

## 6.2 Egyéb publikációk

DONKA A.–SZTRUNGA E. 2008: *Turizmus alapismeretek*. Szakképzési tankönyv. Kereskedelmi és Idegenforgalmi Továbbképző Kft., Budapest. 136 p.

SZTRUNGA E. 2011: *A légi közlekedési esemény-bejelentések hiányosságai Európában*. Közlekedésbiztonság 4. sz. pp. 23-28.

SZTRUNGA E. 2011: A kisgépes kisformátumú légifelvelezés alkalmazási területei. In: BOKOR L. et al. (szerk.): *Földrajzi tanulmányok a Pécsi Doktoriskolából VII.* Pécsi Tudományegyetem, Pécs. pp. 225-236.

SZTRUNGA E. 2012: Költséghatékony módszerek vizsgálata a légifotózásban. In: LÓCZY D. (szerk.): *Geográfia a Kultúra Fővárosában I.: az V. Magyar Földrajzi Konferencia természetföldrajzi közleményei*. Publikon Kiadó, Pécs. pp. 71-78.

## PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

### **A légi közlekedés útvonalhatékonyságának fejlesztése az európai légtérben**

PhD-értekezés tézisei

**Sztrunga Erzsébet**

Témavezető:

Dr. habil Trócsányi András

tanszékvezető egyetemi docens

Pécs, 2015

<b>A doktori iskola címe:</b>	PTE Földtudományok Doktori Iskola 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.
<b>A doktori iskola vezetője:</b>	Dr. Dövényi Zoltán DSc egyetemi tanár PTE TTK Földrajzi Intézet Társadalomföldrajzi és Urbanisztikai Tanszék
<b>A doktori témacsoport címe:</b>	Regionális földrajz
<b>A doktori témacsoport vezetője:</b>	Dr. Szilágyi István DSc egyetemi tanár PTE TTK Földrajzi Intézet Politikai Földrajzi, Fejlődési és Regionális Tanulmányok Tanszéke
<b>Az értekezés tudományága:</b>	Közlekedésföldrajz
<b>Témavezető:</b>	Dr. habil Trócsányi András tanszékvezető egyetemi docens PTE TTK Földrajzi Intézet Társadalomföldrajzi és Urbanisztikai Tanszék
<b>Szakmai konzulens:</b>	Giuseppe Acampora Head of ASM procedures section Senior Air Traffic Management expert European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), Brussels

## 6. Publikációk

### 6.1 A disszertáció témájához kapcsolódó publikációk

SZTRUNGA E. 2011: *Légiforgalmi útvonaltervezés az Egységes Európai Légtérben*. EU Working Papers. Budapesti Gazdasági Főiskola, Külkereskedelmi Főiskolai Kar, Budapest, XV. évf. 2. sz. pp. 87-96.

SZTRUNGA E. 2011: *Útvonal-hatékonyság fejlesztés az európai légtérben*. Közlekedéstudományi Szemle, LXI. évf. 6. sz. pp. 45-55.

SZTRUNGA E. 2012: Az európai légiközlekedési útvonalak változása az Egységes Európai Égbolt megjelenésével. In: BLANKA V. (szerk.): *Kockázat – Konfliktus – Kihívás*. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának absztrakt kötete. SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged. p. 212.

SZTRUNGA E. 2012: Az európai légiközlekedési útvonalak változása az Egységes Európai Égbolt megjelenésével. In: NYÁRI D. (szerk.): *Kockázat - Konfliktus – Kihívás*. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged. pp. 813-822.

SZTRUNGA E. 2012: Optimised airspace usage in the Central European functional airspace block. In: BERGHAEUER S. et al. (szerk.): *Társadalomföldrajzi kihívások a XXI. század Kelet-Közép Európájában*. pp. 184-189.

SZTRUNGA E. 2013: *Az Európai Unió légtérátalakítási folyamatának térbeli aspektusai*. Modern Geográfia III. sz. pp. 29-48.

SZTRUNGA E. 2013: A szuverenitás szerepe a funkcionális légtérblokkok kialakításában. In: DÖVÉNYI Z.–DONKA A. (szerk.): *A geográfia változó arcai*. IDRResearch Kft.–Publikon Kiadó, Pécs. pp. 133-144.

SZTRUNGA E. 2013: *Az európai légtérfejlesztéseket kiváltó tényezők*. Közlekedéstudományi Szemle, LXIII. évf. 3. sz. pp. 13-21.

SZTRUNGA E. 2013: *A légi közlekedési útvonalak alakulása Európában*. A földrajz tanítása. XXI. évf. 1. sz. pp. 28-36.

SZTRUNGA E. 2015: *A koszovói légtér újrainvitásának hatásai*. Közlekedéstudományi Szemle, LXV. évf. 2. sz. pp. 17-22.

SZTRUNGA E. 2015: *Expected benefits of the Central-European Functional Airspace Block*. Modern Geográfia, 2. sz. pp. 69-75.

elkészítése és jóváhagyásának folyamata, az útvonaldíjak figyelembe vétele, az előtaktikai szintű katonai légtérhasználat, valamint befolyásoló tényezők lehetnek a különböző politikai okok vagy az iparágat érintő sztrájkok, esetleges vulkánkitörések. Mindezen tényezők együttes hatásának eredményeként készül el a járat repülési terve.

3. Taktikai szintű útvonalhatékonyság-szervezés: Az útvonalhatékonyság taktikai szintű tervezési feladatai a járat üzemelési napján az aktuális útvonalát befolyásoló tényezők és tevékenységek összessége, amelyek meghatározzák, hogy a repülési tervhez viszonyítva milyen lesz a járat aktuális útvonala. Ide sorolható a légtér telítettsége, a meteorológiai körülmények és egyéb tényezők miatti útvonali kerülések, a taktikai szintű katonai légtérhasználat, és a légiforgalmi irányítók által közvetlen taktikai műveletek alkalmazása, valamint a műszaki meghibásodások kezelése.
4. Műveletek utáni elemzések: Az utólagos értékelés az egyes légiforgalmi irányító központokban már jelenleg is rendelkezésre álló különböző grafikus elemző szoftverekkel történhet. Ezen túl, az általam is alkalmazott, az EUROCONTROL által rendelkezésre bocsátott SAAM és NEST szoftver is alkalmas rá.

