

Az érkező légi forgalom folyamatos süllyedéssel történő megközelítését biztosító irányítói támogatóeszköz koncepciója

A forgalmas repülőtereken jelentős problémát okoz az érkező és induló légi járművek környezetvédelmi, gazdasági és üzemirányítási szempontból hatékony kezelése. Az érkező forgalom folyamatos süllyedéssel történő bevezetése különösen nagy kihívást jelent, ha a légi járművek egymástól függetlenül, eltérő irányokból közelítik meg a repülőteret. Jelen cikkben bemutatásra kerül egy olyan új koncepció, amely együttesen kezeli a különböző irányokból és útvonalakon érkező légi járművekkel kapcsolatos sorrendezési és optimális profilalkotási kérdéseket.

Madácsi Richárd - Baráth Márta - Dr. Sándor Zsolt, PhD.

HungaroControl Magyar Légiforgalmi Szolgálat Zrt.

légiforgalmi eljárás tervező és rendszertervező Richard.Madacsi@hungarocontrol.hu	légiforgalmi rendszertervező Martha.Barath@hungarocontrol.hu	légiforgalmi rendszertervező Zsolt.Sandor@hungarocontrol.hu
---	--	---

1. BEVEZETÉS

A légi közlekedési kutatási projektek – az amerikai NextGen (Next Generation Air Transportation System) és az európai SESAR (Single European Sky Air Traffic Management Research) – egyik kiemelt célja, hogy olyan fejlesztéseket indítsanak be, amelyek hatására a teljes légiforgalmi irányítási és menedzsment rendszer hatékonysága növekszik [1], [2]. Ez magában foglalja a kapacitás bővítést, a környezeti hatások csökkenését, mindeközben a repülésbiztonság növekszik vagy legalább a fejlesztést megelőző szinten marad. Jelen cikkben az érkező forgalom hatásait elemzik a szerzők. A hatékonyságnövekedés a le- és felszállási műveletek optimális eloszlását jelenti az érkező és induló forgalom függvényében.

Az induló és érkező forgalom kezeléséért a repülőterei toronyirányítási (TWR) és a bevezető irányítási szolgálat (APP) felelős. A bevezető

irányító szolgálatnak az érkező forgalom sorrendjének kialakítása során a repülésbiztonsági követelmények mellett a környezetvédelmi és a gazdasági célokat is figyelembe kell venni. A repülőter megközelítése során az érkező légi járművek egy előre meghatározott útvonalat (vagy annak egy részét) repülnek le.

A biztonsági szempontok alatt a légi járművek közötti megfelelő horizontális elkülönítést kell érteni, miközben az útvonalat lerepülik. Környezetvédelmi és egyben gazdasági cél, hogy a repülőter megközelítése során a légi jármű a forgalmi körülményekhez mért legrövidebb útvonalat repülje le. Így az üzemanyag-felhasználás és a CO₂ kibocsátás minimalizálható. A negatív hatások tovább csökkenthetők, amennyiben a légi jármű a repülőteret folyamatos süllyedéssel közelíti meg (CDA - Continuous Descent Approach). Ennek során – a szinttartó repülések elkerülésével – a repülőgépeknek

nem kell időszakosan többletenergiát használni az előrehaladáshoz, így a felgyúlt helyzeti energia optimális kihasználása alacsonyabb hajtómű-teljesítményt eredményez. Ezzel a légi útvonalak zajterhelése is mérséklődhet.

Kutatások kimutatták, hogy az egyfolyosós repülőgépek esetén, a CDA alkalmazásával járatonként 50-150 kg-nyi üzemanyag takarítható meg [3], [4]. Nagyobb gépek esetén az üzemanyag-megtakarítás 200 kg körüli érték. A tényleges megtakarítás azonban jelentősen függ az aktuális forgalmi, időjárási és egyéb befolyásoló tényezőktől is [4]. A zaj tekintetében kb. 5 dB-es csökkenés mérhető, ami kb. 15%-os mérséklést jelent [5], [6], [7], [8].

A CDA megvalósítása érdekében a légi járművek vezetőit mihamarabb tájékoztatni kell a földet érésig (futópályaküszöbig) lerepülő útvonalhosszról (Distance To Touchdown - DTD). Általánosságban kijelenthető, hogy a sorrendezéssel összefüggő operatív irányítási beavatkozások miatt a légiforgalmi irányítók annál pontosabb DTD értéket tudnak szolgáltatni, minél közelebb vannak a légi járművek a használatos futópálya alapfalához¹. Ekkor azonban a CDA-ból fakadó hatékonyságnövekedés minimális, ugyanis a CDA lényege, hogy már a süllyedés megkezdésének pillanatában a légi jármű személyzete a pontosan lerepülő útvonal hosszával számolhasson.

