Európa térképe „megváltozik” a légi közlekedés miatt

Dr. Legeza Enikő[1], *Dr. Török Ádám*[2]

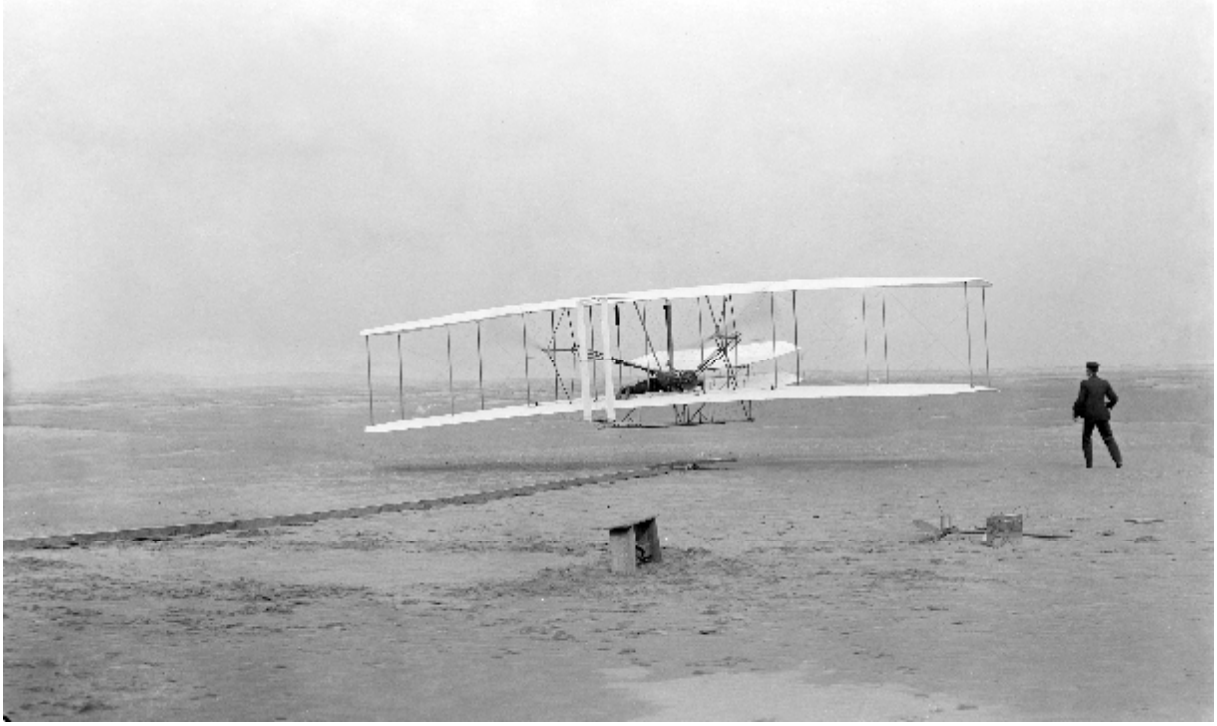
Absztrakt: A repülés iránti vágy nagyon régóta megmozgatja az emberek képzeletét. A görög mondabeli Ikarosznak is az volt a legfőbb álma, hogy a madarakkal együtt szárnyalhasson, ám az ő próbálkozásai kezdetektől fogva kudarcra voltak ítélve. Cikkünk célja a légi személy közlekedés pozitív hatásainak feltérképezése, azon belül is az utazási idő rövidülésének matematikai modellezése, megjelenítése. A repterek közötti távolság helyett az utazási időt használva új elérhetőségi rangsort kapunk, amit ábrázolva Európa térképe jelentősen átformálódik.

Kulcsszavak: légi személyközlekedés, időrövidülés, távolság függvény

1. Bevezetés

Az észak karolinai Kitty Hawk közelében fekvő Kill Devil Hill-en emelkedett fel a levegőbe az első levegőnél nehezebb légi jármű, 1903-ban, a Wright fivéreknek köszönhetően (1. ábra). A repülés iránti vágy azonban már jóval régebben is megmozgatta az emberek képzeletét.

