

Szilágyi Győző Attila

A LÉGI BALESETEK FRAKTÁLDIMENZIÓJA

A légiközlekedésben kiemelt fontosságú, hogy megelőzhetőek legyenek a légi balesetek. Ennek érdekében a repülés minden területén szabályozott folyamatokat alkalmaznak, és a hagyományos statisztikai elemzések mutatói alátámasztják ennek a szabályozott rendszernek az eredményességét. A légiközlekedés biztonságát azonban számos tényező befolyásolja. Hatással vannak rá az emberek, a műszaki berendezések, az időjárás, és természetesen a véletlen is, és ezek együtt egy komplex rendszert alkotnak, amiben nehéz megkülönböztetni a véletlen eseményeket a zajos, de determinisztikus eseményektől. Jelen kutatásban a káosz és a komplexitás tudományának eszközeivel vizsgáljuk, hogy a légi balesetek vajon véletlen események, vagy található bennük valamilyen mintázat, aminek feltárásával tovább lehetne csökkenteni a légi balesetek számát.

Kulcsszavak: légi balesetek, kaotikus dinamika, komplex rendszerek, nemlineáris elemzések

I. BEVEZETÉS

A légiközlekedés olyan terület, ahol kiemelkedően magasak a biztonsági követelmények. A repülés területén az érintettek nagy hangsúlyt helyeznek a biztonságra. Folyamatosan mérik, dokumentálják, elemzik a repülésekkel kapcsolatos adatokat és eseményeket, saját tapasztalataikat megosztják egymással, más tapasztalatait pedig rövid időn belül beépítik saját folyamataikba. A légiközlekedés minden területén szabályozott folyamatokat működtetnek, amiknek köszönhetően csökkenthető az emberi hiba lehetősége, korán felderíthetőek a műszaki meghibásodások, és csökkenthető a véletlen hatása a repülésben. Bár mindezek eredményeképpen a polgári repülés baleseti statisztikái a legtöbb közlekedési fajtánál jobb eredményt mutatnak, mégis történnek időnként légi balesetek. Jelen tanulmányban arra keressük a választ, hogy a légi balesetek mennyire véletlenszerű események.

II. A REPÜLÉS, MINT KOMPLEX RENDSZER

A légiközlekedés biztonságát tapasztalatokon alapuló, szabályozott és folyamatos fejlesztés alatt álló rendszerek biztosítják, legyenek azok műszaki, kommunikációs, meteorológia, irányítási, vagy egyéb rendszerek. Ezek a rendszerek egymással, az egyes rendszereket kiszolgáló és működtető emberekkel, és az időjárással együtt, egy igen bonyolult, úgynevezett komplex rendszert alkotnak. Rendszerelméleti szempontból fontos, hogy különbséget tegyünk komplikált és komplex rendszerek között. Nem attól lesz egy rendszer komplex, hogy sok elemből áll, vagy hogy a rendszert alkotó rendszerelemek között nagyszámú kapcsolat áll fenn. Amennyiben egy rendszer elemei között lineáris összefüggésekkel leírható kapcsolatok vannak, a rendszer lehet komplikált ugyan, de ettől még állapotváltozása teljesen kiszámítható. A komplex rendszerekre az jellemző, hogy nem csupán nagyszámú rendszerelem alkotja azokat, de a rendszer egyes elemei egymással bonyolult, visszacsatolásokat is tartalmazó, nemlineáris kapcsolatban állnak. [1] A komplex rendszerekben egy rendszerelem jelentéktelennek tűnő kis állapoteltérése is okozhat a rendszerben nagymértékű változást, és a következmények nem mindig kiszámíthatóak. A komplex rendszerek viselkedése nem vezethető le a rendszer elemeinek viselkedéséből, sőt, attól teljesen eltérő viselkedést is mutathat. [2] A gyakorlatban a társadalmi, mű-

szaki, természeti rendszerek komplex rendszerként viselkednek, és bizonyos állapotváltozásokra –esetenként függetlenül a hatás mértékétől – nemlineáris módon reagálnak. [3]

A repülésbiztonság több területet is magában foglal, hatással van rá az emberi tényező, az időjárás, a műszaki berendezések, ezen felül még az is befolyásolja, hogy e területekről érkező hatások térben és időben hogyan viszonyulnak egymáshoz, és természetesen megtalálható a véletlenszerűség is a rendszerben. Mindezek alapján olyan rendszer körvonalazódik, amiben egyszerre van jelen a determinizmus és a véletlenszerűség, ezért jogosan feltételezhetjük, hogy valójában nem egy sztochasztikus, hanem egy komplex, nemlineáris rendszerrel van dolgunk.

