

A légiközlekedés környezetbiztonsági hatásháromszög modellje

Bera, József*, Pokorádi, László**

* Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(e-mail: bera.jozsef@prosysmod.hu)

** Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.
(e-mail: pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu)

Kivonat: A repülésbiztonság környezetbiztonsági alapfeltétele, hogy a légi közlekedéssel kapcsolatos környezeti igénybevételek kezelése a használati folyamatok és a kialakuló hatások közötti kompromisszumhelyzet kialakításával és szűk határok közötti fenntartásával történjen. Jelen tanulmányunkban a kutatómunkánk azon megállapításairól számolunk be, melynek célkitűzése a légi közlekedés hatásháromszög modelljének bemutatása, valamint a modell elemzésével a környezethasználat kompromisszum feltételének értelmezése.

1. BEVEZETÉS

Jellemzőiből adódóan a légi közlekedés környezetvédelmi szempontból olyan rendszert alkot, amit mindaddig, amíg kizárólag a repülési tevékenységet vesszük górcső alá, csak viszonylagos pontossággal tudunk leírni. A környezetvédelmi vizsgálatok során így állandó modellezési bizonytalansággal találkozunk, a környezeti hatások miatt kialakuló rendszerhatárok ciklikusan, ezen belül folyamatosan vagy időszakonként eltérő mértékben változnak. Ezt a helyzetet erősíti, hogy a műszaki folyamatok hatására a környezetből érkező, értékükben és időben is változó jelek miatt szintén elveszik az egyértelmű rendszerhatár a környezethasználat és környezete között. A vázolt probléma megoldása ugyanakkor túlmutat a légi közlekedés környezetvédelmi megközelítésén. A megoldással összefüggő kérdésekre a környezethasználat és a környezetterhelés közötti kapcsolat vizsgálatával kerestünk választ, így jutottunk arra a következtetésre, hogy a légi közlekedést a környezetbiztonság oldaláról közelítsük meg. A kutatómunka megállapításairól számolunk be jelen tanulmányunkban, melynek célkitűzése a légi közlekedés Szerzők által megalkotott hatásháromszög modelljének bemutatása, valamint a modell elemzésével a környezethasználat kompromisszum feltételének értelmezése.

A publikáció az alábbi fezetekből áll: A 2. fejezet áttekintést ad a környezetvédelmi rendszerhatár és a bizonytalanság kapcsolatáról, a 3. fejezet bemutatja a hatásháromszög modell kialakítását. A 4. fejezetben szerepel a modell vizsgálata, és értelmezése, az 5. fejezet a légi közlekedés kompromisszum helyzetének meghatározását szemlélteti hatásháromszög modell alkalmazásával.

2. KÖRNYEZETVÉDELMI RENDSZERHATÁR ÉS BIZONYTALANSÁG

Mit értünk a környezetvédelmi rendszerhatárból eredő bizonytalanságon? A választ az alábbiakban foglaljuk össze:

- A megfelelő és a tényleges környezeti hatásra jellemző adatok rendelkezésre állása a rendszerhatárok meghatározásához mindinkább elengedhetetlen. Ezek hiánya torz rendszerhatárt eredményez.
- Választ kell adni arra a kérdésre, hogy a határértékeknek hol, milyen területen és milyen időpontokban kell teljesülni? Ezek megválaszolása nélkül nem lehetséges a rendszerhatár korrekt kijelölése.
- Rögzíteni szükséges, hogy milyen szempontból határozzuk meg a környezetvédelmi követelményeket és határértékeket, az értékelési szintek mekkora szerepet kapnak az értékelésben, mit tekintünk védendőnek a környezeti hatással szemben.
- Tisztázni kell azt is, hogy a vizsgálat lokális vagy összefüggéseiben nagyobb kiterjedésű hatásra irányul.
- Ki kell térni továbbá arra, hogy mekkora és milyen jellegű a környezet állapotában bekövetkező változás mértéke.

Fenti felsorolás alapján a rendszer és a környezet kapcsolatának fontos jellemzője, hogy a gerjesztő paraméterek bizonytalansága térben és időben is változó tényező, az adatok száma és pontossági foka így nagy jelentőséggel bír. Ennek következménye például, hogy egy repülőtér és a hozzá kapcsolódó légi forgalom magában hordozza a rendszerhatárok környezet jellemzőitől függő állandó módosulását. Így a rendszergerjesztést önmagában nincs értelme vizsgálnunk.

