

Pokorádi László¹ – Bera József²

REPÜLÉSFEJLESZTÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KOCKÁZATKEZELÉSE³

A repülés az emberi tevékenységekhez, így a többi közlekedési ágazathoz hasonlóan környezeti kockázatot hordoz magában. A környezeti kockázati tényező pusztán terhelési adatokkal és határértékekkel megadva, mint a repülésből származó környezeti veszélyről ad képet, háttérbe szorítva több olyan tényezőt, ami szükséges a légi közlekedés és a repülésfejlesztés teljes környezetvédelmi értékeléséhez. Ezért szeretnénk a környezetvédelem és a repülés számára is fontos, eddig háttérbe szorított jellemzőket áttekinteni, melyhez korábbi környezetvédelmi vizsgálataink tapasztalatait és a kockázatkezelés területén elért eredményeinket használjuk fel.

ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT OF AVIATION DEVELOPMENT

The aviation has environmental risk as well as other forms of transportation. The risk factors shown by data and limiting values represent danger to environment. These ones de-emphasize considerations that are needful for development of aviation and its complete estimation from point of view of environmental protection. Therefore the Authors would like to review the played down questions mentioned above applying their experiences of environmental protection investigations and risk management.

BEVEZETÉS

A repülőterek működésétől és a kapcsolódó légi forgalomtól származó környezetterhelés miatt a lakosság jelentős része kezeli a repülést elutasítással vagy negatív előítélettel. Mindez a repülőterek környezetében élők és az üzemeltetők között olyan konfliktushelyzetet teremt, melynek feloldása az utóbbi évtized eredményeit tekintve nem nevezhető sikertörténetnek. A lakosság repüléssel szemben kiváltott ellenállását jelentős részben a környezeti zajhatás, kisebb részben a kialakult levegőkörnyezeti állapot váltja ki, de nem szabad megfeledkezni az egyéb környezeti elemek, így a földtani közeg és a vizek szennyezéséről, vagy a hulladékok keletkezéséről sem. A környezetvédelmi érdekek érvényesítése ugyanakkor — elismerve annak jelentőségét és kiemelt szerepét mind a jelenlegi életünk, mind a saját és gyermekeink jövője vonatkozásában — csak átgondolt döntési folyamat részeként lehetséges, ugyanis a repülés egyéb feltételeinek bármilyen szempontból való háttérbe szorítása kockázati tényezőt jelent a légi forgalom számára, kockázat a repülőterek biztonságos működésében és a repülésfejlesztésben. Így a környezetvédelem fontos szabályozó szereppel bír a légi közlekedés vonatkozásában, ami már a repülésfejlesztésben is meg kell jelenjen.

A repüléstől származó környezeti kockázatot jelen tanulmányban egymással részleteiben ösz-

¹ egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, pokoradi.laszlo@prosysmod.hu

² környezetvédelmi szakértő, Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, bera@kdvktvf.kvvm.hu

³ Lektorálta: Dr. Sziki Gusztáv Áron, főiskolai tanár, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, sziki@atomki.hu

szefüggő, de a későbbiekben részletezett szempontrendszer alapján mégis két eltérő megközelítésben vizsgáljuk. Egyrészt a repülőterek környezetét érintő terhelés problémakörét, másrészt a tágabb értelemben vett, globális környezeti érdekeket vesszük alapul. Emellett figyelembe vesszük azt is, hogy a közlekedési ágazatokat tekintve több pozitív tényezőt is a repülés mellé sorolhatunk. Például a zajterhelés vagy a levegőterheltségi szint, mint jelentős környezeti hatás a repülőterek környezetét érinti, a nagy távolságú repüléseknél ugyanakkor már olyan levegőterheléssel számolhatunk, ami lakóterületet közvetlenül nem érint, de befolyásolja a Föld légkörében zajló folyamatokat. A területfoglalás és az eredeti környezet megváltoztatása repülőtereknél és a repülésfejlesztésnél elmarad a közúti, vagy a vasúti közlekedés mögött. Ha mindezt végig gondoljuk, és hozzá tesszük a légi közlekedés társadalmi és gazdasági jelentőségét, nem szorul különösebb magyarázatra, hogy célszerűnek mutatkozik egy olyan kompromisszumos helyzet megteremtése, ami a környezetvédelem „szabályozó eszköz” szerepét emeli ki a repülés egyéb feltételeit figyelembe véve a tiltó és a repülést megfojtó szerep kör helyett. Ennek alapját a környezeti kockázatok újragondolt kezelése jelenti, ami egyben a repülés számára egyfajta környezetvédelmi törődés biztosítására is megteremti a lehetőséget.

Fenti gondolatok adták az iránymutatást ahhoz, hogy az elvégzett környezetvédelmi vizsgálatunk [3], [4] alapján tett megállapításokat a kockázatkezelésben elért eredményeink [8], [10] tükrében tekintsük át, és további kutatásaink középpontjába a repülés, a környezetvédelem és a kockázatkezelés együttesét helyezzük.

A tanulmány az alábbi részekből áll: a második fejezet a repülés környezetvédelmi kockázati tényezőit írja le. A harmadik fejezet a repülésfejlesztés kockázataival foglalkozik, ezen belül áttekintést ad a környezetterhelési kockázatokról, majd a madárütkezési és a baleseti kockázatok ismerheti meg a kedves olvasó. Végül a Szerzők összegzik jövőbeli célkitűzéseiket.

REPÜLÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KOCKÁZATAI

A környezetvédelemben kialakult elsődleges szemléletmód, így ennek következményeként a jelenlegi problémakezelés elsődlegesen humán érdekeket érvényesít. Ebből fakad, hogy a környezetterhelési követelmények a legtöbb esetben emberi válaszreakciókon alapulnak, az embert és az épített környezetet érő környezeti hatásokat veszik figyelembe. Természetesen napjainkban léteznek egyéb határértékek is, melyek a különböző környezeti elemek, mint a felszíni és felszín alatti vizek, a földtani közeg és a természeti értékek védelmét, illetve a hulladékok minősítését szolgálják a szubjektivitástól függetlenül. Azonban a hatások, melyek érzékeny környezeti állapotot okoznak — pl. környezeti zaj- és rezgésterhelés, légszennyezés és levegőterhelés —, az ember szempontjából kapnak minősítést.