[1] BME Közlekedésgazdasági Tanszék, egyetemi docens
[2] BME Közlekedésgazdasági Tanszék, tudományos segédmunkatárs



1. ábra A Wright fivérek első repülése
(forrás: Amerikai Egyesült Államok Kongresszusi Könyvtár ID cph.3a53266)

A világ első, hajtott és embert szállító léghajója Henry Giffard-nak köszönhető, gőzgépével hajtott léghajójával 1852. szeptember 24-én emelkedett a levegőbe a párizsi Hippodromé lóversenypálya mellől. A repülés fejlődésében 1909-ben Louis Blériot-val nagy lépés történt, mindenki számára bebizonyította a repülőgép gyakorlati használhatóságát, átrepülve a kontinensről Angliába. A légi közlekedés egyértelmű előnye, a nagy sebesség csak nagy utazási távolságok esetén érvényesül igazán. 1927-ben újabb fordulóponthoz érkezett a repülés történelme, amikor az amerikai Charles Lindbergh külön az erre a célra épített „Spirit of St. Louis” nevű gépével sikeresen landolt Párizsban, az Atlanti-óceán átrepülését követően, mely több mint 33 órát vett igénybe.

A mai viszonylatban is modernek mondható első utasszállító repülőgép az amerikai Douglas DC-3-as (2. ábra) volt, első repülése 1935-ben valósult meg.

2. ábra Douglas DC-3 "Betsy"
(*forrás: Northwest Franklin County Historical Society Library*)

A háború végeztével, a hatalmas katonai légi flották kihasználatlanok maradtak, így kézenfekvő lépés volt azok alkalmazása a polgári repülésben. A gyors vadászgépek a postai küldeményeket rövid időn belül jutatták el a célba, a nehézbombázók pedig némi átalakítással ideálisnak tűntek emberek szállítására. Ezek a gépek a folyamatos fejlődési igényeknek egyre kevésbé tudtak megfelelni, így egyre több korszerű, áramvonalasabb, könnyebb gép jelent meg, melyek kényelmesebbek is lettek.

Az első sugárhajtású utasszállító repülőgépet az angolok kezdték üzemeltetni, mely 1952-ben állt szolgálatba menetrendszerű közlekedésével. (3. ábra).

3. ábra DH-106 Comet 1, a világ első jet utasszállítója
(*forrás: Davies, R.E.G. and Philip J. Birtles. Comet: The World's First Jet Airliner. McLean, Virginia: Paladwr Press, 1999. ISBN 1-888962-14-3*)

Repülési magasságának, és sebességének köszönhetően, az időjárási körülmények befolyásoló hatását is mérsékelte, mely az utazási időt megközelítően felére csökkentette.

A technológiai fejlődés következő példája már a hangsebesség két és félszeresével repülő angol-francia együttműködéssel készült „Concorde” (4. ábra). Az Atlanti óceán két partja között elképesztő, 3,5 órás repülési időtartammal létesített kapcsolatot. Első repülése már 1969-ben megtörtént, 2003-ban viszont kivonták a forgalomból. 30 éves szolgálati ideje alatt egyedülállóan sok csúcsot állított fel.

4. ábra Concorde
(forrás: British Airways)

Napjainkban egyelőre más irányát láthatjuk a fejlődésnek, mely a korszerű gazdasági, kereskedelmi, és egyéb követelményeket is szem előtt tartó óriásgépek megjelenését jelenti. Példaként említhetjük az Airbus repülőgépgyár kétszintes gigászát, az A 380-as repülőgépet, (5. ábra) melynek rendelésre történő sorozatgyártása folyamatban van.