Az érkező forgalommal kapcsolatos probléma, hogy a légi járművek leszállási sorrendjének kialakítása és a végső egyenesre vezetése sok esetben vektorálással² történik, mivel a létrehozandó térközök tekintetében ez a lehető legpontosabb és leghatékonyabb eljárás. Azonban ebben az esetben a DTD érték pontos meghatározása és a légi jármű fedélzetére történő továbbítása nem lehetséges. Az egyes légi járművek által lerepülő távolságok minden esetben a sorban előrébb haladó légi járműtől függenek. Egy-egy szabályozási beavatkozás hatása láncoltan terjed tova, befolyásolva a sorban elhelyezkedő összes légi jármű repülését. Emiatt vektorálás esetén nem lehet maximálisan kihasználni a CDA elvben rejlő lehetőségeket.

Ahhoz, hogy a légi járművek vezetői a lehető legkorábban közel 100%-os pontosságú képet kapjanak a várható útvonalról, elengedhetetlen egy e célra megtervezett eljárás (útvonal) közvétel, és ennek követésére vonatkozó utasítás kiadása. Ez azonban egyidejűleg csak egy légi jármű esetén működőképes, hiszen különböző nyomvonalakon, de azonos pontra repülő forgalom összerendezése a jelenlegi, humán teljesítményen és képességeken alapuló munkamódszerekkel szinte lehetetlen. A sorrendezésben és térköz-kialakításban előálló konfliktusok detektálása csak egy késői fázisban lehetséges, ami bár repülésbiztonsági kockázatot nem jelent, a hatékonyság szempontjából káros.

Ezen megoldással egyenértékű, a már létező eljárások stratégiai útvonalpontjainak felhasználásával taktikai szinten létrehozott kvázi útvonalon való vezetés. Ekkor a légi jármű fedélzeti számítógépes vezérlő rendszere (Flight Management System – FMS) az abba betáplált útvonal-rövidítések alapján kiszámítja az optimális repülési profilt. Azonban a többi légi jármű operatív irányítása miatt az irányítók által kiadott utasítások hatására az FMS által kiszámolt útvonal gyakran változik.

A feladat egy olyan módszer kialakítása, amely egyszerre képes kezelni a sorrendezési kérdéseket és az optimális profilalkotást a különböző irányokból és útvonalakon érkező légi járművekre vonatkozóan.

2. KORÁBBI KUTATÁSOK

A repülőtéren és bevezető irányítói szolgálat munkáját támogató eszközök kifejlesztését számos amerikai és európai kutatás célul tűzte ki a repülőtéren, légiforgalmi irányítással összefüggő tevékenységek pontosságának növelése érdekében. Az első fejlesztések az 1980-as évek elején valósultak meg. A német Űrkutatási Központ (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR) által kifejlesztett COMPAS rendszer az érkező forgalom kezelését tette lehetővé időkezetet megjelenítő interfész alkalmazásával [9]. A NASA által 1989-ben bemutatott *TIMER*

¹ Futópálya megközelítése során a végső egyenesre való ráfordulást megelőző, arra merőleges útirány.

² Navigációs vezetés biztosítása a légi járművek részére meghatározott géptengelyirányok formájában.

koncepció célja az volt, hogy az érkező légi járművek elkülönítése és a leszállási sorrend kialakítása idő alapon történjen, amelyhez üzemanyag megtakarítást eredményező sikló pályát alkalmaznak, így növelve a légi közlekedés időbeli és térbeli pontosságát [10].

A nagy számítási kapacitással rendelkező rendszerek megjelenésével elérhetővé vált a négydimenziós előrebecslés. A COMPAS utódjának tekinthető a 4D-CARMA rendszer, amely 4D-s támogatást és időablakos megjelenítést biztosít az irányítók számára (sebesség, irányszög-ajánlás, stb.) [9], [11].

Az érkezési és indulási menedzser rendszerek integrált módon szolgáltatnak információt az érkező és induló gépekről a légiforgalmi irányítók számára. Annak ellenére, hogy számos rendszert állítottak már szolgálatba, az alapvető céljuk azonos [12], [13]: a forgalom áramlásának optimalizálása az APP szektorban az aktuális forgalmi helyzetnek megfelelő, a légiforgalmi irányító számára továbbított sorrendezési, sebesség- és magasság-információk által. Ezek jellemzően az irányító rendszertől független, különálló megoldások, amelyek külön megjelenítő felületet igényelnek, és általában vagy csak az induló, vagy csak az érkező forgalom kezelésében nyújtanak segítséget [14].

A NASA által kifejlesztett *Controller-Managed Spacing* (CMS) integrált módon működik a bevezető irányítót támogató rendszerrel, amely az érkező forgalomra vonatkozóan precíziós, idő alapú ütemtervet biztosít, így megkönnyítve az irányítók munkáját [15], [16]. A megoldás a gépek aktuális helyzetét és útvonalát összeveti a menetrend szerinti nominális útvonallal. A rendszer a menetrend betartása érdekében az irányítónak a sebességszabályozás alkalmazására vonatkozóan javaslatot ad, hogy a légi járművek érkezése a menetrendnek megfelelően történjen. A rendszer hátránya, hogy csak egy jól meghatározott útvonalon használható. Továbbá az irányító számára nem biztosítja azt a flexibilitást, hogy vektorálással az érkező forgalom kezelésével összefüggően és sorrendezéssel kapcsolatos döntéseket hozzon. Az irányítók számára biztosított ajánlások csak az alkalmazandó sebességekre vonatkoznak, és problémák

merülhetnek fel, amennyiben több légi jármű esetén tovagyrúzó hatások tapasztalhatók.