Mindemellett nem feledkezhünk meg arról a fontos tényről sem, hogy a határértékekkel szabályozott tevékenység, így a légi közlekedés egy társadalmi, gazdasági és globális értelemben is megfogalmazott igény kielégítése céljából nyújt szolgáltatást nagyszámú ember számára. Lényege, hogy személy- és teherszállítás területén is biztosítja a nagytávolságú utazást, légi utas szállítás keretében kényelmes kiszolgálás mellett és kedvező időráfordítással tehetünk meg nagy távolságot.

Ha a repülés jelentőségét említjük, nem szabad megfeledkezni arról az igényről sem, amit a honvédelem, a közbiztonság és a mára már kiemelt szerepkörbe emelt katasztrófavédelem fogalmaz meg a légi közlekedéssel szemben. Ehhez repülőtereket kell üzemeltetni, a folyamatos és biztonságos légi forgalmat fenn kell tartani, és nem utolsósorban mindehhez hozzá tartozik a kiképzési repülés is.

Repülőutak előnye, hogy egyéb szempontból ugyan, de csak a szükséges tárgyakat visszük magunkkal, felesleges poggyász vagy áru szállítására a legritkább esetben kerül sor, ami kedvezően befolyásolja a repülésnél mozgatott áru mennyiségét. Légi közlekedés keretében ellenőrizhető az utas-magatartás, kontrollált a szállítmányozás, ami a biztonság kockázatait csökkenti. Elfeledett, de környezetvédelmi megközelítésben lényeges szempont, hogy a légi utas szállításnál jóval kevesebb hulladék keletkezik, mint a közúti vagy vasúti utaztatásnál, valamint nincs elhagyott hulladék, a szolgáltatást igénybe vevő fél nem szennyezi közvetlenül a felszíni és felszín alatti vizeket.

A repülésfejlesztés és a repülőtér üzemeltetés teljes körű környezetvédelmi értékeléséhez tehát célszerű a döntésekhez felhasznált tényezők teljes spektrumában való vizsgálata, ezért a folyamatot a továbbiakban kiterjesztjük a következők szerint: *emberi megítélésen alapuló* és *természetes környezet érdekein* alapuló értékelési szintek. Ez a megközelítés a továbbiakban meghatározó tényező lesz a jelenleg tárgyalt témakörön belül, vagyis a repülésfejlesztés, és a repüléssel összefüggő tevékenységek környezetvédelmi kockázatkezelését ebből az aspektusból indítjuk.

További jelentőséget látunk a környezetvédelmi megítélési szint alapján meghatározott fogalmi körben abból a megközelítésből is, hogy napjaink társadalmi viszonyai mellett a repülés, mint környezetterheléssel járó emberi tevékenység a gazdaság meghatározó részeként jelenik meg, ugyanakkor környezeti hatás és kockázat szempontjából érintett mind az épített, mind a természetes környezet. A légi közlekedésnél egy összetett rendszer kiválasztott eleméről beszélünk, melynek jelentős kapcsolódó felülete van a környezetével, ehhez pedig hozzá tartoznak a természeti értékkel rendelkező területek is, a környezeti hatásokat ezért ezekben az esetekben is vizsgáljuk.

A légi közlekedés és a repülőtér üzemeltetés a gazdasági folyamatok halmazában önmaga is összetett rendszert alkot, ami a rendszerhatárok menti környezetre folyamatos, időben változó hatást gyakorol, de ugyanez a környezet is hatással van a rendszerre, azaz a repülésre. Egy rendszer vizsgálatához ugyanakkor szükséges a lényegi tulajdonságainak megismerése, környezetvédelmi szempontból a különböző hatások rangsorolása és súlyozása, valamint a meghatározó elemek azonosítása. A rendszertulajdonságok helyes kezelése azért lesz fontos a továbbiakban, mert a repülés környezetvédelmi kockázatainak vizsgálata során nem tekinthetünk el attól, hogy a különböző hatások kapcsolatát és függőségét is elemezzük. Ezt azzal a példával támasztjuk alá, miszerint a zajterhelés csökkentése érdekében előírt nagyobb siklósúly a hajtómű-terhelés változása miatt kedvezőtlenül befolyásolja a légszennyező anyag kibocsátását.

A repülésnél, így természetesen a repülésfejlesztésnél a rendszer és környezete kapcsolatában az időbeli változásoknak kiemelt jelentősége van. A környezet negatív válaszreakciójának sok esetben a hirtelen fellépő, vagy erősen változó értékekkel észlelhető hatás az oka, amire tapasztalatunk szerint nem fordítunk kellő figyelmet, illetve határértékkel nehezen kezelhető

probléma alakul ki.

A repüléstől származó kibocsátások környezet oldaláról történő helytelen megítélése és kezelése további kockázatot rejt magában, aminek következménye, hogy az épített környezet védelme érdekében is születik számos döntés, ami lokális és tágabb értelemben a természetes környezet járulékos terhelését okozza. Ez a tény a jövő környezetvédelmében már azokat a megoldásokat is előtérbe helyezi, melyek egy kisebb környezetterhelést okozó tevékenységgel váltják ki az eredetileg alkalmazott, nagyobb környezetterheléssel járó technológiát. Ezt a lehetőséget szükségesnek tartjuk kiterjeszteni a természeti értékek védelme érdekében is, amikor ütköztetjük az emberi és a természetes környezet érdekeit.

A környezetvédelmi kockázatok áttekintésének alapja jelenleg a fentiek szerint:

- környezetvédelmi szakterületek önállósága és elkülönült problémamegoldás;
- környezetterhelési követelmények elsődlegesen az emberi válaszreakciókon alapulnak.

A fellépő környezeti hatás megítélése tehát nagyban függ attól, hogy a repülés milyen környezetet érint, milyen irányú és mértékű változást okoz az eredeti állapotban, vagyis milyen környezetgerjesztéssel számolhatunk. Példaként említhetünk egy épített és természetes környezetben is jól alkalmazható megoldást, ami mindkét esetben problémaként megjelenő környezeti zajterhelés csökkentésére irányul. A repülést egy zajosabb vagy hosszú ideig tartó, erre érzékeny területen fellépő zajosabb technológia helyett is alkalmazhatjuk, ennek előnyére korábbi vizsgálataink során már rámutattunk [3]. Ekkor a légi jármű a környezetvédelem hatékony eszköze lehet, jól alkalmazható egy különleges építmény telepítésénél az épített vagy a természetes környezet megóvása érdekében. Számos esetben találkoztunk azzal a problémával, hogy természeti értékkel rendelkező, illetve természetvédelmi védettség alatt lévő területen kell valamilyen építményt elhelyezni, ami lehet pl. rádió adótorony, szélgenerátor, egy híd vagy egy közlekedési létesítmény eleme. Az építési kivitelezéshez szükséges a berendezés részegységeinek építési területre való beszállítása, nagy teljesítményű munkagépekkel és daruval történő beemelése. Ilyen esetben ahhoz, hogy a munka- és emelőgépek bejussanak a területre és ott működjenek, területet kell biztosítani, utakat kell építeni. Mindez talajterheléssel jár, beavatkozást jelent a természetes környezetbe, élőhelyeket érint, vagy egy vízfolyás szennyezéséhez vezet. Ezért kijelenthetjük, hogy az eltérő jellegű környezeti hatásokat együttesen, párhuzamos módon is össze kell vetni, hogy megfelelő képet kapjunk a teljes rendszerről, és jó döntést hozzunk.