## 5. A kutatás további irányai

Láthattuk, hogy eltérőek a nézőpontok a járathatékonyság, valamint az útvonalhatékonyság értelmezésére vonatkozóan, ezért szükségesnek tartom a jövőben az eltérő nézőpontú kutatások megvalósítását. Ehhez iránymutatóként szolgálhat a disszertáció. Segítségével a különböző szakmai szervezetek, légiforgalmi irányító központok, légitársaságok, a légiközlekedési iparág egyéb résztvevői felvázolhatják, hogy számukra mit jelent az útvonalhatékonyság és meghatározhatják azokat az általuk fontosnak vélt teendőket, melyek a hatékonyság növelése érdekében szükségesek. Szükségesnek tartom emellett annak a vizsgálatát, hogy a teljes járathatékonyságra vonatkozóan ki lehet-e alakítani a négy szintű tervezést. A járatok útvonali szakaszán túlmenően elengedhetetlen a közelségi körzetek, valamint a repülőterek hatékonyságának vizsgálata. A hatékonysági elemzések mérésére pedig szoftverek, eszközök kifejlesztésére van szükség.

## 1. Bevezetés

A gazdasági változásokra érzékenyen reagáló légiforgalom a második világháborút követő tömegessé válása óta jelentős átalakuláson ment át, ami mind technikai fejlődésében, mint a forgalom növekedésében egyaránt egzakt módon kifejezhető. A növekedés határainak a kiapadó nyersanyagforrások mellett a légtér befogadó képessége szab korlátokat. A légtér telítettsége következtében a járatok nem haladhatnak az ideálisnak tekintett legrövidebb útvonalon. A légiforgalom – folyamatos műszaki fejlődése ellenére – teljesítőképességének határa felé közeledt. Az ezzel járó kockázatok elkerülésére olyan tudományos vizsgálatokra van szükség, amelyek a légiközlekedés hatékony menedzselésével megakadályozzák a légtér telítettségének kialakulását, hozzájárulnak a légtér kapacitásproblémáinak kezeléséhez, hatékonyabb repülési pályák kialakításával csökkentik az útvonaltöbbletet és ezáltal zökkenőmentes és gazdaságos üzemeltetést tesznek lehetővé. Ennek érdekében az elmúlt egy évtizedben a légiközlekedési szakma egyre szélesebb körben foglalkozik a járathatékonyság, és az annak részeként megjelenő útvonalhatékonyság vizsgálatával és fejlesztési lehetőségeivel.

Bár a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet a repülés szinte valamennyi területére jogszabályokat dolgozott ki, kézikönyvekben és ajánlásokban pedig meghatározta a biztonságos üzemeltetéshez szükséges teendőket, azonban a járathatékonysággal nem foglalkozik mélyrehatóan. Kérdésemre a szervezet ezt azzal magyarázta, hogy a járathatékonyság rendkívül hollisztikus nézőponttal rendelkező terület, amire számos tényező hat, mint például az üzembentartók szokásai, az információ áramlása, a szolgáltatások színvonala vagy a meteorológiai körülmények. A különböző nézőpontok azt eredményezik, hogy a világ és azon belül Európa eltérő területein is a szakemberek más-más dologra asszociálnak, amikor a járathatékonyság kifejezést meghallják. Más a fogalom jelentése vertikálisan, az egyes légiforgalmi szereplők, így a repülőgép-vezetők, a légiforgalmi irányítók, az üzembentartók vagy a légterek és útvonalak fejlesztésével foglalkozó szakemberek számára, és más horizontálisan is, az egyes kontinensek légiközlekedésében.

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet az ismertett sokrétűség miatt a járathatékonyság értékelése során csak egy-egy nézőpont vizsgálatát javasolja. Ezért kutatásomban én sem vállaltam fel, hogy teljes képet adjak a járathatékonyság fejlesztésére vonatkozó megoldási lehetőségekről. Tekintettel arra, hogy a témához kapcsolódó szakmai tapasztalataimat az Európai Légiközlekedés Biztonsági Szervezetnél szereztem, ahol a légiforgalom szervezése, a légterek, illetve légiforgalmi útvonalak fejlesztési lehetőségei felől közelítenek a kérdéshez, munkám során én is ezt a nézőpontot vettem figyelembe.

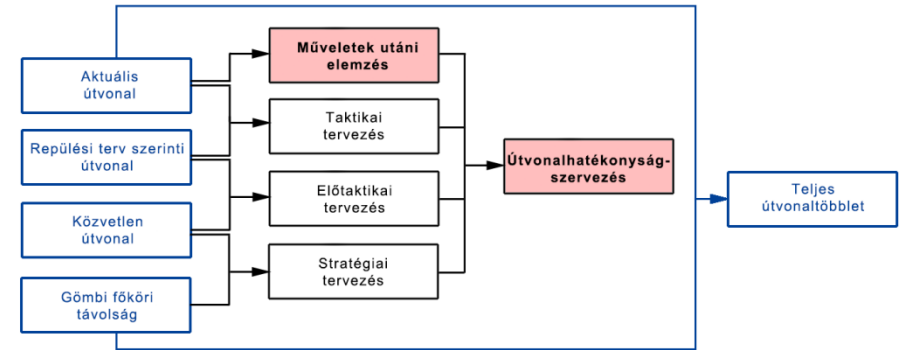
Kutatásom területe a légiközlekedés szempontjából az egyik legforgalmasabb térség, az európai kontinens. A légtér telítettsége Európa különböző részein nem egyforma. Míg a kontinens nyugati részén a légiforgalmi irányító központok gyakran teljesítőképességük határát súrolják, addig Észak- és Kelet-Európa egyes térségeiben kisebb mértékben jelentkezik a probléma. Ugyanakkor a túlterheltséggel kapcsolatos nehézségek kihatással lehetnek más területekre is. Ezért a helyzet átfogó, európai szintű menedzselésére van szükség.

