

Közzététel: 2021. március 9.

A tanulmány címe:

A digitális fejlődés rangsorolása a DEA-típusú összetett indikátorok és a TOPSIS módszerével

Szerzők:

BÁNHIDI ZOLTÁN, a Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem tudományos segédmunkatársa
E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu

DOBOS IMRE, a Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
egyetemi tanára
E-mail: dobos.imre@gtk.bme.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2021.3.hu0253>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Statisztikai Szemle c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Sztj.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Sztj. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c.) pontban foglaltak alapján a Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:

„*Forrás: Statisztikai Szemle c. folyóirat 99. évfolyam 3. számában megjelent, Bánhidi Zoltán, Dobos Imre által írt, 'A digitális fejlődés rangsorolása a DEA-típusú összetett indikátorok és a TOPSIS módszerével' című tanulmány (link csatolása)*”

7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem esnek szükségképpen egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Bánhidi Zoltán – Dobos Imre

A digitális fejlődés rangsorolása a DEA-típusú összetett indikátorok és a TOPSIS módszerével

Ranking digital development with DEA-type composite indicators and TOPSIS methods

BÁNHIDI ZOLTÁN, a Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem tudományos
segédmunkatársa
E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu

DOBOS IMRE, a Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
egyetemi tanára
E-mail: dobos.imre@gtk.bme.hu

A szerzők a digitális gazdaság és társadalom index (digital economy and society index, DESI) öt alapidimenziója segítségével, de az önkényes, szubjektív súlyozáson (scoring modellen) alapuló kompozit index helyett objektívebb, az adatsorok statisztikai tulajdonságait felhasználó rangsorolási módszerekkel kívánják választ adni arra a kérdésre, hogy Magyarország hol helyezkedik el a digitális fejlettséget tekintve az EU (Európai Unió) országai között. A rangsorolást az összetett indikátorok burkológörbe-elemzése (data envelopment analysis/composite indicators, DEA/CI) és az ideális megoldásokhoz hasonló preferenciarendszer technikája (technique for order of preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) alkalmazásával végzik el, majd összehasonlítják az EU-s országok két döntéelméleti eljárással kapott rangsorát. A TOPSIS- és a DEA/CI-módszer előnye a hagyományos DEA-val szemben, hogy abban az esetben is adattszformáció nélkül alkalmazhatók, ha az adatok között csak (maximalizálendő) outputkritériumok vannak, ezáltal elkerülhetők a transzformációval járó torzítások. Az eredményül kapott rangsorok alapján Magyarország az uniós országok második harmadában helyezkedik el, így közepes digitális fejlettségűnek tekinthető.

TÁRGYSZÓ: összetett indikátorok, TOPSIS, digitális fejlettség

The aim of this study is to benchmark the digital development of Hungary vis-à-vis other countries of the European Union, using the five principal dimensions of the digital economy and society index (DESI), but replacing the European Commission's subjective scoring model (which is built on an arbitrary weighting system) with more objective ranking methods that are based on the statistical properties of the dataset. The countries are ranked with DEA-type composite indicators and TOPSIS (technique for order of preference by similarity to ideal solution) methods of decision theory, and the two rankings are compared, with a particular emphasis on the place of Hungary amongst the countries of the European Union. The main advantage of these ranking

methods over the traditional data envelopment analysis is that they do not require data transformation, even if data only contain output criteria (to be maximised). According to the authors' results, Hungary is ranked among the second tertile of the countries in the European Union, and can be considered a medium performing country in terms of its digital development.

