételezünk fel. λ erős növekedése a hasznos élettartam végét jelzi. [1]

1 doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Automatizálási és Alkalmazott Informatika Tanszék, matti@xtigmatic.hu

2 dr; okl. mk. alez. egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Üzemeltető Intézet Katonai Repülő Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

3 dr; egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Automatizálási és Alkalmazott Informatika Tanszék, karpai@aut.bme.hu

4 prof. dr; zsigmond.gyula@uni-nke.hu

5 Lektorálta: Prof. Dr. MAkKay Imre egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

⁶ Mean Time To Repair

⁷ Mean Time Between Failure

Alapesetben: $\lambda(t) = \lambda$ (const)

$$\lambda = -\frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R} \rightarrow \frac{R'}{\lambda} + R = 0 \quad (1)$$

$$R = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R_0=1, \text{ és MTBF} = 1/\lambda \quad (3)$$

A másik, gyakran használt definíció, a rendelkezésre állás (**A**), amely annak a valószínűsége, hogy a teljes, javítható rendszer adott időpillanatban működőképes állapotban van. Számítása:

$$A = \text{MTBF}/(\mu + \text{MTBF}) \quad (4)$$

Kritikus esetekben a minősítésre, az adott időtartamra vonatkozó kiesési valószínűséget (SIL⁸) használják. [4][5]

2. AZ ÁLTALÁNOS MÓDSZER RÖVID ISMERTETÉSE

Mint ahogy azt fentebb említettük, a diszkrét homogén Markov-folyamatok elméletének alkalmazásával a vizsgált rendszer időbeli viselkedése jól vizsgálható [2, 3]. Az 1. ábrán láthatjuk a vizsgált, n állapotot tartalmazó rendszer állapotgráfjának csomópontjait, valamint az egyes állapotok közötti átmeneteket. Ilyen típusú rendszerek leírása a következő differenciálegyenlet rendszerrel lehetséges:

$$\begin{aligned} P'_0 &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{0,i} \cdot P_i \\ P'_1 &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{1,i} \cdot P_i \\ &\vdots \\ P'_{n-2} &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{n-2,i} \cdot P_i \\ P'_F &= \sum_{i=0}^{F=n-1} a_{F,i} \cdot P_i \end{aligned} \quad (5)$$

ahol:

P_i - az i-ik állapot elérésének valószínűsége;

a_{ij} - pedig a gráf j-ik pontjának az i-ik pontjára gyakorolt hatása az állapot átmenet alatt (esemény sűrűség).

A következő jelölések bevezetésével a rendszeregyenletek egyszerűsödnek:

$$P' = A P \quad (6)$$

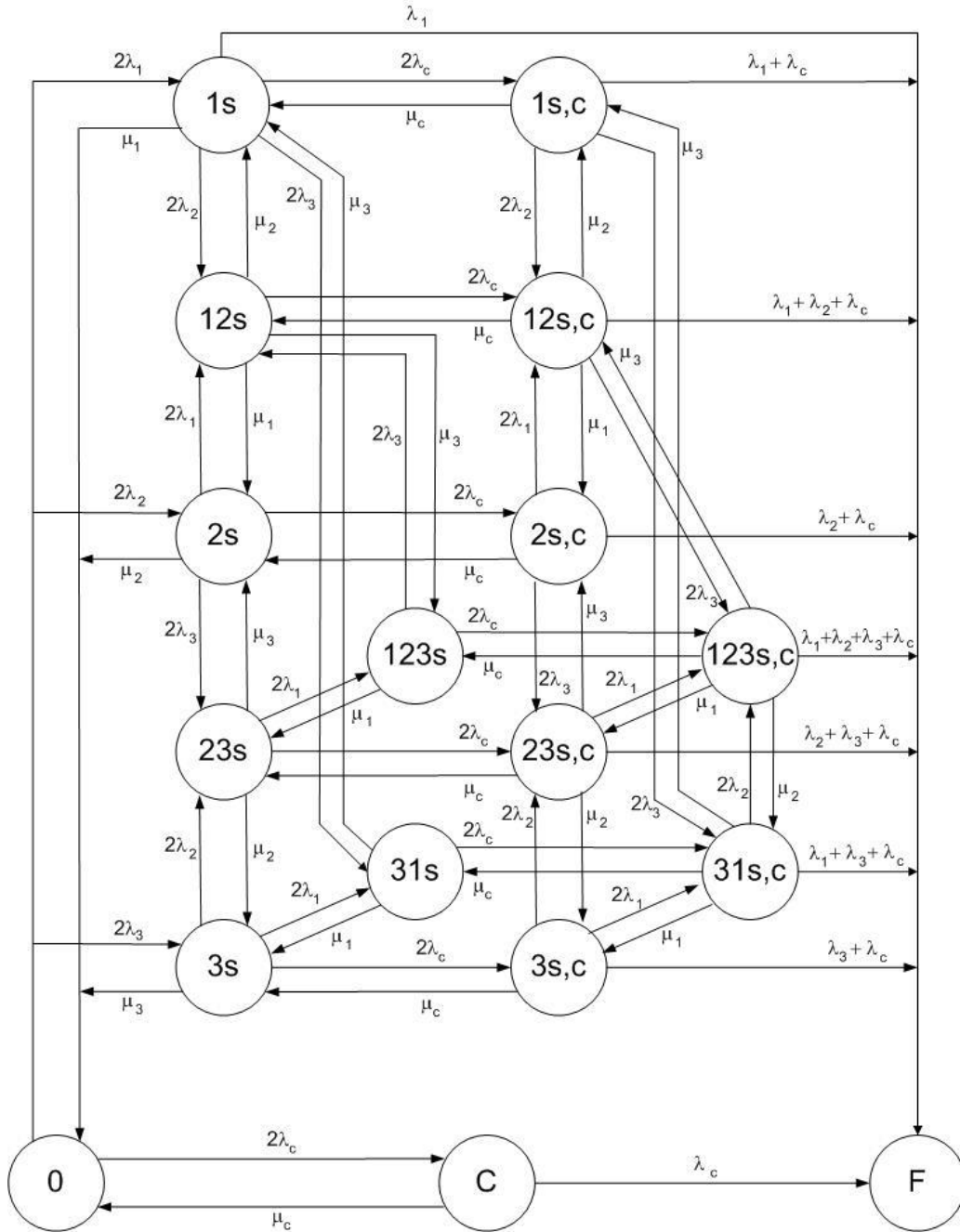
⁸ Safety Integrated Level

Az egyenletrendszer integrálva, a különböző állapotokhoz tartozó $P_i(t)$ függvények meghatározhatók. A $P_F(t)$ függvény integrálásával, az MTBF érték a következőképpen számítható:

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt, (t = 0 \rightarrow \infty) \quad (7)$$

Az alábbiakban megadott módszert alkalmazva az integrálás elhagyható. A Laplace-transzformáció végrehajtásával a következő összefüggés adódik:

$$s P(s) - e_1 = A P(s) \quad (8)$$



1. ábra A berendezés állapotgráfja

$$P = \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{n-2} \\ P_F \end{bmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,n-2} & a_{0,F} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,n-2} & a_{1,F} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ a_{n-2,0} & a_{n-2,1} & \cdots & a_{n-2,n-2} & a_{n-2,F} \\ a_{F,0} & a_{F,1} & \cdots & a_{F,n-2} & a_{F,F} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Az egyenlet rendezése után, a $P(s)$ vektort az alábbi formában kapjuk meg:

$$P(s) = B^{-1} e_1 \quad (10)$$

ahol: $B = sE - A$ (E az egységmátrix), és $e_1^T = [1 \dots 0, 0]$ a kezdeti értékek vektora.

A rendszer MTBF értékének meghatározásához $P_F(s)$ ismerete szükséges. Az alábbi szorzás végrehajtásával $P(s)$ vektorból $P_F(s)$ meghatározható:

$$P_F(s) = e_F^T P(s) = e_F^T \cdot B^{-1} \cdot e_1 \quad (11)$$

ahol: $e_F^T = [0, 0, \dots, 0, 1]$.

A (7)-es kifejezést alkalmazva, a rendszer MTBF értékére az alábbi kifejezéssel kapjuk:

$$MTBF = - \frac{d}{ds} (s \cdot e_F^T \cdot B^{-1} \cdot e_1) \Big|_{s=0} \quad (12)$$

Végrehajtva a megfelelő mátrix műveleteket, az eredmény a következő formában írható:

$$MTBF = - \frac{d}{ds} (s \cdot B_{n,1}^{-1}) \Big|_{s=0} \quad (13)$$

ahol: $B_{n,1}^{-1}$, a B mátrix $[n, 1]$ eleme.

