

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

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

PhD-értékezés tézisei

Sztrunga Erzsébet

Témavezető:

Dr. Trócsányi András

tanszékvezető egyetemi docens

Pécs, 2015

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

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 közelít. 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 útvonal-többletet és ezáltal zökkenőmentes és gazdaságos üzemeltetést tesznek lehetővé. Ennek érdekében az elmúlt egy évtizedben a légiközlekedési szakma egyre szélesebb körben foglalkozik a járáthatékonyság, 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 járáthatékonysággal nem foglalkozik mélyrehatóan. Kérdésemre a szervezet ezt azzal magyarázta, hogy a járáthatékonyság rendkívül holisztikus nézőponttal rendelkező terület, amire számos tényező hat, mint például az üzemeltetők szokásai, az információ áramlása, a szolgáltatások színvonala vagy a meteorológia körülmények. A különböző nézőpontok azt eredményezik, hogy a világ és azon belül Európa eltérő területein is a szakemberek más-más dologra asszociálnak, amikor a járáthatékonyság kifejezést meghallják. Más a fogalom jelentése vertikálisan, az egyes légiforgalmi szereplők, így a repülőgép-vezetők, a légiforgalmi irányítók, az üzemeltetők vagy a légterek és útvonalak fejlesztésével foglalkozó szakemberek számára, és más horizontálisan is, az egyes kontinensek légiközlekedésében.

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet az ismertetett sokrétűség miatt a járáthatékonyság értékelése során csak egy-egy nézőpont vizsgálatát javasolja. Ezért kutatásomban én sem vállaltam fel, hogy teljes képet adjak a járáthatékonyság 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 információszolgáltatással, 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. Bízom benne, hogy jelen munka hozzájárul a terület több szempontból történő tudományos feltárásának megkezdéséhez.

2. Kutatási előzmények

A téma szakirodalmi feldolgozottsága nemzetközi szinten bőséges, ugyanakkor hazai viszonylatban igen kevés publikáció áll rendelkezésre. A kutatási területem szakirodalmi hátterét – tekintettel a szerteágazó részterületekre, – tematikus bontásban mutatom be.

A légiközlekedés földrajzával nemzetközi viszonylatban többek között GRAHAM, B. (1995, 1998), PAULSON, G.–WATT, A. (2003), GOETZ, A. R.–GRAHAM, B. (2004), STADLER, G. (2004), ÅKERMAN, J. (2005), DENNIS, N. (2007), ADEY, P. (2010), DALEY, B. (2010), AL SUWAISI, S. (2012) foglalkozik. FRON, X. (2001) a légiközlekedés és fenntartható fejlődés összefüggéseit vizsgálja.

A légiközlekedés egyik elsődleges szempontja a leghatékonyabb útvonalak kialakítása és használata. Az ettől való eltérés a repülési idő, ezáltal az üzemanyag-felhasználás és így a környezetterhelés, valamint más repülési költségek növekedésével jár. Napjainkban a nemzetközi repülések során a járatok nem az optimális útvonalon közlekednek

(Performance Review Commission 2010). Ennek a kedvezőtlen helyzetnek a javítása céljából jött létre az Egységes Európai Égbolt stratégia tervezete (ANTWERPEN, N. A. VAN 2002), melynek keretében a jelenleg még államhatárok mentén feldarabolt légteret nagyobb regionális egységekbe, úgynevezett funkcionális légtérblokkokba integrálják, emellett pedig a közforgalmi (egyelőre magaslégtéri) repülések számára szabad útvonalakat alakítanak ki az útvonalhatékonyság fejlesztése érdekében. Az Európa feletti légtér egységesítésre vonatkozó elképzelések számos szakmai fórumon megjelentek. 1958-ban a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet ülésén már felmerültek azok a légiforgalmi irányítási elképzelések, melyek figyelmen kívül hagyják az államhatárokat (BOUSSARD, L. C. 1958). PETERS, P. (2005) szerint az 1960-as években az Európai Légiközlekedési Biztonsági Szervezetet is azzal a céllal hozták létre, hogy megteremtse az egységes európai légteret. A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség munkacsoportjának jelentése szerint Európa a légtér telítettsége szempontjából a világ legkedvezőtlenebb helyszíne (LEARMOUNT, D. 1989). A jelentés az európai légtér infrastrukturális hiányosságaira rámutatva kinyilvánítja, hogy alapvető fontosságú lenne az európai légiforgalmi irányítási rendszer központilag történő strukturális átalakítása, összehangolása, melynek érdekében több stratégiát dolgoztak ki az évek folyamán (Az ECAC 1990-es évekre szóló stratégiája; Az ECAC légiforgalmi szolgáltatásról szóló európai szervezeti stratégiája; Légiforgalmi Szolgáltatási Stratégia 2000+). A 2004-ben elfogadott Egységes Európai Égbolt stratégia végrehajtására vonatkozó előírásokat az európai uniós rendeletek határozzák meg (Az Európai Parlament és a Tanács 549, 550, 551, 552/2004/EK rendeletei) és számos szerző foglalkozott a kérdéssel (DAM, R. VAN. 2004, HENDRIKS, L. 2004, CARSTENS, K. 2004, GARNIER, J-L. 2004, PETERS, P. 2005, HALLS, M. 2007, LEARMOUNT, D. 2008, CRESPO, D. C.–LEON, P. M. 2011). Az európai légtér átalakításának előkészítése során merült fel a különböző funkciókkal ellátott légtérblokkok kialakításának lehetősége (LEMAIRE, J-P.–MICHELLE, P. 2002, KERKHOF, G. 2004, HALLGREN, A. 2005, BEKESCHUS, H. 2006). MIHETEC, T.–BOŽIČEVIĆ A.–STEINER S. (2008) tanulmányában egy lehetséges Délkelet-európai funkcionális légtérblokk létrehozását vizsgálja, CASTELLI L. (et al. 2005) az útvonaldíjak lehetséges irányelveit elemzi.