Annak érdekében, hogy még több tényező bevonásával növelhető legyen a légtér és a repülőtér kapacitáskihasználtsága a MITRE kutatóvállalat kialakította az „Automated Integration of Arrival/Departure Schedules” koncepciót, amely képes együttesen kezelni az érkező és induló forgalmat figyelembe véve az egyes légi járművek között kialakítandó minimális térközöket. Az érkező légi járművek között aktuálisan alkalmazandó térközöket minden esetben az induló forgalom függvényében határozzák meg, figyelembe véve a menetrendi sajátosságokat és a forgalomösszetételt. A rendszer grafikus felületen keresztül „slot marker”-ek megjelenítésével támogatja a légiforgalmi irányítót. A koncepció szimulátoros alkalmazásával a nagy forgalmat lebonyolító repülőtér esetére meghatározták, hogy a légi járművek közötti térköz a minimális értékre csökkentése megoldható, amennyiben az irányító időben megkapja az alkalmazandó térközökről szóló információt. Ennek segítségével mind az érkező, mind az induló kapacitás növelhető a biztonság veszélyeztetése nélkül. Az elérhető kapacitásnövekedés 5-10% [17].

Az említett megoldások lehetővé teszik egy-egy specifikus probléma kezelését, azonban komplex megoldást az 1. fejezetben felvázolt feladatra nem nyújtanak.

3. POINTMERGE KONCEPCIÓ

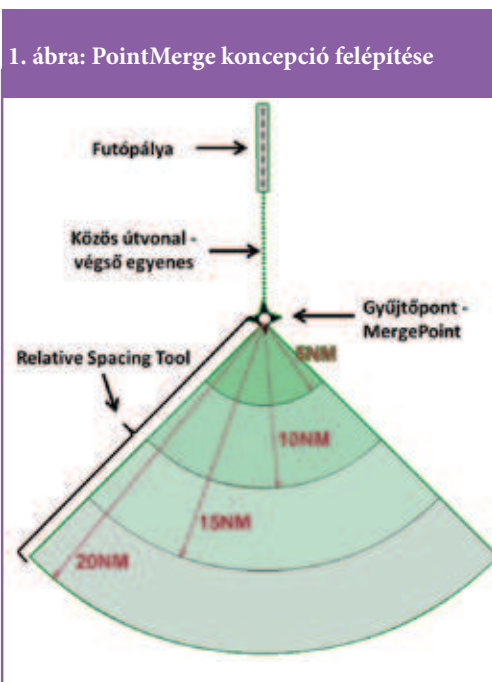
A PointMerge a EUROCONTROL által kifejlesztett forgalomirányítási koncepció, amely együttesen képes megvalósítani az érkező légi járművek sorrendezését és az optimális profilalkotást. Lényege, hogy nem igényli új eszközök implementálását, így a meglévő légtér szerkezet átalakításával és az elérhető technológiai megoldásokkal alkalmazhatóvá válik [18], [19]. A PointMerge koncepció alkalmazása során a légi járművek a kezdeti megközelítés fázisában egy közzétett P-RNAV (Precision-Area Navigation – precíziós területi navigáció) körívén (egyenes szakaszokkal való közelítéssel) repülnek. Ezt követően a radarképernyőre térképelemként megjelenített statikus „spacing

tool (térföld-kialakítást biztosító elem, ekvidisztáns osztású, koncentrikus körívek) felhasználásával a gyűjtő pontra (Merge point a körív középpontja) történő közvetlen repülési utasítás (ún. direkt) kiadásával hozza létre az APP légiforgalmi irányító az előírt térföldt.

A direkt kiadásakor az FMS egyértelmű helyzettel szembeesül a CDA megvalósításához, így már képes optimális paramétereket számítani. A térföld finomhangolása sebességszabályozással történik, a *spacing tool*-hoz való viszonyítás-sal.

A PointMerge koncepció elemei (1. ábra):

1. Közös útvonal, pl.: végső egyenes
2. Merge point
3. Relative Spacing Tool (térföldelem)



A koncepció működési elve (2. ábra):

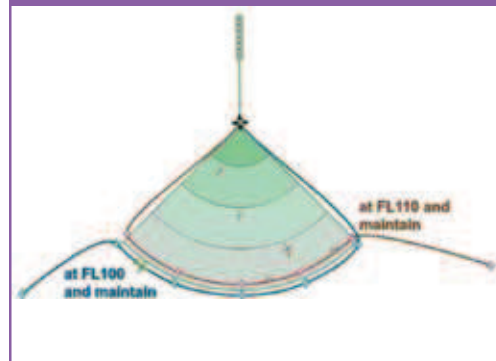
1. A különböző irányokból érkező légi járművek eltérő magasságon lépnek be a légtérbe, ahol a számukra kijelölt köríven repülnek. A köríven történő reptetés egy kiterítő manőver, annak érdekében, hogy az érkező forgalmat alkotó légi járművek között a vízszintes elkülönítésnek megfelelő távolságok

kialakuljanak. A manőver szinttartó repülés, mert horizontális elkülönítés a párhuzamos útvonalak közelsége miatt nem biztosítható, így vertikális elkülönítés létrehozása szükséges.