A környezet jellemzőitől ugyanis nagymértékben függ a környezeti hatás, ezáltal változik a kimutathatósági szint és ezzel egy időben a rendszerhatár. Vizsgálataink során a repüléssel összefüggésben a zaj elleni védelem jelentőségét kiemeltük, mivel erre a hatásra a környezet azonnal választ ad, a rendszergerjesztésekre a környezet rövid idő alatt reagál (Bera és Pokorádi, 2014).

A probléma megoldását befolyásolja az is, hogy a környezetvédelem és a környezetbiztonság összehangolt kezelése a repülésbiztonság, illetve a környezeti hatással járó folyamatok fenntartása szempontjából nem jelenthet korlátlan vagy egyoldalú beavatkozást a légi közlekedési folyamatokba. A vizsgálatok ugyanakkor önmagukban nem jelentenek megoldást, hiszen mérési adatok figyelemmel a beavatkozás és a műszaki folyamat megváltoztatása jelenti a korábbihoz képest kisebb környezetterhelést, azaz a környezet védelmét. Tehát a probléma megoldásával járó feladat a lehetséges intézkedés megfogalmazása vagy a műszaki védelem kialakítása során jelentkezik.

Ezt a szempontot érvényesítve szükséges rögzíteni, hogy a rendszerműködés és a környezeti hatások kezelése olyan szabályozást igényel, ami figyelembe veszi valamennyi, a működéssel, valamint az egyéb biztonsági feltétellel összefüggő tényező szerepét. Ez a feltétel azonban már egy újszerű megközelítést igényel a környezethasználatok elemzésében, ami a kompromisszumhelyzet előtérbe helyezésével és feltételeinek mélyebb áttekintésével lehetséges.

A kompromisszumos helyzet kialakítása érdekében elengedhetetlen az olyan döntések meghozatala, melyek bizonytalanságot és kockázatot generálnak a repülésbiztonság oldalán. Emiatt kerülni kell a környezethasználati folyamat és a környezetbiztonság közvetlen kapcsolatát, melynek lényegét konkrét kérdésben fogalmazzuk meg:

Hogyan lehet eredményesen csökkenteni a káros környezeti hatások mértékét a beavatkozások következményeiből adódó repülési bizonytalanság és környezeti kockázat növelése nélkül?

Ahogy korábban említettük, a környezetvédelemben a problémamegoldás kompromisszumok sorozatával lehetséges, ami érvényes a környezethasználatra és a környezetterhelés elleni védelemre, a kompromisszumos helyzet kialakítása és fenntartása ugyanakkor igényli a komplex környezetvédelmi helyzetek megismerését és kutatását.

A kompromisszum feltétel teljesülését a légi közlekedés környezetvédelmi problémamegoldásához szükségesnek tartjuk. A kompromisszumos helyzet kialakítása ugyanis olyan döntést vagy döntéssorozatokat jelent, ami sok esetben önfenntartó rendszerként képes kezelni a környezeti biztonságot és a kockázatot, valamint a kapcsolódó bizonytalanságokat. Ezért rögzítettük a kompromisszum feltétel fogalmát.

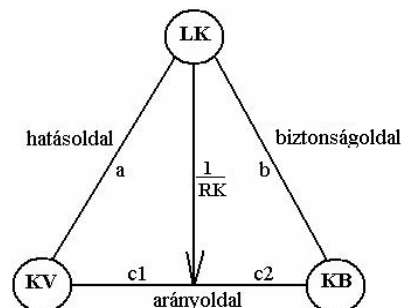
Kompromisszum feltétel: a környezethasználat és a környezet igénybevétele között fennálló kompromisszumos egyensúly, ami a környezeti hatás alapján, de a műszaki folyamat fenntartásával meghozott döntéseken és döntési sorozatokon alapul (Bera, 2015b).

3. A HATÁSHÁROMSZÖG MODELL FELÁLLÍTÁSA

A hatásmodell felállításához a légi közlekedést (*LK*), a lokális környezetvédelmet (*KV*) és a környezetbiztonságot (*KB*) – mint három alaptényezőt – a közöttük fennálló kapcsolat miatt egy háromszög sarokpontjaiként rögzítettük, ezáltal rögzítettük a *környezetbiztonsági háromszögmodellt*. A sarokpontok között a háromszög oldalai, mint hatásoldal, biz-

tonságoldal és arányoldal adnak kapcsolatot, mindezt az *1. ábrán* szemléltetjük.

Az egyenlő oldalú háromszög felvételével az *LK* sarokpontból az alpra húzott magassági egyenes az *RK* repülési korlátozások mértékéből adódó $1/RK$ értékével azonos. Esetünkben az alaphelyzetben felezi a *KV-KB* sarokpontok közötti oldalt, ami a *c1* és *c2* részre osztott arányoldal. Az *LK* csúcspontból húzott merőlegest $1/RK$ -vel, azaz a repülési korlátozások "reciprok" értékével jelöljük.