Elkerülhetetlen a problematika jogi háttérének vizsgálata, hisz a rendszeres kereskedelmi célú repülések megindulása előtti időszakban a légtér jogi helyzetének megítélésakor az az elv volt a jellemző, hogy a légtér mindenki által szabadon használható (FAUCHILLE, P. 1901). A II. világháborút követően a repülés minőségi (technikai) és mennyiségi fejlődésével szükségessé vált a légiközlekedés szabályozása, így 1944-ben Chicagóban kidolgoztak egy nemzetközi légiközlekedési egyezményt, amelynek alapján kimondták az állam korlátlan felségjogát a területe felett elhelyezkedő légtérre vonatkozóan. Az Egységes Európai Légtér létrehozásáról szóló rendelet a Chicagói Egyezmény figyelembe véve tűzte ki célul a légtérblokkok létrehozását, melynek értelmében minden állam teljes szuverenitással rendelkezik saját légtere felett, de a szuverenitás keretei között alávetik magukat a vonatkozó nemzetközi egyezményeknek, és hatósági jogkört gyakorolnak a légiforgalom irányítása során. A jogi megközelítések szerint a légterek határai változatlanul a szuverén államok határait követik (ANTWERPEN, N. A. VAN. 2008), és

mivel Európa területén számos ország található, az európai légiforgalmi szolgáltatás rendkívül elaprózódott, a légi útvonalak nemzeti, nem pedig európai uniós szinten optimalizált hálózaton üzemelnek. A szuverenitásból fakadó fragmentáció az európai légtérátalakítás legérzékenyebb pontjává vált (GRESNIGT, C. 2005). A szuverenitás légi-forgalmi szolgáltatókra gyakorolt hatása SCHWENK, W.–SCHWENK, R. 1998 művében kerül részletes elemzésre.

Az elmúlt évtizedek folyamán számos légitársasággal foglalkozó szakmai szervezet foglalkozott azokkal a tényezőkkel, amelyek a légtér-szervezési és -kezelési problémákhoz vezettek, illetve fognak vezetni (NOLAN, M. S. 2004).

Európai szintű jogszabállyal (A Bizottság 2150/2005/EK rendelete) határozták meg a rugalmas légtérhasználat elvét, melynek európai és amerikai verzióját MALARSKI, M.–MANEROWSKI, J. (2008) vizsgálta, és a járathatékonyság optimalizálásában kiemelkedő szerepe van (MIHETEC, T.–STEINER, S.–JAKŠIĆ Z. 2012, MIHETEC, T.–ODIC, D.–STEINER, S. 2011).

Számos kutató vizsgálta, hogy a megnövekedett légiforgalom miként vezetett kapacitásproblémákhoz (VOSS, W.–HOFFMAN, J. 2001, FRON, X. 2001), ebből adódóan pedig késésekhez (WU, C. L.–CAVES, R. 2003, CARLIER, S. et al. 2007, JETZKI, M. 2009). Korábban LEARMOUNT, D. (1989) igazolta, milyen problémákat jelent, hogy a szuverén államok a légtér-szervezés kialakításában és a műszaki berendezések beszerzése során egymástól eltérő nemzeti stratégiát alkalmaznak.

Az elméleti hatékonysági vizsgálatokat idővel numerikus módszereken alapuló kutatások is igazolták. A légtér integrációs folyamatai mellett az útvonalhatékonyság fejlesztésének tudományos megalapozása párhuzamosan haladt annak gyakorlati megvalósításával. A 2000-es évek elején többen foglalkoztak a kérdéssel. Ezeknek a kutatásoknak a megalapozását jelentette az FAA és az EUROCONTROL 2003-ban végzett összehasonlító elemzése, melyben megvizsgálták és összehasonlították az Amerikai Egyesült Államok és az európai kontinens légitársasági üzemeltetésének hatékonyságát (Performance Review Commission and the FAA 2003). A tanulmány rámutatott a kontinensek közötti üzemeltetési különbségekre, és kiemelte az európai kontinens magas útvonal-díjait. 2008-ban újabb összehasonlító elemzést végeztek a 34 legforgalmasabb amerikai és európai repülőtér üzemeltetésére vonatkozóan (Performance Review Commission and the FAA Air Traffic Organization Strategy and Performance Business Unit 2009), amelyben az elemzéseket már a járatok egyes fázisai alapján vizsgálták. Ezt a vizsgálatot 2010-ben megismételték, ám az újabb vizsgálat eredményeit csak két év elteltével publikálták (Performance Review Commission and the FAA Air Traffic Organization Strategy and Performance Business Unit 2012). 2013-ban az elemzéseket költséghatékonysági vizsgálatokkal egészítették ki (Performance Review Commission, and FAA Air Traffic Organization System Operations Services 2013). STEINER, S. (et al. 2008) a közlekedésfejlesztést megalapozó tényezőket vizsgálta. Ugyanennek a munkacsoportnak a tagjai foglalkoztak az éjszakai útvonalhálózat fejlesztésével (MIHETEC, T.–STEINER, S.–JAKŠIĆ Z. 2012). A kutatások során elengedhetetlen volt a matematikai módszerek alkalmazása a légiforgalmi útvonalak tervezésénél (KRÓL, A.–PAMUŁA, T. 2009), valamint a