KEYWORD: composite indicators, TOPSIS, digital development

Az Európai Bizottság által elsőként 2015-ben közzétett DESI egy kvantitatív mérési rendszerrel és az ehhez kapcsolódó jelentésekkel követi nyomon, illetve értékeli az EU és tagállamai digitális fejlődését (*European Commission* [2020]). Ez a kompozit index olyan aggregált mérőszám, amely több különálló mutatót előre definiált súlyokkal kombinál, azaz egy pontozási rendszert (scoring modell) használ arra, hogy az egyes országokat a digitális teljesítményük alapján rangsorolja a digitális gazdaság és társadalom fejlődésének nyomon követése céljából. A mutatórendszer a digitalizáció terén elért teljesítményt öt fő dimenzióban, szakpolitikai területen méri (lásd az 1. táblázatot): internet-hozzáférés, humántőke (digitális készségek), internetes szolgáltatások használata, digitális technológia integráltsága (vállalkozások digitalizáltsága) és digitális közszolgáltatások. A DESI-mutatórendszert, annak előnyeit és hátrányait a *Statistikai Szemle* hasábjain Bánhidi–Dobos [2020] mutatta be. Összefoglaló táblázatunkban csak a dimenziók jelen dolgozat szempontjából fontos paramétereit ismertetjük.

1. táblázat

A DESI dimenziói
(Dimensions of DESI)

Dimenzió	Eredeti súly (%)	Figyelembe vett mutatók jellege
Internet-hozzáférés	25	Vezetékes és mobil szélessávú hálózatok elterjedtsége és árai
Humántőke	25	Alap- és magasabb szintű digitális készségek, jártasság
Internetes szolgáltatások használata	15	Online tartalmak, kommunikáció és elektronikus tranzakciók igénybevétele
Digitális technológia integráltsága	20	Vállalkozások digitalizáltsága és e-kereskedelem
Digitális közszolgáltatások	15	E-kormányzati és e-egészségügyi szolgáltatások

Forrás: Saját szerkesztés a *European Commission* [2020] alapján.

Tanulmányunk azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy az EU országai között Magyarország hol helyezkedik el a digitális fejlettségben, a DESI 2020. évi jelentésének öt alapdimenziója alapján, de a rangsorok felállításához az Európai Bizottság önkényes súlyozáson alapuló pontozási módszere helyett objektívebb, döntésméleti módszereket alkalmaz.

Az uniós országok sorrendjének megállapításához két, a gyakorlatban viszonylag sokszor használt rangsoroló eljárást választottunk: a DEA/CI- (*Cherchye et al.* [2007]) és a TOPSIS-módszert, ez utóbbit *Yoon–Hwang* [1981] vizsgálata alapján.

A DEA/CI-módszer gyakorlatilag megegyezik a DEA egy speciális esetével, azzal a különbséggel, hogy akkor alkalmazható, ha mindegyik kritérium vagy input (azaz minimalizálandó), vagy output (vagyis maximalizálandó). Mivel a DESI mindegyik dimenzióját maximalizálni kell, tehát csak outputkritériumaink vannak. Ez azt is jelenti, hogy ebben az esetben az adattranszformáció elhanyagolható, így elkerülhetők a transzformációknál előforduló torzulások.

A TOPSIS lényegében egy nagyon egyszerű, döntésméleti metodikán alapuló geometriai megközelítés, amely megpróbálja kiküszöbölni az adatok átalakítására épülő eljárásokat. A módszer három egymást követő lépésből áll (gyakran hat lépésben foglalják össze, de ez az általunk leírt három lépésen alapszik). Az első lépésben az adatok közötti skálaproblémát kiküszöbölve normáljuk a döntési kritériumok értékeit. Ez a normalizálás lehet az euklideszi távolság az egységgömbön vagy az adatok affin transzformációval $[0, 1]$ intervallumra alakítása. A kapott normált adatokat súlyvektorral súlyozzuk a második lépésben. A súlyok lehetnek szubjektívek, eleve megadhatók vagy objektíven meghatározhatók a rendelkezésre álló adatok statisztikai tulajdonságai, valamint elméleti vagy matematikai statisztikai megfontolások alapján. Végül a harmadik lépésben kiszámítjuk a hatékonyságot a normalizált, súlyozott adatok ideális és a legalacsonyabb (negatív ideális) pontoktól való távolság arányának felhasználásával, amelyek sorrendje megadja a rangsort.