5. ábra Airbus A380-as gigász
(*forrás: Flight International*)

2. A légi forgalom hatása

A közlekedés és azon belül a légi közlekedés pozitív hatással van a nemzetgazdasági folyamatokra, bővül a fogyasztás és a fogyasztók köre, növekszik a mobilitás és ezáltal az életszínvonal, pozitív hatással lehet a munkaerő piacra és az ipari és kereskedelmi folyamatokra. Az infrastruktúra beruházások kedvező hatásai is az érintetteknél pozitív hatásként jelentkezhetnek, hiszen az adott környéken található boltok, áruházak jelentős árbevétel növekedéssel számolhatnak, valamint az ott található ingatlanok értéke is növekedhet. Ezeknek a pozitív hatásoknak a megfelelő monetarizálása akár jelentős részét is fedezheti a beruházásoknak.

A légi közlekedési fejlesztési és üzemeltetési tevékenységek nemzetgazdasági szintű értékelésekor természetesen nem szabad megfeledkezni a negatív (externális) hatások számbavételéről sem. A légi közlekedés ugyanis fajlagosan (közlekedési teljesítményre vetítve) általában a legmagasabb társadalmi költségű áru- és személyszállítási módok közé

tartozik (igaz, magas a szolgáltatási színvonal is) (Bokor, Tánczos 2003). Ezért itt bármilyen hatékonyságnövelő intézkedés számottevő megtakarítást hozhat.

Nehéz elképzelni ugyanakkor olyan élénk gazdasági növekedést, amely képes álláshelyeket és jólétet teremteni a belső piac és a globalizálódott kereskedelem összes előnyének kihasználását lehetővé tevő, hatékony közlekedési rendszer nélkül. Annak dacára, hogy a XXI. század kezdetén az információs társadalom és a virtuális kereskedelem korába lépünk, semmi sem történt, ami miatt csökkenne az utazások iránti igény; sőt, ennek az ellenkezője igaz. Az Interneten ma bárki bárkivel kapcsolatba léphet és árukat rendelhet a távolból, ugyanakkor még mindig élvezheti annak előnyeit is, hogy személyesen ellátogathat más helyekre, termékeket nézegethet és válogathat, vagy találkozhat más emberekkel, kultúrákkal és tájakkal (Legeza 2001). Az információs technológiák azonban arra is bizonyítékul szolgálnak, hogy a távmunka, vagy a távszolgáltatások megkönnyítésével néha elősegíthetik a fizikai szállítás iránti igények csökkenését, vagy épp ellenkező hatással bírnak, gondoljunk csak az internetes jegyváltás és check-in lehetőségére a légi közlekedés esetében, mely kényelmi szolgáltatásként megkönnyíti a légi utasok teendőit.

A légiközlekedésben alkalmazottak relatíve jól fizetettek, kultúrált és fegyelmezett munkát végeznek. Sok esetben dinasztiák követik egymást ebben az iparágban is. Gyakran a lakás, családi ház is a repülőtér közelében van. Jelentős az a szekunder kapcsolat is például, hogy a repülőtérre szállító taxik, ingajáratok jövedelmüknek egy részét innen szerzik. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy 1 repülőtéri állás további (egynél több) másodlagos állást kreál, illetve 1 repülőtéri állás megszüntetése a többi ágazatban 1-nél nagyobb számú állást érint. Tehát a repülőterek az ország infrastruktúrájának fontos részét alkotják. A légi közlekedés számtalan iparággal van kapcsolatban megrendelései révén, így a GDP-hez ilyen módon hozzájárul. A légi közlekedés jelentősen csökkenti az utazási időt. Cikkünk célja egy olyan térkép megalkotása, mely szokatlan módon nem az egyes földrajzi helyek, városok közötti távolságot hivatott szemléltetni, hanem az utazási időt. A légi közlekedés által, 12 európai várost figyelembe véve, az érintett városok között a térkép megmutatja mennyire kerülhetnek közel, vagy távolodhatnak el egymástól jól ismert metropoliszok az utazási idő függvényében; Európa térképe „átalakul”.