szektorkapacitás meghatározásánál (KNORR, D.–WALTER, L. 2011). Az útvonalhatékonysági mutatók kialakításakor a legrövidebb geometriai útvonalhálózat kialakítására törekednek. Az EUROCONTROL a járatonkénti horizontális útvonalhatékonysági mutatót 2006-ban vezette be, a következő évben pedig alkalmazta az ötven legforgalmasabb európai várospárra vonatkozóan (Performance Review Commission 2007, 2008b). A mutató bevezetésével kapcsolatos eredményeket európai oldalon BUCUROIU, R. (2011), amerikai oldalon KNORR, D. (et al. 2001 és 2011a) vizsgálta. Mivel a hatékonyságot csak várospárok között mérték, eredményeik által nem lehetett pontosan meghatározni egy-egy térség hatékonyságát. Több kontinensre vonatkozó mutatót dolgozott ki REYNOLDS, T. G. (2009), azonban a tanulmányában szereplő, az európai kontinensre vonatkozó hatékonysági érték eltér az Európai Bizottság által publikált mutatótól, azonban az adatainak a forrása nem található meg az idézett műben. Ezt követően hatékonysági célokat is meghatároztak (Performance Review Commission 2008b, IATA–EUROCONTROL–CANSO 2008, a Bizottság 121/2011/EU határozata).

Egy repülés során a leszálló, süllyedési szakasz, vagyis a vertikális hatékonyság vizsgálata a Performance Review Commission (2008c), DINGES, E. (2007), KNORR, D. (et al. 2011b), REYNOLDS, T. G. (2008), ALCABIN, M. S. et al. (2009), SHRESTA, S.–NESKOVIC, D.–WILLIAMS, S. S. (2009) művében jelenik meg. Mind a horizontális, mind a vertikális elemzések folyamán elméleti útvonal-kialakítást alkalmaztak, feltételezve, hogy minden egyes repülő zavartalanul, korlátozások nélkül repülhet a légterben. Bár meglátásaik jók, de eredményeik nem teljes körűen alkalmazhatóak az európai légtér telítettsége következtében. A hatékonyság elemzésénél a légtér telítettségét ROBINSON, J. E.–KAMGARPOUR, M. (2010) veszi figyelembe, amely így a korlátozásokból adódóan szűkebb mozgásteret állapít meg az útvonalhatékonyság fejlesztésére vonatkozóan.

A tanulmányok ellenére az útvonalhatékonysági mutatók bevezetése még számos területen késlekedik (Boeing & CANSO, 2012). Ennek az lehet az oka, hogy az útvonalhatékonysági vizsgálatok kezdeti korszakában a vertikális hatékonyság vizsgálatával egyáltalán nem foglalkoztak (Performance Review Commission 2007, 2008b) miközben az nem elhanyagolható tényezője a teljes járáthatékonyságnak.

A téma magyar nyelvű feldolgozottsága sokkal visszafogottabb. Hazai viszonylatban a légiközlekedés földrajzát ERDŐSI F. (1997, 1998, 2000, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009) dolgozta fel. A légiforgalom általános jogi kérdéseivel MOYS P. (2006) és ANGYAL Z. (2011a, 2011b) munkáiban találkozhatunk, míg az Egységes Európai Égbolt stratégia végrehajtására vonatkozó előírások jogi megközelítésével ORLÓCI ZS. (2006) foglalkozott, megállapítva, hogy a légtérblokkokat a tradicionális nemzeti megközelítéstől eltérően kell kialakítani. A légtér átalakulásának földrajzi kérdéseivel a geográfiától távolabb álló hazai kutatók is foglalkoztak (ROHÁCS J. 1986, 1994, LEGEZA E.–TÖRÖK Á. 2009). A légtértervezés és az útvonalak kialakításának elméleti és gyakorlati megközelítésére vonatkozó szakmai művek átfogó képét adják a légi-navigációnak (VOIT E. 1990, MUDRA I. 1995, UGRÓCZKY L.–FÜLÖP G. 1999, KOVÁCS F. 2002, TÓTH J. 2005). A légiközlekedés forgalmi és kereskedelmi liberalizációjának és deregulációjának következményei LEGEZA E. (2005), valamint DUDÁS G. (2010) műveiben kerülnek elemzésre. A szektor-

kapacitás meghatározásával MEYER D. et al. (2009) foglalkozott a légtérkapacitás növelésének érdekében (KÖVÁRI B. 2001).

3. 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.