A tanulmány a következő fejezetekből áll: az 1. fejezetben rövid szakirodalmi áttekintést adunk a digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő mutatóról (DESI), valamint az ezzel végzett elemzésekről. A 2. fejezetben a DEA/CI-módszerrel meghatározzuk Magyarország helyét az EU országai között. A 3. fejezetben ugyanezt a vizsgálatot végezzük a TOPSIS-módszerrel. Végül a 4. fejezetben értelmezzük eredményeinket, és összehasonlítjuk a két döntésméleti módszerrel kapott rangsort, mindenekelőtt Magyarország pozícióját.

1. Irodalmi áttekintés

A digitális gazdaság és társadalom fejlődésének és hatásainak mérésével foglalkozó irodalom igen sokrétű, így a terjedelmi korlátokra is figyelemmel jelen dolgozatunkban csak viszonylag rövid, nem teljes körű áttekintést próbálunk adni a DESI-hez kapcsolódó írásokról.

Bánhidi–Dobos [2020], illetve *Bánhidi–Dobos–Nemeslaki* [2020] a DESI öt fő dimenzióját elemzik többváltozós statisztikai módszerekkel. A szerzők elsőként a dimenziók közötti lineáris összefüggéseket vizsgálják egyszerű Pearson- és parciális korrelációs elemzéssel, valamint faktoranalízissel, a parciális korrelációs vizsgálat során kitérve a feltételezhető ok-okozati kapcsolatokra. Ezután az EU tagországait klaszterelemzéssel és többdimenziós skálázással (multidimensional scaling, MDS) csoportosítják, és statisztikai módszerekkel rangsorolják, végül összevetik eredményeiket az Európai Bizottság által publikált DESI-rangsorral. Elemzésük alátámasztja az Európai Bizottságnak azt a tézisét, hogy a DESI öt dimenziója a digitális gazdaság egymással szorosan összefüggő, ám eredményesen csak egységes, összehangolt stratégia alapján fejleszthető részterületeinek mutatóit tömöríti magába.

Tokmergenova et al. [2020b] egy hasonló, a mutatók közötti multikollinearitásra, valamint a dimenziók redundanciájára fókuszáló vizsgálatot végeznek az Európai Bizottság által közzétett, a DESI nemzetközi kiterjesztésének tekinthető (I-DESI) adatain. A mutatórendszer dimenziói között erős multikollinearitás figyelhető meg.

Bánhidi–Dobos–Nemeslaki [2019] ugyanezen I-DESI rangsorának stabilitását tanulmányozzák. Ehhez a szerzők az alap DEA-módszert és a DEA közös súlyok módszerét (DEA common weights analysis, DEA/CWA), valamint az MDS egydimenziós változatát használják, amelyek megítélésük szerint egyaránt alkalmasak a döntési egységek (jelen esetben országok) rangsorolására. Az általuk alkalmazott rangsorolási módszerek általában hasonló megoldást kínálnak, mint az Európai Bizottság pontozási modellje, de néhány ország (például Oroszország) rangsorbeli helyezése a választott módszertan függvényében jelentősebb eltéréseket mutat.

Tokmergenova et al. [2020a] vizsgálati kérdései szintén az I-DESI-rangsor stabilitásához és Oroszország rangsorbeli helyezéséhez kapcsolódnak, a DEA/CI- és TOPSIS-módszerek felhasználásával kapott eredményeik szerint Oroszország az uniós országokkal összehasonlítva közepes fejlettségű országnak tekinthető.

Moroz [2017] röviden bemutatja a digitális gazdaság mérésére, nemzetközi összehasonlítására használt főbb mutatórendszereket, és Lengyelország digitális fejlettségét, illetve fejlődésének dinamikáját két kiválasztott mutatórendszer – a DESI és a World Economic Forum hálózatos gazdaságra való felkészültség mértékét jelző mutatószáma (networked readiness index, NRI) – alapján elemzi. Követ-

keztetése szerint Lengyelország helyzete (mindkét mutatórendszer alapján) viszonylag kedvezőtlennek mondható, az ország alacsony szintű digitális fejlettsége és versenyképessége mellé alacsony növekedés (felzárkózási ütem) társul.

