

Óbudai Egyetem
Doktori (PhD) értekezés



**Légi közlekedés környezetbiztonsági
kapcsolatrendszerének modellezése a helikopterzaj
tükrében**

Bera József

Témavezető:

Pokorádi László CSc.

Biztonságtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2015

Szigorlati bizottság:

Elnök: Dr. Berek Lajos, egyetemi tanát, ÓE

Tagok: Dr. Kiss Sándor (külső)

Dr. Simon Ákos (külső)

Nyilvános védés teljes bizottsága:

Elnök: Dr. Réger Mihály, egyetemi tanár, ÓE

Titkár: Dr. Drégelyi-Kiss Ágota, egyetemi docens, ÓE

Opponensek: Dr. Óvári Gyula, egyetemi tanár, NKE

Dr. Verrasztó Zoltán PhD

Tagok: Dr. Bodnár Ildikó, főiskolai tanár, DE

Dr. Szabó József DSc (külső)

Dr. Kavas László, egyetemi docens, NKE

Nyilvános védés időpontja:

2015. június 26.

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalomjegyzék	1
Előszó	3
1. Bevezetés	4
2. A kutatás előzményei.....	5
2.1. Tudományos előzmények áttekintése	5
2.2. Tudományos probléma felvetése	15
2.3. Kutatási alapelvek és motivációk	17
2.4. Kutatási cél megfogalmazása	19
2.5. Vizsgálati módszerek.....	20
3. A környezeti zaj.....	22
3.1. A zaj, mint környezeti hatás	24
3.1.1. Hang és zaj.....	24
3.2. A zaj elleni védelem rendszere	28
3.3. A légi közlekedési zaj.....	34
3.4. Repülési zaj szabályozásának áttekintése.....	40
3.5. Következtetések, ajánlások.....	44
4. Környezetbiztonság és környezetvédelem rendszerszemléletű elemzése	45
4.1. Környezetvédelmi előzmények	45
4.2. Rendszertani és modellezési megközelítés.....	47
4.3. Környezetvédelmi rendszer és rendszerhatár	56
4.4. Környezetbiztonsági rendszer és rendszerhatár.....	60
4.5. A környezetbiztonság és a környezetvédelem kettős modellje	62
4.6. A környezetbiztonsági szint.....	64
4.7. Következtetések, ajánlások.....	67
5. Környezeti hatások elemzése.....	69
5.1. A rendszerműködés és a környezeti hatások összefüggései	69
5.2. Repülés pozitív környezeti hatásának értelmezése.....	71
5.3. Környezetbiztonság és bizonytalanság összefüggése.....	77
5.4. A környezeti hatás és a környezetbiztonság alapelve.....	81
5.5. Következtetések, ajánlások.....	85
6. Monte-Carlo szimuláció a környezetbiztonsági szint elemzésre.....	87
6.1. Környezetvédelmi helyzetértékelés	87

6.2. A Monte-Carlo szimuláció	89
6.3. A vizsgált környezeti hatás és modellalkotás	92
6.4. Helikopter leszállóhely zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja	98
6.5. Egyedi repülési műveletek zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja.....	100
6.6. Következtetések, ajánlások.....	106
7. Új tudományos eredmények	107
8. Tudományos eredmények hasznosítása	109
Felhasznált irodalom.....	110
Jelölt értekezéssel kapcsolatos publikációi.....	115

ELŐSZÓ

Disszertációm megírásához szükséges kutatómunka 1997-ben kezdődött, miután okleveles mezőgazdasági gépészmérnöki végzettséget szereztem a Gödöllői Agrártudományi Egyetem Mezőgazdasági Gépészmérnöki Karán, majd megkezdtem doktori (PhD) tanulmányaimat.

A kutatómunka folytatásához és az eredmények publikálásához, valamint a kezdést követő 15. év elteltével a disszertáció megírásához meghatározó jelentőségű, baráti, szakmai és oktatói célzatú, önzetlen segítséget kaptam témavezetőmtől, *Pokorádi Lászlótól*, akinek ezúton fejezem ki hálámat. Tudom és őszintén állítom, hogy nélküle a dolgozat nem valósult volna meg, így a tőle kapott segítséget hálásan és tisztelettel, baráti szeretettel köszönöm.

Voltak, akik nem bíztak bennem, a környezetvédelmi munka és a közöttem a hosszú évek során kialakult kötődést figyelemre sem méltatták. Ők úgy gondolták, hogy a zárthelyi természetfotózás több lehetőséget kínál a több évtized alatt megszerzett tudás hasznosításához. De meggyőződésem volt, hogy ennek ellenére folytassam a munkát, és mindent megtegyek annak sikeres befejezése érdekében.

Köszönöm az Óbudai Egyetem Gépész és Biztonságtechnikai Kar vezetőinek, munkatársainak, az oktatóknak és a hallgatóknak az általam végzett munkához nyújtott önzetlen segítséget. A Biztonságtudományi Doktori Iskola működése teremtette meg a modern környezetvédelem kutatásának lehetőségét, fontos szakmai kapcsolatot hozott létre a többi tudományterülettel, disszertációm befejezéséhez ez a körülmény és szakmai párbeszéd jelentős hozzájárulást jelentett.

Köszönöm továbbá a számomra nyújtott önzetlen és mély lelki indíttatásból fakadó segítséget *Molnárné Góbor Katalinnak*, valamint *Péterfi Ildikónak*. Nélkülük a disszertáció nem jött volna létre, meghatározó volt az általuk tanúsított, mindig segítőkész szeretet.

Disszertációm egy 18 éve tartó munka konklúziója, ami az általam elvégzett számtalan zajmérés és vizsgálat, környezetvédelmi áttekintés és beszélgetés alapján levont következtetés felhasználásával állt össze. Mondanivalómat igyekeztem mindenki számára érthető módon, de a szakmai elvárásoknak megfelelően leírni. Remélem, hogy a dolgozat szövegezése kellően informatív, a magyar nyelv szabályai szerint mindenki számára elfogadható, a megértést szakember és külső szemlélő számára egyaránt lehetővé teszi.

A kutatómunka és a disszertáció elkészítésének szakmai, gazdasági és pénzügyi háttérét a *Fonometro Környezettechnikai Bt.* teremtette meg. Hosszadalmas lenne felsorolni mindazon szakértő barátomat, aki a mindennapi munka folytán akár szándékosan, akár különösebb szándék nélkül és akaratlanul, de önzetlenül járult hozzá a munkám sikeréhez. *Ők* mind tudják, hogy kire és kikre gondolok, köszönöm *Nekik*.

Szándékom szerint a környezetvédelem gondjainak csökkentését, a felmerülő kérdések megválaszolását, a környezetvédelem és a repülés közös ügyének előremozdítását hivatott szolgálni a disszertációm. Nem gondolom, hogy a környezet védelmét egy disszertációval személyem gyökeres módon befolyásolhatja, hiszen pusztán a szakmai ismeret és annak közreadása ehhez nem elegendő. De hiszem, hogy a problémamegoldás előremozdításához a gondolkodás folytán minden ötlet és kutatási eredmény hozzájárulhat, így nem zárom ki annak lehetőségét, hogy tettem valamit a jövő elfogadható környezeti állapotáért.

1. BEVEZETÉS

A környezet védelme az emberi tevékenységek kiterjedését és összetettségét tekintve megoldásra váró feladatok sorát jelenti az élet számos területén. Az emberek saját létfenntartásuk mellett a folyamatos fejlődés és a napi életvitel céljából egyre nagyobb igénybevételnek teszik ki a Földet, a természeti értékkel rendelkező területeket és a természetes élőhelyeket, az épített környezetet és azon belül önmagukat. A környezetvédelem ugyanakkor az elfogadható környezeti állapot fenntartása mellett az ember megóvását is jelenti a különböző hatásokkal szemben, hiszen nemcsak együtt kell élnünk környezetünkkel, hanem azt kényszerűen el is kell viselnünk jellemzőivel és a belőle fakadó impulzusokkal együtt.

A *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon* [35] rögzíti, hogy fizikai, biológiai és kémiai jellemzőit tekintve a környezet bonyolult, sokszor nehezen áttekinthető rendszert alkot, ezért a tudomány jelenleg egymástól lehatárolt egységekben kezeli. Általánosan elterjedt felosztás szerint beszélhetünk a levegőtisztaság, a talajok, a felszíni és a felszín alatti vizek, az élővilág, valamint a táj és az épített környezet védelméről, ami magába foglalja a zaj és rezgés elleni védelmet is. A környezet védelme tehát az elfogadható állapotok megóvására és fenntarthatóságára irányul, és valamennyi egységre kiterjed.

De kitől és mitől kell megóvni a környezet elemeit vagy egészségét? Kézenfekvő a válasz, hogy azoktól, akik használják és igénybe veszik a környezet valamely elemét. Kik tartoznak ebbe a körbe? A válasz, hogy minden és mindenki. Különösebb magyarázat nélkül belátható, hogy a környezetvédelem mindenkit érint, aki a Földön tölti életét. Érintett, aki ide született, aki itt szerzi be táplálékát, itt neveli gyermekét, itt biztosítja lakhatását és megélhetését, munka és egyéb tevékenységek által alakítja a környezetét, valamint utazik, vagy kisebb-nagyobb távolságokat tesz meg különböző közlekedési eszközökkel. Minden ember hatással van a környezetére és minden emberre hatást gyakorol a környezete.

Kutatómunkám sarokköve a környezeti igénybevétel elemzése, melyben meghatározó a környezet eredeti állapotát megváltoztató folyamatok, a létfenntartás és a társadalmi normáknak megfelelő emberi viselkedésformák, a mindennapi tevékenységektől származó hatások megismerése. Általános felfogás szerint a környezet állapota a fokozódó terhelés miatt kimutathatóan rosszabb lesz, átmenetileg, vagy tartósan megváltozik. Hiszem, hogy a rendelkezésre álló környezetvédelmi technikákat tekintve ez a felfogás megváltozhat olyan irányban, hogy a beavatkozások a környezetvédelem hatékony eszközei is legyenek, ezáltal az állapotváltozás a környezeti helyzet javulásához vezessen vagy járuljon hozzá.

Kijelenthető, hogy a XXI. században a környezetvédelem minden társadalom egyik alappillére, az emberiség számára a létfenntartás nélkülözhetetlen része.

Fenti gondolatok adták az iránymutatást ahhoz, hogy az általam a repüléssel összefüggésben elvégzett környezetvédelmi vizsgálatok eredményeit [80] és [81], a kockázatkezelésben tett megállapításaim tükrében tekintsem át [93] és [94]. Ezáltal kutatásaim középpontjába a repülés, a környezetvédelem és a környezeti kockázatkezelés együttesét helyeztem. Tettem ezt úgy, hogy a környezetbiztonságra is kiterjedően lépjem át a jelenlegi fogalmi határokat, szándékom szerint elősegítve a technika és az ökológia közötti szakadék szűkítését, a megelőző környezetvédelmi technikák előtérbe kerülését.

2. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon* megfogalmazása szerint a környezetvédelem "Olyan céltudatos, szervezett, intézményesített emberi (társadalmi) tevékenység, amelynek célja az ember ipari, mezőgazdasági, bányászati tevékenységéből származó káros következményeinek kiküszöbölése és megelőzése az élővilág és az ember károsodás nélküli fennmaradásának érdekében." [35].

Más kutatók közleménye alapján a környezetvédelem és a környezetgazdálkodás kialakulását a környezeti folyamatok felgyorsult változásaival indokolják [65]. Ez az általam is akceptált megállapítás – miszerint a felgyorsult változások alapvetően környezetünket, annak biotikus és abiotikus elemeit érintik – szintén a talaj, a víz, a levegő és az élővilág, valamint a természeti erőforrások védelmét említi. A hagyományos értelemben alkalmazott környezetvédelem megfogalmazásokat azonban a környezeti folyamatok megváltozott jellegére tekintettel kutatómunkámban úgy adaptáltam, hogy az emberi tevékenységek és a környezethasználattal járó folyamatok káros következményeinek kiküszöbölésére irányuljon a környezetvédelem mind az anyagi, mind az energia jellegű terhelési folyamatokra kiterjedően.

A környezetvédelem, mint szóösszetétel a szakirodalomban vagy a lexikonokban az 1970-es évekig nem jelent meg önállóan [65]. A környezetvédelmi kérdésekkel azonban a különböző szakterületek már ekkor is foglalkoztak, hiszen az erózió és a defláció ellen védekezni kellett, a szennyvíztisztítás feladatait el kellett látni, illetve a hulladékok elhelyezésekor vagy a zaj és rezgés elleni védelemben a közegészségügyi igények érvényesítése megjelent. Így ezek egy-egy szakma szakkifejezései voltak.

Az emberiség életében bekövetkező tudományos-technikai fejlődés a XX. század közepétől az energiaforrások feltárását, termelésbe vonását és fokozódó automatizálását, a termelési folyamatok megsokszorozódását és a legkülönbözőbb mesterségesen előállított anyagok felhasználását jelentősen növelte. Mindez magával hozta a közlekedés fejlődését is, miáltal a különböző közlekedési ágazatok, ezen belül a repülés ugrásszerű növekedésnek indult.

A rendelkezésre álló lehetőségeket és a világ népességének alakulását tekintve – ennek jelentőségét több kutató is kiemeli közleményében a környezetvédelem és a környezetgazdálkodás tárgyalása során – szükségszerűvé vált, hogy a környezetvédelemben az elszigetelt ok-sági láncolatban való gondolkodás helyett a dinamikus rendszerek hálózatának modellje kerüljön előtérbe [26], [65].

2.1. Tudományos előzmények áttekintése

Vizsgálataim kiindulási pontját azon megállapításokra alapoztam, hogy a környezetben zajló jelenségek sajátos kapcsolatban vannak egymással, a környezeti hatások így összetett jelenségek útján alakulnak ki [26], [35], [65]. A modern környezeti problémát *FÖRSTNER* [26] már a XX. században bekövetkezett technikai fejlődés figyelembevételével írja le, ezzel együtt rögzíti a hagyományos és a modern környezetszennyezés mennyiségi és minőségi különbségeit is. Az általa leírt megközelítésben már fellelhető a környezetvédelem azon meghatározó kérdése, mint az emberi tevékenységek szükségszerű folytatásával szemben támasztott globális és társadalmi igény.

FÖRSTNER [26] a közreadott megfogalmazásában már modern környezetszennyezésről beszél, azáltal, hogy az emberi tevékenységekre az egyének és a társadalmak úgy tartanak igényt, hogy azok megvalósulása természetes és az átlagos élet szükséges velejárója legyen.

A környezetvédelem szükségességét *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon* [35] az emberi tevékenységek okaként fogalmazza meg, ehhez hasonlóan *BARÓTFI* [10] is kijelenti, hogy a környezetkárosítás egyik jelentős forrása maga az emberi tevékenység. Az emberi tevékenységekkel kapcsolatos főbb megállapításokat *SIEFERLE* [56] úgy rögzíti, hogy a lokális környezeti problémák helyére az átfogó környezeti problémák kerülnek, az egyszerűek helyébe a komplex hatások lépnek. Ebből adódik, hogy érzékelés alapján leírt környezeti hatáselemzést a tudományos megközelítéssel való elemzés váltja fel, sok esetben lépnek visszafordíthatatlan folyamatok a visszafordítható folyamatok helyébe.

Követve a *FÖRSTNER* [26] modern környezetszennyezésre vonatkozó megállapításából adódó iránymutatást, megfogalmazható a környezetvédelem újkori problémája, miszerint olyan tevékenységekkel állunk szemben, melyek fenntartása természetes és alapvető a legtöbb ember számára, az emberi lét már elképzelhetetlen ezek hiányában. Ilyen tevékenységek sorába tartozik a közlekedés, ezen belül a légi közlekedés is. Tehát társadalmi és globális értelemben is igényt tartunk a repülésre – utasszállítás, teherszállítás, rendkívüli helyzetek kezelése és mentési feladatok – azzal a kitételrel, hogy a környezet védelme szükségszerű és javítani kell a környezet állapotán. Ez két ellentétes folyamat, melyek együttes kezelését kell megtanulni és a környezethasználat fenntartása mellett kell a környezetvédelmet megvalósítani.

A légi közlekedés esetében tehát egy olyan környezethasználattal járó komplex tevékenységről van szó, amire globális, társadalmi és helyi értelemben széleskörű igény van. Ennek egyik következménye, hogy a repülésbiztonság problémáját és fejlesztési elveit is kutatni kell, ahogy erre *ROHÁCS* és *HORVÁTH* [53] elemzésében látunk példát. Rámutatnak a repülésbiztonság alapvető problémájára, a repülési kockázat a repülőgépek és a felszállások számának növekedése miatt egy eléggé alacsony szinten stabilizálódik. Ebben a megközelítésben megjelennek ugyan a kockázatkezelési eljárások, de ezek nem környezetvédelmi, hanem repülésbiztonság (safety) és repülésvédelem (security) célzattal, a váratlan és nem tervezett repülőesemények vizsgálatára összpontosítva kerülnek górcső alá.

Repülésbiztonság vonatkozásában meg kell említeni *FIELDING, J. P.* [23] munkásságát, aki részletesen tanulmányozta a szállító repülőgépek rendszereinek megbízhatósági és meghibásodási kockázatát. *FIELDING, J. P.* [23] a kockázatbecslést egy üzemeltetés-modellezési és szimulációs módszer alkalmazásával végezte el, a rendszerek elemeinek meghibásodását és azok következményeit a szállítógépek jellemző repülési feladatának, és a repülés útvonalának modellezésével szemlélteti. Figyelemre méltó az általa alkalmazott módszer, ahogy a repülési feladat modellezésébe beépíti a feltételezett alternatívák véletlenszerűségét, az üzemeltetési részfolyamatot pedig Markov-folyamatként modellezi. Ennek lényege, hogy a repülési feladat a rendszer fázisainak egymásutánisága, minden fázis és alternatíva kiválasztását Monte-Carlo szimulációs módszerrel oldotta meg.

Repülőtér-közeli katasztrófa kockázatának becslésével foglalkozott *PIERS* [49], aki a katasztrófa becsléséhez az egy repülőesemény bekövetkezésének valószínűségét határozta meg, továbbá az általa elvégzett vizsgálatok keretében kitért a baleset lokális valószínűség eloszlá-

sára és a következmény várható mértékére. *PIERS* [49] alapján nagy jelentőséggel bír a repülőterek közelében bekövetkező légi-katasztrófák kockázatának becslése a repülőterek üzemeltetésének meghatározása és módosítása az elővárosok fejlesztése szempontjából.

A repülésbiztonság kérdéskörét vizsgálta többek között *KRAUSE* [33], *SIKLÓSI* [58], *WHITE* [69], valamint *DUDÁS* [19] és [20] által közreadott elemzés is. Ezek a szerzők, hasonlóan a repülésbiztonságról *FIELDING* [23] és *PIERS* [49] által közöltekhez, a tényleges környezetvédelmi problémákkal és ezek részleteivel nem foglalkoztak. Tény ugyanakkor, hogy a repülésbiztonság önmagában hordozza a környezet védelmének bizonyos elemeit, hiszen a repülésbiztonság a repülési balesetekből adódó környezetszennyezés bekövetkezési valószínűségét csökkenti. A környezeti hatások és a repülésbiztonság együttes vizsgálatára vonatkozó tényleges információ azonban a rendelkezésre álló szakirodalomban és publikált kutatási adatok sorában csak szűkösen, utalás szintjén lelhető fel.

Repüléselmélet és a légi közlekedés tekintetében a környezetvédelem egyik jelentős szakterületét, a zaj elleni védelmet tárgyalja közel négy oldalon keresztül a *Repülési Lexikon* [63]. A környezeti hatások jelentősége szempontjából kiemelt figyelmet érdemel a *zajcsillapítás* címszó alatt megfogalmazott tény, miszerint "*A zajcsillapítás napjaink repülésének egyik legfontosabb kérdése*".

A repülésbiztonságot is érintő megállapítást is tartalmaz a *Repülési Lexikon* [63], ami a repülőgépek által kibocsátott zaj csökkentésére irányul, így a zajcsökkentés egyik lehetősége a repülési manőverek olyan szervezése és irányítása, hogy a repülőgépek által kibocsátott zaj elsősorban a lakott területek felett, minimális legyen. A másik lehetőség olyan repülőgép hajtóművek létrehozása, melyek zajkibocsátása általában alacsony.

Zajcsökkentés tekintetében a lehetőségeket szintén felsorolja a *Repülési Lexikon* [63], a járműszerkezeti megoldások mellett külön figyelmet szentel a zajcsökkentő üzemeltetési eljárásoknak, például a meredekebb emelkedésnek, kisebb hajtómű-teljesítménynek, a megfelelő szárnymechanizáció-kitérítésnek, vagy a szárnymechanizáció késleltetett működtetésének leszálláskor. Ezek szintén összefüggésbe hozhatók a repülésbiztonsággal, hiszen a repülési módokba való beavatkozást jelentik, megfogalmazásában a *zajcsökkentett repülés* megvalósítását célozzák meg. Zajcsökkentett repülés "*a repülőtér környezetében a felszállás után, illetve a leszállás előtt a repülési pályának és/vagy a hajtómű üzem módjának megváltoztatása a teljesítmény és gazdaságosság szempontjából optimálishoz viszonyítva a repülőtér környezetében bizonyos területeken fellépő zajszint csökkentésére*" [63].

Amennyiben bármilyen okból, így a környezetvédelem és környezetbiztonság, illetve zajcsökkentés érdekében beavatkozunk a repülésbe, arra csak a repülésbiztonságra tekintettel kerülhet sor, amit szintén a *Repülési Lexikon* [63] által közreadott fogalmi meghatározás figyelembevételével támasztok alá. A *repülésbiztonság* alapján: "*a levegőben történő mozgásban komplex emberi tevékenység eredményeként létrehozott, az adott feltételek között optimális működőképességi, valószínűségi állapot*". Továbbiakban a *Repülési Lexikon* kijelenti, hogy a repülésbiztonságot a befolyásoló tényezők tömege határozza meg [63]. A befolyásoló tényezők közé *LÁNG* [35], *BARÓTFI* [10], *THYLL* [65] és *FÖRSTNER* [26] részéről tett megállapításokra is tekintettel a zajcsökkentés igénye, így a környezetvédelem, a környezetbiztonság, valamint a biztonság tudomány kérdésköre is beletartozik.

A biztonságstudomány kérdéskörével behatóan foglalkozó szerzők főként a biztonságra, mint összetett tudományágra tekintenek. *CSUTORÁS* [17] részletesen kifejti a biztonság lényegét ráirányítva a figyelmet arra, hogy biztonság nem egyféle van. Rámutat arra is, hogy a biztonság területei markánsan elkülönülnek és ennek megfelelően épülnek be a biztonságstudományba. Ezt figyelembe véve *CSUTORÁS* [17] szerint a biztonságstudomány területei: szociális biztonság, jogi biztonság, gazdasági biztonság, politikai biztonság, környezetbiztonság, tűzvédelem, ökológiai biztonság, munkavédelem, katasztrófavédelem, katonai biztonság, nukleáris biztonság, stb. A felsoroltakból következik, hogy a biztonság, mint komplex fogalom területenként sajátos jelentéssel bír. A biztonság fogalma *CSUTORÁS* [17] megfogalmazásában: "A biztonság egy pillanatnyi veszélymentes, bántódásmentes állapot".

A biztonság, mint veszélymentes állapot gyakran jelenik meg a természeti katasztrófák vonatkozásában, ebből az aspektusból megközelítve a katasztrófák előfordulása, következményei és az előrejelzés kap szerepet. A természeti katasztrófákkal kapcsolatban tesz javaslatokat részletes elemzésre támaszkodva *ГРИИИИ* és *НОСИКОЕ* [72] is, összefüggésbe hozva az emberi viselkedésformákat a napjainkra számos helyen kialakult bonyolult környezettel. *ГРИИИИ* és *НОСИКОЕ* [72] a figyelmet más kutatókhoz hasonlóan a vészhelyzetek előrejelzésére és a mentési műveletekre irányítja, ezáltal a környezetet még mindig a vészhelyzeten keresztül vizsgálja, a népesség mentését tartva elsődleges szempontnak, melyben nem kap kellő hangsúlyt a környezetvédelem.

A modern környezetvédelemnek véleményem szerint ezen túl kell mutatnia, így szükség-szerűnek tartom azoknak a tudományos eredményeknek a megismerését, melyek a veszély megszüntetését az emberi tevékenységek és a környezeti igénybevétel közötti összhang megvalósulásával segítik elő. Ennek jelentőségére hívja fel a figyelmet *ЗАХВАТКИИ* [75] is, amikor az általános és a mezőgazdasági ökológián keresztül mutatja be a hagyományos tevékenységeket a környezetvédelmi perspektívákkal és módszertannal együtt. Az általa megfogalmazott módszertan szerint nem csak arra kell összpontosítani, hogy a környezeti igények alkalmazkodjanak a mezőgazdasági termeléshez, hanem az általános elképzelést kell bővíteni a környezeti tényezők és a folyamatok rendszerelmzésével.

A *ROHÁCS* és *HORVÁTH* [53], *KRAUSE* [33], *SIKLÓSI* [58], *WHITE* [69], *DUDÁS* [19] és [20], valamint *CSUTORÁS* [17] által adott értelmezésben a biztonság mozgatórugója a veszély. A veszély megjelenési formája és jellege ugyanakkor igen sokrétű, a társadalmi folyamatok számos területén jelen van, tehát a tevékenységekben rejlő kockázat magában hordozza a veszélyt, azaz egy jövőbeni esemény kedvezőtlen körülményeinek kialakulását is. Ahogy *CSUTORÁS* [17] rögzíti, a veszély a biztonság mértékét csökkenti.

A veszélyt és a biztonság mértékét egyes kutatók abból a szempontból közelítik meg, hogy a katonai és háborús tevékenység ellentétes az ökológiai biztonsággal, hiszen a katonai tevékenységek jelentős környezeti károkat okoznak. Erre világít rá *КЫКВИИИИ* [76] is, amikor a fegyveres konfliktusok környezetvédelmi következményeiről ad részletes elemzést. A biztonság és a környezetvédelem kapcsolatában nem talákoztam más kutatók által közzétett hasonló megközelítéssel, így a *КЫКВИИИИ* [76] által feltárt környezeti problémafelfogás egyedinek mondható.

Az eddigiekben hivatkozott tudományos publikációk alapján ki kell emelnem egy fontos

tényt. Ahogy többen, így *BARÓTFI* [10], *THYLL* [65] vagy *FÖRSTNER* [26] közzé tettek környezetvédelmi vonatkozású megállapításokat és ezzel hívták fel a figyelmet a környezeti problémákra, a környezethasználatok, így a légi közlekedés és a helikopteres repülés, valamint a repülésbiztonság jelentősége mellett is – a felsorolt érveket és vizsgálati eredményeket látva – több meggyőző vélemény is napvilágot látott [21], [29], [53].

A szerzők megállapításai egymástól függetlenül és más-más megközelítésben irányulnak a környezethasználatra és a légi közlekedésre, ez az eltérő megközelítés a repülés szükségessége és a környezetvédelem vagy környezetbiztonság elengedhetetlen volta. Együttes megjelenésük azonban számos kockázatot rejt magában, hiszen a környezetvédelmi eredményesség magában hordozza a repülés korlátozását és olyan szabályok bevezetését, melyek összefüggésben vannak a repülésbiztonsággal, tehát a környezetvédelmi érdekek megjelenése akadályoztatással is együtt járhat. Ennek oka az alábbi kérdésre vezethető vissza: Mit tegyünk vagy tehetünk a környezet védelme érdekében?

Amennyiben környezetvédelmi indíttatásból befolyásoljuk légi járművek használatát – például repülési magasság vagy repülési irányok megváltoztatásával, a légi forgalom korlátozásával – a repülésbiztonság fenntartása érdekében további kockázatkezelési feladatokkal is számolni kell, miközben a légi közlekedés szakirodalmának tanulmányozása során nem találtam olyan véleményt, ami a repülés visszaszorítására vonatkozó megalapozott igényt tárna fel. Ezt az ellentmondásos helyzetet az eddigiekben elmondottakon túl az alábbiakban bemutatásra kerülő tudományos publikációkkal támasztom alá.

A forgószárnyas repülőgépek gyakorlati alkalmazásában és érdemi fejlődésében megfigyelhető pozitív tendenciára hívja fel a figyelmet *KAVAS* és *ÓVÁRI* [29]. Több ponton is rámutatnak a helikopteres repülés széles körben való alkalmazására és ezzel kapcsolatban megfogalmazott igényekre, valamint több szempontból is a repülőgépek sajátos körülmények közötti üzemeltetésére.

Regionális repülőterek fejlesztésének jelentőségét emeli ki *TIBOLDI* [66], amikor kifejti, hogy az ilyen típusú repülőterek regionális érdekeket szolgálnak. A regionális repülőterek fejlesztésének feltételrendszerét is vizsgálja, felhívja a figyelmet egy-egy régió technikai infrastruktúráira és a repülőtér működtetéssel összefüggő gazdasági előnyökre. Jelentős tényezőnek nevezi, hogy nemcsak a repülés előnyeire kell gondolni, hanem az egyéb kapcsolódó gazdasági tevékenységekre is.

További, a repüléssel kapcsolatos társadalmi igényről számol be *Erdősi* [21], rámutatva arra az általános összefüggésre, mely szerint a légi közlekedés és a gazdaság kölcsönhatásban van egymással, mennél fejlettebb a légi közlekedés, annál magasabb szinten áll egy ország gazdasági-társadalmi szempontból. A légi közlekedés a legegységesebben és leglátványosabban azokban az országokban bizonyítja nemzetgazdasági szerepét, ahol alacsony a népsűrűség, valamint a nehezen leküzdhető természeti akadályok és a földi közlekedési hálózat elégtelensége miatt a repülés az egyetlen teljesítő képes közlekedési eszköz szerepét tölti be. A fejlettebb országokban a normálisan működő légi közlekedési rendszer lehetővé teszi a javakkal való ellátás magasabb szintjét [21].

Más kutatók a légiközlekedés pozitív hatásainak feltérképezése alapján értékelik a repülést, ahogy erre *LEGEZA* és *TÖRÖK* [36], *BOKOR* és *TÁNCZOS* [12] is rávilágít. Tanulmá-

nyukban kifejtik, hogy a repülés hatására a távolságok lerövidültek, az utazási idő csökkent, ezáltal új elérhetőségi rangsor alakult ki Európában. Ennek jelentőségét emeli ki *ERDŐSI* [22] is, véleményében kifejti a régiók közlekedési versenyképességének jelentőségét, valamint ráirányítja a figyelmet a közlekedési kínálat gazdaságra kifejtett pozitív hatásaira, amit azzal indokol, hogy a légi közlekedés a régiók szempontjából napjainkra már rangos tényezővé lépett elő.

Az ellentmondásos helyzetet támasztja alá, hogy a légi közlekedés más megközelítésben az eddigiektől eltérő képet mutat, amikor a hatásokból és a környezethasználatokból – egyfajta környezethasználat a repülés is – eredő következmények vizsgálata kerül előtérbe a környezeti állapotváltozás és a környezetvédelmi célok tükrében, amire *KOLOSZÁR* [31] több szakterületre kiterjedő vizsgálati adatsorokra támaszkodva rámutat.

Hasonló következtetést von le *HANKÓ* és *FÖLDI* [27] is a környezetszennyezés optimális szinten tartásával kapcsolatban, kiemelve a környezettel való ésszerű gazdálkodás jelentőségét. A környezet és a technológiák összefüggéseinek elemzése során a repülés környezeti hatásairól tesznek említést, egyben rámutatnak arra is, hogy komplexitása révén a környezetbiztonság a gazdaság mellett – értelmezésében az emberi tevékenységek – a környezetvédelmet is felforgatta. *HANKÓ* és *FÖLDI* [27] megállapítása, hogy új környezetvédelmi megoldásokra lesz szükség, ami véleményem szerint megfelel *FÖRSTNER* [26] által a modern környezetszennyezésről megalkotott képnek.

Átfogó kutatások eredményeit felhasználva veszi sorra *FLEISCHER* [24] a környezeti biztonság fogalmának kérdéseit, a katasztrófavédelmi vetületét, majd következtetéseket von le a környezeti biztonság és a külpolitikai stratégiai alkotás között. Érdekes és figyelemre méltó megjegyzése, hogy a környezettől való biztonság akkor érhető el, ha a környezet is biztonságban van a mi beavatkozásainkkal szemben. Több ponton is megállapítja a konfrontációt felváltó kooperációt, a felkészülés és a megelőzés szerepét.

A környezet biztonsága, ahogy *FLEISCHER* [24] megfogalmazta az emberi beavatkozások elleni védelem lényegét, jelentős mértékben függ a biztonságos repüléstől. Ennek alapja a *ЖУЖЕБ* és *ИБАХОБ* [74] által adott iránymutatást tekintve az ember, illetve a repülőgépvezetők cselekvési modellje a szokásostól eltérő vagy különleges helyzetekben. *ЖУЖЕБ* és *ИБАХОБ* [74] repülésbiztonsági mutatók alapján elemezte az 1960 és 1983 évek által felölelt időszakban rögzített adatokat, és vizsgálták, hogy mennyi repülési idő jut egy repülési eseményre. Munkájuk keretében összevetették a polgári és a katonai repülések átlagos időesemény mutatóit. Megállapításuk szerint a mutatószámok javulása figyelhető meg a légi közlekedésben, amit a repülési rendszerek, valamint a rendszerek elemeinek korszerűsödésével hoztak összefüggésbe. Véleményük szerint a polgári repülés biztonsági mutatói jóval kisebbek, mint a katonai vagy a speciális repülési feladatok biztonsági mutatói, aminek több oka is van. A katonai repülés specifikus mutatói, a repülési sebesség és magasság szélesebb skála szerinti változásai mellett lényeges szempont, hogy egy fő repülőgép vezető tartózkodik a repülőgépen, vagy a vezetőn kívül még számos utas van a repülőgépen.

ЖУЖЕБ és *ИБАХОБ* [74] másik figyelemre méltó megállapítása, hogy általános integrált mutatókkal nem lehet kimutatni és pontosan meghatározni a különböző hatások és a repülési biztonsági szint közötti összefüggéseket. A megoldás véleményük szerint az egyéni és részle-

tes mutatószámok használata, ezért véleményük szerint az általános vagy integrált mutatószámokon alapuló hagyományos módszert meg kell változtatni. Az abszolút vagy viszonylagos mutatószámokat részesítették előnyben, ezáltal rámutattak a műszaki rendszerek veszélytelenségéhez és biztonságához vezető új módszerek elméletére. A biztonságtudomány ilyen jellegű megközelítését a katasztrófák és az áldozatok számának évek szerinti összevetésével igazolták.

Az eddigiekben hivatkozott tanulmányok alapján kijelenthető, hogy a környezet használata és védelme közötti összhang napjainkban még alacsony szinten van. Az összhang megteremtése azonban nem lehetetlen feladat, amit több szerző, így *BARÓTFI* [10] is megállapítja, amikor felhívja a figyelmet, hogy a technika minden lehetőségét felhasználhatjuk a környezetszennyezés kivédésére. Ezzel együtt *BARÓTFI* [10] arra is rámutat, hogy a technikai lehetőségek nemcsak korlátok, hanem a környezet érdekében alkalmazott technika, az úgynevezett környezettechnika a környezetszennyezés megelőzésének eszköze is.

A modern technika és technológia lehetőségeit elfogadva a légi közlekedés vonatkozásában is megjelennek azok a törekvések, melyek a környezetvédelmi igényeket hivatottak szolgálni. Megfigyelhető, hogy ezek a fejlesztések a megfogalmazott javaslatok mellett szorosan kapcsolódnak a repülésbiztonsághoz. Ez a szemlélet fedezhető fel *ÓVÁRI* és *SZEGEDI* [47] által adott áttekintésben is, melyben szerzők rámutatnak a környezetvédelmi szempontok jelentőségére a légi járművek hajtóműveihez használt tüzelőanyagok tekintetében. *ÓVÁRI* és *SZEGEDI* [47] megfogalmazásában ezek a fejlesztések környezetvédelmi céllal, de a repülésbiztonság keretein belül valósulhatnak meg.

Számos tudományos megállapítás támasztja alá, hogy a repülés szükségessége és a repülésbiztonság, illetve a környezetvédelem és környezeti biztonság között a biztonság, vagy a veszélymentes állapot rögzítésében van a kapcsolódási pont. A biztonságot a szerzők minden esetben a saját álláspontjuk alapján, illetve a számukra lényeges szempontok figyelembevételével írják le. A biztonság ugyanakkor nem kap ténylegesen környezetvédelmi jelleget, vagyis nem környezetvédelmi cézzal kerül be egy légi jármű vagy repülőtér üzemeltetési folyamatába. A környezetvédelmi megoldások a háttérben maradnak, ami az emberi tevékenységekkel való kapcsolat ellenére is fennáll annak ellenére, hogy a környezetvédelem szükségessége az emberi tevékenységekkel kezdődik.

Más megközelítést ad az a szemlélet, mely szerint az ember jelentős hatást gyakorol környezetére, így az esetleges negatív folyamatokat tekintve az ember kerül középpontba. Ezáltal az emberi viselkedésformák mellett a tevékenységekben bekövetkező hibák, a szabályoktól való eltérések is meghatározóak lesznek. Ezt a megközelítést érdemesnek tartom összevetni más kutatók azon véleményével, mely szerint központi kérdésként kell kezelni az emberi tényezőket a repülésbiztonsággal összefüggésben. Így tesz *MÜLLER* [45] is, aki egyetért *ЖУЖЕВ* és *ИБАХОВ* [74] véleményével, amikor rögzíti azt a megállapítást, hogy a repülés biztonsága a technológia fejlődésének köszönhetően jelentősen növekedett az elmúlt évtizedekben, azonban *MÜLLER* [45] kiemelten kezeli azt a tény, hogy a repülésbiztonság legnagyobb kockázati tényezője az ember.

Az általam áttekintett tudományos megállapítások a repülésbiztonság kockázati tényezőinek vonatkozásban ráirányították a figyelmemet az emberi viselkedésre, mint kockázati té-

nyezőre, ezért ennek tükrében tartom célszerűnek vizsgálni a továbbiakban a környezetvédelmi szempontoknak való megfelelés feltételeit. Ez előre vetíti, hogy a környezet védelmét célzó intézkedések megfogalmazásába beletartozik a repülés biztonságát is meghatározó légi forgalmi irányítás és az ezzel járó felelősség. Mindez feltételezi az együttes követelmények érvényesítésére való törekvést is, alátámasztó vizsgálati eredményt azonban csak érintőleges utalás formájában, közvetetten találtam a tudományos szakirodalomban.

Érintőleges utalást találtam *NEWMANN* és *BARKEMA* [46] elemzésében, amikor azokról a technikai lehetőségekről és törekvésekről adnak képet, melyek a légi közlekedés környezetvédelmi hatásainak kezelésében rendelkezésre állnak. Hasonló fejlesztésekről számol be *DOLLMAYER* és *CARL* [18], amikor a légi jármű üzemeltetési rendszerek problémájaként mutatják be az energia ellátásban jelentkező feszültségeket és azoknak a fejlesztéseknek az irányvonalát, melyek új hajtóművek alkalmazására és a káros anyagok kibocsátásának csökkentésére irányulnak. A napjainkban zajló fejlesztések tehát magukkal hozzák azokat a változtatásokat, melyek környezetvédelmi vonatkozása a jövőben jelentős és eredményes lehet.

A repülőgép hajtómű fejlesztések környezetvédelmi hozam esetén sem kerülhetik meg a repülésbiztonságot, ami így természetesen kedvező hatással van a környezetbiztonságra [18] és [47]. Következtetésként kijelenthető, hogy csak az olyan környezetvédelmi beavatkozásokat, technikai fejlesztéseket és új technológiákat lehet adaptálni a gyakorlatban, melyek megfelelnek a repülésbiztonság, ezen keresztül az egyéb környezetbiztonság feltételeinek. Ezeknek a feltételeknek tartalmazniuk kell az emberi cselekvési modell elemeit, amire *SIEFERLE* [56], *MÜLLER* és *BÄTTIG* [44], *AJEKCEEB* [71] ad magyarázatot.

Azon túl, hogy ma már szép számmal vannak környezetvédelmi eredményességgel is bíró, a technológiákra irányuló fejlesztések, az emberi tényező más aspektusban továbbra is meghatározó szerepet kap a légi jármű üzemeltetés és a környezetbiztonság közötti összefüggésben.

A hajtóművek káros anyag kibocsátásának csökkentése mellett a környezeti zaj csökkentése is egyre inkább előtérbe került az utóbbi évtizedekben, melyben meghatározó volt, hogy a repülési zajjal a sugárhajtóművek megjelenését követően, csak az 1950-es évektől kezdődően kezdtek intenzíven foglalkozni a gyártók és üzemeltetők [14]. A kedvező változások ellenére a repülőgépek a mai napig a legzajosabb közlekedési eszközök, az hamar kiderült, hogy a légi járművektől származó zaj a hajtómű fejlesztésekkel nem csökkenthető olyan mértékűre, ami elfogadható minden érintett számára. Ennek legfőbb oka, hogy a hajtómű mellett a légi jármű repülése közben kialakuló aerodinamikai hatások okozzák a zajt. *BUNA* [14] összehasonlítást ad a repülőgép zajforrásokról és a rész-zajforrásokról, ezen keresztül rámutat arra, hogy a zajforrásnál adódó beavatkozások korlátozottak, a környezetvédelmi eredményesség az elvárt mértékhez képest nem elégséges.

A járműszerkezettel összefüggő technikai beavatkozás korlátai miatt megfigyelhetők a repülési zaj szabályozására irányuló azon törekvések, melyek már ténylegesen a légi közlekedést érintik szabályozási eszközök alkalmazása mellett. A gyakorlatban ez a repülési módokba való beavatkozást jelenti, emiatt hangsúlyt kap a repülés szabályozottsága, valamint a szabályok betartása minden érintett részéről. Ennek részeként a légi irányítók és a légi jármű vezetők fegyelmezettsége meghatározóvá vált, ami szervesen kapcsolódik a repülésbiztonsághoz.

ban és a környezetbiztonságban oly fontos emberi tényezőhöz [57], [45], [74]. A környezetvédelmi vonatkozású szabályozási eszközök alkalmazásakor szükségesnek tartom megemlíteni, hogy az emberi tényező szerepe és a fegyelmeztség a repülésbiztonságot is befolyásolja.

Az emberi tényező ugyanakkor más megközelítésben is szerephez jut a légi közlekedés szabályozásában. Amikor *ЖВЈІЕВ* és *ІБАНОВ* [74] vizsgálta a biztonságos repülés feltételeit és a biztonság mutatóit, rögzítette azt a következtetést, hogy a repülésbiztonság évek szerinti mutatói annak függvényében is változtak, hogy időben eltérő számú ember tartózkodott a repülőgépeken a balesetek bekövetkezésekor. A *ЖВЈІЕВ* és *ІБАНОВ* [74] részéről bemutatott vizsgálati adatokra hivatkozással kijelenthető, hogy minden beavatkozásnál figyelemmel kell lenni az utas-biztonságra, vagyis arra, hogy a légi jármű vezetője felelős a repülőgépen utazók biztonságáért, életéért és veszélymentes utazásáért.

Az emberi tényezőkből adódó korlátok ellenére a környezeti zaj elleni védelem szinte egyetlen hatásos eszköze a repülés szabályozása és a repülési módozatokba való beavatkozás. Ennek oka, hogy a repülési zaj kialakulása az utóbbi évtizedekben a kis számú, de nagyobb zajterheléssel járó repülési események irányából elmozdult a csendesebb üzemű, de nagyobb eseményszámú repülések felé [15]. Az eseményszám megnövekedett, ami a környezeti zaj időtartamát növelte. A repülési zajjal érintett területek minősítésében azonban jelentős különbségek vannak, amennyiben a területhasználatot, azaz a beépítettség jellegét és a természetes élőhelyek jellemzőit vesszük alapul a vizsgálatokhoz.

Ebben a tekintetben meg kell említeni, hogy van olyan kutatási eredmény, ami a repülési zaj hatását és a zavaró hatás megítélését csak az emberi észleléssel hozza összefüggésbe. *KEMPF* és *HÜPPOP* [30] vizsgálta a tartós zajterhelés egészségügyi vonatkozásait, valamint a természetes környezetben élő állatok zaj hatására kialakuló viselkedési szokásait. Tanulmányukban rámutatnak arra a megfigyelésre, hogy a természetes közegben élő állatok számára nem minden esetben jelentette a kizárólag zajterhelés a zavaró hatást, a zavarásban a repülőgépek vizuális megjelenése is szerepet játszott. A sugárhajtóműves repülőgépek zaja és a hangrobbanás részleges megriadásokat okozott bizonyos egyedcsoportoknál, és ez a tény szerepet játszott a negatív válaszreakciók kiváltásában, de a vizuális inger is meghatározó volt. A *KEMPF* és *HÜPPOP* [30] által publikált megfigyelések szerint az állatok egy idő után megszokták a zajt és ekkor kevésbé reagáltak a zajhatásokra, mint a látványra. Ettől függetlenül a zajterhelésből eredő kár az állatvilágnál is lényeges, *KEMPF* és *HÜPPOP* [29] alapján kijelenthető, hogy a zaj élővilágra gyakorolt hatása még nyitott kérdés, csak további vizsgálatokkal lehet alátámasztani az eddigi tapasztalatokból nyert következtetéseket.

A légi közlekedés szabályozására a repülőterek működése és a kapcsolódó légi forgalom miatt a lakókörnyezetben fellépő zajhatások kezelése miatt vannak törekvések. A legtöbb kutató, így *MASCHKE*, *HECHT* és *WOLF* [37] is ebből az indíttatásból hangsúlyozza az átrepülések miatti éjszakai felébredések problémáját a lineáris-dózis összefüggésben, az általuk megfogalmazott stratégia a megelőző egészségvédelemben az éjszakai zajterhelés kérdéseit helyezi előtérbe. *MASCHKE*, *HECHT* és *WOLF* [37] következetesen az éjszakai 52-53 dB(A)-es zajszint túllépését tartja vegetatív értelemben károsnak.

MASCHKE, *HECHT* és *WOLF* [37] rámutatnak, hogy a zavaró hatás megítélésében központi helyen szerepel a repülési zaj mértéke. Hasonló, az egészségre gyakorolt hatással kap-

csolatos megállapításra jutott repülőterek környezetében végzett felmérések alapján *MÜLLER* és *BÄTTIG* [44], valamint *WANNER* is [68]. Más kutatók, így *MATSCHAT* és *MÜLLER* [38] a repülőgépek keltette zaj bemutatása és elemzése mellett a kialakult probléma kezelését is kiterjedten tárgyalják, megfogalmazzák azt a fontos kérdést, hogy a repülési zaj ellenőrzését mennyire sikerült megvalósítani, illetve a rendelkezésre álló szabályozási eszközök alkalmazása mennyiben ítéhető sikeresnek.

A légi közlekedéstől származó zaj szabályozása az alkalmazott eszközöktől és az alkalmazás sikerétől függ. *SOBOR* [61] részletesen bemutatja a szabályozás lehetőségeit a vonatkozó jogszabályi környezet alapján, egyben kitér a repülési zaj számítási módszereire is. *SOBOR* [61] áttekintése nyomán megállapítható, hogy a szabályozás meghatározó eleme a légi forgalom, sarkalatos kérdés a legnagyobb zajterhelést adó forgalmi időszak, amit a jelenleg hatályban lévő előírások szerint távlati időszakra kell meghatározni.

SOBOR [61] kitér a repülőter környezetkímélő üzemeltetésére, ami az úgynevezett zajgátló védőövezet kijelölése alapján kell megvalósuljon. A bemutatott számítás vonatkozásában említést érdemel, hogy a módszer átlag értékek, illetve időegységre vetített egyenértékű hangnyomásszint értékkel dolgozik. A környezetterhelési értékek átlagolása tehát napjainkban is változatlan módon szerepel a zajszámítási eljárásokban annak ellenére, hogy *SOBOR* [61] is utal a zaj terjedését befolyásoló egyéb körülményekre, mint a repülési profil, a pályagörbék mérése, a légköri csillapítás, a terep befolyásoló hatása. A leírt zajszámítási módszer számos, a környezeti adottságok és az üzemeltetés körülményeiből adódó bizonytalan elemet tartalmaz, melyből következik a zajminősítés bizonytalansága is.

Hasonló következtetést vontam le *PALIK* és *CSERMELY* [48] által adott összehasonlító elemzés alapján is. Az alkalmazott mérőszámok az átlagolt egyenértékű hangnyomásszintek, ami *PALIK* és *CSERMELY* [48] véleménye szerint nem reprezentálja kellő mértékben a repülési zaj zavaró hatását. Az általános integrált mutatók alkalmazási problémájára a repülésbiztonság vonatkozásában *ЖУЖЕБ* és *ИБАХОБ* [74] is felhívta a figyelmet.

Az eltérő időben és más-más probléma elemzése alapján *PALIK* és *CSERMELY* [48], valamint *ЖУЖЕБ* és *ИБАХОБ* [74] hasonló következtetésre jutott, amit *SOBOR* [61] is megerősít az általa bemutatott zajszámítási módszerrel keresztül, illetve részletesen kifejti a zajszint számításának elemzésekor [60]. Ebből következik számomra, hogy a továbbiakban a figyelmem a repülési eseményekhez jobban köthető egyedi zajeseményekre irányítsam.

Az egyedi zajesemények alkalmazásában rejlő problémát támasztja alá *BUNA* [15] is, amikor a műveleti zajszinteken keresztül, a zaj időbeliségének sztochasztikus jellegére tekintettel ad áttekintést a repülési zaj zavaró hatásáról. Az éjszakai zavarásra *BUNA* [15] is a *MASCHKE*, *HECHT* és *WOLF* [37] megállapításaihoz hasonló véleményt fogalmaz meg, melyben kiemeli az éjszakai zajeseményszám, a fellépő legnagyobb zajszint értékek, valamint a zajhatásszint (az 1 másodperc időtartamra vonatkoztatott repülési zajeseményszint) jelentőségét. A zaj szubjektív zavaró hatásához kapcsolatosan tesz említést a zajesemények előfordulási gyakoriságának kérdéséről.

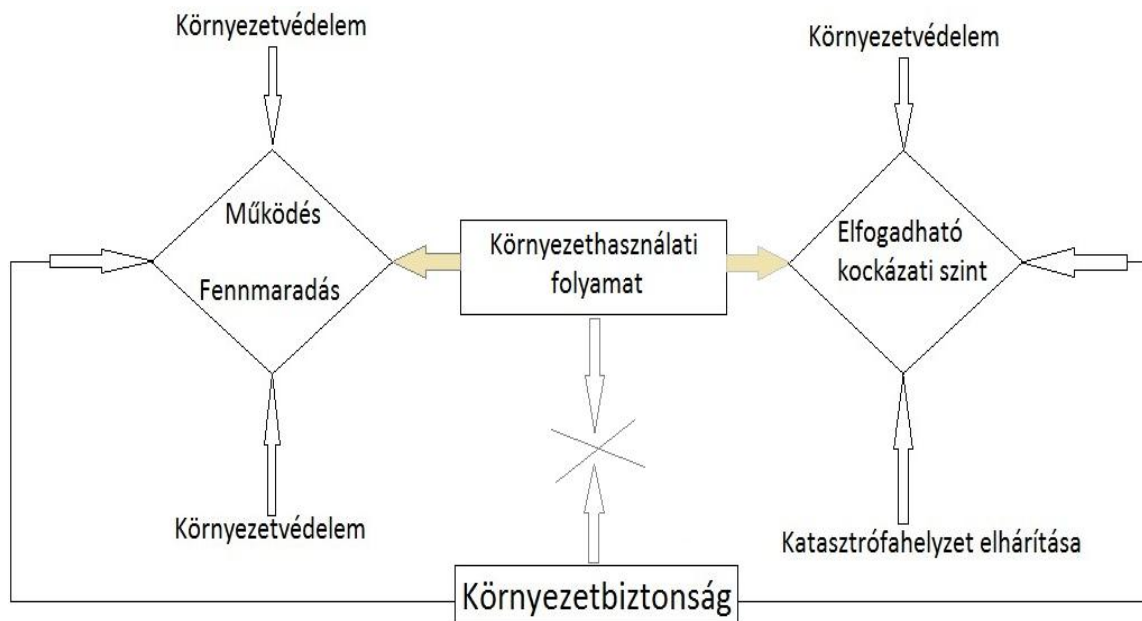
Felvetésével *SOBOR* [61], valamint *BUNA* [15] is iránymutatást ad a további kutatásokhoz, hiszen a bekövetkezési valószínűség – a zajszint küszöbérték átlépésének valószínűsége – értelmezése már túllép az átlagolt mutatószámok problémáján.