II. ADATFORRÁSOK ÉS VIZSGÁLT ADATOK

A kutatás során felhasznált légi baleseti adatok az Flight Safety Foundation [4] által üzemeltetett, Aviation Safety Network (ASN) adatbázisából származnak. [5] Az ASN adatbázisában 1919-től kezdődően állnak rendelkezésre nyilvános adatok a légi balesetekkel kapcsolatosan, és heti rendszerességgel frissítik az adatbázist. Az adatbázisban a legalább 12 fő befogadására képes utasszállító repülőgépek, valamint az ilyen méretű magánrepülőgépek és katonai szállítógépek baleseti adatai szerepelnek. A katonai harci repülőgépek baleseti adatai az adatbázisban nem szerepelnek. Az egyes balesetekhez tartozóan az esemény rövid leírása, hely, dátum és időadatok, géptípusra vonatkozó alapadatok, az indulási és tervezett érkezési repülőtér alapadatai, valamint Google Map platformon elérhető térképadatok és műholdas képe is hozzáférhető. Az adatbázisban lehetőség van géptípus, földrajzi régió, baleseti okok, légitársaság, repülőtér és járat szerinti keresésre és csoportosításra, valamint különböző statisztikai kimutatások lekérésére is, utóbbi esetben az adatok 1942-től kezdve állnak rendelkezésre, éves bontásban.

A kutatás során két szempont szerinti adatokat vizsgáltunk. A repülés jellege és a repülési fázis szerint. A repülés jellege szerinti adatokat négy kategóriában elemeztük, úgy mint nemzetközi menetrendszerinti személyszállítás, belföldi menetrendszerinti személyszállítás, teherszállítás és kiképző repülések légi baleseteinek száma. A repülés fázisai szerint öt kategóriába rendeztük az adatokat, és a felszállás, emelkedés, repülés, megközelítés és leszállás fázisokban bekövetkezett légi balesetek adatait vizsgáltuk. Az adatok így a légi balesetekre vonatkozóan a repülés jellege valamint a repülési fázis szerinti csoportokban, éves bontásban, 1942-től 2015-ig terjedően álltak rendelkezésre.

III. VÉLETLEN VAGY DETERMINISZTIKUS KÁOSZ?

A rendelkezésre álló, éves bontású baleseti adatok alapján kézenfekvő, hogy idősoros elemzési módszereket alkalmazzunk. Az idősoros statisztikai elemzések egyik célja, hogy a múltbéli eseményekből nyert információ alapján előrejelzéseket készíthessünk a jövőre vonatkozóan. Ennek keretében mintázatokat keresünk, és azzal a feltételezéssel élünk, hogy a mintázat a jövőben is ismétlődni fog. Az idősoros elemzések abban különböznek más adattípusoktól, hogy ebben az elemzési módszerben az adatok sorrendje is fontos. Egy idősnak négy alapvető összetevője lehet, trendje, ciklikussága, szezonális és egyedi fluktuációja. Egy adott idősnak ezek különböző kombinációban realizálódnak, de akár egyszerre is jelen lehetnek. Ebből adódóan nem létezik a "tökéletes" idősn-elemzési technika, és minden modell tartalmaz bizonyos szintű hibát. [6] A leíró statisztikai elemzési módszerekkel az idősorokból könnyen kimutathatók a nyilvánvaló trendek, ciklusok, szezonálisok, és vizsgálható,

hogyan a trendhez viszonyítva hogyan változik a szórás. De hogyan dönthető el egy minden szabályszerűséget nélkülöző, véletlenszerűnek tűnő idősorból, hogy valóban véletlenszerű adatokkal van dolgunk, vagy egy kevés változós kaotikus, azaz nemlineáris determinisztikus komplex rendszerből származó adatokkal, amiben esetleg mégis van azonosítható mintázat? [7]