1. táblázat

Időtérképen feltüntetett városok 2007 éves forgalmi adatai

(forrás: ACI-Europe AIRPORT TRAFFIC STATISTICS, 2007)

Város neve	Repülőtér neve	Összes utas száma	Rang Európában[3]
Amszterdam	Schiphol	47 429 741	5.
Bécs	Schwehat	18 768 468	20.
Berlin	Tegel	13 357 741	30.
Brüsszel	Brussels International	17 838 214	23.
Budapest	Ferihegy	8 581 071	48.
Frankfurt	Frankfurt/Main	54 161 856	3.
London	Heathrow	67 056 228	1.
Madrid	Barajas International	50 823 105	4.
München	Francz Joseph Strauss	34 530 593	7.
Párizs	Charles de Gaulle	60 851 998	2.
Stockholm	Arlanda	17 968 023	22.
Zürich	Kloten	20 682 094	18.

A táblázatból (1. táblázat) jól látható, hogy az Európában lévő városok repülőterei által lebonyolított éves forgalom jelentős mértékű. Világviszonylatban is előkelő helyet foglalnak el az európai városok ezen eredményeikkel. A légi közlekedés sajátosságai miatt, két város között az oda-vissza repült útvonal hossza, és annak időtartama is különbözhet egymástól. A különbözetből eredő hiba nem szignifikáns, ezért a továbbiakban az átlagos távolságot és időt használtuk. A földrajzi távolság helyett a repülőút átlagos hosszát vettük alapul. A navigátor az adott nagytávolsági viszonylatokban az ortodróma[4] és a loxodróma[5] közötti „kompromisszumként” jelöli ki az útvonalat. A loxodrómához kapcsolódó ortodróma ugyanazon két földrajzi pont között a legrövidebb útvonal. A loxodróma a sík Föld térképen egyenessé fajul. A két légikikötő közötti loxodrómikus ív sík térképen egyszerűen e két repülőtér közötti egyenes. Mivel azonban a loxodrómikus távolságok a gömbön tetemesen nagyobbak, mint a legrövidebb gömbi távolságok, újabban a növekvő forgalom miatt mindinkább elhagyják a Loxodrómán való repülést, és áttérnek a legnagyobb gömbi kör mentén történő repülésre.

[3] 2007 ACI-EUROPE AIRPORT TRAFFIC STATISTICS, 456 európai repülőtér éves utasforgalma alapján

[4] valamely gömbfelület két pontja, például a föld felszínének két pontja közötti legrövidebb út

[5] A loxodróma egy gömb felületére írt csavarvonal, amely a forgásfelület valamennyi alkotógörbéjével, gömbfelület esetében valamennyi délkörrel állandó szöget zár be. A földgömbre írt loxodróma a földrajzi hálózat minden meridiánját azonos szögben metszi. Ez a tulajdonsága teszi lehetővé, hogy a jármű állandó útirányt tartva jusson a célba.

2. táblázat
Európai légikikötők közötti távolságok, és repülési időtartamok
(forrás: saját szerkesztés)

Távolság [km] \ Időtartam [óra:perc]	Budapest	London	Párizs	Bécs	Berlin	Brüsszel	Amsterdam	Madrid	Stockholm	München	Zürich	Frankfurt
Budapest		1500	1300	250	700	1200	1200	2000	1400	600	800	850
London	2:30		350	1300	950	350	400	1300	1450	950	800	650
Párizs	2:15	2:20		1050	900	300	450	1100	1550	700	500	450
Bécs	1:00	2:30	2:10		550	950	950	1850	1250	400	600	650
Berlin	1:45	2:00	1:45	1:20		700	600	1900	800	500	700	450
Brüsszel	2:00	1:15	1:00	1:50	1:20		200	1350	1300	600	500	300
Amszterdam	2:00	1:20	1:20	4:05	2:10	0:50		1500	1150	700	650	400
Madrid	3:10	2:30	2:10	6:00*	3:00	2:40	2:25*		2600	1500	1250	1450
Stockholm	2:10	2:40	2:35	4:30*	1:30	2:15	2:10	4:00		1350	1500	1250
München	1:20	2:00	1:40	1:05	1:10	1:20	1:30	2:35	2:10		250	300
Zurich	1:45	1:30	1:20	2:35	1:30	1:10	2:35	2:10	2:25	1:00		300
Frankfurt	1:45	1:40	1:15	1:35	1:10	1:00	1:40	2:40	2:10	1:10	1:15	

