

## EURÓPA TÉRKÉPE ÁTALAKUL A LÉGIKÖZLEKEDÉS HATÁSÁRA

(Map of Europe has been Changed by Air Transport)

LEGEZA ENIKŐ – TÖRÖK ÁDÁM

*Kulcsszavak:*

*légi személyközlekedés időrövidítés távolság függvény*

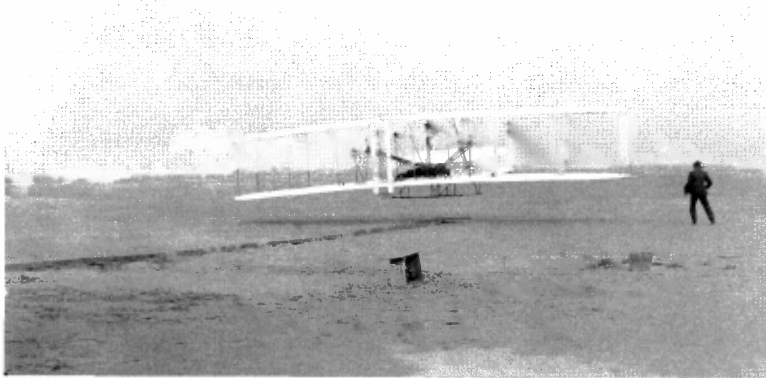
*A repülés iránti vágy nagyon régóta megmozgatja az emberek képzeletét. A görög mondabeli Ikarosznak is az volt a legfőbb álma, hogy a madarakkal együtt szárnyalhasson, ám az ő próbálkozásai kezdetektől fogva kudarcra voltak ítélve. Cikkünk célja a légi személy közlekedés pozitív hatásainak feltérképezése,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

### *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. ÁBRA

*A Wright fivérek első repülése  
(First Fly of the Wright Brothers)*



*Forrás: Amerikai Egyesült Államok Kongresszusi Könyvtár ID cph.3a53266.*

A világ első, hajtott és embert szállító léghajója Henry Giffard-nak köszönhető, aki 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 modernnek mondható első utasszállító repülőgép az amerikai Douglas DC-3-as volt (2. ábra), első repülése 1935-ben valósult meg.

## 2. ÁBRA

*Douglas DC-3 „Betsy”  
(Douglas DC-3 'Betsy')*



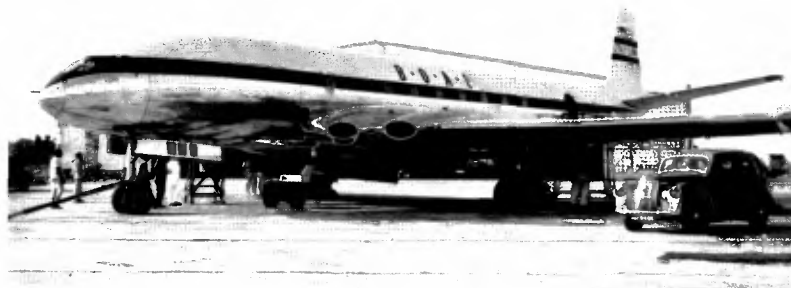
*Forrás: Northwest Franklin County Historical Society Library.*

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, amelyek 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  
(DH-106 Comet 1, First Passenger Carrier Jet)*



*Forrás: Davies–Birtles (1999).*

Repülési magasságának és sebességének köszönhetően az időjárás körülmények befolyásoló hatását is mérsékelte, ami 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 csúcst állított fel.

### 4. ÁBRA

*Concorde  
(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 gigaszát, az A380-as repülőgépet (5. ábra), melynek rendelésre történő sorozatgyártása folyamatban van.

5. ÁBRA  
Az Airbus A380-as gigász  
(Airbus A380)



Forrás: Flight International.

*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 érintettekénél 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 21. 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 bizonyítékkal 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 légi közlekedésben alkalmazottak relatíve jól fizetettek, kultúrált és fegyelmezt munkát végeznek. Sok esetben dinasztiaiák 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 megrendelése 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”.

Az 1. táblázatból 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 időtartama is különbözhet egymástól. A különbsézből 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<sup>1</sup> és a loxodróma<sup>2</sup> 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 légikötő közötti loxodromikus ív sík térképen egyszerűen a két repülőtér közötti egyenes. Mivel azonban a loxodromikus távolságok a gömbön tetemesen nagyobbak, mint a

legrövidebb gömbi távolságok, újabban a növekvő forgalom miatt mindinkább elhagyják a loxodromán való repülést, és áttérnek a legnagyobb gömbi kör mentén történő repülésre.

### 1. TÁBLÁZAT

*Az időtérképen feltüntetett városok 2007. évi forgalmi adatai  
(Traffic Data of Investigated Airports in 2007)*

<i>Város neve</i>	<i>Repülőtér neve</i>	<i>Összes utas száma</i>	<i>Rang Európában*</i>
Amszterdam	Schiphol	47 429 741	5.
Bécs	Schwechat	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.

\* 456 európai repülőtér éves utasforgalma alapján.

*Forrás:* ACI-EUROPE AIRPORT TRAFFIC STATISTICS (2007).

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

## 2. TÁBLÁZAT

Európai légikikötők közötti távolságok és repülési időtartamok  
(Distance and Travel Time between Investigated Airports)

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

Forrás: Saját szerkesztés.