IV. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

IV.1. A Brown-mozgás diagramjának dimenziója

Ahhoz, hogy megállapítsuk, hogy a légi balesetek idősoros adatai véletlenszerűek-e, az R/S analízist alkalmaztuk. E módszer Einsteinnek a Brown-mozgással kapcsolatos munkáján alapul. Einstein a nyugvó folyadékban lebegő részecskék mozgását írta le, mint a vizsgált részecskének, más részecskékkel történő véletlenszerű ütközéseinek eredményeképpen létrejövő bolyongást. Mivel a részecskét minden irányból azonos valószínűséggel, azonos nagyságú ütközések érik, így a Brown-mozgás esetében a részecskét nagyszámú és egymástól független hatás éri. Ha ezt a mozgást az idő függvényében egy dimenziós bolyongásra képezzük le, azaz véletlenszerű fel és le impulzusok érnék egy gondolatbeli részecskét, akkor egy olyan görbét kapunk, ami jó közelítése lesz a Brown-mozgásnak. Így egy olyan bolyongási folyamatot hozunk létre, ami egymástól független és azonos eloszlású véletlen változók kumulált összegeként jön létre. Az ilyen folyamatokat fehér zajnak is szokás nevezni. Ebben a folyamatban a részecske folyamatosan távolodik a kiindulási ponttól, és a megtett távolság az R , az eltelt idő a T négyzetgyökével arányosan növekszik, azaz $R=T^{1/2}$. Amennyiben a Brown-mozgás grafikonján az idő tengelyen megduplázzuk a léptéket, az elmozdulás függőlegesen pedig $2^{1/2}$ -szeresére növeljük léptéket, a diagram vizuális jellege és statisztikai tulajdonságai sem változnak meg. A véletlen bolyongás grafikonjának e tulajdonsága az önhasonlóság, ami a fraktálokra jellemző. Ha meg akarjuk határozni a Brown-mozgás grafikonjának fraktáldimenzióját, alkalmazhatjuk az úgynevezett doboz-számláló dimenzió módszert. Tegyük egy rácsot a síkbeli alakzatra, és számoljuk meg, hogy hány cella szükséges a vizsgált alakzat lefedésére. Ezek után csökkentsük felére a cellaméreteket a rácson, és ismét számoljuk meg a lefedéshez szükséges cellák számát. Nyilvánvalóan most több cella kell az alakzat lefedéséhez. Ezt ismételve, egy olyan összefüggést kapunk, (1) amivel meghatározható a vizsgált alakzat doboz-számláló dimenziója.

$$N = r^{-D} \quad (1)$$

ahol

- N = a lefedéshez szükséges cellák száma,
- r = az alkalmazott cellaméret,
- D = az alakzat doboz-számláló dimenziója.

Ezzel az eljárással a Brown-mozgás doboz-számláló dimenziójaként 1,5-ös értéket kapunk, amiből következik, hogy a terjedés a $T^{1/2}$ -nel arányos diffúziós mozgást követ.

IV.2. Az R/S analízis

Felmerül a kérdés, hogy a légi balesetek adatai vajon a Brown-mozgással leírható véletlen folyamatok kategóriájába tartoznak-e, azaz farktál tulajdonságú adatsorral van-e dolgunk? Ennek érdekében meg kell határoznunk az általunk vizsgált idősoros adatok dimenzióját. Ennek meghatározásához Herold Edwin Hurst, angol vízmérnök által kidolgozott módszert alkalmazzuk. Hurst egy olyan eljárást dolgozott ki, amelynek segítségével eldönthetővé vált, hogy a Nílus vízállása milyen típusú véletlen folyamatnak tekinthető. Ezzel a módszerrel kiszámolható a különböző időperiódusokra a kumulált adatok átlag körüli

ingadozásának R terjedelmét, majd ezt standardizálja az adatok S szórásával, ezért "újraskálázott terjedelem analízisnek" is szokás hívni, innen származik az R/S analízis elnevezés. [8] Vizsgáljuk egy adott T éves időszakban bekövetkezett légi balesetek számát, és képezzük ennek átlagát. (2)

$$E_T = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T E_t \quad (2)$$

ahol

E_T = a vizsgált időszakban bekövetkezett légi balesetek átlagos száma,
 T = a vizsgált időszak.

Ezután képezzük az idősor E_t változóinak, a vizsgált időszak átlagától való kumulált $X(t, T)$ eltérését. (3)

$$X(t, T) = \sum_{t=1}^T (E_t - E_T) \quad (3)$$

Határozzuk meg most a az idősor legnagyobb és legkisebb értékének a különbségét, (4) ami valójában az idősor terjedelme.

$$R_t = \max X(t, T) - \min X(t, T) \quad (4)$$

Belátható, hogy a vizsgált időszak növelésével az $X(t, T)$ értékek szétterjednek, tehát az idő függvényében nő az R_t terjedelem. Ezután az S_T szórással standardizált R_T/S_T hányadost kell vizsgálnunk az idő függvényében. A Brown-mozgás esetén ez a hányados $T^{1/2}$ -vel lesz arányos, ezért alkalmazhatjuk a következő (5) formulát, mely szerint

$$R_T / S_T = T^H \quad (5)$$

ahol H a Hurst-exponens.