2.2. Tudományos probléma felvetése

Amennyiben elfogadjuk, hogy a világ folyamatosan változik, a környezetvédelemnek is állandó megújuláson kell átesnie. Ebből következik, hogy az emberi tevékenységeket, így a repülést is megújult, modern környezetvédelem eszközeivel lehet eredményesen befolyásolni. Meggyőződésem, hogy a környezetbiztonság területén a modern környezetvédelem környezethasználati folyamatokba való szerves beépítése, valamint az ehhez kapcsolt környezettechnika alkalmazása jelenthet előrelépést. Ennek feltételeit azonban meg kell teremteni, amihez tudományos ismereteken alapuló stratégia kidolgozása szükséges.

Azáltal, hogy sikeresen kialakul egyfajta "környezethasználat" - "környezetvédelem" - "környezettechnika" - "környezetbiztonság" kapcsolati háló, megvalósulhat a veszélymentes vagy bántódásmentes állapot. Természetesen törekedni kell arra, hogy ez az állapot ne csak pillanatnyi legyen, hanem véglegessé váljon vagy tartósan fennálljon. Ennek útján jutunk el a modern környezeti biztonsághoz, ami a környezet használata és védelme közötti összhang megteremtésével lesz egyenértékű.

A modern környezeti biztonságnak ugyanakkor tartalmaznia kell a környezetvédelmi érdekből való beavatkozás módszereit és jellemzőit azokkal a lehetőségekkel és korlátokkal, melyeket a használati folyamat még megenged. A környezetbiztonság és környezethasználati folyamatok közötti összefüggést saját szemléletem alapján a 2.1. ábrán mutatom be.



2.1. ábra Környezetbiztonság és környezethasználati folyamatok összefüggése (saját ábra)

A gazdaság képviselői és a környezetvédelemben érdekeltek részéről megfogalmazott célok rámutatnak arra, hogy a légi közlekedés környezetvédelemmel és környezetbiztonsággal való komplex kapcsolata egyre nagyobb szerephez jut annak ellenére, hogy ez a problémakör napjainkban még kevésbé kutatott terület, így kevés információ áll rendelkezésre. A széles körben közzétett, illetve általam bemutatott tanulmányok nem térnek ki azokra a közvetett érdekekre, melyek megfogalmazódnak a szerzők által leírtak alapján, ebből következően hiányzik a 2.1. ábrán látható kapcsolódási pontok keresése.

Ahogy *FLEISCHER* [24], *LEGEZA* és *TÖRÖK* [36], illetve *BOKOR* és *TÁNCZOS* [12] által megfogalmazott vélemények is mutatják, a környezetvédelemben a problémamegoldáshoz kompromisszumokra, a felek közötti együttműködésre van szükség. Ez egyaránt érvényes a környezethasználatra és a környezetterhelés elleni védelemre.

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

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

Az áttekintett irodalomban megjelent szakterületi – környezetvédelmi, környezetbiztonsági és légi közlekedési – vonatkozású tudományos vélemények arra irányították rá a figyelmet, hogy az elfogadható környezetvédelmi eredményhez nélkülözhetetlenek azok a reális szabályozási eszközök, melyek a működés, a megvalósulás, a fennmaradás és üzemeltetés feltételeit mind környezethasználati, mind környezetvédelmi oldalon összehangolt folyamatba ágyazva veszik figyelembe. Ebből a szempontból azok az egyéb feltételek kerülnek előtérbe, melyek a működést és/vagy a fennmaradást befolyásolják, ugyanakkor hiányuk vagy megváltozásuk további, a környezetbiztonsági helyzetre is hatással lévő folyamatokat indítanak el, melyek pozitív vagy negatív irányúak lehetnek.

Mivel több tudományos közlemény is egyértelműen igazolja a légi közlekedésben bekövetkező negatív folyamatok – ami lehet nem várt esemény, vagy beavatkozás – hátrányait, kijelenthető, hogy környezetvédelmi eredményt csak olyan, az egyéb működési és fennmaradási feltételekre is kiterjedő összehangolt beavatkozások összessége eredményezhet, ami pozitív folyamatot eredményez [12], [17], [29], [53]. Ebből származó felvetés:

Megoldásra váró probléma a modern környezetvédelem, valamint a működés és a fennmaradás komplex rendszerének biztonság tudományba való illesztése.

Figyelemmel az eddigiekre, új tudományos ismeretekre támaszkodva szükségesnek látom a modern környezetbiztonság feltételrendszerének kialakítását, ami biztosítja, hogy ne csak a katasztrófa helyzetek elhárításával érjük el a veszélymentes állapotot, hanem a megelőző környezetvédelem kerüljön előtérbe, amikor preventív intézkedésekkel megelőzzük és meggátoljuk a veszélyhelyzetek és a tartós környezetterhelés kialakulását a lehetőség fázisában. A repülésbiztonság és a repülésvédelem, illetve a biztonság tudomány vonatkozásában megismert tudományos megállapításokból következik, hogy a környezetvédelem nem lehet olyan szintű korlátozás, ami a funkcionális működést akadályozza vagy ellehetetleníti, a jó környezetvédelem a két irányban megvalósuló szabályozás eszközeit alkalmazza. A kétirányú szabályozás a kibocsátási és észlelési oldalra egyaránt kiterjed. A megfogalmazott probléma:

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.

2.3. Kutatási alapelvek és motivációk

Véleményem szerint a modern környezetvédelem körébe kell vonni a légi közlekedés, mint környezethasználat és a környezetbiztonság rendszerszintű kapcsolatát. Ez a felvetés kutatási alapelvémmé vált, és ez a gondolat indította el, majd a későbbiekben ez határozta meg a kutatómunkámat. Természetesen az elsőként megfogalmazott alapelv a későbbiekben kiegészült, illetve párosult olyan, az elvégzett vizsgálatok eredményein alapuló gondolatokkal, melyek nyomán az elvi kérdések a kutatási motivációt is befolyásolták.

Elsőként a következő kérdésre kerestem választ: a légi közlekedés szükségessége mellett a környezetvédelem haszon vagy áldozat?

A kérdés megválaszolása egyrészt a légi közlekedés és a környezetvédelmi kockázatkezelés vizsgálatának szükségességét igényli, ami arra vezethető vissza, hogy a légi közlekedésnek számos előnye van a többi közlekedési ágazattal szemben, amit környezetvédelmi szempontból is meg kell említeni. Ezek közül néhány:

- területfoglalás mértéke elmarad a közutak vagy a vasút helyszükséglete mögött;
- a környezeti hatás leginkább a repülőterek környezetére terjed ki;
- talajterhelés csak a repülőtér területét érinti;
- hulladékok és a szennyvizek kezelése rendezett.

Mivel a felsorolt előnyök az összegzett környezeti kockázatok csökkenését eredményezik, lényeges szemponttá vált számomra, hogy a vizsgálatra valamennyi hatás figyelembevételével kerüljön sor, amit több alkalommal is kifejtettem részletesen [78], [119].

A környezeti követelmények érvényesülésének meghatározó eleme, hogy a környezethasználati tevékenység ne okozzon kedvezőtlen környezeti hatásokat. Sőt, ezek a hatások időben egyre kedvezőbbek legyenek, a folyamat egyrészt a környezetterhelés csökkenését, másrészt az eredeti környezeti helyzet javulását okozza. Ennek érdekében a gyakorlatban megjelentek a környezetirányítási rendszerek, melyek feladata a környezeti követelményeknek való megfelelés biztosítása. A környezetirányítási rendszer közvetlen célja a vállalat vagy egyéb szervezet erőforrás-felhasználásának és környezetszennyezésének kézbentartása, közvetve pedig a vállalati környezeti teljesítmény javítása [35].

A környezeti hatások azonosítása és folyamatos értékelése a környezethasználó szervezet érdeke, azonban ez a tevékenység a környezetvédelemhez való hozzájárulás is, ami költségráfordítással, sok esetben lemondással jár. A környezetvédelmi hozzájárulás a társadalom alapvető érdeke, hiszen minden egyén számára fontos az élhető környezet fenntartása, ami sok esetben csak úgy valósulhat meg, hogy a környezethasználó kényszerül megtenni azokat az intézkedéseket, melyeknek környezetvédelmi hozadéka is van a funkcionalitásból származó gazdasági és pénzügyi haszon mellett. Ez a gondolat a kutatómunkám során beépült az alkalmazott elvekbe, kiegészítve a kiindulási pontot jelentő elvi felvetéseket.

A környezetvédelmi hozzájárulás kérdése azonban nem jelenhet meg a környezethasználati folyamat átláthatósága nélkül, minden esetben a kezünk ügyében lévő problémára kell összpontosítani, ami a légi közlekedés esetében a környezeti hatások rangsorolásával kezdődik. Ezen a ponton a kutatásaim első fázisában nyert tapasztalataimra hagyatkozva fogalmaz-

tam meg a korábbiakban rögzített alapelvek egyfajta kiterjesztésével a következő elvi törvényszerűséget, ami egyben [77] zárógondolata is.

Az elvi törvényszerűség az általam korábban közreadott megállapításra figyelemmel: A hulladékokat összegyűjtjük és újrahasznosítjuk, a keletkező szennyvizeket elvezetjük és megtisztítjuk, a levegőbe kerülő anyagokat erre alkalmas eszközökkel leválasztjuk, de ahol az ember egyszer megvetette a lábát, ott megjelenik a zaj is, és hosszú távon ott is marad [77].

Követve a megfogalmazott kutatási alapelvekbe foglalt iránymutatást, kijelenthető, hogy a környezetvédelmi kutatások egyik iránya kell legyen azoknak a hatásoknak a vizsgálata – ezek közvetlen és közvetett hatások – melyek kisebb kockázatot jelentenek a légi közlekedés esetén, mint más közlekedési módozatoknál.

Másik kutatási irány, hogy a környezeti hatásokat tekintve van olyan tényező, amit a repülési kockázatok szempontjából kiemelt figyelemmel kell kezelni, mivel a hatás mértéke és jellege mellett a lehetséges beavatkozások a repülésbiztonsággal és repülésvédelemmel is összefüggésben vannak [53]. Ilyen kiemelt környezeti hatás a levegőterhelés mellett a *környezetben fellépő zajterhelés*. Erre vonatkozóan fellelhető szakirodalom azonban sajnos szűk, a fejlesztések kezdeti vagy kísérleti stádiumban vannak.

Egyetemi, majd később a környezetvédelmi szakmérnöki tanulmányaim során fordult a figyelmem ténylegesen a légi közlekedéstől, illetve a repülőtér üzemeltetéstől származó környezeti zaj kérdésre, amiben jelentős motivációt jelentett tanárain és oktatóim, valamint a témavezetőmről megfogalmazott szakmai igény is. Számos instrukciót kaptam tőlük a repülési zaj kutatásával és elemzésével kapcsolatban, az évek során érezhetővé vált a várakozás a felmerült kérdésekkel és válaszokkal kapcsolatban, hiszen mind globális, mind társadalmi értelemben jelentős témáról van szó. Témavezetőmről felvetései a környezeti zaj és a légi jármű üzemeltetés együttesére további motivációt jelentett.

Meghatározóan hatott kutatómunkámra és a témavezetőmről kapott folyamatos biztatás mellett az 1997-ben megkezdett munka folytatására sarkallt a környezetvédelmi felügyelőségen, majd később a környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi felügyelőségen betöltött munkakörömmel együtt járó feladatok sora, ami a közlekedési, ezen belül a repülési zaj problémájának szakmai kezelését ölelte fel. Erre vonatkozóan 2000. évtől 2013. évig napi feladatot jelentett számomra a légi közlekedéssel összefüggő zajvédelmi munka, amit hosszú évekig egyedül láttam el. Jelentős motivációt jelentett számomra a légi közlekedés terén hosszú ideje megoldatlan problémák elemzése, mint például az egyedi zajesemények és a hosszú idejű zajterhelés közötti különbségből adódó konfliktushelyzet megoldása.

A környezeti zaj elleni védelemre, illetve a légi közlekedéstől származó zaj kutatására jellemző, hogy a téma szakmai sajátosságai és az ágazati összefüggések miatt kevesen vágnak bele vizsgálatokba és a zajprobléma megoldásába. Ezért jelentős motivációt éreztem, hogy 2013. évtől kezdődően önálló szakértői tevékenység keretében folytassam az 1997-ben megkezdett kutatómunkát, amihez több szakértő kollégától kaptam támogatást. Az 1997-2014 évek közötti időszakban elvégzett számtalan zajvizsgálat, a zajmérések alapján nyert tapasztalatok, a zaj elleni védelem és a légi közlekedés összevető elemzése után jutottam arra a következtetésre, hogy a kutatómunkám csak akkor lehet sikeres, amennyiben a légi közlekedés zajvizsgálatára a környezetbiztonság szerinti megközelítéssel kerül sor.

2.4. Kutatási cél megfogalmazása

Kutatómunkám során elvégzett zajmérések eredményeinek elemzése és üzemeltetési folyamatokkal való összevetése vezetett arra a következtetésre, hogy a légi közlekedés környezetbiztonsági kérdéseire a környezetvédelem, valamint a környezet- és a repülésbiztonság olyan irányú integrált kezelése adhat választ, ami a bekövetkezés valószínűségére és a bizonytalanságra figyelemmel, de a kibocsátási folyamat és az információk összerendezése alapján veszi figyelembe az érintett környezet kapcsolatrendszerét.

Ezért döntöttem a kutatási téma meghatározása során a légi közlekedés környezetvédelmi kérdései mellett, ebből az indíttatásból választottam speciális szakterületként a hozzám leginkább közelálló zaj elleni védelmet. Doktori disszertáciomban *a légi közlekedés környezetbiztonsági kapcsolatrendszerének modelljét vizsgáltam a helikopterzaj tükrében.*

Célul tűztem ki a légi jármű üzemeltetéssel kapcsolatos környezetbiztonsági és környezetvédelmi probléma átfogó vizsgálatát, a légi közlekedés zajvédelmi kérdéseinek rendszerintű elemzését és olyan, a zaj elleni védelmet is magába foglaló környezetbiztonsági koncepció alapjainak megalkotását, ami az elért eredmények gyakorlati felhasználásával egy kooperatív és modern elveknek is megfelelő környezeti stratégia alkalmazását segíti elő.

A környezetbiztonságot ezért kettős megközelítésben vizsgáltam. Egyrészt elemeztem a környezethasználat és az érintett környezet kapcsolatrendszerét a "biztonság és a veszélytelen állapot" elméleti megközelítésből. Másrészt műszeres zajmérési adatokra támaszkodva elemeztem a környezeti hatás kialakulásában fennálló bizonytalanságot és bekövetkezési valószínűséget a környezetbiztonsági követelmények körében.

Értekezésem megírásával az alábbi részterületek kidolgozását tűztem ki célul:

- a környezetbiztonság és a környezetvédelem integrált, rendszertani megközelítéséhez szükséges fogalmak megalkotása és rögzítése;
- a környezetbiztonság és a környezetvédelem rendszerszemléletű elemzése, rendszermodellezési eljárások kidolgozása;
- a környezetbiztonság és a környezetvédelem kettős modelljének elemzése alapján a környezetbiztonsági szint fogalmának és jellemzőinek meghatározása;
- a környezetbiztonsági szint értékelése a környezetvédelmi rendszerműködés és a környezeti hatások elemzésével;
- szimulációs eljárás alapján a környezetterhelés valószínűségi eloszlásainak és a környezetvédelmi rendszer lehetséges környezetterhelési értékekkel leírt kimeneteinek jellemzése és átfogó vizsgálata.

A célokból adódóan a légi közlekedés környezeti hatásainak olyan területén végeztem kutatásokat, ahol a megoldás a szakterület speciális jellege miatt már hosszú ideje várat magára. Az általam kutatott szűkebb szakterület a *környezet zaj elleni védelem*. Tapasztalataim szerint környezetvédelmi szempontból a *környezeti zaj* érinti a légi közlekedést napjainkban a legérzékenyebben, ahogy ez más gépüzemeltetési és közlekedési ágazatoknál is megfigyelhető. Kutatásaim célkitűzéseiként ezért állítottam középpontba a rendszerműködést és a bizonytalanságot, valamint a repülésbiztonság és a környezetvédelem kapcsolódási pontjait.

2.5. Vizsgálati módszerek

Disszertációmban az általam kutatott és a fentiekben ismertetett témát – az elvégzett vizsgálatok és az eredmények bemutatása szempontjából – három egységre tagoltam.

Az első egységben a környezeti zajról adok áttekintést a légi közlekedést érintő megközelítésben. A zaj, mint környezeti hatás kialakulásának bemutatása mellett hangsúlyt kapott a zaj kialakulását befolyásoló tényezők logikai összefüggése, amit rendszerszintű kapcsolati hálóban foglaltam össze. Bemutattam a zaj környezeti hatások körében elfoglalt helyét és szerepét a biztonság megítélése szempontjából lényeges jellemzőkkel.

A második egységet a környezetbiztonság és környezetvédelem kapcsolatának vizsgálatával kezdem, majd elvégeztem a környezetbiztonság és környezetvédelem rendszerszintű elemzését. Rendszertani áttekintést adok a környezeti állapotjellemzők és a bizonytalanság kezeléséhez azoknak a tényezőknek az elemzésével, melyek a környezeti hatások tekintetében kapcsolati vonalat jelentenek a kibocsátó forrás és az érintett környezet között. A környezeti hatások leírásához szükséges modellezési eljárások vizsgálata egészíti ki a második egységbe foglalt témarészletet, melyben vizsgálati eredményekkel szemléltettem a modellválasztást.

A harmadik egységbe foglalom bele a környezetbiztonsági szint értelmezését a rendszerműködés és a környezeti hatások vizsgálatával. Kitérek a környezeti hatások és a környezetbiztonság alapelvének behatóbb elemzésére, ehhez kapcsoltnak a kockázatra és bizonytalanságra, amit az általam elvégzett zajmérések eredményeivel támasztok alá. Ebbe az egységbe foglalom bele a légi közlekedés, a lokális környezetvédelem és a környezetbiztonság, mint három alaptényező között fennálló kapcsolat részletes vizsgálatát.

A kutatási célkitűzésekben ismertetett kérdések megválaszolásához az alábbi *kutatási feladatok elvégzésével* jutottam el.

1. Tanulmányoztam a környezetbiztonsági, környezetvédelmi, rendszerelméleti, rendszer-technikai és repülésbiztonsági témájú magyar, angol, német és orosz szakirodalmakat. Az áttekintett irodalmak elemzését a dolgozatom 2. fejezete tartalmazza. Ezután mélyebben kitértem a környezeti zaj elemzésére, a 3. fejezetben.
2. Műszeres zajméréseket végeztem több repülőtéren és helikopter leszállóhelyen. Ezekből kiemelem a következő kutatási helyeket, ahol zajszint adatokat gyűjtöttem:
 - Szentkirályszabadja, MH 87. Bakony Harcihelikopter Ezred;
 - Szolnok, MH 86. Szolnok Helikopter Bázis;
 - Mogyoród, Hungaroring Versenypályán létesített helikopter leszállóhely;
 - Budapest Hold utcai helikopter leszállóhely;
 - Budapest Ferihegy és Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér környezete;
 - MH 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis környezete;
 - Esetileg szervezett helikopteres repülések Budaörs, Tata és Budapest területén.
3. A helyszíni zajvizsgálatok alkalmával konzultációt folytattam hajózó személyzetekkel, a repülés résztvevőivel és a légiforgalmi irányítókkal, valamint az üzemeltetőkkel. Hasonló

módon konzultáltam a helikopter vezetőkkel azokban az esetekben, amikor helikopter leszállóhelyek létesítésére vonatkozó dokumentáció elkészítése volt a feladat.

4. Az 1997. évtől kezdődően rendszeres résztvevője vagyok tudományos konferenciáknak, ahol a légi közlekedési szakemberek is rendszeresen beszámolnak tudományos eredményeikről és tapasztalataikról. A konferenciákon a szakterületemet érintően több előadást is meghallgattam, illetve konzultáltam az előadókkal, az általuk közreadott ismereteket feldolgozást követően felhasználtam kutatómunkám során, illetve a következtetéseket adaptáció útján beépítettem disszertációmba.
5. Összevettem azokat a tudományos megállapításokat, melyek a légiközlekedés és a környezetvédelem oldaláról, ellentétes szempontrendszer alapján közelítik meg a környezetbiztonság kérdéseit.
6. Az addig elért eredményeimet 2010-ben megjelent könyvemben [77] összefoglaltam és a szakmai közönség elé tártam.

A kutatás keretében helyszíni műszeres zajméréseket végeztem a fentiekben megadott helyszíneken, ahol minden esetben a valós körülményeknek megfelelő, szokásos előírások és feltételek mellett végrehajtott helikopteres repülésektől származó hangnyomásszint adatokat rögzítettem. A mérések során vizsgáltam

- leszállóhelyhez érkező és azt megközelítő, leszállóhelyen állóhelyi üzemben működő, valamint leszállóhelyről induló;
- leszállóhely felett függésben üzemelő;
- észlelési pont felett különböző magasságon és távolságokban átrepülő;
- különböző műveleti fázisban lévő;
- gyakorló légtérben repülést végző egy és több

helikoptertől származó hangnyomásszinteket.

A mérések alkalmával a [40] és [41] szerinti mért zajjellemzőket, valamint az L_{Aeq} egyenértékű, L_{max} . legnagyobb, L_{min} . legkisebb és L_{peak} csúcs hangnyomásszinteket rögzítettem a vizsgált repülési művelet vagy zajesemény időtartamának megfelelően. A mérések során a hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében is rögzítettem. Dolgozatomban felhasználtam olyan általam mért, eltérő beépítettségű területekre vonatkozó és [43] szerint meghatározott háttérterhelés adatokat, melyek általános zajállapotokat tükröznek. Helyszíni méréseket végeztem üzemek és üzemi zajforrások, valamint közúti közlekedési zajforrások környezetében, ahol az általános zajjellemzők mellett a megítélési zajterhelést¹ vizsgáltam.

A helyszíni zajmérésekhez *Bruel & Kjaer 2238* típusú, valamint *SVAN 945* típusú integráló hangszint mérő (Sound Level Meters) műszert használtam. Mindkét hangszintmérő alkalmas valamennyi zajjellemző párhuzamos mérésére és tárolására. A *SVAN 945* típusú integráló hangszint mérő mérési tartománya az infrahangtartományra is kiterjed, így az ember számára nem hallható infrahang szinteket is mértem, illetve a mért adatokat felhasználtam a kutatási munkám során.

¹ Megítélési zajterhelés a [43] szerint meghatározva.

3. A KÖRNYEZETI ZAJ

A környezettudomány keretein belül több kutató véleménye is arra irányítja rá a figyelmet, hogy napjaink növekvő környezeti problémája a zaj, a zajterhelés és a zaj elleni védelem megoldatlansága. Ennek okát szemléletesen mutatja *SÁNTHA* [55], aki a zaj fogalmát így rögzíti: *"nem kívánatos, akaratunk ellenére a mindennapi élet velejárójaként keletkező hang"*. Ebben a megközelítésben hangsúlyt kap a mindennapok környezeti hatásaként megnevezett és az élet részeként definiált zavaró kellemetlen hanghatás.

Hasonlóan fogalmaz *BRAUER* [13] és *BAHADIR et. al.* [9] is, amikor a modern társadalmak káros jellemzőjeként és a környezeti minőséget meghatározó hatásként nevezik meg a zaj- és rezgésterhelést kiemelve, hogy a zaj- és rezgésforrások száma folyamatosan növekszik. Erre a tényre hívja fel a figyelmet *FODOR* [25], amikor kijelenti, hogy zaj esetén egy "régij" problémával állunk szemben, mivel a zaj problémáját már az ókor embere is ismerte, de a XX. században is jelen van. A zajprobléma a XXI. században is meghatározó maradt a környezeti hatások között.

Általánosan elfogadott álláspont szerint a zajt az ember szempontjából definiáljuk, és az ember által adott értékelési rendszer szerint minősítjük. A *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon* [35] így rögzíti: *"Zajról csak ott lehet szó, ahol ember tartózkodik, vagy tartózkodhat. Megítélése csak statisztikai átlagértékek alapján lehetséges"*.

A [35] szerinti megfogalmazást alkalmazza *MOSER* és *PÁLMAI* [39] is a következőkben: *"zajnak nevezünk minden olyan nemkívánatos vagy túl hangos hangjelenséget, amely az egyén életfunkcióit, munkáját, munkájának és pihenésének egyensúlyát zavarja. A szubjektivitás miatt a zaj zavaró hatásának megítélése csak kísérleti úton és statisztikai átlagértékek alapján lehetséges"*.

A zajártalmak jelentőségére mutat rá *AJEKCEEB* [71] a környezetvédelem viszonylag korai szakaszában, és az elméleti zajprobléma bemutatása mellett ajánlást ad a zaj és rezgés csökkentésére. Koncepciójában a zaj és rezgés ellenőrzése, a védelem lehetőségeinek kimunkálása és alkalmazása az emberekre gyakorolt hatás miatt fontos. A zaj és rezgéscsökkentést az emberi zavarás oldaláról közelíti meg és ebből az aspektusból vizsgálja a terheléseket.

Amellett, hogy a kutatások és a publikált kutatási eredmények a környezeti zaj és rezgés szempontjából az embert és az ember életterét helyezik középpontba, további következtetéseket is levontam [9], [13], [25], [35], [39], [55] és [71] nyomán. A hivatkozott szerzők véleményükkel arra hívják fel a figyelmet, hogy az átlagostól eltérő, zavaró hatást okozó zaj a környezet olyan minőségi jellemzője, ami közvetlen hatást gyakorol az életminőségre és az érintettek teljesítményére azáltal, hogy az érintett környezetben szinte azonnali válaszreakciót vált ki. **Én a hanghatások szubjektív érzékelése miatt mindezt kiterjesztem a természeti értékekre és életközösségekre is. Másik következtetés, hogy hiányzik az ok-okozati összefüggés feltárása, hiszen a hangot az ember alakítja át helytelen használatral zajjá.**

Ezek a gondolatok igazolják számomra a környezeti zaj jelentőségét tágabb értelemben is, hiszen a környezeti hatások gazdasági következményeit tekintve a társadalom számára a környezetvédelem stratégiai kérdésként jelenik meg, a zaj és rezgésterhelés a kialakulás folyamatát és a kiváltott hatást tekintve ennek a stratégiának a meghatározó elemévé vált.

Egy jól működő gazdasághoz ugyanis tartósan jó kondícióban lévő, egészséges és kipihent humán erőforrásnak kell rendelkezésre állnia. Ha a lakosság egészségi állapota és közérzete rossz, vagy a naponta munkába járó emberek a környezeti zajterhelés miatt nem képesek kipihenni magukat, és nem képesek felkészülni másnapi tevékenységük ellátására, az a munkavégzés és az életvitel minőségi romlásához vezet, ami közvetve kihat a gazdaságra.

Mindemellett az emberek többsége a szabadidő eltöltéséhez előtérbe helyezi a természetes, vagy ahhoz közeli állapotban lévő területeket. A csend és nyugalom érdekében mind többen hagyják el hosszabb rövidebb időre lakóhelyüket, mivel számukra egyre fontosabb, hogy kiszakadjanak a zajos környezetből. Lakás- vagy pihenés céljából új területek beépítésére is sok esetben annak okán kerül sor, hogy a legkevesebb zavaró tényező, a lehető legkisebb zaj lépjen fel a védendő területen. Emiatt fokozódik az igény a zaj és rezgés elleni védelem szempontjából elfogadható és élhető környezet megteremtésére, a természeti értékkel bíró területek kedvező zajállapotának fenntartására.

Napjainkra tehát kialakult az a társadalmi igény, ami a környezeti hatások között kiemelt figyelemmel kezeli a zajterhelést és szükségszerűvé teszi a zajcsökkentést. A légi közlekedéstől származó zaj a lakóterületek közelében végzett átrepülések, illetve fel- és leszállások következtében erősíti ezt az igényt az érintett társadalmi csoportok részéről. A repülési zaj csökkentése azonban a *Repülési Lexikonban* [61] megtalálható áttekintésre figyelemmel csak olyan eszközökkel és beavatkozások útján lehetséges, melyek a repülésbiztonságot is érintik, ezért azt véleményem szerint a környezetbiztonság kérdéskörébe kell vonni.

Ezáltal olyan komplex folyamat alakul ki, ami véleményem szerint a tényleges emberi tevékenységeken kívül eső természeti értékek védelmét is tartalmazza, hiszen az ember által hasznosított területeken kívül eső környezet is része Földünknek, az ott élő növény- és állatvilág számára a kedvező állapot megőrzése létkérdés. Kutatómunkám során végzett zajmérések eredményei nem igazolták azokat a megállapításokat, melyek kizárólag az emberre gyakorolt hatás alapján minősítik a zajt és rezgést, hivatkozott szerzők a zajhatást tévesen csak ott értelmezik, ahol az emberi érintettség, vagy a mechanikai roncsoló hatás kialakulásának lehetősége áll fenn [9], [13], [25], [35], [39], [55] és [71].

Az emberi érintettségre irányított figyelem következménye, hogy a nemzetközi és a hazai gyakorlatban egyaránt azt a zajszintet tekintik határértéknek, amit az emberek 85-90 %-a zavarónak ítél meg [39]. Ezzel a zaj keletkezésének és terjedésének, valamint észlelésének folyamata szűkebb értelmezést kap a valóságosnál, a határérték elmélettel a kibocsátás és az észlelés kapcsolatában a lehetséges beavatkozások szűkebb határok közé szorúlnak. Zajmérési tapasztalataim alapján szükségesnek tartom a zaj megítélésében a szubjektivitás helyett a mért zajjellemzők vizsgálatával kutatni azokat a lehetséges megoldásokat, melyek a környezeti hatás csökkentésében eredményt hozhatnak.

A zaj és rezgés területén fellelt publikációkat tekintve a legtöbb szerző tévedése, hogy a zajforrás vonatkozásában *zajterhelést* említ. Pedig a zajterhelés, mint környezeti hatás csak az észlelés helyén értelmezhető, valamint több környezeti tényező is befolyásolja a mértékét, mely tényezők függetlenek a kibocsátó forrástól. Az eddigiek alapján látható, hogy számos indoka van annak, hogy a környezeti zajt a környezetbiztonság oldaláról is áttekintsem és vizsgáljam az ok-okozati összefüggéseket.

3.1. A zaj, mint környezeti hatás

Mit nevezünk zajnak, és a különböző zajokat mikor soroljuk a káros környezeti hatások közé? Sokszor merül fel ez a kérdés, amikor egy környezet állapotát minősítjük. Hiszen a természetes környezetben is vannak zajok, amit zavarás hiányában a természet hangjainak nevezünk. *A hangok az élethez tartozó jelenségek.* A mérhető fizikai jellemzőket tekintve ezek gyakran hasonló zajszint értékekkel bírnak, mint a terhelt környezetben mért zajszint értékek. A kérdést és a kérdésből fakadó problémakör elemzését azért is tartom elsődlegesnek, mert a környezet alapállapotában bekövetkező változással összefügg a környezetvédelem és a környezetbiztonság, a környezet elzajosodása további környezetterheléssel járó folyamatokat indít el, az alapállapot rögzítése és megőrzése kiemelt szerepet kap a folyamatban.

3.1.1. Hang és zaj

Épített környezetben, vagy az emberi tevékenységekkel érintett területeken és azok közelében fokozott minőségi tényezőt jelent a zaj és rezgés, mivel átélve a kellemetlen zavaró hatást az érintettek azonnal jelzést adnak az életkörülményeikben beállt negatív változásról. Ezzel összefüggésben kell kezelnünk az infrastruktúra fejlesztését, építmények kialakítását és a közlekedési létesítmények működtetését, amikor újabb és újabb zajforrásokat létesítünk, ezzel megváltoztatva az eredeti vagy korábban kialakult és megszokott állapotot.

A *hang* valamilyen rugalmas közegben létrejövő rezgés [59]. Környezetünket tekintve a hang sok helyről származhat, esetenként a forrás helyét vagy a hanghatás okát nem is lehet szubjektív észleléssel azonosítani. Pedig a fül, tehát az a szerv, amivel a hangot az ember érzékeli, kifinomult műszer, segítségével elsődleges jelzést kapunk a körülöttünk bekövetkező változásokról [64]. De nem kizárólag a fülünkkel érzékeljük a hangokat, hanem a csonthallás segítségével is. A csontváz ugyanis kiválóan vezeti a rezgéseket, ami jelentős mértékben befolyásolja a szubjektív hangélményt. A tényleges hatást tehát a fül, mint hallószerv, valamint a test és a csontok, mint a rezgéseket vezető szerkezet közvetíti az idegrendszer számára. De hogyan lesz a hangból zaj, milyen összefüggés van a két fogalom között?

A *hang* szó három jelentéstartalmat hordoz. *KURUTZ* és *SZENTMÁRTONY* [34] megközelítésében amikor a hang esztétikai, értelmi és informális tartalommal bír, hangélménynek nevezzük. Az iparosodást megelőzően, a XVIII. század előtt az információ hordozása és továbbítása volt az elsődleges szerepe. Ebben az értelemben a hang jelentéshordozó, az adat agyi megfejtéssel válik információvá. Másik tartalom szerint a hang jelentése a hallható, füllel érzékelhető külső inger. Ekkor a hang élettani hatása kap jelentőséget az ember számára hallható frekvenciatartományban. Végül a hangot, mint fizikai jelenséget értelmezzük, ebben az esetben valamely rugalmas közeg zavarási állapota, ami az energiaközlés helyén rezgés formájában jelentkezik és a rendelkezésre álló közegben terjed tovább.

A zaj *KOVÁCS* [32] megfogalmazásában olyan hang, melynek jelentéstartalma a zavarás és a kellemetlenség, illetve időszakos hatás alapján az ártalom. Elsődlegesen az emberi megítélés különbözteti meg a két fogalmi kört, a zavaró kellemetlen hatás miatt lesz a hangból zaj.

Fizikai meghatározás és méréstechnikai szempontból a hang és a zaj teljesen azonos fogalmak [59]. A zajjal szemben áll azonban az informatív hang, ami a zavarással szemben él-

ményt vagy valamilyen jelzést hordoz, így sok esetben keletkezése és továbbítása is direkt módon valósul meg.

Ahogy az eddigiekben kifejtettem, az általánosan elfogadottak szerint a hangból elsődlegesen az ember részéről adott szubjektív értékelés miatt lesz zaj. Az emberre gyakorolt hatást ezért célszerű csoportosítani az alábbiak szerint:

- halláskárosodás;
- beszédérthetőség és figyelem zavarása;
- alvást és pihenést zavaró hatás;
- testi és lelki folyamatokra gyakorolt hatás.

A halláskárosodás a hallásküszöb időszakos vagy végleges megemelkedése, másképp a középfülben elhelyezkedő érzékelő sejtek kifáradása, amit az erős hangok miatti igénybevétel okoz. Végleges esetben egy hirtelen fellépő erős hang hatására az érzékelő sejtek részlegesen elpusztulnak.

A beszédérthetőség és a figyelem zavarása emberek közötti kommunikáció idején jelentkezik, amikor beszélgetés vagy előadás során a zaj miatt felemeljük hangunkat, hangosan és ingerülten beszélünk, esetleg fokozott koncentrációt igényel a hallott információ megértése. Ez természetesen nagyobb energia befektetését is igényli részünkről, ami más tevékenységek végzését hátráltatja, valamint kimerültséget és fáradtságérzést okoz. Az alvás- és pihenés zavarása miatt fáradékonyság jelentkezik, nagy zajban nyugtalan az alvás és a pihenés, vagy hirtelen felébredünk, ami szintén a szervezet fokozott terhelését eredményezi. A testi és lelki folyamatokra gyakorolt hatás fáradtságot és kimerültséget okoz. A vegetatív idegrendszer irányítása alatti szervek működése megváltozhat, anyagcsere fokozódása, szájszárazság és testhőmérséklet csökkenése jelentkezhet. Idegrendszerre gyakorolt hatás miatt fejfájás és feszültségérzés keletkezik. A rezgés okozhat gerincbántalmakat, légzési- és szívritmus zavart.

Látható, az emberre gyakorolt hatások meghatározó szerepet játszanak abban, hogy az adott hangjelenséget vagy a mesterségesen gerjesztett hangot milyen módon minősítjük, illetve hogyan értékeljük a hanghatást. Ennek jelentőségét azért emelem ki, mert a zaj elleni védelemnél a követelményértékek és az intézkedések is ennek szellemében lettek rögzítve. Pedig nem minden hanghatás származik emberi tevékenységtől, sok esetben a természet okoz olyan hangjelenséget, amit jellemzői alapján a természet zajának minősítünk. Ennek megfelelően a környezetünkben fellépő hangjelenségeket az alábbiak szerint is csoportosíthatjuk:

- természetes forrásból eredő hanghatások;
- humán eredetű, emberi tevékenységek okozta hanghatások.

Természetes hangforrások közé soroljuk többek között a földrengés, tájfun és erős szél, vagy mennydörgés idején azonosított természetes képződményeket vagy folyamatokat, a vízfolyások és a hullámverés, vagy a dús lombú fákat és az erdőket a közelükben észlelt hangjelenségeknél. Humán eredetű hangforrás az ember által használt gép működése, de ide tartoznak az üzemek, a szórakoztató és zenei eszközök, valamint a közlekedés, melyből kiemelem a légi közlekedést [32]. Mindemellert *TARNÓCZY* [64] megfogalmazásában az ember önmaga is lehet olyan hangforrás, amit a környezetében élők a hang jellege és erőssége miatt zajforrásnak minősítenek.

Saját megfogalmazásomban, a hang az információ és az élmény eszköze mindaddig, amíg az ember a helytelen használat útján a hangot át nem alakítja zavaró hatássá. Ebből következik, hogy a hangot használjuk, tehát használati eszköz, az emberi lét és a földi élet része, minden tevékenység valamilyen hanghatáshoz kötődik, amit eltérő módon minősítünk. Az ember minősít, az állatvilág egyedei viselkedésükkel jeleznek. **Összefoglalva, a hangot az ember helytelen használattal alakítja át zavaró hatássá. Hiánya is, túlzott mértéke is környezeti bizonytalanságot okoz.**

Annak ellenére, hogy a zaj megítélését az emberi érzékelés szempontjából tartjuk elsődlegesnek, beszélni kell a zaj állatokra gyakorolt hatásairól is. Ennek oka, hogy az ember nem szakadhat el teljes mértékben a természetes környezettől, az általa okozott zaj ugyanakkor kihat az élővilágra, illetve az állatokra is. Számos kutatás eredménye igazolja, hogy a humán eredetű zajok befolyásolják az állatok viselkedését, valamint történtek megfigyelések a zaj által okozott károsodásra is.

Az állatok hallása jóval kifinomultabb, mint az embereké, ezért érzékenyebben és gyorsabban reagálnak a zajokra. Ráadásul állatok esetében túlélésük szempontjából, vagy a táplálkozó hely megtartása miatt is kulcsfontosságú lehet a hangok érzékelése. Számukra a hang információtartalmának elsődleges jelentősége van, sok esetben a hang az alap kommunikáció feltétele mind szárazföldi, mind vízi élőlények esetén. Így a szokásostól eltérő humán eredetű hangok zavart okoznak viselkedésükben, rontja a kommunikációs és tájékozódási képességüket. Különösen az ember számára nem hallható infrahangok és ultrahangok jelenléte fontos számukra, ami az egymás közötti kommunikáció miatt kulcsfontosságú szempont, de a félelem- és a riasztás keltése is ebben a tartományban történik számukra.

Vadon élő állatokra gyakorolt hatás a menekülési reakció előidézése. Számos faj esetében egy hirtelen bekövetkező hanghatás elég ahhoz, hogy sikertelen legyen a szaporodási ciklus, egyes fajoknál táplálkozási rendellenesség és pánik reakció léphet fel zaj hatására. Használattalok esetében hasonló reakciót figyeltek meg a kutatók, az állatoknál jelentkező halláskárosodás mellett fejlődési rendellenességet mutattak ki. A zaj állatokra gyakorolt hatásának szempontjából megbízható adatok gyűjtéséhez több éves, hosszú távú megfigyelések szükségesek, melyek a kutatásokat tekintve a jövőben állnak majd rendelkezésre. Azonban bizonyított, hogy az állatok hallása rendkívül kifinomult, például a galamb hallása a 10 Hz alatti frekvenciatartományban 50 dB-lel² érzékenyebb, mint az emberé. Háziállatok, így kutyák esetében mindenki tehet hasonló megfigyeléseket az állat viselkedése nyomán.

A különböző hangok észlelése és az arra adott válaszreakció mellett az állatok esetében is jelentőséggel bír a testhang-vezetés, illetve a rezgések érzékelése. Erre mutat példát az a megfigyelés, miszerint az afrikai elefántok néha különös módon viselkednek, egy-egy csorda tagjai időnként megmerevednek és előredőlnek, hogy súlyukat mellső lábukra helyezték. Ebben a helyzetben néha felemelik egyik lábukat. A megfigyelt csorda minden tagja egyszerre tett így, túlságosan összehangolt volt a dolog ahhoz, hogy véletlen legyen. Kiderült, hogy az ele-

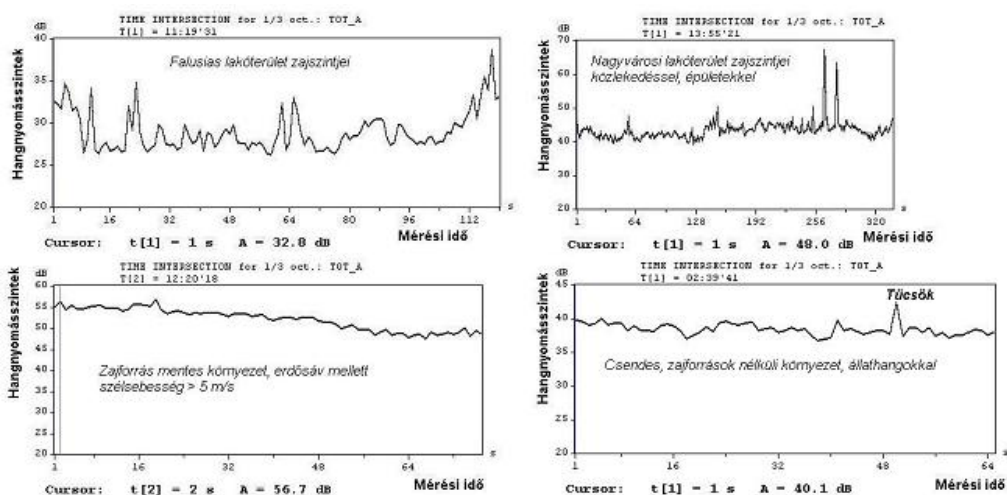
²A *decibel* (dB) két mennyiség arányának logaritmusos mértéke, amit az akusztikában két hangteljesítmény érték közötti különbség érzékeltetéséhez alkalmaznak A. G. Bell tiszteletére elnevezett *bel*-skála alapján tízszer kisebb egységben.

fántok hallgatóznak, lábaikkal ugyanis képesek megérezni a legkisebb földmozgást is, és csordájuk tagjainak jelzéseit kilométerekről meg tudják különböztetni más elefántokétól. Ugyanis az állatok a tőlük nagy távolságra lévő társaikkal alacsony frekvenciájú rezgések segítségével kommunikálnak, ezek a rezgések azonban nemcsak a levegőben, hanem a talajban is terjednek. A szeizmikus kommunikáció tehát a rágcsálók és a rovarok mellett a nagyobb testű emlősökre is jellemző.

Bármilyen megközelítésben vizsgáljuk a hang és a zaj összefüggését – ember részéről adott értékelés vagy állatokra gyakorolt hatás, természetes vagy humán eredetű hanghatás – a hang zaj szempontú megítélését a zavarás adja. Ennek magyarázata egyrészt abban rejlik, hogy a hang jelentéshordozó tartalma és a jelentés pontos megismerése fontos az élőlények számára. Másik szempont, hogy zavarmentes környezetben is körülvesz minket egy olyan nyugalmi hangtér, ami kis mértékben, alig észlelhető módon változik, és ez a megszokott hangtér nem tartalmaz kellemetlen hangtani összetevőket, csendes környezetnek minősítjük.

Ugyanakkor a hang által közvetített információ fogadásához és feldolgozásához szükséges folyamat akadályozása, valamint a hang jellegében vagy a hangerősségben bekövetkező változások zavart okoznak, ami fokozza a koncentrációt és beindítja a védekezési mechanizmust. Ez újabb energiaráfordítást igényel az észlelő részéről. A *zaj* fogalmát az eddigiekben elmondottak alapján a következők szerint rögzítem: zaj olyan hang, amely nem kívánatosnak, zavarónak, kellemetlennek vagy károsnak minősül.

A helyzetet bonyolítja, hogy eltérő környezetben fellépő, azonos jellegű hanghatások más-más megítélés alá esnek, vagyis az eltérő helyzet miatt nem egyezik meg az értékelésük. Egy nagyvárosi területre jellemző, de az adott környezeti adottságok miatt csendesnek mondott hangnyomásszint érték a falusias beépítettség mellett már zavaró jelleggel bír és zajnak minősül. A tücsök ciripelését adott helyzetben vagy természetes környezetben kedvező hanghatásnak minősítjük, de csendes környezetben észlelt ciripelést már zavaró hangként értékeljük. Erre mutatok példát a 3.1. ábrán saját méréseim alapján [77].

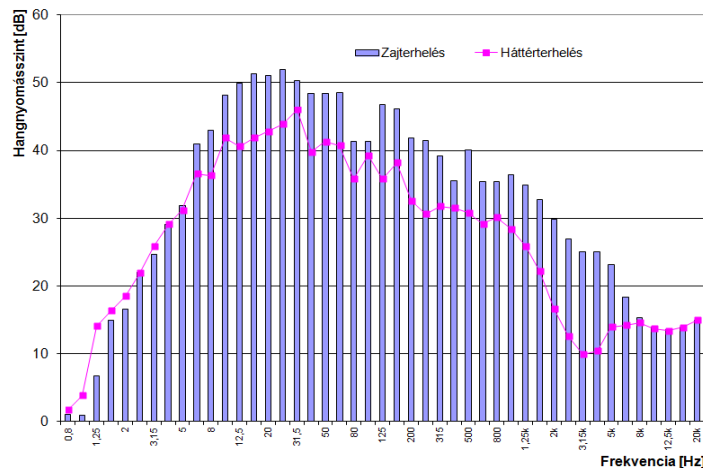


3.1. ábra Eltérő környezetben rögzített hangnyomásszint³ értékek (forrás: [77])

³ Hangnyomásszint a hangnyomás $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa vonatkoztatási értékéből és a mért hangnyomásból levezetett érték a tízes alapú logaritmus rendszerben kifejezve, mértékegysége a *dB*.

Az általam elvégzett és a szakmai közönséggel megosztott mérési eredmények is azt igazolják, hogy eltérő környezetben az állapotjellemzők jelentősen eltérhetnek egymástól, így a környezetterhelést okozó forrástól származó hatások is különbözőek lesznek, aminek sok esetben pusztán a környezet eltérő jellege az oka. A környezet eredeti állapotjellemzői tehát befolyásolják a környezeti hatás mértékét és megítélését, a környezet válaszreakcióit. Mindezt úgy rögzítem, hogy a környezeti hatás mértékét a kibocsátó forrás, a terhelés jellemzői és a forrás rendszertechnikai környezete együttesen határozza meg.

Az eltérő környezeti alapállapot és üzemi zajforrástól származó hangnyomásszintek összevetését szemléltetem a 3.2. ábrán a [77] alapján. A mérési eredményekkel azt is bemutatom, hogy a zajérzékelés terén jelentősége van a hangnyomásszint-frekvencia függvénynek, vagyis annak, hogy az eltérő frekvencia értékekhez milyen hangnyomásszint értékek tartoznak. Amennyiben a hangelfedés⁴ jelenségét figyelembe vesszük, a vizsgált zajforrás csak egy szűkebb frekvencia tartományban okoz a vizsgálati időben kimutatható vagy észlelhető zajterhelést, ami befolyásolja a hatás megítélését.



3.2. ábra Zajterhelés értékek összevetése eltérő háttérterhelés értékekkel (forrás: [77])

A 3.2. ábra alapján további következtetéseket is levontam a hang és zaj összefüggésével kapcsolatban. Mivel az állatok kommunikációjához és élettani viselkedésükhöz szorosan párosulnak az ember által már nem hallható, vagy egy-egy szűkebb frekvenciatartományhoz tartozó hangok is, vizsgálni kell az infrahangtartományt és a frekvencia összetevőket is. Ezt az észrevételem támasztják alá az általam elvégzett mérések eredményei, miszerint a 20 Hz alatti hangtartományban is jelentősek a humán eredetű hangnyomásszintek még akkor is, ha ezt érzékszervileg az ember nem észleli.

3.2. A zaj elleni védelem rendszere

A környezeti hatásokkal kapcsolatos bizonytalanság és kockázat elemzése alapvető környezetbiztonsági szempontból, amit a kibocsátások és a környezeti jellemzők közötti kapcsolat elsődlegesen befolyásol, így a zaj mellett ezt helyeztem vizsgálataim középpontjába. Ezen

⁴ Hangelfedés az egy időben észlelt hangok és a hallásküszöb összefüggése, mivel a nagyintenzitású hang a közeli, alacsonyabb intenzitású hangot elfedi.

belül nem tértem ki a hatásterület kérdésére, melynek elsődleges oka, hogy a hatásterület kötdődik a határérték alapú értékeléshez, így egy érintett terület lehatárolása nem jelent megfelelő információt a kialakuló hatás teljes minősítéséhez és a következtetésként szükséges, a valós környezetvédelmet adó műszaki beavatkozásokhoz. A közvetlen és közvetett hatásterület lehatárolása szintén sok bizonytalanságot tartalmaz, a két meghatározás az egymás közötti átfedés és a környezet állapotában bekövetkező változások teljes feltárása nélkül nem ad kellő választ a környezetbiztonsági „miértekre” és „hogyanokra”.

Mielőtt rátérnék a zaj elleni védelem rendszerszintű áttekintésére, említést kell tenni a környezet védelmének általános szabályiról szóló *1995. évi LIII. törvényben* [3] rögzített egzakt definícióról, mely szerint "A környezeti zaj és rezgés elleni védelem kiterjed mindazon mesterségesen keltett energia kibocsátásokra, amelyek kellemetlen, zavaró, veszélyeztető vagy károsító hang-, illetve rezgésterhelést okoznak."