1. ábra Bera környezetbiztonsági hatásháromszög modell (forrás: (Bera 2015b))

Ennek oka, hogy a repülési korlátozások növekedésével a légitözlekedés lehetőségei csökkennek, azaz kevesebb vagy korlátozottabb lesz a repülés, és ezzel egy időben a környezeti hatás.

Ezzel együtt a metszéspont arányoldalon való mozgatása – a *KV* sarokponthoz közelítve, illetve a *KB* sarokponttól távolodva és fordítva – a *c1* és *c2* változtatásával lesz egyenértékű, ami egyben láthatóvá teszi az *LK-KV-KB* alaptényezők között fennálló arányokat is.

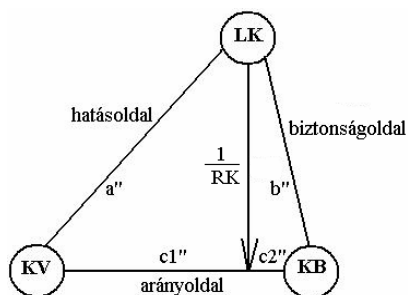
A háromszög *KV-LK* oldala a repülési tevékenységből eredő mért vagy észlelt hatásokkal összefüggő hatásoldalt jelenti, kiterjedése értelemszerűen az adott hatás nagyságát jellemzi. A háromszög *KB-LK* oldala a repülési tevékenységgel összefüggő környezetbiztonság mértékével azonos. A *KV-LK* és *KB-LK* oldalak hossza alapesetben – mivel kiindulásként egyenlő oldalú háromszöget vettünk fel – egyenlők és megegyeznek a *c1* és *c2* összegével, vagyis az arányoldal hosszával. A *KV-LK* hatásoldal így a környezeti hatás kiterjedését, a *KB-LK* biztonságoldal a környezetbiztonság mértékét jelenti.

4. A KÖRNYEZETBIZTONSÁGI HATÁSHÁROMSZÖG MODELL VIZSGÁLATA

Amennyiben a háromszögmodell arányoldala és az $1/RK$ alkotta metszéspont az *RK* érték változatlanul tartása mellett a *KB* sarokpont felé mozdul el, a *KV-LK* oldal kiterjedése növekszik, azaz a környezeti hatás is nagyobb értékű lesz. Ebben az esetben a *KB-LK* biztonságoldal kiterjedése csökken, vagyis a környezetbiztonsági helyzet romlik. Ebből is látható, hogy a környezeti hatás változásai összefüggésben vannak a környezetbiztonsággal.

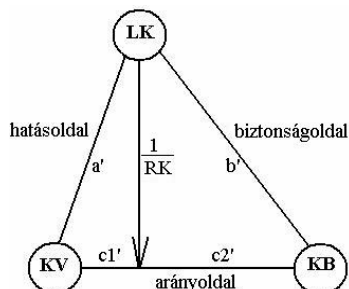
Mivel a környezetbiztonság megtartása elsődleges cél, a légi közlekedésre vetített környezetbiztonsági hatásháromszög alapján belátható, hogy a környezeti hatások növekedése a környezetbiztonság romlásához vezet, de hasonló az eredménye változatlan vagy csökkenő környezeti hatások mellett a repülési korlátozások negatív értelmű változásának, az $1/RK$ érték csökkenésének is.

Amennyiben a háromszög alapoldala, ami ebben az esetben az arányoldal, és az $1/RK$ alkotta metszéspont a KV sarokpont felé mozdul el, az a jelű KV - LK hatásoldal kiterjedése csökken, azaz a környezeti hatás is kisebb lesz.

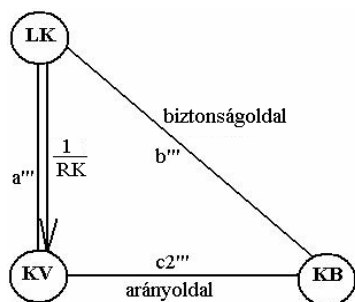


2. ábra Kedvezőtlen helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell (forrás: (Bera 2015b))

Ebben az esetben a b jelű KB - LK biztonságoldal növekedésével környezetbiztonság szempontjából kedvezőbb helyzet alakul ki. Ennek feltétele az $1/RK$ változatlanul tartása, illetve az, hogy a repülési korlátozások ne növekedjenek jelentős mértékben.