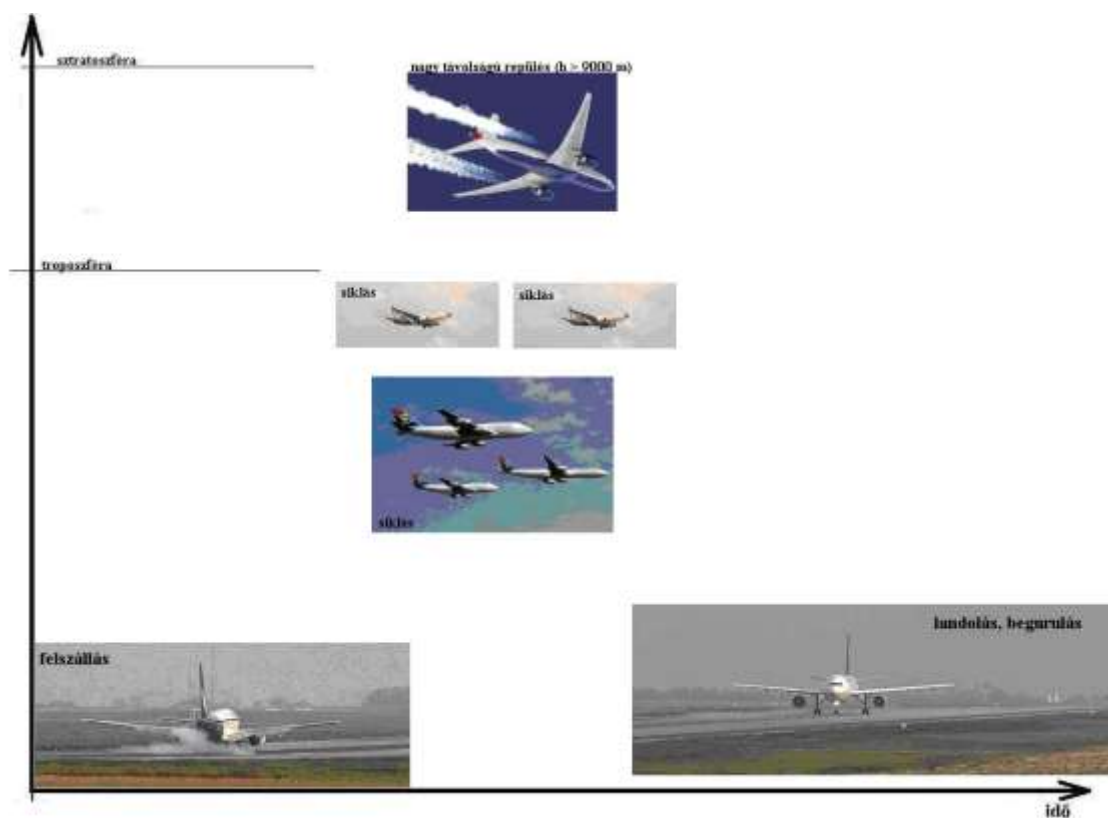
A környezeti kockázatot nem egyetlen hatás, vagy korábbi tapasztalatok alapján rögzített „meghatározó terhelés” jelenti, hanem az egyidejűleg több, illetve a valamennyi környezeti elem vonatkozásában kialakuló környezetterhelés „nem megfelelő” kezelése. A tényleges vagy valós környezeti kockázat sokszor abból ered, hogy nem a megfelelő technológiát alkalmazzuk a tevékenységhez, így tevékenység során kialakuló környezetszennyezés vagy a környezetterhelés csökkentése sem lehet sikeres, amivel hosszú távon fenntartjuk a szennyező állapotot.

Fenti megállapítások azért kapnak jelentőséget a repülésben, mert a legtöbb esetben régen megkezdett tevékenységről, már működő repülőtérrel és meglévő repülőtér fejlesztéséről van szó, illetve a kérdéses repülőtér már régen kialakult gazdasági és közlekedési környezetben helyezkedik el. Tehát a környezetvédelem részeként kell elfogadnunk, hogy sokszor nem lehet a környezetterhelést olyan mértékben lecsökkenteni, ahogy azt a többség elvárja, hanem

több lépcsőben lehet a megkívánt, kedvezőbb környezeti állapotot elérni, vagy egy kisebb mértékű környezeti hatás-csökkenést tudunk elérni.

A repülésnél más gazdasági vagy közlekedési tevékenységekhez hasonlóan eltérő mértékű és jellegű környezetterheléssel számolhatunk a teljes folyamat egy-egy szűkebb fázisában. Bonyolítja a helyzetet a repülési magasságból adódó jellemző is, hiszen egyrészt eltérő kibocsátásokkal számolhatunk, másrészt ez befolyásolja a kibocsátó és környezete kapcsolatát is a tényleges környezetterheléssel együtt.

Ennek bemutatására a repülést egy időskálára helyeztük. Az időskála kezdőpontja $t = 0$ (h) a felszállás, a skála végpontja $t = n$ (h) a leszállás és az érkezés. Nézzük meg, hogy az idő függvényében mely kibocsátási jellemzők lesznek változóak és állandóak, esetleg melyekkel nem kell számolni, illetve egy kiválasztott időpontban mely környezeti hatás okoz olyan mértékű terhelést, ami az érintett terület védelmét vagy intézkedés megtételét igényli. A környezeti hatások megjelenését az 1. számú ábrán szemléltetjük.



1. ábra Repüléstől származó környezeti hatások megjelenésének fázisai

A kibocsátások, illetve a környezetterhelés időbeli változása miatt szeretnénk a továbbiakban a repülés, mint rendszer, valamint a rendszerhatárok mentén található környezet kapcsolatára is ráirányítani a figyelmet. Az idő függvényében változó kibocsátási jellemzők ugyanis időben eltérő, a repüléshez és a kapcsolt tevékenységhez köthető válaszreakciót generálnak a környezettől.

