

## A speciális térgeometriára támaszkodó „PointMerge” légiforgalmi irányítási módszer továbbfejlesztése

Madácsi Richárd\*, Baráth Márta\*\*, Dr. Sándor Zsolt, PhD.\*\*\*

HungaroControl Zrt.  
H-1185 Budapest, Igló utca 33-35.

\* Légiforgalmi eljárás tervező és rendszertervező (e-mail: [Richard.Madacsi@hungarocontrol.hu](mailto:Richard.Madacsi@hungarocontrol.hu))

\*\* Légiforgalmi rendszertervező (e-mail: [Marta.Barath@hungarocontrol.hu](mailto:Marta.Barath@hungarocontrol.hu))

\*\*\* Légiforgalmi rendszertervező (e-mail: [Zsolt.Sandor@hungarocontrol.hu](mailto:Zsolt.Sandor@hungarocontrol.hu))

Abstract: A EUROCONTROL által kidolgozott és SESAR megoldásként javasolt PointMerge forgalomirányítási koncepció megítélésünk szerint számos korláttal rendelkezik, amelyek a fejlődés gátjai lehetnek a jövőben. Jelen cikk célja, hogy bemutassa a PointMerge rendszer koncepcionális problémáit, de egyúttal javaslatot is ad azok kiküszöbölésére. Bemutatásra kerül a saját fejlesztésű MergeStrip koncepció, amellyel a EUROCONTROL megoldásával azonos hatékonyságnövelést lehet elérni, de az azonosított problémák nélkül.

### 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 repülőtéri 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 repülőtér 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 lerepülnek. Környezetvédelmi és egyben gazdasági cél, hogy a repülőtér megközelítése során a légi jármű a forgalmi körülményekhez mért legrövidebb útvonalat repülje le. Így az üzemanyag-felhasználás és a CO<sub>2</sub> kibocsátás minimalizálható. A negatív hatások tovább csökkenthetőek, amennyiben a légi jármű a repülőtér folyamatos süllyedéssel közelíti meg (CDA - Continuous Descent Approach). Ennek során – a szinttartó repülések elkerülésével – a repülőgépeknek nem kell időszakosan többletenergiát

használniuk az előrehaladáshoz, a felgyült helyzeti energia optimális kihasználása alacsonyabb hajtómű-teljesítményt eredményez, azaz a légi útvonalak zajterhelése mérséklődhet.

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

A CDA megvalósítása érdekében a légi járművek vezetőit mihamarabb tájékoztatni kell a földterésig (futópályaküszöbig) lerepülő útvonalhosszról (Distance To Touchdown - DTD). Általánosságban kijelenthető, hogy a sorrendzéssel összefüggő operatív irányítási beavatkozások miatt a légiforgalmi irányítók annál pontosabb DTD értéket tudnak szolgáltatni, minél közelebb vannak a légi járművek a használatos futópálya alapfalához<sup>1</sup>. 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 tudjon számolni.

Az érkező forgalommal kapcsolatos probléma, hogy a légi járművek leszállási sorrendjének kialakítása és a végső egyenesre való vezetése sok esetben vektorálással<sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> Futópálya megközelítése során a végső egyenest megelőző, arra merőleges útirány.

<sup>2</sup> Navigációs vezetés biztosítása a légi járművek részére meghatározott géptengelyirányok formájában.

fedélzetére történő továbbítása nem lehetséges. Az egyes légitársaságok által lerepülődő távolságok minden esetben a sorban előrébb haladó légitársaságtól függenek. Egy-egy szabályozási beavatkozás hatása láncoltan terjed tovább, befolyásolva a sorban elhelyezkedő összes légitársaságot. Emiatt vektorálás esetén nem lehet maximálisan kihasználni a CDA elvben rejlő lehetőségeket.