A nemzetközi szervezetek igen alapos adatgyűjtést végeznek a légiforgalomról. Az adatok elemzése azonban csak makro-szinten történik meg, általában éves összesítések formájában, holott az adatmennyiségben rejlő információk nagyobb hatékonysággal is kihasználhatóak lennének. Részben a szakmai szervezetek mélyebb, a részletekre jobban kiterjedő elemzései révén, részben pedig az egyes tagállamok által. Ez utóbbiak gyakran nem élnek megfelelő mértékben a nemzetközi szervezetek által nyújtott információ-szolgáltatással, nem használják fel operatív szinten az adatokat, illetve az elemzések eredményeit. Emiatt fennáll a veszélye, hogy a légiközlekedés szereplői, illetve a kormányzati és kormányközi döntéshozók nem kapnak megfelelő, minden területre kiterjedő javaslatokat a szakmai, jogi vagy egyéb tervezések végrehajtásához, ami pedig elengedhetetlen lenne egyrészt a hatékonyság növeléséhez, másrészt, ezzel párhuzamosan a légiközlekedés biztonságának növeléséhez.

Vizsgálataim során nem volt arra lehetőség, hogy a járathatékonyság teljes egészével foglalkozzak, annak átfogó jellege miatt. Ezért elsősorban a jelenség földrajzi tényezőire fókuszálva a horizontális útvonalhatékonyság térbeli megjelenésével, a vertikális útvonalhatékonyság szerepével és ezek alapján a teljes útvonalhatékonyság tényezőire vonatkozó megoldási lehetőségekkel foglalkoztam. Bár a nemzetközi szakirodalomban fellelhető egyes kisebb részterületek vizsgálata, Magyarországon a járat- és útvonalhatékonyság tudományos vizsgálatára még nem került sor. Az útvonalhatékonyság fejlesztéséhez való tudományos szintű hozzájárulás mellett a kutatások célja a vizsgált terület szerepének hangsúlyozása volt. Mivel a légiközlekedés járathatékonyságának teljes körű fejlesztése igen komplex megközelítést kíván, szerencsés volna a különböző más nézőpontok szerinti kutatások elvégzése is. Bizom benne, hogy jelen munka hozzájárul a terület több szempontból történő tudományos feltárásának megkezdéséhez.

## 2. Hipotézisek és célok

A nemzetközi szakirodalomban évről évre növekvő számú publikáció lát napvilágot az útvonalhatékonyság témájában. Ezek az információk alapvető kiindulási pontként szolgálnak a különböző kutatásokhoz, azonban korlátozott földrajzi területre vonatkoznak, és különböző módszertant alkalmaznak (REYNOLDS, T. G. 2008). Az európai légtér jelenlegi problémái és a légiforgalom jövőben várható növekedése következtében az útvonalhatékonyság szerepe egyre jelentősebb lesz, ezért elengedhetetlen a probléma széleskörű vizsgálata.



3. ábra  
Az útvonalhatékonyság-szervezés elemeinek összefüggései  
(szerk.: SZTRUNGA E.)

## Az eredményeken alapuló javaslatok

A fentiek alapján szükséges az útvonalhatékonyság menedzselésére vonatkozó új kifejezés bevezetése. Ezért – illeszkedve a szakterület eddigi elnevezési gyakorlatához (áramlás-szervezés, angolul flow management) – javaslom az útvonalhatékonyság-szervezés (angolul route efficiency management) kifejezés használatát a négy tervezési szint egészére.

A tervezési elemek áttekintése után kísérletet tettem annak meghatározására, hogy az útvonalhatékonyság-szervezés különféle szintű tervezési feladatait milyen tényezők befolyásolják, illetve a feladatokhoz milyen tevékenységek tartoznak. Az útvonalhatékonyság-szervezés általam meghatározott négy szintű tervezésének elemei:

1. Stratégiai szintű útvonalhatékonyság-szervezés: Az útvonalhatékonyság stratégiai szintű tervezése a legnagyobb időtávot átfogó tervezési szint, amihez azok a tevékenységek tartoznak, amelyek általánosságban és összességében meghatározzák az európai légtér struktúráját. Ide sorolható a légtértervezés a magassági korlátozó tényezőkkel, az útvonaltervezés az útvonali korlátozó pontokkal, és a stratégiai szintű katonai légtérhasználat a feltételes útvonalakkal. Emellett az útvonaldíjak meghatározására is stratégiai szinten kerül sor, tekintettel azonban arra, hogy figyelembe vételük előtaktikai szinten történik (a repülési terv elkészítése során), a következő tervezési szint értékelésénél vettem figyelembe. Ezek azok a tervezési feladatok, amelyek eredményei alapján meghatározzák, hogy milyen lesz egy adott járat útvonali profilja.
2. Előtaktikai szintű útvonalhatékonyság-szervezés: Az útvonalhatékonyság előtaktikai szintű tényezői és tervezési feladatai már közvetlenül hatással vannak az üzemeltető által benyújtott repülési tervben feltüntetett útvonalra, befolyásolják, hogy a repülési terv szerinti útvonal mennyivel hosszabb a közvetlen útvonalnál. Ide sorolható a repülési terv el-

## A konkrét vizsgálatok által elért eredmények

Mind a horizontális, mind pedig a vertikális útvonalhatékonyság fejlesztése érdekében szükség van a hatékonysági mutatókat befolyásoló tényezők meghatározására. A különböző mutatókat elemekre kell bontani és alapos vizsgálatnak kell alávetni a jövőbeni hatékonyság fejlesztésének érdekében.