Az utazási idő és távolság hányadosaként megkaphatjuk az átlagos utazási sebességet. A fenti táblázatból (2. táblázat) látható, hogy az átlagos repülési sebesség nem állandó, tehát az utazási idő nem lineáris leképezése a földrajzi távolságnak. Köztudott, hogy egymástól nagy távolságra levő repülőterek között az átlagos utazási sebesség nagyobb, mint a közeli repülőterek közöttiek esetében, mert az út eleji és végi lassító manőverek nagyjából minden esetben azonos időigényűek. Ezzel a repülési idő s távolság dichotómiájának problémája magyarázatot nyert.

3. Az utazási idő matematikai modellezése

A légi közlekedés eredetű utazási idő rövidülés elemzésére és megjelenítésére európai légikikötők közötti távolság és utazási idő szolgáltak alapul (2. táblázat). Az utazási idő prezentálja egy közlekedési rendszer felhasználó központú hatékonyságát (Giannopoulos,

Aifadopoulou, Torok 2008). A gráf csomópontok és rajtuk értelmezett összeköttetések (élek) halmaza (Reinhard 2005). Esetünkben a légikikötők a gráf csúcspontjai és az utazási időkkel reprezentált repülőutak a gráf élei. Alapértelmezésben a gráf irányítatlan, azaz nem teszünk különbséget „A-ból B-be”, illetve „B-ből A-ba” menő élek között. Szintén alapértelmezésben, a gráf csúcsai címkézettek, azaz meg lehet különböztetni őket.

A hagyományos euklideszi geometria pontjai modellezhetőek valós számok rendezett n-eseivel, azaz n-dimenziós vektorokkal. Például a sík egy pontja megadható egy $A=(x_1,y_1)$ számpárral. Az euklédeszi térben, két pont távolságát az euklédeszi távolság (2 normás távolság) adja meg. (1):

$$d_{AB} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} \left| a_i - b_i \right|^2 \right)} \tag{1}$$

Például az euklideszi síkban $A(a_1, a_2)$ koordinátájú pont és $B(b_1, b_2)$ koordinátájú pont Descartes-módra koordinátázott távolsága (2):

$$\mathrm{d}_{\mathrm{AB}} = \sqrt{(\mathrm{x}_1 - \mathrm{y}_1)^2 + (\mathrm{x}_2 - \mathrm{y}_2)^2} \tag{2}$$

Ez a két pont közötti legrövidebb egyenes távolságot adja meg. Ha Európa léptékű légikikötők közötti eljutási időt reprezentáló modellt építünk, akkor a fent (2) említett távolság nem alkalmazható, mert a légi közlekedési folyosók illetve utazási idők nem szükségszerűen reprezentálják a legrövidebb utat. Az utazási idő megmutatja hogy i és j légikikötő között mekkora a repülési idő. Cikkünkben a fel- és leszállás valamint a repülőtérre történő kijutás és a repülőtér elhagyásának időszükségletével nem foglalkozunk (Kővári 2001).