3. ábra Kedvező helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell (forrás: (Bera 2015b))



4. ábra Legkedvezőbb helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell (forrás: (Bera 2015b))

Mivel célkitűzés, hogy a repülési műveletek fenntartása és végrehajthatósága megmaradjon, vagyis az egyenlő oldalú háromszög magassága ne legyen kisebb, ezáltal a KV - LK sarokpontok közötti hatásoldal minél kisebb legyen, a KV sarokpontot kell az arányoldalon kijelölt metszésponthoz közelíteni úgy, hogy a KB sarokpont helyzete ne változzon. Ezzel a környezeti hatás csökkentése nem jár a folyamatba való olyan mértékű és jellegű beavatkozással, ami más szempontból a repülésre nézve gátló tényezőt jelent, vagy akár a repülésbiztonság veszélyeztetését jelentené. A repülési feladatok jellege, így az $1/RK$ közelítése az 1 értékhez ugyanakkor a KV - LK hatásoldal szempontjából is előnyös lehet, amikor a repülési feladat ellátása egy másik zajos tevékenység helyettesítése miatt szükséges.

Tehát megállapítható, hogy csak a KV - KB arányoldal $c1$ szakaszának változtatása, vagyis az RB és az arányoldal alkotta metszéspontból adódó, a KV és a KB sarokpontokkal alkotott részoldalak arányában bekövetkező változás jelenthet megoldást a légiközlekedés környezetvédelmi helyzetének javítására.

Ahhoz, hogy a $c1$ és $c2$ oldalpárok kedvező aránya kialakuljon, természetesen több szempontot is figyelembe kell venni, melyek a környezetterhelésre hatással vannak. A 4. ábra szerinti helyzet egy szélsőséges állapotot tükröz, előfordulási gyakorisága kicsi.

A környezetbiztonsági háromszög modell számára nem elégséges az általánosan alkalmazott átlagolt hangnyomásszint érték, ahogy nem lehet megfelelő más esetekben sem a hosszú idejű átlagoláson alapuló környezetterhelési adat sem. Olyan jellemző kutatását tartjuk szükségesnek, ami a ténylegesen fellépő környezeti hatással hozható közvetlen összefüggésbe a bekövetkezési lehetőségekre és valószínűségekre is tekintettel.

A környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból kedvezőtlen, kedvező, illetve a legkedvezőbb és az arányos helyzetet a 2., 3., és 4. ábrák szemléltetik.

5. A KOMPROMISSZUMHELYZET MEGHATÁROZÁSA

Mivel célkitűzésünk, hogy a környezeti hatások úgy csökkenjenek, hogy a repülést korlátozó tényezők ne növekedjenek jelentősen, törekvésünk szerint az $1/RK$ érték lehetőség szerint változatlan marad, de legalábbis nem csökken.

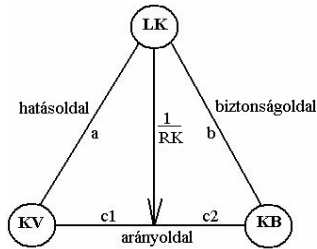
Ahhoz, hogy ez a feltétel teljesüljön, az a egyenes hossza csak olyan módon változhat, hogy a hatásháromszög b oldala növekszik, az $1/RK$ hossza pedig vagy változatlan marad, vagy szintén nagyobb lesz. Tehát a hatásoldal csökkenése az $1/RK$ változatlanul tartása és a b jelű biztonságoldal növelése mellett a repülésbiztonsági helyzet javulásával egyenértékű.

A kompromisszum helyzet meghatározásához tételezzük fel, hogy az 1. ábrán RK egységnyi, azaz $1/RK$ egységnyi hosszúságú. Ekkor – az egyenlő oldalú háromszögek tulajdonságából kiindulva – a modell hatás-, illetve biztonságoldalai $a = b = 2/\sqrt{3}$, valamint az arányoldal két komponense $c1 = c2 = 1/\sqrt{3}$ hosszúságúak lesznek.

Fenntartva, hogy a háromszögmodell alapoldala, ami ebben az esetben az arányoldal, valamint repülési korlátozások nem változnak, a háromszögünk területe állandó marad a hatás- és biztonságoldalak, valamint a $c1$ és $c2$ szakaszok arányainak változásától függetlenül. Más szóval az 1. – 4. ábrákon található háromszögek területe megegyezik.