Az útvonaltöbblet – mint ahogy az az elemzésében is látható volt – csak a horizontális útvonalhatékonyság kifejezésére alkalmas, a vertikális hatékonyságot nem foglalja magába. Valójában a horizontális és a vertikális útvonalhatékonyság együttesen mutatja ki egy járat útvonalának teljes hatékonyságát. Átfogó elemzésükre azonban ez idáig nem került sor. Ennek oka, hogy az EUROCONTROL-nál az elemzések folyamán a hatékonyság mutatója távolság alapú, így csak horizontális vizsgálatokra alkalmas, vertikális vizsgálatokra nem. A horizontális elemzések folyamán a várospárok közötti gömbi főköri távolságot, a közvetlen útvonalat, a legrövidebb útvonalat, valamint a járatok aktuális útvonalát vették figyelembe.

Ahhoz, hogy a repülési terv szerinti útvonaltöbbletet megkapjuk, a repülési terv szerinti útvonalat nem a tíz legrövidebb repülési terv szerinti útvonallal kell összehasonlítani (vagyis önmagából a legjobb eredményekkel), hanem a közvetlen útvonallal, mert az fejezi ki egzakt módon az útvonaltöbbleteket. A modellben a legrövidebb útvonalat így a közvetlen útvonalra cseréltem. A közvetlen útvonal és a repülési terv szerinti útvonal összevetésekor a légtér- és útvonali korlátozások, valamint feltételes útvonalak nincsenek figyelembe véve, de az adatok részletesebb feldolgozásával ki lehet alakítani olyan komplex elemzéseket, amelyek során azokat is figyelembe vesszük. A magassági korlátozó pontok figyelembe vétele a vertikális útvonalhatékonyság, a horizontális útvonali korlátozó pontok, valamint a feltételes útvonalak figyelembe vétele pedig a horizontális útvonalhatékonyság kifejezésére alkalmas. A vertikális útvonalhatékonysági elemzések eredményei alapján megállapítható, hogy fontos lenne olyan vizsgálatok bevezetése, melynek során – az eddig is figyelembe vett útvonali korlátozó pontok és feltételes útvonalak mellett – harmadik tényezőként a magassági korlátozó pontokat is bevonják az elemzésekbe.

A közvetlen útvonal alkalmazása által egy olyan új modellt alakítottam ki, amely nem csak a hatékonyság földrajzi elemeit fejezi ki, hanem az útvonalhatékonyság különböző szintű menedzselési feladatainak elemzésére is alkalmas. Az új modell tehát nem csak a hatékonyság számszerű elemzésére használható fel, hanem a hatékonyság fejlesztéséhez szükséges feladatok meghatározását is biztosítani tudja a különböző tervezési szinteken (3. ábra).

Az európai szakmai szervezetek egy részénél és néhány nyugat-európai légiforgalmi irányító központ áramlásszervező tevékenységében a háromszintű tervezés mellett negyedik szintként megjelentek az úgynevezett műveletek utáni (post-operations) elemzések is, amelyek a hatékonyság értékelésére irányulnak. Ez igen lényeges elem, hiszen a tervezés helyett a jelenségek utólagos elemzése vezethet el azokhoz a felismerésekhez, amelyek a hatékonyság növelését valóban szolgálják, és különösen igaz ez az útvonalhatékonyság menedzselése esetén. Ezért a jövőben fontosnak tartom a negyedik tervezési szint bevezetését az útvonalhatékonyság területén is.

## 2.1 A kutatás hipotézisei

A kutatások kezdete előtt felhalmozott előzetes információk alapján meghatározhatóak azok a feltevések, amelyek az európai légiforgalom megoldandó problémáira világítanak rá, és amelyekre jelen munka irányul. Ezek a következők:

1. Az útvonalhatékonyság egy horizontális és egy vertikális komponensből áll. A horizontális komponens részletes, térbeli eloszlásának vizsgálata nemcsak a jelenlegi légtér problémáit tárhatja fel, hanem hozzájárulhat a jövőbeni problémák kezeléséhez. Az EUROCONTROL Teljesítményértékelő Bizottsága 2004-ben, az Útvonalhálózati Menedzsment Igazgatósága 2007-ben kezdte el a horizontális útvonalhatékonyság vizsgálatát a megfelelő módszertan kidolgozásával. A módszertan az évek folyamán sokat változott, de alapvető célja mindig az volt, hogy az európai várospárok közötti járatok útvonalhatékonyságát mérje. Az útvonalhatékonyság horizontális tényezőjének földrajzi elemzésével azonban nem foglalkoztak. Mivel Európa centrumterületein a legnagyobb a gazdasági aktivitás, ezért a közlekedési és így a légiforgalmi kapcsolatok, a légiforgalom is a legnagyobb. *Ez alapján feltételezhető, hogy a gazdaságilag fejlettebb területeken a repülőtérről- és járatsűrűségéből következően is jelentkeznek először azok a jelentős légiforgalmi problémák, amelyek a légtérhasználat racionalizálását, holisztikus újragondolását kívánják meg. Feltételezhető emellett az is, hogy a horizontális útvonalhatékonyság földrajzi eloszlásának elemzése módszertani adalékokkal szolgálhat további hatékonyságnövelő metódusok kialakításához.*
2. Az EUROCONTROL Teljesítményértékelő Bizottságának 2014. évi jelentése (a korábbi évekhez hasonlóan) – más, a témában megjelent hasonló szakmai dokumentumokkal egyetemben – csak az útvonalhatékonyság horizontális komponensével (ezen belül is kizárólag annak matematikai alapú értékelésével) foglalkozik, mivel úgy tekintik, hogy ennek a komponensnek nagyobb a gazdasági és környezeti jelentősége a vertikális tényezőhöz képest (Performance Review Commission 2014). A légitársaságok szemszögéből sokkal nagyobb azonban az érzékenység a vertikális komponens tekintetében. Több légitársaság (többek között a Brussels Airlines) szóbeli közlése szerint, ha nem foglalkoznak a vertikális komponens menedzselésével, tíz éven belül akár csődbe mehetnek. *Feltételezhető, hogy a vertikális komponens a horizontális komponenshez hasonlóan kiemelkedő gazdasági és környezeti jelentőséggel bír. A vertikális komponens elemzése nagyban javítja az útvonalhatékonyság kalkulációit, ami csökkenti az üzemanyag-költségeket, és ebből következően kevesebb környezetterheléssel jár.*
3. Nehéz pontosan meghatározni, hogy melyek az útvonalhatékonyság különböző szintű tervezési feladatai és az azokat befolyásoló tényezők. Bár az elmúlt években történtek kísérletek a modellezésére, de a módszertan eltérései miatt az mind a mai napig nem egységes, átfogó és teljes körű. *Feltételezhető, hogy egy komplex és egységes modell, amely az útvonalhatékonyság pontos földrajzi tényezőinek és a különböző szintű menedzselési feladatainak meghatározására is alkalmas, hozzájárulhat az egységes módszer-*