3. A VIZSGÁLT RENDSZER

Az 1. ábrán láthatjuk a rendszer megbízhatósági blokk diagramját. A rendszernek 3 redundáns érzékelő csoportja (csoportonként 2 érzékelő) és egy redundáns számítógép csoportja (rendszerenként 2 számítógép) van. A redundancia számszerűen mindig kettő. A gráfot a következő feltételezésekkel készítettük:

- egy hibátlan számítógép esetén lehetőség van a hibás érzékelők kapcsolására;
- az MTTR egyenlő az $MTTR_{real} +$ átlagos repülési idő;
- egy érzékelő csoporton belüli, két érzékelő meghibásodása esetén, az egész rendszer hibás;
- az állapotok közötti átmeneteket, a meghibásodási ráták (λ) és az átlagos javítási idők adják;
- $\mu = 1/MTTR$.

A tartalékolt 3 érzékelős rendszer állapotai a következők:

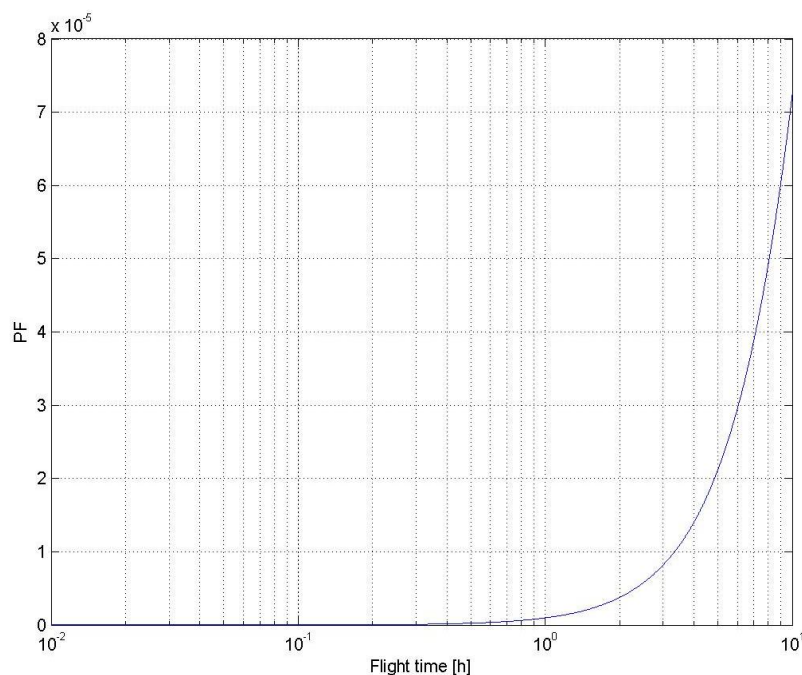
- (0): hibátlan rendszer;
- (F): hibás rendszer;
- (c): valamelyik számítógép meghibásodott;
- (1s), (2s), (3s): az 1., a 2., vagy a 3. érzékelő csoportban egy elem meghibásodott ($2\lambda_1, 2\lambda_2, 2\lambda_3$);

- (12s), (23s), (31s): két érzékelő csoportban egy-egy elem meghibásodott;
- 123s: mindhárom érzékelő csoportban egy-egy elem meghibásodott;
- (1s,c), (2s,c), (3s,c): az x. érzékelő csoportból egy elem és az egyik számítógép meghibásodott;
- (12s,c), (23s,c), (31s,c): mindkét érzékelő csoportból egy-egy elem, valamint egy számítógép meghibásodott;
- (123s,c): mindhárom érzékelő csoportból egy-egy elem, továbbá egy számítógép meghibásodott.