3.1 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 repülőtér- és járatsűrűségből 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 jelen-

tősége a vertikális tényezővel összehasonlítva (Performance Review Commission 2014). A légitársaságok szemszögéből sokkal nagyobb azonban az érzékenység a vertikális komponens tekintetében. Több légitársaság szóbeli közlése szerint, ha nem foglalkoznak a vertikális komponens menedzselésével, tíz éven belül 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 környezeti terheléssel jár.*

3. Nehéz pontosan meghatározni, hogy melyek az útvonalhatékonyság különböző szintű tervezési feladatai és az azokat befolyásoló tényezők. Bár történtek kísérletek a modellezésére az elmúlt években, de a módszertan eltérőségei 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 módszertanon alapuló útvonalhatékonyság méréséhez és fejlesztéséhez, ami kimutatható környezeti, társadalmi és gazdasági előnyökkel járhat.*

3.2 A kutatás céljai

A kutatások általános célja az európai légit forgalom területi különbségeinek értékelése, és ezáltal a fő hatékonysági 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 hatékonyság teljes hatékonyságon belül betöltött gazdasági szerepének vizsgálata, továbbá különböző szimulációkkal a légtérben ható korlátozó tényezők szerepének elemzése.
3. Kísérletet teszek arra, hogy a járathatékonyságon belül, külön, önállóan értékeljem az útvonalhatékonyságot, mert ezt korábban még nem vizsgálták különállóan. Ennek keretén belül a célom az útvonalhatékonyságra ható pontos tényezők meghatározása, és egy olyan modell és az ehhez szükséges elemek kidolgozása, amely a jövőben hozzájárulhat a hatékonyabb üzemeltetéshez.

4. Módszertan

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

Kutatásom tárgyát a járat hatékonyság mutatói közül elsődlegesen az útvonalhatékonyság elemzése képezi. A vizsgálat első lépéseként horizontális útvonalhatékonysági elemzéseket készítettem az ECAC-tagországok által szolgáltatott, több évre kiterjedő napi légiforgalmi adatok alapján, mely adatokat az EUROCONTROL Demand Data Repository adatbázisában tárolnak. Az adatbázisban az európai járatok mozgásának adatai teljes évre napi bontásban 2006 óta állnak rendelkezésre. Az adatbázisban az adatok várospáronként szerepelnek. A várospár kifejezés a légiforgalmi irányítási szakterület által elfogadott kifejezés, amely alatt azokat a repülőtér-párokat értjük, ahonnan indul, és ahová érkezik az adott járat. Az adatbázis megjeleníti, hogy az egyes várospárok között az adott napon hány járat közlekedett, függetlenül a járat jellegétől és céljától. Így megjelennek a nem menetrend szerinti járatok, a teherszállító és katonai járatok, illetve az előzetes repülési tervet leadó, műszer szerinti repülési eljárást alkalmazó kisgépes repülések is.

Az adatok forrásával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy mivel az ECAC-nak olyan tagállamai is vannak, amelyek nem tagjai az Európai Uniónak (az EFTA-tag Izland, Norvégia és Svájc mellett Ukrajna, Moldávia, Bosznia–Hercegovina, Szerbia, Montenegró, Macedónia, Albánia, Törökország, Örményország, Azerbajdzsán és Grúzia), így az Európai Unió hivatalos jogi dokumentumai (például a járat hatékonyság mérésével és az adatok továbbításával kapcsolatban) sem vonatkoznak ezekre az államokra. Ennek az lehet a következménye, hogy amennyiben ezeknek az országoknak az esetén látványosan eltérő eredményeket kapunk az egyes mutatók vizsgálata során, annak nem csak repülési okai lehetnek (mint például az időjárás, a légtér túlterheltsége stb.), hanem jogi és politikai, vagy akár a technikai fejletlenségéből fakadó okai is. Így ezeket az esetleges eltéréseket a fenti szempontok figyelembe vételével igyekeztem értékelni.

A nyers adatokból felépülő adatbázisban az egyes útvonalakra vonatkozóan három alapadat-csoportot kezelnek. Az egyik a két repülőtér közötti legkisebb, tehát a gömbi főkörön mért (ortodrom) távolság. A második, az M1 (Model 1) adatbázisban tárolt adatcsoport, amely a járat repülési terv szerinti adatait tartalmazza, vagyis a járat tervezett útvonalprofilját (tehát a repülés számos adatát, elsősorban a magasság, sebesség és távolság, valamint az üzemeltető és a repülőgép-típus adatait). A harmadik, az M3 (Model 3) adatbázis a járat valóban lerepült útvonali adatokat foglalja magába (valós útvonalprofil), amelyet a légiforgalmi irányító központok által megküldött, radaradatokból származó helyzetinformációk alapján kapnak meg (Korrelációs Pozíció Jelentés), bár az utóbbi adatok között már nem szerepelnek a sebességre vonatkozó adatok.

A járatpárokra vonatkozó adatok alapján kiszámítottam valamennyi repülőtérré vonatkozóan az adott napon onnan induló és oda érkező valamennyi járatra a gömbi főköri és a valóban lerepült távolsága közötti különbséget. Ez a valós útvonaltöbblet.

Egy nap teljes európai forgalma átlagosan 25-30 ezer járat, így az M1 vagy M3 adatbázisokban szereplő adatok mérete nem teszi lehetővé, hogy egy év forgalmát minden napra megvizsgáljam. A mintavétel során azonban arra törekedtem, hogy a kiválasztott napok minél jobban lefedjék az év különböző időszakaira jellemző forgalmat. Ezért kutatásaimban évszakonként egy-egy teljes hetet elemeztem. 2006-tól 2013-ig január, április, július és október hónapok első teljes heteit vizsgáltam.