Az egyik lehetséges megoldás arra, hogy a légitársaságok vezetői a lehető legkorábban közel 100%-os pontosságú képet kapjanak a várható útvonalról, egy e célra megtervezett eljárás (útvonal) közzététele és ennek követésére vonatkozó utasítás kiadása. Ez azonban egyidejűleg csak egy légitársaság 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 légitársaság fedélzeti számítógépes vezérlő rendszere (Flight Management System – FMS) az abba betáplált útvonal-rövidítések alapján kiszámítja az optimális repülési profilt. Azonban a többi légitársaság 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 légitársaságokra 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 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 időkeretben megjelenítő interfész alkalmazásával [9]. A NASA által 1989-ben bemutatott TIMER koncepció célja az volt, hogy az érkező légitársaságok elkülönítése és a leszállási sorrend kialakítása idő alapon történjen, amelyhez üzemanyag megtakarítást eredményező sikló pályát alkalmaznak, így növelve a légiközlekedés időbeli és térbeli pontosságát [10].

Nagy számú 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 a légiforgalmi 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 a légiforgalmi irányítók munkáját [15], [16]. A megoldás a repülőgépek aktuális helyzetét és útvonalát összeveti a menetrend szerinti nominális útvonallal. A rendszer a menetrend betartása érdekében a légiforgalmi irányítónak a sebességszabályozás alkalmazására vonatkozóan javaslatot ad, hogy a légitársaságok érkezése a menetrendnek megfelelően történjen. A rendszer hátránya, hogy csak egy jól meghatározott útvonalon használható, továbbá a légiforgalmi irányító számára nem biztosítja azt a flexibilitást, hogy vektorálással és sorrendezéssel kapcsolatos döntéseket hozzon az érkező forgalom kezelésével összefüggően. A légiforgalmi irányítók számára biztosított ajánlások csak az alkalmazandó sebességekre vonatkoznak, továbbá problémák merülhetnek fel, amennyiben több légitársaság esetén tovagyrűző hatások tapasztalhatóak.

Annak érdekében, hogy még több tényező bevonásával növelhető legyen a légtér és a repülőter 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 légitársaságok között kialakítandó minimális térközöket. Az érkező légitársaságok között aktuálisan alkalmazandó térközök minden esetben az induló forgalom függvényében kerülnek meghatározásra, figyelembe véve a menetrendi sajátosságokat és a forgalom összetételét. A rendszer grafikus felületen keresztül „slot marker”-ek megjelenítésével támogatja a légiforgalmi irányítókat. A koncepció szimulátorban történő alkalmazásával, nagy forgalmat lebonyolító repülőter esetére meghatározták, hogy a légitársaságok közötti térköz a minimális értékre csökkentése megoldható, amennyiben a légiforgalmi 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%-ra tehető [17].

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



### 3. POINTMERGE KONCEPCIÓ

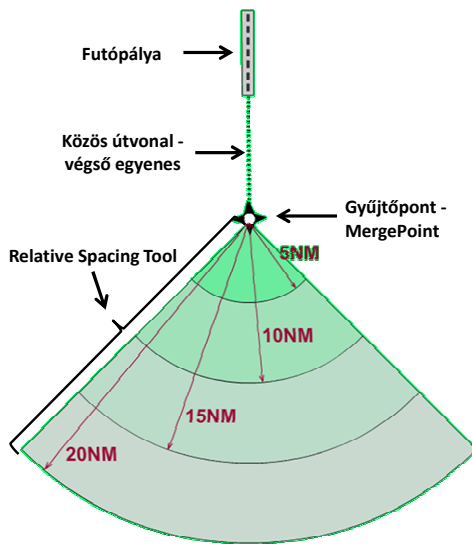
A PointMerge a EUROCONTROL által kifejlesztett forgalomirányítási koncepció, amely együttesen képes megvalósítani az érkező légi járművek sorrendezését és az optimális profilalkotást. Lényege, hogy nem igényli új eszközök implementálását, így a meglévő légtér szerkezet átalakításával és az elérhető technológiai 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) köríven (egyes szakaszokkal való közelítéssel) repülnek. Ezt követően a radarképernyőre térképelemként megjelenített statikus „spacing tool” (térköz-kialakítást biztosító elem, ekvidisztáns osztású, koncentrikus körívek) felhasználásával a gyűjtő pontra (Merge point) (körív középpontja) történő közvetlen repülési utasítás kiadásával (direkt) hozza létre az APP légiforgalmi irányítót az előírt térköz.