Amennyiben a fenti (5) egyenletet logaritmizáljuk, és a különböző T időtartamokra vonatkozó R_T/S_T értékeket kettős logaritmikus skálájú koordinátarendszerben jelenítjük meg, úgy a kapott diagram meredeksége adja a Hurst-exponens értékét.

Ezek alapján már értelmezhetjük a Hurst-exponens jelentését is az idősoros adatok elemzésére vonatkozóan. A $H = 0,5$ érték azt jelenti, hogy a vizsgált adatsor azonos eloszlású és független változók eredményeképpen jött létre, tehát teljesen véletlenszerű az adatok változása. Ha a Hurst-exponens értéke $H > 0,5$, akkor trendtartó idősorral van dolgunk, és ez esetben a rendszerben jellemzően 0,5-nél nagyobb valószínűséggel az adatokban emelkedés után ismét emelkedés, csökkenés után pedig ismét csökkenés várható. Amit úgy is értelmezhetünk, hogy a "rendszernek van memóriája", és "emlékszik a múltjára", és jó eséllyel fellelhető egyfajta mintázat a hagyományos trendeken és ciklusokon felül. Amennyiben $H < 0,5$ értéket kapunk, a rendszer viselkedése olyan, hogy a növekedést 0,5-nél nagyobb valószínűséggel csökkenés, a csökkenést pedig 0,5-nél nagyobb valószínűséggel emelkedés követi a rendszerben, tehát a rendszer próbálja a középértékhez visszatéríteni az adatokat.

IV.3. Az idősor fraktáldimenziója

A Brown-mozgás esetén láttuk, hogy a bolyongás idősoros adatainak fraktáldimenziója 1,5, ami arra utal, hogy a Brown-mozgás háttérben nemlineáris dinamika rejtőzik. Benoit Mandelbrot megmutatta, [9] hogy egy idősor D fraktáldimenzióját (6) a Hurst-exponens reciproka, azaz $1/H$ adja.

$$D = \frac{1}{H} \quad (6)$$

Az idősorban az időbeli növekmények közötti korreláció $C_{(t)}$ pedig azt méri, (7) hogy mekkora az egyes időintervallumokban bekövetkezett változások közötti összefüggés, minden egyes hosszúságú és a t időpontot megelőző és követő időintervallumra vonatkozóan.

$$C_{(t)} = 2^{2H-1} - 1 \quad (7)$$

Ez azt jelenti, hogy a $H = 0,5$ esetében - amit véletlen idősor eredményez -, a D fraktáldimenzió kettő, a $C_{(t)}$ korreláció pedig nulla. Ezek alapján meg tudjuk határozni a repülési balesetek idősorainak Hurst-exponenseit, fraktáldimenzióit és belső korrelációit, amiből következtethetünk az adatsorok véletlenszerűségére, és azon keresztül a repülés, mint komplex rendszer belső, rejtett tulajdonságaira.

V. ELEMZÉSI EREDMÉNYEK

V.1. A repülés jellege szerinti adatok elemzése

A repülés jellege szerint az adatokat négy csoportban elemeztük. Külön adatsorokként vizsgáltuk a nemzetközi menetrendszerinti személyszállítás, a belföldi menetrendszerinti személyszállítás, a teherszállítás és a kiképzési repülések légi baleseteinek számadatait. Az elemzésben 1942-től 2015-ig terjedően álltak rendelkezésre adatok, éves bontásban, így minden esetben egy 74 elemből álló idősoron végeztük az elemzést. Az idősoros adatokból eltávolítottuk a hosszú távú trendet, és az így megtisztított adatokon végeztük el az elemzést. Erre azért van szükség, mert az éves adatokon a repülésbiztonsági intézkedések hosszú távú, csökkenő trendet eredményeznek, a kutatás célja pedig a trendtől és egyéb ciklusoktól megtisztított adatokban esetlegesen jelenlevő egyéb hatások feltárása volt, ami a szokványos statisztikai módszerek alkalmazásakor rejtve maradnak.