*tanon alapuló útvonalhatékonyság méréséhez és fejlesztéséhez, ami kimutatható környezeti, társadalmi és gazdasági előnyökkel járhat.*

## 2.2 A kutatás céljai

A kutatások általános célja az európai légitforgalom területi különbségeinek értékelése, és ezáltal a hatékonyság problémáinak vizsgálata. Ezen belül az alábbi konkrét célokat fogalmaztam meg.

1. A térbeli összefüggések feltárásával a horizontális útvonalhatékonysági vizsgálatok célja az útvonaltöbbség földrajzi elrendeződésének feltárása, valamint annak megállapítása, hogy milyen összefüggés van az útvonalhatékonyság és a társadalmi–gazdasági fejlettség között. Ezzel az a célom, hogy megvizsgáljam, vajon a járatszámok, tehát a forgalom nagysága milyen szereppel rendelkezik a horizontális útvonaltöbbségek értékének alakulásában. A célom továbbá összehasonlító vizsgálatokkal a szezonális, valamint a gazdasági válság útvonalhatékonyságra gyakorolt hatásainak elemzése.
2. A vertikális útvonalhatékonyság teljes hatékonyságon belül betöltött gazdasági szerepének vizsgálata, továbbá különböző szimulációkkal a légtérben ható korlátozó tényezők szerepének elemzése.
3. Kísérletet teszek arra, hogy a járathatékonyságtól elkülönítve értékeljem az útvonalhatékonyságot, mivel erre ezidáig még nem került sor. A célom az útvonalhatékonyságra ható pontos tényezők meghatározása, és egy olyan modell, valamint az ahhoz szükséges elemek kidolgozása, amely a jövőben hozzájárulhat a hatékonyabb üzemeltetéshez.

## 3. Módszertan

Jelen dolgozat egésze a légitforgalom vizsgálata során a járatok adataival foglalkozik, az egyes járatok jellemző, térbeli vonatkozású repülési adatait értékeli, ugyanis az útvonalhatékonyságra ható tényezők földrajzi vetületei az európai légtér használatát légijárművek közlekedésével, azok útvonalával vannak szoros összefüggésben, függetlenül a járművek méretétől és az utasok számától.

Kutatásom tárgyát a járathatékonyság mutatói közül elsődlegesen az útvonalhatékonyság elemzése képezi. A vizsgálat első lépéseként horizontális útvonalhatékonysági elemzést készítettem az ECAC-tagországok által szolgáltatott, több évre kiterjedő napi légitforgalmi adatok alapján, mely adatokat az EUROCONTROL Demand Data Repository (DDR) adatbázisában tárolják. Az adatokból az ún. SAAM szoftverrel (System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level) útvonalhatékonysági elemzéseket készítettem.

A vizsgálat második lépéseként vertikális útvonalhatékonysági elemzéseket végeztem. Az EUROCONTROL DDR2 adatbázisa alapján elkészítettem egy konkrét járat repülési terv

zett és a valóban lerepült útvonalra, másrészt pedig szimulációval az egyes korlátozó tényezőket különböző kombinációkban figyelmen kívül hagytam, hogy a vertikális útvonalhatékonyság egyes elemeinek szerepét részletesen is meg tudjam vizsgálni.

A szinttartási szakaszok vizsgálatánál a felszállási és leszállási szakaszt összehasonlítva megállapítható, hogy a leszállási szakasz sokkal lépcsőzetesebb, sokkal több szinttartási szakaszt tartalmaz, mint a felszállási szakasz. A felszállási és a leszállási fázis szinttartási különbségeinek nem műszaki vagy technikai okai vannak. A különbség abból adódik, hogy míg a leszállási szakaszra a légijárművek összetartása a jellemző, tehát a repülőtérről közeledve koncentrálnak, növekszik a sűrűségük, addig a felszállási fázisra éppen ennek az ellenkezője, a széttartó forgalom a jellemző. A repülőterétől távolodva egyre nagyobb tér áll rendelkezésre a légijárművek mozgására, ráadásul az légitforgalmi irányítás érdeke is, hogy a felszálló gépeket minél hamarabb átadják a szomszédos szektorok irányításának, ezáltal helyet biztosítva az újabb érkező repülőgépeknek. Emellett az, hogy a gépeket folyamatosan egy pontra irányítják, besorolják őket az érkező repülőtérré történő leszálláshoz, számos esetben azt eredményezi, hogy a járatot a repülőtérré történő leszállás előtt várakoztatni kell, vagyis a repülőtér közelében kijelölt navigációs pont fölött meghatározott magasságban várakozási eljárást kell lerepülnie. Ezeket az eljárásokat a járatoknak akkor kell lerepülniük, amikor a repülőtér kapacitási problémák következtében nem tudja a gép leszállását azonnal engedélyezni. Mindez további jelentős többletüzemanyag-fogyasztást eredményez.