A [3] szerinti definíció következetes alkalmazásával a zaj és rezgés elleni védelem az ember védelmén túl kiterjed az élővilág védett fajaira is, hiszen számukra is léteznek azok a kellemetlen vagy zavaró hanghatások, melyek meghatározása a *zaj*. Ez a tény is ráirányította a figyelmemet, hogy a rendszerszintű áttekintést ki kell terjeszteni a természeti értékekre és az állatvilág egyedeire. Ez a szempont azonban megköveteli az antropocentrikus környezet-definíciók újragondolását, és az eddigi környezet értelmezés helyett a földtudományi táj fogalmának használatát a definíciók megalkotásánál [67].

A környezetszennyezés anyagi vagy energia jellegű lehet [77]. A zaj jelentéstartalma szerint a nem kívánatos kellemetlen hang. A hang valamilyen közegben energia közlése miatt létrejövő rezgés, ezért a zaj energia jellegű környezetszennyezésnek minősül. A hangtér megváltozása ebben az esetben valamilyen külső, például mechanikai eredetű energiaközlés hatására következik be. *Az energiaközlés a tér bármely pontján és bármely időpontban megtörténhet.* Emiatt időben, térben és jellegében is különböző hangkeltésről beszélhetünk. Ahhoz, hogy környezetvédelmi szempontból megfelelő, környezetbiztonsági szempontból elfogadható hatás alakuljon ki egy adott helyen, a beavatkozási határvonalakat a környezeti zajhatásra és a folyamat működésére együttes tekintettel kell határozni.

Ennek alapja a környezeti hatás kialakulását, esetünkben a zajterhelést befolyásoló összes körülmény ismerete. Ezért vizsgálataimat a részek integrációjával végeztem, amihez a zajvédelem rendszerét és elemeit kellett áttekintennem. A környezeti hatás kialakulásához vezet, amikor a folyamatban jelen lévő egységek kapcsolatban vannak egymással, ezáltal egyfajta kapcsolati háló jön létre közöttük. Ez a kapcsolati háló magába foglalja a kibocsátó forrást, az érintett környezetet és a közöttük kapcsolatot adó átviteli utakat.

A környezetbiztonság feltétele, hogy a kapcsolati háló alakíthatósága, valamint a beavatkozási pontoknál a várt hatás mellett a következmények ismerete fennálljon. Ezáltal kerül összhangba a környezetvédelmi intézkedés a repülésbiztonsággal és az egyéb üzemeltetési feltételekkel. A környezeti zajvédelem alapja, hogy az egész több mint a részek összessége, de a részek rendszertechnikai ismerete és környezetbe való illesztése a hatások csökkentéséhez nélkülözhetetlen.

Ahhoz, hogy rendszertechnikai megközelítésben vizsgáljam a zaj elleni védelmet, illetve a környezetvédelem mellett a környezetbiztonság szempontjait is érvényesítsem a kutatómun-

ka során, a vizsgált hanghatás számára rendelkezésre álló, vagy általa igénybe vett terület meghatározását is szükségesnek tartottam. A hanghatás változtatja meg a környezet eredeti állapotát, tehát a zavarás okozójaként vesszük figyelembe, de emellett a kiterjedését és az érintett környezettel való határfelületét is vizsgálni kell. Tehát a továbbiakban a hatás kiterjedését a hangtér alapján vizsgáltam.

Hangtér a környezetünk azon része, melyben a hanghullámok terjednek [64]. A zavarási állapot a közvetítő közeg tulajdonságainak függvényében térben és időben is ingadozik egy korábban kialakult egyensúlyi helyzet körül. Kedvező esetben stabil, hosszabb ideig fennálló egyensúlyi helyzet alakul ki. Amikor a mechanikai zavarási állapot jelentős energiaközléssel jár, a hatás a nyugalmi hangtér megbomlásához vezet. A nyugalmi hangtér ugyanakkor nem azonos a csendesnek tartott környezettel, mivel állapotjellemzőjét a környezeti levegő nyomása mellett a vizsgált tér különböző részeiről származó, időben és minőségben is eltérő hangok összessége adja. Ezek a hanghatások egyszerűbb esetben egy, összetett helyzetben több forráshoz vezethetők vissza. Ezért szükséges a hangtér kialakulását befolyásoló tényezők, valamint a hangjelenségek, mint zaj rendszerezése a következő alapelvek szerint:

- hangjelenség származtatása emberi tevékenységek alapján;
- hangforrások jellemzői alapján;
- hangtér kialakulását befolyásoló környezeti tényezők alapján;
- védendő területek, objektumok és élőlények besorolása alapján.

A zaj keletkezését és a környezetbe való kibocsátást, vagyis a térben okozott zavarás mértékét és jellegét elsődlegesen a forrás határozza meg. Ennek jelentőségét azért hangsúlyozom, mert ez a tény egyben azt is jelenti, hogy a zaj csökkentését – a műszaki megvalósíthatóságot és az eredményességet, valamint a költséghatékonyságot szem előtt tartva – a forrásnál célszerű elkezdni. A kibocsátott zaj csökkentéséhez ismerni kell a forrás azon műszaki és technikai adatait, melyek szükségessé és egyben lehetővé teszik a zajcsökkentést. Erre utal a SZABÓ [61] által a repülési zaj csökkentésének lehetőségeiről adott áttekintés is. Hasonló módon a zajforrás jelentőségét emeli ki АЛЕКЦЕЕВ [71], amikor a hatások csökkentéséhez elsődleges lehetőségnek a forrást adja meg. A feltétel teljesüléséhez ezért a repülési zajforrásokat is felosztottam a következők szerint: egyedi zajforrások, összetett zajforrások.

Minden esetben, amikor zajforrásról beszélünk, környezetvédelmi szempontból meghatározott kategóriába soroljuk az adott technikai eszközt. *Ebben a vonatkozásban hangsúlyozom, hogy nem minden gép, technikai eszköz vagy tevékenység minősül zajforrásnak. Csak az olyan hangforrásokból lesz zajforrás, melynek hangja valamilyen szempontból zajnak minősül, például emberi megítélés szerint a védendő környezetben kellemetlen zavaró és szubjektív észleléssel is jól elkülöníthető zavaró hatást okoz.* Ebből következik, hogy a természeti jelenségekhez köthető hangok nem minősülnek zajnak, ilyenkor az informatív jelleg kerül előtérbe mind az ember, mind az állatvilág egyedei számára.

A hanghatások térben kialakuló zavaró hatását tekintve a környezet alapállapota és összegzett zajjellemzője napjainkig a szakirodalom kevésbé tárgyalt kérdése maradt, a szerzők figyelmen kívül hagyják azt a tényt, hogy nem a repülési zaj jelenti az egyedüli zajterhelést a környezetben. Erre a megállapításra jutott BUNA [15] is, amikor az egyedi zajesemények sza-

bályozási lehetőségeit vizsgálta, az általa bemutatott vizsgálati eredmények igazolják azt a felvetést, hogy a zavarást a zajterhelés-növekedés is befolyásolja, ami viszont az alapállapotban fennálló zajok függvénye.

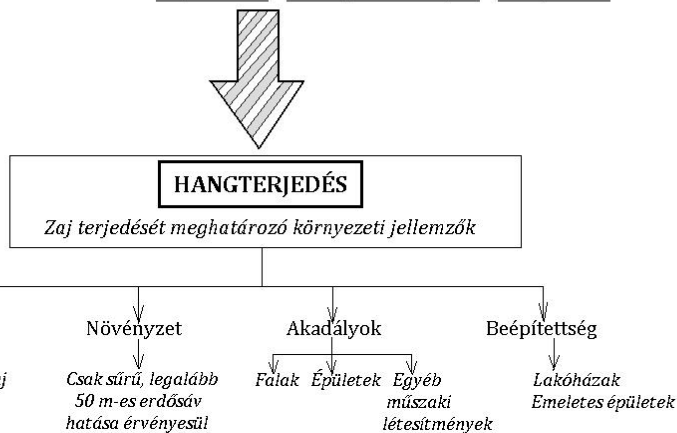
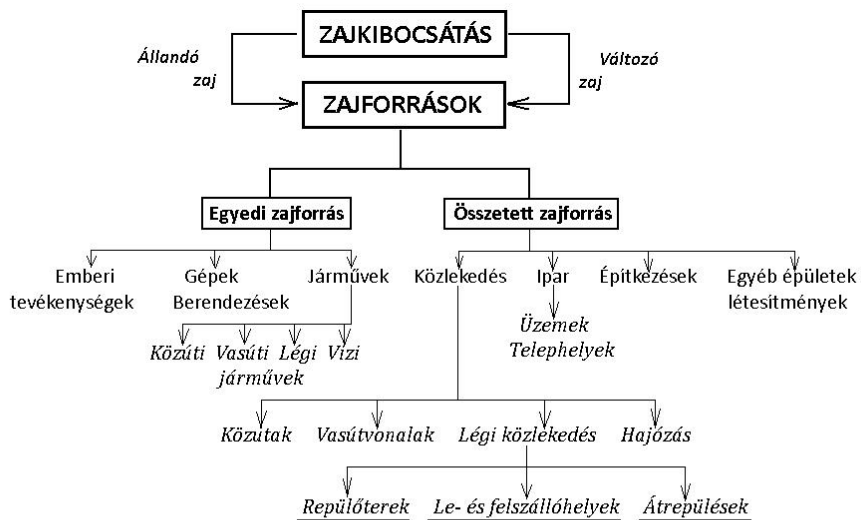
Egyedi zajforrások az emberi tevékenységek, gépek és berendezések, valamint közlekedési eszközök és azok részegységei. Helikopterek esetében is van lehetőség az egyedi zajcsökkentésre. Konstruktív fejlesztésre példa az egyforgószárnyas NOTAR (No Tail Rotor) helikoptert [77]. Az a tény, hogy napjainkban a légi jármű szerkezete, vagy a hajtómű zajcsökkentett módon kerül megtervezésre és megépítésre, illetve, hogy a működési elvben bevezetett változások kisebb zajkibocsátással járó üzemvitelt eredményeznek, önmagában is mutatja a járműfejlesztésben rejlő zajcsökkentési lehetőségeket.

Üzemeltetési szempontból a zajforrás műszaki állapota, az elhasználódásból vagy a karbantartás hiányosságai miatt bekövetkező műszaki állapotromlás is okozhatja a zajkibocsátás növekedését. A helikopter, mint környezeti zajforrás műszaki színvonala és működése során bekövetkező műszaki állapot-változás együttesen határozza meg a környezetben okozott zajterhelést. Összetett zajforrások az ipar, építkezések, egyéb létesítmények, a közlekedés, azon belül a közutak, a vasút és a hajózás, valamint a légi közlekedés. Helikopteres repülésre és a lakóterületek felett végzett repülési műveletekre a növekvő igények miatt egyre gyakrabban kerül sor, ezzel együtt a beépített területeken helikopter leszállóhelyek létesítését és működtetését – például kisebb városi repülőterek, gazdasági társaságok leszállóhelyei, mentő helikopter leszállóhely – is meg kell oldani.

A leszállóhelyek működtetését azonban erőteljesen korlátozza, ha a létesítményt olyan települési környezetben kívánjuk elhelyezni, ahol a szomszédos építmények zaj elleni védelmét is biztosítani kell. A legtöbb ország az egyéb zajokhoz képest magasabb zajterhelési határértéket határoz meg repülőterek és leszállóhelyek környezetében az átlagos üzemi zajokhoz képest. A zajterhelés-növekedéssel összefüggő zavaró hatás akkor is fennáll, amikor a határértékek teljesülnek, de a háttérterhelés jelentőségére mutatnak rá saját zajmérési tapasztalataim is, melyre a korábbi 3.2. ábrán bemutatott adatsor is szemléletes példa. Mivel mérési tapasztalataim alapján számomra igazolást nyert, hogy az általánosan elfogadottnál nagyobb jelentősége van a környezet alapállapotát meghatározó zajforrások összességének és a hangterjedésnek, rendszerbe foglaltam a zaj kialakulását.

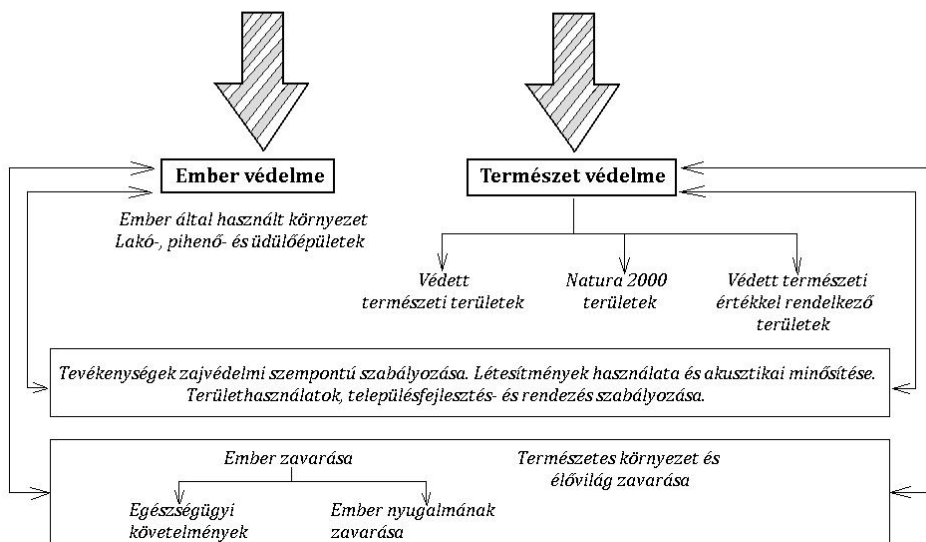
A zaj elleni védelem általam vázolt rendszerét és elemeit a 3.3. ábrán szemléltetem, melyen láthatóvá tettem, hogy a zaj keletkezése és terjedése, illetve a zaj elleni védelem vonatkozásában milyen összefüggések alakulnak ki, vagyis milyen jellegű a kapcsolati háló. A felosztás és a kapcsolati háló segítségével meghatározható a vizsgálatok módszere és tartalma, a követelményértékek, valamint a forrás és védendő objektum közötti függőségi viszony, azaz, hogy mekkora zavarást okozhat a zajforrás a környezetben.

A zajterhelés kialakulását befolyásoló tényezők logikai kapcsolata a környezet fogalom olyan újszerű megközelítésével értelmezhető, ahogy *VERRASZTÓ* [67] az antropocentrikus környezet-definíció helyett a földtudományhoz kapcsolt táj fogalmát tekinti azonosnak a környezet értelmezésével. Ezáltal megerősíti, hogy a zaj, mint környezeti hatás az emberi megközelítés mellett a környezet szempontjából kapjon tényleges értelmezést és kiterjedjen az érintettek teljes körére, ahogy azt a 3.3. ábrán is feltüntettem.



ZAJTERHELÉS

Üzemektől, telephelyektől, gépektől, technológiáktól, épületektől, szórakoztatással és vendéglátással összefüggő tevékenységektől, építkezésektől, KÖZLEKEDÉSTŐL származó zaj terhelési határértékeit külön jogszabály tartalmazza.



3.3. ábra Zajterhelés kialakulását befolyásoló tényezők logikai kapcsolata (forrás: [77])

Az egységes környezeti rendszer igénye *VERRASZTÓ* [67] által adott megközelítésben felveti annak szükségességét is, hogy az anyagi jellegű szennyezések mellett az energia jellegű szennyezések, így a zavaró hanghatások és rezgések is kerüljenek bele a definiált környezettel kapcsolatos kutatások körébe. Ezáltal lehetőség nyílik a hatótényezők és a hatásviselők közötti kapcsolat teljes körű feltárására, ezáltal a környezetvédelemben a térképi döntéstámogatás elősegítésére.

A 3.3. ábrát tekintve ugyanakkor ki lehet jelenteni, hogy a *zajterhelés* szintjén az ember nyugalmanak zavarása, valamint a természetes környezet és az élővilág zavarása a rendelkezésre álló és publikált adatokat tekintve jelenleg még kevésbé kutatott (fehér foltnak) tekinthető, a felmerülő kérdések számát és tartalmát tekintve további vizsgálatok szükségesek a zajhatás megismeréséhez és a megnyugtató válasz megfogalmazásához. E tekintetben szükségesnek látom a környezet zavarásával, illetve a környezetben okozott energiaszennyezéssel összefüggő bizonytalanság kezelését is.

Ez a gondolat azonban felveti azt a kérdést, hogy mekkora lehet a környezetben megengedett általános vagy legmagasabb határérték, valamint a zavaró hatást mérlegelve mekkora és milyen jellegű zajterhelést engedünk meg egy-egy zajforrás környezetében? Ehhez a közlekedési létesítményt, például egy helikopter leszállóhelyet, mint összetett zajforrást kell vizsgálni, mert a repülés is több rész-műveletből – leszállás, állóhelyi üzem, felszállás, kismagasságú átrepülés – áll. Helikopteres repülés és leszállóhely vonatkozásában egyedi és összetett zajforrásra mutat példát a 3.4. ábra.



3.4. ábra Egyedi és összetett zajforrások helikopter leszállóhelyen (saját fotó)

A légi járművet önmagában is vizsgálhatjuk, mint egyedi zajforrást, ezáltal további rész-zajforrásokra bontjuk. Ennek akkor van jelentősége, amikor a járműszerkezet a vizsgálat tárgya, és a zajforrásra irányul a zajcsökkentés, ami megfelel az általam alapelvnek tekintett feltételnek, miszerint a környezeti hatások csökkentése mindig a forrásnál kezdődik. Ebben a megközelítésben annak eldöntése is szerepet kap, hogy mit tekintünk zajforrásnak, hiszen a lehetséges beavatkozás is ennek függvénye lesz. Környezetbiztonsági szempontból kap jelentőséget ebben a fázisban a zajcsökkentés folyamata, mivel követve *Repülési Lexikonban* [61] adott iránymutatást, a repülési zaj csökkentése a légi járművek fejlesztésénél, valamint a légi közlekedés szabályozásánál lehetséges. Ezért a beavatkozáshoz a zajforrás lehatárolásánál már a folyamat megfordítását tartom szükségesnek és a lehetőség feltételein alapuló zajforrás-lehatárolást tartom szükségesnek.

3.3. A légi közlekedési zaj

A repülés és a repülőtér üzemeltetés általánosan megítélés szerint negatív környezetvédelmi értékelést kap annak ellenére, hogy a légi közlekedés globális és társadalmi értelemben is széles körben megfogalmazott igény elégít ki. Ma már a nemzetközi, hosszú távú, vagy a gyors utazások esetében, akár személy, akár áruszállításról legyen szó, a repülés minden ember számára evidenciális értelemben jelenik meg.

A légi közlekedésnek a környezetvédelmi bírálatok ellenére számos előnye van a többi közlekedési ágazattal szemben, amit érdemes kihangsúlyozni. Ezeket a szempontokat [78] alapján foglalom össze az alábbiak szerint:

- területfoglalás mértéke elmarad a közutak vagy a vasút helyszükséglete mögött;
- rövid idő alatt nagy távolságok áthidalása út vagy vasút építése nélkül;
- olyan területekre való eljutás és bejutás, ahova nem vezetnek utak;
- a meghatározó környezeti hatás a repülőterek környezetére terjed ki;
- talajterhelés csak a repülőtér területét érinti.

A repülés számos előnyét tekintve korunk embere számára nem lehet cél, hogy a környezetvédelmi érdekek miatt megfojtsa vagy lehetetlenné tegye a légi közlekedést, akadályozza annak fejlesztését, valamint gazdaságos és biztonságos működtetését. Jelentősége van a gazdaságos és biztonságos működésnek, hiszen a repülésbiztonság önmagában is a környezetvédelem egyik alappillére, a két terület összefügg. Ezért a környezetvédelmi szempontú beavatkozásoknál a repülésbiztonságra és a repülés egyéb kibocsátásaira gyakorolt hatást is szempontként kell figyelembe venni.

Mindinkább abba az irányba kell tehát továbblépni, hogy a környezetvédelem a természetes és az épített környezet védelmét célzó követelményeken alapuló szabályozó eszköz, és ne csak egy gátló tényező legyen a repülésben. Mindez csak a környezeti kockázatok helyes kezelésével valósulhat meg, ami a kockázati tényezők vizsgálatát igényli, ezáltal a kapott eredményeket felhasználva egyfajta környezetvédelmi törődést lehet a repülés és a repüléssel összefüggő tevékenységek számára biztosítani.

A környezetvédelmi érdekek érvényesítésére jellemző, hogy napjainkban kétféle módon közelítjük meg a problémát, vagyis két különböző, egymástól jól elhatárolt szempontrendszerrel veszünk figyelembe a környezetvédelmi értékelési és döntési folyamatokban és a környezetterhelési adatok kezelésénél [119]. Eszerint kétféle értékelési szintről beszélünk, emberi megítélésen és természetes környezet érdekein alapuló értékelési szintről. A környezetvédelmi értékelési szintek rögzítését fontosnak tartom a tárgyalt téma kifejtése során, mert meghatározó szempont a repüléssel összefüggő tevékenységek környezetvédelmi megítélésében, az alkalmazott követelmények alapja.

A környezetvédelmi értékelési szintek további jelentősége, hogy a környezeti hatással járó emberi tevékenységek egy korszerű társadalomban összefüggő rendszert alkotnak, így a légi közlekedés tekintetében sem szabad megfeledkezni arról, hogy a közlekedési ágazat, ezzel együtt a gazdaság szerves részéről van szó. Környezetvédelmi vonatkozásban a kapcsolatszerre világít rá eddigi kutatásaim alapján a 3.3. ábrán felvázolt logikai összefüggés is.

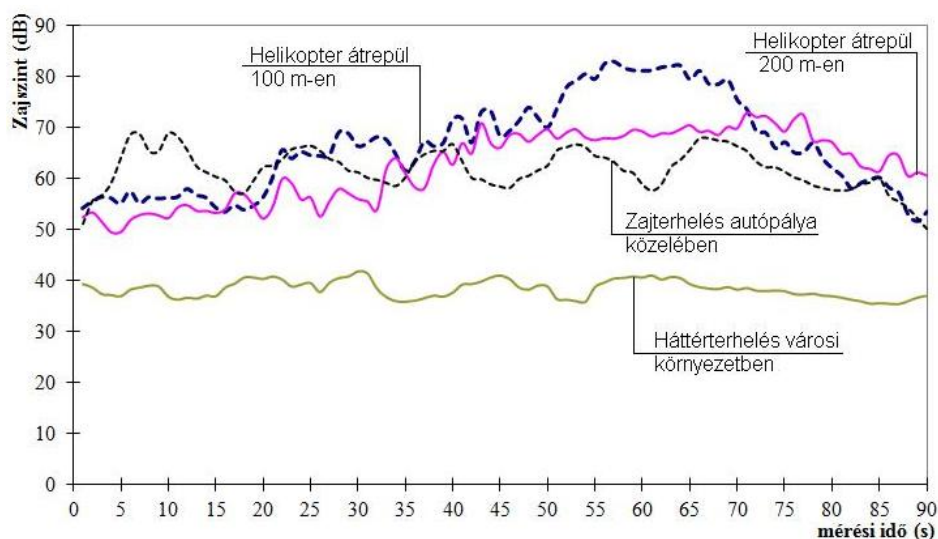
Ahogy korábban már a jelentősebb szerzőkre hivatkozással kifejtettem, napjainkban elsődleges a humán érdekek érvényesítése, vagyis a legtöbb esetben az emberi válaszreakciók alapján előírt szempontok érvényesülnek a környezetterhelési követelményértékekben [9], [13], [25], [35], [39], [55] és [71]. Ezt a megközelítést erősítik a zajméréssel és zajscsökkentéssel foglalkozó szerzők, így az emberi és a határérték alapú szempontok jutnak érvényre a repülési eseményekkel összefüggő éjszakai felébredések vizsgálata során és a levezetett okfejtésekben is [26], [37], [59], [64].

Az épített környezet védelme érdekében ugyanakkor számos döntés születik, ami lokális és tágabb értelemben is a természetes környezet járulékos terhelését okozza. Ennek ellenkezőjével is találkozhatunk, amikor a repülés a környezeti zaj csökkentésében mutatkozó pozitív szerepe miatt egy-egy különleges építmény telepítésénél a természetes környezet megóvása érdekében a légi jármű alkalmazása a környezetvédelem hatékony eszköze [100] és [115].

Ezt a szempontot a jelenlegi szabályozás azonban kevésbe veszi figyelembe, ami köszönhető annak is, hogy modern társadalmunkban az egyén és az egyének kisebb csoportjai igyekeznek meghatározni a környezeti hatások megítélését és kezelésének szükségességét. Zajvédelmi szempontból véleményem szerint a szubjektivitással szemben nagyobb figyelmet érdemel a hatás kialakulását befolyásoló tényezők logikai kapcsolatával összefüggő lehetőségek sora, ami a kapcsolatban van a környezetbiztonsággal is.

A fellépő környezeti hatás megítélése tehát mindig függ attól, hogy a repülés milyen környezetet érint, ott milyen irányú és mértékű változást idéz elő, vagyis milyen környezetgerjesztéssel számolhatunk. A válaszreakció kialakulásában meghatározó szerep jut az alapállapot értékeknek, és azoknak a jellemzőknek, melyek az állapotváltozás kiinduló adataiként szerepelnek. Ezt a megállapításunkat támasztjuk alá az általunk elvégzett műszeres zajmérések eredményeivel, melyek eltérő jellemzőkkel bíró környezetben lettek rögzítve.

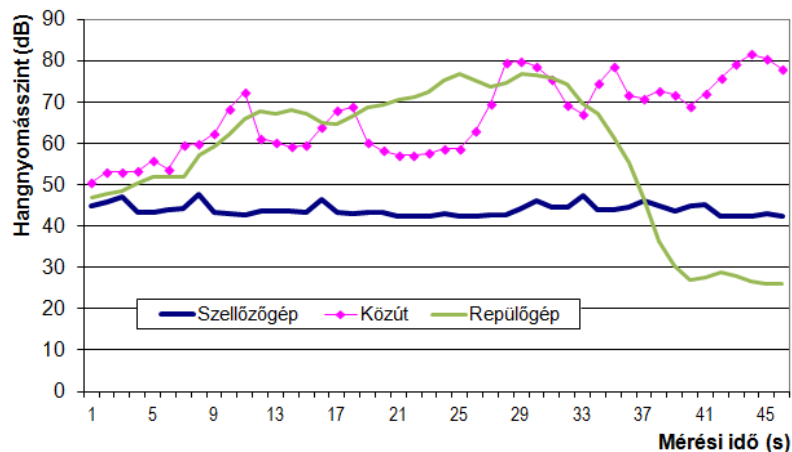
A terhelésváltozás mértéke alapján a különböző területek zajszint-idő függvényére a 3.5. ábrán látható adatsorral mutatok példát [102] alapján, melyen helikopteres művelettől származó zajszint értékek láthatóak átlagos városi lakóterületi háttérzaj és közúti zaj értékekkel összevetve.



3.5. ábra Repülési műveletek, közút és lakókörnyezet zajszint értékei (forrás: [102])

A 3.5. ábrán szemléltetett adatsor érdekessége, hogy a méréssel kimutatott magas és időben jelentősen változó hangnyomásszint értékek mellett a [40] és [41] alapján figyelembe vett mérési módszerrel kimutatott egyenértékű hangnyomásszint érték 100 m-es repülési magasságnál $L_{Aeq} = 73$ dB, 200 m-es repülési magasságnál $L_{Aeq} = 63$ dB. Az ilyen mértékű különbség már jelentős bizonytalanságot eredményez, a legnagyobb terhelési értékek háttérbe szorítása környezetbiztonsági szempontból az eredmény torz értékeléséhez vezet.

Repüléssel összefüggő zajterhelés, valamint közúti forgalomtól és egy üzemi légttechnikai berendezéstől származó zajterhelés összevetését szemlélteti a 3.6. ábra. A bemutatott adatso-
rokon keresztül érzékelhető, hogy a környezethasználati folyamat a különböző zajforrások esetében a mért hangnyomásszint értékek jelentős eltérései mellett az időfüggvényt tekintve is különbözőséget mutat. Az érintett környezet érzékenyen reagál a változásokra, amit egymástól független, de a kialakult hatást tekintve már összefüggésben lévő zajforrások okoznak. Ezek a mérési eredmények is igazolják, hogy nem tekinthetjük a környezetet egy-egy kiemelt zajforrás értékelésénél tiszta zajforrás mentesnek, illetve arra is figyelemmel kell lenni, hogy az egyéb források hatása milyen módon érvényesül egy-egy területen. Az egyéb zajhatások növelik a zajszint változásokban megfigyelhető bizonytalanságot.



3.6. ábra Különböző zajforrásokra jellemző hangnyomásszint értékek (forrás: saját mérések)

Mérési tapasztalataimra tekintettel a becslési és modellezési eljárásoknál szükségesnek tartottam, hogy nagyobb figyelmet fordítsak a vizsgált folyamat során bekövetkező nem várt eseményekre, hiszen azok jelentős mértékben befolyásolják a modellezett folyamat végeredményét. Mivel ennek a ténynek kiemelt jelentőséget tulajdonítok a továbbiakban, a véletlen behatások lehetőségét is figyelembe vettem a kutatásaim során.

A légi közlekedést környezetvédelmi oldalról természetesen – a környezeti zajterhelésen túl – több szempont alapján is vizsgálni kell, az eddigiekben részletezett, illetve a 3.5. és 3.6. ábrákon bemutatott zajmérési eredményeket kiemeltem a hatások közül. Ennek legfőbb oka, hogy a környezeti hatásokat a légiközlekedés esetében is – hasonlóan más tevékenységekhez – súlyozni kell, így a [86] alapján a következő megállapításokat teszem:

- a környezeti hatások áttekintésének része a környezetben kiváltott válaszreakciók összehasonlító elemzése;
- a közvetlen állapotváltozás mértéke a környezeti hatások értékelésében elsődleges szereppel bír.

Ahhoz, hogy a 3.5. és 3.6. ábrákon bemutatott környezetterhelési értékeket adó helyzeteket kezelni lehessen a környezeti hatások rendszerét és a rendszer elemeiből álló kapcsolati háló viszonyait kell megismerni és feltárni. Zajvédelmi vonatkozásban a beavatkozási lehetőségek főbb szempontjait az alábbiakban foglalom össze [77] alapján.

A hangterjedési viszonyokat a távolság, a növényzet, az akadályok és a beépítettség határozzák meg. Repülési-, és helikopterzaj vonatkozásában a zajforrás és az észlelési pont közötti távolság hatására bekövetkező zajcsökkenésnek van jelentősége, emellett a környezeti adottságokkal összefüggésben a hangelnyelés, illetve hangvisszaverődés megszüntetése segíti a kisebb zaj kialakulását. Növényzet telepítése vagy fenntartása hozzá járul a térfelületek hangelnyelő képességének javításához, de növénytelepítéssel kimutatható zajcsökkentést abban az esetben érünk el, amennyiben a növényzetben megtett hangút számára legalább 40-50 m-es, kifejtett lombzattal és aljnövényzettel rendelkező erdősávot biztosítunk. Tehát fasor, vagy cserjeültetvény és a hangterjedés akadályozása között nincs közvetlen összefüggés.

Lakott területeken, illetve épített környezetben épületek és burkolt felületek hatására a mérési tapasztalataim szerint kisebb mértékű hangelnyelés érvényesül, egyes esetekben jól megfigyelhető a hangvisszaverődés, ami az észlelési pontokban kialakuló zavaró hanghatás növekedését eredményezi. Ezért repülési útvonalak kijelölésénél célszerű törekedni a beépítetlen területek feletti átrepülésekre, ami sok esetben a távolság növelését is magával hozza.

A zajterhelést a zajforrás, a hangterjedési viszonyok és a területi adottságok együttesen határozzák meg. Mivel energia jellegű környezetszennyezésről beszélünk, az észlelési pontban kialakuló hatásra a zajterhelés kifejezést alkalmazom, az észlelési hely pedig a terhelési pont. A zajterhelés fogalmát a következők szerint definiálom:

Valamely kibocsátó forrás által okozott, hullámterjedés útján továbbított energiaváltozásból eredő fizikai hatás, ami képes megváltoztatni kimutatható mértékben a nyugalmi helyzetet egy meghatározott észlelési helyen.

Zajterheléssel összefüggésben az ember és a természeti értékek védelmét egyaránt kezelni kell. Az ember által használt környezet, illetve a huzamos emberi tartózkodásra kijelölt területek és épületek védelmét tekintjük elsődlegesnek, kiemelve az egészségügyi-, üdülő- és lakókörnyezetet. Emellett gondoskodni kell a védett természeti területek, és a természeti értékkel rendelkező területek zaj elleni védelméről is, hiszen az állatok számára a zaj, mint zavaró hang az élőhelyen bekövetkezett negatív változást jelenti, ahogy erre már rámutattam a hang és zaj összefüggéseinek tárgyalásánál.

Az általánosan elterjedt szabályozásban az emberi környezetre vonatkoztatva vannak határértékek, melyek megállapítása nagyszámú ember bevonásával elvégzett kísérleten alapul. Ebből következik, hogy a zajhatás megítélése az emberi fül érzékenységét követi, a határérték pedig egy olyan érték, amit az emberek többsége még elviselhetőnek tart, és a kialakuló hanghatás nem okoz egészségkárosodást.

A repülés és a környezete között fennálló bizonytalanságot tükrözi a repüléstől származó zajterhelés értékelésének és megítélésének folyamata is. Időben változó környezetterhelésről beszélünk, ami a kockázati tényezők számát növeli. Értékére a repülési paraméterek és a környezet jellemzői is hatással vannak, ezért napjainkra a műveletszámot is magába foglaló átlá-

gos értékek alkalmazása terjedt el. A repülési zajterhelést klasszikus módon a (3.1) egyenlettel határozzuk meg [40] és [41] alapján:

$$L_{AM, re} = 10 \cdot \lg \frac{\tau_{ref}}{T_M} \cdot M \cdot 10^{0,1 \cdot L'_{AX}} \text{ [dB]} \quad (3.1)$$

ahol:

$L_{AM, re}$ – repülésből származó mértékadó A-hangnyomásszint [dB];

τ_{ref} – referencia érték, 1 s;

T_M – megítélési idő [s];

M – mértékadó repülési műveletek száma;

L'_{AX} – átlagos repülési zajesemény szint [dB].

A (3.1) összefüggés alapján több fontos megállapítást tehetünk, melynek figyelembevételére a légi forgalom miatt kialakuló környezeti hatás értékelésénél és a légi forgalom változásában kiemelt szerepet kap. Az alkalmazott T_M megítélési idő értéke nappal 16 óra, éjjel 8 óra átlagos környezetterhelést ad, a zajterhelés értéke elsősorban a mértékadó műveletszám, vagyis a forgalom változásaitól függ. Az alkalmazott összefüggés meghatározó eleme tehát a megítélési időben rögzített légi forgalom.

Másik fontos tényező az átlagos repülési zajesemény szint, ami a zajforrás mellett a környezet állapotától – például hangterjedési viszonyok – és a védelmet igénylő területtől is függ. Mért érték, a becsléshez és az értékeléshez alkalmazott (3.1) összefüggés meghatározó adata. A zajesemény szint érték tehát a kibocsátó forrást és a környezetet együttesen jellemzi, vagyis közös adat. Elsődlegesen befolyásolja a környezetterhelést okozó forrás és a környezet között fennálló viszonyt. Nem függ az M mértékadó műveletszámtól, és minden esetben a szubjektív módon észlelt, a hangtérben kialakuló hangnyomás változását, vagyis a zavarást mutatja. Ez a tény vezetett arra a következtetésre, hogy a repülési zaj megítélésében a ténylegesen mérhető és észlelt zajesemény szinteknek nagyobb jelentőséget tulajdonítsak és vizsgálatát kiemeljem a továbbiakban.

Helikoptertől származó zajterhelés bemutatásához, illetve a zajjellemzők értékeléséhez végeztem műszeres méréseket MI-24 Hind típusú helikopterrel végzett átrepülések során. A kimutatott, átrepülésektől származó hangnyomásszint értékeket a 3.1. táblázatban foglaltam össze saját méréseim alapján, amit a [88] áttekintésben tettem közzé.

MI 24, 50 m-en átrepül			MI 24 50 m-re, 100 m-re átrepül			MI 24 25 m-en átrepül		
L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}	L_{max}	L_{min}	L_{Aeq}
100,4 dB	56,0 dB	86,4 dB	84,0 dB	55,2 dB	74,1 dB	103,2 dB	62,1 dB	89,9 dB

3.1. táblázat Átrepülésektől származó zajszint értékek (forrás: [88])

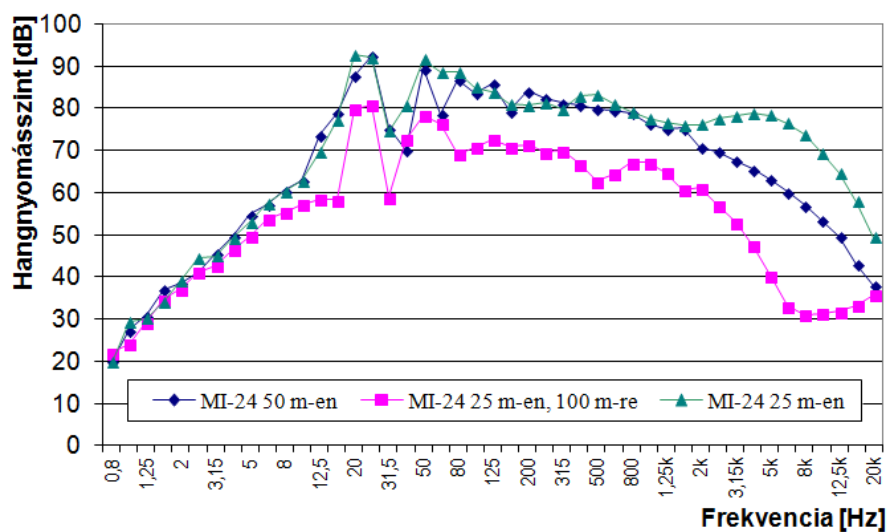
A zajmérésre 1,5 m magasságban kijelölt észlelési pontban, a helikopter eltérő repülési magassága és távolsága mellett került sor. Az észlelési pont és a zajforrás távolságának módosításával, jelen esetben 25 m-ről 50 m-re, majd 100 m-re növelésével azt is vizsgáltam, hogyan változnak a mért zajjellemzők. A 3.1. táblázatban az L_{max} a legnagyobb zajszint, az L_{min} a legkisebb zajszint és az L_{Aeq} a zajeseményre jellemző egyenértékű zajszint érték.

Az átrepülési zajszintek értékelésénél levont elsődleges megállapítás, hogy a repülési magasság kismértékű növelése – esetünkben kétszeresére, azaz 25 m-ről 50 m-re növelése – csak méréssel kimutatható módon módosította a hangnyomásszinteket, de szubjektív észleléssel ez az eltérés nem volt érzékelhető. Mindez a magas, $L_{max} = 100,4$ dB-es és $L_{max} = 103,2$ dB-es zajszintek mellett abból is következik, hogy a távolság ilyen kismértékű megváltozása nincs jelentős hatással a terhelési pontban észlelt zajszintekre. Megjegyzem, és a méréseim is igazolják, hogy 100 dB feletti hangnyomásszintek esetében a hanghatás felezésével egyenlő 3 dB-es csökkenés a szubjektív érzékelést nem befolyásolja kimutatható mértékben.

Más a helyzet, amikor az észlelési pont és a zajforrás távolságát már jelentősebben növeltük, a repülési magasságot 50 m-en, az oldalirányú távolságot 100 m-en választottam meg. Ekkor mind az L_{max} értékekben, mind az átrepülésre vonatkoztatott L_{Aeq} egyenértékű hangnyomásszintekben jóval nagyobb eltérés mutatkozott. A zajszint csökkenése már jelentősnek mondható, de ekkora távolság mellett is meghaladja a zavaró hatás mértékét és jellegét. A lesugárzott zaj további értékelését a hangnyomásszintek frekvencia függvényében történő összevetésével folytattam.

A hangterjedésre, a felületi hangelnyelésre vagy hangvisszaverődésre jellemző, valamint a környezet beépítettségétől függő általános elvek érvényesülését számos, a zajforrásra és a repülésre vonatkozó típus- és üzemiállapot-függő tényező is befolyásolja [84]. Az egyes rész-zajforrások aránya szintén befolyásolja a hangtér kialakulását és a zajjellemzők változását. Ennek igazolására az eltérő távolságokban végzett átrepülésektől származó hangnyomásszinteket a frekvencia függvényében elemeztem.

A zavaró hatást az ember számára már nem érzékelhető hallástartományban, azaz az infrahang tartományban ($f = 20$ Hz alatt) is mértem. Ennek jelentősége abban van, hogy a követelményértékkel nem szabályozott, illetve az ember számára hallás útján nem észlelt – de testhang vezetés által érzékelt – és az állatok hallástartományában jelen lévő és számukra kommunikációs hangnyomás a térben jelen van, tehát a zavarást erősíti. Ugyanakkor a vizsgált zajforrásra és annak részegységeire jellemző lehet, ami a helikopter zajlesugárzásának jobb megismerését is segítheti. A hallástartományban és az infrahang tartományban rögzített zajszinteket a 3.7. ábrán szemléltetem.



3.7. ábra Hangnyomásszint-frekvencia függvény eltérő repülési távolság esetében (forrás: [90])

3.4. Repülési zaj szabályozásának áttekintése

A légi közlekedéssel és a légi jármű üzemeltetéssel kapcsolatos zajhelyzet kezelésére a fejlesztések és korszerű légi járművek létrehozásával, valamint a repülési manőverekbe való beavatkozással, az üzemeltetési és a légi forgalmi folyamatokba való beavatkozás útján van lehetőség, amit a *Repülési Lexikon* [63] szerinti okfejtés is alátámaszt.

Fejlesztések vonatkozásában a zajcsökkentési munka kezdetekben elsősorban a hajtóművekre irányult, számottevő eredményeket a gyártók és fejlesztők az 1960-as évektől kezdődően értek el [14]. Mivel a gazdaságos üzemeltetés és az elvárt teljesítmény biztosítása ekkor még megelőzte a környezetvédelmi szempontokat, a kimutatható eredményekre is várni kellett. A későbbiekben a hajtóműzaj mellett az úgynevezett repülőgép sárkányzaj csökkentésének igénye került fokozatosan előtérbe, mint másik meghatározó rész-zajforrás.

A repülőgép rész-zajforrások lehetséges csökkentésével foglalkozott *BUNA* [14] a zajforrások összehasonlító elemzésekor. Az általa tett megállapítások ma is életszerűek, melyek közül kiemelt figyelmet érdemel, amikor kijelenti, hogy a környezetben fellépő zajterhelést sok üzemi állapot és a hangterjedéssel összefüggő tényező befolyásolja. A repülőgép rész-zajforrások egymáshoz viszonyított súlya ugyanis nagymértékben függ a hajtómű által kifejtett teljesítménytől, ami már a repülési módokkal van összefüggésben. A fejlesztők és gyártók törekvései ellenére a járműszerkezet lesugárzott zaja emiatt még mindig olyan mértékű, ami a földi értékelés szempontjából a légi forgalom szabályozását követeli meg. A zajcsökkentési intézkedési lehetőségek kutatására világszerte folynak kutatások, ezek eredménye ma már érzékelhető a környezetvédelemben, de ahogy a módszerek és lehetséges megoldások kereséséhez, majd későbbi alkalmazásához a teljes zajcsökkentési láncot figyelembe vevő megközelítés szükséges [14].

A csendesebb üzemű légi járművek megjelenése és rendszerbe állítása hosszú, több évtizedes folyamat eredménye, így a repülési zaj vonatkozásában a korszerűbb járműszerkezetek megjelenéséig a jelenleg üzemelő légi járművek forgalmát kell szabályozni, valamint a meglévő repülőterek és leszállóhelyek működtetését kell zajvédelmi szempontból elfogadható módon megvalósítani. A légi közlekedési folyamatok zajcsökkentéssel összefüggő szabályozása a repülésbiztonság és a veszélytelen állapot fenntartása miatt sajtószerű helyzetet teremt a lehetséges megoldások alkalmazása terén. Míg a teljes zajcsökkentési lánc figyelembe vételét *BUNA* [14] a gazdasági optimummal hozta összefüggésbe, napjainkban a szabályozási rendszer feltételeit szükségesnek tartom a gazdaságosságon túl a repülésbiztonságra és a környezetbiztonságra is kiterjeszteni.

A kíméletes környezethasználatához – a világ számos országában, így az Európai Unióban és Magyarországon is – ma már olyan műszaki előírások és jogszabályok állnak rendelkezésre, melyek segítik a repülési zaj szabályozását és kezelését, valamint a légi forgalommal érintett területeken fellépő zaj csökkentését. Ezeket az alábbiakban tekintem át, kitérek a zaj megítélését és a biztonságot érintő kérdésekre.

Zaj- és rezgésforrások üzemeltetése, a zaj- és rezgésforrások megvalósításhoz szükséges építőipari munka, valamint a közlekedés zaj- és rezgésvédelmi szempontú értékelésének keretszabályait Magyarországon a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól

szóló 284/2007. (X. 29.) Korm. rendeletben foglalt előírások tartalmazzák, a területek állapotváltozását és a hatásterületek kiterjedését a 284/2007. (X. 29.) Korm. rendeletben előírtak figyelembevételével vizsgáljuk. Annak ellenére, hogy a környezeti zaj és rezgés szempontjából a 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet számítja a fő jogszabálynak, az nem tartalmaz a repülésre vagy a légi közlekedésre irányuló előírást és szabályokat. Ennél fogva a repülőterekre és leszállóhelyekre vonatkozó szabályozás sincs a 284/2007. (X. 29.) Korm. rendeletben.

A zaj és rezgés ellen védendő területek és objektumok figyelembevételével előírt zaj- és rezgésterhelési határértékek a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról szóló 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendeletben található, Magyarországon a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet szerinti határértékek alkalmazása kötelező. A repülőterektől, illetve a fel- és leszállóhelyektől származó zajra vonatkozó határértékeket a 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet 3. számú melléklete tartalmazza, amit kivonatos formában – jelenleg az egyéb zajforrásoktól eltekintek – a 3.2. táblázat szemléltet.

Sor-szám	Zajtól védendő terület	Határérték (L_{TH}) az $L_{AM,kö}$ megítélési szintre			
		Repülőtér, nem nyilvános fel- és leszállóhely ^[1]		Repülőtér, nem nyilvános fel- és leszállóhely ^[2]	
		nappal	éjjel	nappal	éjjel
1.	Üdülőtérület, egészségügyi terület	55 dB	45 dB	60 dB	50 dB
2.	Kisvárosias, kertvárosias, falusias lakóterület, temetők, oktatási létesítmények	60 dB	50 dB	65 dB	55 dB
3.	Nagyvárosias lakóterület, vegyes terület	65 dB	55 dB	65 dB	55 dB
4.	Gazdasági terület	65 dB	55 dB	65 dB	55 dB

3.2. táblázat Repülőtértől származó zajterhelési határértékek (forrás: [5])

[1] olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb, légszaváros repülőgépek, illetve 2,73 tonna maximális felszálló tömegnél kisebb helikopterek közlekednek;

[2] olyan repülőterek, vagy nem nyilvános fel- és leszállóhelyek, ahol 5,7 tonna maximális felszálló tömegű, vagy annál nagyobb légszaváros repülőgépek, illetve 2,73 tonna maximális felszálló tömegű vagy annál nagyobb helikopterek, valamint sugárhajtású légi járművek közlekednek.

A 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet 5. § (1) bekezdése alapján a határértékek teljesülésének helye az épületek és épületrészek külső környezeti zajtól védendő azon homlokzata előtt van, amelyen legfeljebb 45 dB beltéri zajterhelési határértékű helyiség nyílászárója van az egyes épületszintek padlószintjének megfelelő magasságtól számított 1,5 m-re magasságban a nyílászárótól általában 2 m-re.

A 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet 4. §-ban előírt szabályok szerint a zajterhelési határértékek teljesülésének kötelezettsége az új vagy új tervezésű közlekedési zajforrásokra, valamint a meglévő közlekedési zajforrások esetében korszerűsítés utáni állapotra

terjed ki. A 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet 2. § f) pontja alapján a közlekedési zaj- és rezgésforrások körébe tartozik a repülőtér is. A 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet 2. § g) pontja alapján a környezeti zaj- és rezgésforrás üzemeltetője egyebek mellett a repülőtér üzemeltetője, valamint a zaj- vagy rezgésforrást működtető személy.

Ez a fogalom-meghatározás több ponton is kérdéseket vet fel. A jelenlegi szabályozás szerint a zajterhelési határértékeknek csak a repülőtér vonatkozásában a repülőtér üzemeltetőjére való kiterjesztéssel kell teljesülni. Ebből következik, hogy a repülőtéren kívül eső légi forgalomban részt vevő légi járművekre és azok működtetőire a jogszabályi kötelezettség nem vonatkozik. A repülőtér működésének határa azonban nincs meghatározva, azaz a bizonytalanságok és a szakmai rendezetlenség következtében a repülőtér működésének kiterjedése és a szorososan a repülőtéri légi forgalom határa nem ismert. Ezáltal abban is bizonytalanság tárható fel, hogy a légi forgalomtól származó zaj terhelési határértékeinek teljesüléséért milyen területi kiterjedéssel felelős a repülőtér üzemeltetője.

Ez a bizonytalanság a légi forgalomra kihatással lévő kockázatokat rejt magában, hiszen azokra a légi járművekre, melyek nem vesznek igénybe egy repülőteret vagy leszállóhelyet, de a közel körzeti légtérben repülnek, nem vonatkozik semmilyen zajvédelmi szabályozás. Másik kockázati tényező, hogy a repülőteret megközelítő és elhagyó légi jármű miatt fellépő zajterhelésért milyen távolságig felelős a repülőtér üzemeltetője.

A repülési zajjal összefüggő zajterhelés, valamint a repülőtér és a légi jármű közötti távolság kapcsolatában meg kell említeni *SOBOR* és *DOMOKOS* [62] áttekintését a sugárhajtású repülőgépek okozta egyenértékű zajszint és a repülőgépek útvonal eltérése közötti összefüggésről. *SOBOR* és *DOMOKOS* [62] rámutat arra, hogy a repülőgépek az elvi leszállási és felszállási útvonalakat csak egy megengedett szórással tudják betartani, ezért az észlelési pontokban hol közelebbi, hol távolabbi zajhatások észlelhetők. Szerzők ebből a felvetésből kiindulva valószínűség számítás alapján vizsgálták, hogy az egyenértékű zajhatás változása valamely pontban annak időbeli lefolyásától az útvonaltól való távolság függvényében, valamint az útvonaltól való távolság függvényében függ, de független az eltérések eloszlás típusától. Az elvégzett vizsgálatok eredményeit tekintve egy repülőgép maximális zajának várható értéke megegyezik a várható útvonalon repülő gép maximális zajával.

A zaj és rezgés követelményértékek ellenőrzésére és egy-egy terület adottságai szerinti alkalmazására vonatkozó előírásokat Magyarországon a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés kibocsátás ellenőrzésének módjáról szóló 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet tartalmazza. Légi közlekedési zaj vonatkozásában a 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet 4. § (4) bekezdésében lehet találni előírást, ami a mérési módszerre irányul az MSZ 13-183-3:1992 [40] és MSZ 13-183-4:1992 [41] műszaki szabványokra való hivatkozással. A 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet a légi közlekedéssel kapcsolatos más, az ellenőrzéssel és a vizsgálatokkal kapcsolatos előírást nem tartalmaz.

A 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet 4. §-a közlekedési zajforrások vonatkozásában utal a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól szóló 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendeletre, melynek hatálya a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről szóló 280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet szerinti stratégiai zajtérkép készítésére kötelezett fő közlekedési létesítmény kötelezettjére terjed ki.

A stratégiai zajtérkép készítésekor a 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet 5. §-ban előírtakra tekintettel a repülőtérre vonatkozóan a 176/1997. (X. 11.) Korm. rendeletben és a 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendeletben meghatározott adatokat kell alkalmazni.