A direkt kiadásakor az FMS egyértelmű helyzettel szembesül, amire már képes optimális paramétereket számolni a CDA megvalósításához. A térköz finomhangolása sebességszabályozással történik, a spacing tool-hoz való viszonyítással.

A PointMerge koncepció elemei (1. ábra):

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



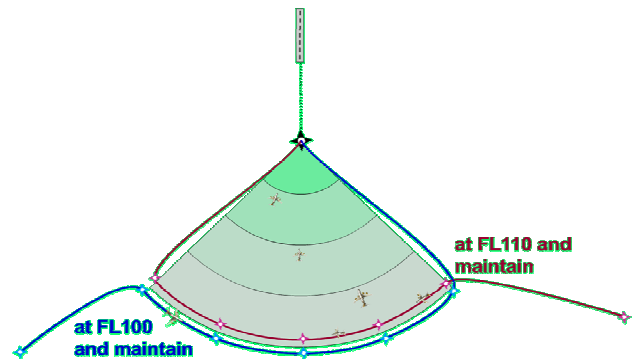
1. ábra: PointMerge koncepció felépítése

A koncepció működési elve (2. ábra):

1. A különböző irányokból érkező légi járművek eltérő magasságon lépnek be a légtérbe, ahol a számára kijelölt köríven repülnek. A köríven való reptetés egy

kitérítő manőver, annak érdekében, hogy az érkező forgalmat alkotó légi járművek között a vízszintes elkülönítésnek megfelelő távolság kialakuljon. A manőver szinttartó repülés, mert horizontális elkülönítés a párhuzamos útvonalak közelsége miatt nem biztosítható, így vertikális elkülönítés létrehozása szükséges.

2. A megfelelő laterális térköz kialakítását követően a légiforgalmi irányító utasítja a légi jármű személyzetét a MergePointra való repülésre. Ekkor az FMS képességeit felhasználva optimalizált repülés profil valósítható meg.
3. A kialakított térközök fenntartása érdekében sebességszabályozás alkalmazása az érkező forgalom minden eleménél.



2. ábra: PointMerge koncepció működése

Szimulációk kimutatták, hogy a koncepció alkalmas, még megnövekedett forgalom esetén is alkalmas, és segítségével csökkenthető a légiforgalmi irányítókra érő munkaterhelés. Továbbá a módszer alkalmazásával a biztonság garantálható, miközben az elkülönítés pontossága és előreláthatósága növekedett [18].

A koncepciót elsőként 2011-ben Osloban vezették be, majd később Dublinban (2012), Hannoverben (2013), Kuala Lumpurban (2014) és a Kanári-szigeteken. 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].

### 4. POINTMERGE KONCEPCIÓ KORLÁTAI

A forgalomszervezés javulása mellett számos probléma merült fel mind a légitársaságok, 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, előredefiniált áramlatból érkező forgalom összerendelésére alkalmas. Lehetőség

van térbeli kiterjesztésre (több körcikk használata, köríven található útvonalak megtöbbszörözése, stb.), azonban ez a felhasznált légtér indokolatlan növekedésével jár, ami extra terhelést és kiképzési időszükségletet jelent a légiforgalmi irányító számára, és az így kialakuló rendszer zavarérzékenysége rendkívüli módon növekszik (a sorrendben első légi járműhöz kell igazítani a többi). Komplex esetekben a CDA nem feltétlenül biztosítható, mivel a köríven való repülés hosszának meghatározása bizonytalan. Továbbá 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 légi jármű helyetszimbólumainak 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.
- További probléma, hogy 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 út. A forgalomkezelés azonos a vektorálással és a ténylegesen lerepülő út a sorrendben előrébb lévő légi járművektől függ ebben az esetben is.