A nyolc év adatai közül két év, 2007 és 2013 eredményei kerülnek bemutatásra. 2007-ig tartott ugyanis a légiközlekedés töretlen mennyiségi fejlődése, amelyet a 2008-as gazdasági válság tört meg. Egyes szakmai vélemények szerint az évtized második felében Európa légiközlekedése csak úgy kerülhette el az összeomlást, hogy bekövetkezett a válság, illetve annak hatására a légitforgalom jelentős visszaesése (Performance Review Commission 2012). 2013-ban a légiközlekedésben még mindig érezhető volt a válság hatása, de az előrejelzések szerint ez az utolsó év, amikor ez kimutatható lesz (Performance Review Commission 2013).

Az adatokból az EUROCONTROL ún. SAAM szoftverével (System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level) útvonalhatékonysági elemzéseket készítettem. Az analízisek nem csak az Európán belüli légitforgalmat tartalmazzák, hanem az európai városokból más kontinensre induló, illetve onnan érkező járatok adatait is. Ezeknek a járatoknak a beemelése a kutatásba kizárólag az európai légtér terhelése szempontjából fontos, hiszen az ide érkező vagy innen más kontinensre induló járatok ugyanúgy terhelik Európa légtérét. Ennek megfelelően Európa legforgalmasabb reptereit az Európán kívüli és azon belüli járatok együttes száma alapján határoztam meg. A vizsgálat további részében azonban már nem szerepeltettem az Európán kívüli járatokat, melynek elsődleges oka, hogy a transzkontinentális járatok esetén a kimutatható útvonaltöbblet nem csak Európán belül keletkezhet, így az eredményként kapott adatokból nem lehet egyértelműen a kontinensen belüli viszonyokra következtetni, ezért e járatok útvonaltöbbleteinek adatai sem adnának valós képet az európai légtérben zajló folyamatokról. Ezen túl a nagy (az Európán belüliekhez képest akár többszörös) távolságok útvonaltöbbletei arányaiban (százalékosan kifejezve) jóval kisebbek a kontinentális járatokhoz képest, így ezek bevonása a vizsgálatokba félrevezetően kedvező irányba mozdítaná el az eredményeket. A harmadik ok az, hogy a nem ECAC-tagországok (különösen a fejlődő országok) részéről nincsenek kötelezettségek a megbízható adatszolgáltatásra, így az általuk végzett adatközlés nem tükrözi azt a pontosságot, amely a tagállamok országaiban megszokott. (Ez alatt nem csak a járatok végpontjait értjük, hanem a járat útvonala során érintett államokat is, hiszen az útvonalon ezek az államok rendelkeznek az adott járat valós útvonalára vonatkozó információkkal.) Ezen túl egyes irányokban bizonyos földrajzi jelenségek is nagymértékben befolyásolják a megtett útvonalak vonalvezetését. Különös tekintettel az észak-atlanti légitforgalomra vannak hatással a szélrendszerek. Mivel az erős, szemből érkező áramlatok jelentős többlet-üzemanyag felhasználással járnak,

igyekeznek azokat kerülni. Ezek a kerülések azonban szintén komoly mértékű többletútvonalat jelenthetnek (bár az energia-felhasználás még így is kisebb, mintha a tartós ellen-szélben repülnének). Más esetekben, az ellenkező irányú repülések során (tehát hátszél esetén) komoly üzemanyag- és idő-megtakarítással számolhatnak a járatok.

Így az elemzésben kiszűrtem az Európán kívüli járatokat, akár onnan érkeznek, oda indulnak, vagy áthaladnak az európai államok felett, és csak az ECAC-tagországokon belüli mozgásokat vettem figyelembe. Abban az esetben, ha két ECAC-tagállam közötti útvonal nem-tagállam országot is érint (az ECAC konkáv jellege miatt), a köztes állam(ok) teljes adatszolgáltatása esetén az adott járat szerepel az adatbázisban, ha azonban nem teljes körű a jelentés (például hiányzik a járat valós útvonalára vonatkozó információ), akkor az adott járat egyáltalán nem jelenik meg az EUROCONTROL adatbázisában. Ilyen járatok elsősorban a kaukázusi államok, illetve Ukrajna és a balti és skandináv államok között lehetnek. Így az adatok értékelése során ezek a járatok nem torzíthatják el az eredményeket.

Az egyes járatpárok külön adataiból nyertem ki az egyes városokra vonatkozó adatokat az útvonalak (ortodrom és aktuális, tehát a valóságban lerepült) hosszáról, mely alapján naponta és városonként számítottam ki a teljes útvonaltöbbletet.

Szintén súlyozott átlagolással, városonként összesítettem a heti adatokat és a négy hét átlaga alapján a teljes évre vonatkozó értéket is megbecsültem. Az év átlaga és a teljes forgalom alapján a legforgalmasabb 60 európai repülőtér adatait elemeztem és értékeltem részletesen.