A magassági korlátozással összehasonlítva a szinttartások nagyobb üzemanyag- és ezáltal anyagi veszteséget okoznak a légitársaságoknak és ez esetben is érvényes, hogy ha a járat tovább haladhatna az ideális utazómagasságon, nem kellene az optimális pont előtt megkezdnie a süllyedését, tarthatna nagyobb sebességét, akkor időt is megtakarítana, tehát gyorsabban érhetne a célállomáshoz. Általánosságban jellemző, hogy a hosszú távú járatok (3000 NM felett) költséghatékonyságát a megválasztott utazómagasság befolyásolja nagyobb mértékben, a süllyedési hatékonyság kisebb mértékű, míg a rövidtávú járatoknál fordított a helyzet, a süllyedési hatékonyságnak van nagyobb befolyásoló szerepe. Tekintve, hogy Európára földrajzi adottságaiból adódóan a közepes és rövid távú járatok a jellemzőek, így a süllyedési hatékonyságnak van nagyobb gazdasági szerepe a vertikális hatékonyságon belül. A példát elemezve is látható, hogy a legnagyobb üzemanyag-vesztés az üzembentartókat Európában a leszállási szakaszban éri. Ezek kiiktatása, a folyamatos megközelítési eljárások nagyobb hatásfokkal történő repülése jelentősen csökkentheti az üzemanyag-fogyasztást, ezáltal hozzájárulva a költséghatékonysághoz és környezetvédelemhez, zajcsökkentéshez.

A vizsgálatok rávilágítottak a vertikális útvonalhatékonyság gazdasági fontosságára. Eszerint a megtett útvonal hossza csupán egy kisebb összetevője a hatékonyságnak. Az elemzések során nem elegendő a lerepült (horizontális) távolság vizsgálata, mivel attól függetlenül, a nem megfelelő emelkedési vagy süllyedési eljárással is növekedhet az üzemanyag-fogyasztás, mely az üzemeltetési költségeket és a környezetterhelést is növeli.

magas forgalom függvénye az alacsonyabb hatékonyság, abban más, például szervezési, technikai vagy akár földrajzi, jogi, politikai tényezők is közrejátszhatnak.

A 2013. év elemzése után került sorra az utolsó, gazdasági világválságot megelőző év, 2007 adatainak vizsgálata. A vizsgálatnak ez a része már csak a legforgalmasabb, nyári időszakra terjedt ki, a korábban ismertetett módszerekkel, de a 2013-as adatok alapján meghatározott ugyanazon 60 város részletes értékelésével.

A két év összevetésével elsődlegesen azt kívántam értékelni, hogy milyen hatással volt a válság Európa légiforgalmára. Amennyiben egy repülőtér esetében csökkent ugyan az útvonaltöbblet, azonban csak azonos vagy kisebb mértékben, mint a járatszámok és/vagy a járatok összes hossza, akkor nem tekinthető igazoltnak, hogy valódi útvonaltöbblet-csökkenés, és ezáltal (fenntartható) hatékonyság-növekedés következett volna be.

A horizontális útvonalhatékonyság vizsgálatának alapjául szolgáló elemzéseket így elvégeztem 2007 júliusának első hetére is. Elsőként megállapítottam, hogy – mint ahogy az várható volt – a járatok számában 2013-ra nagy visszaesés következett be 2007-hez képest. A visszaesés a 60 legforgalmasabb városra vonatkozóan átlagosan 9% volt, de ezen belül igen nagy volt a szórás, egyes repülőtereken (például Madrid, London Heathrow, Prága, Milánó) 40% körüli értékeket is elért. A globális trendek ellenére olyan városok is vannak, amelyeknek nőtt a járatszáma, bizonyos repülőterek esetén (ezek mindegyike Norvégiában található) akár komolyabb mértékben (20-30% körül) is (Stavanger, Trondheim, Bergen). A budapesti repülőtér esetén 43%-os visszaesés volt tapasztalható.

Az összefüggéseket tekintve megvizsgáltam a visszaesések egymáshoz viszonyított arányát. Ezek alapján megállapítható, hogy a járatok által megtett távolságok értékében kisebb visszaesés volt tapasztalható, mint a járatszámokban, tehát 2013-ra főleg a rövidebb útvonalak tűntek el, és a hosszabb útvonalak maradtak meg.

Az útvonaltöbbletek részletes elemzésének eredményeként megállapítható, hogy 2013-ban 2007 azonos időszakához képest az útvonaltöbbletek átlagosan 20%-kal estek vissza. Így igazolást nyert, hogy az európai légiforgalomnak a gazdasági világválság hatására történő visszaesésének kedvező hatása is volt, hiszen a jelentős környezetterheléssel és többletköltségekkel járó útvonaltöbbletek nagy mértékben mérséklődtek, bár ennek más, a légterek fejlesztéséhez kapcsolódó okai is voltak.

Az Egységes Európai Égbolt kezdeményezés második referencia-időszaka során a korábbinál pontosabb képet kell kapnunk az útvonaltöbbletek keletkezésének térbeli helyéről. Ezért már nem elegendő az útvonalhatékonyságot csak várospárok között mérni, mint ahogy az jelenleg történik, hiszen egy járat a megtett távolság alatt számos országon halad át, így csak a teljes útvonal, illetve annak vonalvezetését vizsgálva lehet pontosan megállapítani, hogy milyen az adott területre vonatkozó hatékonyság. Ezért fontosnak tartom annak vizsgálatát, hogy egy adott területi egységnek milyen az útvonalhatékonysága – a várospáronkénti elemzés mellett. Ehhez az adatok jelenleg is rendelkezésre állnak.