2. A megfelelő laterális térföld kialakítását követően a légiforgalmi irányító utasítja a légi jármű személyzetét a MergePointra repülésre. Ekkor az FMS képességeit felhasználva optimalizált repülés profil valósítható meg.

A kialakított térföldök fenntartása érdekében sebességszabályozás alkalmazása az érkező forgalom minden eleménél.

2. ábra: PointMerge koncepció működése



Szimulációk kimutatták, hogy a koncepció alkalmazható még megnövekedett forgalom esetén is, segítségével csökkenthető a légiforgalmi irányítókat érő munkaterhelés. A módszer alkalmazásával a biztonság garantálható, miközben az elkülönítés pontossága és előreláthatósága nő [18].

A koncepciót elsőként 2011-ben Osloban vezették be, majd később Dublinban (2012), Hannoverben (2013), Kuala Lumpurban (2014) és a Kanári-szigeteken (2014). Az érintett területeken a PointMerge bevezetésének célja a légtér szerkezet újrastrukturálása volt, annak érdekében, hogy a kapacitásbeli szűk keresztmetszeteket feloldják, és csökkentsék a légiforgalmi irányítók munkaterhelését [20], [21].

A forgalomszervezés javulása ellenére azonban számos probléma merült fel mind a légitársas-

ságok, mind a légiforgalmi irányítói személyzet oldaláról [20]:

- Alacsony érkező forgalom esetén indokolatlan útvonalhossz-növekedés. Ilyen esetben a hagyományos vektorálással rövidebb lerepült útvonalhosszal is biztosítható a megfelelő elkülönítés.
- Az alap koncepció csak két, előredezett áramlatból érkező forgalom összerendelésére alkalmas. Lehetőség van térbeli kiterjesztésre (több körcikk használata, köríven található útvonalak meg többszörözése, stb.), azonban ez a felhasznált légtér indokolatlan növekedésével jár, ami extra terhelést és kiképzési időszükségletet jelent az irányító számára, és az így kialakuló rendszer zavarérzékenysége rendkívüli módon növekszik (a sorrendben első légi járműhöz kell igazítani a többit). Komplex esetekben a CDA nem feltétlenül biztosítható, mivel a köríven való repülés hosszának meghatározása bizonytalan. A közzétett eljárás túl nagy hossza miatt az üzemanyag-felhasználás sem optimális.
- A koncepció legnagyobb hátránya a statikus „Spacing Tool”. A légiforgalmi irányítók a direkt kiadásának időpontját, valamint a sebességszabályozást a légi jármű helyszimbólumainak a térképelemként megjelenített, egymástól az általában használatos laterális elkülönítés nagyságával megegyező távolságra elhelyezett koncentrikus körívekhez való viszonyítással végzik. Ezek statikus volta miatt a térköz alakulását időben nem lehet nyomon követni, így a felhasználó csak bizonyos időpillanatokban kap helyzetképet az aktuális állapotról. Emiatt a szükséges beavatkozás késedelmet szenvedhet.
- A „Spacing Tool” esetén a körívek távolsága előre rögzített, az irányító nem változtathat a szükséges térköznek megfelelően rajta (pl. induló forgalom beiktatásakor, korlátozott látás esetén, műszaki meghibásodáskor, stb.).
- A koncepció nem biztosítja a forgalom stratégiai és pretaktikai előtervezését. Így nem használható ki a CDA adta előny, mivel előre nem lehet meghatározni, hogy pontosan milyen hosszúságú a légi jármű által lerepülő útvonal. A forgalomkezelés azonos a vektorálással és a ténylegesen

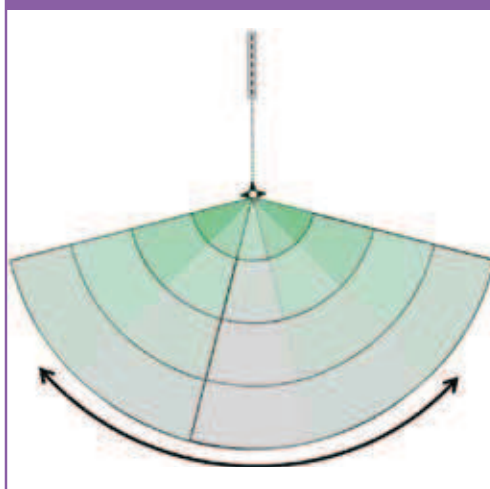
lerepülő útvonal a sorrendben előrébb lévő légi járművektől függ ebben az esetben is.