A vizsgálat második lépéseként vertikális útvonalhatékonysági elemzéseket végeztem. Az EUROCONTROL DDR2 adatbázisa alapján elkészítettem egy konkrét járat repülési terv szerinti és aktuális vertikális útvonal profilját. Majd a Brussels Airlines útvonal-tervező rendszere, a SkyTrack Operational Flight Planning System segítségével további elemzéseket végeztem. Elsőként megvizsgáltam, hogy a repülési terv szerinti vertikális profil milyen korlátozó tényezőket tartalmaz (például az egyes légterekhez, navigációs útvonali pontokhoz, induló és érkező eljárásokhoz kapcsolódó), majd értékeltem a profil egészét, és megállapítottam a járat teljes idő- és üzemanyag-szükségletét. Ezt követően lépésről lépésre eltekintettem az egyes korlátozó tényezőktől különböző kombinációk szerint, és szinte minden egyes kombinációra újból megvizsgáltam a vertikális profil hatékonyságát, időben és üzemanyagban kifejezve, beleértve azt az ideális állapotot is, hogy egyáltalán nem volt korlátozó tényező. Utolsó lépésként szimuláltam az adott járat aktuális vertikális profilját is (tehát a valóban lerepült járat adataival számoltam), és így is megvizsgáltam, hogy a járat megtétele milyen idő- és üzemanyag-szükséglettel járt.

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.

5. A vizsgálatok tudományos eredményei

A dinamikusan növekvő európai légit forgalom, 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 légit forgalmi 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.

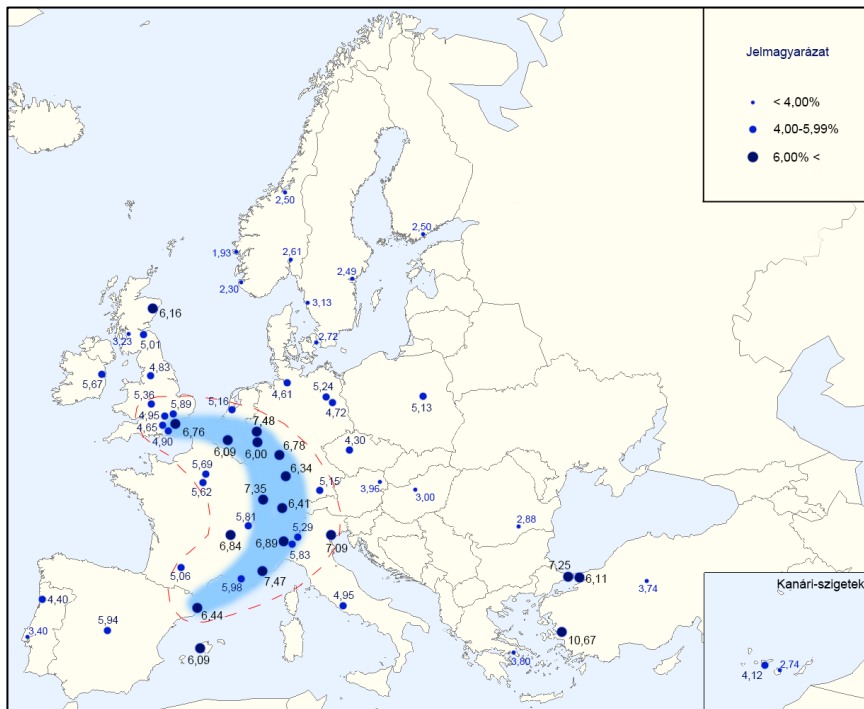
A kutatás során feltárt általános eredmények

A napi, járatonkénti adatok alapján, minden egyes repülőtérré vonatkozóan kiszámítottam az útvonal-többleteket. A számítás alapja a város-párok közötti gömbi főköri távolság és a valóban lerepült („aktuális”) útvonalak hossza közötti különbség volt. Ennek során figyelembe kellett venni, hogy egyes járat-párokon az adott napon akár több járat is közlekedik, így ezeket a járatszám alapján többszörösen kellett tekinteni.

Az útvonal-többlet számítását súlyozással végeztem az egyes repülőterekre, az egyes járatok megtett útvonalának hossza alapján. Tehát nem az egyes járatok útvonal-többleteit átlagoltam, hanem a repülőtérről 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 útvonal-többletek 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 útvonal-többletek a legnagyobb sűrűségben 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, Velen-ce) és déli részének (Nizza, Marseille, Barcelona) nagyvárosait is. A rosszabb horizontális útvonalhatékonysággal rendelkező nagyforgalmú városok így teljesen lefedik a „kék

banán”-nak nevezett magterületet (1. ábra). Tehát a légitözlekedés forgalmi túlterheléséből fakadó legnagyobb problémák a legfejlettebb térségben jelentkeznek. Ahhoz, hogy ezekben a térségekben javuljon az útvonalhatékonyság, a kontinens más, akár távolabbi, a légitözlekedés által érintett térségében is végre kell hajtani fejlesztéseket, hiszen a járatok tervezése hatással van az egyes útvonalak minden szakaszára. Így az útvonalátöbbletek csökkentésére való törekvés minden tagállam feladata és érdeke.