Mindezek felmérése és pontosítása nélkülözhetetlen a repülésfejlesztés számára is, amiről környezetvédelmi vizsgálat alapján és a környezeti kockázatok mérlegelésével hozhatunk döntést. Ezen a ponton tegyük fel az újabb kérdést: *milyen szempontok figyelembevételével, mely környezeti hatásnak tulajdonítunk jelentőséget és meghatározó szerepet?*

Környezetterhelési kockázatok

Első megközelítésben a repüléssel összefüggő környezetterhelési kockázatot — kiterjedésére is figyelemmel — a kockázati tényezők súlyosságára tekintettel állapítjuk meg. A *kockázati tényező súlyosságára* irányuló meghatározás azonban több szempontból értelmezésre, majd további vizsgálatra szorul, ugyanis az, hogy milyen jellemzőket tekintünk meghatározónak és fontosnak, illetve mely kibocsátás okoz szennyezést vagy környezetkárosítást, határérték alapú követelményrendszer határozza meg. Ez a módszer háttérbe szorítja a beavatkozáshoz szükséges ugyancsak fontos terhelési jellemzőket, mint a környezetterhelés változásának mértéke és időbeli lefolyása, az állandósult vagy időszakosan fellépő hatás.

Fentiek alapján tehát a környezetszennyezés és a környezetkárosítás a beavatkozás oldaláról további jelentőséget [2] kap a kockázatok alapján szükséges azonnali intézkedések miatt. Hatékony környezetvédelemhez ugyanis megvalósítható, eredményre vezető intézkedésekre van szükség, minden esetben olyan eszköz alkalmazására vagy javasolt módszer bevezetésére, ami teljesíthető feladatot jelent, akár a környezethasználó, akár a védendő környezet oldalán jelenítjük meg. Ezért a környezetszennyezés- vagy a terhelés csökkentésénél előtérbe helyezzük azokat a megoldásokat, melyek együttesen és átfogóan veszik figyelembe a repülés, mint rendszer tulajdonságait, a kialakuló rendszerhatárokat, azok időbeli változásait, valamint a környezet tulajdonságait.

A kérdés, amire választ keresünk egy környezetvédelmi probléma megoldása során, tehát nem merülhet ki abban, hogy mekkora és milyen jellegű környezetterhelésről beszélünk, hanem ki kell terjednie az ok-okozati összefüggésekre és a lehetséges megoldásokra, valamint a repülés biztonsági kockázataira is. Ellenkező esetben a környezetvédelmi céllal meghozott döntés nemcsak eredménytelen lesz, de járulékos hatásként lehetőséget teremt a repülés biztonsági kockázatainak növelésére.

A repülés és a repülőtér üzemeltetés teljes folyamatát tekintve több olyan környezeti hatás is kialakul, ami a rendszeroldal és környezete, vagyis az üzemeltető, mint környezethasználó és a védendő környezetben lévők együttműködését igényli. E feltétel érvényesítését a repülésben — más közlekedési alágazatokhoz hasonlóan — nehezíti, hogy a környezethasználó személye a tényleges repülés és a repülőtér üzemeltetés vonatkozásában szétválk, és a későbbiekben csak egységes szabályokkal lehet egy-egy követelménynek a teljes rendszert megfeleltetni. Ennek természetesen része az ellenőrzés is.

A repülésfejlesztés megítélését nehezíti, hogy önmagában több kibocsátás is meghatározó az üzemeltetési folyamatban, azonban a fejlesztés vonatkozásában már kevésbé bír jelentőséggel. Például ez a tény érvényesül akkor, ha a fejlesztés következtében nem várható a környezeti hatás jelentős megváltozása, mert az üzemeltetés részeként már kialakult a környezetterhelés, annak kezelése megoldott. *Szemléletesen:* a hulladékok keletkezése és elszállítása, majd az ártalmatlanítás, vagy a műszaki kiszolgálásnál kibocsátott szennyvizek elvezetése a fejlesztés előtt megjelenő, meglévő és folyamatosan fennálló feladat, így a fejlesztés csak kismértékben befolyásolja. Hasonlóan a környezeti zajterheléshez, amikor 3 dB-es zajszint növekedést a légi forgalom legalább kétszeres növekedése okoz. [2]

Hogy melyik kibocsátási jellemzőt mekkora dominanciával vegyük figyelembe a környezeti kockázat azonosítása során, az alábbiak áttekintése is szükséges:

- a rendszer egy elemének a megváltozása mennyiben befolyásolja a környezetterhelés mértékét és a környezet válaszreakcióját;
- rendelkezünk-e megfelelő műszaki eszközzel a környezetterhelés csökkentéséhez;
- a környezetterhelés csökkentéséhez rendelkezésre álló, vagy a kiválasztott megoldás szempontjából van-e kizáró oka a megvalósíthatóságnak (pl. gazdaságosság);
- a környezetterhelés csökkentéséhez mennyiben van szükség a környezet bevonására és a környezet egyes elemeinek közreműködésére.

Fenti felsorolás áttekintését segíti, illetve további információkkal egészíti ki az *1. számú* táblázat, melyben a különböző környezeti hatásokat foglaltuk össze, egyben megadva azokat az időszakokat, amikor tényleges kibocsátással számolunk. A repüléstől származó környezeti kibocsátás, illetve a környezet terhelése függ az *1. számú* ábrán bemutatott, az időhöz kötött folyamattól is.

Időszak	Művelet	Környezeti hatás
I.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés; 3. Hulladékok keletkezése, gyűjtés és tárolás, majd elszállítás; 4. Szennyvíz keletkezése, földtani közeg terhelése, talajterhelés.
II.1.	Gurulás, felszállás, emelkedés	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.2.	Siklás sztratoszféra felett	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.3.	Siklás troposzféra felett	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
II.4.	Leszállás, érkezés, gurulás	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés;
III.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	1. Levegőterhelés, légszennyezés; 2. Zaj- és rezgésterhelés; 3. Hulladékok keletkezése, gyűjtés és tárolás, majd elszállítás; 4. Szennyvíz keletkezése, földtani közeg terhelése, talajterhelés.

1. táblázat Repüléstől származó környezeti hatások

A repülésben további hangsúlyt kap, és az *1. számú* táblázat szerinti tényezők vizsgálatához, vagyis a kockázati tényezők teljes körű megítéléséhez tartozik, hogy a környezeti tényezőkkel együttesen a baleseti kockázatot is vizsgáljuk, ahogy azt például a madárütközés veszélyének témakörében is tesszük. [10]

A környezetterhelési kockázatokkal összefüggésben kell említeni a katasztrófa kialakulását is, mivel egy esetleges katasztrófa környezetvédelmi szempontból is a szokásos üzemállapottól eltérő, különleges helyzetet teremt, és valamennyi környezeti elemet érintheti.