Megmutatható, hogy az utazási idő is viselkedhet matematikai értelemben távolságként, és így az utazási időkből kialakítható egy szimmetrikus távolság mátrix (3):

$$\underline{\underline{\mathrm{D}}} = \begin{vmatrix} 0 & \mathrm{d}_{1\mathrm{j}} & \mathrm{d}_{1\mathrm{m}} \\ \mathrm{d}_{\mathrm{i}1} & 0 & \mathrm{d}_{\mathrm{im}} \\ \mathrm{d}_{\mathrm{m}1} & \mathrm{d}_{\mathrm{jm}} & 0 \end{vmatrix} \tag{3}$$

ahol:

D szimmetrikus, m x m négyzetes „távolság mátrix”

d_{ij} i és j légikikötő közötti utazási idő

A távolság mátrix szimmetrikus, mert feltétezzük, hogy $d_{ij}=d_{ji}$ és, ha i=j akkor $d_{ij}=0$. Ahhoz hogy az utazási időkből felépíthessük a gráfot a légikikötők egymáshoz viszonyított relatív koordinátáit használtuk fel.

$$\underline{\underline{D}} = \begin{vmatrix} 0 & \left(\sqrt{(x_j - x_1)^2 + (y_j - y_1)^2}\right) & \left(\sqrt{(x_m - x_1)^2 + (y_m - y_1)^2}\right) \\ \left(\sqrt{(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_j)^2}\right) & 0 & \left(\sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_m - y_i)^2}\right) \\ \left(\sqrt{(x_1 - x_m)^2 + (y_1 - y_m)^2}\right) & \left(\sqrt{(x_j - x_m)^2 + (y_j - y_m)^2}\right) & 0 \end{vmatrix} \tag{4}$$

Ellenőrzésként az így kapott relatív koordinátákból számított utazási időket hasonlítottuk össze a megfigyelt utazási időkkel, az összehasonlításhoz. A megfigyelt és számított utazási idők összehasonlításához definiáltuk a φ transzformáció jóságát meghatározó függvényt.

$$\varphi = \sum_{i=1}^{m} \left[d_{ij} - f\left(\delta_{ij}\right) \right]^2 \tag{5}$$

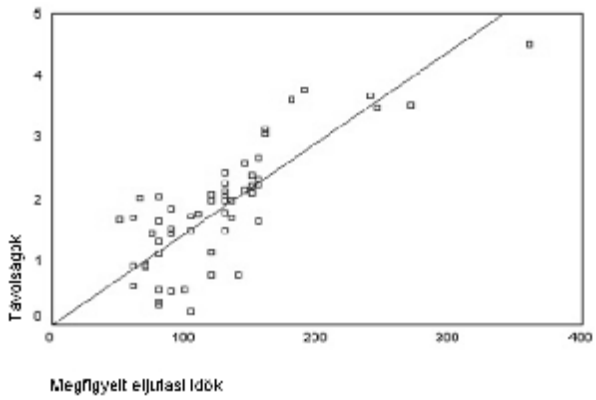
ahol:

d_{ij}: a számított utazási idő

δ_{ij}: a megfigyelt utazási idő

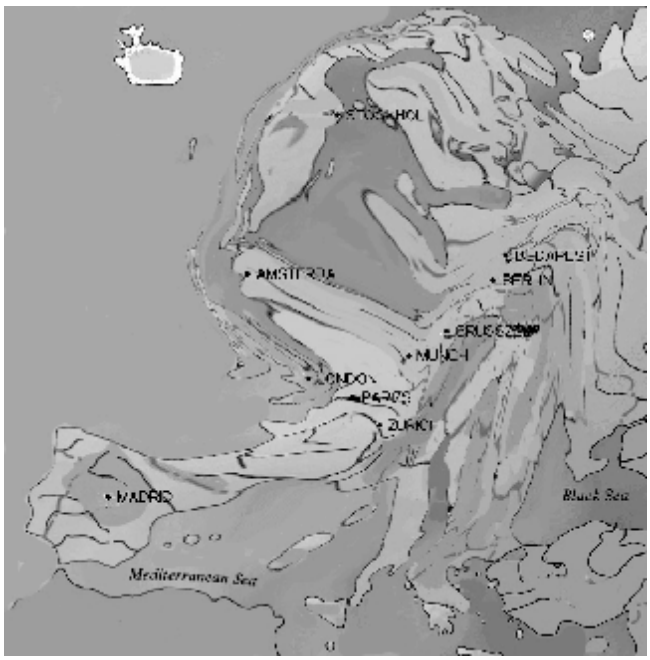
$f(\delta_{ij})$: a megfigyelt utazási idők (távolságok) nem metrikus, monoton transzformációja