### Az utazási idő matematikai modellezése

A légi közlekedés eredetű utazási idő rövidülés elemzésére és megjelenítésére az európai légikikötők közötti távolságokra és utazási időre vonatkozó adatok 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, az utazási idővel 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 modellezhetők valós számok rendezett n-esével, azaz n-dimenziós vektorokkal. Például a sík egy pontja megadható egy  $A=(x_1, y_1)$  számpárral. Az euklideszi térben két pont távolságát az euklideszi távolság (2 normás távolság) adja meg.

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

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

$$2) d_{AB} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$$

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 repülőtérré történő kijutás és a repülőtér elhagyásának időszükségletével nem foglalkozunk (Kövári 2001).

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

$$3) \underline{D} = \begin{vmatrix} 0 & d_{1j} & d_{1m} \\ d_{j1} & 0 & d_{jm} \\ d_{m1} & d_{jm} & 0 \end{vmatrix}$$

ahol:

$D$  szimmetrikus,  $m \times m$  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.

4)

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

Ellenőrzésként az így kapott relatív koordinátákból számított utazási időket hasonlítottuk össze a megfigyelt utazási időekkel. A megfigyelt és számított utazási idők összehasonlításához definiáltuk a  $\varphi$  transzformáció jóságát meghatározó függvényt.

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

ahol:

$d_{ij}$ : a számított utazási idő

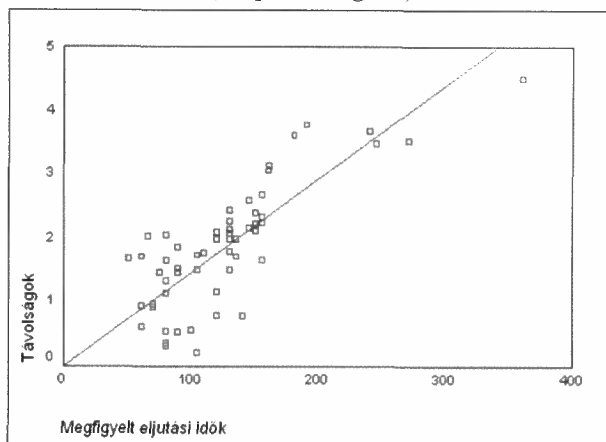
$\delta_{ij}$ : a megfigyelt utazási idő

$f(\delta_{ij})$ : 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, mely a gráf éleiből ténylegesen visszszámított és megfigyelt utazási időket hasonlítja össze (Szókefalvi-Nagy 1972) (6. ábra).



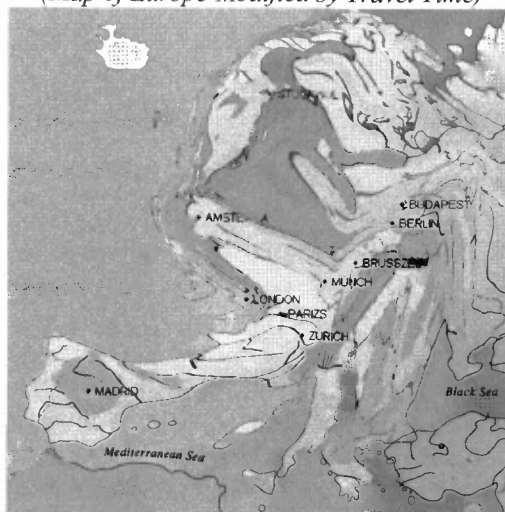
6. ÁBRA  
Shepard diagramm ( $R^2=0,7658$ )  
(Shepard Diagram)



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 eszközök segítségével az utazási idő alapján meghatározott európai légitársaságok új helyzete a 7. ábrán látható:

7. ÁBRA  
Az utazási idők alapján készített Európa térkép  
(Map of Europe Modified by Travel Time)



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 euklédesszi 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 transzparenssebbé válhasson.

### 3. TÁBLÁZAT

*Budapest reptér távolsága térben és időben a vizsgált repterektől  
(Distance and Travel Time between Budapest and the Investigated Airports)*

	[perc]		[km]		[km/h]
Bécs	60	Bécs	250	Bécs	250
München	80	München	600	München	450
Berlin	105	Berlin	700	Berlin	400
Zürich	105	Zürich	800	Zürich	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

*Forrás:* Saját szerkesztés.

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.

## Jegyzetek

- <sup>1</sup> Az ortodróma valamely gömbfelület két pontja, például a föld felszínének két pontja közötti legrövidebb út.
- <sup>2</sup> 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 útírányt tartva jusson a célba.

## Irodalom

- Bokor Z.–Tánczos L.-né (2003) A közlekedés társadalmi költségei és azok általános és közlekedési módtól függő hazai sajátosságai. – *Közlekedéstudományi Szemle*. 8. 281–291. o.
- Davies, R.E.G.–Birtles, P.J. (1999) *Comet: The World's First Jet Airliner*. McLean, Paladwr Press, Virginia.
- Giannopoulos, G.–Aifadopoulou, G.–Torok, A. (2008) *Port Choice Model for the Transshipment of Containers in Eastern Mediterranean*. TRB 87th Annual Meeting, Paper #08-1517. Washington. 25–40. o.
- Kővári B. (2001) A légtér kapacitás növelésének néhány módszere. – *Közlekedéstudományi Szemle*. 12. 465–469. o.
- Legeza E. (2001) A repülőtér és környezetének kapcsolata. – *Közlekedéstudományi Szemle*. 7. 263–268. o.
- Reinhard, D. (2005) *Graph Theory*. Springer-Verlag, Heidelberg, New York.
- Szökefalvi-Nagy B. (1972) *Valós függvények és függvény sorok*. Tankönyvkiadó, Budapest.