Következményeként a felszíni és a felszín alatti vizek, a földtani közeg szennyeződhet, amit hosszadalmas szennyezőanyag-mentesítés, illetve kárelhárítás követ, illetve mindez jelentős

műszaki beavatkozást is jelent az eredeti környezeti állapot vonatkozásában. A katasztrófa, mint környezetterhelési kockázat megjelenítése így indokolt a folyamat vizsgálatánál, hiszen baleset a siklási időszakban, illetve a nagy távolságú repülésnél is bekövetkezhet, és ekkor másodlagos következményként, de jelen van a környezetszennyezés. Személyi vagy műszaki okok mellett a környezet hatására kialakuló különleges tényezők is okozhatnak katasztrófát, ahogy a fentiekben említett madárütkezésnél már utaltunk rá. [10] Fontos leszögezni azonban, hogy a környezeti kockázatok terén is csak az lehet elfogadható helyzet, ha ilyen esemény nem következik be.

A kockázati tényezők vizsgálatát a repülés és repülőtér üzemeltetés, mint környezethasználati folyamat során az eddig elmondottakra figyelemmel a tevékenység időszakokra bontásával célszerű elvégezni, amit szeretnénk a korábbiakhoz képest nagyobb hangsúllyal kezelni. Ezzel a felbontással ugyanis megválaszolható lesz egy további kérdés is, miszerint milyen kockázati tényezőkkel számolhatunk a repülésfejlesztésnél?

Fenti kérdés megválaszolásához a kockázatok kialakulásának feltételeit is vizsgálni kell az alábbiak szerint:

- általános, illetve szokásosan alkalmazott intézkedésekkel és műszaki eszközökkel a határértékek teljesülése nem biztosított, ezért környezetterhelés-, szennyezés- vagy károsítás alakul ki;
- havária vagy baleset következtében valamely környezeti elem terhelése azonnali védelmet, illetve beavatkozást igényel;
- a kibocsátások miatt a környezetben fellépő terhelés folyamatos, a légi forgalom nélküli állapothoz képest jelentős a változás mértéke.

A környezeti kockázatok kialakulásának feltételrendszere az eddig elmondottak alapján függ az 1. számú táblázat 3. oszlopában részletezett hatótényezőktől, valamint az adott kibocsátás jellemzőitől. Ezek a jellemzők: idő függvényében megjelenő vagy változó környezetterhelés, az eredeti környezeti állapot megváltozásának mértéke, a környezeti hatás elleni védelem módja és szükségessége.

Látható, hogy nincs egyszerű dolgunk, hiszen egy összetett rendszer és folyamatosan változó környezet közötti kapcsolatot kell kezelni az amúgy is összetett problémakört alkotó környezetvédelem szempontjából. Mivel eddigi tapasztalataink alapján az utólagos vagy az elkülönült szabályozás nehézkesnek bizonyul és kevés sikerre vezet, az ilyen jellegű javaslatok megfogalmazása helyett célszerűbbnek látjuk a repülés folyamatába, mint rendszerbe való környezetvédelmi beavatkozás lehetőségét vizsgálni.

Repülésfejlesztésnél a várható környezeti hatások azonosításán túl arra is ki kell térni, hogy a fejlesztés a környezeti kibocsátásokat milyen módon érinti, vagyis milyen szempontból várható változás, annak mértéke és dominanciája az alapállapothoz képest mekkora lesz. Ezek a kérdések a környezeti kockázatok tartalmának meghatározásával is összefüggésben vannak, ezért a jobb áttekinthetőség kedvéért a további vizsgálatoknál az üzemelési folyamat időszakokra bontásának elvét követjük.

Repülőgép hajtóművekből a környezeti levegőbe kerülő légszennyező anyagok a repülőtér és környezetében jelentkeznek koncentráltan. Emellett a levegőterheltségi szint szempontjából a repülőtér üzemeltetési folyamatainál használt és a kapcsolódó infrastruktúra működtetéséből származó kibocsátások is meghatározóak.

A légszennyező anyagok kibocsátásának mértéke elsősorban attól függ, hogy a repülőgép milyen tevékenységet végez, az 1. számú táblázat szerint melyik időszakban működik. A nitrogén-oxid (NO_x), a szén-hidrogén (C_xH_y) és szén-monoxid (CO) kibocsátás jelentkezik felszállás és leszállás időszakában, gurulásnál és a földi üzemnél. A nitrogén-oxid és a széndioxid (CO_2) kibocsátás a siklás időszakában növekszik meg, illetve a magas légkörben, 9000 m magasság felett haladva víz keletkezik, ami megfagyva jéggé alakul, amelynek szemcséi üvegházhatást idéznek elő a légkörben. A 2. számú táblázatban foglaltuk össze a repülőgépektől származó levegőterhelés jellemzőit.

Időszak	Jellemző	Levegőterhelés
I.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	nitrogén-oxid (NO_x), szén-hidrogén (CH) szén-monoxid (CO)
II.1.	Gurulás, felszállás, emelkedés	nitrogén-oxid (NO_x) megnövekszik
II.2.	Siklás sztratoszféra felett	nitrogén-oxid (NO_x) megnövekszik, sok széndioxid (CO_2) és víz keletkezik
II.3.	Siklás troposzféra felett	nitrogén-oxid (NO_x) megnövekszik, CO_2 keletkezik
II.4.	Leszállás, érkezés, gurulás	nitrogén-oxid (NO_x), szén-hidrogén (CH) és szén-monoxid (CO) megnövekszik
III.	Földi kiszolgálás, műszaki karbantartás, javítás műveletei	nitrogén-oxid (NO_x), szén-hidrogén (CH) szén-monoxid (CO)

2. táblázat Repüléstől származó levegőterhelés (Forrás: Szerzők)

A különböző légszennyező anyagok levegőben való terjedése és a tartózkodási idő több tényezőtől is függ, mint a szennyezőanyag minősége és koncentrációja, időjárási viszonyok és a repülőtér környezetének beépítettsége. A koncentráció természetesen annál magasabb, minél közelebb vagyunk a szennyező forráshoz.