A jövő forgalomnövekedése kihívás elé állítja mind a repülőtereket, mind a légiforgalmi irányítás megoldásait. Olyan új eljárások kialakítását igényli az egyre nagyobb forgalom, amely képes idővesztés nélkül, de biztonságosan kezelni a kialakuló forgalmi szituációkat. Annak érdekében, hogy az egyre nagyobb érkező / induló forgalom kezelhető legyen a jelenlegi statikus elkülönítési minimum értékeket dinamikus szabályozással szükséges kiváltani. Ezen kihívásokra a Point Merge koncepció alapjául szolgáló statikus spacing tool nem elegendő.

Az alábbiakban röviden bemutatásra kerülnek azok a jövőbeli fejlesztések, amelyekkel nem kompatibilis a PointMerge [26].

- **Pairwise separation (páronkénti szeparáció):**

A futópálya megközelítést végző légi járművek között előre meghatározott távolságot kell biztosítani, annak érdekében, hogy a légi járművek szárnyairól leváló örvények (ú.n. Wake Turbulence) ne okozzanak problémát a követő repülőgép esetén. Jelenleg ez az érték

légi jármű kategória függő. A PointMerge statikus spacing toolja nem teszi lehetővé a kategóriák közötti váltást. Ez jelen esetben minimális problémát okoz, ha a gelterjedtebb medium-medium kategóriákra tervezik a rendszert. A EUROCONTROL RECAT-2 programja azonban a kategóriák helyett géptípus alapú szeparációs mátrix kidolgozását tűzte ki feladatául [22]. Így a PointMerge koncentrikus körívek sugarát géppárról géppárra kellene módosítani.

- **Dynamic pairwise separation (páronkénti dinamikus szeparáció):**

A RECAT-2 program megvalósulása után a következő hatékonyságnövelő projektterv célja a szeparációs mátrix kiváltása egy szeparációs függvénnyel, amely a géptípusok mellett a légi jármű karakterisztikákat is figyelembe veszi. Ez a PointMerge koncepcióban a körívek folyamatos mozgását tenné szükségessé, ami értelemszerűen kivitelezhetetlen [23].

- **Time based separation (időalapú elkülönítés):**

A forgalomkezelés hatékonyságának fokozása érdekében egyes helyeken a távolság alapú elkülönítésről áttértek az időalapú elkülönítésre, annak érdekében, hogy így fokozzák a korlátos kapacitással rendelkező futópályák áteresztő képességét [24], [25]. A Point Merge koncepció ezt nem támogatja, mivel az statikus térköz mérő eszközzel rendelkezik.

- **Curved approach (fordulót tartalmazó végső megközelítés):**

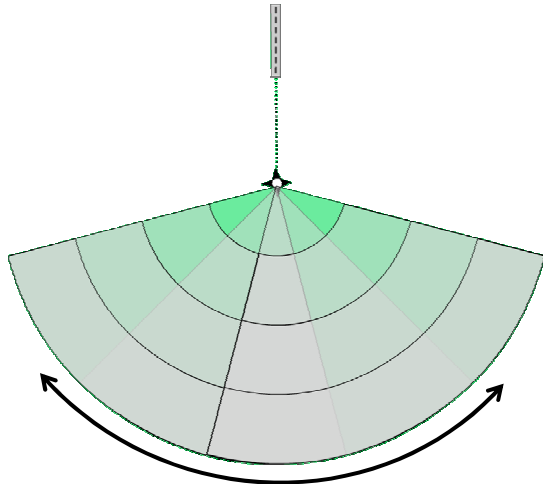
Meghatározott körülmények között olyan végső megközelítési eljárás is kialakítható, amely a jelenleg alkalmazott gyakorlattól eltérően nem egyenes, hanem fordulóban való repülést követel meg. Ezen megközelítésre a jövőben egyre nagyobb igény lesz a zajvédelmi korlátozások terjedése miatt. A fordulóban való haladásra és az itt alkalmazandó elkülönítés mérésére (sem időben, sem távolságban mérve) a Point Merge koncepció nem alkalmas, viszont a jövőben egyre több ilyen megközelítés várható a zajérzékeny területek környezetében található repülőterek esetén.