A repülés jellege szerinti kategóriákba sorolt légi balesetek idősorainak R/S analízise minden esetben magas Hurst-exponenst mutatott ki, ami arra utal, hogy baleseti az események mögött nemlineáris dinamika húzódhat meg. Az 1. ábrán látható H értékek mindegyike nagyobb, mint $H = 0,7$. A kaotikus dinamikai elemzések alapján, $H > 0,7$ érték esetén már nem csak erősen trendtartónak tekinthető egy adatsor, hanem H ilyen magas értéke arra utal, hogy a rendszer kaotikus dinamikát követ, azaz a rendszer nagy valószínűséggel egy alacsony dimenziójú, nemlineáris rendszer. A teherszállítás adatain kiemelkedően magas, $H > 0,9$ értéket mértünk, ami az adatsorban nagyobb belső ingadozásokra hívja fel a figyelmet. Ilyen lehet például, hogy bizonyos baleseti okok periodicitása nagyobb, mint az összes bekövetkezett légi baleseté, [10] de arra is utalhat a magas H érték, hogy a légi teherszállítás rendszere alacsonyabb komplexitású, gyengébben visszacsatolt rendszer, mint a személyszállítás rendszere, és ez által sokkal kevésbé hajlamos kaotikus jelleget mutatni, és ez által az ok-okozati összefüggések sokkal inkább igazolhatók.

	Hurst-exponens (H)	Fraktáldimenzió (D)	Belső korreláció (C_t)
Nemzetközi menetrendszerinti személyszállítás	0,7847	1,27	0,48
Belföldi menetrendszerinti személyszállítás	0,7136	1,40	0,34
Teherszállítás	0,9265	1,08	0,81
Kiképző repülés	0,7654	1,31	0,44

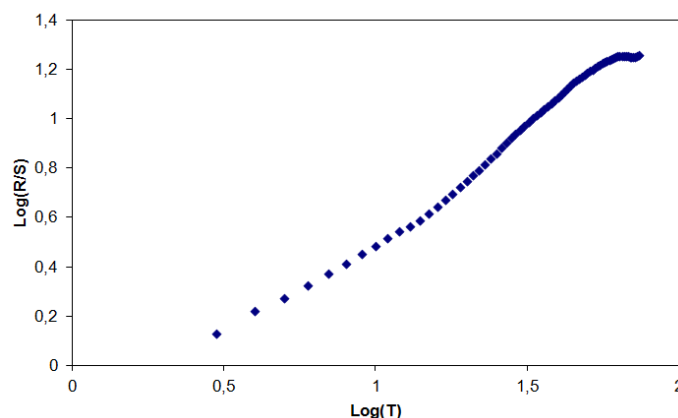
1. táblázat A repülés jellege szerinti légi balesetek R/S analízisének eredménye

V.2. A repülési fázis szerinti adatok elemzése

A repülési balesetek, repülés fázis szerint öt csoportba sorolva adatok álltak rendelkezésre. Ezek a fázisok a felszállás, emelkedés, repülés, megközelítés és a leszállás voltak. Így azt is vizsgálni lehetett, hogy repülési fázisonként mennyire véletlenszerű a légi balesetek bekövetkezéseinek időszora. Ezen elemzés során is 1942-től, 2015-ig terjedő időszakra vonatkozó adatok álltak rendelkezésünkre, és az adatokat ebben az esetben is hasonlóan tisztítottuk meg a trend jellegű és ciklikus összetevőktől. Ez esetben a Hurst-exponensek nagyobb eltéréseket mutattak az egyes repülési fázisokhoz tartozó adatsorokban. A legkisebb Hurst-exponenst a felszállás fázishoz tartozó adatsorban kaptunk, a legmagasabbat pedig a repülés fázishoz tartozóan. A kapott eredményeket a 2. táblázat mutatja. A repülés fázisban, kiemelkedően magas, $H > 0,9$ értéket mértünk, míg a felszállás esetén pedig $H = 0,5941$ értéket, ami igen közel van a véletlen idősorok $H \sim 0,5$ körüli értékeihez.