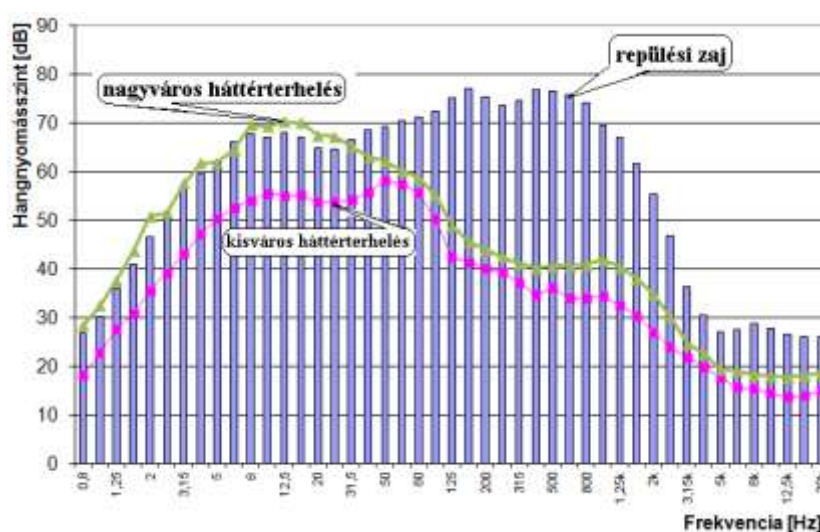
Környezeti kockázat szempontjából külön említést kell tenni arról, hogy a légi közlekedés a globális környezetszennyezés terén úgy kap szerepet, hogy nagy magasságban, 9000-10 000 m-en a hajtóművek által kibocsátott NO_x , CO_2 és víz fejt ki hatását. A hajtómű 1 kg kerozin felhasználásával átlagosan kb. 1,25 kg vizet bocsát ki a légkörbe, ahol az megfagy, mivel ebben a magasságban a levegő már nem keveredik a földfelszíni légréteggel. A kifagyott jégréteg (kondenzcsík) üvegházként viselkedik. A magas légkörben kibocsátott NO_x kémiai reakciók révén, fény hatására bontja az ózont, így az ózonpajzshoz közeli kibocsátás szintén jelentőséget kap. A kibocsátások megítélését segítik az alábbi adatok: a repülőgépek éves szinten 100-150 millió tonna vizet, és évente 1 millió tonna NO_x -et bocsátanak ki.

Amennyiben levegőtisztaság-védelem tükrében vizsgáljuk a légi közlekedést, több olyan megállapítás is tehető, ami a repülésfejlesztés szempontjából meghatározó lesz. Mivel az NO_x a troposzférában ózont termel, a sztratoszférában viszont roncsolja az ózont, a repülési magasság szerepét hangsúlyozni szeretnénk a kockázatok feltárása során. Hasonló jelentősége van a repülési magasságnak a vízgőz hatásában is, hiszen a földfelszínhez közeli repüléseknél a kibocsátott vízgőz nem káros, de troposzférában megfagy és a jégkristályok miatt növekszik a légköri felmelegedés, ami viszont már globális értelemben megjelenő környezetvédelmi problémakörbe tartozik.

A repülési folyamat levegőtisztaság-védelmi szempontú áttekintésével látható, hogy célszerű

a jövőben az üzemelési folyamat szakaszokra bontásának jelentőségét előtérbe helyezni, és a továbbiakban egy-egy repülési fázis — repülőtér megközelítése és leszállás, taxizó út és begurulás, taxizó úton kigurulás, gyorsítás, illetve felszállás és emelkedés — részletesebb vizsgálatával a környezeti hatásról pontosabb kép kialakítása, mert így a környezeti kockázat feltárása is pontosabb lesz.

Az eddigi megállapításokat támasztják alá a repüléstől származó zaj vizsgálati eredményei is. A repülőtér környezetében a felszállás és a leszállás, valamint a nagy magasságú repülés következtében fellépő zajterhelésre mutat mérési adatokat a 2. számú ábra. Látható, hogy ebben az esetben is eltérő szempontok alapján lesz célszerű a repülés kockázatait feltárni és értékelni. Természetesen később az összegző értékelésre és a környezeti hatás minősítésére a rész-eredmények alapján kerülhet sor.



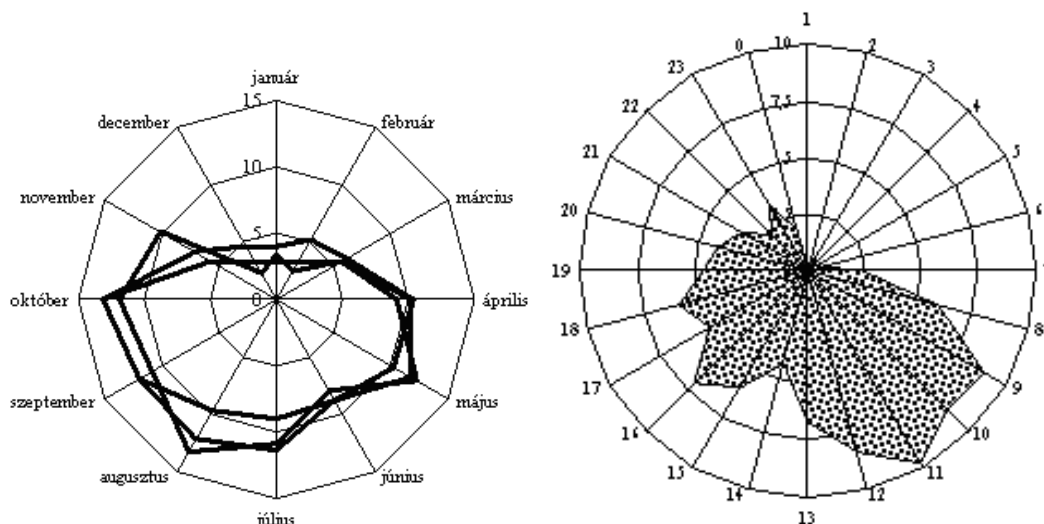
2. ábra Repüléstől származó zajterhelés eltérő környezeti jellemzők mellett (Forrás: Szerzők)

Madárütközési kockázatok

A repülési kockázat jelentős részét a repülőgépek vadállatokkal való ütközésének kockázata jelenti. A megfelelő és hatásos ellenintézkedések érdekében az első és legfontosabb feladat a korábban megtörtént repülőgép – vadállat ütközések statisztikai elemzése. A 3. számú ábrán a madárütközések relatív eloszlásai láthatók az évszakok és a napszakok függvényében.