Annak érdekében, hogy világos képet kapjunk arról, hogy a teljes útvonalhatékonyságon belül mekkora szerepe van egy-egy járat vertikális útvonalhatékonyságának, illetve a többi befolyásoló tényezőhöz képest milyen jelentősége van ennek a tényezőnek, megvizsgáltam a járatok vertikális repülési profilját is. A vizsgálat kiterjedt egyrészt a terve-

szerinti és aktuális vertikális útvonal profilját. Majd a Brussels Airlines útvonal-tervező rendszere, a SkyTrack Operational Flight Planning System segítségével további elemzéseket végeztem.

A szabad útvonalú légterek várható hatékonyságát egyes megvalósult repülések elemzésével vizsgáltam meg, azokban a térségekben, ahol ezeknek a légtereknek a bevezetése már megtörtént vagy a bevezetés folyamatban van.

#### **4. A vizsgálatok tudományos eredményei**

A dinamikus növekvő európai légiforgalom, annak gazdasági előnyei mellett a légtér fokozatos telítettségét eredményezte. A légtér korlátozott befogadóképessége miatt a mennyiségi fejlődés jelen körülmények között nem fenntartható. Bár a fejlődés során biztonsági okokból folyamatosan kiemelt figyelmet kellett fordítani a minőségi fejlesztésekre is, az mégsem bizonyult elegendőnek. Az egyes térségekben a teljesítőképességének felső határolót súroló légiforgalmi irányítói szolgáltatás jelenleg csak a gazdasági, és az ennek hatására bekövetkező forgalombeli visszaesés miatt működőképes. Számolni kell azonban a gazdasági válságból történő kilábalás utáni újbóli forgalomnövekedéssel, ami a jelenlegi körülmények között feltehetőleg majd csak hatalmas késéssel fogja tudni biztosítani a nagyszámú forgalom biztonságos üzemeltetését, így komoly hátráltató tényezője lehet a gazdasági folyamatoknak.

Területenként eltérő a forgalom, ezért a fejlesztésekkel is differenciáltan kell foglalkozni. A kutatások eredményei alapján azonban általánosságban megállapítható, hogy melyek azok a szükségszerű változások, amelyekkel a jelenlegi gyakorlatot módosítani szükséges.

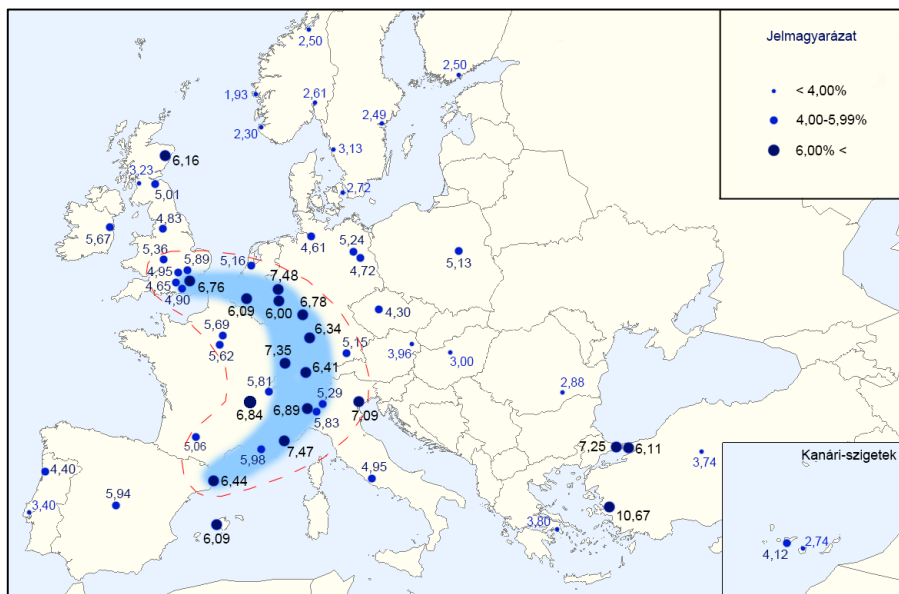
#### **A kutatás során feltárt általános eredmények**

A napi, járatonkénti adatok alapján, minden egyes repülőtérre vonatkozóan kiszámítottam az útvonaltöbbleteket. A számítás alapja a várospárok közötti gömbi főköri távolság és a valóban lerepült („aktuális”) útvonalak hossza közötti különbség volt. Ennek során figyelembe kellett venni, hogy egyes járatpárokon az adott napon akár több járat is közlekedik, így ezeket a járat-szám alapján többszörösen kellett számolni.

Az útvonaltöbblet számítását súlyozással végeztem az egyes repülőterekre, az egyes járatok megtett útvonalának hossza alapján. Tehát nem az egyes járatok útvonaltöbbleteit átlagoltam, hanem a repülőtérrel induló és oda érkező valamennyi járatnak a gömbi főköri és aktuális útvonalának hossza közötti különbséggel számoltam. Így a hosszabb távolságú járatok többlete a valóságnak megfelelően nagyobb súllyal került az összesített értékbe.