	Hurst-exponens (H)	Fraktáldimenzió (D)	Belső korreláció (C_t)
Felszállás	0,5941	1,68	0,14
Emelkedés	0,6455	1,55	0,22
Repülés	0,9193	1,09	0,79
Megközelítés	0,7117	1,41	0,34
Leszállás	0,7556	1,32	0,43

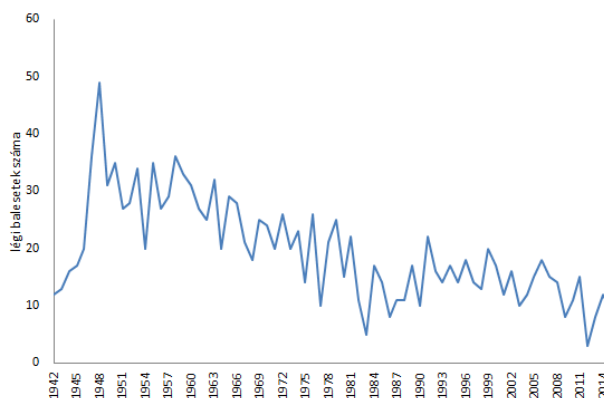
2. táblázat A repülés fázisai szerinti légi balesetek R/S analízisének eredménye



1. ábra A repülés fázishoz tartozó R/S analízis grafikonja

A repülés fázisra vonatkozóan további érdekes eredményt találunk. Ha megvizsgáljuk a kettős logaritmusos skálán ábrázolt R/S analízis eredményét az 1. ábrán, akkor azt láthatjuk, hogy a kapott görbe, a vége felé egy ponton markánsan megtörik. Az ilyen jellegű törések arra utalnak, hogy a vizsgált rendszerben, a törés időpontjában valami meghatározó változás történt. Ha beazonosítjuk a törési pontot a grafikonon, akkor ennek időpontja 2001-es évre mutat.

Az elemzés alapján a 2001-hez tartozó töréspont úgy értelmezhető, hogy a 2001. szeptember 11-i terrortámadást követően bevezetett repülésbiztonsági intézkedések markáns hatást gyakoroltak a repülésbiztonság egészére.



2. ábra A repülés fázishoz tartozó hagyományos grafikon

A 2. ábrán látható hagyományos grafikonon, amin az évek függvényében a balesetek számát jelenítjük meg, ez a hatás azonban nem azonosítható be.

V.3. Az adatsorok random tesztje

Ahhoz, hogy biztosak legyünk, hogy a Hurst-exponensre kapott, a véletlentől nagyban eltérő eredmények nem az adatokban rejlő, azok sorrendtől független tulajdonságaiból fakadnak, elvégeztük az adatsorok random tesztjét. Ennek során a trendtől megtisztított adatsor elemeit véletlenszerűen megkevertük, és az így kapott adatsoron is lefuttattuk az R/S analízist. A vizsgált adatsorok mindegyike esetében a véletlen sorrendű adatokon $0,49 < H < 0,51$ eredményeket kaptunk a Hurst-exponens értékére, ami a véletlen adatsorokra jellemző érték. Ez azt bizonyítja, hogy nem az adatok saját tulajdonságából adódik a fraktál jelleg, hanem az adatok időbeli sorrendje határozza meg. Ebből arra következtethetünk, hogy a légi balesetek idősoros adataiban létezik egyfajta "memória", ami rejtett mintázatok meglétére utal.

VI. ÖSSZFOGLALÁS

A légi balesetek idősoros adatain végzett R/S analízis eredménye rámutat arra, hogy a hagyományos statisztikai technikákon túl, érdemes alternatív matematikai módszereket is alkalmaznunk a légi balesetek okainak feltárásában. Bár a közismert statisztikai módszerek hasznos eredményeket adnak az idősorokban rejlő trendek, szezonálisok és ciklusok okainak magyarázatára, de ehhez bizonyos előfeltételezésekkel kell élnünk az adatokat illetően, de lehet, hogy pont ezek az előfeltételek rejtik el a rendszer bizonyos belső tulajdonságait. A nemlineáris matematikai módszerek, amikkel a komplex rendszereket és a kaotikus dinamikát lehet vizsgálni, olyan perspektívát biztosít számunkra, amivel feltárhatók a komplex rendszerek rejtett viselkedésformái. Az elemzés megmutatta, hogy a légi balesetek különböző jellegű mutatókat mutatnak a repülés jellege illetve a repülési fázis tekintetében. A különböző jellegű rendszerviselkedések hátterében feltehetően alacsony dimenziójú, kaotikus dinamika húzódik meg, aminek egyik jellemzője az adott idősor Hurst-exponense, és az abból származtatott fraktáldimenziója. Az elemzés rámutatott arra is, hogy a nemlineáris elemzések alkalmazásával, a légi balesetek idősoros adataiban olyan mintázatok és események is kimutathatók, amik a hagyományos statisztikai elemzési módszerekkel gyakran rejtve maradnak.