A stratégiai zajtérkép előállítása a 280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet szerinti zajjellemzők kiszámításával történik, ezeket a 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendeletben foglaltak szerint egy év összesített napközbeni, esti és éjszakai időszak átlaga alapján kell alapul venni a 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendeletben rögzített számítási módszer műszaki szabályainak alkalmazásával.

A 280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet és a 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet érdekessége, hogy bevezeti az L_{den} nappali zajterhelés, $L_{éjjel}$ éjszakai zajterhelés, $L_{napköz}$ napközbeni időszakra jellemző zajterhelés és L_{este} esti időszakra jellemző zajterhelés zajjellemzőket, ami már a kimutatott zaj zavaró hatását hivatott figyelembe venni. A 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet a légi közlekedési zaj számítására és mérésére nem fogalmaz meg előírásokat vagy módszert. Ez teljes egészében hiányzik, ehelyett a 176/1997. (X. 11.) Korm. rendeletre és a 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendeletre való áthivatkozással teszi meg.

A 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet a zajterhelés számítására vonatkozóan ír elő szabályokat, melyek általánosan vonatkoznak a zajforrás, zajterjedés és zajterhelés kialakulásának folyamatára. Hasonló szabályok találhatóak az MSZ 15036:2002 [42] műszaki szabványban is. Ezeknek a szabályoknak a jelentősége abban van, hogy a zajterjedést a forrás és a környezet kapcsolata, valamint a terjedést befolyásoló környezeti jellemzők jelentős mértékben befolyásolják. Emiatt több tényező is van, ami a zajterhelés értékek bizonytalanságát eredményezi, ezek közül legjelentősebbek a

- a levegő által okozott terjedési csillapítás;
- a levegő frekvenciafüggő terjedési csillapítása;
- növényzet fajlagos terjedési csillapítása;
- talaj hangelnyelési jellemzője;
- környezet beépítési sűrűsége és a hangvisszaverődések;
- hang terjedési sebessége a levegőben a léghőmérséklet eloszlás alapján;
- távolság miatt fellépő csillapítás mértéke.

A 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendeletben és az MSZ 15036:2002 [42] műszaki szabványban is előírt, a hangterjedésre irányadó számítási módszer több olyan tényezőt is tartalmaz, ami nem a zajforrás és a kibocsátott hangteljesítmény függvénye, hanem a környezet állapothoz köthető jellemző. Időszakokhoz köthető eltérések mutatkoznak ezekben a jellemzőkben, hiszen a levegő hőmérséklete nemcsak évszakonként, de naponta is jelentősen változik, a talaj hangelnyelő képessége függ a beépítettségtől és a növényzettől, vagyis a felületek hangelnyelő képességétől vagy a hangvisszaverődésektől. A környezeti adottságoktól való függést szemléletesen mutatja a 3.3. ábra is, a hangterjedést befolyásoló elemek a zajterhelés meghatározását bizonytalanná teszik, ami a pontos és egyszámos határértékkel való összevetést ellehetetleníti. A környezeti jellemzők hangterjedésre és repülési zaj kialakulására vonatkozó hatásáról [84] és [85] publikációkban adtam áttekintést.

A repülési zaj műszeres mérése a számításnál vagy becslésnél pontosabb eredményt ad, de az eredmény ebben az esetben is a mérés időpontjára vagy arra az időszakra jellemző, amíg

a mérés kori körülmények fennállnak, így hosszú távon csak azonos környezeti jellemzők mellett ad pontos képet a zajterhelésről. Általános mérési szabályokat tartalmaz az *MSZ 18150-1:1998* műszaki szabvány [43], ami iránymutatást is ad a környezeti zajmérés elvégzésére és a vizsgálat végeredményének meghatározására.

A [43] rögzíti, hogy a közlekedési zajoknál a megítélési idő nappal 6.00 óra és 22.00 óra közötti 16 óra, éjjel a 22.00 óra és 6.00 óra közötti 8 óra. A mérési időt elvileg a megítélési idővel, illetve a részidőkkel azonosnak kell választani. Ezt az elvet követi [40] és [41] is. A repülési zajterhelés meghatározásának főbb lépéseit és a közöttük fennálló összefüggéseket a *6. fejezetben* ismertetem és alkalmazom.

3.5. Következtetések, ajánlások

A fejezetben bemutatam a repülési zaj általános kérdéseit, feltárva azokat a környezeti tényezőket, melyek a kialakuló repülési zaj parametrikus bizonytalanságát okozzák. Vizsgáltam a környezeti zaj kialakulását befolyásoló tényezőket és a közöttük fennálló logikai kapcsolatot. Összegeztem a későbbi vizsgálataimhoz kapcsolódó jogszabályi környezetet, műszaki előírásokat és szabványokat.

Elemzéseim alapján feltártam és értelmeztem a zajterhelés kialakulását meghatározó tényezők közötti logikai kapcsolatrendszerét és felállítottam annak modelljét, amit a *3.3. ábra* szemléltet.

4. KÖRNYEZETBIZTONSÁG ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM RENDSZERSZEMLÉLETŰ ELEMZÉSE

Ahogy az emberi tevékenységek többsége, úgy a légi közlekedés is összetett, valamint időben változó hatást gyakorol környezetére, a környezet részéről adott válaszreakciók ezért minden esetben változó jelleget mutatnak. A környezeti válaszreakciók fő jellemzője ebből adódóan a bizonytalan hatásmechanizmus, valamint a nem állandósult, instacioner állapot. Mivel a környezeti állapotjellemzők a forráshoz hasonlóan befolyásolják a kialakuló terhelés mértékét, jellegét és sokszor az időtartamát, azt lehet kijelenteni, hogy

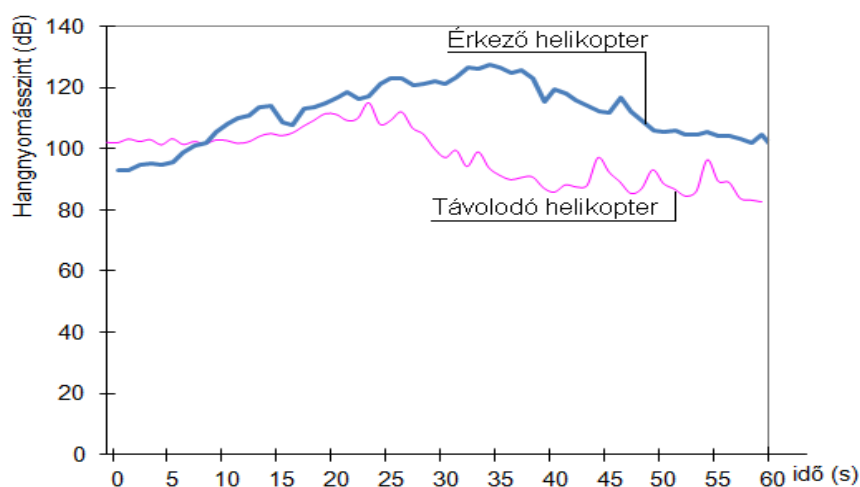
- a környezet igénybevételével járó tevékenység és a hozzá tartozó környezet kapcsolódási pontjai is bizonytalanok;
- a környezet is hatással van a kialakuló terhelés jellemzőire, azon keresztül pedig a kibocsátó forrásra.

A fellépő környezeti hatások vonatkozásában bármilyen pontosan is írjuk le az adott terhelést – például repüléshez kapcsolódó zajeseményszint vagy megítélési szint –, a rövidebb időtartamra vagy egy adott időpontra meghatározott terhelési értékek nem elégségesek ahhoz, hogy az érintett környezet állapotára vonatkozóan később is megfelelő adatok álljanak rendelkezésre. Ezért szükségesnek tartom a zajhatások leírásához a környezetbiztonság és a környezetvédelem rendszertani megközelítésének kidolgozását.

Jelen fejezet megírását témavezetőm, *Pokorádi László* [51] munkája nagyban segítette azáltal, hogy értekezésemben az ő általános rendszer- és modell elméleti eredményeinek alkalmazására támaszkodok. Az ott leírt fogalmakat használom és értelmezem környezetbiztonsági kutatásaimhoz.

4.1. Környezetvédelmi előzmények

Egy helikopter érkezésekor, majd távolodásakor az észlelési pontban rögzített hangnyomásszintek jellegében, az L_{min} . minimum és L_{max} . maximum értékek változásaiban jelentős eltérés mutatkozik. Mért zajszint értékeket szemléltetek a 4.1. ábrán saját méréseim alapján. A repült távolság, a süllyedés és az emelkedés pályahajlásszöge megegyezett a méréseknél.



4.1. ábra Érkező és távolodó helikoptertől származó hangnyomásszint értékek
(forrás: saját mérések)

A mért hangnyomásszintek változó jellege rámutat arra a tényre, hogy ugyanaz a zajforrás, például egy eltérő manővert végrehajtó helikopter nemcsak a terhelési értékekben, de a hangnyomásszintek jellegében is eltérő hatással van a környezetére, amit a környezeti állapot vonatkozásában instacioner tulajdonságot eredményez. Az instacioner jelleg a későbbiekben a folyamat rendszertani leírását is befolyásolja, a modell felállításánál szükségesnek látom figyelembe venni az összefüggéseit és következményeit.

Az instacioner jellemzőből következik, hogy mind a kibocsátási oldalon megjelenő pozitív és negatív jellegű eltéréseket – például a repülési tevékenység megváltoztatása –, mind a környezeti jellemzőkben bekövetkező és a környezetterhelést befolyásoló változásokat együttesen vegyük figyelembe. Ennek azért tulajdonítok jelentőséget, mert *a kialakuló környezetterhelést meghatározó jellemzők állapota nem köthető állandósult értékekhez, ami a környezetterhelési állapot tényezőik bizonytalanságát eredményezi.* Az észlelési pont felett átrepülő helikopterektől származó zajszintek mért értékeit ezt szemléletesen támasztják alá, ahogy ez a 4.1. ábrán is látható.

Környezeti igénybevéteknél a terhelés szempontjából ugyanakkor nem egyetlen hatásról vagy tényezőről beszélünk – zajterhelés mellett például a levegőterheltségi szintek megváltozásáról is –, hanem több, egymástól eltérő, azonban a kibocsátási oldalt tekintve a működési folyamat által összekapcsolt hatás érvényesül. Ezek együttes értékelése, vagy a helyes beavatkozás meghatározása a kapcsolódó, de mégis elkülönült hatás miatt sok esetben nehézkes. A megoldás keresése során jutottam arra a következtetésre, hogy az adott környezeti helyzetet a kölcsönhatásokkal összekapcsolt elemek összességéként írjam le és ebben a megközelítésben vizsgáljam a továbbiakban.

A légi közlekedés környezetvédelmi vizsgálata a különböző hatások tekintetében konzekvens értékelést igényel, ami azáltal biztosítható, hogy nagyobb figyelmet fordítunk a repülés és környezetének kapcsolatából adódó rendszer és rendszerkörnyezet elemzésére. A hangsúlyt a további vizsgálataim során ezért a rendszer és rendszerkörnyezet elemzésére helyeztem.

A repülőtéren és a működéséhez kapcsolt légi forgalom alaphelyzetben rendszert alkot, amit mindaddig, amíg a repülési tevékenységet vizsgáljuk, viszonylagos pontossággal tudunk leírni. A repülési tevékenységekkel összefüggő környezethasználatok esetében a hatáselemzésben fennálló bizonytalanság kezelésének igénye arra a megállapításra vezetett, hogy a hatások tekintetében a megoldást szintén a rendszerszintű megközelítésen keresztül keressem, és a környezeti hatásokat rendszertani eszközökkel kapcsolom a repülési tevékenységhez.

A környezetvédelmi rendszer meghatározását és értelmezését, majd elemzését tartom szükségesnek ahhoz, hogy a beavatkozások helye, módja és időpontja, valamint a környezetterhelés közötti összefüggés kezelhető legyen.

Amikor a környezetvédelmi rendszer kialakításának lehetőségét vizsgáltam, további kérdésre is választ kerestem. Ez a kérdés a bizonytalanság és a környezeti kockázatok csökkentésére, a környezetvédelem és a környezetbiztonság határvonalának meghatározására irányul.

A bizonytalanság akkor kezdődik, amikor a környezeti hatások miatti rendszerhatárok változnak, vagyis a forrástól vagy a környezetből érkező – bármelyik lehet –, értékükben és időben változó jelek hatására elveszik a kezdetben még egyértelmű rendszerhatár.

Hogyan lehet kezelni a rendszerhatárnál keletkező bizonytalanságot? A bizonytalanság csökkentése elsődlegesen az alábbi feltételek teljesülését igényli:

- a környezetvédelmi rendszer leírása a megfelelő, kellő pontosságú és az instacioner jellegre is kiterjedő adat felhasználásával történjen;
- annak rögzítése, hogy milyen szempontból határozzuk meg a környezetvédelmi követelményeket, valamint az értékelési szempontok mekkora szerepet kapnak az értékelésben, mit tekintünk védendőnek a környezeti hatással szemben;
- az előírt követelmények idő és hely szerinti teljesülése mellett, annak vizsgálata, hogy lokális vagy összefüggéseiben nagyobb kiterjedésű hatásról beszélünk, illetve mekkora és milyen jellegű a környezet állapotában bekövetkező változás mértéke.

Ezek a feltételek meghatározóak lesznek a repülési zaj kezelésében egy repülőtér, vagy egy leszállóhely esetében, ami további kérdéseket vet fel, ha eleve a repülési tevékenység, például a ki- vagy berepülési útvonal változásáról beszélünk, ami a környezeti hatást és ezen keresztül a területi érintettséget is megváltoztatja. A repülési zaj kezelése a bizonytalanságból eredően ilyen feltételek mellett nehéz és állandó vitás helyzetet eredményez. Ennek feloldására is kerestem választ, amikor vizsgáltam a repülési zaj, valamint a bizonytalanság és kockázat közötti kapcsolatot.

A környezetvédelmi rendszer vizsgálatát a bizonytalansággal kapcsolatban felmerült gondolatok folytatásaként olyan elemzéssel kezdtem, ami célkitűzésem szerint a rendszerelemek, a közöttük kapcsolatot adó folyamatok és a rendszer rendszerkörnyezethez való illesztését lesz hivatott segíteni.

4.2. Rendszertani és modellezési megközelítés

A szakirodalomban több, egymástól eltérő megfogalmazás található a rendszerrel kapcsolatban. Összefoglaló áttekintés alapján a rendszert úgy lehet definiálni, mint olyan objektumok összessége, amiket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze [51]. Ebben a megközelítésben majdnem minden, ami létezik, valamilyen rendszernek tekinthető. Más megfogalmazásban a rendszer fogalma kibővített formában jelenik meg, miszerint olyan jelenségek vagy objektumok összessége, melyeket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze. Környezetvédelmi folyamatra úgy tekintek, mint a rendszeren belül lejátszódó jelenségek térbeli és/vagy időbeli sorozata, amit a rendszerkörnyezetből érkező impulzusok a rendszerkörnyezet állapotának függvényében befolyásolnak.

A rendszer meghatározásában a jelenségek és a folyamatok kapnak jelentőséget, saját megfogalmazásomban az általános értelmezést a környezetvédelemre vonatkoztatva együttesen értelmezem. Ezzel a jelenségek és a folyamatok is azonos hangsúlyt kapnak a közöttük aktuálisan fennálló kapcsolatok alapján a rendszer definíciójában. Ebben a értelmezésben az aktuálisan fennálló összefüggést kezelem kiemelten, mert ez jelenti az olyan kapcsolódási pontok halmazát, amit a rendszer szükséges és elengedhetetlen elemének tartok a környezetvédelmi aspektusban. Ezzel a megközelítéssel lehetségesnek tartom a környezethasználatok rendszerszintű elemzését, a környezetterhelést adó hatás egységeit tekintjük egymással kölcsönhatásban lévő objektumoknak.

Nem egészen ennyire elterjedt, de ennek ellenére szintén alapvető fogalom a rendszer állapota. Első megközelítésben a rendszer állapota azt az egy adott időpontban megadott információk összességét jelenti, amely ettől az időponttól kezdve a rendszer viselkedésének meghatározásához szükséges, ahogy ezt részletesen a kapcsolódó környezetvédelmi elemzésben [78] részletesen kifejtettem.

Az általam elvégzett vizsgálatok eredményei ugyanakkor arra utalnak, hogy a környezet-használattal járó tevékenységek, így például a repülés környezeti helyzete nem írható le egy adott időpontban rögzített adatsorral az instacioner állapot miatt. Mind a repülési jellemzők halmaza, mind a környezete állapota meghatározó tényezője lesz a vizsgálatoknak. Ezért a rendszer állapotára azt a meghatározást adom [78] felhasználásával, hogy *egy adott időponttól kezdődően a rendszer állapotát leíró jellemzők instacioner halmaza*.

Ha a rendszert a bemenet-kimenet párok halmazaként definiáljuk, akkor az állapotot természetes módon bizonyos konzisztencia-kritériumokat kielégítő bemenet-kimenet párok részhalmazához kapcsolódó címkeként határozhatjuk meg. Az ilyen részhalmazt aggregátnak nevezzük. Az aggregát koncepciója fontos szerepet tölt be a rendszerelméletben, hiszen igen természetes módszert szolgáltat az állapot-ekvivalencia, a rendszer-ekvivalencia, a bemenet – kimenet állapotrelációk, tehát a rendszerelmélet alapelveinek bevezetéséhez [51].

Fenti megfogalmazások a jelenségeken, folyamatokon, objektumok összességén, a rendszerelemek kölcsönös összefüggésén és adott időpontokhoz kötött állapot-információkon alapulnak. Környezetvédelmi megközelítésben mindebből hiányzik egy nagyon fontos elem, a rendszer által generált hatásfolyamat és a rendszer környezeti állapottényezője. Ezért a továbbiakban a környezetvédelmi szempontokhoz leginkább illeszkedő technikai rendszereket tekintettem át.

A technikai rendszer az anyagi világ vizsgálatunk tárgyát képező része, mely egymással valamilyen kölcsönhatásban lévő elemek (berendezések és személyek) összessége. A rendszer állapota, illetve a benne lejátszódó folyamat a be- és a kimenő valamint a belső jellemzőkkel írható le [51]. A környezet kölcsönhatásban van a rendszerrel és meghatározza a rendszer működésének peremfeltételeit, ami a kutatásaim során vizsgált környezeti hatásfolyamatokra vezethető vissza. A környezeti hatásfolyamatok alapja ugyanakkor a 3.3. ábrán bemutatott, a repülési zaj kialakulásának logikai összefüggése, azaz a hatást okozó források közötti kapcsolati háló.

A technikai rendszerek különböző szempontok szerint jellemezhetők. A viselkedő rendszerek az őket érő behatásokra a belső felépítésük által meghatározott válaszokat adnak. Egy rendszernek lehet sok gerjesztése és sok válasza. Ezt a rendszert többváltozós rendszernek nevezzük. Az ilyen rendszer viselkedése egy

$$\mathbf{y} = W\{\mathbf{u}\} \quad (4.1)$$

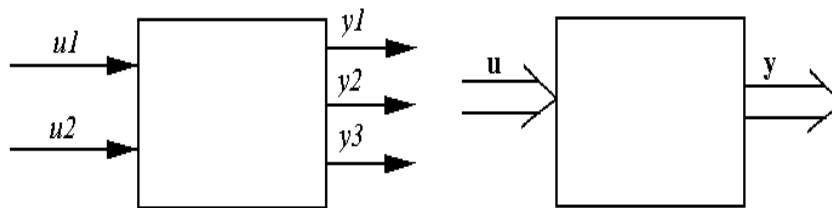
vektorösszefüggéssel írható le, ahol: $\mathbf{y}^T = [y_1 y_2 \dots y_n]$ $\mathbf{u}^T = [u_1 u_2 \dots u_m]$ a válaszok, illetve gerjesztések vektorai; n – válaszok száma; m – gerjesztések száma.

Egy rendszer időben variáns, azaz időfüggő, ha a gerjesztés időbeli eltolása nem csak egy ugyanakkora időbeli eltolást okoz a válaszban is. Egy rendszer akkor nem-memóriamentes

(dinamikus), ha bármelyik időpontban adott válasza a gerjesztésnek nem csak ugyanezen időpontbeli értékétől függ.

A (4.1) összefüggés szerinti egyváltozós, azaz egy gerjesztésű egy válaszú rendszer olyan kapcsolatot feltételez, ahol az adott $u(\tau)$, illetve $u(\tau_i)$ gerjesztéshez az $y(\tau)$, illetve $y(\tau_i)$ válasz tartozik. Az összetartozás explicit alakja a (4.1) összefüggéssel írható le.

Egy rendszernek azonban lehet több gerjesztése és sok válasza, amit többváltozós – sok gerjesztésű, sokválaszú rendszernek nevezünk. A repülési zajjal összefüggésben vizsgált környezetterhelési folyamatokat az ilyen többváltozós rendszerek írják le, az elméleti összefüggést a 4.2. ábrán szemléltetem.



4.2. ábra Többváltozós rendszer elvi vázlata (forrás: [51])

Vizsgálataim során nyert mérési eredmények értékelése után arra a következtetésre jutottam, hogy az adott rendszert a legtöbb esetben célszerű összetevőkre bontani. Ez az eljárás segíti azt az elvet is, hogy a rendszer tisztázás előtt döntést hozzunk arról, hogy mit kell a rendszernek kezelnie és ehhez milyen eszközök szükségesek.

Felbontás után részrendszerekről vagy alrendszerekről beszélünk. Ezeket az összetevőket tovább bontva jutottam a rendszer elemekhez. Rendszer egy elemén az elemzett rendszer olyan részét értem, melyet – az általam végzett vizsgálatok során – a funkcionális tulajdonságait tekintve már nem bontottam tovább. Komplex rendszerről akkor beszélünk, amikor az alkotóelemek nagy száma és a közöttük lévő kölcsönhatás révén a rendszer viselkedése az egyes egységeiktől lényegesen eltérő sajátosságokat mutat.

Kijelenthetjük, hogy a környezetvédelmi elemzések során többváltozós, viselkedő, variáns, dinamikus, komplex rendszerekről beszélhetünk, ami meghatározza az alkalmazható modelleket és modellezési eljárásokat. Ezek a rendszerek soha sem elszigeteltek a környezetüktől, illetve egy ilyen rendszer nem létezhet önmagában. Ezért a továbbiakban megkülönböztetem és elkülönülten kezelem a hatás környezetét és a rendszerkörnyezetet.

A rendszerkörnyezet a rendszeren kívül elhelyezkedő dolgok összessége, melyek a hatás szempontjából eltérő módon és jelleggel hatnak vissza a rendszerre. Ezt a megkülönböztetést azért kezelem kiemelten, mert

amennyiben a rendszerkörnyezet tulajdonságai megváltoznak, akkor a hatások révén a rendszer viselkedése is megváltozik, mely változásban a visszacsatolás szabályozás és a korlátozás meghatározó lesz.

A rendszer gerjesztés-válasz kapcsolata lehet determinisztikus vagy sztochasztikus annak függvényében, hogy a kapcsolatot leíró egyenlet milyen tulajdonsággal bír. A rendszert determinisztikusnak nevezzük, ha minden egyes $u(\tau)$ bemenőjelhez egy meghatározott $y(\tau)$ ki-

menőjel tartozik. A rendszert sztochasztikusnak nevezzük, ha egy adott bemenőjelhez több kimenőjel is tartozik, mégpedig mindegyik bizonyos bekövetkezési valószínűséggel.

Mivel a repülési műveletek által létrehozott környezetterhelés nem állandósult állapotú, azaz instacioner környezetet hoz létre, a rendszertechnikai leírásnál a sztochasztikus megközelítést tartom elfogadhatónak, a determinisztikus megközelítés túlzott egyszerűsítést ad a környezeti hatások értékelése és kezelése szempontjából, emellett a várható bizonytalanságokat is nagy hibahatárral képes kezelni. Amikor egy technikai rendszer viselkedésében a külső és belső véletlenszerűségek dominálnak, akkor a rendszert sztochasztikusnak tekintjük. Az instacioner környezeti állapotra jellemző mennyiségek időbeli és térbeli, esetenként gyorsan zajló változása, a befolyásoló tényezők nagy száma, valamint a tényezők közötti összefüggések miatt a környezeti hatással járó jelenségek leírására a sztochasztikus modelleket tartom alkalmasnak.

Környezetvédelmi megközelítésben azt mondhatjuk, hogy a rendszert a rendszerkörnyezet tartja fenn a hatásmechanizmus működtetésével. Amennyiben a hatásmechanizmus folyamatában zavar keletkezik, az kihat a rendszer függetlenségére és fizikai additivitására, valamint a rendszer teljességére és eredetileg fennálló koherens viselkedésére is. A legtöbb környezetvédelmi helyzetben egy adott rész megváltozása kihat a többi részre is, illetve módosítja rendszer egészét.

A környezetvédelmi elemzések jelentős része abból a feltételezésből indul ki, mintha csak az aktuálisan vizsgált környezeti hatás lépne fel egy környezethasználati tevékenység során, azaz más környezeti hatással nem kellene számolni. Ebből fakadó hiányosság, hogy ez a megközelítés koncentrálna egy kiemelt környezeti tényezőre figyelmen kívül hagyja az egyéb környezeti hatásokat, a környezet eredeti tulajdonságait, valamint nem veszi számításba az esetlegesen kialakuló kedvező környezetvédelmi eredményeket.

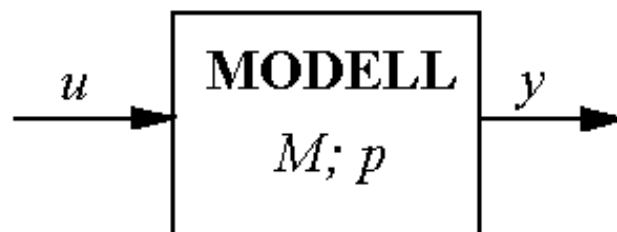
A korszerű környezetbiztonsági elemzésekhez azonban olyan átfogó modell, illetve modellezési elv kialakítása szükséges, ami egységesen fedi le a környezet igénybevételét, mint rendszert, valamint az igénybevétellel érintett rendszerkörnyezetet.

A rendszerszemléletű elemzésen alapuló környezetbiztonsági modellalkotás tulajdonképpen a vizsgált környezeti helyzet teljes körű leírása a valóságos tulajdonságok alapján, melynek véleményem szerint a környezetterhelési adatokon túl ki kell terjednie a kibocsátási oldalon a működést befolyásoló, valamint a környezeti oldalon az észlelést befolyásoló valamennyi jellemzőre, ami már rendszerszemléletű elemzést kíván.

Modellezésen értjük a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését, és azok valamilyen formájú leképezését. Egy adott rendszer korszerű, tudományos igényű vizsgálatának feltétele a rendszermodell megalkotása [51]. Egy fizikai folyamat, vagy jelenség modelljének felállításához pontosan meg kell határozni a vizsgálat célját és a vizsgált rendszer tulajdonságait és a működését befolyásoló jellemzőket, ami jelen esetben a légi közlekedéstől származó zaj elemzése, a repülés zajkibocsátásának megismerése. Az adott rendszert és a benne lejátszódó folyamatot leíró egyenletek felállítása, valamint az ehhez szükséges peremfeltételek meghatározása lényegében a matematikai modellalkotás. A megoldó algoritmus függvénye a megoldás pontossága és a modell alkalmazhatósága, ami a környezeti, így a repülési zaj problémakörben kiemelt jelentőséget kap.

A repüléssel összefüggő környezeti állapot instacioner jellegéből adódó nehézségek miatt széles körben – mind Európában, mind Magyarországon – elterjedt módszer a vizsgálatok és a modellek végeredményét egyszámú átlagértékkel adja meg, melyre [112] tartalmaz részletes elemzést. Az átlagértékekhez rendelt határértékek alapján lehetőség van ugyan az értékelésre, majd az értékelésre támaszkodva javaslatok megfogalmazására egy kialakult környezeti probléma esetében, de ez a megoldás véleményem szerint nem ad minden esetben pontos, és a valós környezeti helyzetre minden szempontból jellemző eredményt. Amennyiben az elemzés nem követi a későbbiekben a vizsgált rendszer és a folyamat időbeli változásait – például mérésekkel vagy a kibocsátással összefüggő működési adat figyelésével –, a rendszer leírása időben torzul.

Ebből a megközelítésből következik, hogy a környezeti hatások teljes áttekintéséhez szükséges azok térbeli eloszlását leírni, így a modellalkotás a térbeli eloszlási probléma megoldásával is kiegészül, amihez a modellszerkezet mellett a paraméterek tulajdonságait és a paraméterek közötti kapcsolatokat fel kell tárni. Ennek kiindulási pontja a matematikai modell, melynek egyszerűsített vázlatát látható a 4.3. ábrán.



4.3. ábra Mérnöki probléma matematikai modelljének egyszerűsített vázlatát (forrás: [51])

A 4.3. ábrán szemléltetett modellalkotási feladat három fő mozzanattól áll:

- modell M szerkezetének megadása;
- modell p paramétereinek megadása;
- modell validálása.

Természetesen a modell felhasználásának célja a környezetbiztonsági vizsgálatoknál is a vizsgált jelenség vagy rendszer minél pontosabb megismerése, tulajdonságainak leírása és a szükséges vagy lehetséges beavatkozások meghatározása.

Fontos kérdés a komplexitásának és nem-komplexitásának egyensúlya. CSIZMADIA és NÁNDORI [16] ezt a kérdést az alábbi szerint fogalmazzák meg:

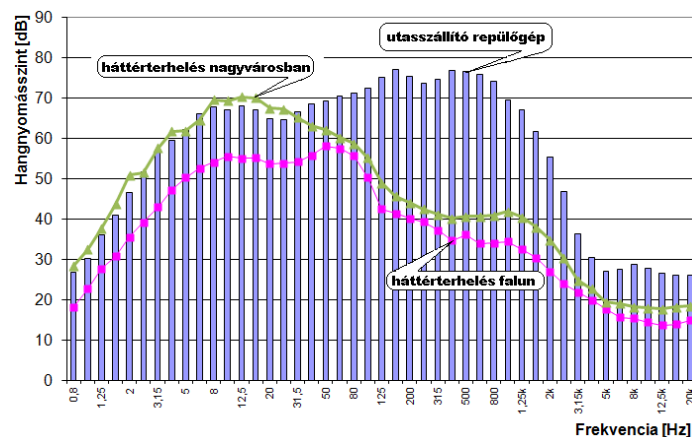
„Az a jó modell, amely a lehető legegyszerűbb, de a célnak megfelelő pontossággal közelíti a valóságot.”

Ezért környezetbiztonság és a környezetvédelem szempontjából a modellalkotás olyan irányú kiterjesztését tartom szükségesnek, ami a 4.3. ábrán feltüntetett M szerkezet és a p paraméterek függvényében megadja, hogy a környezetvédelmi rendszer változása mely fázisban éri el a környezetbiztonsági rendszerhatárt, azaz azt az értéket, amikor a beavatkozás akár a folyamat korlátozásával is elengedhetetlen lesz.

A környezetvédelmi és a környezetbiztonsági rendszert számos belső és külső tényező befolyásolja, ezek együttes figyelembevétele összetett feladatot jelent a modell felállításánál és

későbbi használatánál. Ezt a tényt az átlagértékek képzése és azokhoz kapcsolt egyadatos határértékek, vagyis a végeredményként alkalmazott egyszámos helyettesítő adat nem kezeli megfelelő módon, a rendszer lényegi elemei vesznek el vagy szorulnak háttérbe a vizsgálatoknál. Kutatási munkám keretében elvégzett mérések alapján arra a [15] tanulmányban is megemlített következtetésre jutottam, miszerint a zajhatásokat leíró paramétereknél a zavaró hatás kétféle módon jelentkezik. Egyrészt a repülés műveleti zaja, másrészt a zaj időbelisége miatt fellépő sztochasztikus jelleg miatt. Ezt a megállapítás azért tartom fontosnak, mert a rendszer elemzését követő esetleges szabályozást a repülési műveletek időbeliségére, abból adódó jellegére és a bekövetkezési gyakoriságra is szükségesnek tartom kiterjeszteni.

Az időbeliség a rendszer bemeneti oldalán megjelenő változóknál, azaz a gerjesztéseknél és a zavarásoknál, valamint a rendszer belső jellemzőinél, azaz a folyamat működési paramétereinél, ezek alapján a rendszer kimenő paramétereinél is megjelenik, így a környezetre gyakorolt hatás elemzését elsődlegesen befolyásolja. A hatáselemzésnél a másik lényegi elem, hogy a környezetben a vizsgált rendszeren kívül eső más rendszerből eredő hatások is érvényesülnek, másképp megfogalmazva és példaként említve, a repülési zajon kívül más zajok is jelen vannak a környezetben. A környezet leírását tehát a rendszerből érkező hatások és a környezetet befolyásoló alap-, illetve egyéb terhelésre tekintettel kell megtenni. A környezeti háttérterhelést és a repülési zajt együttesen a 4.4. ábrán szemléltetem.



4.4. ábra Környezeti zaj és repülési zaj megjelenése (forrás: [77])

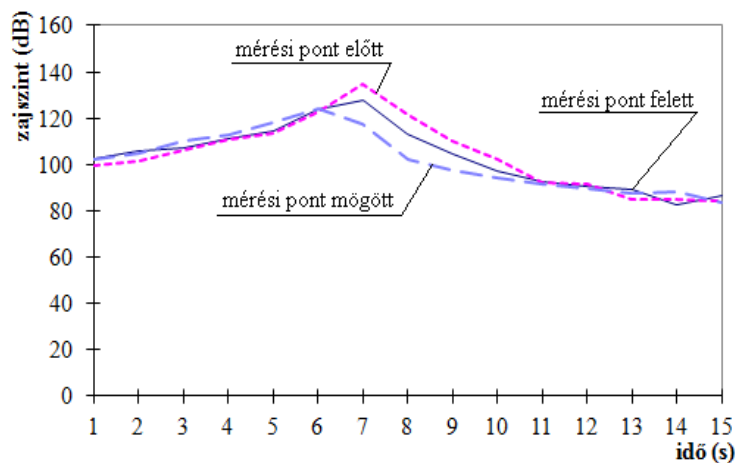
A környezet hatások leírásakor természetesen a modell célja is meghatározó információ, ezt figyelembe véve választunk a modell típusok közül, melyek a következők lehetnek: taktikai modell, stratégiai modell, szimulációs modell, leíró modell, diszkrét modell, folytonos modell, vegyes egészértékű modell, determinisztikus modell, sztochasztikus modell. Az általam elvégzett vizsgálatok és a repülési zajra tett megállapítások szempontjából a bemeneti és a kimeneti oldal, vagyis az input és az output adatok jellege, rendelkezésre állása és kezelése kerül középpontba.

Determinisztikus modell: a modell meghatározott input adatokra pontosan meghatározott, azaz determinált konkrét számokat ad eredményül, így a determinisztikus modellben a beállított paraméterek és input adatok egyértelműen meghatározzák a modell outputját. Hátránya, hogy elméleti alapokon működik, feltételezi az olyan paraméterek meglétét, melyek mérési adatai még hiányoznak. Amennyiben a modell futtatása hiányos adatokkal történik, akkor a végeredmény bizonytalansága is növekszik.

Sztochasztikus modell: az output valamilyen gyakorisági eloszlás, a sztochasztikus modell a vizsgált folyamatban a tudatos behatások mellett a véletlen és a járulékos behatások szerepét is figyelembe veszi. Ez a módszer lehetővé teszi a hatótényezők felismerését, illetve a környezetvédelmi modellünkénél annak eldöntését, hogy a bekövetkezési gyakoriság milyen módon befolyásolja a meghatározó hatás kiválasztását, rangsorolását. A sztochasztikus modell-építés a rendszerkörnyezetből érkező válaszok és reakciók felismerését is segíti, ami a kibocsátó és terhelési oldal közötti kapcsolat kialakításában is jelentőséget kap.

A hatótényezők a gyakorlatban az egyéb, előzetesen nem látható vagy nem tervezett tényezők megváltozásán keresztül hatnak a rendszerre és annak környezetére. Annak szükségességét, hogy a nem várt hatások is beépüljenek a rendszerelemzés folyamatába, a vizsgálataim keretében elvégzett zajmérések alapján látom igazoltnak, amire saját méréseimre támaszkodva említek példát. Repülési műveleteknél gyakran előfordul, hogy a vízszintes átrepülést egy nem várt jelenség, földi objektum miatt hirtelen kell módosítani. Erre példaként az ugrás manővert említem, amikor a kibocsátó forrásra és a rendszer működésére kiható változást eredményez a manőver megváltozása.

Helikopteres ugrásmanőver⁵ mellett mért zajszint értékek láthatók a 4.5. ábrán. A méréseket MI-24 Hind típusú helikopter ugrás manőver végrehajtásakor végeztem, az ugrásmanőver a mérési pont felett, a mérési pont előtt és a mérési pont után történt. A 4.5. ábrán szemléltetett zajszint értékek bemutatásával célom az előre tervezhető vagy várható, valamint a nem várt események miatt bekövetkező környezeti hatásokkal összefüggő problémakezelés bevezetése a modellalkotásban.



4.5. ábra Zajszint értékek helikopteres ugrásmanőver közben (forrás: [82])

A modellalkotás egyik módja, amikor a rendszerről vagy folyamatról kapott előzetes információk alapján, fizikai összefüggések és törvényszerűségek alkalmazásával történik az analitikus modell felállítása. Ez a módszer a várható környezeti hatások előzetes becsléséhez alkalmazható azokban az esetekben, amikor a kisminta vagy előzetes minta – referencia folyamat vagy rendszer hiányában – méréssel való előállítására nincs lehetőség. A módszer elnevezése a white-box eljárás [51].

⁵ Ugrásmanőver során a helikopter vízszintes repülésből gyorsuló emelkedésbe megy át, majd a kívánt magasság elérésekor visszatér vízszintes repülésbe.

A white-box eljárásnak a környezetvédelmi rendszerhatárnál, illetve a rendszerhatárok megváltozásánál és a változások nyomon követésénél tulajdonítok jelentőséget, hiszen sok esetben egy-egy beavatkozás vagy a modell M szerkezetének és p paramétereinek változása miatt kell a modell kimeneti paramétereinek várható állapotát meghatározni. Ennél a módszernél a rendszer bizonytalanságára hívom fel a figyelmet, amit a modell eredményénél szintén figyelembe kell venni.

A modellalkotás másik módja, amikor a rendszer modelljét megfigyelési, kísérleti vagy mérési adatokra támaszkodva állítjuk fel. A környezetvédelmi méréseknél figyelemmel kell lenni a mért értékekre hatással lévő működési és környezeti jellemzőkre, azok változásaira. A mérési eredmény önmagában nem elegendő a modellalkotáshoz, szükségesek a hatással összefüggő egyéb tényezők is. Erre alapozva lehet rögzíteni a bemeneti paraméterekre adott rendszerválaszokat. A módszer elnevezése a black-box eljárás [51].

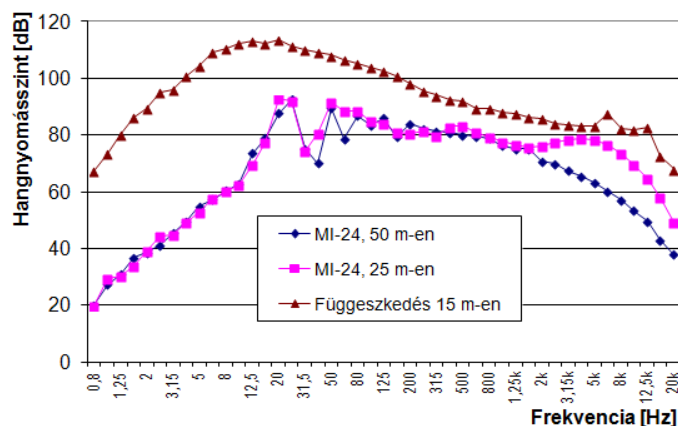
A black-box eljárás előnye a viszonylagos egyszerűség. A mérés vagy a megfigyelés az adott helyzetre jellemző eredményt ad, az eljárás hátránya, amikor a pillanatnyi környezetterhelési állapot rögzítését nem követi a nyomon követés – például további vagy újabb mérésekkel –, illetve a változásokról az adatgyűjtés már elmarad. Környezetbiztonsági szempontból ezt a lehetőséget nem tartom támogathatónak, hiszen a rendszerhatárok – mind a környezetvédelmi, mind a környezetbiztonsági rendszerhatár – változásait követni kell ahhoz, hogy az adott repülési tevékenységről mindig a megfelelő információk álljanak rendelkezésre.

Mivel a white-box és a black-box eljárásnak egyaránt van előnye, illetve hátránya, a környezetbiztonsági vizsgálatoknál és a környezetvédelmi méréseknél a két módszer kombinációját célszerű alkalmazni, így a legtöbbször ez az eset fordul elő. A módszer elnevezése a grey-box eljárás [51]. A mérés és megfigyelés eredményeit abban az esetben is felhasználhatjuk, illetve sok esetben kiindulási vagy referencia adatként fel is lehet használni, amikor egy fizikai törvényszerűsége támaszkodva számítással vagy becsléssel határozzuk meg a várható környezeti hatást és a rendszerhatárokat ezen módszer szerint jelöljük ki.

Általánosságban megfogalmazva, a rendszer alapvető jellemzője a rendeltetésén és a funkcióján túl a határvonalán megfigyelhető anyag-, energia-, illetve információ be- és kiáramlás, a rendszer és környezete közötti kölcsönhatás és azzal összefüggésben azok állapota, valamint lényeges jellemző a rendszerelemek közötti kapcsolat. Rendszer és környezete kölcsönhatását, valamint az elemek között fennálló kapcsolatot kiemelem fenti felsorolásból.

Azok a jelenségek és a hatásokat generáló összefüggések, melyek a rendszerhatáron kívül vannak, kapcsolatot biztosítanak a rendszerelemek és a rendszer környezete között, vagy befolyásolják a rendszert, esetleg egy-egy rendszerelem hat ezekre az összefüggésekre és ezeken keresztül a környezetre. A környezeti hatások jellemzőit és értékelésüket ugyanakkor meghatározza a környezet állapota is, ezen belül a meglévő háttérterhelés és alapszennyezés. Természetesen a különböző hatások alakulását az elemek közötti kapcsolat is befolyásolja, mivel egy beavatkozás, amit valamely szempont alapján teszünk meg, több – sok esetben az összes – kibocsátási tényezőt is módosíthat. Ezért a rendszerelemek egymás összefüggésében való figyelése is kiemelt jelentőséggel bír. Egy rosszul megválasztott környezetvédelmi célzatú beavatkozás ugyanis a rendszer egészére olyan kihatással lehet, ami akár a funkcionalitást veszélyeztetheti.

A rendszert a kibocsátási oldalon befolyásoló tényezők jelentőségét támasztják alá azok a mérési eredményeim, melyek helikopter átrepülésétől származó, valamint függése⁶ mellett mért hangnyomásszintekről adnak képet. Jelentősebb zajszint csökkenés 100 m-es távolság esetében volt kimutatható. A 25 m-es és az 50 m-es átrepülési magasságra vonatkozó hangnyomásszinteket érdemes összehasonlítani a 15 m-es magasságban végzett függésre vonatkozó értékekkel. Ezáltal látható, hogyan változik a kibocsátó forrástól származó zaj jellege és nagysága. Az összevetést [87] alapján a 4.6. ábrán szemléltetem.



4.6. ábra Helikopteres átrepülésre és függésre jellemző hangnyomásszintek (forrás: [87])

A 4.6. ábra szerinti frekvencia-hangnyomásszint jelleggörbe jól szemlélteti, hogy a távolságnak mekkora szerepe van a helikoptertől származó zajterhelés kialakulásában, minden frekvencia sávban érzékelhető a jelentős eltérés. A 15 m-es függeszkedésnél a helikopter bal oldalán kijelölt terhelési pont adatait vettük figyelembe, jól látható a magasabb, $f = 6,3$ kHz frekvenciasávban mutatkozó hangnyomásszint növekedés. A 15 m-es függeszkedésre jellemző üzemiállapotban mért értékhez hasonló kiemelkedés a 25 m-es átrepülési magasság esetében tapasztalható, nagyobb távolságnál ez a kiugró zajszint érték eltűnik. Ugyanakkor megjelenik a mélyebb frekvenciasávokban, $f = 20$ Hz és $f = 63$ Hz-es tartomány környezetében a szomszédos tercésávokhoz képest magasabb érték. Emellett jól megfigyelhetőek az infrahang-tartományban észlelt, az összes üzemiállapotban magas, a távolság függvényében azonos jellegű hangnyomásszintek.

Beépítetlen szabad térben, növényzettel fedett általános mezőgazdasági terület fölötti átrepülésre vonatkozó mérési eredmények bizonyítják, hogy a szabad tér (természetes környezet) és az épített környezet (építmények, mesterséges műtárgyak) hatása adott esetben meghatározó lehet a kialakuló zajterhelésben. Ebben az esetben a környezet adottságai befolyásolják a környezeti hatás mértékét és a rendszerhatárokat, ezáltal eltérő jellemzőkkel bíró területek feletti repüléseknél eltérőek lesznek az észlelt zajszintek is. Erre vonatkozó részletes elemzést a [84] publikációmban osztottam meg a szakmai közönséggel. A szakirodalom kevésbé foglalkozik azzal az esettel, amikor egy rendszer több, egymással összefüggésben lévő modellel írható le, ugyanakkor a rendszert leíró modellek közötti kapcsolatot is meg kell adni. Pedig a repülési folyamatok egészét tekintve a változások bekövetkezése igényli a bizonytalanság ilyen irányú kezelését.

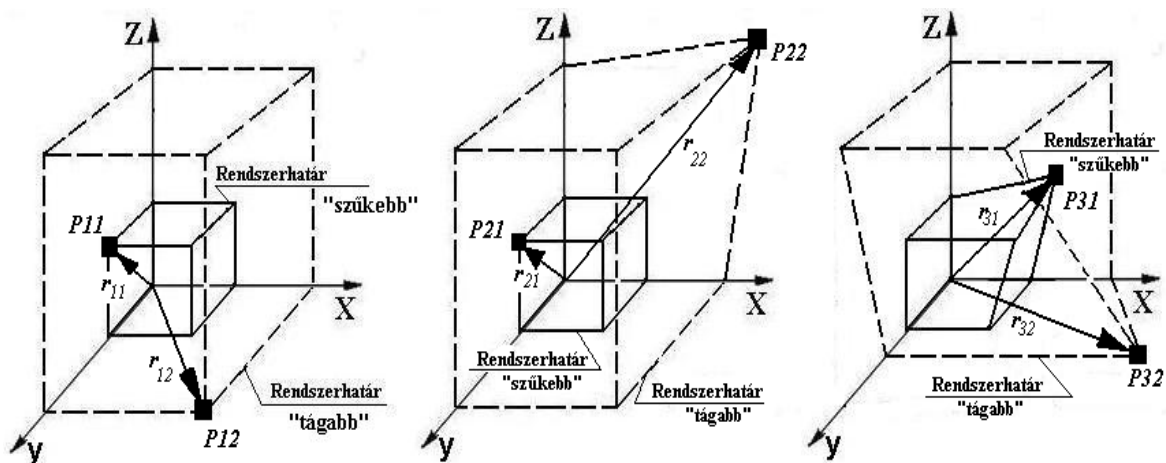
⁶ Függés során a helikopter a talaj egy pontja felett adott magasságban lebeg.

Hasonló problémakör, amikor a rendszerműködésben bekövetkező változás a rendszerkörnyezetben olyan hatást okoz, ami egy másik rendszerrel is összefüggésben van, így az eredeti rendszer és rendszerhatás járulékos visszacsatolását kell figyelembe venni. Ez a helyzet nem azonos a közvetett és közvetlen hatásterület meghatározásával, mivel a járulékos hatás nincs technológiai fázishoz kötve, illetve környezetvédelmi oldalról a negatív (terhelés kialakulása) és pozitív (terhelés megszűnése vagy csökkenése) jellegű hatásokat véleményem szerint a rendszer szempontjából egyaránt figyelembe kell venni.

4.3. Környezetvédelmi rendszer és rendszerhatár

Amennyiben egymással kölcsönhatásban lévő elemek együttesét vesszük figyelembe a légi közlekedésre vonatkozó vizsgálatoknál, a vizsgálat alá vont környezeti hatást le lehet írni a rendszerszemlélet keretein belül. Az adott feladattól függ, hogy a rendszer körülhatárolása, illetve a rendszer határvonalának kijelölése milyen módon történik, így a környezetvédelmi feladatoknál természetesen a környezeti hatásokat, mint rendszerelemeket célszerű elhelyezni a rendszerünkben.

A továbbiakban a vizsgálatok középpontjába a környezetvédelmi rendszert helyeztem, kijelöltem azokat a sarokpontokat, melyek segítséget adnak a hatások áttekintéséhez, valamint a rendszer és környezete kölcsönhatásának jobb megismeréséhez. Az általam bemutatott és elemzett környezetvédelmi rendszert a 4.7. ábrán szemléltetem [117] és [121] alapján.



4.7. ábra Környezetvédelmi rendszer (forrás: [117] és [121])

Többször is szóba került a rendszer figyelése, az állapot-változások nyomon követése, amit nemcsak a bizonytalanság miatt, hanem a kockázatok és bizonyos környezeti állapotok bekövetkezési valószínűsége miatt is meghatározónak tartok. Ennek oka, hogy a legtöbb esetben környezeti bizonytalanság szempontjából meghatározó lesz a rendszerelemek viselkedése, vagyis a paraméterekhez kapcsolt időkoordináta. Ez kiegészül még az adott időpontban felvett térbeli helyzettel is. Tehát amikor a környezetvédelmi rendszer viselkedését vizsgáljuk, azt a rendszer idő- és helykoordinátáinak segítségével tehetjük. Ezeket az időbeli változásokat a hosszú idejű átlagolás nem képes leképezni, ami a hibalehetőséget növeli.

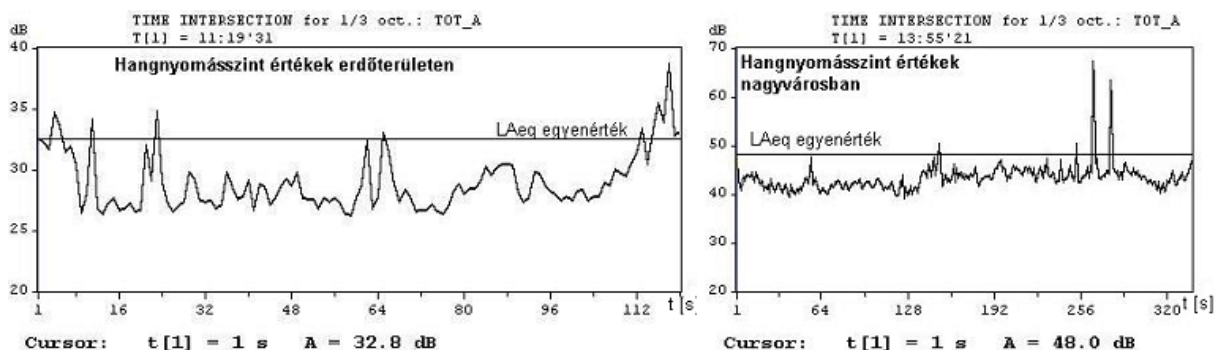
A 4.7. ábrán jól látható a rendszerhatárokból fennálló különbség, ebből adódóan a *szűkebb* és a *tágabb* rendszerhatárokat különböztettem meg. Környezetvédelmi szempontból ez a

megközelítés kiegészül még azokkal a külső hatásokkal, melyek oka a rendszerhatárokon kívül eső források összességéből adódik. A környezetvédelmi rendszerünket a belső folyamatok, azaz a rendszerelemek változásai, valamint a rendszerhatárokon kívül eső környezetből érkező hatások egyaránt befolyásolják.