Esetünkben $\varphi_{légi}$=0,22 (Minél kisebb a szám, annál jobban képezi le a gráf az utazási időt mint távolság adatokat). Másik ellenőrzési mód a Shepard diagramm (6. ábra - mely a gráf éleiből ténylegesen visszaszámított és megfigyelt utazási időket hasonlítja össze) (Szőkefalvi 1972).



6. ábra Shepard diagramm (R^2=0,7658)
(forrás: saját szerkesztés)

Ahogy a 6. ábrán látható a gráf felépítése során a relatív repülőtér koordináták meghatározásakor keletkezett hiba nem szignifikáns. A 6. ábrán látható folytonos monoton vonal reprezentálja a $f(\delta_{ij})$ függvényét. A pontok egyenestől mért távolsága a modell tökéletlenségét jelenti. Gráfelméleti és matematikai statisztikai eszközös segítségével az utazási idő alapján meghatározott európai légikikötők új helyzete a 7. ábrán látható:



7. ábra Az utazási idők alapján készített Európa térkép
(forrás: saját szerkesztés)

Összegzés

Cikkünk célja a légi személy közlekedés pozitív hatásainak feltérképezése, azon belül is az utazási idő rövidülésének matematikai modellezése, megjelenítése. A szokványos két normás euklédeszi távolság használata helyett az utazási időt, mint távolság függvényt alkalmaztuk. Az utazási időből felépített gráf segítségével módosítottuk Európa térképét, hogy Európa legnagyobb légikikötőinek „időbeli” helyzete transzparensebbé válhasson.

3. táblázat
Budapest reptér távolsága térben és időben a vizsgált repterektől
(*forrás: saját szerkesztés*)

[perc]		[km]		[km/h]	
Bécs	60	Bécs	250	Bécs	250
München	80	München	600	München	450
Berlin	105	Berlin	700	Berlin	400
Zurich	105	Zurich	800	Zurich	457
Brüsszel	120	Brüsszel	1200	Párizs	578
Amszterdam	120	Amszterdam	1200	Brüsszel	600
Stockholm	130	Párizs	1300	Amszterdam	600
Párizs	135	Stockholm	1400	Stockholm	646
London	150	London	1500	London	600
Madrid	190	Madrid	2000	Madrid	632

Modellünk segítségével bemutattuk, hogy az Európai repülőterek távolsága hogyan változik, ha földrajzi távolság helyett a repülési időt vesszük alapul. Mindez „point to point" közvetlen utazásra vonatkozik.

4. Hivatkozások

Bokor Zoltán – Tánczos Lászlóné: A közlekedés társadalmi költségei és azok általános és közlekedési módtól függő hazai sajátosságai. Közlekedéstudományi Szemle, 53. évf. 8. szám (2003), pp. 281-291

Dr. Legeza Enikő: A repülőtér és környezetének kapcsolata. Közlekedéstudományi Szemle 2001/7 pp263-268

Giannopoulos George, Aifadopoulou Georgia, Torok Adam: Port Choice Model for the Transshipment of Containers in Eastern Mediterranean, TRB 87th Annual Meeting. Washington, USA, 2008. pp. 25-40, Paper #08-1517.

Reinhard Dienstel: Graph Theory, Springer-Verlag Heidelberg, New York 2005, pp422

Dr. Kővári Botond: A légtér kapacitás növelésének néhány módszere, Közlekedéstudományi Szemle 2001/12, pp465-469

Szőkefalvi-Nagy Béla: Valós függvények és függvénysorok. Tankönyvkiadó, Bp., 1972. R.Sz. 42 112.