Petrenko et al. [2017] tanulmányukban szintén az NRI részindexeit vizsgálják, annak érdekében, hogy megértsék az oroszországi digitális gazdaság problémáit, és meghatározzák azok megoldásának módját.

Kotarba [2017] cikke szintén a digitális (ezen belül kiemelten a digitális gazdaság mérésére irányuló) mutatórendszereket, kulcsindikátorokat mutatja be, többek között a DESI-t is. A szerző szerint a digitális fejlettség alapvetően öt szinten (szintéren) mérhető: a teljes gazdaság mellett a társadalom, az ágazatok, a vállalkozások, illetve az ügyfelek szintjén. Az írás a mutatók közötti hasonlóságokat és különbségeket, azok „érettségi” szintjét tárgyalja, illetve javaslatokat ad fejlesztésükre.

Végül *Laitsou–Kargas–Varoutas* [2020] a DESI indexét és annak öt fő dimenzióját használják fel a görög gazdaság digitális teljesítményének meghatározására, és a Gompertz-modell segítségével készítenek előrejelzést arra, hogy Görögország a digitális fejlettséget tekintve miként zárkozhat fel az élenjáró uniós országokhoz. Prognózisuk szerint, bár az ország keresleti és kínálati oldalon is számos kihívással küzd a digitalizációt tekintve, megfelelő kormányzati politikák segítségével már 2030-ra megvalósulhat a felzárkózás az uniós átlaghoz.

2. Rangsorolás DEA/CI-módszerrel

A DEA-módszert *Charnes–Cooper–Rhodes* [1978] írták le és alkalmazták először (DEA CCR-I). Az elmúlt több mint negyven évben az eljárásnak számos elméleti kiterjesztése és gyakorlati alkalmazása jelent meg nemzetközi folyóiratokban és a *Statisztikai Szemle* hasábjain is (*Lapid* [1997], *Cook–Seiford* [2009], *Fertő–Csonka* [2016], *Fogarasi–Zubor–Nemes* [2017], *Dima–Kotosz–Dima* [2020], *Kosztján et al.* [2020]).

A jelen tanulmányban alkalmazott vizsgálati módszerünk a DEA speciális tulajdonságú modellje. Az alap DEA-ban a döntési egységeket (decision making unit, DMU) értékelő kritériumok két különböző csoportra oszthatók aszerint, hogy a kritériumok inputnak vagy outputnak tekinthetők-e. Ez az alap DEA CCR-I /1–/3/ modell a következő alakban adott, ahol \mathbf{u} és \mathbf{v} a DEA súlyvektorai, \mathbf{y}_j , \mathbf{x}_j ($j = 1, 2, \dots, p$) vektorok a j -edik DMU input és output értékei, valamint a DMU-k száma p :

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_1 / \mathbf{v} \cdot \mathbf{x}_1 \rightarrow \max, \quad /1/$$

s.t.

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j / \mathbf{v} \cdot \mathbf{x}_j \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad /2/$$

$$\mathbf{u} \geq 0, \mathbf{v} \geq 0. \quad /3/$$

Mi történik azonban akkor, ha az input és/vagy output egy olyan konstrukció, amely például konstans értékkel rendelkezik, vagyis nem igazán tekinthető kritériumnak? Ekkor az /1/-/3/ modellt a következőképpen írhatjuk át, ha feltételezzük, hogy az input nem létezik, és $\mathbf{v} \cdot \mathbf{x}_1 = 1$.

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_1 \rightarrow \max, \quad /1'/$$

s.t.