Az első diagramból egyértelműen látható, hogy általában augusztus, szeptember és október a legeseménydúsabb egymást követő három hónap. Az ütközések napi relatív eloszlását szemlélve látható, hogy a balesetek döntő része a reggeli és délelőtti napszakban történik [9].

A repülés közbeni madárütközési kockázat csökkentésének egyik módja lehet a megfelelő repülési manőver végrehajtása. A madárkikerülési manőver hatásossága számos összetevőtől függ, mint például a humán fiziológiai tényezők, a repülőgép kormányvezérlő jelekre adott reakciója.



3. ábra Az ütközések relatív megoszlása (%-ban kifejezve) a hónapok és napszakok függvényében (százalékban kifejezve)

Napjainkban időszerűvé váltak olyan tanulmányok, elemzések készítése, melyek célja hozzájárulni a madárütközések repülőgépek üzemeltetésére gyakorolt kockázatának csökkentéséhez a nagykockázatú madárfajok emberi(!) tájhasználattal történő szabályozásával.

Az elemzések során a szakemberek a madárveszéllyel kapcsolatos fenti ismereteket integrálták a tájhasználattal kapcsolatos információkhoz, létrehozva egy listát, mely segítséget ad a helyi hatóságoknak a repülőtér üzemeltetéséhez illeszkedő terület-felhasználás meghatározásához.

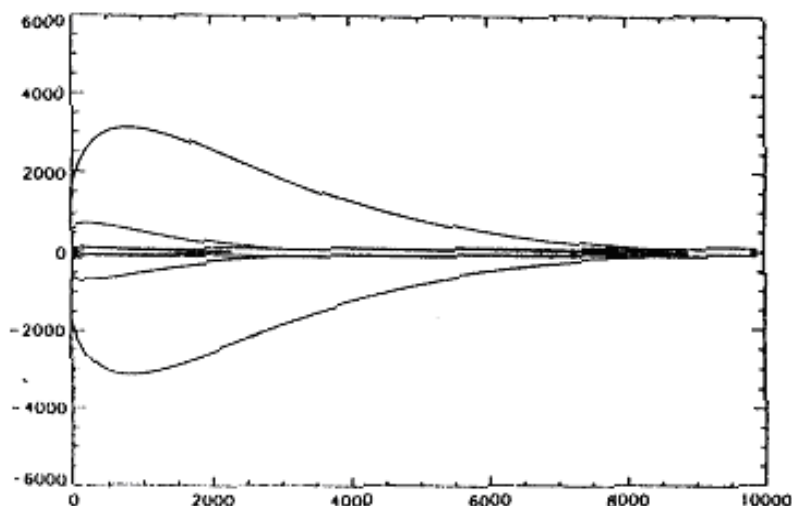
Baleseti kockázatok

A repülőterek közelében bekövetkező légi-katasztrófák kockázatának becslése és elemzése nagy jelentőséggel bír a repülőterek kialakítása vagy fejlesztése, illetve a környező települések (elővárosok) fejlesztése szempontjából. A repülési feladatok legveszélyesebb fázisai a fel- és a leszállások, amelyeket a repülőtereken, vagy azok közel-körzetében hajtanak végre. Ezek a kockázati tényezők jelentős hatással bírnak a környező lakosság számára. Napjainkra a települések terjeszkedése már több helyen elérte a repülőtereket. Belátható, a repülőtér-közel kockázatok becslése és kezelése fontos kérdésként mutatkozik a repülésbiztonság tekintetében.

A repülőtér-közel kockázat számítási módja három fő lépésből áll. Elsőként a repülőterek közelében bekövetkező légi balesetek valószínűségét kell meghatároznunk. Ez függ a baleset bekövetkezésének egy mozgáshoz (fel- vagy leszálláshoz) viszonyított valószínűségétől, illetve az adott repülőtéren évente végrehajtott mozgások számától. Az egy mozgáshoz kapcsolódó baleseti valószínűség, a baleseti ráta, a korábbi repülő események statisztikai vizsgálatával határozható meg. A repülés biztonságának növekedésével együtt a baleseti ráta fokozatosan csökken, így ezen tényező jövőbeni értéke csak extrapolációval becsülhető. Jelentős eltérés mutatkozik a baleseti ráta értékében a különféle repülési feladatok, a Föld különböző régiói között is.

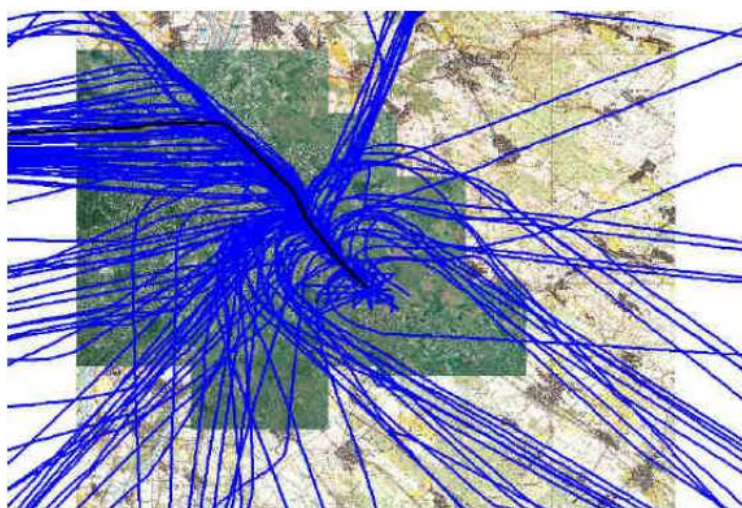
A baleseti ráta ismeretében, az adott repülőtér éves forgalma (mozgásai) alapján meghatározható az egy baleset bekövetkezésének éves valószínűsége.

Valójában a helyi baleseti valószínűség nem egyenletes a repülőtér közvetlen közelében, így a baleseti valószínűség térbeli eloszlását is meg kell határoznunk. Ezt a felszállópálya küszöbétől mérve a pálya talajra vetített görbéje mentén, az attól mért merőleges távolság függvényében kell meghatározni. [7]



4. ábra Lokális katasztrófa eloszlások [1]

A katasztrófák bekövetkezésének lokális valószínűségét (vízszintes-síkú) kétdimenziós eloszlással írták le az előző adatok további statisztikai elemzésével. A 4. számú ábra a statisztikai úton meghatározott teljes lokális katasztrófa valószínűség eloszlást szemlélteti a fent meghatározott koordináta rendszerben. A diagramon úgynevezett „izo-valószínűségi” görbék láthatók. Mivel a fenti kockázati zónákat a pálya talajon vett vetülete mentén kell értelmeznünk, ezért külön figyelembe kell venni a fel- és leszállási nyomvonalakat is a vizsgált repülőtér esetére. Az 5. számú ábra egy közforgalmú repülőtér felszálló nyomvonalak 24 órás eloszlását mutatja. [6]



5. ábra Induló repülőgépek 24 órás nyomvonal eloszlása [6]

A katasztrófa várható következményét a baleseti terület nagysága és a területen belül fellépő halálesetek számával jellemezték és modellezték a kutatók.