A felmerült problémák kiküszöbölése érdekében olyan megoldásra van szükség, amely lehetővé teszi a korai tervezést (pretaktikai szinten), így biztosítva a CDA megvalósítását és a helyes sorrendezést.

4. POINTMERGE KONCEPCIÓ KITERJESZTÉSE - MERGESTRIP

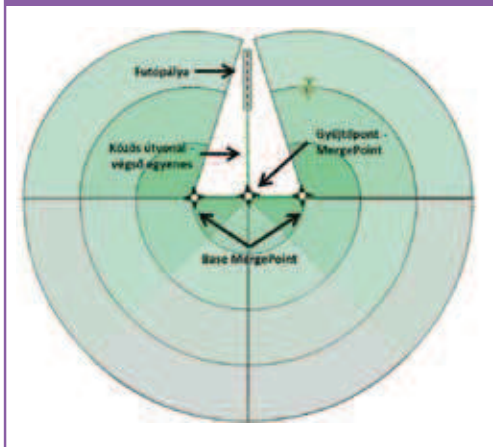
A PointMerge koncepció elemzése során felmerült, hogy annak kiterjedése indokolatlanul csak egy körcikkelyre korlátozódik, ami korlátozza a belépő útvonalak számát. Optimális megoldást jelent, ha a körcikket térben kiterjesztjük. Ennek megvalósítása nem ütközik elvi akadályba, mivel az eredeti koncepció struktúrája, az alkotóelemekkel együtt a kiterjesztéstől függetlenül megmarad (3. ábra).

3. ábra: PointMerge koncepció kiterjesztése



A kiterjesztés esetén a Merge pontra való repülés és az arról a közös útvonalra ráfordulás okozhat problémát a trajektória geometriájának függvényében. Azonban ún. „Base Merge Point”-ok beiktatásával ezt orvosolni lehet (4. ábra). A kiterjesztett környezetben nem szükséges P-RNAV útvonalakon (körívek) vezetni a légi járműveket, hiszen a statikus „Spacing Tool” vektorálás mellett is használható.

4. ábra: Kiterjesztett PointMerge koncepció „Base Merge Point”-okkal



A működéssel összefüggésben bevezetésre kerülő távolságfogalmak (5. ábra):

- **Length (l):** elemi úthosszak.
- **Track (t):** a légi jármű számára hátralévő útvonalhossz, amely az elemi úthosszakból áll össze (forgalomirányítási koncepció és a légi jármű aktuális helyzete alapján meghatározható minden járműre vonatkozóan).
- **Relative spacing (S_r):** érkező forgalmat alkotó légi járművek által lerepülő útvonalhosszak különbsége.
- **Absolute spacing (S_a):** érkező forgalmat alkotó légi járművek közötti távolság (légvonalban mérve).

A MergeStrip koncepció elemei megegyeznek a PointMerge koncepció alkotórészeivel:

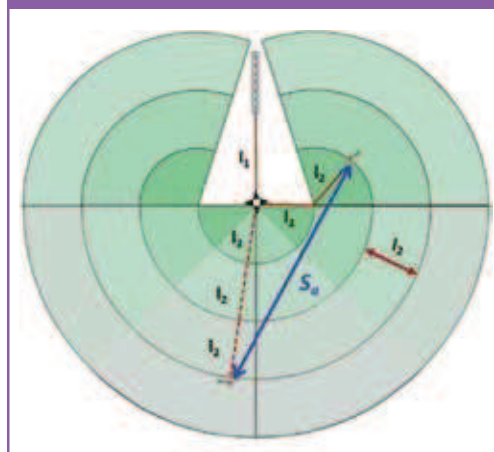
- Közös útvonal - végző egyenes.
- Merge pontok – amire számolni lehet a hátralévő útvonalhosszt.
- Relative Spacing Tool – képzeletbeli középvonalon mozgó szimbólumok, illetve az a számegetes, amely a **Track** és a **Relative spacing** értékeket mutatja.

A koncepció működési elve:

- Kitérítő manőver (tetszőleges irányban) – amennyiben erre a forgalomszervezés miatt szükség van (pl. térköz kialakítása az érkező légi járművek között).
- FMS képességeit felhasználva optimalizált,

- CDA-val megvalósított repülés egy útvonalpontra (Merge pontok valamelyikére, a repülési iránynak megfelelően).
- Sebességszabályozás a létrehozott horizontális elkülönítés fenntartása érdekében.