A sokszögekkel kapcsolatos ismereteinkből köztudomású, hogy minden azonos területű n -élű sokszög esetén az n -élű szabályos sokszög kerülete lesz a legkisebb (Korn és Korn, 1975). Érdekesség, hogy az 1. ábra háromszögének kerülete: $6/\sqrt{3} \approx 3,464$. A 4. ábra háromszögének – mint határeset – a kerülete: $(2 + \sqrt{3} + \sqrt{7})/\sqrt{3} \approx 3,6522$.

A fenti matematikai eszmefuttatás környezetvédelmi-környezetbiztonsági jelentése az, hogy a légiközlekedés a KV-KB, illetve KB-LK oldalak együttes hossza – azaz a környezetbiztonság és a környezeti hatás összegzett értéke – a minimális lesz. Ezen minimum jelenti a légiközlekedés közlekedéssel kapcsolatos környezeti igénybevételek kezelése a használati folyamatok és a kialakuló hatások közötti kompromisszumhelyzetet, amit az 5. ábra szemléltet.



5. ábra Kompromisszum feltétel teljesülését tükröző környezetbiztonsági hatásháromszög modell (forrás: (Bera 2015b))

Ez a feltétel magában hordozza a környezetvédelmi, túlzott esetben a környezetbiztonsági probléma megoldásához szükséges kompromisszumhelyzet kialakítását és fenntartását, amit a repülésbiztonság alapfeltételeként határozok meg. Ezáltal a légi közlekedés környezetbiztonsági hatásháromszög modellje a környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból szükséges a (Bera, 2015a) és (Bera 2015b) irodalmakban részletesen leírt kompromisszum feltétel teljesülését tükröző állapotényező lesz.

A környezetbiztonsági hatásháromszög modellt tekintve a kompromisszum feltétel megalapozottságát támasztja alá, hogy légi közlekedés környezetbiztonsági modelljét szükséges kiterjeszteni az alábbiakra is:

- megvalósíthatóság;
- bizonytalanság.

Mivel célkitűzés, hogy a repülési műveletek fenntartása és végrehajthatósága fennmaradjon – vagyis az egyenlő oldalú háromszög magassági vonala ne legyen kisebb –, ezáltal a KV-LK sarokpontok közötti hatásoldal minél kisebb legyen, a KV sarokpontot kell az arányoldalon kijelölt metszésponthoz közelíteni úgy, hogy a KB sarokpont helyzete ne változzon.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, AJÁNLÁSOK

A repülésbiztonság környezetbiztonsági alapfeltétele, hogy a légi közlekedéssel kapcsolatos környezeti igénybevételek kezelése a használati folyamatok és a kialakuló hatások közötti kompromisszumhelyzet kialakításával és szűk határok közötti fenntartásával történjen.

A kompromisszumhelyzet áttekintéséhez és fenntartásához a vizsgált kérdéskör egy új leírási módját javasoljuk, melynek eredménye a környezetbiztonsági háromszög modell.

A légi közlekedés környezetbiztonsági hatásháromszög modellje a környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból szükséges kompromisszum feltétel teljesülését tükröző állapotényező.

A környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból kedvező és kedvezőtlen, illetve a legkedvezőbb és az arányos helyzeteket vizsgálatára, az esetleges változások levezetésére és nyomon követésére környezetbiztonsági háromszög modellt tartom alkalmasnak. Alkalmazásával ugyanis a folyamatok figyelemmel kísérhetők azáltal, hogy egy-egy döntés eredményeként kialakuló megváltozott helyzet kiértékelését teszi lehetővé a hatásoldal – biztonságoldal – arányoldal kiterjedésén keresztül.

A légi közlekedéssel összefüggő környezeti igénybevétel, ezen belül a repülési zaj modellezésének átgondolását is igényli a környezetbiztonsági háromszög modell alkalmazása olyan módon, hogy a környezeti hatásban ne a forgalom rendelkezzen dominanciával. Ehelyett megfontolásra javaslom az a megközelítést, ami az előírt repülési eljárásokhoz tartozó zajszinteket helyezi középpontba, ezáltal a zavaró hatás a bekövetkező legnagyobb zajszintekre is kiterjedő bekövetkezési valószínűségekkel lesz jellemezhető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bera J. (2015a) Légi közlekedés és környezetbiztonság összefüggéseinek elemzése. In: *REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK* vol. XXVII: (1) 18-29.
- Bera J. (2015b) Légi közlekedés környezetbiztonsági kapcsolatszerének modellezése a helikopterzaj tükrében. Doktori Értekezés. In: Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest.
- Bera J. and Pokorádi László. (2014) Légi közlekedés környezetbiztonsági fogalomrendszere. In: *REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK* vol. XXV: (2) 274-285.
- Korn G.A. and Korn T.M. (1975) *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.