Összességében levonható a következtetés, mi szerint a légi közlekedést érdemes olyan komplex rendszerként vizsgálni, amelynek emberi, technikai, környezeti és egyéb elemei egymással nagyszámú és

bonyolult visszacsatolásokból álló kapcsolatrendszerben állnak. Ennek eredményeként a repülésre úgy tekinthetünk, amiben a balesetek számát alacsony dimenziós, nemlineáris hatások is befolyásolják.

A cikk szerzője nem légügyi szakember, szakterülete nem a repülésbiztonság, hanem a komplex rendszerek dinamikai vizsgálata. Ebből adódóan tisztában van azzal, hogy a légi balesetek adatainak végzett elemzési eredményei, a repülésbiztonság szempontjából közvetlenül nem még hasznosíthatók. Ahhoz, hogy a repülési baleseti adatokon végzett nemlineáris elemzések a gyakorlatban is hasznosíthatók legyenek, az szükséges, hogy a kapott eredményeket repülési szakemberek is felhasználhatónak ítéeljék meg. Ebből adódóan jelen tanulmány célja az, hogy felkeltse a repülésbiztonsági szakemberek figyelmét a komplex rendszerek vizsgálatához használt elemzési módszerekre, és hogy a repülési szakemberekkel közösen olyan új lehetőségeket nyisson a repülésbiztonság területén, amik alkalmazásával tovább csökkenthetők a repülési balesetek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KERTÉSZ JÁNOS -VICSEK TAMÁS: Komplex hálózatok a természetben és a társadalomban. Magyar Tudomány, 2006/5. (558-564. o.)
- [2] MUNK SÁNDOR: Hálózatok fogalma, alapjai. Hadmérnök, V. évfolyam, 3. szám, 2010. szeptember
- [3] POKORÁDI LÁSZLÓ: Rendszerek és folyamatok modellezése. Campus Kiadó, Debrecen, 2008.
- [4] FLIGHT SAFETY FOUNDATION: <http://flightsafety.org> (2016.03.13)
- [5] AVIATION SAFETY NET: <https://aviation-safety.net/database/> (2016.03.13.)
- [6] OSTROM, CHARLES W.: Time Series Analysis: Regression Techniques. Sage Publications, Beverly Hills, 1978.
- [7] FOKASZ NIKOSZ: Nemlineáris idősorok - a tőzsde káosza? Magyar Tudomány, 2002/október
- [8] ARVIND VERMA: The fractal dimension of policing. Journal of Criminal Justice, Vol 26, No 5. 1998. (425-435. o.)
- [9] BENOIT MANDELBROT: Statistical methodology for non-periodic cycles: from the covariance to R/S analysis. Annals of Economic and Social Measurement, 1 (3), 1972. (259-290.o.)
- [10] EDGAR E. PETERS: Chaos and order in capital market. John Wiley and Son, New York, 1991.

THE FRACTAL DIMENSION OF THE AIR ACCIDENTS

To avoid air accidents has high priority in aviation. For this reason controlled processes are applied at all fields of the aviation and the efficiency of this controlled system is confirmed by the indexes of conventional statistic analysis. However aviation security is influenced by several factors. It is affected by people, by technical equipments, by the weather and of course by the incidences. These factors constitute a complex system where it is difficult to make distinction between the incidences and the noisy but deterministic occasions. In the present research it is examined by the tools of the chaos and complexity science if air accidents are incidences or it is possible to find some patterns in them. By the exploration of these patterns it could be possible to reduce the number of air accidents.

Keywords: *air accidents, chaotic dynamics, complex systems, nonlinear analysis*

SZILÁGYI Győző Attila (MSc)
PhD hallgató
Óbudai Egyetem
Biztonságtudományi Doktori Iskola
szilagyi@strategiakutatas.hu
orcid.org/0000-0002-3294-6760

SZILÁGYI Győző Attila (MSc)
PhD aspirant
Óbuda University
Doctoral School on Security and Safety Science
szilagyi@strategiakuta
orcid.org/0000-0002-3294-6760 tas.hu



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_2/2016-2-14-0311_Szilagyi_Gyozo_Attila.pdf