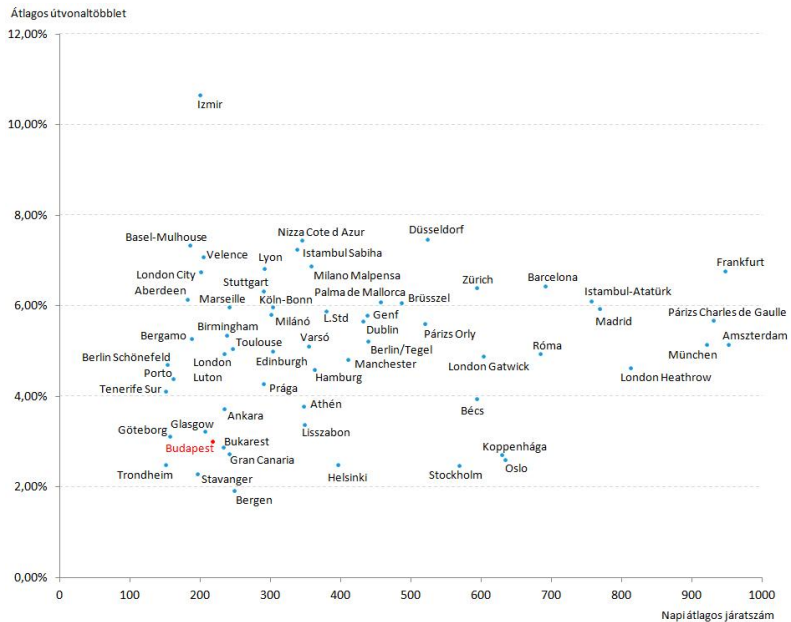


1. ábra.

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

Az útvonalátöbbletek számszerű értékeinek vizsgálatát követően megvizsgáltam, hogy vajon van-e kimutatható összefüggés az egyes repülőterek napi átlagos járatszáma, tehát a forgalma, és a bekövetkezett útvonalátöbbletek között (2. ábra). Az egyes repülőterek napi átlagos járatszáma, tehát a forgalma, és a bekövetkezett útvonalátöbbletek közötti összefüggést megvizsgálva az látható, hogy nincs szignifikáns összefüggés, mert mind az alacsonyabb, mind a közepes vagy magasabb forgalmú repülőterek esetén is több olyan város van, amelyek útvonalátöbblete magas, és olyan is, amelyeknek alacsony, bár a járat-szám növekedésével az útvonalátöbblet-értékek szórása egyre kisebb. Elsősorban tehát nem csak a helyi forgalom nagyságától függ az egyes repülőterek járatainak útvonalátöb-

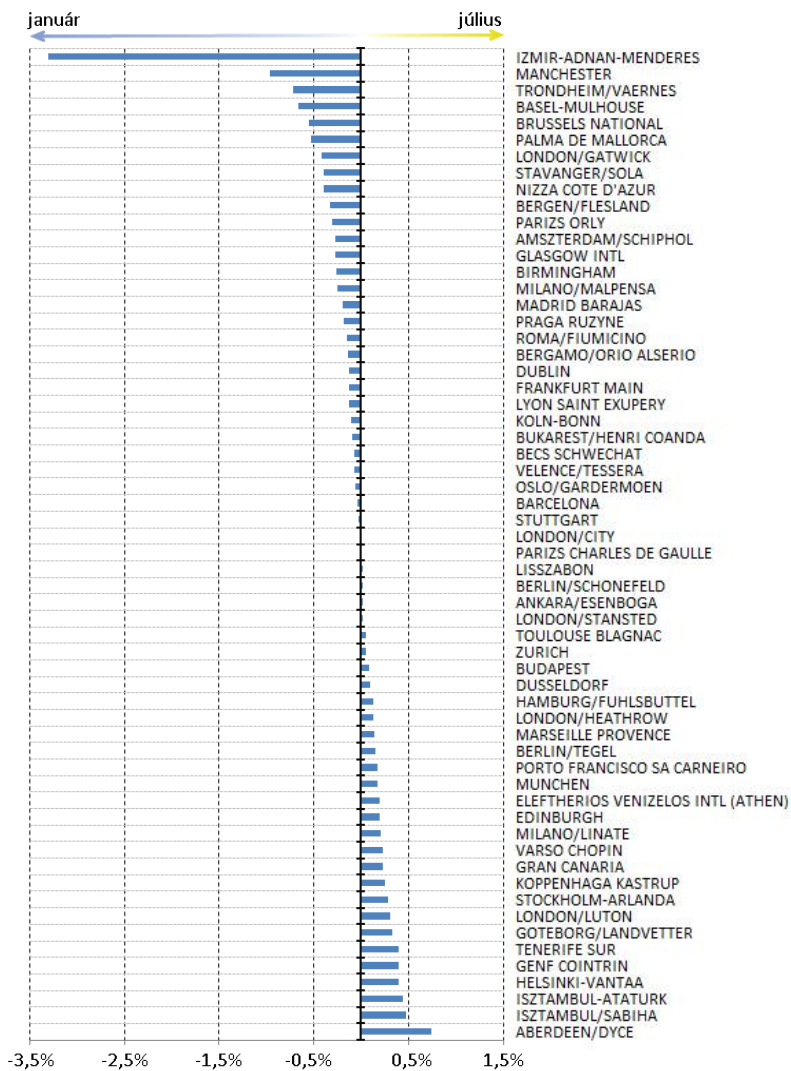
lete, hanem a tágabb térség légitforgalmától, valamint olyan más tényezőktől, ami az egyes járatok útvonalán merülnek fel.



2. ábra.

A repülőtér forgalma és a járatok útvonaltöbblete közötti összefüggések a 60 legforgalmasabb európai repülőtéren (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 (3. ábra)*. 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 fogalmú 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 magas forgalom függvénye az alacsonyabb hatékonyság, abban más, például szervezési, technikai vagy akár földrajzi, jogi, politikai tényezők is közrejátszhatnak.



1. ábra.