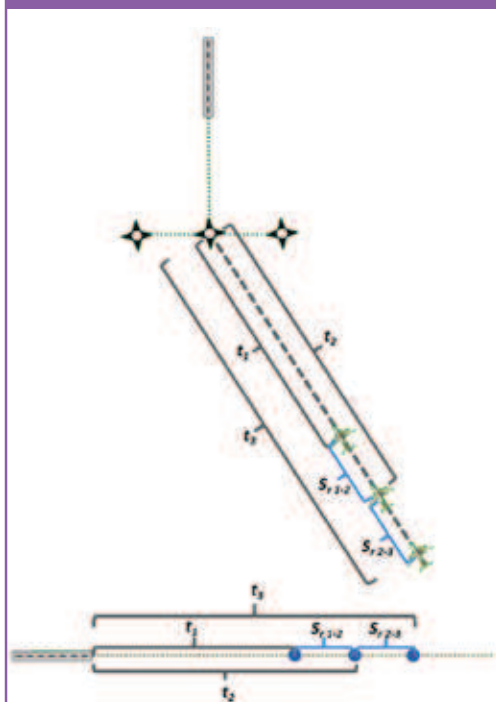
5. ábra: Távolság fogalmak



A bevezető légiforgalmi irányítók számára akkor egyszerű az irányítás, ha a **Relative** és **Absolute spacing** értékek egymáshoz közel vannak. Ekkor ugyanis a légi járművek egy irányból, egymás mögött haladva közelítik meg a repülőteret (6. ábra). Tekintettel arra, hogy a forgalom jellemzően nem egy irányból érkezik, így cél, hogy olyan támogató eszköz jöjjön létre, amely a légiforgalmi irányító számára a hátralévő útvonalhossz függvényében adja meg a **Relative spacing** értékeket.

Az érkező forgalom esetén a **Track** és a **Relative spacing** meghatározásával a PointMerge koncepcióban kialakított körívekre a továbbiakban már nincs szükség, mivel a légi járművek közötti relatív távolságok a számítás eredményeként ismertté válnak. A MergeStrip koncepció lényege, hogy egy kiterjesztett környezetben a relatív térköz létrehozása ne statikus térképelemek használatával történjen, hanem egy dinamikus, a légi járművek helyzetét egy dimenzióba leképező rendszerrel. Ennek segítségével minden időpontban lehetőség van a légi járművek **Track** és **Relative spacing** értékeinek számegetesen való megjelenítésére (6. ábra). Ezek alapján a légiforgalmi irányítók

6. ábra: Azonos útvonalon érkező légi járművek közötti térközök

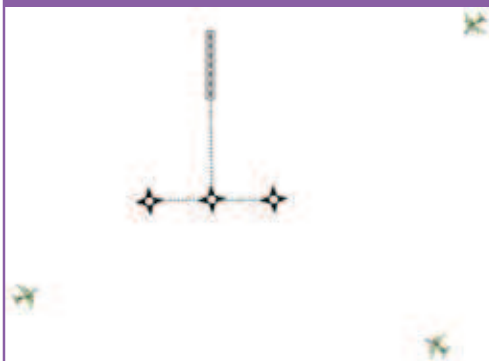


számára az aktuális forgalmi helyzet átláthatóbbá és könnyebben kezelhetőbbé válik: korai stádiumban kialakíthatják a leszállási sorrendet, bármely időpillanatban képesek meggyőződni a *Relative spacing* aktuális állásáról, és meg tudják adni a légi jármű-vezetők számára a CDA biztosításához szükséges paramétereket, továbbá szükség esetén sebességszabályozással beavatkozhatnak, hogy a szükséges térköz a légi járművek között rendelkezésre álljon.

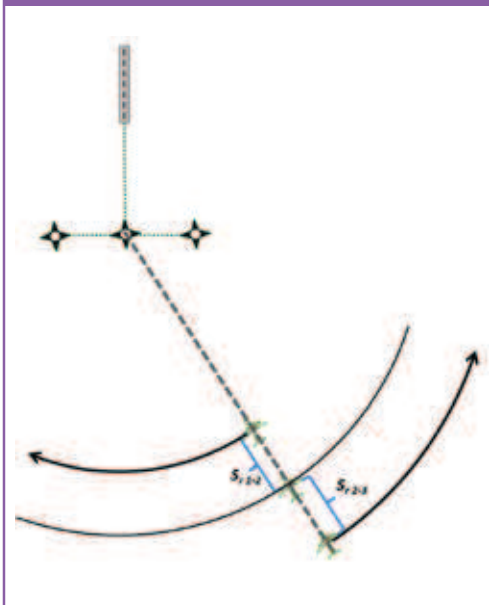
A 7. ábra olyan forgalmi szituációt ábrázol, amikor a légi járművek különböző irányokból érkeznek. A radarképernyőn megjelenő információk alapján az irányító számára a helyzet nem feltétlenül egyértelmű. Azonban a *Track* és *Relative spacing* értékek meghatározásával már jól látható (8. és 9. ábra), hogy a sorrendezés tekintetében a forgalmi helyzet megegyezik a 6. ábrán szemléltetettel, csak a légi járműveket egy képzeletbeli körív mentén eltolták. A relatív térköz a légi járművek között, valamint a futópálya küszöbig lerepülendő távolságok azonosak, így ugyanúgy kell a sebességeket

szabályozni az optimális megoldás érdekében. Fontos megemlíteni, hogy az azonosság a Merge pontok utáni közös útvonalra vonatkozó útvonaltartási pontosság függvénye.