Meghatározó szempont a szűkebb és a tágabb rendszerhatárok kialakulása, illetve ezek időben történő módosulása. Ez a rendszerhatár fogalom analóg az áramlástanban alkalmazott *folyékony zárt görbe* fogalmával. A *folyékony vonalon* olyan térgörbét értünk, amelynek minden pontját az áramló kontinuum egy-egy meghatározott és az áramlás során nem cserélődő eleme képezi. Ha a térgörbe önmagába visszatérő, akkor az *zárt folyékony vonal* [50].

A környezetvédelmi rendszerhatárok kialakulásában – a szűkebb és tágabb rendszerhatároknál egyaránt – a rendszer elemei kapják a meghatározó szerepet, általánosan kijelenthető, hogy ezek az elemek nem cserélődnek. A kibocsátási oldalon bekövetkező jelentős változás generálhat olyan állapotot, amikor egy vagy több rendszerelem elhagyásával, illetve más jellemzőkkel bíró rendszerellemmel való cserével befolyásoljuk a rendszerhatár burkolófelületként azonosított *folyékony zárt görbét*.

Ebből a szempontból látni kell azt is, hogy sok esetben a külső hatások nagyobb jelentőséggel bírnak, mint a rendszerelemekkel fennálló kapcsolat. Ez abban nyilvánulhat meg, hogy a környezet irányából kell nagyobb védelmet biztosítani egy kedvező állapotú területnek, tevékenységnek vagy folyamatnak, és a rendszerhatárok tulajdonképpen a pozitív jellemzők alapján határozhatók meg. Időben változó környezetterhelésre mutatok példát méréseim alapján a 4.8. ábrán, melyen különböző tulajdonságokkal bíró területek zajszint értékei láthatók.



4.8. ábra Zajszint értékek különböző területeken (forrás: saját mérés)

A 4.8. ábrán egy kiragadott környezeti hatást szemléltetünk azzal a céllal, hogy látható legyen a paraméterekhez, jelen esetben a vizsgált területeken érvényesülő hangnyomásszint értékekhez tartozó idő koordináta jelentősége. Megfigyelhető a legkisebb és a legnagyobb értékek közötti jelentős különbség, valamint az, hogy amennyiben a terület zajhelyzete ezek mellőzésével, vagyis átlagérték – L_{Aeq} egyenértékű szint – alkalmazásával történik, ez mennyiben tér el a szélső paraméterek alapján kiértékelt zajhelyzettől. Érdekes ugyanakkor összehasonlítani az eltérő környezetben rögzített hangnyomásszint értékeket is, mind az idő függvényében bekövetkező változás jellege, mind a paraméterek vonatkozásában.

A környezeti háttérterhelésre vonatkozóan bemutatott példák alapján kijelenthető, hogy a rendszer értelmezésénél figyelemmel kell lenni egyrészt a rendszer állapotára, másrészt a rendszer–rendszerhatárok–rendszerkörnyezet kapcsolatára, illetve annak változásaira. Nehéz

helyzetet eredményez, amikor kiragadott mérési adatsorok állnak rendelkezésre, de tágabb időintervallumban szükséges a helyzet értékelése vagy minősítése. Nagyobb jelentőséget kap ez a kérdés, amikor egy környezeti probléma vagy veszélyhelyzet során szempont, hogy a beavatkozás hatékony, gyors, alacsony költséggel megvalósítható legyen, ugyanakkor a funkcionális működés is fennmaradjon.

Célkitűzésem ezért a továbbiakban olyan összefüggések keresése és felállítása volt, melyek egységesen és dinamikusan követik a rendszer és környezete kapcsolatában bekövetkező változásokat. Erre a rendszerhatárok vizsgálatán keresztül nyílik lehetőség a rendszer „ P ” sarokpontjai és a hozzájuk tartozó r vektorok elemzésével, ahogy a 4.7. ábrán is szemléltetem ezek kapcsolatát.

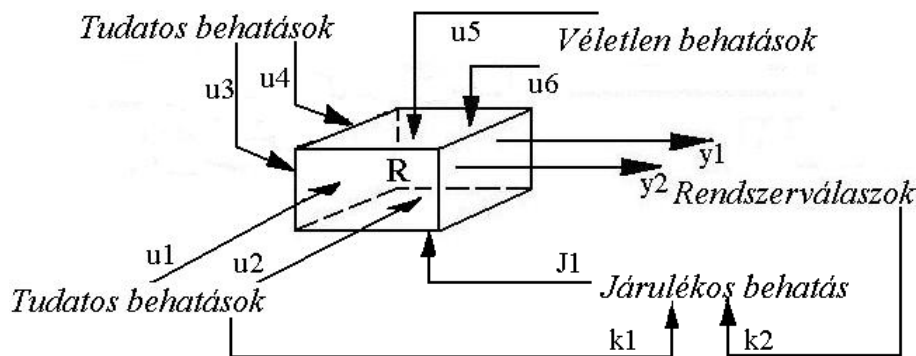
Természetesen a környezetvédelmi rendszerek leírása során a kapcsolódó szakirodalomban fellelhető megállapításokat és igazolt összefüggéseket célszerű követni, disszertációm kidolgozásánál én sem tértem el ettől. A továbblépést az jelenti a korábbiakhoz képest, hogy a környezeti hatások összefüggéseit is rendszerelméleti alapokra helyeztem. Ezzel megfordul a környezetvédelemben szokásosan alkalmazott és elterjedt vizsgálati és értékelési, azaz a klasszikus folyamat, ami sok esetben az utólagos beavatkozás módszerét érvényesíti.

Klasszikus módszernek tekintem, amikor külön-külön kerül sor a hatások vizsgálatára, majd megtörténik az eredményt, például az eltérő hatásterületek összegyűrése és együttes minősítése. Ez a minősítés ugyanakkor a legtöbb esetben az egyszámos határértékeken alapul, ami a korábban bemutatott háttérterhelés adatokat tekintve semmiképpen sem tekinthető szerencsésnek. Kérdés, hogy ebben az esetben a kapott eredmény mennyiben és hogyan biztosítja a rendszerkörnyezet instacioner állapotának figyelembevételét, és hogyan készíti fel a rendszerünket a külső behatásokra?

Új módszernek tekintem, amikor a – légi közlekedés, egy repülési tevékenység, vagy egy természeti érték fenntartása – jellemzőket alapul véve ültetjük rá a folyamatra a rendszerhatárral és sarokpontokkal leírt környezetvédelmi rendszerünket. Ez lehetőséget ad annak vizsgálatára, hogy a szűkebb és a tágabb rendszerhatárok – ahogy a 4.7. ábrán is látható – közötti különbségek milyen jellemzőkből adódnak egy adott helyzetben vagy folyamat során. Feltétel természetesen, hogy a rendszerhatárok szélső értékeit minél pontosabban, a bizonytalanság kizárásával adjuk meg. Ezt a bizonytalanságot a környezeti hatás kialakulását tekintve – lásd a 3.3. ábra – a rendszer környezete is befolyásolja, a rendszerkörnyezet állapota és az állapotot meghatározó összetevők jelentősége is fennáll.

Az eddig elmondottakra tekintettel jelentem ki, hogy környezetvédelmi szempontból az időfüggőség miatt variáns rendszerekről beszélhetünk. Ráadásul sztochasztikus is a rendszer, mivel egy bemenő jelhez többnyire több eltérő kimenő jel tartozik bizonyos bekövetkezési valószínűséggel, valamint a jel nem ismételtető meg azonos jellemzőkkel, vagy változatlan formában. A rendszerjellemzők- és kapcsolatok áttekintésének feltétele, hogy rögzítsük a hatásokat, melyek a rendszerválaszokat generálják.

A környezetvédelmi rendszer időfüggősége, vagyis a variáns tulajdonság mellett lényeges a rendszert érő járulékos gerjesztések jelenléte, amit a kockázatkezelés és a környezetvédelmi tervezés folyamatának elemzésekor mutattam be [116], [117] és [121]. A többváltozós rendszer felépítését [117] alapján a 4.9. ábrán részletesen szemléltetem.



4.9. ábra Többváltozós rendszer vázlata (forrás: [117])

Látható, hogy többváltozós rendszert kell kezelnünk, melyben a legtöbb esetben a tervezett és felügyelet mellett zajló tudatos behatás mellett számolni kell a véletlen és a járulékos behatásokkal. Ezek tovább erősítik a környezetvédelmi rendszer instacioner jellegét, azaz a nem állandósult jellemzőt, ami arra irányítja rá a figyelmet, hogy a rendszerhatárok nem adhatók meg egyszámos határértékekkel, a rendszer sarokpontjai mentén kialakuló burkoló felület a bekövetkezési valószínűségekkel lesz kezelhető.

A többváltozós rendszerben szerepet kapnak a *járulékos behatások*, melyek a rendszerválaszok és a *tudatos behatások* irányából kapnak jelet, de elkülönült csatornán kapcsolódnak be a rendszerfolyamatba.

A rendszergerjesztések körében a környezetvédelmi rendszert érő hatásokat az alábbiak szerint osztom fel a 4.9. ábra alapján:

- tudatos behatások;
- véletlen behatások;
- járulékos behatások.

Amennyiben csak a belső folyamatokat felügyeljük, egyszerű a dolgunk, hiszen a rendszer elemeit alapul véve tervezhetőek, illetve becsléssel pontosan meghatározhatóak a hatások, a későbbi környezetterhelés. Ekkor a szűkebb és a tágabb rendszerhatárok közötti különbség is szűk intervallumban marad, ami kedvező rendszerállapotot eredményez. A *tudatos behatások* a belső folyamatokra nincsenek hatással olyan módon, hogy egy tevékenységből eredő környezetterhelés, vagy a környezetből származó külső hatás káros lenne szennyezés vagy akár környezetkárosítás kialakulása miatt.

A *véletlen behatások* tervezése nehéz, csak nagy bizonytalansággal lehetséges. Számos tényező, az ellenőrzött folyamat, azaz a szerelemek mellett a környezet állapota, mint a környezeti jellemzők vagy akár az időjárási viszonyok befolyásolják. A *véletlen behatásokra* ugyanakkor fel lehet készülni, a rendszer jellemzői és a rendszerválaszok alapján a lehetséges beavatkozás pontja és ideje már ismert lehet.

Új elemként vezetem be a *járulékos behatásokat*, melyek kapcsolata a rendszerválaszokkal és a *tudatos behatásokkal* meghatározó szempontként jelenik meg a hatás és a hatásviselő szempontjából. Ugyanis ezek a járulékos behatások az előre nem tervezett vagy nem is tervezhető beavatkozási folyamatok következményeként jelennek meg, a következményeket tekintve szintén hatással vannak a környezetre, így módosítják a szűkebb és tágabb rendszerhatárokat.

4.4. Környezetbiztonsági rendszer és rendszerhatár

Számos szakirodalmi példa mutatja [26], [58], [63], illetve a repülési zajprobléma kezelésére való törekvések jegyében megalkotott előírása támasztja alá [1] és [2], hogy a légi járművek üzemeltetése területén az érintettek együttműködésére van szükség a környezetvédelmi helyzetek megoldásakor, vagyis csak kompromisszumok sorozatával lehetséges a problémamegoldás.

Nevezzük ezt *kompromisszum feltételnek*, ami egyaránt érvényes a környezethasználat egészére és a kialakuló környezetterhelés csökkentésére, de vonatkozik az üzemeltetési folyamatokra és létesítmények fejlesztésére. Ezért ma már a követelményrendszer meghatározó tényezőjének kell tekinteni, ahogy erre a [89] áttekintésben is rámutattam. Ha nem vizsgáljuk kellő alaposítással a környezetterhelést okozó folyamatok és a környezet kapcsolódási pontjait és hatásmechanizmusát, akkor környezetvédelmi követelményeket is felesleges előírni.

A *kompromisszum feltétel* teljesülését a légiközlekedés környezetvédelmi problémamegoldásához szükségesnek tartom. A kompromisszumos helyzet kialakítása ugyanis olyan döntést vagy döntéssorozatot jelent, ami sok esetben önfenntartó rendszerként képes kezelni a környezeti biztonságot és a kockázatot, valamint a kapcsolódó bizonytalanságokat.

A környezetvédelmi bizonytalanság csökkentésére vonatkozó törekvéssel együtt említem meg, hogy a helytelen, az alábecsült vagy a túlzott környezeti hatás feltételezése számos következménnyel jár, amit a légiközlekedésből eredő környezetterheléssel kapcsolatban eltérő okok miatt, de hibának tekintek, ahogy ezt több alkalommal kifejtettem [108], [117], [119]. Ezért a bizonytalanság csökkentése és a kockázatkezelés is mindinkább kötődik a repüléssel és a repülőter üzemeltetési folyamatokkal összefüggő környezetvédelmi kérdésekhez.

Egy olyan értékelési módszer, ami a légiközlekedés környezetvédelmét rendszertani megközelítésben, ezáltal komplex módon képes kezelni, a jelenleg használt vizsgálati mérőszámok – például a zajterhelési mutatószámok tekintetében az L_{Aeq} egyenértékű zajszint, L_{AX} zajeseményszint vagy $L_{AM, re}$ megítélési zajterhelés [40], [41] és [43] alapján – mellett további mutatók bevezetését igényli. Mielőtt ezeknek a mutatóknak az elemzésébe kezdenék, áttekintést adok a kiindulási alapot adó rendszer és modellalkotási összefüggésekről.

A mérnök legfeljebb kiszolgálja a hatásterület elméletet, de az számára értelmetlen marad. Az érintettség még nem tükrözi kellő mértékben egy terület környezetvédelmi érzékenységet, így ismerete nem elég ahhoz, hogy mindenkor megfelelő döntést hozzunk egy új beavatkozásnál. Ez bizonytalanságot okoz az adott környezeti helyzet megítélésében, így szükségesnek tartom a légi jármű üzemeltetésben a környezetbiztonság és a környezetbiztonsági rendszer fogalmának bevezetését. Összegezve korábbi kutatásaim eredményeit és eddig tett megállapításaimat, általánosságban a

környezetbiztonság a természeti folyamatokból származó károsodások, az emberi tevékenységek és műszaki folyamatok következtében fellépő környezetszennyezés vagy károsítás, és a társadalmi vonatkozású nem kívánatos mértékű környezetterheléssel járó események.

Az összetett fogalomkör szemlélteti azt a törekvést, hogy a környezetbiztonság olyan rendszerben legyen képes kezelni a környezeti hatások kérdéseit, ami egyaránt figyelembe veszi a környezetvédelem és a természetvédelem, az egészségvédelem és az általános biztonság fel-

tételeit, ugyanakkor szükséges tartom kiterjeszteni a környezethasználat és igénybevétel között fennálló kompromisszumos egyensúlyra is.

A környezetvédelmi szempontú döntéshozatalt nehezíti, hogy eltérő mértékegységekkel kezelt hatásokat kell vizsgálni és értékelni. Vagyis egyetlen forrás különböző jellegű és értékű kibocsátásokat generál. Az összesített értékelést ugyanakkor segíteni kell, hogy megfelelő döntést hozzunk egy megoldás keresése során. A megfelelő döntés természetesen csökkenti a bizonytalanságot, ami javítja a biztonságot.

Ahhoz, hogy a környezetbiztonság szempontjából megfogalmazottakat részletesebben bemutassam, elemeztem a környezetvédelmi rendszert és az abban rejlő bizonytalansági tényezőket. A rendszernek van, vagy lehet olyan eleme, ami adott körülmények fennállása esetén – például működési feltételek megváltozása, üzemvitelben eltérés, karbantartási folyamatok hatása – szűkebb rendszerhatárokat, esetleg a rendszerhatárok között kisebb távolságot eredményez. Ebből a szempontból érdemes figyelembe venni azt a lehetőséget is, hogy bizonyos rendszerelemek működési tartományát megváltoztatva következik be olyan változás, ami a környezeti bizonytalanságot csökkenti, így segíti a környezetbiztonság fokozását.

A rendszerelemek működési arányainak megváltoztatása tehát lehetőséget ad egy olyan irányú átrendeződésre, melynek eredményeként csökkenthető egy adott környezetterhelés, a véletlen és a járulékos hatások kezelése is megoldott lesz. Ebből az irányból megközelítve a kérdést, érdemes kategóriába sorolni a rendszerelemeket a következők szerint:

- pozitív tulajdonságú rendszerelem;
- negatív tulajdonságú rendszerelem.

Sok esetben elégséges lehet, ha egy környezetvédelmi rendszer csak annyiban változik, hogy a pozitív és a negatív tulajdonságú rendszerelemek működési arányait módosítjuk. A vizsgálatoknál a rendszerhatárokon belül zajló folyamatokból indulok ki, ebben az esetben a *műszaki folyamat olyan gépezemeltetési, üzemfenntartási és karbantartási események sorozata, melyeknél egymással kölcsönhatásban lévő műszaki egységek működtetése révén anyag és/vagy energia átalakulás megy végbe.*

Amennyiben a műszaki folyamatokat eredményesen kívánjuk működtetni, számolni kell azokkal a jelenségekkel, eseményekkel, melyek hatással vannak a rendszer környezetére. Más megfogalmazásban a környezetbiztonság oldaláról lényeges szempont a műszaki folyamatok olyan fenntartása, ami nem veszélyezteti a jövő szükségleteinek kielégítését, nem indít el visszafordíthatatlan környezetkárosítási folyamatot és nem okozza a rendelkezésre álló erőforrások kimerülését.

E tekintetben meghatározó kérdés a környezeti hatás, ami negatív vagy pozitív irányú lehet, fogalmát a következők szerint rögzítem:

környezeti hatás a környezeti szempontból érzékelhető állapotváltozás.

A rendszerelemek működési arányait a rendszer üzemeltetési mutatóival jellemezhetjük, ezért a környezetvédelmi rendszer vonatkozásában olyan mutatószámok bevezetését tartom szükségesnek, amit a rendszer és rendszerelemek paraméterei, valamint azok időelemei alkotnak. Ilyen mutatószám – bizonytalanság és környezetbiztonság szempontjából – a környezetvédelmi üzembiztonsági mutató, amit $K\ddot{U}$ -vel jelöltem.

A rendszer $K\ddot{U}$ környezetvédelmi üzembiztonsági mutatója:

$$K\ddot{U} = \frac{h_T - h_{\ddot{U}}}{h_T}, \quad (4.2)$$

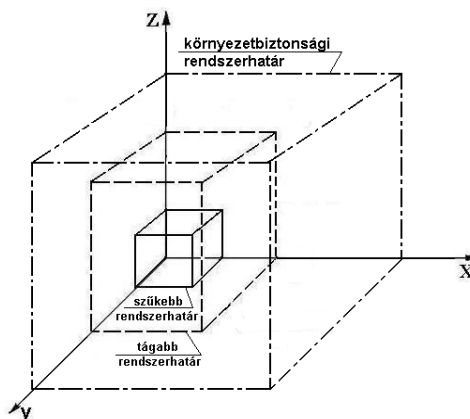
ahol:

h_T – tágabb rendszerhatár mutatója;

$h_{\ddot{U}}$ – üzemi rendszerhatár.

A $K\ddot{U}$ mutatószám optimális értékének tekinthetjük, amennyiben a $K\ddot{U}$ mutatószám értéke 0,5. Környezetbiztonság szempontjából a (4.2) alapján kedvező helyzet adódik, amennyiben a $K\ddot{U}$ mutatószám 0,5-nél nagyobb értéket vesz fel. Ebben az esetben azt mondhatjuk, hogy a környezetvédelmi rendszerben a meghatározó sarokpontokat, valamint a „P” pontokhoz tartozó r értékeket – 4.7. ábra alapján – tekintve tartalék van. Ez a tartalék biztosítja, hogy egy negatív tulajdonságú rendszerelem hatására a $K\ddot{U}$ környezetvédelmi üzembiztonsági mutató ne közelítsen a nulla értékhez, illetve minél nagyobb biztonsággal legyen tartható 0,5 vagy ennél nagyobb értéken.

Az eddigiek alapján kijelenthető, hogy a környezetbiztonsági rendszer magába foglalja a környezetvédelmi rendszert, ennek ábrázolását szemlélteti a 4.10. ábra, melyen a környezetbiztonsági rendszerhatárt is feltüntettem.



4.10. ábra Környezetbiztonsági rendszer vázlata (forrás: [117])

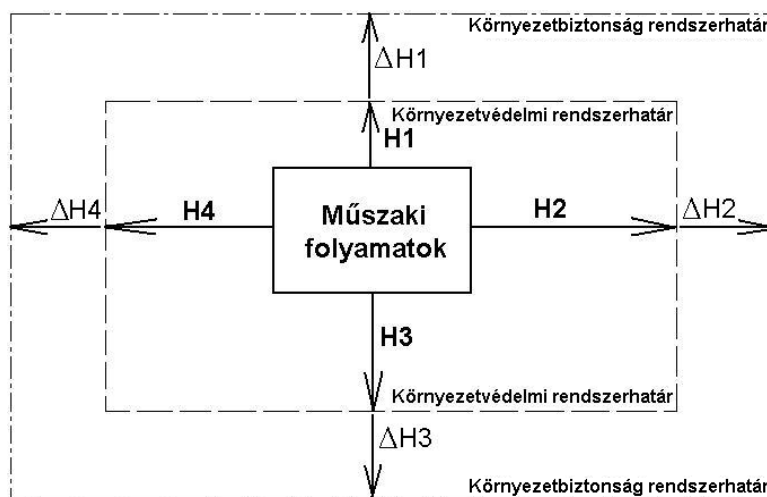
4.5. A környezetbiztonság és a környezetvédelem kettős modellje

A környezetvédelmi rendszer legfőbb jellemzője a szűkebb és a tágabb rendszerhatárok közötti különbség és ennek a különbségnek az időbeli változása. Általánosságban létezik egy olyan üzemi rendszerhatár szint is, ami a megfelelő üzemeltetési körülményekhez tartozik, tehát fenntartásával nem következik be olyan esemény, ami a környezetterhelés jelentős növekedése útján annak állandósulásához, illetve környezetszennyezéshez vezet. Amennyiben a biztonságra törekszünk ez a szélső érték azonos a tágabb rendszerhatárral.

A közeli hatás és szűkebb rendszerkörnyezet, valamint a távoli hatás és tágabb rendszerkörnyezet értelmezését – környezetbiztonság oldaláról megközelítve – a következőkben foglalom össze. Környezetvédelmi okokból, a talajszinten mért zajterhelés csökkentése érdekében a légi járművek meredekebb emelkedését lehet előírni, de ez maga után vonja a hajtóművek

nagyobb mérvű elhasználódását, aminek következménye a gyakoribb nagyjavítás és az abból eredő magasabb környezetterhelés, illetve a nagyobb hajtómű terhelés következménye a nagyobb légszennyezőanyag kibocsátás.

Fentiekben bemutatott probléma megoldásához a környezetvédelmi vizsgálatokhoz a kettős modell kidolgozását tartom szükségesnek. Az eddig elmondottak vezettek arra a következtetésre, hogy a műszaki folyamatokból eredő állapotváltozás jellemzőit a környezetbiztonság feltételrendszere alapján írjam le kettős modell alkalmazásával, melynek vázlatát [117] alapján a 4.11. ábrán szemléltetem.



4.11. ábra Műszaki folyamatok és a környezeti hatások összefüggése (forrás: [117])

A 4.11. ábrán a környezeti hatások szempontjából vázolt összefüggésnél megjelenítettem a ΔH biztonsági sávot. A biztonsági sáv kiterjedése különböző esetekben:

$$H1 \neq H2 \neq H3 \neq H4 \quad (4.3)$$

$$(H1 + \Delta H1) \neq (H2 + \Delta H2) \neq (H3 + \Delta H3) \neq (H4 + \Delta H4) \quad (4.4)$$

Ezen a ponton felmerül a kérdés, hogy mi történik, amikor egy hatás iránya megfordul, és a műszaki folyamatból eredő pozitív hatás a környezeti állapot javulását eredményezi? Adott esetben mire számíthatunk, amikor a tudatos behatások mellett a 4.9. ábrán szemléltetett véletlen hatás miatt változik az összegzett környezeti hatás mértéke, vagy a rendszerválasz alapján módosul negatív irányban?

Az általam végzett repülési zajmérések eredményeit figyelembe véve megállapítottam, hogy a H és a ΔH értékek soha nem vesznek fel az időben állandósult értéket – az átlagolt értékektől eltekintve –, a ténylegesen észlelt értékek folyamatosan változnak, ami egyben igazolja, hogy a rendszerkörnyezet instacioner.

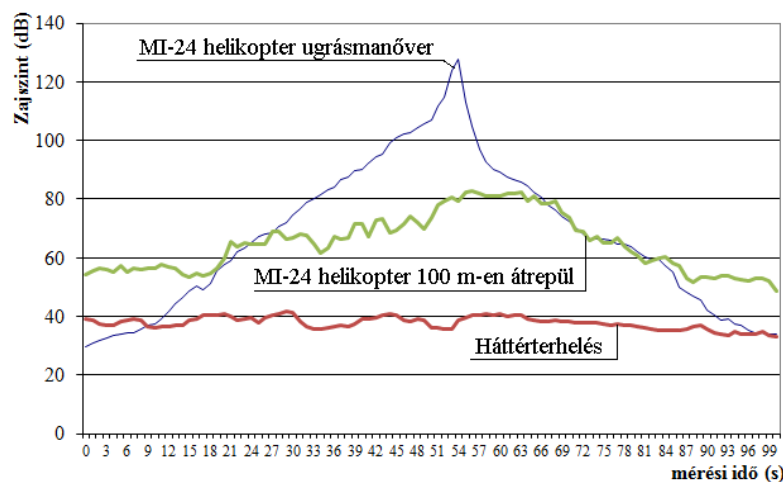
Az instacioner állapotban bekövetkező változás lehet gyors, azaz rövid idő alatt zajló, de sok esetben hosszabb időtartam alatt bekövetkező változásról beszélhetünk. Meghatározó továbbá a változás mértéke, vagyis az, hogy az alapállapothoz képest mekkora változást eredményez egy adott környezeti hatás, az állapotváltozás eléri-e az érzékelhető vagy kimutatható mértéket. A ΔH értékek adják a környezetbiztonsági sávot, így a ΔH értékek alapján akár olyan kategóriákat is felállíthatunk, ami a biztonságos működés és hibamentes megítélést segíti elő.

Legyen a rövid idejű maximális terhelés $H1$, a hosszú időtartamra vonatkoztatott átlagos terhelés $h1$. Ebben az esetben:

- $H1$ minden esetben nagyobb, mint $h1$, azaz $H1 > h1$, valamint $H1 - h1 > 0$;
- környezetbiztonság szempontjából idealizált állapot, amikor $H1 - h1 = 0$.

Az új értékelési módszer szükségességét támasztja alá továbbá, hogy a környezetterhelés mértéke nagyban függ a környezet jellemezőitől és adottságaitól, melyek a folyamat során visszahatnak a terhelés kialakulására. Erre példa lehet a terület beépítettsége vagy az időjárási körülmények megváltozása, a környezetvédelmi helyzet évszakonként eltérő jellege.

Az instacioner állapot megjelenését [87] alapján a 4.12. ábrán mutatom be, ami a különböző helyzetekben, 100 m-es magasságban végzett átrepülés és ugrás manőver közben, illetve a háttérterhelésre vonatkozóan rögzített átrepülési zajszinteket szemlélteti. A mért zajszintek közötti különbséget jelentős mértékűnek tartom, előzetes felkészülés vagy a beavatkozás hiánya mellett magában hordozza a környezetvédelmi veszély lehetőségét.



4.12. ábra Átrepülési zajszintek különböző helyzetekben (forrás: [87])

A 4.12. ábrán bemutatott mérési eredmények rámutatnak a folyamat során bekövetkező járulékos hatások jelentőségére is, hiszen a szokásos repülési manővert felváltotta egy nem várt, illetve tervezett részművelet, ami a zajszintek jelentős emelkedését jelentette.

4.6. A környezetbiztonsági szint

Mielőtt környezetvédelmi szempontból részletes elemzésnek vetem alá a légi közlekedést, az alábbi ténymegállapítást teszem: a legtöbb esetben nem ott vagyunk, ahol lenni akarunk, ezért folyton utazgatunk, egyre nagyobb távolságot szeretnénk áthidalni a lehető legrövidebb idő alatt, ami ma már nem lehetséges a repülés nélkül.

A közlekedéstől – természetesen a légi-, közúti-, vasúti- és vízi közlekedést együttesen tekintve – származó környezetterhelés jelentősége abban rejlik, hogy a környezet alapállapota tartósan vagy véglegesen változik meg azokon a területeken, ahol egy közlekedési létesítmény megépül, és a tevékenység zajlik, ez a változás kisebb-nagyobb mértékű az adott helyzet függvényében. Van olyan speciális helyzet, amikor két fontos szempont kiemelt szerepet kap egy közlekedési módozat értékelésénél:

- a rövidebb idejű és megszűnő hatás kisebb eredő környezetterhelést jelent;
- a környezet állapotában várható-e maradandó, ismétlődő változás, vagy az állapotjellemzők visszaállnak az eredeti értékekre?

Ezek a kérdések főként azokban az esetekben kapnak jelentőséget, amikor egy szállítást speciális körülmények között kell megoldani, nagy tömegű egységeket beemelése és mozgatása a feladat, árut vagy személyeket kell rövid idő alatt nagy távolságra szállítani, esetleg nem áll rendelkezésre hagyományos szárazföldi közlekedési létesítmény egy adott feladat elvégzéséhez, ahogy erre [115] közleményben rámutattam. Emellett a légi közlekedésben kiemelt jelentőséget kap a kiképzési repülés, valamint a szabadidős vagy bemutató repülési tevékenység, ami szintén a biztonság kérdéskörét érinti [89].

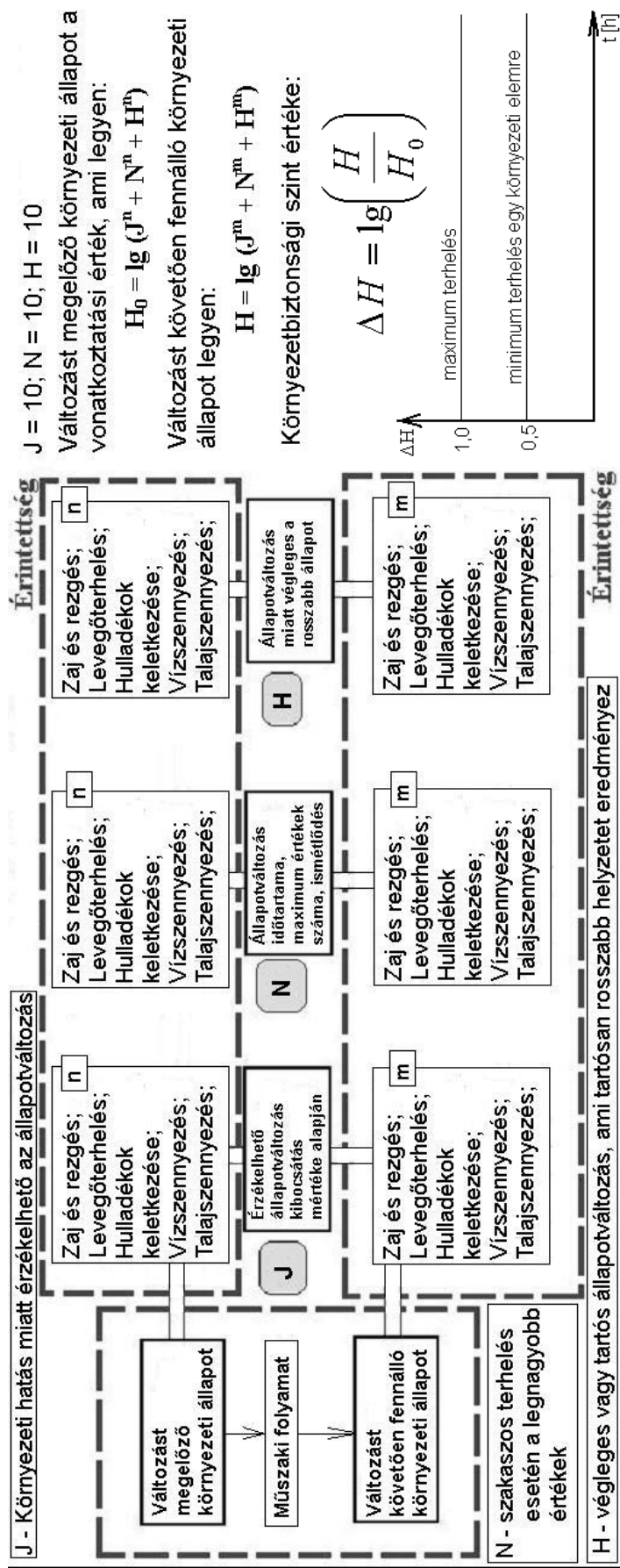
Amennyiben a speciális helyzeteket is nézzük, említést kell tenni a légi közlekedés előnyeiről a többi közlekedési ágazattal összehasonlítva, melyről a [78] és [119] publikációkban adtam részletes áttekintést. Így például a területfoglalás mértéke elmarad a közutak vagy a vasút helyszükséglete mellett, rövid idő alatt nagy távolságok áthidalását teszi lehetővé, a jelentősebb környezeti hatás többnyire a repülőterek környezetére terjed ki, a földtani közeg terhelése csak a repülőter területét érinti.

Létezik olyan helyzet, amikor a szállításra vagy a feladat végrehajtására a repülés lehet az egyedüli alternatíva, ahogy erre [115] elemzésben kifejtettem, de a természetvédelmi területekre való időszakos berepülés is kisebb beavatkozást jelent a szárazföldi vagy vízi közlekedési eszközök alkalmazásánál olyan körülmények között, mint árvíz idején, szúnyoggyérítéskor, katasztrófa elhárítással összefüggő feladatok ellátásakor, vagy vezetékek ellenőrzésekor.

A kockázati szint becslése a kockázatkezelés folyamatában értékítélet alakítható ki az egyes kockázati tényezőkről, ami a bekövetkezési valószínűség és a súlyosság, illetve a kitettség ismeretében oldható meg. A kockázatot a súlyosság/kitettség a veszély valószínűségének függvényeként, de nem feltétlen azok szorzataként határozható meg. Kockázatelemzés folyamatában egy nem kívánatos esemény káros hatása mértékének meghatározásához a súlyosság vagy a kitettség ismerete szükséges. Egyszeri, hirtelen esemény – például egy légi katasztrófa – esetén a súlyosságot vizsgáljuk. Egy nem kívánt esemény súlyossága, mint annak potenciális hatása értelmezhető személyekre, eszközökre vagy magára a folyamatra. A kockázati kitettség szintje a személyeket vagy eszközöket ért folyamatos, máskor ismétlődő káros hatások mértéke. Légi közlekedés esetén ilyen káros hatás, kitettség lehet egy adott repülőter környezetében fellépő zajterhelés mértéke.

A nem kívánt esemény valószínűségének becslésekor meg kell határozni annak a valószínűségét, hogy a nem kívánt esemény már meghatározott súlyosságú kudarchoz, vagy veszteséghez vezethet. A valószínűség meghatározható szubjektív becsléssel, kvantitatív módszerekkel, vagy ezek kombinációjával.

A környezeti hatások vizsgálatát szükségesnek látom kiterjeszteni abban a vonatkozásban is, hogy a műszaki folyamatok és a környezet állapotában bekövetkező változás tartós és hosszabb távon fennmaradó, vagy rövidebb és időben csökkenő tendenciát mutat, esetleg megszűnő jelleggel alakul ki. Ehhez szükséges egy olyan értékelési módszer kidolgozása, melyből jobban kitűnik a hatások jelentősége, valamint a járulékos környezetterhelés mértéke. Erre vonatkozóan adok javaslatot a 4.13. ábrán bemutatott modell alapján.



4.13. ábra Környezetbiztonsági szint meghatározásának modellje (forrás: [119])

4.7. Következtetések, ajánlások

Kutatási tapasztalataim, valamint az áttanulmányozott szakirodalom alapján olyan megoldást tartok szükségesnek, ami komplex módon képes választ adni a légitözlekedés és a légi jármű üzemeltetés környezeti hatásai mellett a biztonságérzettel összefüggő környezetbiztonsági kérdésekre is. Mivel a biztonság tudomány keretein belül vizsgálom a környezeti hatásokat, illetve több eltérő hatásból fakadó együttes bizonytalanságot, szükségesnek tartom a határérték-hatásterület eljárás helyett más módszer alkalmazását.

A megoldás olyan értékelési módszer alkalmazása, ami figyelembe veszi a rendszerkörnyezet instacioner állapotát, azaz, hogy az észlelt állapotváltozás mennyiben folyamatos, időszakos vagy szakaszos, kialakulnak-e ismétlődő periódusok, a hatás műszaki szempontból mennyire kezelhető, ugyanakkor az eltérő jellemzőkkel vagy terhelési értékekkel bemutatott hatásokat együttesen képes kezelni.

Az új értékelési módszer szükségességét támasztja alá továbbá, hogy a környezetterhelés mértéke nagyban függ a környezet jellemzőitől és adottságaitól, melyek a folyamat során a kibocsátó forrásra is visszahatnak. A környezet és a kibocsátó forrás kapcsolatrendszeréből az aspektusból is jelentőséget kap, hogy a beavatkozás módját, időpontját és pontos helyét fel kell tárnunk ahhoz, hogy a környezetbiztonság szempontjából elfogadható vagy idealizált állapot fennálljon. A környezeti hatással kapcsolatos megállapításokat szükségesnek látom kiterjeszteni abban a vonatkozásban is, hogy a légi közlekedés miatt a környezetben kialakuló változás tartós vagy állandósult lesz, más esetben időben csökkenő lesz, esetleg megszűnik, és később nem kell vele számolni.

Az új értékelési módszer kidolgozásához szükséges a légi közlekedés környezetbiztonsági fogalomrendszerének meghatározása, amire az alábbiakban teszek javaslatot.

Műszaki folyamat: olyan gépüzemeltetési, üzemfenntartási és karbantartási események sorozata, melyeknél egymással kölcsönhatásban lévő műszaki egységek működtetése révén anyag és/vagy energia átalakulás megy végbe.

Környezeti hatás: környezeti szempontból érzékelhető állapotváltozás.

Környezetvédelmi rendszer: kölcsönös összefüggés alapján kapcsolatban lévő rendszer-elemek és folyamatok által generált környezeti állapot tényezők összessége.

Környezetvédelmi rendszerhatár: környezetvédelmi rendszer állapot tényezőkkel kijelölt sarokpontjaihoz kötött burkolófelület.

Környezetbiztonság: környezetvédelmi szempontú veszély hiánya.

Környezetbiztonsági rendszer: környezetvédelmi rendszer olyan mértékű kiterjesztése, ahol a műszaki folyamatba és a rendszerkörnyezetbe való beavatkozást igénylő negatív hatás lép fel.

Környezetbiztonsági rendszerhatár: környezetbiztonsági rendszer állapot tényezőkkel kijelölt sarokpontjaihoz kötött burkolófelület.

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.

Az új értékelési módszer alkalmazásának feltétele a 4.5. *alfejezetben* részletesen leírt úgynevezett kettős modell kidolgozása. Kettős modellen olyan folyamat-leírási módot értek, melyben figyelembe veszem a vizsgált jelenség közeli és távoli hatásait is. Természetesen, a *közeli* és *távoli* kifejezések alatt nem fizikai távolságokat értek, hanem a beavatkozásra adott rendszerválaszok függvényében azonnali és járulékos hatásokat, melyek befolyásolják a környezetvédelmi és környezetbiztonsági rendszer állapotát. Az előzőekben leírtak alapján az alábbi következtetések és javaslatokat fogalmazom meg a kettős modell felállításával kapcsolatban:

A rendszer komplexitása miatt kerülni kell a lineáris vagy linearizált modellek használatát.

Amennyiben mégis lineáris modellt alkalmazunk, az eredmények kiértékelésénél figyelembe kell venni a modell alkalmazási korlátait.

A környezetbiztonsági vizsgálatokat össze kell kötni az adott kérdések kockázati elemzésével

A természetes környezet terhelése minden esetben valamilyen formájú és mérvű kockázatot von maga után. Ennek elemzése a biztonság szempontjából fontos.

A modellek bizonytalanságainak leírása fontos az eredmények kiértékeléséhez

A bizonytalanság elválaszthatatlan egy modelltől, a gerjesztésektől és a modellparamétereiktől. A bizonytalanság elemzés információt ad a kapott válaszok hibahatáraitól, a modell eredményeinek elfogadhatósági szintjéről.

Környezetbiztonsági rendszerek vizsgálatához a Monte-Carlo szimuláció alkalmazását tartom megfelelőnek

Monte-Carlo szimuláció lényege, hogy a rendszer egyes bizonytalan bemeneti tényezőihez rendelt valószínűségi eloszlások alapján véletlenszerűen választjuk ki azok – a (4.1) egyenlet \mathbf{u} vektorának – értékeit. A modell futási eredményeinek statisztikai elemzésével tudjuk meghatározni a rendszer lehetséges válaszainak – a (4.1) egyenlet \mathbf{y} vektor elemeinek – valószínűségi jellemzőit.

Szükségszerűnek tartom kiterjeszteni a környezetbiztonsági szint meghatározását az együttes környezeti hatáselemzésre úgy, hogy a különböző mértékű és egymástól eltérő hatások súlyozott vizsgálata is megtörténjen, valamint a negatív hatások mellett a pozitív vagy jelentőségüket tekintve kismértékű hatások is bekerüljenek a környezetvédelmi értékelésbe.

A környezetbiztonsági szint modelljének ki kell terjednie egy környezeti hatás megváltozásával generált, a rendszerműködéssel összefüggő más hatások változásaira is a 4.13. ábrán láthatóak szerint.

5. KÖRNYEZETI HATÁSOK ELEMZÉSE

Annak eldöntése, hogy az adott környezeti hatás mértéke a környezetvédelem keretein belül marad, vagy eléri a környezetbiztonsági rendszerhatárt – a negatív hatás beavatkozást igényel vagy sem, ha igen, akkor mikor – csak látszólag könnyű feladat. A legtöbb esetben a környezeti hatás mértéke, valamint instacioner jellege a kialakuló környezetvédelmi helyzet megítélésében olyan fokú bizonytalanságot eredményez, ami egyrészt rontja a környezetvédelmi üzembiztonsági mutató értékét és nehézkessé teszi annak meghatározását, másrészt csökkenti a környezetvédelmi és környezetbiztonsági rendszerhatárok közötti biztonsági sáv kiterjedését. Ezért szükségesnek tartom a rendszerműködés és a környezeti hatások közötti összefüggések kiterjedtebb elemzését és az elemzés alapján nyert tapasztalatok környezetbiztonsági szint értékelési eljárásba való beépítését.

5.1. A rendszerműködés és a környezeti hatások összefüggései

A környezetvédelmi érdekek érvényesítését elsődlegesen az határozza meg, hogy a környezeti hatás természetes és természetes állapotához közeli környezetet, vagy az ember által használt és alakított környezetet érint. A rendszerműködés és a környezeti hatások közötti összefüggést is befolyásolja ez a megközelítés az értékelési folyamatok miatt. Ebből kiindulva a környezeti hatások szempontjából az értékelési szinteket az alábbiak szerint rögzítem:

- emberi megítélésen alapuló értékelési szint;
- természetes környezet érdekein alapuló értékelési szint.

A környezetvédelmi értékelési szintek rögzítése kiemelt szereppel bír az általam vizsgált téma kifejtése során, mert meghatározó szempont a repüléssel összefüggő tevékenységek környezetvédelmi megítélésében, az alkalmazott követelmények alapját adja. A környezeti hatások értékelése ugyanis a környezeti zaj szempontjából minden esetben humán megítélésen alapuló határértékekre támaszkodik. Ezzel szemben a természetes környezetben fellépő terhelés minősítése az élőhelyeken kialakuló, az állatvilág egyedeinek zavarása alapján történik. A zavarás mértékét azonban ekkor is az ember ítéli meg annak függvényében, hogy adott környezeti hatással összefüggésben, a természetes környezetben milyen válaszreakciót tapasztal, illetve a megfigyelt folyamatokból – elvándorlás, élőhelyeken megfigyelhető jellemző és változó viselkedés, utódok nevelése – milyen következtetések vonhatók le.

Mindennek figyelembevétele környezetbiztonság szempontjából már számos bizonytalanságot tartalmaz. Akár az egyszámú határértékek alkalmazása, akár a zavarás szubjektív megítélése és kimondása bizonytalanná teszi azokat a tényezőket, melyek befolyásolják a környezetbiztonságot, esetlegesen negatív módon befolyásolják az egyéb tényezőket, melyek összefüggésben vannak a repülésbiztonsággal és azon keresztül a környezetbiztonsággal.

Környezetvédelmi oldalról megközelítve az emberi tevékenységeket a következő főbb szempontok alapján végzünk vizsgálatokat: hulladékok keletkezése és káros hatásaik elleni védelem, földtani közeg védelme, azaz talajvédelem, felszíni és felszín alatti vizek védelme, valamint a levegő védelme, a zaj- és rezgés elleni védelem, a természetvédelem és az épített környezet védelme. A különböző szakterületek között természetesen létezik kapcsolat és ki-

sebb-nagyobb átfedés, de a környezeti hatásokat az eltérő követelményeknek való megfelelés alapján elkülönült módon minősítjük.

A határértékek alkalmazása az értékelési szintek szerint történik anélkül, hogy az értékelési szint mélyebb elemzése és alapállapotának feltárása a vizsgálatoknál különösebb jelentőséget kapna. Kérdésként merül fel ugyanakkor, hogy a természetes környezet érdekein alapuló értékelési szint esetében a határértékek alkalmazása megfelelő-e? Amennyiben olyan szempontrendszert alkalmazunk, ami a természetes, illetve az eredeti állapotban bekövetkező változás mértéke és jellege mellett annak időbeli lefolyását és időtartamát, a fellépő hatás időpontját – például évszakhoz kötött időszak – és az érintett környezet várható reakcióját is kezeli, akkor a válasz igen. Ebben az esetben a hagyományosan értelmezett és kizárólag a környezetterhelés mértékére irányuló egyszámos határérték alkalmazása nem lehet megfelelő, más megoldást kell keresni, ezért a környezetterheléssel járó folyamatból származó terhelés bekövetkezési gyakoriságára vonatkozó határérték megalkotását tartom elfogadhatónak.

Másik szempont, amikor a légi közlekedést a környezeti hatás teljes vertikumában kell megítélni. Ekkor az eltérő hatásokat a jellemzőik és a kiterjedés miatt nehézkes kezelni, ezért indokolt a hatásokat mértékük és rendszerelemzésük alapján együttes blokkba helyezni. A légi közlekedés vonatkozásában a konzekvens értékeléshez ugyanakkor célszerűnek tartom, hogy a különböző hatásokra adott belső rendszerválaszok – például a repülési módozatba való beavatkozás, repülési magasság vagy irány megváltoztatása – miatt nagyobb figyelmet kapjon a repülés és a repülést körülvevő környezet kapcsolata, azaz a rendszer és a rendszerkörnyezet közvetlen elemzése. Ebben az esetben szintén előtérbe kerül egy-egy környezeti hatás bekövetkezésének valószínűsége, illetve a környezetterhelés mértékének alakulása és egy adott beavatkozásra a terhelés csökkenése, esetlegesen a növekedése.

Az eddigiek figyelembevételével a légi közlekedés környezetvédelmi megítélésére az alábbi megállapítások tehetők:

- a repülés környezetre gyakorolt hatása és a környezetterhelés értékelése nem lehet független a környezetvédelmi értékelési szintektől;
- a környezetterhelés minősítése és a hatások elleni védelem meghatározása a különböző szakterületeket tekintve csak azok konzekvens összevetésével, a kialakuló környezeti probléma súlyosságára és kezelésére adott környezeti válaszok alapján lehetséges;
- a légi közlekedés környezetvédelmi megítélésében az értékelési szinteken alapuló, a repülési tevékenység és az érintett környezet kapcsolati rendszerét feltáró elemzés hozhat megfelelő eredményt.

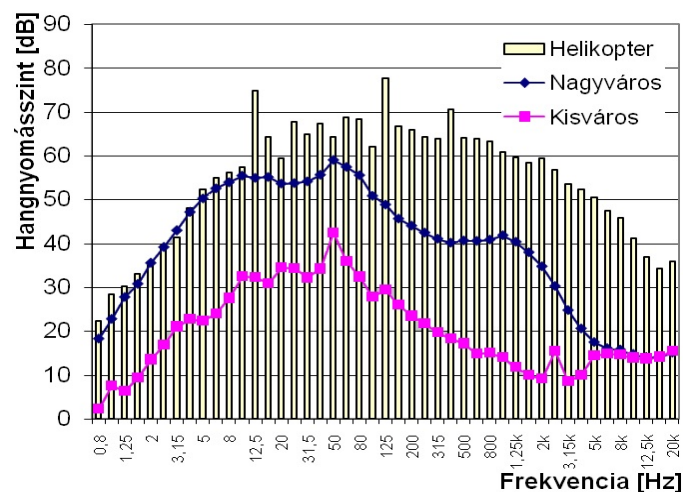
Fenti megállapításokat tekintve, a környezetvédelmi megítélés egyik fő szempontjának annak a célkitűzésnek kell lennie, miszerint a vizsgálattal összefüggésben mindig a meghatározó környezeti hatásjellemezőt vegyük figyelembe, az értékeléshez felhasznált adatokat a megfelelő pontossággal és megközelítéssel használjuk fel. Kiemelem a környezeti probléma megközelítésének jelentőségét, mivel tapasztalatom szerint több olyan repülési feladat is van, amikor a fellépő zajterhelés negatív hatása elmarad az egyéb szempontból jelentkező pozitív előnyök mögött. Ennek áttekintését – a repülési feladatokat is magába foglaló – a környezeti hatást okozó tevékenységeket leíró rendszer elemzésén keresztül tartom lehetségesnek.

5.2. Repülés pozitív környezeti hatásának értelmezése

Helikopteres repüléseknél a zajterhelést elsődlegesen a repülés jellemzői, így a műveletszám, a repülési útvonal, a repülési magasság, illetve a légi járművek kategóriája és zajkibocsátása határozza meg. Emellett figyelembe vesszük az érintett terület beépítettségét, a védendő homlokzatok elhelyezkedését és a hangterjedést – például a visszaverődés és a hangárnyékolás – befolyásoló környezeti adottságok alakulását is.

A repülés pozitív környezeti hatásának elemzése előtt a korábbi fejezetekben kifejtett okokra hivatkozva rögzíttem azt a tényt, hogy az emberi tevékenységekkel összefüggésben a repülési zaj soha sem jelenik meg önálló hatásként a környezetben, a repüléssel érintett területeken egyéb más tevékenységektől vagy zajforrásoktól származó zajterhelés is érvényesül, ami a háttérterhelés kialakulásához vezet. A különböző források miatt fellépő zajterhelés összeadódik, így a repülési zaj csak módosítja az alapállapot zajhelyzetét. Különböző időpontokban végzett mérések eredményeit tekintve a környezeti zajterhelés változása a repülés – leszállás, felszállás, földi üzemeltetés – hatásával együtt a települések vagy területek zajvédelmi szempontú összetettségétől is függ.

A háttérterhelés, valamint a repülési zaj együttes értékeléséhez vizsgáltam a távoli vagy nem azonosítható zajforrásoktól származó, illetve a helikoptertől származó zaj jellegét. A méréseket eltérő települési környezetben, illetve egy szokásosan üzemelő helikopter leszállóhely mellett végeztem el. Gazella típusú helikoptertől származó zajszinteket rögzítettem a leszállóhelytől számított 50 m-re kijelölt terhelési pontban, leszállás – állóhelyi üzem – felszállás során. A repülési feladat során mért hangnyomásszint – frekvencia függvény mérési eredményeit az 5.1. ábrán szemléltetem.