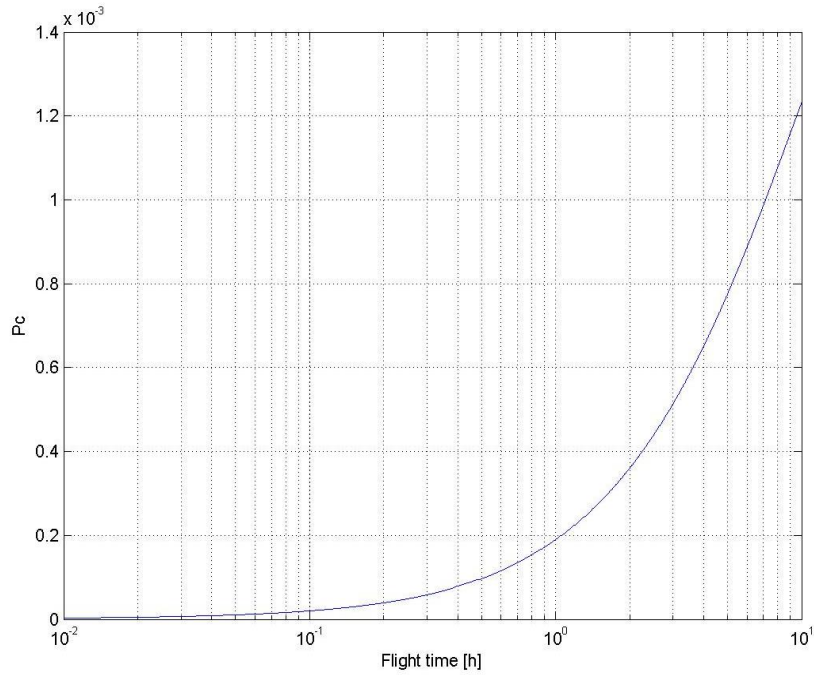
4. NÉHÁNY, ELVÉGZETT SZÁMÍTÁS EREDMÉNYEINEK RÖVID ISMERTETÉSE

A számítási eredmények ismertetésével célunk elsősorban a módszer hatékonyságának ismertetése. A valószínűségi változók időfüggvényei az (5) állapotegyenlet integrálásával határozhatók meg. A MATLAB segítségével végzett szimuláció bemeneti paraméterei a következők voltak:

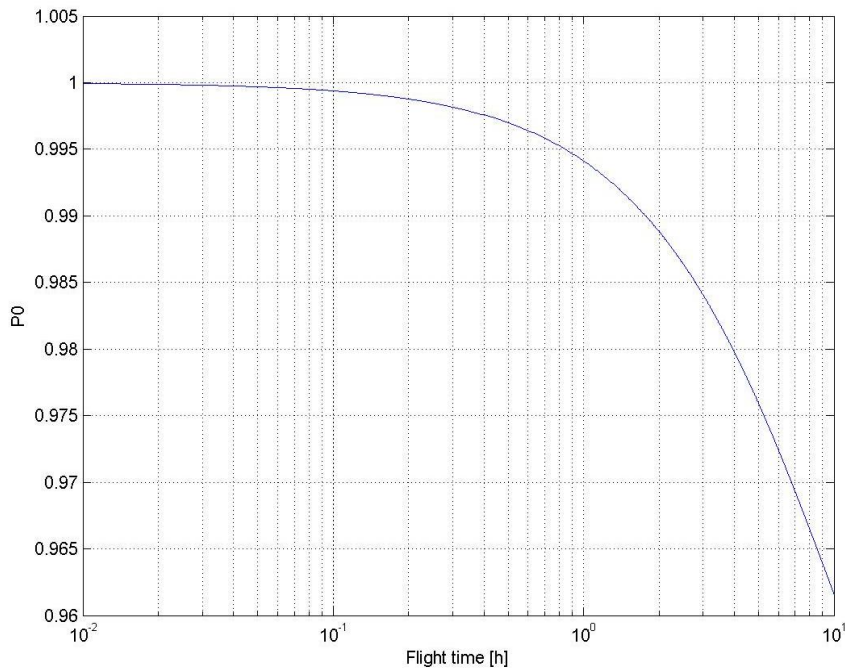
- A kiesési hánnyadosok: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 10^{-4}/\text{óra}$; $\lambda_C = 10^{-5}/\text{óra}$;
- MTTR=10 óra, (10 órás repülési időt feltételezve), $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_C = 1/\text{MTTR} = 0,1/\text{óra}$.