Mivel a fenti kockázati zónákat a pálya talajon vett vetülete mentén kell értelmeznünk, ezért külön figyelembe kell venni a fel- és leszállási nyomvonalakat is a vizsgált repülőtér esetére.

A következő lépésként fel kell állítani az úgynevezett baleseti következmény-modellt, mellyel az eseti faktort tudjuk meghatározni. Az eseti faktorok meghatározásához figyelembe veszik az úgynevezett ütközési, repülőgép és környezeti jellemzőket.

Egy baleset következményének mértékét a baleseti terület nagyságával és az azon belüli a halálos következmények számával határozzák meg a modell felhasználásával. A baleseti következmény modelleket három csoportba lehet sorolni. Az úgynevezett első kategóriájú modell esetén szubjektív becslési módokat alkalmaz. Ezt akkor célszerű alkalmazni, amikor a következmények meghatározásához nem rendelkezünk statisztikailag megfelelő számú adattal.

A determinisztikus baleseti következmény modell alkalmazásakor a rendelkezésre álló adatok alapján határozzák meg a várható következményeket. Ez a módszer hajlamos túlbecsülni egy baleset következményeit.

A valószínűségi baleseti következmény modell a repülőgép paramétereiből, illetve a becsapódáskori mozgási adatokból származtatott statisztikai adatok alapján történik a katasztrófa következményeinek becslése. A módszer előnye, hogy sem szubjektív véleményt, sem szakmai feltételezést, hipotézist nem igényel.

ÖSSZEFOGLALÁS

A rendszer és környezete kapcsolatában az idő függvényében bekövetkező változásoknak a repülés és a repülésfejlesztés környezetvédelmi értékelésénél a korábbiakhoz képest nagyobb szerepet célszerű biztosítani. A környezet részéről adott válaszreakció milyensége ugyanis a legtöbb esetben a hirtelen kialakuló, vagy a változó értékkel fellépő környezeti terheléstől függ, amire a következőkben nagyobb figyelmet szükséges fordítani, ennek hiányában határértékkel nehezen kezelhető probléma alakul ki.

A környezeti hatás megítélése nagyban függ attól, hogy a repüléstől származó terhelés milyen környezetet érint, milyen irányú és mértékű változást okoz az alapállapotban, ezzel együtt attól, hogy melyik környezeti elem — egy vagy akár több — vonatkozásában okoz változást a repülési tevékenység adott fázisa, vagyis a földi üzem, a fel- és leszállás vagy siklás. Ezért a következőkben a repülési tevékenység vizsgálatát két ütemben látjuk célszerűnek, elsőként a repülés céljaként a globális hatások függvényében történő értékelés szerint, második fázisban pedig a tevékenység ütemekre való bontásával a szűkebb környezet alapján.

A kibocsátások, illetve a környezetterhelés időbeli változása miatt szeretnénk a továbbiakban a repülés, mint rendszer, valamint a rendszerhatárok mentén található környezet kapcsolatára nagyobb figyelmet fordítani. Az idő függvényében a változó kibocsátási jellemzők ugyanis időben eltérő, a repüléshez és a kapcsolt tevékenységhez köthető válaszreakciót generálnak a környezettől, ami a rendszerhatárok változásának követését igényli.

Ezért a környezetszennyezés- vagy a terhelés csökkentésénél javasoljuk előtérbe helyezni azokat a megoldásokat, melyek együttesen és átfogóan veszik figyelembe, illetve követik a

repülés, mint rendszer tulajdonságait, ehhez kapcsoltan a rendszerhatárokat és azok időbeli változásait, valamint a környezet tulajdonságait.

Kutatási célunk a repülésfejlesztésnél várható környezeti hatások azonosításán túl olyan jellegű elemzések kidolgozása, melyek a repülésfejlesztés és a környezet kapcsolatát érintik, vizsgálva annak lehetőségét, hogy a várható változás és mértéke, a környezeti hatás dominanciája alapján pontosabb becslési eredményekhez jussunk. Ezek a kérdések a környezeti kockázatok tartalmának meghatározásával is összefüggésben vannak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALE, B.J.M., PIERS, M., The assessment and management of third party risk around a major airport, *Journal of Hazardous Materials* 71 2000 1–16
- [2] BERA JÓZSEF, POKORÁDI LÁSZLÓ, *Helikopterzaj elmélete és gyakorlata*, Campus Kiadó, Debrecen, 2010.
- [3] BERA JÓZSEF, Ipari helikopteres repülés környezeti hatása, *Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban* 2010, 89-94. ISBN 978–963–7064–23–4., www.mfk.unideb.hu/mszb/muszfuz.
- [4] BERA JÓZSEF, Repülési zaj értékelése, *Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban* 2007, 5-14. http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/musz_fuz_jo_04.pdf
- [5] BERA JÓZSEF, Repülőtér létesítés és környezeti zajvédelem, *Repüléstudományi Közlemények Különszám*, 2009. április, Szolnok, CD kiadvány. http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2009_cikkek/Bera_Jozsef.pdf
- [6] MUDRA ISTVÁN, Légtér- és eljárásváltozások a „Budapest TMA”-ban, XV. Repüléstudományi Napok XV. Repüléstudományi Napok, 2005.
- [7] PIERS, MICHEL, The development and application of a method for the assessment of third party risk due to aircraft accident in the vicinity of airports, *Proc. Of the 19th Congress of the ICAS*, Anaheim, California, USA, p. 507 – 518.
- [8] POKORÁDI LÁSZLÓ, MADARÁSZ LÁSZLÓ, Kockázati tényezők és kockázatkezelési példák a katonai repülésben, *Új Honvédségi Szemle*, Budapest, 1999/12, p. 7–16.
- [9] POKORÁDI LÁSZLÓ, Kockázatkezelés a repülésben, *Repüléstudományi Közlemények*, ZMNE RTI, Szolnok, 1999/1, p. 65–77.
- [10] POKORÁDI LÁSZLÓ, A repülőterek körüli madárveszély vizsgálata, *Haditechnika*, Budapest, 2005/4, p. 16–20.