5.1. ábra Helikopterzaj és háttérzaj frekvencia jelleg összevetése (forrás: saját mérés)

A mérési eredményeket tekintve nem szorul különösebb magyarázatra, hogy nagyvárosban, lakóházakkal sűrűn beépített környezetben magas, az előírt határértékekhez közeli, gyakran azt meghaladó háttérterhelés érvényesül, ami területenként és időszakonként eltérő jelleget mutat. Helikopterek számára kijelölt fel- és leszállóhelyek környezetében emiatt gyakran fordul elő, hogy nem kizárólag a légi járműtől származó zajszintek, hanem az összegződő zajterhelés rögzítésére nyílik lehetőség. A mért értékek helyes kezelése azért kap jelentőséget,

mert egy helikopter érkezésekor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja a zajhatást.

A bemutatott vizsgálati eredmények igazolják, hogy alacsony háttérterhelésű, vagy háttérterhelés nélküli környezetben a helikoptertől származó zaj a teljes frekvencia spektrumban meghatározza a le- és felszállóhely környezetének zajhelyzetét. Nagyvárosi lakóterületen ugyanakkor a helikopterzaj a háttérterhelésre jellemző zajterhelést jellemzően az $f = 12,5$ Hz feletti frekvenciatartományban haladja meg. Kimagasló zajszint értékeket a hallható tartományban, az $f = 125$ Hz és az $f = 400$ Hz értékeknél tapasztaltam.

Az értékelés alapján ugyanakkor ki kell emelni azt is, hogy a mért zajszint értékek – Gazella típusú helikopter, távolság $s_t = 50$ m – egyik frekvenciasávban sem érték el a 80 dB-t, meghatározó a 70 dB alatti, az $f = 1,25$ kHz feletti tartományban a 60 dB alatti hangnyomás-szint érték. Ez a körülmény lehetőséget ad arra, hogy a helikopteres repülés alkalmazható legyen azokban az esetekben, ahol a technológia függvényében a hagyományos zajforrás miatt magasabb zajterhelés alakul ki.

Az 5.1. ábra a helikopterzaj mellett szemlélteti a települési környezet háttérterhelését is, látható a nagyváros és a kisváros jellemző beépítettségéből adódó markáns különbség. Ezeket a zajszinteket elsődlegesen a zajforrások száma és jellege, illetve működésük körülményei határozzák meg. Ennek része – az üzemi- és a közlekedési zajforrások mellett – az építőipari tevékenység is, illetve az építkezéseken használt gépek működtetése, amit a repülés környezetre gyakorolt hatásának értékelése során, az összehasonlítás céljából az általam elvégzett vizsgálatok körébe vontam. Az ipari helikopteres repülés környezetvédelemmel összefüggő pozitív hatását vizsgálataim eredményeire támaszkodva mutatom be [113], [114] és [115].

Napjaink kulcsfontosságú feladata az infrastruktúra és a meglévő épületállomány felújítása, illetve korszerűsítése, de igényként merül fel lakóterületeken új építmények, mint kereskedelmi, vagy sport- és szabadidős létesítmények kialakítása. Sok esetben a vegyes funkcióra mutatkozik igény, egymás mellé kerülnek a használat jellege szerint eltérő funkciójú épületek, amit bonyolíthat az is, amikor eltérő fázisban valósulnak meg az építmények. Nemzetközi sportrendezvényekhez elengedhetetlen a korszerű és nagy alapterületű sportpályák- és csarnokok, ezekhez kapcsolódó kiszolgáló-, szállás- és lakóépületek építése.

Hasonló problémakör, amikor speciális építményeket kell telepíteni, vagy a környezet-használat zajlik egyedi körülmények mellett, illetve meghibásodáskor vagy az időjárás hatások miatt bekövetkező sérülés után kell helyreállítani egy építményt olyan terepviszonyok között, ahol a megközelítés utak vagy az infrastruktúra hiánya miatt, esetleg munkagépekkel járhatatlan terepviszonyok mellett nem lehetséges.

Ebben az esetben a légi szállítás és az ipari helikopteres repülés megoldást jelenthet az adott területre való bejutáshoz és a munkavégzéshez. A speciális repülési feladatok kisebb környezetterhelést jelentenek, mint utak építése és az építéssel járó környezetalakítás, ami sok esetben maradandó változást eredményez egy időszakos tevékenység céljából.

Az építőipari kivitelezés tehát életünk és a gazdasági tevékenységek, de a katasztrófavédelem – például gátak és töltések építése – meghatározó része, az építési zajjal szinte minden települési környezetben számolni kell. Mivel jelentős zajhatást jelent, az épített környezet

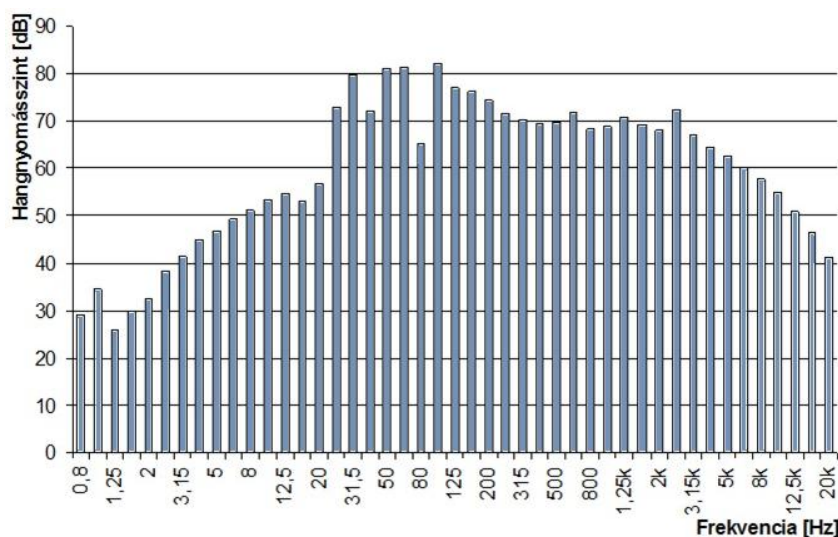
háttérterhelésében tapasztalataim szerint meghatározó tényezőként jelenik meg. Ennek alátámasztására foglaltam össze az 5.1. táblázatban a jelentősebb építőipari gépek környezetében műszeres méréssel kimutatott zajszint értékeket.

A méréseket az adott berendezéstől számított 5 m-es távolságban kijelölt terhelési pontban végeztem, mérési idő egy-egy alkalommal 15 perc volt.

Építőipari gép	Hangnyomásszint, L_{Aeq}
Univerzális földmunkagép	79 dB
Kanalas kotrógép	77 dB
Földgyalu	82 dB
Tömörítő gép	86 dB
Kézi daraboló gép (flex)	85 dB
Fúrógép	84 dB
Kompresszor	78 dB
Bob Cat rakodógép	71 dB
Homlokrakodó	84 dB
Hegesztő berendezés	64 dB
Autódaru	82 dB

5.1. táblázat Építőipari gépek mellett mért hangnyomásszintek (forrás: saját mérés)

Az építőipari zaj csökkentését célzó más technológia keresésére irányuló problémafelvetés kiindulási pontja, hogy több olyan építési területen merül fel a zajcsökkentés igénye, ahol a beépítettség, az épület jellege vagy a speciális építési technológia nem teszi lehetővé a hagyományos zajcsökkentési eljárások alkalmazását. Építési zaj hangnyomásszint-frekvencia értékeire mutat példát az 5.2. ábra, a mérési távolság 50 m.



5.2. ábra Építési zaj hangnyomásszint-frekvencia értékei 50 m-es távolságban (forrás: saját mérés)

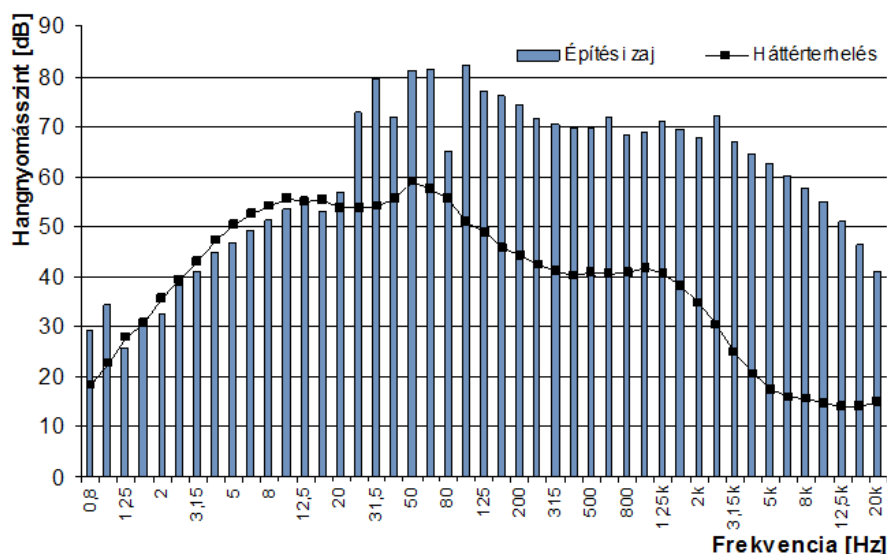
A különböző építési zajforrások működtetésénél a zajhatás és a tényleges zajterhelés megítélésében az egyedi hangnyomásszint értékek mellett meghatározó szerepet kap a zajforrások működési ideje is, illetve a zajos tevékenység időtartama. Tapasztalataim szerint a zavaró hatás és az esetleges határérték túllépés a legtöbb esetben annak köszönhető, hogy a zajos berendezések folyamatosan, vagy más zajforrásokkal összehasonlítva sokkal hosszabb időtartamban működnek egy-egy területen.

A műszaki zajcsökkentés, mint például a zajárnyékolás a helyigény vagy a munka- és tűzbiztonság miatt nem jelent megfelelő megoldást, az építőipari gépek egyedi zajcsökkentése ugyanakkor jelenleg még nem megoldott. Emellett számolni kell azzal is, hogy az építési tevékenység magas hangteljesítményszinttel működő gépek folyamatos működtetését, vagy zajos tevékenységek sorozatát jelenti, tehát a magas zajszintek mellett meghatározó még az időtényező is, azaz a zajforrások hosszabb működési ideje. A működési idő csökkentésére ugyanakkor nincs lehetőség, mert az építési technológia a legtöbb esetben ezt nem teszi lehetővé.

Összefoglalva, az építőiparban:

- a technológiából és a zajforrások jellegéből adódó hangnyomásszintek hatékony csökkentésére nincs lehetőség, illetve ehhez kevés eszköz áll rendelkezésre;
- a zajforrás működési ideje, illetve a technológiához tartozó zajesemény időtartama is nagymértékben befolyásolja a kialakuló zajterhelést;
- az építési technológiák és műveletek speciális jellege műszaki zajcsökkentésre kevésbé ad lehetőséget.

Az építési zaj és a háttérterhelés viszonyát mutatja az 5.3. ábra, ami nagyvárosi lakóterületen végzett méréseim eredményeit foglalja össze. Az 5.1. ábrához hasonlóan a zajterhelés és a háttérterhelés viszonyát most is a frekvencia-hangnyomásszint függvénnyel szemléltetem.



5.3. ábra Építési zaj és háttérterhelés összehasonlítása (forrás: saját mérés)

Az építési tevékenységtől származó zajterhelést az egyenértékű A-hangnyomásszintekre alapozva állapítjuk meg, ami tulajdonképpen egy helyettesítő érték, a zaj erősségén kívül a terhelés hatásidejét veszi figyelembe. Az 5.2. és 5.3. ábrákon is szemléltetett zajszint értékek felhasználásával a [43] szerint, az (5.1) számítási eljárással határozható meg a végeredmény, azaz a teljes hatásidőre vonatkozó zajterhelés.

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_m} \cdot \left(\sum_{i=1}^k t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{Aeqi}} \right) \right] \text{ [dB]} \quad (5.1)$$

ahol:

- T_m – a teljes mérési idő;
- t_i – egy zajforrás működésére vonatkozó mérés időtartama;
- L_{Aeqi} – egy zajforrás vagy egy mérési szakasz egyenértékű A-hangnyomásszintje.

Az L_{AM} megítélési zajszintet a vizsgált építési tevékenység részidőkre bontásával, majd a részidőkre megállapított A-hangnyomásszintek felhasználásával [43] szerint az (5.2) egyenlet alapján számoljuk. Ezzel lehetővé válik, hogy az összes zajforrást figyelembe vegyünk, ugyanakkor a működési idők szerint súlyozva kap szerepet egy-egy zajforrás az értékeléshez felhasznált megítélési zajszintben.

$$L_{AM} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_v} \cdot \left(\sum_{j=1}^n T_{v,j} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AMj}} \right) \right] \text{ [dB]} \quad (5.2)$$

ahol:

- $T_{v,j}$ – n darab vizsgálati részidő a zajforrások száma és működési rendje szerint [s];
- L_{AMj} – rész megítélési zajszint [dB];
- T_v – vonatkoztatási idő [s].

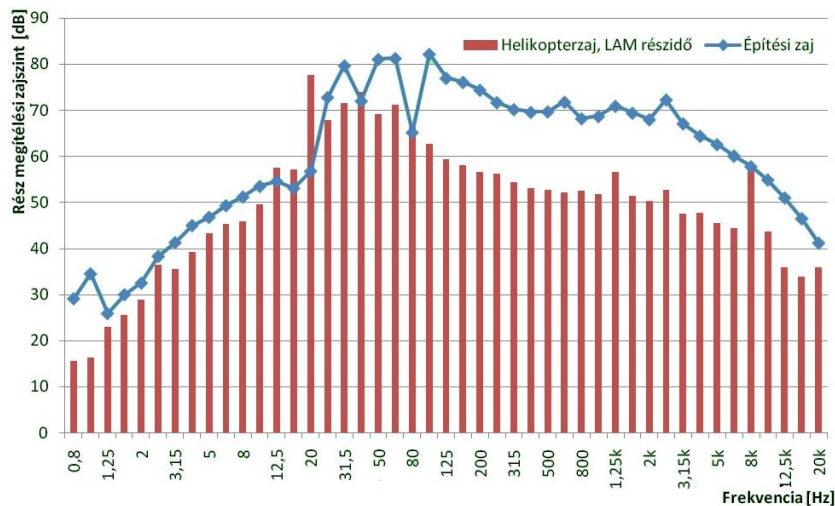
A zajforrások működtetéséből eredő zavaró hatásban a működési- és hatásidő meghatározó szerepe az (5.1) és (5.2) egyenletek alapján belátható.

Az építési zajok vizsgálata során a [113], [114], [115] publikációkban is közzé tett megállapítások alapján levont következtetésekre figyelemmel szükségszerű volt annak kutatása, hogy milyen más lehetőség kínálkozik az építési tevékenységek – tehát egy szükségszerű környezethasználat – környezetében kialakuló zajterhelés csökkentésére. Mivel a zajforrások jellemzői és működési körülményei, a tevékenység jellege és a technológia adottak voltak, egy-egy zajforrás rész megítélési zajszintjét vizsgáltam a továbbiakban. Az elemzés során megállapítottam, hogy a működési idők és az L_{Aeq} zajszint értékek befolyásolásával lehetséges hatékonyan módosítani a végeredményt, azaz az eredetileg magas zajterhelést csökkenteni.

Az (5.1) alapján az L_{Aeq} és a T_m értékét, valamint az (5.2) szerinti $T_{v,j}$ és n értékét változtattam ahhoz, hogy a kívánt zajcsökkentés kimutatható legyen. Ez a törekvés rámutatott arra, hogy

- keresni kell annak lehetőségét, milyen módon lehet az építési zajforrást és egy-egy lehatárolt zajos tevékenységet helyettesíteni más zajforrással ahhoz, hogy az (5.2) szerinti n és $T_{v,j}$, illetve $L_{AM,j}$ tényezők változzanak kedvező mértékben.

A gyakorlatban ez úgy érvényesíthető, hogy a zajosabb építési fázisok közül többet elhagyunk, az épületszerkezetet vagy a gépészeti egységet kész állapotban emeljük be a helyére. Külső helyszínen, lakott területektől távolabb összeállított épületszerkezet telepítéséhez kevesebb idő szükséges, illetve a szállításhoz és mozgatáshoz alkalmazott eszköz a kisebb rész megítélési zajszintek miatt az (5.2) szerinti megítélési zajszint csökkenését eredményezi. Ennek megvalósításához vizsgáltam az ipari helikopteres repülés zajhatását a továbbiakban. Az értékelésnél nyert vizsgálati adatokat, illetve a részidő hangnyomásszinteket az 5.4. ábrán foglaltam össze.



5.4. ábra Részidőre vonatkozó helikopterzaj értékek összevetése az építési zaj értékekkel (forrás: saját mérés)

Ha mégoly furcsa is, de a repülés közvetlenül és közvetve is gyakorol kedvező hatást a környezetre, hiszen létezik olyan eset, amikor szerepet kap a környezetterhelés csökkentésében, erre példa az ipari helikopteres repülés. Ezen a ponton ismételt a környezetvédelmi értékelési szint fogalmát hívom segítségül. Ugyanis a környezeti hatás értékelésénél a természetes környezet érdekeire is figyelemmel érdemes az eltérő szinteken kapott környezetterhelési adatokat összevetni, hogy az épített környezet védelme közvetve ne okozza a természetes környezet vagy a természet közeli területek károsodását.

A légi közlekedés önmagában is egy összetett közlekedési rendszer része, a működéséből eredő hatásokat az elsődleges értékeléshez ezen belül szükséges vizsgálni. A környezetben ugyanakkor számos zajforrás van, ami a repülési zajjal együtt érvényesül, a hangelfedés vagy az összegződő zajterhelés kialakul, így arra a következtetésre jutottam, hogy a 3.3. ábrán bemutatott zajvédelmi rendszerszemlélet keretei között a zajforrások helyettesíthetőségére kell törekedni. Tehát nem a zajforrás kiiktatása, részbeni vagy teljes korlátozása jelenti a megoldást a zajvédelemben, hanem a kisebb zajterheléssel működtethető technológiák működtetése és az ehhez kapcsolódó megoldások alkalmazása.

Nagyon könnyű kimondani, hogy egy tevékenység, így a repülés jelentős környezeti hatást okoz a környezeti zajterhelésből adódóan. A jelentős környezeti hatás egy olyan összetett és időben változó⁷ meghatározás, melynek számos tényezője van, illetve ezeket a tényezőket külön-külön, és együttesen is minősíteni szükséges.

Környezetbiztonság szempontjából kiemelem azt a tényt, hogy egy-egy repülési feladat kisebb mértékű beavatkozást jelent a környezet alapállapotába, amennyiben nincs tartós vagy végleges beavatkozás. Utak, vasút és azok kapcsolódó létesítményei ugyanis tartós⁸ változást jelentenek, számos esetben élőhelyeket vágnak ketté, ami a természeti értékkel rendelkező terület károsodását idézi elő, de az épített környezetre is hátrányos lehet a lakóterületek elzajosodása, jellegének megváltoztatása.

⁷ A környezet instacioner jellegéből adódóan.

⁸ Az eredeti környezeti állapot végleges megváltozása új állapot-tényezők kialakulásával.

A repülési feladat a leszállóhelyeket leszámítva nem jár a talaj terhelésével, területfoglalással és nem módosítja véglegesen az eredeti környezeti állapotot. A repüléssel összefüggő zajterhelés a feladat elvégzése és befejezése után teljes egészében megszűnik, tehát a kedvező környezeti állapot⁹ azonnal helyreáll. Ezt a szempontot azért tartom lényegesnek, mert tevékenységek megszűnésével a környezeti hatások közül egyedül a zajhelyzet változik olyan mértékben és módon, ami megfelel a kíméletes környezethasználat feltételeinek.

A különböző környezeti hatások jelentőségére vonatkozóan az alábbi eredményre jutottam:

- Repülés vonatkozásában a hulladékok káros hatásai elleni védelem, a talajvédelem, a felszíni és felszín alatti vízvédelem kezelhető kérdéskört jelent, itt találkozunk a legkevesebb konfliktussal.
- A levegő védelme, a zaj- és rezgés elleni védelem, ebből fakadóan a természetvédelem és az épített környezet védelme a rendszer, a kijelölt rendszerhatárok és az aktuális rendszerkörnyezet bizonytalanságai miatt bonyolult és nehezen kezelhető, konfliktusokkal terhelt problémakört alkot.

A környezetvédelmi szempontok lehatárolása a különböző események lehetséges kimeneteleire is befolyással van. Ebből a szempontból már azt is szükségesnek tartom vizsgálatba vonni, hogy a rendszergerjesztések mellett a környezet oldalán megjelenő gerjesztések milyen szerepet kapnak a környezetterhelés kialakulásában. Mindebből következik, hogy a környezetvédelmi és a környezetbiztonsági rendszerhatárok elfogadható kialakulásához a kíméletes környezethasználatra való törekvést előtérbe kell helyezni.

5.3. Környezetbiztonság és bizonytalanság összefüggése

A repülési tevékenység szempontjából meghatározó a környezetvédelmi és a környezetbiztonsági rendszerhatárok közötti összefüggés ismerete és ehhez kapcsolva a beavatkozási pont meghatározása. Kérdésként megfogalmazva: mikor és milyen mértékben avatkozunk be a folyamatba környezetbiztonsági okokból?

Amikor a repülésre irányadó környezetvédelmi előírás végrehajtása többletköltséggel jár, esetleg a repülési feladat végrehajtását nehezíti vagy jelentős korlátozást jelent, egyes esetekben egyéb repülésbiztonsági előírással ütközik, a végrehajtással érintett személyek a repülési feladatot sorolják a környezetvédelemből származtatott biztonsági kérdések elé. A döntés meghozatala a környezetterhelési adatokon kell, hogy alapuljon, ugyanakkor a repülésbiztonságot és a rendszerműködést is szem előtt tartva a különböző érdekek ütközését is mérlegelni kell a döntési folyamatok során, amihez szükségesnek tartom a környezetbiztonságot a bizonytalansággal együtt elemezni.

A beavatkozási ponton emberi döntésen vagy döntések sorozatán alapul a folyamat, az információk megléte vagy hiánya, az információáramlás és az adatok együttes kezelése a végrehajtásért felelős személyeknél kiemelt szerepet kap. Összességében a környezetbiztonság műszaki értelemben függ a képességtől, humán oldalon a rendelkezésre álló környezetterhelési

⁹ Az eredeti vagy a hatásviselők szempontjából elfogadott környezeti állapot.

adatok értelmezésétől. Ennek alapja a környezetbiztonság jellemzőinek helyes kezelése és az instacioner jelleg miatt a bizonytalanságból adódó hibalehetőség kiszűrése.

A biztonságot ugyanakkor nem lehet egyetlen mérőszámmal jellemezni. Mivel többféle veszélyes helyzet van, nem lehet egyféle biztonságról beszélni, ebből eredően a környezetbiztonság is egy többváltozós rendszert alkot. Kérdés, hogy a környezeti hatásokkal fémjelzett állapotot adott időpontban a repüléssel kapcsolatban mikor és mekkora terhelésnél lehet veszélyes állapotnak minősíteni? Ha választ szeretnénk erre a kérdésre, akkor meg kell oldani egy újabb problémát is, miszerint a környezetvédelmet és ezen belül a zaj elleni védelmet hol és milyen módon lehet a légi irányítás rendszerébe integrálni?

Ezért új megközelítésben tartom szükségesnek vizsgálni a repülési zajterhelés problémáját, a bekövetkezési alapú szabályozást helyezem előtérbe, a veszély- és kockázatelemzés a repülési eljárások környezetvédelmi értékelésének sarokpontja. Ezen a ponton fontosnak tartom rögzíteni, hogy a környezetterhelés:

- egyrészt a tényleges működésből ered;
- másrészt a működés feltételeinek megteremtéséből és fenntartásából ered;
- a teljes folyamat kihatással van a környezeti igénybevételre.

A környezetvédelmi rendszer leírása a környezeti hatások vizsgálatára, a rendszerelemek tulajdonságaira és a környezet jellemzői miatt folyamatosan változó rendszerhatárookra, azaz időfüggő rendszerre terjed ki. Ez nagyfokú és időben változó bizonytalanságot eredményez, ami kihatással van a környezetbiztonságra is. A környezetvédelmi rendszer, illetve a rendszerműködés szempontjából figyelembe vett rendszerkörnyezet ebben a megfogalmazásban nem azonos a környezetvédelmi vagy környezetbiztonsági szempontból lehatárolt környezettel. A rendszerkörnyezetet a rendszert övező tér olyan elemei alkotják, melyek leírása a hatások alapján, állapottényezőkkel lehetséges.

A rendszer értelmezésénél figyelemmel kell lenni egyrészt a rendszer állapotára, másrészt a rendszer–rendszerhatárok–rendszerkörnyezet kapcsolatára, illetve annak változásaira, amit a környezeti háttérterhelésre vonatkozó példák is alátámasztanak. Célkitűzés tehát az olyan összefüggések keresése és felállítása, melyek egységesen és dinamikusan követik a rendszer és környezete kapcsolatában bekövetkező változásokat, amire a rendszerhatárok vizsgálatán keresztül nyílik lehetőség.

A megfelelő környezeti állapot biztosítása érdekében olyan rendszerjellemzők alkalmazása szükséges, melyek a változások becslésére és prognosztizálására is alkalmasak, megfelelő adatot szolgáltatnak a környezeti bizonytalanság leírására. Egyfajta megoldás, amikor az átlagértékekhez rendelt követelményszinteket a bizonytalan rendszer bemeneti tényezőihez rendelt valószínűség-eloszlások alapján, tulajdonképpen véletlenszerűen kiválasztott értékekkel írjuk le, és ezzel adjuk meg a környezetvédelmi rendszer lehetséges válaszainak valószínűségi jellemzőit.

Emellett szerepet kap a rendszer működésének figyelése, az állapot-változás nyomon követése, azaz a környezetvédelmi törődés. A legtöbb esetben ugyanis a környezeti bizonytalanság szempontjából meghatározó a rendszerelemek működése, a paraméterekhez kapcsolt időkoordináta. Ez kiegészül az adott időpontban rögzített térbeli helyzettel. Összefoglalva, a kör-

nyezetvédelmi rendszer viselkedését a rendszer idő- és helykoordinátái alapján tartom célszerűnek vizsgálni, mert ezáltal lehet a környezeti bizonytalanságot csökkenteni.

A bizonytalanság értelmezésekor a bizonytalanság mellett feltétlen figyelembe kell venni a kockázat fogalmát is [51]. A kockázat tudományos vizsgálatára az [51] által rögzített megközelítésben jellemző, hogy közös vonásként jelenik meg a kockázat és a bizonytalanság összekapcsolása. Megfogalmazásában „a kockázat egy nemkívánatos esemény bekövetkezésének objektív bizonytalansága”.

A tudományos kutatók már az 1920-as években megkülönböztetik a kockázatot és a bizonytalanságot. Ekkor még a kérdéssel foglalkozó kutatók úgy vélték, hogy kockázatos az, ami ellen valamilyen módon lehet védekezni, mert ismertek a lehetséges kimenetek és azok valószínűségi eloszlásai. A bizonytalanság ellen nem lehet védekezni, mert a kimenetek valószínűségi eloszlása nem ismert [51].

A bizonytalanság eddigiekben bemutatott meghatározását strukturális bizonytalanságnak is szokás nevezni, ami azt jelenti, hogy a modell alkalmazásakor a döntéshozó nem tudja meghatározni vagy megbecsülni a lehetséges kimeneteket vagy alternatívákat. A bizonytalanság gyengébb formája az úgynevezett parametrikus bizonytalanság, ami akkor áll fenn, ha képesek vagyunk meghatározni minden lehetséges kimenetet, de azt nem tudjuk, hogy ezek közül melyik fog bekövetkezni.

Parametrikus bizonytalanság esetén a műszaki képesség – például a rendelkezésre álló műszaki megoldás, hatékony beavatkozási eszköz – határozza meg, hogy az adott környezeti hatás a környezetvédelmi rendszerhatárokon belül marad, vagy eléri a környezetbiztonsági küszöbértéket. A strukturális bizonytalanság rosszabb helyzetet teremt környezetbiztonság szempontjából, mivel a lehetséges kimenetek nem ismertek, így a környezeti hatás elleni védelemre való felkészülés is kockázatot rejt magában.

A kockázat és a bizonytalanság tekintetében rögzített megkülönböztetést – annak ellenére, hogy sokan vitatják még napjainkban is – mindenképpen nagy jelentőségűnek tartom a környezetbiztonság szempontjából, ez az értelmezés különbséget tesz a várható eredmények valószínűségi kimeneteihez rendelkezés tekintetében. Ezzel kerül rögzítésre azt is, hogy az ismeret hiánya vagy részleges birtoklásának döntő szerepe van a kockázat, illetve a bizonytalanság definiálásában [51].

Meghatározónak tartom környezetbiztonság esetében a várható eredmények becslését, hiszen a környezetvédelmi beavatkozásoknak a költség-, eredményesség és elfogadottság mellett számtalan ütközési pontja van a műszaki folyamattal és a repülésbiztonsággal. Nem tekintem kockázatosnak az adott környezetterhelési helyzetet, amennyiben van lehetőség a felkészülésre, vagy a terhelés csökkentésére, de a bizonytalanság kezelésében döntőnek tartom a rendszertulajdonságok ismeretét és valós értékeit.

A rendszergerjesztések és a belső jellemzők helyes feldolgozása biztosítja, hogy a rendszer valós tulajdonságai tükröződjenek az eredményekben [51]. Ebben a megfogalmazásban környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból egy lényeges feltétel rögzítését tartom meghatározónak, miszerint kritikus kérdés a megfelelő modell és a rendelkezésre álló adatok helyes feldolgozása. Kijelenthető, hogy a mérnöki gyakorlatban a rendelkezésre álló informá-

ció gyakran nem kellően megbízható vagy pontos, inkább pontatlan, félreérthető és szerepet kap a szubjektivitás. Kiemeli, hogy a megfigyelt, mért vagy tapasztalati úton nyert adatokat a környezet paramétereinek sztochasztikus változásai is befolyásolják.

Fenti megállapításokat a légi közlekedés környezetbiztonsági modellezésekor a vizsgálati eredményeim során nyert tapasztalatok alapján meghatározónak tekintem azzal a kiegészítéssel, hogy a környezetterhelési adatoknál a szubjektíven észlelhető és ezzel konzekvensen mért adatok az átlagértékek képzésekor és az egyszámos határértékekkel lesz pontatlan. Vagyis a kizárólag átlagértékeken alapuló modell sok esetben eltünteti a kimagasló vagy csúcs terhelési értékeket, aminek elsődleges oka a terhelési állapot instacioner jellege és a környezeti változók sztochasztikus állapota. A jelenséget egy általános kifejezés összegzi, ez a *bizonytalanság*.

A bizonytalanság elválaszthatatlan a modelltől, a gerjesztésektől és a modellparaméterektől, ezért meghatározónak tartom, hogy hol és milyen módon húzzuk meg a modell eredményeinek elfogadási szintjét [50]. Az eredmények elfogadási szintje kihatással van a környezetvédelmi és környezetbiztonsági rendszerhatárokra is, ezen keresztül a környezetbiztonság megítélésére.

A gyakorlatban a légi közlekedéssel kapcsolatban is számos, a várható környezeti hatás és a hatás megváltozásának jelenségében rejlő bizonytalanság miatt kockázatosnak ítélt esemény történhet meg. Amikor az esemény következménye megfigyelhető és mérhető, a várhatóan kialakuló környezeti hatás becslését korábban vagy referencia körülmények mellett rögzített adatok segítik, akkor objektív következményről beszélünk.

Másik véglet, amikor a döntéshozó személy ismereteitől vagy értékrendszerétől, illetve az adott helyzettől függ a következmény értéke, ekkor szubjektív következményről beszélünk. A környezeti hatás szubjektív megítélését erősen torzíthatja az átlagértékek alkalmazása, mivel a tényleges, pillanatnyi vagy egy-egy rövidebb eseményhez kötött terhelési érték hiánya nem ad a valós helyzet megértéséhez elegendő információt. Ez a tény ahhoz vezet, hogy az eseményt kockázatosnak ítélje meg a döntéshozó.

Környezetbiztonság vonatkozásában helyes döntéshez vezethet a megfigyelhető következmény értékének elfogadása, ebből következően a kockázat kezelését segítheti a relatív gyakoriság értékek alkalmazása. Ez kivethető a repüléssel összefüggésben a fellépő zajszintek bekövetkezési valószínűségére is, ami a forrásra és a hatásra is jellemző eredményt ad. Ebben a megközelítésben [51] alapján alkalmazom azt a megfogalmazást, miszerint a kockázatkezelés tudományos alapjai az alábbiakban összegezhető:

- a rendszer teljesítményéről és a hozzá kapcsolódó megfigyelhető értékekről való ismeretek leírhatók modellek, megfigyelt adatok és a szakértői vélemények alapján;
- a folyamatos bizonytalanságbecslés a valószínűségi szabályok vagy a fuzzy halmazok elméletének alkalmazásával lehetséges.

A környezetbiztonság bizonytalansága tehát a kockázatosnak ítélt események bekövetkezési valószínűségétől függ, a negatív értékelésű környezeti hatások fellépése és a hatások mértéke mellett befolyásoló tényező a hatás időtartama, az események száma, valamint a tartós

vagy átmeneti jellege. A környezetterhelés értékelését a kockázatkezelés főbb elvei alapján tartom elfogadhatónak, ami értelmezésében azt jelenti, hogy

- egyrészt a környezetvédelmi rendszer mennyiségileg kifejezett és modell útján bemutatott folyamatai kerüljenek a vizsgálat középpontjába;
- másrészt a megfigyelhető és a tényleges eseményekhez kötött értékek bekövetkezési valószínűsége is jellemezze a környezeti hatást.

Annak bizonytalansága, hogy mely értékek figyelhetők meg, valószínűségek átlagával fejezhető ki. Például a repülési zaj modelljébe szükségszerűen bekerül a hatásidő, mint a zajterhelés egyik tényezője. Ez kifejezi a fellépő zaj időtartamából eredő zavaró hatást, azonban az értékelési eljárás nemkívánatos eredménye, hogy a zajesemény idejénél hosszabbra választott megítélési idő ténylegesen észlelhető hangnyomásszint értékeknél kisebb, egyes esetekben jóval kisebb értéket ad. Ez félrevezető lehet, főleg akkor, amikor a modell eredményét számos hatásértékkel vetjük össze a környezetterhelés minősítéséhez. A kockázat becslése véleményem szerint ki kell, hogy egészüljön a nemkívánatos zajeseményszintek elemzésével, vagyis a ténylegesen kimutatható és fizikailag mérhető értékekkel olyan módon, hogy a repülési műveletek időbelisége mellett a zajeseményszintek bekövetkezési gyakoriságára is rendelkezésre álljon információ.

5.4. A környezeti hatás és a környezetbiztonság alapelve

A légi közlekedés alaphelyzetben olyan rendszert alkot, amit mindaddig, amíg a repülési tevékenységet vesszük górcső alá, viszonylagos pontossággal tudunk meghatározni. A probléma és a bizonytalanság akkor kezdődik, amikor a környezeti hatások miatti rendszerhatárok ciklikusan, folyamatosan vagy időszakonként eltérő mértékben változnak, vagyis a környezetből érkező, értékükben és időben is változó jelek hatására elveszik az egyértelmű rendszerhatár. Mit értünk a rendszerhatárból eredő bizonytalanságon?

A választ az alábbi felsorolással foglalom össze:

- a megfelelő, a tényleges környezeti hatásra jellemző adatokat használjuk fel a rendszerhatárok meghatározásához, ezek hiánya torz rendszerhatárt eredményezhet;
- az előírt határértékeknek hol, milyen területen és milyen időpontokban kell teljesülni, e nélkül nem lehetséges a rendszerhatár kijelölése;
- rögzíteni kell, hogy milyen szempontból határozzuk meg a környezetvédelmi követelményeket, az értékelési szintek mekkora szerepet kapnak az értékelésben, mit tekintünk védendőnek a környezeti hatással szemben;
- lokális vagy összefüggéseiben nagyobb kiterjedésű hatásról beszélünk;
- mekkora és milyen jellegű a környezet állapotában bekövetkező változás mértéke.

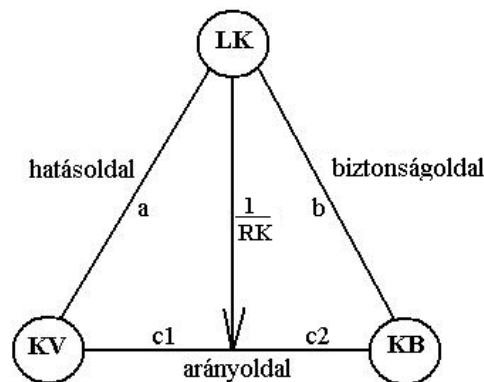
Fenti felsorolás alapján a rendszer és a környezet kapcsolatának fontos jellemzője, hogy a gerjesztő paraméterek bizonytalansága térben és időben is változó tényező, az adatok száma és pontossági foka így nagy jelentőséggel bír. Következmény, hogy a repülőtér és a légi forgalom magában hordozza a rendszerhatárok környezet jellemzőitől függő módosulását, a rendszergerjesztést önmagában nincs értelme vizsgálni. A környezet jellemzőitől függ a kör-

nyezeti hatás, változik a kimutathatósági szint, ezzel a rendszerhatár. Vizsgálataim során a repüléssel összefüggésben azért is emeltem ki a zajvédelem jelentőségét, mert erre a hatásra a környezet azonnal választ ad, a rendszergerjesztésekre a környezet rövid idő alatt reagál.

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 rendszerműködés és a környezeti hatások kezelése olyan szabályozást igényel, ami figyelembe veszi valamennyi, a működéssel és egyéb biztonsági feltétellel összefüggő tényező szerepét.

A szabályozás szerepének ismertetéséhez a környezeti hatás és környezetbiztonság alapelvét kiemelten kezeltem és az alábbi fejezetben rögzítem.

A légi közlekedés (LK), a lokális környezetvédelem (KV) és a környezetbiztonság (KB) mint három alaptényezőt a közöttük fennálló kapcsolat miatt egyenlő oldalú háromszög sarokpontjaként rögzítem. Közöttük a háromszög oldalai, mint hatásoldal, biztonságoldal és arányoldal adnak kapcsolatot, amit az 5.5. ábrán szemléltetek.



5.5. ábra Légi közlekedés környezetbiztonsági határháromszög modellje

Az egyenlő oldalú háromszög felvételével az LK sarokpontból az alapra húzott magassági egyenes az $\frac{1}{RK}$ értékével azonos, a repülési korlátozások mértékéből adódik, és értelemszerűen felezi a KV-KB sarokpontok közötti oldalt, ami legyen ebben az esetben a c1 és c2 részre osztott arányoldal.

Az LK csúcspontból húzott merőlegest $\frac{1}{RK}$ -vel, azaz a repülési korlátozások "reciprok" értékével jelölöm. Ennek oka, hogy a repülési korlátozások növekedésével a légiközlekedés lehetőségei csökkennek, azaz kevesebb vagy korlátozottabb lesz a repülés.

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 vettem fel – egyenlők és megegyeznek a c_1 és c_2 összegével, vagyis az arányoldal hosszával. A KV-LK hatásoldal így a környezeti hatás kiterjedését, a KB-LK biztonságoldal a környezetbiztonság mértékét jelenti.

Célkitűzés, hogy a környezeti hatások úgy csökkenjenek, hogy a repülést korlátozó tényezők ne növekedjenek jelentősen, vagyis az $\frac{1}{RK}$ érték lehetőség szerint változatlan maradjon, de ne csökkenjen. Ezzel a környezetbiztonság oldala növekszik.

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

Ez a feltétel is 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 kompromisszum feltétel (lásd a 4. fejezetet) teljesülését tükrözi.*

Amennyiben a háromszög alapoldala, ami ebben az esetben az arányoldal, és az $\frac{1}{RK}$ alkotta metszéspont a KV sarokpont felé mozdul el, az „a” jelű KV-LK hatásoldal kiterjedése csökken, azaz a környezeti hatás is kisebb lesz. Ebben az esetben a „b” jelű KB-LK biztonságoldal növekedésével környezetbiztonság szempontjából kedvezőbb helyzet alakul ki. Ennek feltétele az $\frac{1}{RK}$ változatlanul tartása, illetve az, hogy a repülési korlátozások ne növekedjenek jelentős mértékben.

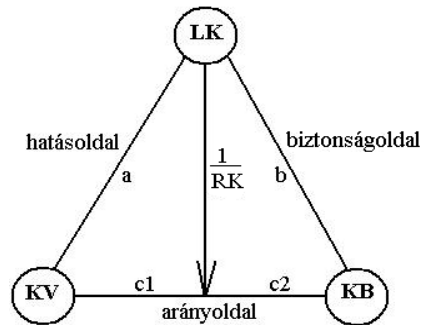
Amennyiben az arányoldal és az $\frac{1}{RK}$ alkotta metszéspont az RK érték változatlanul tartása mellett a KB sarokpont felé mozdul el, a KV-LK oldal kiterjedése növekszik, azaz a környezeti hatás is nagyobb értékű lesz. Ebben az esetben a KB-LK biztonságoldal kiterjedése csökken, vagyis a környezetbiztonsági helyzet romlik. Ebből is látható, hogy a környezeti hatás változásai összefüggésben vannak a környezetbiztonsággal. Mivel a környezetbiztonság megtartása a cél, a 4.5. ábrán szemléltetett, a „légi közlekedés 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 $\frac{1}{RK}$ érték csökkenésének is.

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

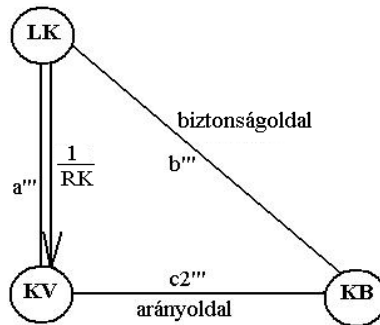
- megvalósíthatóság;
- bizonytalanság.

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.

A környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból kedvező és kedvezőtlen, illetve a legkedvezőbb és az arányos helyzetet az 5.6., 5.7., 5.8. és 5.9. ábrákon szemléltetem.

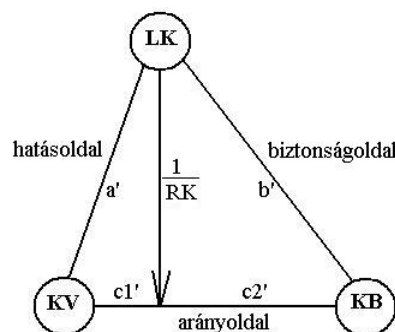


5.6. ábra Kompromisszum feltétel teljesülését tükröző környezetbiztonsági hatásháromszög modell

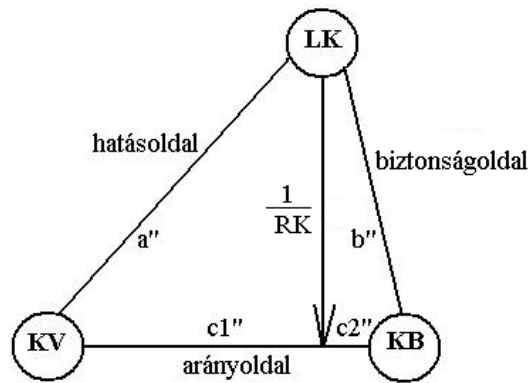


5.7. ábra Legkedvezőbb helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell

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 $\frac{1}{RK}$ 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.



5.8. ábra Kedvező helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell



5.9. ábra Kedvezőtlen helyzetet adó környezetbiztonsági hatásháromszög modell

Tehát megállapítható, hogy csak a KV-KB arányoldal c_1 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. Az 5.6., 5.7., 5.8. és 5.9. ábrán bemutatott eltérő helyzeteket az 5.2. táblázatban foglalom össze.

Ábra	Hatásoldal	Arányoldal	Minősítés
4.6.	$a = b$	$c_1 = c_2$	Kompromisszum feltétel
4.7.	$a''' = \frac{1}{RK} < b'''$	$c_1''' = 0, c_2''' \gg 0$	Kedvezőbb helyzet
4.8.	$a' < b'$	$c_1' < c_2'$	Kedvező helyzet
4.9.	$a'' > b''$	$c_1'' > c_2''$	Kedvezőtlen helyzet

5.2. táblázat Környezetbiztonsági hatásháromszög értelmezése

Ahhoz, hogy a c_1 és c_2 oldalpárok kedvező aránya kialakuljon, természetesen több szempontot is figyelembe kell venni, melyek a környezetterhelésre hatással vannak. Az 5.7. ábra szerinti helyzet egy szélsőséges állapotot tükröz, előfordulási gyakorisága kicsi.

A környezetbiztonsági háromszög modell számára nem elégséges a (3.1) összefüggéssel meghatározott átlagolt hangnyomásszint érték, ahogy nem lehet megfelelő más esetekben sem a hosszú idejű átlagoláson alapuló környezetterhelési adat sem. Olyan jellemző kutatását tartom szükségesnek, ami a ténylegesen fellépő környezeti hatással hozható közvetlen összefüggésbe a bekövetkezési lehetőségekre és valószínűségekre is tekintettel.

5.5. Következtetések, ajánlások

A kutatási munkám keretében elvégzett zajmérések eredményei és a mérési adatok alapján áttekintett lehetséges, környezetterhelést célzó beavatkozások, valamint az általam tanulmányozott szakirodalom alapján megállapítottam, hogy a környezetvédelem és a környezetbiztonság, illetve a repülésbiztonság közötti összhang olyan szabályozást igényel, ami figyelembe veszi valamennyi, a működéssel és egyéb biztonsági feltétellel összefüggő tényező szerepét. A szabályozást véleményem szerint a folyamat egészére ki kell terjeszteni.

A légi közlekedés – ezen belül a légi jármű üzemeltetés és a légi közlekedési létesítmény működtetés – abban az esetben felel meg teljes körűen a környezetbiztonság vonatkozásában megfogalmazott szempontoknak, amennyiben

- a környezeti hatásokkal kapcsolatos beavatkozások megvalósíthatósága, valamint a
- a környezeti hatások kezelése és a beavatkozások eredményének bizonytalansága

a repülésbiztonsággal szoros összefüggésben a vizsgálat és a döntések körébe kerül.

Ezek a szempontok az alábbi alapfeltétel rögzítését igénylik, amit a következőkben fogalmazok meg:

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 egy új módszer alkalmazását javaslom, melynek eredménye a **környezetbiztonsági háromszög modell**.

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

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.

6. MONTE-CARLO SZIMULÁCIÓ A KÖRNYEZETBIZTONSÁGI SZINT ELEMZÉSRE

Az eddigiekben leírtakból kitűnik, hogy a környezetvédelmi rendszer szempontjából jelentős szerep jut a rendszerállapotot befolyásoló vagy sok esetben meghatározó értékek változásainak, vagyis a változó paraméterértékeknek. A 3.3. ábrán összegzett, a zajterhelés kialakulását befolyásoló tényezők kapcsolatát bemutató logikai modell a kapcsolati hálóban létező összefüggések alapján igazolja a környezetvédelmi és a környezetbiztonsági rendszerhatárok kiterjedésének érzékenységet.

A helyzet bonyolultságát jelzi, hogy a változók kombinációjával csak korlátozott számú modell felállítása lehetséges. Ezért olyan módszert kerestem a légi közlekedéssel összefüggő zajhelyzet leírásához és a környezetbiztonsági háromszög modell felállításához, ami a modell bonyolultságát a követhetőség és az üzemeltetési folyamatokban való adaptálhatóság érdekében nem növeli a paraméterértékek változékonyságával, de az összes lehetséges kombináció vizsgálatát lehetővé teszi. A vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a kimenetek teljes eloszlása a Monte-Carlo-szimuláció segítségével elemezhető.

Jelen fejezetben a környezetbiztonság, valamint azzal összefüggésben a környezetterhelési folyamatok bizonytalanságának elemzését mutatom be a helikopteres repülés következtében fellépő zajterhelés aspektusából. Az elemzés része a Monte-Carlo szimuláció alkalmazhatóságának vizsgálata a felvetett probléma megoldásához.

6.1. Környezetvédelmi helyzetértékelés

A környezetvédelmi rendszert számos belső és külső tényező befolyásolja, ezek együttes figyelembevétele a modell felállítását tekintve összetett feladatot jelent egy-egy repülési feladat környezeti hatásainak elemzésékor. A környezetvédelmi helyzetértékelést ugyanakkor torzítja, ha valamely okból kiválasztott, egyetlen terhelési tényező részletes elemzése adja a környezeti állapot minősítését, miközben más jellemzők vizsgálata a környezetre gyakorolt hatás ellenére háttérbe szorul.

Ez a megállapítás vonatkozik az átlagértékek képzésére és az úgynevezett egyadatos határértékek alkalmazására is, mivel a végeredményként alkalmazott egyszámos helyettesítő adat önmagában nem képvisel teljes értékű jellemzőt a környezetterhelési folyamatok vonatkozásában, illetve a környezetvédelmi rendszer lényegi elemei vesznek el a vizsgálatoknál, ahogy ezt [86] és [112] publikációimban kifejtettem.

A repülés környezeti hatásainak kezelése a fellelhető bizonytalanságból eredően nehezen oldható meg, így egy-egy környezeti állapot állandósult vitás helyzetet eredményezhet a környezethasználók és a védelmet igénylők között. Az ilyen vitás helyzetet műszaki szempontból nem lehet kezelni. Ennek alátámasztására a kutatási munkám keretében nyert helikopteres zajmérési adatokra figyelemmel emelem ki, hogy a zajhatásokat leíró paramétereknél a zavaró hatás kétféle módon jelentkezik.

A zavaró hatás kialakulása egyrészt a repülés műveleti zaja, másrészt a zaj időbelisége miatt fellépő sztochasztikus jelleg következménye, ami egyben a zaj időkitöltésével, azaz a csendes és zajos időszakok arányával összefüggésben az észlelés oldalán a folyamat jellemzőinek bizonytalanságára irányítja rá a figyelmet.

A vizsgálataim alapján az általam tett megállapításokat az egyedi zajesemények szabályozása vonatkozásában megerősítik hasonló vizsgálatsorozat eredményein alapuló vélemények [15]. Ezért fontosnak tartom, hogy a rendszer elemzését követő esetleges szabályozás a repülési műveletek időbeliségére, abból adódó jellegére és a bekövetkezési gyakoriságra is ki legyen terjesztve. Emellett a mért és észlelt zajjellemzőket a kibocsátási és a hangterjedési viszonyok – ez már a rendszerkörnyezetből adódik, amire nincs rendszeroldalról ráhatás – olyan mértékben és jelleggel befolyásolják, ami egyértelműen a sztochasztikus jellemző jelentőségére mutat rá.

Ennek a kérdésnek – környezeti hatás bizonytalansága – a felvetése azonban nem új keletű észrevétel. A sugárhajtóműves utasszállító repülőgépek zajszint alakulásának és meghatározásának bizonytalanságát *SOBOR* és *DOMOKOS* [62] már korábban felvetette kutatási munkája során. Szerzők valószínűség-számítási elemzés segítségével mutatták be, hogy az egyenértékű zajhatás változása valamely terhelési pontban – az útvonaltól való távolság függvényében – annak időbeni lefolyásától, valamint az útvonal szórásától függ ugyan, de független marad az eloszlás típusától.