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, p, \quad /2'/$$

$$\mathbf{u} \geq 0. \quad /3'/$$

Ez utóbbi modellt a szakirodalomban DEA/CI-módszernek nevezik (*Cherchye et al.* [2007], *Dobos–Vörösmarty* [2014], *Vörösmarty–Dobos* [2014]). Az új /1'/-/3'/ modellt minden DMU-ra, esetünkben minden országra ki kell számítanunk annak érdekében, hogy meghatározzuk az adott ország hatékonyságát. Az alapadatokat a Függelék F1. táblázata tartalmazza. Az \mathbf{u} súlyvektort keressük, az \mathbf{y}_j vektor a j -edik ország digitális dimenzióit képviseli.

Az /1'/-/3'/ lineáris programozási modellek megoldásait az F2. táblázat tartalmazza. Ez alapján Magyarország a 14. helyet foglalja el, vagyis az EU országainak második harmadában található. Ez arra utal, hogy Magyarország digitális fejlettségét közepesnek tekinthetjük. A DEA/CI-módszer után bemutatjuk a TOPSIS-módszerrel kapott eredményeket.

3. Rangsorolás a TOPSIS-módszerrel

A bevezetőben rövid áttekintést adtunk a TOPSIS-módszerről, amelyet itt nem ismételünk meg. A leírt három lépést az általunk alkalmazott módszerek szemléltetik.

Első lépésben elvégezzük az alapadatok normalizálását. Tegyük fel, hogy az i kritérium adatait az egyes országok szerint az \mathbf{x}_i vektor tartalmazza. (Az alkalmazott adatokat az F1. táblázatban tartalmazza.) Ezután az adatátalakítás a következő:

$$y_{ji} = \frac{x_{ji} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad (j = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m),$$

ahol i kritérium minimális és maximális értéke x_j^{\min} és x_j^{\max} , n az országok száma, m pedig a kritériumok/dimenziók száma. Ezzel az egyes kritériumok értékeit országonként $[0, 1]$ intervallumra alakítottuk át. Legyen az új vektorok értéke y_i .

A *második lépésben*, ismerve az egyes változók értékeit, esetünk dimenzióit, az entrópialapú módszerrel határozzuk meg a változók súlyát (Zou–Yun–Sun [2006]). Az átalakítás képlete:

$$H_i = - \frac{1}{\ln(n)} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{y_{ji}}{\sum_{j=1}^n y_{ji}} \cdot \ln \left(\frac{y_{ji}}{\sum_{j=1}^n y_{ji}} \right), \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

A súlyok így a következők lesznek:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^m H_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

A súlyozott normalizált értékeket z_{ji} jelöli, amely: $z_{ji} = w_i \cdot y_{ji}$. Ezután az ideális és a legalacsonyabb pontokat a z_{ji} értékek segítségével határozzuk meg.

Végül a *harmadik lépésben* a súlyozott adatok alapján kiszámítjuk a hatékonysági indexet az ideális (I_i) és a legalacsonyabb (N_i) pontok felhasználásával:

$$I_i = \max_{j=1, 2, \dots, n} z_{ji}, \quad N_i = \min_{j=1, 2, \dots, n} z_{ji}, \quad (i = 1, 2, \dots, m).$$

A j -edik ország távolságát az ideáltól és a mélyponttól a következőképpen határozzuk meg:

$$d_j^I = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ji} - I_i)^2}, \quad d_j^N = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ji} - N_i)^2}, \quad (j = 1, 2, \dots, n).$$

Az utolsó számítás a TOPSIS E_j hatékonyságának felderítése, amely megmutatja a két meghatározott ponttól való távolság arányát:

$$E_j = \frac{d_j^N}{d_j^I + d_j^N}, \quad (j = 1, 2, \dots, n).$$

A TOPSIS-módszer rövid leírása után az adatállományon végzett számítások eredményeit ismertetjük. A részletes számításokat elhagyjuk. Az objektív súlyokat a 2. táblázat tartalmazza, míg a TOPSIS hatékonyságát és a sorrendet az F2. táblázatban mutatjuk be.