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

## 5. POINTMERGE KONCEPCIÓ KITERJESZTÉSE – A MERGESTRIP

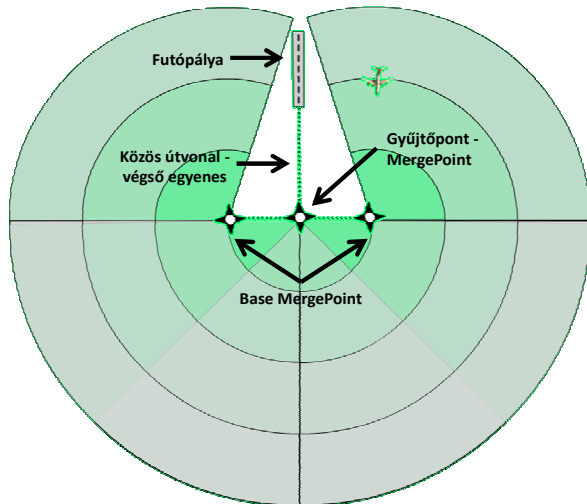
A PointMerge koncepció elemzése során felmerült, hogy annak kiterjedése indokolatlanul csak egy körcikkelyre korlátozódik, ami korlátozza a belépő útvonalak számát. Optimális megoldást jelent, ha a körcikket térben kiterjesztjük. Ennek megvalósítása nem ütközik elvi akadályba, mivel az eredeti koncepció 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 való 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 légitársaságokat, hiszen a statikus „spacing tool” vektorálás mellett is használható.



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

A továbbiakban, a működéssel összefüggésben bevezetésre kerülő távolság fogalmak (5. ábra):

- **Length (l):** elemi úthosszak.
- **Track (t):** a légitársaság számára hátralévő útvonalhossz, amely az elemi úthosszokból áll össze (forgalomirányítási koncepció és a légitársaság aktuális helyzete alapján meghatározható minden járműre vonatkozóan).

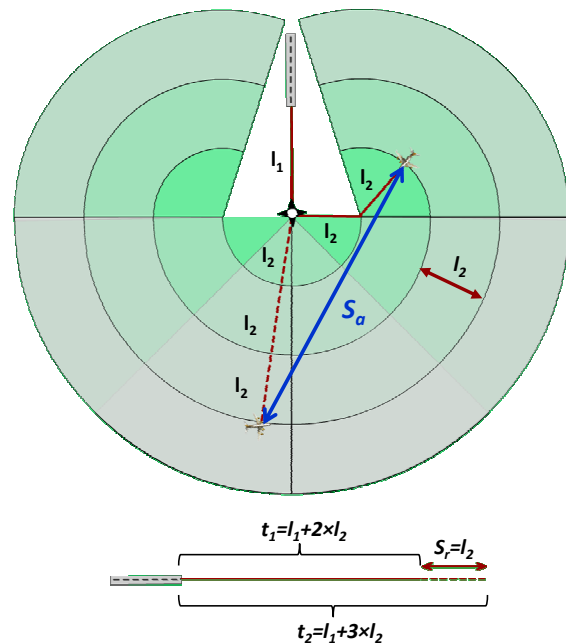
- **Relative spacing ( $S_r$ ):** érkező forgalmat alkotó légitársaságok által lerepülő útvonalhosszak különbsége.
- **Absolute spacing ( $S_a$ ):** érkező forgalmat alkotó légitársaságok közötti távolság (légvonalban mérve).