A bizonytalanság mellett a repülőterek környezetkímélő üzemeltetésének lehetőségeit és a zajövezetek kijelölésének szabályaira is kitér a [62] közleményben bemutatott kutatás annak elemzésével, hogy a jelenleg széles körű számítási módszerek tartalmaznak olyan összetevőt, ami a zajforrás és a zaj terjedésének jellemzőit hivatott kezelni, de az észlelt hangnyomásszintek és a határértékekkel összevetett mutatószámok között még így is jelentős eltérések mutatkoznak. Rámutatnak ugyanakkor arra is, hogy már a minősítéshez ismerni kell több meghatározó adatot, úgymint a pályagörbéket, a repülési profilt, a légköri hangcsillapítás értékét, a terep hangterjedést befolyásoló hatását. Az adatok bizonytalanságára és a környezeti jellemzők ilyen irányú hatására ugyanakkor nem tér a tanulmány.

Nem elég tehát megismerni a légi járművet, mint zajforrást, a környezetében fellépő és a rendszerkörnyezet tulajdonságaiból adódó azon jellemzőket is figyelembe kell venni a folyamatok leírása során, melyek a hangterjedésre hatással vannak. Ezek a tényezők azonban folyamatosan változnak, mint például a légköri inverziós hatás, ami akár napról-napra vagy óráról-órára módosulhat a környezeti állapot tényezők függvényében. Emiatt a hangterjedési viszonyok is jelentősen módosulhatnak, mialatt ezekre a folyamatokra nincs rendszeroldali ráhatás, becslésük is nehézkes, illetve bizonytalan [77].

Ebből az aspektusból megközelítve a környezetvédelem kérdéskörét, arra a következtetésre jutottam, hogy a repülési zaj megítélésében a bizonytalanság kezelése és folyamatokba való beépítése központi szerepet kell, hogy kapjon. Ez a megközelítés feltételezi egyben azt is, hogy a környezetterhelési folyamatokban szerepet játszó események lehetséges kimeneteit és azok valószínűségeinek szimulációját kell megoldani, miáltal a végeredményként nyert információ – például a környezetvédelmi rendszer zaj adata – a szélsőértékek és a terhelés időbeliségének leírására, a beavatkozási pontok és lehetőségek, valamint azok következményeinek értékeléséhez felhasználható lesz. Kiegészítő szerep jut a véletlen események sorozatának, ami az üzemeltetési folyamatokkal és a környezeti állapot tényezőkkel egyaránt összefügg, a környezetvédelmi problémakört tekintve ugyanakkor a környezetterhelési adat formájában megjelenő változások kezeléséhez elengedhetetlen tényező.

6.2. A Monte-Carlo szimuláció

A Monte-Carlo szimuláció lényegét [51], valamint [52] alapján fogalmazom meg, miszerint Monte-Carlo módszernek nevezzük a matematikai modellek megoldásának véletlen mennyiségek modellezését felhasználó numerikus módszereit, és azok jellemzőinek statisztikus értékelését. A környezeti zaj vonatkozásában ezzel a módszerrel újszerű megközelítést kívánok adni a zaj értékelési folyamatának.

A Monte-Carlo módszert először statisztikai problémák megoldására alkalmazták a kutatók a XX. század elején. Lényegi áttörést jelentett, amikor a módszert atommag reakciókra vonatkozó matematikai feladatok megoldására használta fel a *Neumann János*, *E. Fermi* és *S. Ulam* által alkotott kutatócsoport. Az általuk alkalmazott megoldás egyben a Monte-Carlo szimuláció fejlődésére is meghatározó volt. A módszert jelenleg már széles körben alkalmazzák különböző események lehetséges kimeneteleinek és az események valószínűségeinek szimulációjára, amikor a rendszert gerjesztő paraméterek valamilyen mértékű parametrikus bizonytalansággal bírnak.

A Monte-Carlo szimulációval kapcsolatban jelentős számú elméleti és gyakorlati irodalom lelhető fel. Ezek közül kiemelem *Rubinstein* [54], *NEWMAN* and *BARKEMA* [46] és *BINDER* and *HEERMANN* [11] által leírtakat. A Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával *АЛЕКСАНДРОВ* és *СТЕПАНОВ* [70], valamint *ЕРМАКОВ* [73] végzett kiterjedt kutatásokat számítógépes és matematikai vonatkozásban. Kutatásaik lényege, hogy az egyes bizonytalan gerjesztésekhez rendelt valószínűség-eloszlás alapján véletlenszerűen választottak ki értékeket, amelyeket a szimulációs vizsgálat egy-egy kísérletében használtak fel.

Mivel a parametrikus bizonytalanság a környezeti hatások észlelési folyamatában is jelen van, igényként merül fel egy olyan módszer alkalmazása, ami képes kezelni ezt a problémát. Így jutottam arra a következtetésre, hogy a környezeti hatás leírásához alkalmazzam a Monte-Carlo szimulációt. Lényeges szempont, hogy a kibocsátó forrás jellemzői mellett, a környezet mindenkori állapota, vagyis a terjedési- és a terhelési állapotot meghatározó fizikai, légköri és környezeti jellemzők bírnak leginkább parametrikus bizonytalansággal.

A módszer az elnevezést – lényegében *Neumann János* nevezte így el – a leginkább a szerencsejátékokról és a kaszinókról ismert nagyvárosról, Monte-Carlóról kapta, ahol a játékkaszinóhoz kapcsolódó eredmények elsősorban a véletlen számok alakulásától függenek, tehát az eredményeket a játék számainak összességéből választhatjuk. A módszer alkalmas a sok számítást igénylő sztochasztikus szimulációkra, ami növeli a felhasználásának lehetőségeit és egyben szükségességét is, illetve a műszaki és környezetvédelmi problémák megoldásában is segítséget nyújthat.

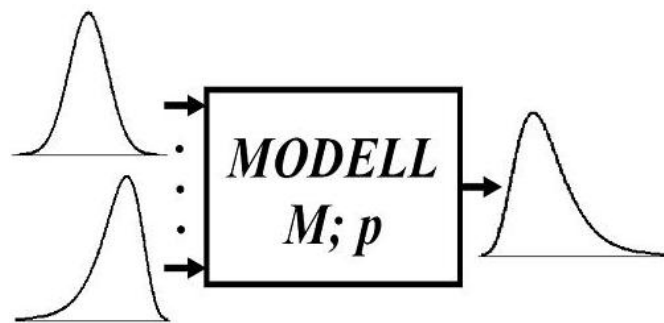
Ezt a gondolatmenetet követve vizsgálataimhoz a következő kérdéseket tettem fel:

- Milyen típusú eloszlással, és mértékű bizonytalansággal bír a keletkező zajterhelés?
- Vajon mennyi annak a valószínűsége, hogy egy légi jármű működésétől származó zaj az időben eltérő repülési műveleti jellemzőkre, az időszakonként változó környezeti jellemzőkre és ebből adódó hangterjedési viszonyokra és instacioner állapotokra is figyelemmel egy kiválasztott és elsődlegesen kimutatott vagy elfogadható zajterhelés érték közelében állandósuljon?

A Monte-Carlo módszer legnagyobb előnye, hogy nincs szükség a sokszor igen bonyolult analitikus vagy numerikus módszerekkel történő modellalkotáásra. „Csupán” véletlen számok gyors és hatékony generálásával válaszolhatók meg a feltett kérdések. Amennyiben ezeket a véletlen számokat mérési eredményekre alapozzuk, a véletlen események bekövetkezési gyakoriságára is adatokat kapunk.

Ez olyan előny a repülési zajterhelés és a környezeti adottságok közötti összefüggések elemzésében, ami véleményem szerint az egyéb számítási eljárásokat bizonytalanság szempontjából hatékonyan egészíti ki. Ennek a bizonytalanságnak a kezelése a hangterjedést befolyásoló számos tényező esetén meghatározó szerephez jut, hiszen az eddigiekben elmondottakat tekintve ezek becslése nehéz vagy nem lehetséges.

Fentiekből következik, hogy a mintavételezést sokszor elvégezve, a kapott eredményeket a bizonytalan tényezők figyelembevételével meghatározhatjuk, ezáltal már becsülhetjük a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásait. Ez a mintavételezés tartalmazza az adott, illetve a vizsgált környezettel összefüggő állapot tényezőket, az értékek gyakorisága alapján a leggyakrabban előforduló helyzetekre adatot szolgáltat. Ez természetesen sok mérést jelent, de a mérési eredmények kiterjednek a környezeti állapot időfejlődésére is. A Monte-Carlo szimuláció vázlatát az eddigiekben elmondottak alapján a 6.1. ábrán látható.

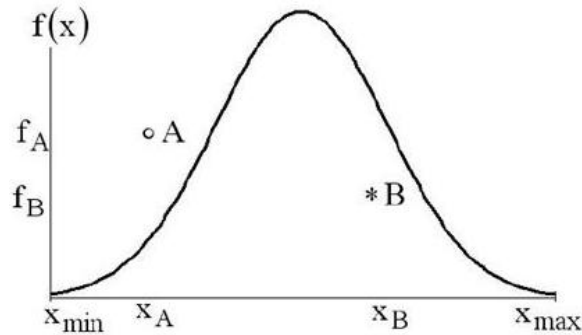


6.1. ábra Monte-Carlo-szimuláció vázlat (forrás: [51])

Ha egy fizikai rendszer viselkedésében, időfejlődésében a véletlenszerűségnek domináns szerepe van, akkor a rendszert sztochasztikusnak tekintjük. Ebből adódóan a Monte-Carlo módszer alap feladata a véletlenszerűség számítógépes megvalósítása, amit véletlen számok, mint bemenő adatok generálásával érhetünk el. Célszerű, ha a véletlen számok a környezeti jellemzők bizonytalanságaival összefüggő terhelési adatokkal egyeznek meg, tehát olyan zajszint adatokat állítunk elő, melyek a bizonytalanságból eredő véletlenszerű kiterjedéssel fedik le a lehetséges rendszerhatárokkal kijelölt környezetvédelmi rendszerünket.

A bemenő jellemzők értékeit – ami nagyszámú mérési adatot jelent – fentiek szerint a környezetértékelési tapasztalatok, valamint zajmérési eredmények statisztikai kiértékelésének alapján generáljuk, tartalmazza valamennyi, az adott üzemeltetési körülmények mellett fellépő zajszintet. Ehhez a Neumann-féle dob-elvet (hit and miss), vagy más néven a kiszorításos módszert célszerű használni, amit a 6.2. ábrán szemléltetünk [52] alapján.

A kiszorításos eljárás lényege a következő: az egyenletes eloszlású véletlenszám-generátor – ezzel minden programnyelv rendelkezik – felhasználásával kiválasztunk a gerjesztési tartományon belül egy x értéket, majd ehhez hozzá rendelünk egy y_x véletlen értéket.



6.2. ábra Kiszorításos véletlen szám generálás szemléltetése (forrás: [52])

Az előre meghatározott sűrűség függvény alapján döntünk a generált x számról:

- ha $y_x > f(x)$, „elvetjük” az adott x értéket (lásd A pont a 6.2. ábrán);
- ha $y_x < f(x)$, „megtartjuk” és a szimuláció során, mint input érték alkalmazzuk az adott x értéket (lásd B pont a 6.2. ábrán).

A modellt a fenti módon kiválasztott kiinduló adatokkal lefuttatjuk, majd a mintavételezést kellően sokszor elvégezve a kapott eredményeket – a vizsgálati cél alapján –, például statisztikailag kiértékeljük. Ezáltal meghatározhatóak lesznek a várható rendszerválaszok valószínűségi eloszlásai, vagy azok lehetséges minimum, illetve maximum értékei.

A módszer egyik hátránya, hogy a pontos elemzés elvégzéséhez sokszor kell lefuttatni a szimulációs programot. A másik nagy kérdés a szimulációs eljárás alkalmazásakor „kellően sok” gerjesztés számának meghatározása. Erre a legtöbb esetben csak eset specifikus választ tudunk adni.

Az általam alkalmazott elemzésnél a Monte-Carlo szimuláció egy olyan matematikai eszköz, amely determinisztikus véletlen események sorozatával alkalmas a felvetett környezeti probléma – környezetvédelmi rendszer és a rendszerkörnyezet bizonytalanságaiból adódó instacioneritás – megoldására. Másképp leírva, a Monte-Carlo szimuláción a sztochasztikus szimulációs módszerek összességét értjük, ami széles körben alkalmas a különböző események lehetséges kimeneteleinek és azok valószínűségeinek szimulációjára [52].

Célkitűzésem a légi közlekedés környezetvédelmi rendszer elemzésekor egy olyan Monte-Carlo szimulációs elemzési módszer kidolgozása, ami alkalmas a légiközlekedés zajkibocsátásának előre jelzésére, illetve a repülésből eredő zajhatásokban fellelhető bizonytalanság elemzésére. A folyamat lényege a rögzített minták alapján a lehetséges kimenetek meghatározása, ami iránymutatást ad arra vonatkozóan, hogy a környezetvédelmi rendszerhatár milyen értékeket vehet fel.

Mivel a Monte-Carlo szimuláció során véletlenszerűen bekövetkező eseményekkel – ami esetünkben megfelel egy-egy zajterhelési állapotnak – veszünk mintát a rendszerkörnyezet pontjai közül, így különböző állapotú mikro rendszerek sokaságát állítjuk elő. Ezzel felváltjuk az időben változó rendszert és a folyamatos elemzés igénye helyett az előforduló eseményekkel jellemezzük a környezeti terhelés lehetséges szintjeit.

A célkitűzésben megfogalmazott elemzési módszert a következő metodika szerint használtam:

- modell felállítása, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_q)$;
- random számok generálása input adatnak, ami megfelel a különböző zajszint értékeknek, $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq}$;
- modell kiértékelése, az eredmény eltárolása y_i -ben;
- a bemeneti adatok generálása és az értékelés megismétlése N -szer;
- eredmények kiértékelése hisztogram és összesítő statisztika segítségével.

A Monte-Carlo szimulációval a kockázati események bekövetkezését is szimulálhatjuk, vagyis a kockázatos környezetterheléssel egyenértékű magas vagy már nem kívánatos zajszint értékek előfordulását figyelembe lehet venni. Ha egy ilyen típusú kockázat előfordulása csökkenthető, akkor ez is beépíthető a szimulációba. Ennek jelentősége azért lehet meghatározó, mert a kockázat csökkentése gyakran valamilyen költségráfordítással vagy a repülési tevékenység korlátozásával jár. Mivel az elemzés keretében megadhatjuk, hogy egy adott kockázat – vagyis egy túl magas zajszint érték kialakulása – milyen valószínűséggel következik be, a bizonytalan tényezők kezelése is kedvezőbb lesz.

A szimulációval lehetőség nyílik annak vizsgálatára is, hogy a repülési tevékenységgel, illetve a repülési feladat-sorozattal összefüggésben a rendszerkörnyezet a zajterhelést tekintve mennyire érzékeny az egyes kockázatokra. A zajmérési adatok felhasználásával a bekövetkezett események függvényében újra lehet számolni a környezetterhelési értékeket.

A Monte-Carlo szimuláció ugyanakkor alkalmas az összetett peremfeltételek vizsgálatára is, ami a repülési zaj esetében a beavatkozások következményeit tekintve meghatározó lehet. Ha nem érünk el kimutatható eredményt egy adott intézkedéssel, nincs értelme a repülést egyéb szempontból befolyásolni.

Az alap gondolat tehát az, hogy egy olyan speciális elemekből felépülő struktúrát, mint a repülés környezetvédelmi rendszere, nem lehet pontosan és minden időpontban azonos tulajdonságokkal megkonstruálni, de véletlenszerűen választva a lehetséges legnagyobb zajszintekből a kívánt tulajdonság nagy valószínűséggel teljesülni fog.

6.3. A vizsgált környezeti hatás és modellalkotás

A légi közlekedés a jellemzőit és a sajátosságait tekintve olyan rendszert alkot, mellyel összefüggésben keletkező és vele összefüggő környezeti igénybevételt csak viszonylagos pontossággal tudjuk meghatározni. E tekintetben a tényleges mérés pontos terhelési adatot szolgáltat, de a környezeti körülmények, vagy a repülési tevékenység kismértékű változása is módosíthatja a környezeti hatás jellemzőit, ami azt eredményezi, hogy a méréseket többször is meg kellene ismételni.

A helikopter leszállóhelyek létesítésével és működtetésével összefüggésben a zaj kezelése kapja az elsődleges szerepet, mivel a környezeti zajhatás jellemzőit és az általa a környezetben kiváltott reakciókat tekintve a helikopter leszállóhelyeket a fellépő zajterheléssel párosítják az érintettek mind az üzemeltetés, mind az észlelés oldalán.

Egyéb hatás, például jelentős vagy kimutatható levegőterhelés, földtani közeg szennyezése, hulladékok keletkezése a legtöbb esetben nem jelent megoldásra váró feladatot. Ennek

oka, hogy ezek a hatások a legtöbb esetben – összehasonlítva más közlekedési ágazatok környezeti hatásaival – pozitív jelentőségűek, vagy az összegzett hatás mértékét tekintve nem minősülnek jelentősnek, kimutathatónak.

A *zaj megmarad*, ami ugyanakkor állandósult problémát jelent, mikor a repülésről beszélünk. Nem csoda tehát, hogy a kezelésére elterjedt megoldásokkal kapcsolatban is számos kérdés fogalmazódik meg. Első és leginkább meghatározó kérdés a zajterhelés értékelésére alkalmazott vizsgálati eljárással függ össze. A repülési zajterhelést a jelenleg alkalmazott előírásokat követve [2], [40] és [41] alapján a (3.1) egyenlettel határozzuk meg.

A (3.1) egyenlet olyan vizsgálati módszert rögzít a mérésre és az értékelésre vonatkozó szabályokkal, ami a repülési zaj kialakulásának meghatározó elemeit tartalmazza, de csak általános értelemben öleli fel a zajproblémát és annak kezelését. Ez az általánosítás ugyanakkor értelemszerűen nem terjed ki minden élethelyzetre és számos, az átlagostól eltérő körülményt figyelmen kívül hagy. Ilyen körülmény például a zaj terjedését befolyásoló környezeti állapotjellemzők változása és instacioner jellege.

Fenti probléma miatt vizsgáltam annak lehetőségét, hogy a repülési zajterhelés meghatározásánál a bizonytalanság miatt az egyéb tényezők beépítése a vizsgálati módszer folyamatába a (3.1) összefüggés felhasználásával milyen eredményre vezet. Ehhez [10] és [14] alapján a (6.1) egyenlettel leírt modellt alkalmaztam.

$$L_{AM, re} = 10 \cdot \lg \frac{\tau_{ref}}{T_M} \sum_{j=1}^M 10^{0,1 \cdot L'_{AX,j}} [dB] \quad (6.1)$$

ahol:

$L_{AM, re}$ – repülésből származó mértékadó A-hangnyomásszint [dB];

τ_{ref} – 1 s;

T_M – megítélési idő [s];

M – repülési műveletek száma $j=1$ művelettől az M -edik műveletig [-];

$L'_{AX,j}$ – repülési zajesemény szint a j -edik műveletre [dB].

A (3.1) és (6.1) összefüggések közötti különbség a műveleti zajszint és a repülési művelet összekapcsolásából adódik. Tehát amíg (3.1) összefüggés az átlagos, minden repülési zajeseményt lefedő zajértéket veszi figyelembe a repülési műveletek számával felszorozva, a (6.1) összefüggés a zajesemény és az okozott zajszintek összekapcsolásával ad végeredményt. Ekkor minden repülési művelet párosítva van egy rá jellemző zajszint értékkel az átlagolás pedig később, a megítélési idő vonatkozásában történik meg. A megítélési idő megválasztása alapvetően befolyásolja a végeredményt.

Természetesen a (6.1) összefüggéssel leírt modell sok mérés elvégzését igényelte, melyek során a műveletekhez tartozó zajesemény szinteket határoztam meg.

A (3.1) és (6.1) összefüggésekhez egy kiválasztott terhelési pontra vonatkoztatva az egyes repülési műveletek L_{AX} és $L_{AX,j}$ zajesemény szintjét a (6.2) egyenlettel számoltam.

$$L_{AX,j} = L_{Aeq,i} + 10 \cdot \lg \frac{\tau_i}{\tau_{ref}} [dB] \quad (6.2)$$

ahol:

$L_{Aeq,i}$ – mért egyenértékű A-hangnyomásszint [dB];

τ_{ref} – 1 s normalizálási idő;

τ_i – az $L_{Aeq,i}$ érték mérési ideje [s].

A (3.1) és (6.1) összefüggések alapján több következtetést is levonhatunk, ami meghatározza a környezetvédelmi rendszer állapotát. A repülési zaj csökkentése és egy kedvezőbb zajállapot elérése céljából a (3.1) alapján azonnal adódik az a lehetőség, ami az M értékkel jelzett forgalmat veszi górcső alá. Másik lehetőség a T_M megítélési idő és a τ mérési idővel figyelembe vett hatásidő befolyásolása azokban az esetekben, amikor a repülési feladat ezt lehetővé teszi. Így a (3.1) és (6.1) egyenlettel leírt két modell részletesebb áttekintését ezen a ponton meghatározónak tartom, mivel a repülési feladatokhoz kapcsolt zajszintek közötti különbségek – ami egymást követő repülési eseményeknél a kisebb vagy a nagyobb zajszintekből adódik – nyújthatnak segítséget a megoldáshoz.

A repülési zajproblémák megítélésében kiemelt tényező az M érték, ami a repülési műveletszámot adja, a (3.1) összefüggésben mint szorzótényező szerepel. Tapasztalataim szerint a repülési zajproblémák megoldására a legtöbbször – az egyedi zajesemények zavaró hatását tekintve helytelenül – alkalmazott megoldás az M értékének csökkentése. A műveletszám korlátozása sok esetben a repülés ellehetetlenítését eredményezi, de az alacsony M érték a repüléssel megvalósítani kívánt feladat elvégzését is veszélyeztetheti. Ezért nem lehet minden esetben a műveletszám módosításával biztosítani a környezetterhelés mértékét.

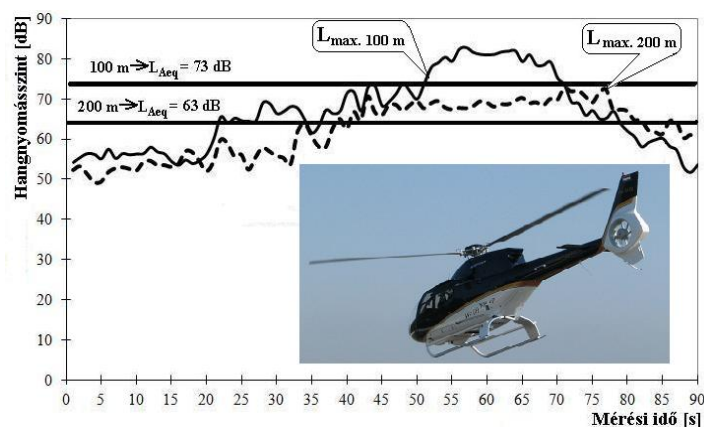
A *zaj időkitöltési szerepe* a műveletszám mellett ugyanakkor háttérbe szorul, aminek legfőbb oka, hogy a (3.1) és (6.1) eljárások szerint a mért és számolt zajszint értékeket a T_M megítélési időre vonatkoztatjuk. Ez Magyarországon jelenleg az [1] és [5] alapján rögzített érték, tehát egy olyan széles körben elfogadott adat, amit közmegállapodással fogadtak el, nappal 16 óra, éjjel 8 óra.

Ebből fakadó probléma, hogy amikor egy rövidebb – összességében például 0,5-1,0 óra – zajeseményt vonatkoztatunk a $T_M = 16$ óra időtartamra, akkor az észlelt és esetenként magas hangnyomásszint értékek eltűnnek, illetve elmosódnak, a végeredmény így nem tükrözi a repülési eseményekhez tartozó valóságos helyzetet. Ez sok esetben vezet a zavaráshoz kötött zajterhelés téves megítéléséhez, hiszen a 16 óra vagy 8 óra időtartamra viszonylag kevés számú zajesemény, így rövid idejű egyenértékű zajszint jut. A megoldás ezzel szemben a repülési feladatok időtartamával legalább megegyező, de a repülési események időfejlődését tükröző megítélési idő választása.

A hatásidő változása az L_{Aeq} értékkel bemutatott zajhatást közvetlenül befolyásolja, összefüggésben van a környezet alapállapotával, például a – magasabb vagy az alacsonyabb háttérterhelés révén – a zaj terjedésével és a műveleti jellemzőkkel. Ezeknek a jellemzőknek a minden igényt kielégítő és valamennyi helyzetre valós eredményeket adó modellbe való beépítése a bonyolultságát tekintve nehezen oldható meg, a környezetterhelés szempontjából a követhetőség nem biztosított. Az eredmény ugyanakkor olyan adatmennyiség, ami a zaj kezelését már zavarossá teszi. A hatásidővel összefüggésben kap jelentőséget az L_{Aeq} érték mérési ideje. A mérésnél minden esetben az alapzajra vagy a vizsgált terület állapotát tekintve a háttérterhe-

lésre kell kiemelt figyelmet fordítani. A mért értékkel összefüggő kezdeti mérési időpont a repülési zaj alapzajból való kiemelkedésének időpontja, a mérési idő végpontja pedig a repülési zaj alapzajban való elfedési időpontja.

Tehát a repülési zaj mérési ideje az alapterheléstől, vagyis a vizsgált területen jelen lévő egyéb zajforrások – ide értve valamennyi, nemcsak a közlekedési vagy a repülési zajforrásokat – működésétől függ. A mérési időtartamban így a vizsgált terület is időszak függvényében jelentős különbségek adódhatnak, ami a zajeseményszintek értékeiben jelentős különbözőséget eredményez. A méréssel kimutatott pillanatnyi hangnyomásszint értékek és a mérési időben meghatározott egyenértékű hangnyomásszint értékek között kimutatható különbségeket szemléltetem a 6.3. ábrán.



6.3. ábra Helikopter átrepülés hangnyomásszint-idő függvénye (Saját mérés és fotó)

A 6.3. ábrán bemutatott vizsgálati eredmény egy talajszinten rögzített fix terhelési pont felett 100 m-en, majd 200 m-en történt átrepülés zajszint-idő függvénye. Jól látszik, hogy a pillanatnyi értékek is folyamatosan változó jellegűt vesznek fel, amit az időben még, vagy már távolabb lévő zajforrás esetén is megtartanak. A grafikon alapján látható az is, hogy rövid átlagolási idő esetén már határozottan mutatkozik az egyenértékű átlagolt zajszintek és a legnagyobb ($L_{max.}$) zajszintek közötti különbség. Esetünkben ez egy rövidebb időszakban látható, mert a távolodó helikopter miatt növekszik az észlelési távolság.

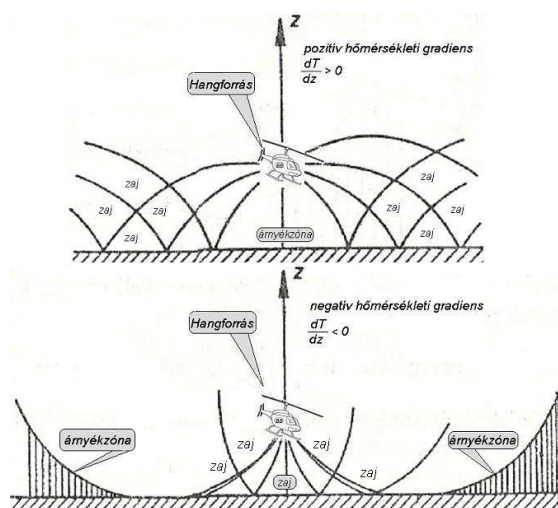
Az L_{Aeq} értékeket és a zaj hatásidejét, ezzel együtt a kimutatható zajszintekben megjelenő bizonytalanságot közvetlenül befolyásolja a rendszerkörnyezet egy meghatározó eleme, az úgynevezett inverziós hatás¹⁰, melynek értelmezése a 6.4. ábrán látható. A légköri viszonyok alakulásából eredő zajszint változásokat nem veszi figyelembe a (3.1) modell, mivel az átlagos repülési zajeseményszintek nem fedik le ezt a problémát. Emellett a hangelnyelést vagy a hang visszaverődését befolyásoló környezet és beépítettség is jelen van, ami szintén nagyfokú bizonytalansággal rendelkezik, így a zajterhelés alakulása emiatt is bizonytalan lesz.

Miért kap ilyen jelentős szerepet a környezetterhelési folyamatokban a rendszerkörnyezettel fennálló összefüggés? Figyelemmel az eddig elmondottakra is, a kérdésre a választ az alábbi példával foglalom össze. A repülés és a légi járművek üzemeltetése a szabadban történik. Szabadtéri hangterjedésnél nem annyira a hőmérséklet abszolút értéke a döntő, hanem a

¹⁰ Inverziós hatás: a hőmérsékleti gradiens függvényében a szabadtéri hangterjedés változása.

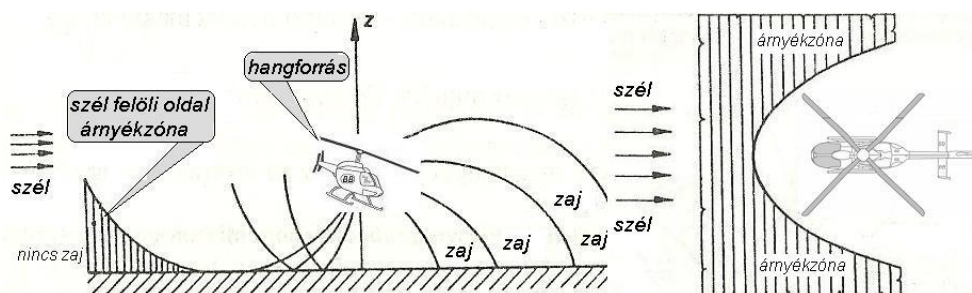
hőmérséklet hangtérben való eloszlása számít, ezért a zajterhelés kialakulásában elsődleges lesz a hőmérsékleti gradiens értéke. Emiatt gyakran fordul elő, hogy egy megismételt zajmérés eredménye eltér a korábbi zajmérési eredményektől, esetleg a szubjektív észleléssel leírt hangjelenséget nem sikerül később mérésekkel igazolni.

A repülési eredetű zajterhelés kialakulását befolyásoló hangterjedési viszonyok változékonyságát [14] és [64] nyomán a 6.4. ábrán bemutatott példával szemléltetem. A jelenséggel kapcsolatos akusztikai problémát a [77] könyvben fejtettem ki részletesen.



6.4. ábra Terjedési viszonyok pozitív és negatív hőmérsékleti gradiens esetén (forrás: [77])

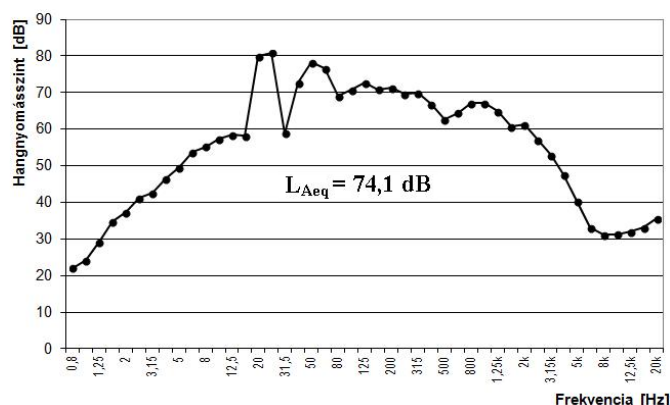
A hőmérsékleti gradienshez hasonlóan a légmozgás is hatással van a hangterjedésre. A szélesség és a hangterjedés sebessége vektorialisan összeadódik, így a hangsugárzás eltérően alakul a szél feletti és a szél alatti oldalon. A szél hangterjedésre gyakorolt hatása [64] alapján a 6.5 ábrán látható, a jelenséget szintén [77] tárgyalja részleteiben.



6.5. ábra Szél hatása a hangterjedésre (forrás: [77])

Mivel a környezet adottságaiból adódóan véletlenszerű lehet a hangterjedés alakulása, illetve az ezt befolyásoló tényezők az üzemeltetési folyamatoktól független tényezők miatt is változnak, a környezetvédelmi rendszer nagyfokú bizonytalansággal rendelkezik. Az összegzésnél a bemenő jelekre adott rendszerválaszok így nem adaptálhatók egyetlen mérőszámra, amivel pontosan lehet a környezetterhelési értéket megadni és ennek segítségével dönteni az adott helyzetről és a beavatkozásról. Ezt a véletlenszerűséget tehát a környezetvédelmi rendszer értékelésekor figyelembe kell venni, ennek hiányában az értékelési mutatószám csak a pillanatnyi helyzetre lesz érvényes, hosszú távú következtetés levonását a bizonytalanságokat tekintve nem teszi lehetővé.

Egy MI-24 Hind típusú helikopter átrepüléséből eredő hangnyomásszint-frekvencia függvényre mutatok példát a 6.6. ábrán, az átrepülési útvonal és a mérési pont távolsága 100 m, a felszín feletti repülési magasság 50 m volt.

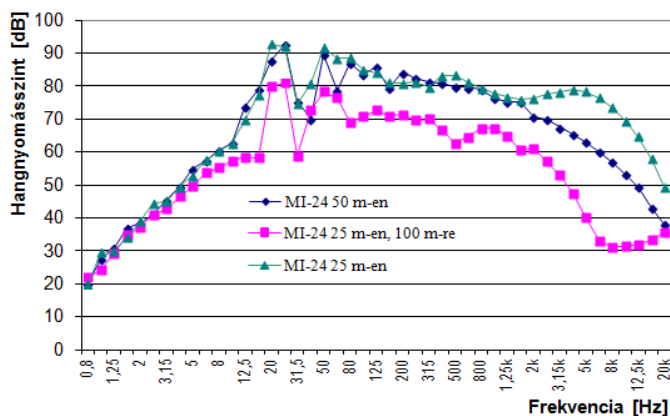


6.6. ábra MI-24 Hind helikopter átrepülése 50 m-es magasságon és 100 m-es távolságban (Saját mérés)

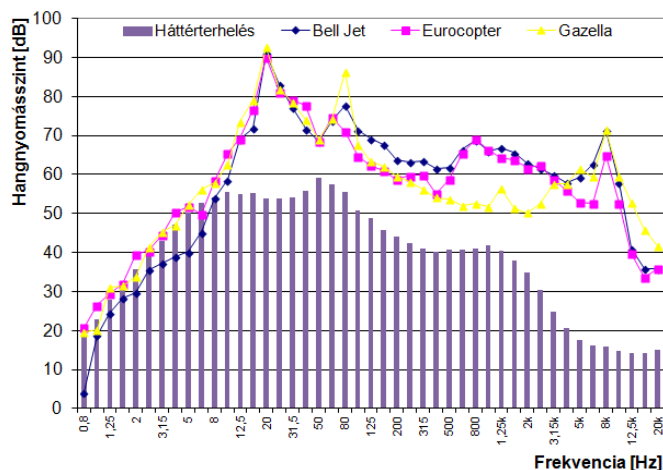
A zaj zavaró hatását az észlelt hangnyomásszintek frekvencia jellege is meghatározza, vagyis az eltérő frekvencia értékeknél fellépő zajszintek eltérő mértékű zavarást okoznak. Emellett a hang levegőben és a környezet felületein való elnyelését, ezáltal a csillapítás mértékét is befolyásolja a frekvencia szerinti hangnyomás érték.

Látható, hogy míg az átrepülésre a (6.1) összefüggéshez is figyelembe vett $L_{Aeq} = 74,1$ dB zajszint érték a jellemző, addig a ténylegesen észlelt és szubjektív észlelést is befolyásoló zajszint értékek eléri a 80 dB-es értéket is. Az ilyen tényezők beépítése a (3.1) és (6.1) összefüggésekbe nehézkes, emellett hosszadalmas mérési és számítási folyamatot eredményezne, ugyanakkor a környezeti jellemzők, mint például a 6.4. ábrán bemutatott inverziós hatás miatt továbbiakban is megtartja a jelentős bizonytalanságot a végeredmény.

A szubjektív módon észlelt zaj és a műszeres méréssel kimutatható zajesemény szint függ a zajforrásra jellemző zajszint-frekvencia függvénytől is. Az általam elvégzett mérések alapján levont következtetés az adott légi járműre jellemző frekvencia összetevők megmaradnak a mérési pont és a zajforrás közötti távolság változásával, azonban a környezet hangelnyelése miatt a zajszint értékek csökkenése vagy növekedése már nem ilyen egyértelmű. Erre szemléltetek példát zajszint-frekvencia függvény alapján a 6.7. és 6.8. ábrákon.



6.7. ábra Zajszint-frekvencia függvény eltérő távolságokban (Saját mérés)



6.8. ábra Helikopter zajszint-frekvencia függvény és háttérterhelés (Saját mérés)

6.4. Helikopter leszállóhely zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja

Helikopter leszállóhely zajvédelmi értékeléséhez használt Monte-Carlo szimulációhoz a (3.1) összefüggést választottam. A módszer jellegéből adódóan a repülési zaj vizsgálata az egyenértékű zajszint átlagolt értékeinek felhasználásával történt, hangsúlyos szerepet kapott ugyanakkor az M tényező. A kiválasztott határértékkel – ebben az esetben nappal 65 dB – egy olyan átlagos zajterhelés értéket vettem össze, melynek alapja az átlagos repülési zajeseményszint érték, és elsődlegesen a műveletszám befolyásoló hatása érvényesül. Ezáltal a repülési események számában bekövetkező változás növekedése és csökkenése értékelhető, de az esetleges beavatkozáshoz szükséges más intézkedés hatására, például a repülési magasság vagy a repülési módozat megváltozásával összefüggésben nem ad kellő információt.

A vizsgálathoz használt modell és a kapcsolt folyamat hiányosságai ellenére az első és egyben alapvető kérdésre kerestem választ a várható eredmények alapján: a műveletszám eseti növelése milyen mértéket érhet el egy korábbi értékhez képest, és az esetleges zajhatárérték túllépést ebben az esetben hogyan ítéljük meg?

A kérdés jelentőségét támasztja alá, hogy helikopter leszállóhelyeknél a zajkibocsátás szakaszos, a fel- és leszállásokra esetenként, illetve nagyobb forgalmi szünetekkel kerül sor. Tehát lehetséges olyan időszak egy kijelölt repülési napon, amikor a kisszámú repülések miatt az esetleges határérték túllépés mértéke és időtartama nem okoz problémát az észlelés szempontjából, mivel többször is van repülés nélküli időszak, amikor nincs fel- és leszállás és ebből eredő zajterhelés. Összegezve, a zajos időkitöltés kevesebb.

Tehát a továbbiakban az M tényezőt keresztül vizsgáltam, hogy a műveletszám megváltozásával egy-egy érintett terület felett, illetve egy átrepülési útvonalon milyen zajszint növekedés következik be, és ebben az esetben mekkora a határérték túllépés valószínűsége?

A vizsgálathoz rögzítettem, hogy egy helikopter leszállóhely átlagos napi műveletszáma – ha adott napon onnan fel- vagy leszállás történt – közel egyenletes eloszlással 1 és 5 között alakul. A leszállóhelyet használó helikopterektől származó átlagos repülési zajeseményszintek – a gépek típusa és terhelése, valamint az időjárási helyzet függvényében – 78 dB és 89 dB közötti értékkel bírnak. Az átlagos repülési zajeseményszintek $L'_{AX,mért}$ értékek egyszerű sta-

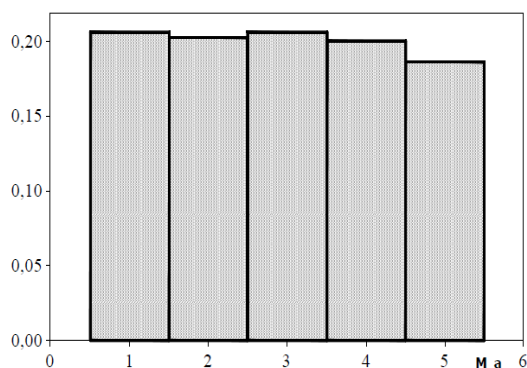
tisztikai elemzése alapján kijelenthető, hogy megfelelő közelítéssel normál eloszlásúként kezelhető a kialakult helyzet.

A vizsgálat során figyelembe vett körülmény, hogy egy párnapos rendezvény miatt a leszállóhely forgalma 6 és 10 közötti értékre növekedhet. Kérdésként merül fel, hogy a rendezvény során a leszállóhelytől származó repülési zajterhelés milyen mértékű lesz, illetve milyen valószínűséggel lépi túl a 65 dB határértéket?

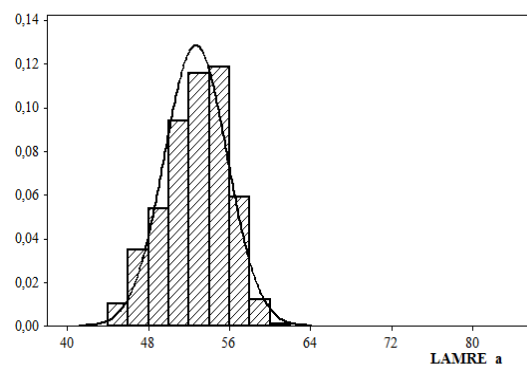
A feltett kérdésekre a válaszokat a helikopter leszállóhelytől származó zajterhelés Monte-Carlo szimulációs becslésével nyert adatok felhasználásával válaszolom meg. A szimuláció során a gerjesztések száma: $N = 1500$, a szimulációs tapasztalataim alapján.

A (3.1) egyenlet lesz a szimuláció során alkalmazott determinisztikus modell, amit véletlenszerűen kiválasztott M műveletszám, és L'_{AX} átlagos repülési zajesemény szint értékekkel gerjesztettem. Szimulációt végeztem az átlagos napi „alap”, majd a tervezett rendezvény során várható „esemény” repülési műveletszámra.

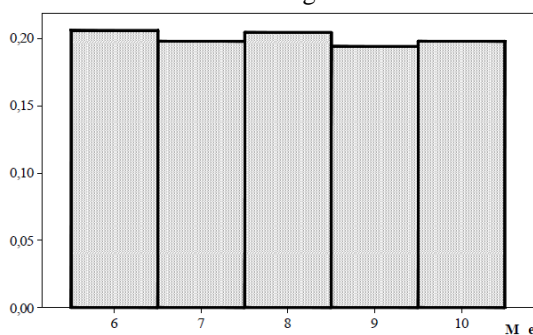
A két szimuláció eredményeinek hisztogramjait az 6.9., 6.10., 6.11. és 6.12. ábrák szemléltetik, főbb statisztikai adataik a 6.1. táblázatban láthatók. A kapott eredmények statisztikai elemzése alapján mutatható ki annak a valószínűsége, hogy a helikopter leszállóhely által keltett repülési zajterhelés meghaladja az előzetesen rögzített 65 dB-es értéket, ami átlagos forgalom esetén elhanyagolható mértékű $3,48 \cdot 10^{-5}$ gyakoriságot jelent. A tervezett rendezvény esetén ez az érték 0,28885 (kb. 29 %).



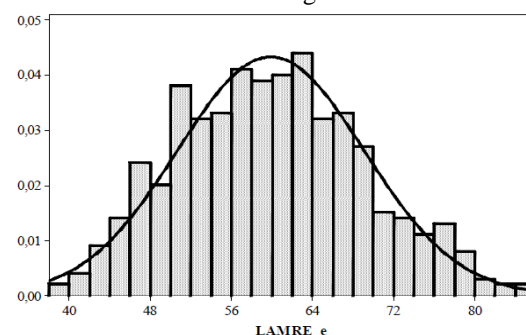
6.9. ábra „Alap” repülési műveletszám hisztogram



6.11. ábra „Alap” repülési zajterhelés hisztogram

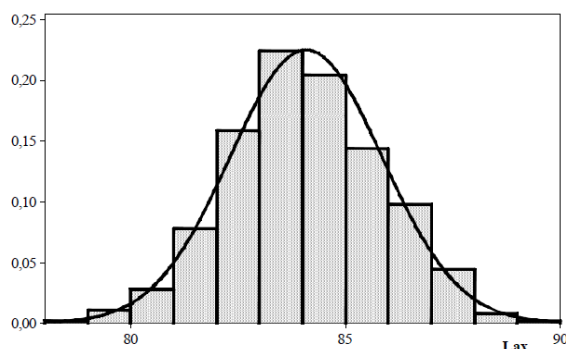


6.10. ábra „Esemény” repülési műveletszám hisztogram



6.12. ábra „Esemény” repülési zajterhelés hisztogram

Az L'_{AX} átlagos repülési zajesemény szint értékek hisztogramját a 6.13. ábra szemlélteti.



6.13. ábra Átlagos repülési zajeseményszint ($L'_{AX-gerj}$) hisztogram

	Minimum	Átlag	Maximum	Szórás
$L'_{AX,mért}$ [dB]	78	84	89	1,830
$L'_{AX,gerj}$ [dB]	78,031	84,083	89,362	1,782
M_{alap}	1	2,958	5	1,404
$L_{AM,re-alap}$ [dB]	44,900	52,673	60,100	3,100
$M_{esemény}$	5	7,98	10	1,148
$L_{AM,re-esemény}$ [dB]	39,100	59,878	85,400	9,223

6.1. táblázat A szimuláció adatainak statisztikai elemzése

A repülésből adódó környezetterhelés mértékét a gyakorlatban két fő szempontból vizsgáljuk, egyrészt a határérték túllépések bekövetkezése, másrészt a zajterhelés változás bekövetkezése és annak értéke kap jelentőséget. Az elméleti összefüggéseket mindkét részterületre ki kell terjeszteni, mivel az érintett környezet érzékenyen reagál a változásokra is, vagyis bizonytalanságot okoz a rendszer és környezete kapcsolatában. Ennek ismerete ugyanakkor a rendszerhatárok időben bekövetkező változásai szempontjából is fontos, vagyis a kérdéses környezetterhelés bekövetkezésének és a terhelés mértékében várható változás mértékének becslése kerül középpontba. A 6.1. táblázatban bemutatott adatok kiegészítő információt adnak a zajterhelés adatok értékeléséhez.

6.5. Egyedi repülési műveletek zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja

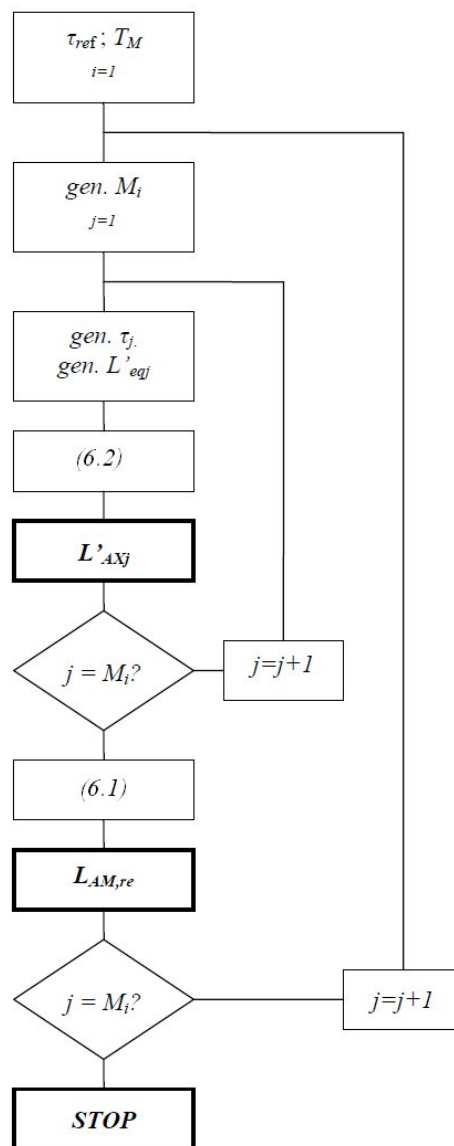
A repülési zaj megítélése jelenleg a – a széles körben elterjedt értékelési módszereket tekintve – energetikai alapon történik, függetlenül a többi környezeti zajforrástól, amire a 3. fejezetben alkalmazott (3.1) egyenlet az átlagolt környezetterhelési értékek útján ad megoldást. Ennek eredményeként a környezet alapállapota és ezzel összefüggésben az alapállapot megváltozása nem kap kellő hangsúlyt az értékelés folyamatában. Ezzel a repülési zaj úgy kerül értékelésre, mintha egyéb zaj nem lenne a környezetben. Az egyéb zajokba nemcsak a közlekedési és ezen belül a repülési zajt kell érteni, hiszen a szubjektíven is észlelt zajterhelést különböző és sok esetben nagy számú forrástól származó zaj összessége jelenti.

Fenti szemlélet nélkülözi a műszaki zajparaméterek és a szubjektív észlelés közötti kapcsolatot, így a zavarás jelentőségét. Pedig a zaj, mint környezeti probléma alapja a zavarás kialakulása. A megoldás a környezetvédelmi rendszert tekintve lényegi szempont, mivel zaj esetében olyan energiaszennyezésről, illetve a térben zavart okozó energiaközlésről beszélünk, ami szinte azonnali reakciót vált ki az észlelőből és a környezetből [77].

A figyelem, a nyugalom és a koncentráció zavarása kisebb-nagyobb mértékben mindig bekövetkezik, a szubjektív észlelést tekintve nincs kumulálási idő. Hogy kellő hangsúlyt kapjon a zajprobléma „zavaró hatás” jellege, a továbbiakban a környezetben bekövetkező energiaváltozás és a zavarás összefüggését a vizsgálatok középpontjába helyeztem.

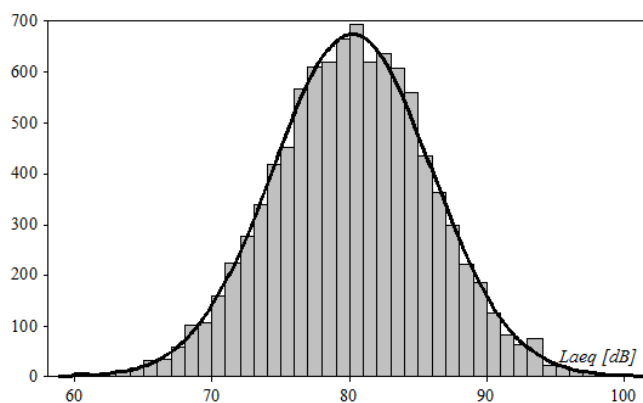
De mit tehetünk abban az esetben, amikor a zajesemények ritkán és/vagy rendszertelenül következnek be, illetve kevés számú repülési manőver történik zajosabb repülőgéppel, vagy fordított esetben nagyszámú repülési esemény csendesebb repülőgéphez köthető? A kérdés lényege, hogy amikor a repüléssel összefüggő zajesemények száma, jellege, a fellépő zajszintek értéke időszakonként más és más értéket vesz fel, milyen értékelési módszer ad megfelelő képet a környezet állapotváltozásairól.

E problémakör elemzésekor egyedi repülési műveletektől származó zajt vizsgáltam olyan Monte-Carlo szimulációval, melyhez a (6.1) és (6.2) összefüggéseket használtam fel. Az alkalmazott szimuláció folyamatának blokkdiagramja a 6.14. ábrán követhető végig. A szimuláció során a gerjesztések száma: $N = 1500$, a szimulációs tapasztalataim alapján.