2. táblázat

A digitális dimenziók számított TOPSIS-súlyai
(Calculated TOPSIS weights of the digital dimensions)

Internet-hozzáférés	Humántőke	Internetes szolgáltatások használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgáltatások
0,207	0,225	0,290	0,100	0,177

Nyilvánvaló, hogy a dimenziók súlyai közül a legnagyobb a humántőke és az internetes szolgáltatások használata. Ez azt jelenti, hogy az oktatás terén magas fejlettségű országok állnak a lista élén. E kettőnél kisebb, de 1/5-nél még mindig jelentősebb súllyal a harmadik számú dimenzió az internet-hozzáférés. E tekintetben Magyarország kiemelkedően teljesít (az országok között a 7. helyezést éri el), és ezzel összességében a 17. helyen áll az EU országai között, ami közepes fejlettségi szintnek felel meg.

4. Következtetések

A dolgozatban a digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő DESI-mutató öt alapidimenziója segítségével, a DEA/CI és a TOPSIS döntésméleti, rangsorolási módszerekkel kívántunk választ kapni arra a kérdésre, hogy Magyarország hol helyezkedik el a digitális fejlettséget tekintve az EU országai között.

Az általunk felhasznált módszerek előnye a hagyományos DEA-val szemben, hogy abban az esetben is adattranszformáció nélkül alkalmazhatók, ha az adataink

között csak (maximalizálendő) outputkritériumok vannak, ezáltal elkerülhetők a transzformációval járó torzítások. Az Európai Bizottság pontozási modelljéhez képest pedig előnyt jelent, hogy a súlyok meghatározása nem önkényes választáson, hanem az adatsorok statisztikai tulajdonságain alapul (*European Commission* [2020]).

Az eredményül kapott rangsoraink szerint Magyarország a többi uniós országgal összehasonlítva közepes digitális fejlettségű országnak tekinthető, a DEA/CI-módszer alapján a 14., míg a TOPSIS-módszer szerint a 17. helyezést éri el. Gyengeségnek tekinthető a digitális technológiák integráltsága, e dimenzióban az uniós országok közül Romániát és Bulgáriát előzzük meg; valamint a digitális közszolgáltatások dimenziója is, amelyet tekintve szintén az uniós országok utolsó harmadában vagyunk. A 14., illetve 17. kedvező helyezés mögött az internet-hozzáférés dimenziójában nyújtott kiemelkedő teljesítmény áll, amely egyaránt tükrözi a szolgáltatók közötti intenzív verseny és az elmúlt évek kormányzati infrastruktúra-fejlesztései (Szupergyors Internet Program) eredményeit.

Függelék

F1. táblázat

A felhasznált adatok (x_i)
(Data used in the study [x_i])

Ország	Internet-hozzáférés	Humántőke	Internetes szolgáltatások használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgáltatások
Ausztria	47,15	56,73	54,02	40,58	80,84
Belgium	52,03	50,39	61,16	65,87	71,73
Bulgária	38,50	33,92	36,65	17,86	61,76
Ciprus	38,46	35,80	54,48	34,48	68,96
Csehország	44,88	48,64	54,14	49,59	62,38
Németország	59,40	56,42	61,57	39,53	66,37
Dánia	65,82	61,28	75,15	65,15	87,13
Észtország	51,86	66,66	65,42	41,15	89,33
Görögország	33,37	34,79	46,09	28,20	51,50
Spanyolország	60,79	47,56	60,78	41,22	87,28
Finnország	59,17	78,44	76,34	67,04	86,99
Franciaország	49,84	47,43	53,06	42,05	76,71
Horvátország	41,15	49,15	55,48	41,47	55,75
<i>Magyarország</i>	<i>59,79</i>	<i>41,84</i>	<i>55,90</i>	<i>25,31</i>	<i>57,77</i>
Írország	45,69	56,40	62,09	74,32	80,63
Olaszország	49,99	32,46	44,48	31,23	67,48
Litvánia	48,88	43,83	57,32	49,47	81,45
Luxemburg	63,35	58,22	58,85	38,21	73,74
Lettország	61,76	35,02	53,98	28,31	85,06
Málta	58,72	61,76	65,90	54,90	78,13
Hollandia	60,32	64,16	75,20	65,75	80,96
Lengyelország	51,34	37,27	49,64	26,24	67,41
Portugália	53,92	37,77	48,09	40,87	75,12
Románia	56,19	33,16	35,89	24,93	48,41
Svédország	64,37	71,72	75,95	62,13	79,34
Szlovénia	50,23	48,35	51,71	40,95	70,75
Szlovákia	47,46	41,81	53,36	32,57	55,61
Egyesült Királyság	48,82	63,00	73,31	54,19	70,77