2. ábra PF - a teljesen hibás rendszer kialakulásának valószínűsége

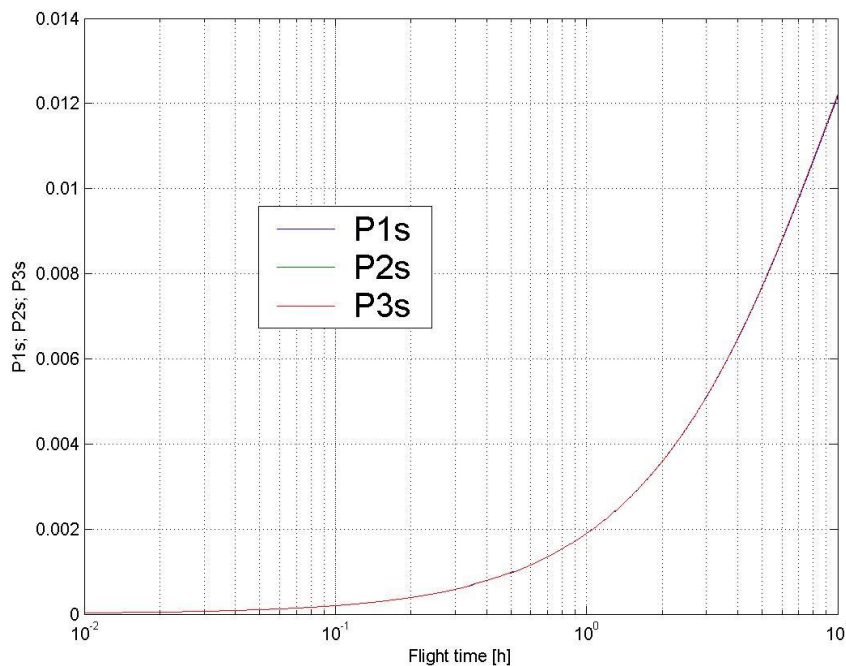


3. ábra Pc - egy számítógép kiesésének valószínűsége



4. ábra P0 - Teljesen hibátlan állapot fennállásának valószínűsége

Az 2-4. ábrák alapján megállapítható, hogy a pilóta nélküli repülőgép teljesen hibátlan állapotban maradási valószínűsége (P0), 10 órás repülési idő után kb. 96%-os. Az üzemképtelen állapotba való jutásának a valószínűsége igen csekély (PF=0,008%) a 10 órás repülési idő leteltekor is. Egy számítógép kiesésének valószínűsége ugyancsak a 10. órában kb. 0,12%.



5. ábra A három érzékelő közül 1-1 db kiesésének valószínűsége.

Az érzékelő csoportok azonos kiesési rátái miatt, bármely érzékelő csoportból egy elem meghibásodási valószínűségének (P1s, P2s, P3s) időfüggvénye azonos. Az első eltelt órától az utolsó óráig (10) megfigyelhetően az érzékelő csoportok bármelyikének kiesési valószínűségében bekövetkező legnagyobb változás (0,2 % \rightarrow ~1,2 %). Tehát a levegőben töltött 10. órában legfeljebb hatszor nagyobb valószínűséggel hibásodik meg bármelyik érzékelő csoportban egy elem, mint az első órában.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A diszkrét homogén Markov-folyamatok alkalmazása hasznos módszer a megbízhatósági folyamatok vizsgálatához, mivel időtartományban a rendszer viselkedését követhetjük nyomon. Hátrányként említhető, hogy az állapotgráfok meglehetősen bonyolultak, de számítógépes programok segítségével gyorsan hasznos eredményekre vezetnek.



TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

Alprogram: Adatintegráció

Kiemelt kutatási terület: A pilóta nélküli Légitűeszközök alkalmazásának Légi közlekedés-biztonsági aspektusai.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BIROLINI, A.** *Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme. Theorie, Praxis, Management*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-NewYork-London-Paris, 1988.
- [2] **KÁRPÁTI, A., SZENTAI, E., IPSITS, I., HERMANN, I.** Computerized reliability study of thyristorized continuous power supply systems. *Problem of Control and Information Theory*. Budapest, 1976. Vol.(5-6), pp.459-471.
- [3] **KÁRPÁTI, A., IPSITS, I.** *Energiaellátó rendszerek megbízhatósága*. Magyar Távközlés, Budapest, 1997. VIII. évf., 8. szám, pp 9-14.
- [4] MIL-STD-721C, *Definitions of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Factors, and Safety*, 12 June 1981.
- [5] **BÉKÉSI, B., ZSIGMOND, Gy.** An applicable method of analysis of the failures of aircraft systems. *Proceedings of the 11th International Conference, Transport Means, Kaunas*, pp. 226-229, (10. 18-19. 2007.)