7. ábra: Eltérő irányokból érkező légi járművek



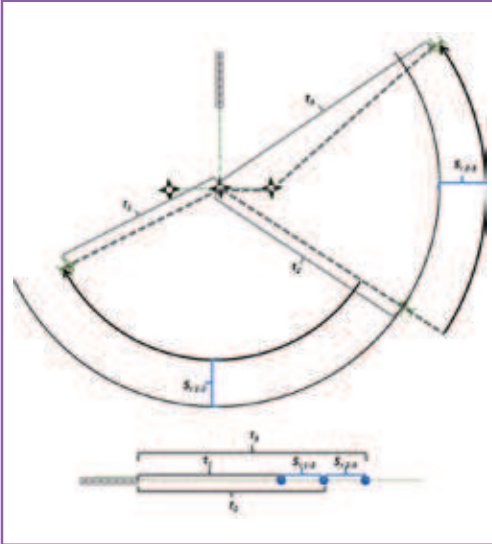
8. ábra: Relative spacing alakulása az érkező légi járművek között I.



5. KONKLÚZIÓ

A legfőbb következtetések: Megállapítható, hogy a rendszerlemek és a működés alapján a PointMerge és a MergeStrip forgalomtervezési és irányítási módszer gya-

9. ábra: Relative spacing alakulása az érkező légi járművek között II.



korlatilag ugyanaz, az előbbi hátrányai nélkül. Tekintettel az azonosságra, a PointMerge koncepciónál megállapított biztonsági szintek és mutatók jelen koncepciónál is helytállóak.

A MergeStrip koncepció előnyei:

- a térközkialakítás bármilyen tetszőleges útvonalon megvalósítható, akár vektorálással is;
- nem igényli a légtér szerkezet átalakítását és extra légtérrel;
- képes összerendelni a különböző irányokból érkező forgalmat;
- a térközk kialakítása dinamikusan változó értékekre is megvalósítható;
- a CDA megvalósítható, ugyanis a lerepülő úthossz a süllyedés megkezdésének pillanatában ismert;
- nem igényel extra üzemanyagot;
- kis forgalom esetén – akár két légi járműnél – is alkalmazható;
- az implementációs költsége alacsony;
- bevezetése egyszerűen megoldható, az irányítói állomány átképzése rövid idő alatt megvalósítható.

A felsorolt tényezők bizonyítják a kialakított koncepció flexibilitását és a hatékonyabb felhasználási lehetőségeket a PointMerge-vel szemben.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az érkező légi forgalom szervezését támogató megoldások elemzésével kialakul egy olyan módszer, amely képes a több irányból érkező légi járművek sorrendezési és helyes CDA profilalkotási kérdéseit együttesen megoldani. Ennek érdekében bevezetésre került a **Relative spacing** távolsági fogalom, amit felhasználva lehetőség van a légi járművek számára a földet érési pontig lerepülő úthosszuk közötti különbségek meghatározására, és annak számszerűsítésére történő ábrázolására. Így olyan, a légiforgalmi irányítókat támogató eszköz kialakításának alapkoncepcióját készítették el a szerzők, amelyet felhasználva megvalósítható a CDA-t támogató, integrált repülésirányítási rendszer. A koncepció implementációról és az új forgalomszervezési megoldással elért eredményekről a szerzők a későbbiekben számolnak be, ami már tartalmazza a budapesti Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre vonatkozó számításokat is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Joint Planning and Development Office: *Concept of operations for the next generation air transportation system*. Version 3.0, 2009.
- [2] SESAR Consortium: *SESAR definition phase deliverable 3—the ATM target concept*. DLM-0612-001-02-00, 2007.
- [3] J. Robinson and M. Kamgarpour: *Benefits of Continuous Descent Operations in High-Density Terminal Airspace under Scheduling Constraints*. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit (2010) pp. 1-21. http://www.aviationsystems.arc.nasa.gov/publications/2010/Robinson_ATIO2010_Final.pdf
- [4] Yi Cao, Nguyen V. P. Nguyen, Steven Landry, Dengfeng Sun, and Joseph Post: *Evaluation of Continuous Descent Approach as a Standard Terminal Airspace Operation*. 9th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar 2011 pp. 1-9. <http://atmseminar.org/seminarContent/seminar9/papers/62-Cao-Final-Paper-4-4-11.pdf>