Forrás: European Commission [2020].

F2. táblázat

DEA/CI- és TOPSIS-hatékonyságok és -rangsorok országok szerint
(DEA/CI and TOPSIS efficiencies and rankings by country)

Ország	DEA/CI-hatékonyság	DEA/CI-rangsor	TOPSIS-hatékonyság	TOPSIS-rangsor
Ausztria	0,908	15	0,509	13
Belgium	0,942	11	0,560	12
Bulgária	0,696	27	0,135	28
Ciprus	0,780	21	0,334	24
Csehország	0,739	24	0,400	19
Németország	0,904	16	0,595	10
Dánia	1,000	1	0,830	3
Észtország	1,000	1	0,706	6
Görögország	0,604	28	0,159	27
Spanyolország	0,993	6	0,611	9
Finnország	1,000	1	0,907	1
Franciaország	0,865	17	0,459	16
Horvátország	0,727	25	0,369	21
<i>Magyarország</i>	<i>0,908</i>	<i>14</i>	<i>0,447</i>	<i>17</i>
Írország	1,000	1	0,593	11
Olaszország	0,773	23	0,295	25
Litvánia	0,923	12	0,496	14
Luxemburg	0,962	9	0,622	8
Lettország	0,972	8	0,495	15
Málta	0,916	13	0,716	5
Hollandia	0,989	7	0,820	4
Lengyelország	0,780	22	0,353	22
Portugália	0,858	18	0,397	20
Románia	0,854	19	0,258	26
Svédország	1,000	1	0,878	2
Szlovénia	0,807	20	0,430	18
Szlovákia	0,721	26	0,345	23
Egyesült Királyság	0,960	10	0,682	7