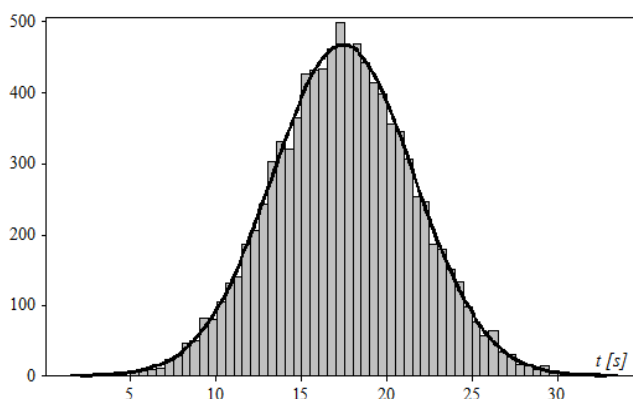
6.14. ábra Az alkalmazott szimuláció folyamatának blokkdiagramja (forrás: [79])

A (6.2) egyenletben lévő $L_{Aeq,i}$ érték a repüléssel összefüggő és egy manőverre jellemző legnagyobb és legkisebb hangnyomásszint értékekből képzett egyenértékű zajadat. Elsődlegesen mutatja a zajhatást, mivel a ténylegesen észlelt hangnyomásszintekre leginkább jellemző, a zajesemény idejére tekintettel rögzített mérési adat. A 6.15. ábrán szemléltetem a környezetben okozott állapotváltozással leginkább összefüggésbe hozható L_{Aeq} zajszint értékek eloszlását. Az általam vizsgált repülési manőverekre jellemző méréssorozat eredményeinek középértéke a 6.15. ábra alapján $L_{Aeq} = 80,2$ dB.



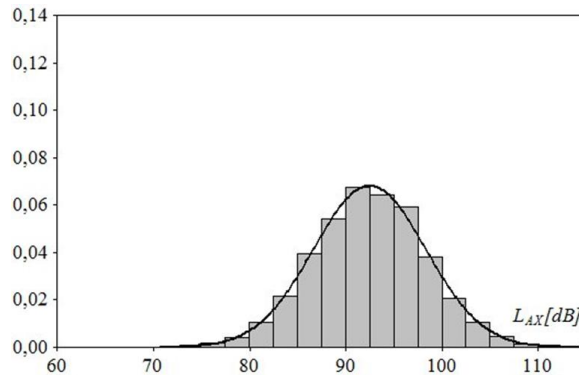
6.15. ábra Repülési manőver L_{Aeq} értékeinek sűrűségfüggvénye

Az L_{Aeq} zajszint érték a szubjektív megfigyeléssel észlelt, a környezetben fellépő hangnyomás változásokkal összhangban van. A zavaró hatást azonban a fellépő zaj időtartama is befolyásolja. Indokolt tehát a zaj időtényezőjének figyelembevétele, vagyis az észlelt zaj időtartamának beépítése a modellünkbe. Ezért vizsgáltam és a kapott eredmények alapján igazoltam, hogy az időtényezővel korrigált L_{Aeq} zajszintből nyert $L_{AX,j}$ érték pontosabban írja le a zavaró hatást, tehát az időtartam beépítése a modellbe szükséges. Fontosnak tartom, hogy erre a modellalkotás elején kerüljön sor, mivel a zajjal összefüggő zavarás egyik meghatározó és egyben bizonytalan tényezője a zajhatás időtartama, melynek sűrűségfüggvényét a 6.16. ábrán szemléltetem.



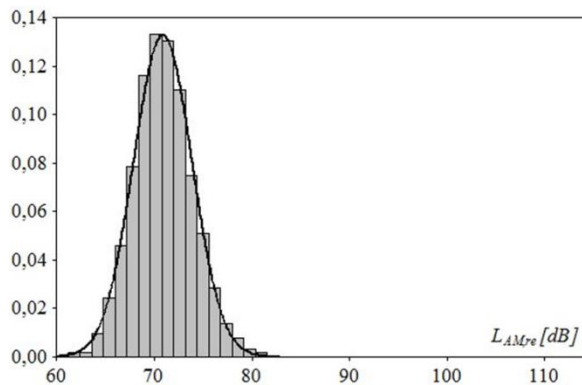
6.16. ábra Zajhatás időtartam sűrűségfüggvénye

Az $L_{AX,j}$ értékek eloszlását mutatja a 6.17. ábra, melyen jól látható, hogy a zajhatás időtényezőjének figyelembevétele esetén a 70 dB-nél kisebb értékek bekövetkezési valószínűsége a zajhatás idejét is tartalmazó modell esetében nagyon kicsi, már csak $6,2 \cdot 10^{-5}$ körüli értéket ad, ami a gyakorlatban nullával egyenlő.



6.17. ábra Repülési zaj $L_{AX,j}$ értékek sűrűségfüggvénye

A teljes nappali 16 óra időszakkal azonos $T_M = 57600$ s megítélési időben egy, az általam is vizsgált 30 perces $T_M = 1800$ s műveleti idő 3 %-os részidőt képvisel. Amikor a zajhatás értékelését a $T_M = 57600$ s megítélési időre végeztem el, a végeredményként kapott zajterhelés és a méréssel rögzített hangnyomásszintek között jelentős eltérés adódott. Ezen felül a beavatkozás lehetősége, valamint a tényleges környezeti állapotváltozás és az állapotváltozás valós időtartamának befolyásolása jelentős mértékben lecsökken. Ezért a zajos időszakot a 30 perces $T_M = 1800$ s műveleti időben határoztam meg a továbbiakban, ami már megfelel a zajos, tehát a környezetterhelés időszakának. A kapott eredményt egy műveletszám vonatkozásában a 6.18. ábrán emeltem ki.



6.18. ábra Repülési művelet L_{AMre} értékeinek sűrűségfüggvénye (6.1) alapján

A tényleges repülési manőverre jellemző zajszintek alakulása és a 6.18. ábrán is látható értékek alapján kijelenthető, hogy az L_{Aeq} és az ebből képzett L_{AMre} zajterhelési mutatószám önmagában nem elegendő a szubjektív akusztikai észlelés kezelésére és a kompromisszum feltételnek is megfelelő beavatkozás meghatározására. További mutatók bevezetése is szükséges az értékeléshez.

A hangterjedést befolyásoló környezeti tényezők bizonytalansága és a zajkeltésben fennálló eltérések miatt már a mért értékek is jelentősen eltérhetnek egymástól. A $L_{Aeq} = 80,2$ dB-es értéknél kisebb, illetve nagyobb zajszint értékek közel 50-50 %-os bekövetkezési valószínűsége igazolja ezt a tényt. Az általam választott $T_M = 30$ perc műveleti időben 15,4 % a zajos és 84,6 % a csendes időszak, tehát az időkitöltés alacsonynak mondható. A manőver zajszint érték ugyanakkor jóval meghaladja a 65 dB vagy 70 dB értékeket. A zajos és csendes időszakok ilyen aránya mellett a 80,2 dB-nél magasabb L_{Aeq} értékek bekövetkezési valószínűsége

0,514, míg a 80,2 dB-nél kisebb L_{Aeq} értékek bekövetkezési valószínűsége 0,486. Kijelenthető, hogy a nem kívánatos zajterhelés értékek bekövetkezési valószínűsége jelentős.

Amennyiben csak az L_{Aeq} értékekkel jellemzett zajt helyezük a vizsgálat középpontjába, a legszembevetőbb jellemző, hogy a legkisebb és legnagyobb hangnyomásszint értékek bekövetkezési valószínűség értékei 60-100 dB-es tartományt fednek le, illetve a középértéktől való -20 dB és +20 dB eltérés széles tartományt fog át. Amennyiben egy szűkebb, -10 és +10 dB-es tartományt veszünk alapul, a szélső értékeknél kisebb vagy nagyobb zajszintek bekövetkezési valószínűsége jelentős eltolódást mutat. Például a 70 dB-es L_{Aeq} értéknél kisebb hangnyomásszintek bekövetkezési valószínűsége 0,038, míg a 70 dB-es L_{Aeq} értéknél nagyobb hangnyomásszintek bekövetkezési valószínűsége 0,962.

A 6.15. ábra szerinti eloszlás görbe tartománya az $L_{AX,j}$ alkalmazásával a 6.17. ábrán látható 70-110 dB közötti tartományba került át, melyben a legnagyobb 100-110 dB-es hangnyomásszint értékek bekövetkezési valószínűsége érdemel leginkább figyelmet. Az időkitöltés szerepe kap hangsúlyt a zaj időtartamával a (6.2) szerinti modellben, ami a végeredményt tekintve azt eredményezi, hogy az $L_{AX,j}$ értékek tartománya +10 dB-lel növekedett, vagyis az értékeléshez is 10 dB-lel magasabb értékeket veszünk figyelembe, ami tény az eddigieknél nagyobb hangsúlyt helyez a zavarás mértékére.

A zavaró hatásra ekkor még jellemző, hogy a vizsgálatba vont 30 perces műveleti idő változatlanul hagyása mellett a zajos és a csendes időszakok aránya még mindig 15,4 %, tehát a zajmentes idő jóval rövidebb, mint a zajos idő. A zajos időszak hosszát elsődlegesen a manőverek száma és időtartama befolyásolja. Ezért a vizsgálat következő fázisában a manőverek számát is beépítettem az alkalmazott modellbe, azonban ezt a hozzá tartozó műveleti időhöz rendeltem (6.1) összefüggés alapján. A mért és a manőveridővel korrigált zajszint értéket ezután már erre az általam $T_M = 1800$ s műveleti időre vonatkoztatva határoztam meg.

A manőveridőkkel a zajos repülési tevékenység – repülési manőverek ideje – időkorlátait is kijelöltem, ami hatással volt a műveleti időre is, hiszen a manőveridők és a manőverek közötti szünetek összege adja a műveleti időt. Hangsúlyozni kell, hogy az összegzett zajos időszak még mindig jóval rövidebb, mint a zajmentes összegzett időszak, ezzel a fellépő zajszintek időtartama, vagyis a *zaj időkitöltési jellemzője* rövid időszakot ölel fel. A 30 perces műveleti idő után már egy hosszabb „zajmentes” időszak következik, majd később kerül sor újabb repülésre vagy repülésekre.

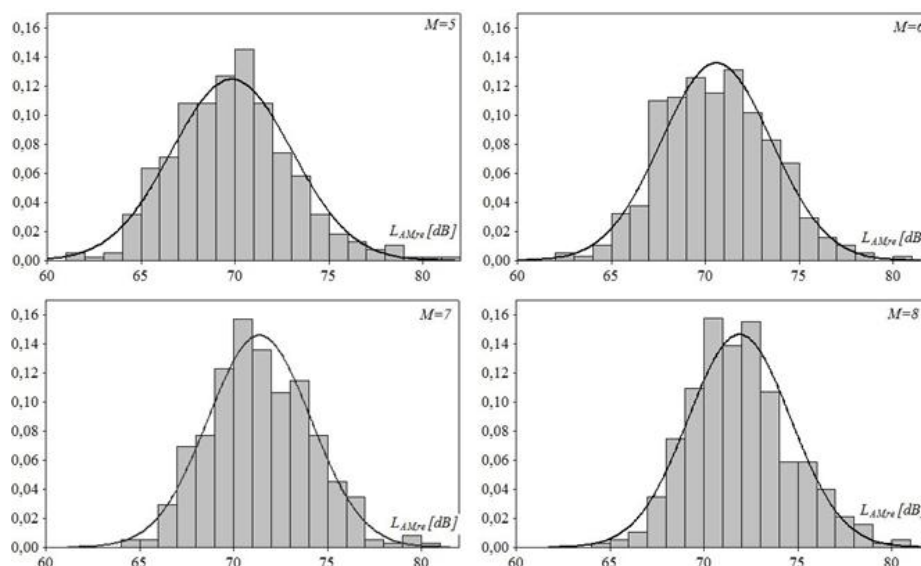
A 6.18. ábra szemlélteti, hogy a célszerűen és a zajos tevékenységhez köthető lehatárolt műveleti idő csendes és zajos időszaka milyen hatással van a zajszint értékek alakulására, valamint a zaj értékek előfordulási gyakoriságára. Az eredmények alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy az eloszlás függvény eltolódott a kisebb zajszint értékek felé, valamint egy szűkebb, 60-80 dB közötti tartományban vesz fel értékeket. Fontos, hogy ekkor a 6.17. ábra szerinti 70-80 dB közötti tartomány 0-10 %-os valószínűsége a 6.18. ábrán látható 50 %-os valószínűségre módosult.

A vizsgálat alapján az alkalmazott modell alapján kapott, repüléssel összefüggő környezethasználatra jellemző bekövetkezési valószínűség adatokat – a zavarás mértékére is tekintettel – kiemelt zajszint értékekre és a vizsgálatba vont L_{Aeq} , $L_{AX,j}$ és $L_{AM, re}$ jellemzőkre a 6.2. táblázatban foglaltam össze.

Jellemző	X	P (<X)	P (>X)
L_{Aeq}	70 dB	0,038043	0,961957
	80 dB	0,485787	0,514213
$L_{AX,j}$	70 dB	$6,2 \cdot 10^{-5}$	0,999938
	80 dB	0,016528	0,983472
	100 dB	0,900003	0,099997
L_{AMre}	60 dB	0,000142	0,999858
	70 dB	0,379859	0,620141
	80 dB	0,998730	0,001270

6.2. táblázat Kiemelt zajértékek bekövetkezési valószínűsége

A környezeti hatást a zajforrás és a hangterjedési viszonyok mellett a műveletszámra alapuló zajos időszakok gyakorisága természetesen befolyásolja, amit a (6.1) összefüggés szerint ebben a vizsgálati fázisban úgy vettem figyelembe, hogy minden művelethez hozzá rendeltem az okozott zajszintet, vagyis a műveleti $L_{AX,j}$ értéket. Az értékelés ebben az esetben is annál jobban tükrözi a valós környezeti állapotot, minél rövidebb értékelési időt veszünk figyelembe. Ennek igazolására végeztem vizsgálatot több műveletszámra vonatkoztatva, amit a 6.19. ábrán szemléltetek.



6.19. ábra Eltérő manőverszám L_{AMre} értékek sűrűségfüggvénye

A 6.19. ábrán látható eredményeket adó vizsgálatnál az egyedi zajesemény mellett a gyakorlatban is alkalmazott 30 perc műveleti idő alatt végzett 5, 6, 7 és 8 manővert vettem alapul. A korábbiakhoz képest csak a manőverek számát változtattam meg. A manőverek száma és a manőveridő egyben a zajos időszak teljes hosszát és a csendes időszakhoz viszonyított arányát is meghatározza. Ennek azért is van jelentősége, mert a zajszintek csökkentésében a hatásidő, azaz a manőveridő központi szerepet játszik. Tehát a manőverszám mellett a manőveridő jelentőségét emeltem ki az értékelés folyamatában. A manőverszám növelésével értelemszerűen növekszik az időkitöltés is, ami közvetlen hatással van a nagyobb zajszintek bekövetkezési gyakoriságának növekedésére. A manőverszám és a bekövetkezési gyakoriság ilyen jellegű összefüggése érzékenyebb mutató, mint az átlagértékekből levezett hangnyomásszint érték, főként az összegzésből eredő anomáliákat tekintve.

6.6. Következtetések, ajánlások

A fejezetben bemutatam a Monte-Carlo szimuláció alkalmazási lehetőségét környezetterhelések hatásainak korszerű elemzésére a helikopter leszállóhelyektől származó zaj becslésének, valamint a helikopteres egyedi repüléstől származó zaj becslésének példáján keresztül.

A környezetbiztonsági szint Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával történő elemzésével kapcsolatos eredményeimet korábban megosztottam a hazai és nemzetközi szakmai közön-séggel [79], [80], [92], [94], [97], [100], [102], [108], [111], [123] és [125].

A bemutatott vizsgálati eredmények is rámutatnak arra, hogy nem önmagában a repülési forgalom adja, vagy jelenti a környezetterhelést, hanem a kialakuló hangnyomásszint érték, illetve a környezet alapállapotához képest bekövetkező hangnyomásszint változás. Ezért nem-csak a forgalom becslését vagy mérését kell elvégezni, hanem a hangnyomásszintek bekövet-kezési valószínűségét szükséges vizsgálni, hiszen a kimutatható hangnyomásszint érték a ki-bocsátó forrásra, a terjedést befolyásoló környezeti jellemzőkre és a terhelést meghatározó környezeti tényezőkre egységes információt ad.

Bármelyik jellemző vagy tényező megváltozik, a környezetterhelés is módosul. Ha a for-galom változik, a repülési eseményekhez köthető mérésel hangnyomásszint még nem válto-zik meg, csak a zajkitöltési idő. A környezeti hatásban ugyanakkor szerepet játszanak olyan tényezők is, melyek a forgalommal nincsenek összefüggésben, azokat a forgalom nem befo-lyásolja. Amennyiben maradunk a kizárólagos határérték alapú minősítésnél, a rendszerkör-nyezetből érkező hatásokat is figyelmen kívül hagyjuk.

Amennyiben nem időszakos a repülési tevékenység, ezáltal nem átmeneti a kialakuló környezeti hatás, a zajszintek bekövetkezési valószínűség értékeit területegységekre lehet vonatkoztatni, ezzel súlyozni lehet az érintett területeket, amivel a környezeti hatás csökken-tését koncepcionálisan rangsorolva és időben megtervezve lehet elvégezni.

A 6.19. ábrán bemutatott vizsgálati eredmények alapján levonható következtetés, hogy nagyobb manőverszám az igénybe vett gyakorló légtér vonatkozásában nem okoz közvetlenül megnövekedett zajterhelést a vizsgálatba vont légtér közelében kijelölt észlelési pontokban. A műveletekből eredő eltérő zajszintek pontosabban írhatók le a zajszint értékek bekövetkezési valószínűség értékeivel, ebből következik, hogy előzetes becsléshez is pontosabb adatot szol-gáltat az alkalmazott szimulációs eljárás.

A bemutatott szimuláció alapján megállapítható az is, hogy az érintett környezetben a vizsgált hatásidőre vonatkoztatva kisebb zajterhelést okoznak az egymást követő repülési mű-veletek, mint abban az esetben, amikor hosszabb követési idővel kerül sor a műveletekre, azaz a zaj rövid időkitöltési jellemzője rövid, de a műveletekre hosszabb követési időszakokkal kerül sor.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Értekezésemben bemutatott kutatómunka új tudományos eredményeit az alábbi tézisekben foglalom össze.

1. Kidolgoztam a környezetbiztonság és a környezetvédelem rendszerszemléletű, integrált elemzéséhez szükséges fogalmi feltételeket.

- 1.a. Meghatároztam a környezetbiztonság egy új fogalomrendszerét, ennek keretében bevezettem a kompromisszum feltétel fogalmát.
- 1.b. Feltártam és logikai modellbe foglaltam a környezetbiztonság és a környezethasználati folyamatok összefüggéseit.
- 1.c. Feltártam és értelmeztem a zajterhelés kialakulását meghatározó tényezők közötti kapcsolatrendszerét és felállítottam annak logikai modelljét.

Kapcsolódó publikációim: [77]; [78]; [82]; [86]; [90]; [109]; [120]; [121].

2. A környezetbiztonsági vizsgálatok egy általános modelljét építettem fel, amit kettős modellnek neveztem el, alkalmazásával kapcsolatban az alábbi megállapításokat tettem:

- 2.a. A természetes környezet terhelése minden esetben valamilyen formájú és mérvű kockázatot von maga után, ezért a környezetbiztonság értelmezése az antropocentrikus környezet-definíció kiterjesztésével lehetséges.
- 2.b. A környezetbiztonsági vizsgálatokat össze kell kötni az alkalmazott modellek bizonytalanságának elemzésével, az eredmények kiértékelése során, például Monte-Carlo szimuláció alkalmazásával.

Kapcsolódó publikációim: [77]; [78]; [82]; [94]; [97]; [102]; [122]; [123]; [124].

3. A kompromisszum feltétel, valamint a kettős modell alapján feltártam a környezeti hatások összefüggéseit, melyek alapján:

- 3.a. Kidolgoztam a környezetbiztonság háromszög modelljét a kompromisszumhelyzet áttekintéséhez és fenntartásához.
- 3.b. Megállapítottam, hogy a légi közlekedés abban az esetben felel meg a környezetbiztonsági szempontoknak, amennyiben a környezeti hatásokkal kapcsolatos beavatkozások megvalósíthatósága, valamint a környezeti hatások kezelése és a beavatkozások eredményének bizonytalansága a repülésbiztonsággal szoros kapcsolatrendszeret alkot.
- 3.c. Igazoltam, hogy a repülés közvetlenül és közvetve is kedvező hatást gyakorolhat a környezetre, mivel léteznek olyan esetek, amikor szerepet kap a környezetterhelés csökkentésében.

Kapcsolódó publikációim: [77]; [78]; [83]; [93]; [94]; [112]; [113]; [114]; [115]; [125].

4. Monte-Carlo szimulációs eljárást dolgoztam ki, valamint alkalmaztam a környezetterhelés és a környezetbiztonsági szint vizsgálatára eseti helikopter leszállóhely, illetve egyedi repülési műveletek gyakorló légterek környezetében kialakuló zajhelyzet elemzésére. A szimulációs eredmények alapján az alábbi megállapításokat tettem:

- 4.a. Nem önmagában a repülési forgalom jelenti a környezetterhelést, hanem a kialakuló hangnyomásszint érték, illetve a környezet alapállapotához képest bekövetkező hangnyomásszint változás. Ezért nem csak a forgalom becslését vagy mérését kell elvégezni, hanem a hangnyomásszintek bekövetkezési valószínűségeit szükséges vizsgálni.
- 4.b. A kimutatható hangnyomásszintek bekövetkezési valószínűség-eloszlása a kibocsátó forrásra, a terjedést befolyásoló környezeti jellemzőkre és a terhelést meghatározó környezeti tényezőkre egységes információt ad.
- 4.c. A gyakorló légterekben végrehajtott kiképzési repülések során az egy feladat alkalmával végrehajtott manőverek számának növelése csak kismértékben növeli a légtér környezetében a zajterhelést.

Kapcsolódó publikációim: [78]; [79]; [86]; [93]; [97]; [100]; [102]; [117]; [119].

8. TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Értekezésemben bemutatott kutatómunka új tudományos eredményeinek hasznosítási lehetőségeit az alábbiakban foglalom össze.

A légi közlekedés megoldatlan alapproblémája az időben változó környezetterhelés leírása és a valósággal megegyező vagy ahhoz közelítő modellek felállítása. E tekintetben első helyen szerepel a zaj, a légi jármű és a repülőtér üzemeltetésétől származó zajterhelés kezelése, csökkentése, az eredményes megoldások keresése.

A probléma oda vezethető vissza, hogy az instacioner környezeti állapot leírásához elterjedt az átlagértékek használata, ami a légi közlekedésben hosszú idejű vonatkoztatási időt jelent. Az egyszámos határértékek alkalmazása növeli ezt a problémát, számtalan kérdést vet fel a téma, amit már hosszú ideje kutatunk, de megnyugtató válasz még nem született. A napjainkban is alkalmazott eljárások a valóságban észlelt zaj jellemzőinek jelentőségét a háttérbe szorítják, a modellek és a valóságos állapotok között nagy különbség adódik.

A becsléseknél és a tervezésnél a leszállóhelyek és a helikopteres repülés környezetében kialakuló zajterhelés a nagy időtávlatra meghatározott műveletszámok és várható zajterhelés leírásával csak nagy bizonytalansággal mutatható ki, ami a környezethasználat és a környezeti állapot vonatkozásában egyaránt kockázatokat rejt magában. Az új környezetbiztonsági fogalomrendszer megalapozza és elősegíti az instacioner környezeti állapotok azonosítását, definiált fogalmak alapján történő kezelését és vizsgálatát, ezen keresztül a környezet védelméhez szükséges beavatkozások pontos és informatív meghatározását.

A környezetbiztonsági háromszög modell alkalmazásával lehetőség nyílik a környezetvédelmi és környezetbiztonsági szempontból szükséges, légi közlekedéssel kapcsolatos kompromisszumhelyzet áttekintésére és fenntartására. A modell lehetőséget ad a kedvező és kedvezőtlen, illetve a legkedvezőbb és az arányos helyzeteket vizsgálatára, az esetleges változások levezetésére és nyomon követésére. Alkalmazásával a folyamatok figyelemmel kísérhetők azáltal, hogy egy-egy döntés eredményeként kialakuló megváltozott helyzet kiértékelését teszi lehetővé a környezeti hatások és a biztonság közötti kapcsolati pont megteremtésével, összességében a környezetbiztonság keretein belül.

A kettős modell alapján lefolytatott elemzés a bizonytalanságelemzésben kapott válaszok hibahatáraitól ad információt, a valósághoz közelebb álló környezeti adatokat szolgáltat a Monte-Carlo szimuláció, alkalmazása az észlelt zajjellemzők leírásához megfelelő eszköz. A Monte-Carlo szimuláció a környezetterhelések hatásainak korszerű elemzésére alkalmas, a korábbiakhoz képest pontosabb eredményt ad a helikopter leszállóhelyektől származó zaj és a helikopteres egyedi repülésektől származó zaj becslésére. Alkalmazása lehetőséget teremt olyan zajjellemzők vizsgálatára a bekövetkezési valószínűségek becslésével, melyek nem a csak a műveletszámokhoz kötődnek, hanem a környezeti állapot megváltozásához. Ezáltal a módszer a határérték alapú minősítés mellett, a rendszerkörnyezetből érkező válaszokat is figyelembe veszi.

A zajszintek bekövetkezési valószínűség értékeit területegységekre lehet vonatkoztatni, ami lehetőséget ad az érintett területek érintettségének súlyozására, ezáltal a környezeti hatás csökkentését koncepcionálisan rangsorolva és időben megtervezve teszi lehetővé.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 176/1997. (X. 11.) Korm. rendelet *a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének szabályairól*
- [2] 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendelet *a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól*
- [3] 1995. évi LIII. törvény *a környezet védelmének általános szabályairól*
- [4] 25/2004. (XII. 20.) KvVM rendelet *a stratégiai zajtérképek, valamint az intézkedési tervek készítésének részletes szabályairól*
- [5] 27/2008. (XII. 3.) KvVM-EüM együttes rendelet *a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról*
- [6] 280/2004. (X. 20.) Korm. rendelet *a környezeti zaj értékeléséről és kezeléséről*
- [7] 284/2007. (X. 29.) Korm. rendelet *a környezeti zaj és rezgés elleni védelem egyes szabályairól*
- [8] 93/2007. (XII. 18.) KvVM rendelet *a zajkibocsátási határértékek megállapításának, valamint a zaj- és rezgés kibocsátás ellenőrzésének módjáról*
- [9] BAHADIR MÜFIT - PARLAR HARUN - SPITELLER MICHAEL (ed.) *Springer Umweltlexikon*, Springer-Verlag, Berlin, 1995, 1176 p.
- [10] BARÓTFI ISTVÁN (ed.) *Környezettechnika*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000, 981 p.
- [11] BINDER KURT - HEERMANN DIETER *Monte Carlo Simulation in Physics: An Introduction*, Springer Science & Business Media, 2010, p. 216.
- [12] BOKOR ZOLTÁN - TÁNCZOS LÁSZLÓNÉ *A közlekedés társadalmi költségei és azok általános és közlekedési módtól függő hazai sajátosságai*, Közlekedéstudományi Szemle 8., Budapest, 2003, pp. 281-291.
- [13] BRAUER, HEINZ (ed.) *Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik*, Springer-Verlag, Berlin, 1996, 842 p.
- [14] BUNA BÉLA *A közlekedési zaj csökkentése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982, 202 p.
- [15] BUNA BÉLA *Egyedi repülési zajesemények szabályozási lehetőségei*, Közlekedéstudományi Szemle LX. évfolyam 4. szám, Budapest, 2010, pp. 51-60.
- [16] CSIZMADIA BÉLA - NÁNDORI ERNŐ *Modellalkotás*, Tankönyvkiadó, Budapest, 576 p. (Mechanika mérnököknek)
- [17] CSUTORÁS GÁBOR *Biztonságtudomány*, Környezetmérnöki Tudástár XXIX. kötet, Pannon Egyetem, Veszprém, 2013, 153 p.
- [18] DOLLMAYER J. - CARL U. B. *Einfluss des Leistungsbedarfs von Flugzeugsystemen auf den Kraftstoffverbrauch*, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2004, 20-24. Szeptember 2004. DGLR-2004-261, Dresden, 2006, pp. 1-10.
- [19] DUDÁS ZOLTÁN *Basics of the flight safety risks*, Hadmérnök 2007: (1) pp. 1-7.

- [20] DUDÁS ZOLTÁN *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség Légierében különös tekintettel az emberi tényező formálására*, PhD értekezés ZMNE, Budapest, 125 p.
- [21] ERDŐSI FERENC *Légi közlekedés és területi fejlődés*, Tér és Társadalom 13. évfolyam 4. szám, Budapest, 1999, pp. 45-76.
- [22] ERDŐSI FERENC *Gondolatok a közlekedés szerepéről a régiók/városok versenyképességének alakulásában*, Tér és Társadalom 16. évfolyam 2002/1., Budapest, 2002, pp. 135-159.
- [23] FIELDING, J. P. *Safety and Reliability Prediction Methods for Aircraft Preliminary Design*, Proc. of the ICAS' 98, Melbourne, 1999, (CD-version).
- [24] FLEISCHER TAMÁS *Környezeti biztonság*, In: A gazdasági biztonság kihívásai. Háttér tanulmányok a magyar külstratégiához (2), Világgazdasági Kutatóintézet, Budapest, 2007, pp. 120-134.
- [25] FODOR ISTVÁN *Környezetvédelem és Regionalitás Magyarországon*, Dialóg Campus Kiadó, Budapest - Pécs, 2001, 488 p.
- [26] FÖRSTNER, ULRICH *Umweltschutztechnik*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990, 462 p.
- [27] HANKÓ MÁRTA - FÖLDI LÁSZLÓ *A környezeti kockázatok elemzése*, Hadmérnök IV. évfolyam 2009.4. szám, Budapest, 2009, pp. 39-48.
- [28] HANKÓ MÁRTA - FÖLDI LÁSZLÓ *Életterünk környezetbiztonsági kérdései*, Hadmérnök IV. évfolyam 2009.4. szám, Budapest, 2009, pp. 24-38.
- [29] KAVAS LÁSZLÓ - ÓVÁRI GYULA *A XXI. század helikopterfejlesztésének néhány fontosabb irányzata*, Repüléstudományi Közlemények XXV. évfolyam 2013.1. szám, Szolnok, 2013, pp. 210-222.
- [30] KEMPF NORBERT - HÜPPOP OMMO *Auswirkungen von Fluglärm auf Wildtiere. ein kommentierter Überblick*, Journal für Ornithologie 137/1., Springer-Verlag, Berlin, 1996, pp. 101-113.
- [31] KOLOSZÁR MIKLÓS *A környezetvédelem 10 éve (1990-2000)*, Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, Budapest, 2002 december, 39 p.
- [32] KOVÁCS ATTILA *Zaj- és rezgésvédelem*, Veszprémi Egyetem, Veszprém, 1995, 166 p.
- [33] KRAUSE, SHARI STAMFORD *Aircraft Safety: Accident Investigations, Analyses, & Applications*, Second Edition, McGrawHill, 483 p.
- [34] KURUTZ IMRE - SZENTMÁRTONY TIBOR *A műszaki akusztika alapjai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001, 179 p.
- [35] LÁNG ISTVÁN (ed.) *Környezet- és Természetvédelmi Lexikon*, Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat, Budapest, 1993, 1010 p.
- [36] LEGEZA ENIKŐ - TÖRÖK ÁDÁM *Európa térképe átalakul a légiközlekedés hatására*, Tér és Társadalom 23. évfolyam 2009/2. szám, Budapest, 2009, pp. 225-235.

- [37] MASCHKE C. - HECHT K. - WOLF U. *Nächtliches Erwachen durch Fluglärm Beginnen Aufwachreaktionen bei Maximalpegeln von 60 Decibel(A)?*, Journal für Ornithologie 137/1., Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 44/10., Berlin, 2001, pp. 1001-1010.
- [38] MATSCHAT K. - MÜLLER E. A. *Fluglärm I. Ausmaß und Entstehung*, Naturwissenschaften 64/6, Springer-Verlag, Berlin, 1977, pp. 317-325.
- [39] MOSER MIKLÓS - PÁLMAI GYÖRGY *A környezetvédelem alapjai*, Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó, Budapest, 2006, 512 p.
- [40] MSZ 13-183-3:1992 *A közlekedési zaj mérése. Repülési zaj*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 6 p.
- [41] MSZ 13-183-4:1992 *A közlekedési zaj mérése. Repülési zaj heliportok és kisrepülőterek környezetében*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 5 p.
- [42] MSZ 15036:2002 *Hangterjedés a szabadban*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 31 p.
- [43] MSZ 18150-1:1998 *A környezeti zaj vizsgálata és értékelése*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 17 p.
- [44] MÜLLER ROLAND - BÄTTIG KARL *Der Einfluss von Fluglärm auf die Anwohner des Flughafens Zürich-Kloten*, Sozial- und Präventivmedizin 22/4, Birkhäuser-Verlag, Berlin, 1977, pp. 191-192.
- [45] MÜLLER, MANFRED *Risikomanagement und Sicherheitsstrategien der Luftfahrt - ein Vorbild für die Medizin?*, Z. Allg. Med. 2003: 79, Stuttgart, 2003, pp. 339-344.
- [46] NEWMAN M. E. J. - BARKEMA G. T. *Monte-Carlo Methods in Statistical Physics*, Oxford University Press Inc., New York, 1999, p. 475.
- [47] ÓVÁRI GYULA - SZEGEDI PÉTER *Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben*, Repüléstudományi Közlemények 2010/2, Szolnok, 2010, p. 29.
- [48] PALIK MÁTYÁS - CSERMELY ILDIKÓ *A repülőterekre vonatkozó stratégiai - és a zajgátló védőövezet számítási metodikájának összehasonlítása, egységesítési lehetőségei az Európai Unió jogrendjében*, Repüléstudományi Közlemények XXV. évfolyam 2013. 2. szám, Szolnok, 2013, pp. 245-254.
- [49] PIERS, M. A. *The Development and Application of a Method for the Assessment of Third party Risk due to Aircraft Accidents in the Vicinity of Airports*, Proc. of the ICAS' 94, Anaheim, 1994, pp. 507-518.
- [50] POKORÁDI LÁSZLÓ *Aerodinamika III. Ideális közeg két- és három méretű áramlása*, MH Szolnoki Repülőtiszt Főiskola, Szolnok, 1993, 121 p.
- [51] POKORÁDI LÁSZLÓ *Rendszerek és folyamatok modellezése*, Campus Kiadó, Debrecen, 2008, 242 p.
- [52] POKORÁDI LÁSZLÓ - MOLNÁR BOGLÁRKA *Monte-Carlo simulation of the pipeline system to investigate water temperature's effects*, UPB Scientific Bulletin Series D: mechanical Engineering, 2011. 73(4), pp. 223-226.

- [53] ROHÁCS JÓZSEF - HORVÁTH ZSOLT CSABA *A repülésbiztonság problémája és fejlesztési elvei*, Repüléstudományi Közlemények XXV. évfolyam 2013.3. szám, Szolnok, 2013, pp. 39-55.
- [54] RUBINSTEIN, R. Y. *Simulation and the Monte-Carlo Method*, John Wiley & Sons, New York, 1981, p. 278.
- [55] SÁNTHA ATTILA *Környezetgazdálkodás*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996, 368 p.
- [56] SIEFERLE, R. P. *Fortschrittsfeinde? Opposition gegen Technik und Industrie von der Romantik bis zur Gegenwart*, C. H. Beck Verlag, München, 1984., 301 p.
- [57] SIEGFRIED, J. GERATHEWOHL *Die Flugsicherheit, Die Psychologie des Menschen im Flugzeug*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, 1954, pp. 241-264.
- [58] SIKLÓSI ZOLTÁN *A NATO előírásokhoz illeszkedő repülésbiztonság alapelveinek rendszerszemléleti vizsgálata és integrálása a magyar szabályzók rendszerébe*, PhD értekezés, ZMNE, Budapest, 2008.
- [59] SMETANA, CTIRAD *Zaj- és rezgésmérés*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975, 221 p.
- [60] SOBOR ÁKOS *Repülőgépek földi és földközeli mozgásából keletkező zajszint számítása*, műszaki doktori értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésmérnöki Kar, Budapest, 1986.
- [61] SOBOR ÁKOS *Repülőterek forgalmából eredő zajövezetek, valamint repülőgépek zajminősítése*, Repüléstudományi Közlemények Különszám II. 2001, Szolnok, 2001, pp. 117-121.
- [62] SOBOR ÁKOS - DOMOKOS ÁDÁM *Az egyenértékű zajszint alakulása a repülőgépek útvonalainak szóródása függvényében*, Kép- és Hangtechnika XXVIII. évf. 1982 december, Budapest, 1982, pp. 190-192.
- [63] SZABÓ JÓZSEF (ed.) *Repülési Lexikon*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991, I. kötet 623 p., II. kötet 603 p.
- [64] TARNÓCZY TAMÁS *Hangnyomás, hangosság, zajosság*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984, 175 p.
- [65] THYLL SZILÁRD (ed.) *Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1996, 425 p.
- [66] TIBOLDI TIBOR *Az önkormányzatok szerepe a regionális repülőterek fejlesztésében*, Tér és Társadalom 22. évfolyam 2008/4., Budapest, 2008, pp. 135-148.
- [67] VERRASZTÓ ZOLTÁN *A tájfejlődés és vízháztartás kapcsolatviszonyai - a környezeti hatásvizsgálat alapjai*, egyetemi doktori értekezés, ELTE TTK Alkalmazott- és Környezetföldtani Tanszék, Budapest, 1993., pp. 535-561.
- [68] WANNER, H. U. *Belästigungen durch den Strassenverkehrs- und Fluglärm*, Sozial- und Präventivmedizin 27/2-3, Birkhäuser-Verlag, Berlin, 1982, pp. 119-123.

- [69] WHITE, JOHN (2012) *Aviation safety program*, NASA
http://www.aeronautics.nasa.gov/reno_presentations/avsp_reno_011206.pdf, (2015. 02. 06)
- [70] АЛЕКСАНДРОВ ЛЕОНИД НАУМОВИЧ - СТЕНИН С. И. *Моделирование роста и легирования полупроводниковых пленок методом Монте-Карло*, Наука. Сиб. отделение, 1991, р. 165.
- [71] АЛЕКСЕЕВ, С. П. *Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении*, Машиностроение, Москва, 1970, р. 210.
- [72] ГРИНИН А. С. - НОСИКОЕ В. Н. *Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях*, ФАИР-ПРЕСС, Москва, 2002, р. 336.
- [73] ЕРМАКОВ, СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ *Метод Монте-Карло и смежные вопросы Теория вероятностей и математическая статистика*, Наука, 1975, р. 471.
- [74] ЖУЛЕВ В. И. - ИВАНОВ В. С. *Безопасность полетов летательных аппаратов*, Транспорт, Москва, 1986, р. 224.
- [75] ЗАХВАТКИН, ЮРИЙ *Основы общей и сельскохозяйственной экологии. Методология, традиции, перспективы*, Либроком, Москва, 2013, р. 352.
- [76] КУКУШКИНА, А. В. *Экологическая безопасность, разоружение и военная деятельность государств*, ЛКИ, Москва, 2008, р. 176.

JELÖLT ÉRTEKEZÉSSSEL KAPCSOLATOS PUBLIKÁCIÓI

Könyv

- [77] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Helikopterzaj elmélete és gyakorlata*, Debrecen, Campus Kiadó, 2010., 192 p.

Tudományos folyóiratcikkek

- [78] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Environmental Risk Management of Air-Transport developmen*, ACTA TECHNICA JAURINENSIS 5:(3), 2012, pp. 245-252.
- [79] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Monte-Carlo Simulation of Helicopter Noise*, Acta Polytechnica Hungarica 12:(2), 2015, pp. 21-32.
- [80] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *A repülési zaj mérésének aktuális kérdései*, JÁRMŰVEK LXVII:(1-2) pp. 25-30.
- [81] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Helikopterzaj mérésének tapasztalatai*, ÚJ HONVÉDSÉGI SZEMLE 2000:(9) pp. 136-148.
- [82] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *A helikopterzaj vizsgálata*, HADITECHNIKA 2001:(1) pp. 2-5.
- [83] BERA JÓZSEF *Légi közlekedés és környezetbiztonság összefüggéseinek elemzése*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK XXVII:(1.), 2015, pp. 18-29.
- [84] BERA JÓZSEF *Repülési zajszintek változása, hatása a zaj észlelésére*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2001: pp. 137-143.
- [85] BERA JÓZSEF *Helikopter leszállóhely zajvédelmi tervezése*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2007: Paper bera_jozsef. 10 p.
- [86] BERA JÓZSEF *Zajjellemzők vizsgálata*, DEBRECENI MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK 2007:(1) pp. 89-99.
- [87] BERA JÓZSEF *Helikopterek zajkibocsátása*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2008: Paper Bera_Jozsef.
- [88] BERA JÓZSEF *Repülőtér létesítés és környezeti zajvédelem*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2009: Paper Bera_Jozsef.
- [89] BERA JÓZSEF *Repülőtér-használat és zajterhelés összefüggései a repülőképzésben*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2010: Paper Bera_Jozsef.
- [90] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Légiközlekedés környezetbiztonsági fogalomrendszer*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2014, pp. 274-285.
- [91] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *A jövő század repülésének környezeti kihívása*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK XI:(1) pp. 121-129.
- [92] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Zajvédelem, a jövő század repülésének kihívása*, JÁRMŰVEK LXVI:(5-6) pp. 67-70.

- [93] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Repülésfejlesztés környezetvédelmi kockázatkezelése*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM 2012, pp. 523-536.
- [94] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Repülési zaj kezelésének bizonytalansága*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK KÜLÖNSZÁM, 2013, pp. 730-731.

Konferencia közlemények

- [95] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Actual Question of Measuring of the Aircraft Noise*, In: Rohács József, Ailer Piroska, Szabó Gyula, Veres Árpád (szerk.) 12th Hungarian Days of Aeronautical Sciences Conference: The Challenge of Next Millenium on Hungarian Aeronautical Sciences. Konferencia helye, ideje: Nyíregyháza, Magyarország, 1999.06.02-1999.06.04. Budapest: BME, pp. 114-123.
- [96] BERA JÓZSEF *Influence of operational conditions on noise evaluation*, In: K Molnár, Gy Ziaja, G Vörös (szerk.) *Gépészet 2000: Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering*. 811 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2000.05.25-2000.05.26. (1) Budapest: Springer Orvosi Kiadó, pp. 356-360.
- [97] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Noise protection investigation of heliports*, 11th Mini Conference on Vehicle System Dynamics Identification and Anomalies, VSDIA 2008, In: Zobory István (szerk.) *Proceedings of the Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2008.11.10-2008.11.12. Budapest: BME, pp. 577-581.
- [98] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ - SZABOLCSI RÓBERT *Investigation of the Helicopter Noise*, In: AIAA (szerk.) *Proc. of the 22nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*. Konferencia helye, ideje: Harrogate, Nagy-Britannia, 2000.08.27-2000.09.01. Harrogate: AIAA, pp. 801P.1-801P.2.
- [99] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Noise Effect of Building Installation*, In: Retezan A (szerk.) *Instalații Pentru C onstrucții și confortul ambiental, Conferenția cu participare internațională*. Konferencia helye, ideje: Temesvár, Románia, 2008.04.17-2008.04.18. Temesvár, pp. 498-506.
- [100] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Industrial Helicopter Application and its Noise Protection Problems*, In: Zobory István (szerk.) *Proc. Of the VSDIA 2010*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország Budapest: BME, pp. 343-350.
- [101] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Investigation of Helicopter Noise*, In: K Molnár, Gy Ziaja, G Vörös (szerk.) *Gépészet 2000: Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering*. 811 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2000.05.25-2000.05.26. (1) Budapest: Springer Orvosi Kiadó, pp. 442-446.
- [102] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Assessment of Heliport Noise Emission*, 13th Mini Conference on Vehicle System Dynamics Identification and Anomalies, VSDIA 2012, In: Zobory István (szerk.) *Proceedings of the Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.11.05-2012.11.07. Budapest: BME, pp. 461-467.

- [103] BERA JÓZSEF *A környezeti zajterhelés csökkentésének problémája*, In: Kandó Kálmán Műszaki Főiskola (szerk.) Centenárium Tudományos XV. Ülésszak. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 1998.05.07-1998.05.08. Budapest: Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, pp. 60-65.
- [104] BERA JÓZSEF *A környezeti zaj vizsgálata és csökkentésének lehetőségei*, In: Tóth László, Benkóné Pongó Dóra (szerk.) MTA Agrár-Műszaki Bizottság: Kutatási és fejlesztési tanácskozás 24.: az előadások tartalmi összefoglalói. 60 p. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 1999 Gödöllő: MTA - SZIE, p. 18.
- [105] BERA JÓZSEF *A zaj jelentősége az egészségkárosodásban*, In: Semmelweis Orvostudományi Egyetem Doktori Iskola (szerk.) SOTE PhD Tudományos Napok '99. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 1999.05.31-1999.06.01. Budapest: Semmelweis Orvostudományi Egyetem, p. 20.
- [106] BERA JÓZSEF *Repülőtérről zajmissziójának vizsgálata*, In: Doktoranduszok Országos Szövetsége (szerk.) "Tavaszi Szél" '99 Fialat magyar tudományos kutatók és doktoranduszok III. világtalálkozója. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 1999.05.01-1999.05.02. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, p. 43.
- [107] BERA JÓZSEF *Repülés a zajvédelem tükrében*, In: Doktoranduszok Országos Szövetsége (szerk.) "Tavaszi Szél" 2000, 2001 Fialat magyar tudományos kutatók és doktoranduszok IV. és V. világtalálkozója. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2000.04.04-2000.04.05. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, p. 31.
- [108] BERA JÓZSEF *Repülési zaj értékelése*, In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban 2007. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2007.10 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, pp. 5-14.
- [109] BERA JÓZSEF *Háttérzaj értékelése eltérő környezeti adottságok függvényében*, In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban 2008. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2008.05 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, pp. 99-107.
- [110] BERA JÓZSEF *Helikopter által lesugárzott zaj vizsgálata*, In: Bitay Enikő (szerk.) XIII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka Nemzetközi Tudományos Konferencia: International Scientific Conference : Kolozsvár, 2008. március 14-15. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2008.03.14-2008.03.15. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 37-40.
- [111] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Helikopter leszállóhelyek zajvédelmi vizsgálata*, In: Rohács József, Veress Árpád (szerk.) XVI. Repüléstudományi Napok Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2008.11.13-2008.11.14. Budapest: BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, Paper bera_pokoradi_20081114.
- [112] BERA JÓZSEF *Környezeti zaj és határértékek közötti összefüggések*, In: Pokorádi László (szerk.) Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban 2009 Konferencia: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2009.05.20 Debrecen: Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottsága, pp. 101-106.

- [113] BERA JÓZSEF *Zajjellemzők természetes és épített környezetben*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIV.:* Nemzetközi Tudományos Konferencia. 282 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2009.03.26-2009.03.27. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 41-44.
- [114] BERA JÓZSEF *Iparfejlesztés és környezeti zajvédelem összefüggései*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, XV.* Kolozsvár, 2010. március 25-26, Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2010.03.25-2010.03.26. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 33-36.
- [115] BERA JÓZSEF *Ipari helikopteres repülés környezeti hatása*, In: Pokorádi László (szerk.) *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban 2011: a konferencia előadásai.* Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2011.05.18 Debrecen: DAB, pp. 89-94.
- [116] BERA JÓZSEF *Környezetvédelmi tervezés aktuális kérdései*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Műszaki Tudományos Füzetek 2011: Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka 16.* Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2011.03.24-2011.03.25. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 33-36.
- [117] BERA JÓZSEF *Kockázatkezelés a környezetvédelmi tervezés folyamatában*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVII.* Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2012.03.22-2012.03.23. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 35-38.
- [118] BERA JÓZSEF *Környezetvédelmi döntéshozatalok elemzése*, In: Pokorádi László (szerk.) *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2012* Konferencia. 648 p. Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2012.05.10 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, pp. 405- 414.
- [119] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Légi forgalom és repülőtér fejlesztés környezetvédelmi kockázatkezelése*, In: Horváth Balázs, Horváth Gábor (szerk.) *Közlekedéstudományi Konferencia Győr 2012: Hogyan tovább közforgalmú közlekedés?.* 360 p. Konferencia helye, ideje: Győr, Magyarország, 2012.03.29-2012.03.30. Győr, Universitas-Győr Kht., pp. 137-148.
- [120] BERA JÓZSEF *Környezeti bizonytalanság és környezetbiztonság összefüggései*, In: Pokorádi László (szerk.) *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013.* 518 p. Konferencia helye, ideje: Magyarország, 2013.06.04 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, pp. 114-121.
- [121] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Műszaki környezetvédelem és a kockázatkezelés összefüggései*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ XVIII.* Kolozsvár, Románia, 2013.03.21-2013.03.22. Kolozsvár: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 69-73.
- [122] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Műszaki folyamatok hatása a környezetbiztonságra*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX.:* Nemzetközi Tudományos Konferencia. 480 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 57-60.

- [123] BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Monte-Carlo Szimuláció alkalmazása a légi közlekedés környezeti hatásainak elemzésére*, Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2014., Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014. 08.25-2014.08.27., Budapest: Magyar Mérnökakadémia, pp. 246-250.
- [124] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Helikopter leszállóhely zajkibocsátásának Monte-Carlo szimulációja*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ XVIII.: Nemzetközi Tudományos Konferencia, International Scientific Conference*. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2013.03.21-2013.03.22. Kolozsvár: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 327-330.
- [125] POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *A légiközlekedés környezetbiztonsági modelljének keresése*, In: Bitay Enikő (szerk.) *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX.: Nemzetközi Tudományos Konferencia*. 480 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.20-2014.03.21. Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület, pp. 333-336.

További tudományos művek

- [126] BERA JÓZSEF *Harc a zaj ellen*, MAGYAR HONVÉD 1998:(13) pp. 28-29.
- [127] BERA JÓZSEF *Reptér mellett nem jó lakni*, KÖRNYEZETVÉDELEM 2000:(5) pp. 18-19.
- [128] BERA JÓZSEF *Repülőtér és zajártalom*, MAGYAR HONVÉD 2000:(18) pp. 28-29.
- [129] BERA JÓZSEF *Zajmérési tapasztalatok*, MAGYAR HONVÉD 2000:(4) pp. 28-29.
- [130] BERA JÓZSEF *Zajmérési tapasztalatok repülőtér környezetében*, In: Tóth László, Benkóné Pongó Nóra (összeáll.) (szerk.) XXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás: az előadások tartalmi összefoglalói. Konferencia helye, ideje: Gödöllő, Magyarország, 2000.01.18-2000.01.19. Gödöllő: FVM Műszaki Intézet, p. 36.
- [131] TURCSÁNYI KÁROLY - BERA JÓZSEF - POKORÁDI LÁSZLÓ *Relations between constructions and noise-emission of aircraft*, In: Zobory I (szerk.) *Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies : VSDIA '98*. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 1998.11.09-1998.11.11. Budapest: BME Vasúti Járművek Tanszék, pp. 367-373.

Jelölt értekezéshez nem kapcsolódó publikációi

- [132] POKORÁDI LÁSZLÓ - SZABOLCSI RÓBERT - BERA JÓZSEF *Mathematical Model-Based Methods to Investigate Manufacturing Anomalies*, In: AIAA (szerk.) *Proc. of the 22nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*. Konferencia helye, ideje: Harrogate, Nagy-Britannia, 2000.08.27-2000.09.01. Harrogate: AIAA, pp. 594.1-594.7.
- [133] SZABOLCSI RÓBERT - POKORÁDI LÁSZLÓ - BERA JÓZSEF *Robust Control Law Synthesis for High Maneuverable Aircraft*, In: AIAA (szerk.) *Proc. of the 22nd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*. Konferencia helye, ideje: Harrogate, Nagy-Britannia, 2000.08.27-2000.09.01. Harrogate: AIAA, pp. 1-2.