A MergeStrip koncepció elemei megegyeznek a PointMerge koncepció alkotórészeivel:

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

A koncepció működési elve:

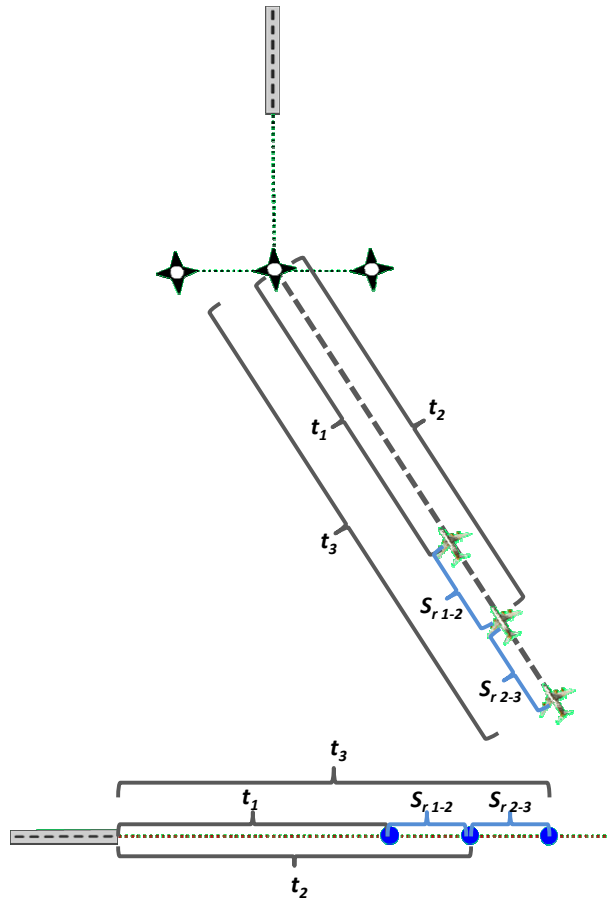
1. Kitérítő manőver (tetszőleges irányban) – amennyiben erre a forgalomszervezés miatt szükség van (pl. térköz kialakítása az érkező légitársaságok között).
2. FMS képességeit felhasználva optimalizált, CDA-val megvalósított repülés egy útvonalpontra (Merge pontok valamelyikére, a repülési iránynak megfelelően).
3. Sebességszabályozás a létrehozott horizontális elkülönítés fenntartása érdekében.



5. ábra: Távolság fogalmak

A bevezető légiforgalmi irányítók számára akkor egyszerű és könnyű a munka, ha a **Relative** és **Absolute spacing** értékek egymáshoz közel vannak. Ekkor ugyanis a légitársaságok egy irányból, egymás mögött haladva közelítik meg a repülőteret (6. ábra). Tekintettel arra, hogy a forgalom jellemzően nem

egy irányból érkeznek, így cél, hogy olyan támogató eszköz legyen kialakítva, mely a légiforgalmi irányító számára a hátralévő útvonalhossz függvényében adja meg a **Relative spacing** értékeket.