Irodalom

- BÁNHIDI, Z. – DOBOS, I. – NEMESLAKI, A. [2019]: Comparative analysis of the development of the digital economy in Russia and EU measured with DEA and using dimensions of DESI. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Vol. 35. No. 4. pp. 588–604. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2019.405>
- BÁNHIDI Z. – DOBOS I. [2020]: Az Európai Unió digitális gazdaság és társadalom indexének statisztikai elemzése. *Statisztikai Szemle*. 98. évf. 2. sz. 149–168. old. <https://doi.org/10.20311/stat2020.2.hu0149>
- BÁNHIDI, Z. – DOBOS, I. – NEMESLAKI, A. [2020]: What the overall Digital Economy and Society Index reveals: A statistical analysis of the DESI EU28 dimensions. *Regional Statistics*. Vol. 10. No. 2. pp. 42–62. <https://doi.org/10.15196/RS100209>
- CHARNES, A. – COOPER, W. W. – RHODES, E. [1978]: Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. Vol. 2. No. 6. pp. 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- CHERCHYE, L. – MOESEN, W. – ROGGE, N. – VAN PUYENBROECK, T. [2007]: An introduction to ‘benefit of the doubt’ composite indicators. *Social Indicators Research*. Vol. 82. No. 1. pp. 111–145.
- COOK, W. D. – SEIFORD, L. M. [2009]: Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on. *European Journal of Operational Research*. Vol. 192. No. 1. pp. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.032>
- DIMA, B. – KOTOSZ, B. – DIMA, Ș. M. [2020]: Early childhood and primary education efficiency in Europe: A data envelopment analysis approach. *Hungarian Statistical Review*. Vol. 3. No. 1. pp. 18–45. <https://doi.org/10.35618/hsr2020.01.en018>
- DOBOS, I. – VÖRÖSMARTY, G. [2014]: Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *International Journal of Production Economics*. Vol. 157. pp. 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.026>
- EUROPEAN COMMISSION [2020]: *The Digital Economy and Society Index (DESI)*. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-economy-and-society-index-desi>
- FERTŐ I. – CSONKA A. [2016]: A sertésállomány térbeli változása Magyarországon. *Statisztikai Szemle*. 94. évf. 7. sz. 757–772. <https://doi.org/10.20311/stat2016.07.hu0757>
- FOGARASI J. – ZUBOR-NEMES A. [2017]: A tőkeszerkezet hatása az agrárgazdasági teljesítményre. *Statisztikai Szemle*. 95. évf. 4. sz. 406–422. old. <https://doi.org/10.20311/stat2017.04.hu0406>
- KOTARBA, M. [2017]: Measuring digitalization – key metrics. *Foundations of Management*. Vol. 9. No. 1. pp. 123–138. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0010>
- KOSZTYÁN Z. T. – BANÁSZ Z. – CSÁNYI V. V. – GADÁR L. – TELCS A. [2020]: Egyetemi rangsorok tudománymetriai és statisztikai megalapozással. *Statisztikai Szemle*. 98. évf. 8. sz. 930–957. old. <https://doi.org/10.20311/stat2020.8.hu0930>
- LAITSOU, E. – KARGAS, A. – VAROUTAS, D. [2020]: Digital competitiveness in the European Union era: The Greek case. *Economies*. Vol. 8. No. 4. pp. 85. <https://doi.org/10.3390/economies8040085>
- LAPID K. [1997]: A gazdasági hatékonyság számítása DEA lineáris programmal. *Statisztikai Szemle*. 75. évf. 6. sz. 5–15. old. http://www.ksh.hu/statszemle_archive/1997/1997_06/1997_06_515.pdf

- MOROZ, M. [2017]: The level of development of the digital economy in Poland and selected European countries: A comparative analysis. *Foundations of Management*. Vol. 9. No. 1. pp. 175–190. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0014>
- PETRENKO, S. A. – MAKOVEICHUK, K. A. – CHETYRBOK, P. V. – PETRENKO, A. S. [2017]: About readiness for digital economy. In: *Shaposhnikov, S. (ed.): Proceedings of 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS): October 25–27, 2017, St. Petersburg, Russia*. pp. 96–99. IEEE. St. Petersburg. <https://doi.org/10.1109/CTS.2017.8109498>
- TOKMERGENOVA, M. – BÁNHIDI, Z. – DOBOS, I. [2020a]: Analysis of I-DESI Dimensions of the Digital Economy Development of Russian Federation and EU28 Using Multivariate Statistics. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Megjelenés alatt.
- TOKMERGENOVA, M. – BÁNHIDI, Z. – DOBOS, I. [2020b]: Multicollinearity analysis of DESI dimensions for the Kyrgyz Republic and EU-28 with variance inflation factors (VIF). *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. Megjelenés alatt.
- VÖRÖSMARTY G. – DOBOS I. [2014]: Fenntarthatósági szempontok beépítése a beszállító értékelésébe a DEA/CI összetett indikátorok módszere alkalmazásával. *Vezetéstudomány*. 45. évf. 3. sz. 62–70. old. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1499/1/vt_2014n3p62.pdf
- YOON, K. – HWANG, C. L. [1981]: *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A state-of-the-art survey*. Springer Verlag. Berlin.
- ZOU, Z. – YUN, Y. – SUN, J. [2006]: Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental sciences*. Vol. 18. No. 5. pp. 1020–1023. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60032-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6)