- [5] Department of Transport, Local Government and the Regions: *Noise from Arriving Aircraft – An Industry Code of Practise*. London, 2001 <http://www.caa.co.uk/docs/68/arrivalscode.pdf>
- [6] Eric Dinges: *Determining the Environmental Benefits of Implementing Continuous Descent Approach Procedures*. 7th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. Barcelona, 2007 http://atmseminar.org/seminarContent/seminar7/papers/p_017_EC.pdf
- [7] Alam, S.; Nguyen, M.H.; Abbass, H.A.; Lokan, C.; Ellejmi, M.; Kirby, S.: *A dynamic continuous descent approach methodology for low noise and emission*. Digital Avionics Systems Conference (DASC). 2010 DOI: 10.1109/DASC.2010.5655502 http://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/conference/paper/2010/004_A_dynamic_CDA_methodology.pdf
- [8] California Centre for Sustainable Communities, research results on Continuous Descent Approach for Aviation. <http://next10.org/sites/next10.org/files/12.%20Aviation%20Practices%20and%20Procedures.pdf>
- [9] H. Helmke, R. Hann, M. Uebbing-Rumke, D. Müller, and D. Wittkowski: *Time-based arrival management for dual threshold operation and continuous descent approaches*. 8th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Napa, CA, USA, 2009. http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar8/papers/p_014_CDA.pdf
- [10] L. Credeur and W. Capron: *Simulation of TIMER, a time-based, terminal air traffic, flow-management concept*. NASA TM-2870, 1989.
- [11] A. Kuenz and C. Edinger: *Future air ground integration: a scalable concept to start with green approaches today*. 27th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS), Nice, France, 2010.
- [12] J.-P. Clarke, N. T. Ho, L. Ren, J. A. Brown, K. R. Elmer, K.-O. Tong, and J. K. Wat: *Continuous descent approach: design and flight test for Louisville International Airport*. Journal of Aircraft, Vol. 41, No. 5, 2004, pp. 1054-1066.
- [13] T. Becher, D. Barker, and A. Smith: *Methods for maintaining benefits for merging aircraft on terminal RNAV routes*. Proceeding from the 23rd Digital Avionics System Conference, Washington, D.C., USA, 2004.
- [14] L. Bernard-Peyre: *A smoother rhythm*. Air Traffic Technology International 2010, Surrey, UK: UKiP, 2009, pp. 94-97
- [15] M. Kupfer, T. Callantine, L. Martin, J. Mercer, E. Palmer: *Controller support tools for schedule-based terminal-area operations*. 9th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Berlin, Germany, 2011.
- [16] B. T. Baxley, W. C. Johnson, H. N. Swenson, J. E. Robinson, T. Pervot: *Air traffic management technology demonstration-1 concept of operations (ATD-1 Conops)*. NASA Langley Research Center, Hampton, VA, Report: NASA/TM-2012-217585, 2012.
- [17] Paul Diffenderfer, Zheng Tao, and Gaea Payton: *Automated Integration of Arrival/Departure Schedules*. 10th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, 2013. http://atmseminar.org/seminarContent/seminar10/papers/245-Diffenderfer_0126130329-Final-Paper-4-16-13.pdf
- [18] L. Boursier, B. Favennec, E. Hoffman, A. Trzmiel, F. Vergne, and K. Zeghal: *Merging arrival flows without heading instructions*. 7th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Barcelona, Spain, 2007.
- [19] Eurocontrol Experimental Centre: *Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and Continuous Descent – Operational Services and Environment Definition*. Version 2.0. Luxemburg, 2010. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/sesar/point-merged-v2.0-2010.pdf>
- [20] Point Merge Conference Oslo, 2015. <https://avinor.no/en/avinor-air>

navigations-services/about/point-merge-conference#!presentations-9811

- [21] Eurocontrol Experimental Centre: Real Time Simulation Oslo ASAP (Oslo Advanced Sectorization and Automation

Project) validation report No. 2010-002 (2010) http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/002_Oslo_ASAS_RTS.pdf



An advanced support tool for air traffic controllers to ensure continuous descent approach – concept

The research detailed in the article relates to current problems. In the case of air traffic involving several descending aircraft, the air traffic control service has to plan the order of arrivals by taking into account environmental and economic factors in addition to safety aspects. It is an environmental and economic goal that the aircraft approaching the airport flies on the shortest possible route which traffic conditions allow. This way, the fuel consumption and CO₂ emissions can be minimized. The authors indicate the task of developing a method that is able to handle both the sorting issues and the optimal profiling for aircraft arriving from different directions and by different routes. This means that MergeStrip will be extending the concept of Point-Merge.



Konzept für ein erweitertes Hilfsmittel für Fluglotsen zur Sicherung der kontinuierlich sinkenden Anflugs

Die im Artikel beschriebenen Untersuchungen beziehen sich auf aktuelle Probleme. Im Falle eines Luftverkehrs mit mehreren anfliegenden Flugzeugen, muss der Flugverkehrskontrolldienst die Reihenfolge der Ankunft zusätzlich von Sicherheitsaspekten unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Faktoren planen. Es ist ein ökologisches und wirtschaftliches Ziel, daß das Flugzeug beim Anfliegen unter den gegebenen Bedingungen den kürzesten Weg befliegt. Auf diese Weise können der Kraftstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen minimiert werden. Die Autoren zeigen, daß die Aufgabe die Entwicklung einer Methode ist, die es ermöglicht, sowohl die Sortierfragen und die optimale Profilierung für aus verschiedenen Richtungen mit verschiedenen Linienführungen ankommende Flugzeuge zu lösen. Dadurch entsteht als Ergebnis der Ausbreitung des PointMerge-Konzepts das MergeStrip-Konzept.

E számunk lektorai

Bíró József
Dr. Kovács Gábor
Paár István

Dr. Péter Tamás
Dr. Tóth János