A júliusi útvonaltöbbletek változása januárhoz képest (2013) a belső európai légitforgalomban (%pont)

(szerk.: SZTRUNGA E.)

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 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-periódusa 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 hatékonyságon belül mekkora szerepe van egy-egy járat vertikális hatékonyságának, illetve a többi befolyásoló tényezőhöz képest milyen jelentősége van ennek a tényezőnek, megvizsgáltam a járatok vertikális repülési profilját is. A vizsgálat kiterjedt egyrészt a tervezett és a valóban lerepült útvonalra, másrészt pedig szimulációval az egyes korlátozó tényezőket különböző kombinációkban figyelmen kívül hagytam, hogy a vertikális hatékonyság 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 légi járművek összetartása a jellemző, tehát a repülőtérhez közeledve koncentrálnak, növekszik a sűrűségük, addig a felszállási fázisra éppen ennek az ellenkezője, a széttartó forgalom a jellemző. A repülőtértől távolodva egyre nagyobb tér áll rendelkezésre a légi járművek mozgására, ráadásul az légiforgalmi irányítás érdeke is, hogy a felszálló gépeket minél hamarabb átadják a szomszédos szektorok irányításának, ezáltal helyet biztosítva az újabb érkező gépeknek. Emellett az, hogy a gépeket folyamatosan egy pontra irányítják, besorolják őket az érkező repülőtérre történő leszálláshoz, számos esetben azt eredményezi, hogy a járatot a repülőtérre 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 utazó magasságon, nem kellene az optimális pont előtt megkezdenie a süllyedését, tarthatna nagyobb sebességét, akkor időt is megtakarítana, tehát gyorsabban érhetne a desztinációhoz. 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 hatékonyság 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 környezeti terhelés is növeli.

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 elemeikre kell bontani és alapos vizsgálatnak kell alávetni a jövőbeni hatékonyság fejlesztésének érdekében.

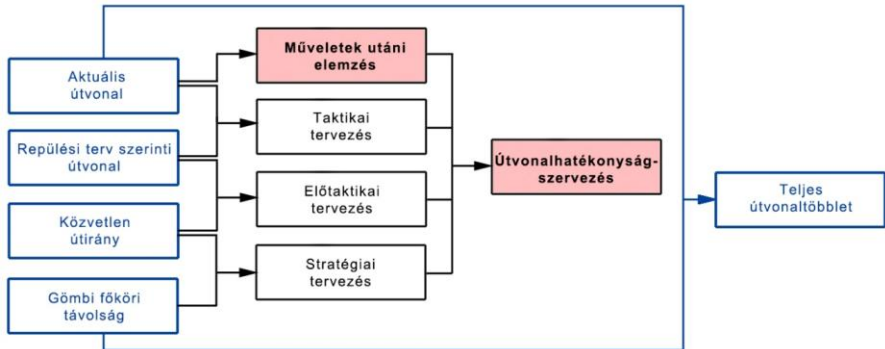
A valós útvonaltöbblet – mint ahogy az az elemzésében is látható volt – csak a horizontális útvonalhatékonyság kifejezésére alkalmas, a vertikális hatékonyságot nem foglalja magába. Valójában a horizontális és a vertikális hatékonyság együttesen mutatja ki egy járat útvonalának teljes hatékonyságát. Átfogó elemzéstükre 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 város párok 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 útiránnyal, mert az fejezi ki egzaktt módon az útvonaltöbbleteket. A modellben a legrövidebb útvonalat így a közvetlen útirányra cseréltem. A közvetlen útirány 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 veszik. A magassági korlátozó pontok figyelembe vétele a vertikális, a horizontális útvonali korlátozó pontok, valamint feltételes útvonalak figyelembe vétele pedig a horizontális hatékonyság 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 útirány 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 alkalmas, hanem a hatékonyság fejlesztéséhez szükséges feladatok meghatározását is biztosítani tudja a különböző tervezési szinteken (4. 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 útvonal-

hatékonyság menedzselése esetén. Ezért a jövőben fontosnak tartom a negyedik tervezési szint bevezetését az útvonalhatékonyság területén is.



4. 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) – javaslatom az útvonalhatékonyság-szervezés (angolul route efficiency management) kifejezés használatát.

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 stratégia 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 elkészítése, az útvonaldíjak, az előtaktikai szintű katonai légtérhasználat, valamint befolyásoló tényezők lehetnek a különböző politikai okok vagy iparági sztrájk tevékenységek, esetleges vulkánkitörések. Mind-ezen 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, 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.

6. 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 ez 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 tényezőket, 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 közelkörzetek, valamint a repülőterek hatékonyságának vizsgálata. A hatékonysági elemzések mérésére pedig szoftverek, eszközök kifejlesztésére van szükség.

7. Publikációk

7.1 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*. Szeged, SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék. 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*. Szeged, SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék. 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*. Idreresearch 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 légiközlekedési útvonalak alakulása Európában*. A földrajz tanítása. XXI. évf. 2. sz. pp. 28-36.

7.2 Egyéb publikációk

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

SZTRUNGA E. 2011: A kisépítési kisformátumú légitelvezetés 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 légitelvezetésben. In: LÓCZY D. (szerk.): *Geográfia a Kultúra Fővárosában I.: az V. magyar Földrajzi Konferencia természetföldrajzi közleményei*. Publikon Kiadó, Pécs. pp. 71-78.

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