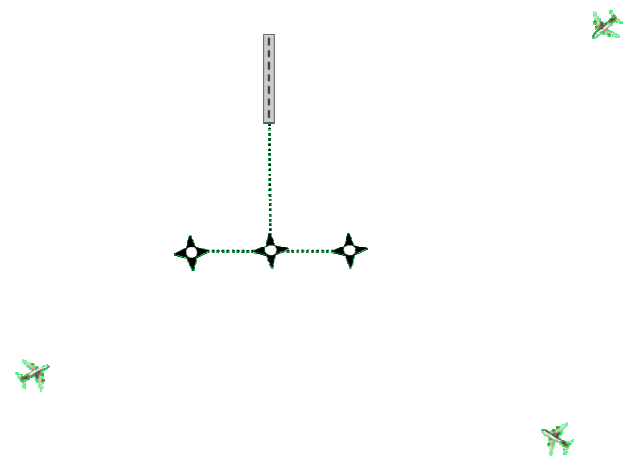


6. ábra: Azonos útvonalon érkező légi járművek közötti térközök

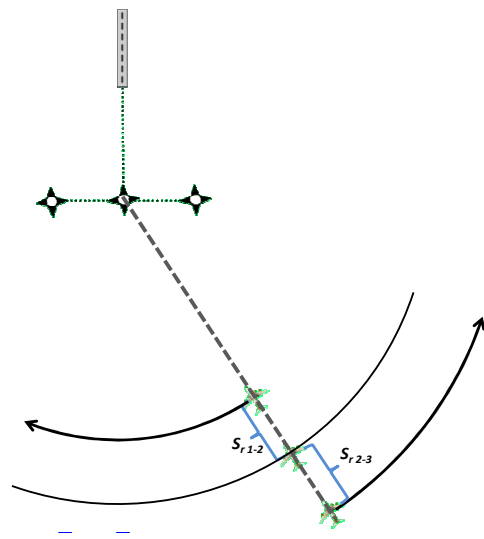
Az érkező forgalom esetén a **Track** és a **Relative spacing** meghatározásával a PointMerge koncepcióban kialakított körívekre a továbbiakban már nincs szükség, mivel a légi járművek közötti relatív távolságok ismertté válnak a számítás eredményeként. A MergeStrip koncepció lényege, hogy egy kiterjesztett környezetben a relatív térköz létrehozása ne statikus térképelemek használatával történjen, hanem egy dinamikus, a légi járművek helyzetét egydimenzióba leképező rendszerrel. Ennek segítségével minden időpontban lehetőség van a légi járművek **Track** és **Relative spacing** értékeinek számegegyenesen való megjelenítésére (6. ábra). Ezek alapján a légiforgalmi irányító számára az aktuális forgalmi helyzet átláthatóbbá és könnyebben kezelhetőbbé válik: korai stádiumban ki tudják alakítani 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 be tudnak avatkozni, hogy a szükséges térköz rendelkezésre álljon a légi járművek között.

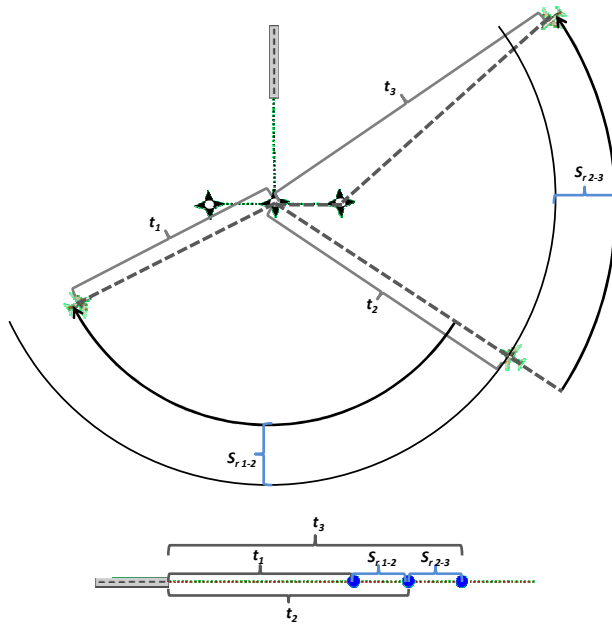
A 7. ábra egy olyan forgalmi szituációt ábrázol, amikor a légi járművek különböző irányokból érkeznek. A radarképernyőn megjelenő információk alapján a helyzet nem feltétlenül egyértelmű az irányító számára. Azonban a **Track** és **Relative spacing** értékek meghatározásával már jól látható (8. és 9.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



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

## 6. KONKLÚZIÓ

A legfőbb következtetések:

A MergeStrip a PointMerge koncepció térbeli kiterjesztése. Megállapítható, hogy a rendszerlemek és a működés alapján a PointMerge és a MergeStrip forgalomtervezési és irányítási módszer gyakorlatilag 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 térköz-kialakítás bármilyen tetszőleges útvonalon megvalósítható, akár vektorálással is vagy fordulóval rendelkező végső megközelítésre is;
- nem igényli a légtér szerkezet átalakítását és extra légteret;
- képes összerendelni a különböző irányokból érkező forgalmat;
- a térközök kialakítása dinamikusan változó értékekre is megvalósítható;
- a CDA megvalósítható, ugyanis a lerepülő úthossz a süllyedés megkezdésének pillanatában ismert;
- nem igényel extra üzemanyagot;
- alacsony forgalom esetén – akár két légi járműnél – is alkalmazható;
- implementációs költsége alacsony;

- bevezetése egyszerűen megoldható, a légiforgalmi irányítói állomány átképzése rövid idő alatt megvalósítható.

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

## 7. TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNY

A MergeStrip forgalomszervezési koncepció fejlesztési irányai:

- Indulás és érkezés menedzsment rendszerekkel való teljes integrációja, figyelembe véve a futópályafoglaltsági időket.
- Fordulót tartalmazó végső megközelítésre való kiterjesztése, annak érdekében, hogy a légi jármű által javaslatot a légi forgalmi irányítóknak az alkalmazandó beavatkozásokra.
- Idő alapú elkülönítés biztosítása.
- Dinamikusan változó indulási és érkezési eljárások alkalmazása.

A zajvédelmi intézkedések miatt, a jövőben egyre inkább előtérbe kerülnek az olyan irányítói segédeszközök, amelyek valós időben képesek modellezni a légi járművek által lerepülő hátralévő távolságot, és ez alapján adnak javaslatot a légi forgalmi irányítóknak az alkalmazandó beavatkozásokra.

## 8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az érkező légi forgalom szervezését támogató megoldások elemzésével kialakításra került egy olyan módszer, mely képes a több irányból érkező légi járművek sorrendezési és helyes CDA profilalkotási kérdéseit együttesen megoldani. A kialakított modell alkalmas a lerepülő úthossz meghatározására mind az egyenes, mind a forduló(ka)t tartalmazó végső megközelítés esetén. Bevezetésre került a **Relative spacing** távolsági fogalom, amelyet felhasználva lehetőség van a légi járművek számára a földet érési pontig lerepülő úthosszuk közötti különbségek meghatározására, és annak számegyenesen történő ábrázolására, amely könnyen értelmezhető formában jeleníti meg az elsőbbségi viszonyokat. Ez egy olyan légiforgalmi irányítókat támogató eszköz kialakításának alap koncepciója, amelyet felhasználva megvalósítható a CDA-t támogató, integrált repülésirányítási rendszer kialakítása.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [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.
- [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.
- [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
- [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](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 continous descent approaches*. 8th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar, Napa, CA, USA, 2009.
- [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.
- [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-merge-osed-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](http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/library/002_Oslo_ASAS_RTS.pdf)
- [22] <http://www.eurocontrol.int/articles/pair-wise-separations-pws-recat-2>
- [23] <http://www.eurocontrol.int/articles/weather-dependent-separations>
- [24] [http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar10/papers/222-CHORоба\\_0125130310-Final-Paper-4-11-13.pdf](http://www.atmseminar.org/seminarContent/seminar10/papers/222-CHORоба_0125130310-Final-Paper-4-11-13.pdf)
- [25] <http://www.sesarju.eu/sesar-solutions/airport-integration-and-throughput/time-based-separation>
- [26] [http://www.atmseminar.org/seminarcontent/seminar10/papers/281-geister\\_0127130223-final-paper-4-9-13.pdf](http://www.atmseminar.org/seminarcontent/seminar10/papers/281-geister_0127130223-final-paper-4-9-13.pdf)