A legjelentősebb útvonaltöbbletek a nagy forgalmú térségekben halmozódnak fel. Ilyen nagy forgalmú helyek elsősorban Európa nagyvárosai, a társadalmi–gazdasági szempontból legfejlettebb centrumok, valamint – valamivel kisebb mértékben – a kiemelkedő vendégforgalommal rendelkező turisztikai célterületek. A magas útvonaltöbbletek a legnagyobb sűrű-

ségben a Milánó–Stuttgart–Brüsszel vonal mentén jelentkeznek, de az átlagosnál magasabb értékek jellemzik mind a világvárosok (London, Párizs, Amszterdam) környezetét, mind pedig a fejlett centrum-terület keleti (München, Velence) és déli részének (Nizza, Marseille, Barcelona) nagyvárosait is. A rosszabb horizontális útvonalhatékonysággal rendelkező nagy forgalmú városok így teljesen lefedik a „kék banán”-nak nevezett magterületet (1. ábra). Az ahhoz kelet felől csatlakozó újabb területeken várhatóan csak később fog jelentkezni a túlerhelt térségekre jellemző általánosan magasabb útvonaltöbblet. Így is megállapítható azonban a fordított korreláció, tehát a fejlettség növekedésével együtt lépnek fel kedvezőtlen jelenségek, jelen esetben a magasabb útvonaltöbbletek és az azokhoz vezető folyamatok. Ahhoz, hogy ezekben a térségekben javuljon az útvonalhatékonyság, a kontinens más, akár távolabbi, a légitölekedés által érintett térségében is végre kell hajtani fejlesztéseket, hiszen a járatok tervezése hatással van az egyes útvonalak minden szakaszára. Így az útvonaltöbbletek csökkentésére való törekvés minden tagállam feladata és érdeke.

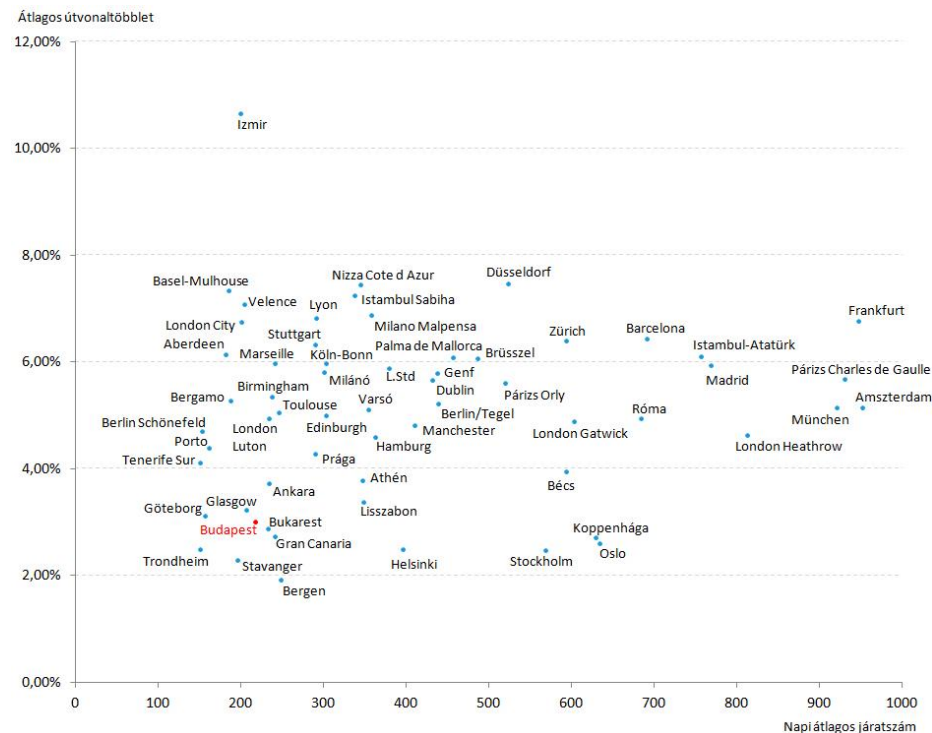


1. ábra.

A 60 legforgalmasabb európai repülőtérrel induló és oda érkező járatok átlagos útvonaltöbblete (%) 2013-ban (szerk.: SZTRUNGA E.)

Az útvonaltöbbletek számszerű értékeinek vizsgálatát követően megvizsgáltam, hogy vajon van-e kimutatható összefüggés az egyes repülőtér napi átlagos járatszáma, tehát a forgalma, és a bekövetkezett útvonaltöbbletek között (2. ábra). Az ábrán látható, hogy nincs szignifikáns összefüggés, mert mind az alacsonyabb, mind a közepes vagy magasabb forgalmú repülőtér esetén is több olyan város van, amelyek útvonaltöbblete magas, és olyan

is, amelyeknek alacsony, bár a járatszám növekedésével az útvonaltöbblet-értékek szórása egyre kisebb. Összességében megállapítható továbbá, hogy nem csak a helyi forgalom nagyságától függ az egyes repülőtér járatainak útvonaltöbblete, hanem nagy szerepe van a tágabb környezet forgalmának is.



2. ábra.

A repülőtér forgalma és a járatok útvonaltöbblete közötti összefüggések a 60 legforgalmasabb európai repülőtérén (szerk.: SZTRUNGA E.)

Az egyes városok éves útvonaltöbbletét követően megvizsgáltam az útvonaltöbbletek évszakos alakulását is. Amint az várható volt, sok esetben a nyári, nagyobb forgalmú időszak hozott magasabb értékeket, de ez csak a városok felénél volt így. A téli időszakban nagyobb útvonaltöbblettel rendelkező városok összetétele – hasonlóan a fordított esethez – vegyes, megtalálható közöttük mediterrán turisztikai célpont (ahol a kedvező időjárás indokolná a magasabb téli forgalmat), északi fekvésű város (ahol az éghajlati adottságok okozhatnak nagyobb útvonaltöbbletet télen), és nagy forgalmú világváros is. Ebből következően tehát nem állapítható meg egyértelműen – mint ahogy a forgalmi adatok esetén is látható volt, – hogy az egyes repülőtérhez tartozó járatok útvonaltöbbletei az adott repülőtér szezonális forgalmával egyenes arányúak lennének. Ez szintén azt bizonyítja, hogy nem kizárólag a