

A DEA MÓDSZERTAN ALKALMAZÁSA RANGSOROLÁSRA AZ EU-28 ÉS OROSZORSZÁG DIGITÁLIS FEJLETTSÉGÉNEK PÉLDÁJÁN¹

BÁNHIDI ZOLTÁN – DOBOS IMRE

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Cikkünk fő kutatási kérdései a digitalizáció szintjének mérésével, az Európai Bizottság által közzétett International Digital Economy and Society Index (I-DESI 2018; Nemzetközi Digitális Gazdaság és Társadalmi Index) rangsorának stabilitásával kapcsolatosak, melyeket Magyarország és Oroszország példáján keresztül vizsgálunk. Ehhez a Data Envelopment Analysis (DEA) módszerét és a többdimenziós skálázás (Multidimensional Scaling, MDS) egydimenziós változatát használjuk, amelyek egyaránt alkalmasak a döntéshozó egységek (jelen esetben országok) rangsorolására. Az alap DEA módszeren kívül a DEA/CWA (közös súlyok módszere) alkalmazhatóságát is megvizsgáljuk. Eredményeink azt mutatják, hogy a tanulmányunkban alkalmazott rangsorolási módszerek hasonló megoldást kínálnak, de néhány ország (köztük Magyarország és Oroszország) rangsorbeli helyezése a választott módszertan függvényében jelentősebb eltéréseket mutat.

Kulcsszavak: I-DESI index, rangsorolás, DEA, többdimenziós skálázás, digitalizáció

Bevezetés

Az Európai Bizottság által közzétett International Digital Economy and Society Index (I-DESI; Nemzetközi Digitális Gazdaság és Társadalom Index) jelentés legfőbb célkitűzése, hogy átfogó értékelést nyújtson az Európai Unió helyzetéről a „digitális társadalom és a gazdaság felé vezető úton” a nem uniós gazdaságokhoz viszonyítva. E jelentés elsőként 2016-ban jelent meg, célja pedig az Európai Bizottság eredeti (csak az EU-ra számított) digitális gazdaság és társadalom indexe (DESI) eredményeinek tükrözése és kibővítése volt olyan helyettesítő mutatók felhasználása révén, amelyek rendelkezésre állnak az EU-n kívüli országok esetében is. A DESI és az I-DESI indexei olyan aggregált mérőszámok, amelyek több különálló mutatót előre definiált súlyokkal kombinálnak, és hasonló (de nem azonos) pontozási rendszereket (scoring modell) használnak arra, hogy az egyes országokat a digitális teljesítményük alapján rangsoroljanak a digitális gazdaság és a társadalom fejlődésének nyomon követése céljából. E mutatórendszerek a digitalizáció terén elért teljesítményt öt fő dimenzióban, szakpolitikai területen mérik:

¹Beérkezett 2020. augusztus 18. E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu; dobos.imre@gtk.bme.hu.

internet-hozzáférés, humántőke (digitális készségek), az internet polgárok általi használata, a digitális technológia integráltsága és digitális közszolgáltatások.

E cikk egyik célja Oroszország digitális fejlődésének összehasonlítása az Európai Unió (EU) 28 országáéval, kiemelten Magyarországgal, az I-DESI 2018. évi kiadásának adatai alapján. Emellett vizsgálni kívántuk az EU adatszolgáltatásának megbízhatóságát és rangsorának stabilitását is, ehhez a Data Envelopment Analysis (DEA) módszert és a többdimenziós skálázás (Multidimensional Scaling, MDS) egydimenziós változatát felhasználva, amelyek egyaránt alkalmasak rangsorolásra. Az eredmények értékelésekor pedig kitértünk arra a kérdésre is, hogy Oroszország és Magyarország a digitális transzformáció terén hogyan teljesít az EU többi országához képest.

A bemutatandó rangsorokat három csoportba lehet osztani. Az első csoportba a klasszikus DEA módszer tartozik az alapadatokkal és azonos skálára transzformált adatokkal. Ekkor a hatékonysági mutatókhoz a kritériumok súlya különböző, mivel a DEA hatékonyságokhoz az országokra más-más súlyt határozzunk meg. A DEA közös súlyok módszere (DEA common weights) abban különbözik a klasszikus DEA-tól, hogy mindegyik országot azonos súllyal értékelünk. Végül a harmadik módszer, az MDS, egy statisztikai eljárás. A kérdés az, hogy az Európai Bizottság által megadott súlyokkal meghatározott sorrend lényegesen eltér-e a másik öt módszerrel adottól. Itt a vizsgálat súlypontja a sorrenden van, és nem a módszerekkel kiszámított hatékonysági indexeken, vagyis a hatékonyságok sorrendjét tekintjük. A kérdés tehát úgy is megfogalmazható, hogy az egyes módszerek lényegesen eltérő sorrendeket adnak-e a rangsoroláskor.

Cikkünk a következőképpen épül fel: a második fejezetben röviden bemutatjuk az I-DESI adatok mérési módszertanát, e mutatórendszer előnyeit és hátrányait. A harmadik fejezetben megadjuk a kiválasztott 29 ország rangsorolását az I-DESI öt fő dimenziójának értékei szerint, hat modell alapján. Az uniós országokat és Oroszországot először az I-DESI saját értékelési rendszere alapján rangsoroljuk, tehát az I-DESI aggregált indexét számítjuk ki. A következő két modell szorosan összekapcsolódik, mivel mindkettőben a klasszikus DEA modellt használjuk, de az adatok transzformálásához eltérő módszereket választunk. Az adatok transzformálása azért szükséges, mert az eredeti adatbázisban az input kritériumok esetében a rangsort a legjobb érték alapján állíthatjuk fel, de a DEA modellben (a hatékonyság szempontjából) az a cél, hogy minél alacsonyabb költséggel (input-felhasználással) érjük el a kívánt eredményt (Fülöp és Temesi, 2001; Dobos és Vörösmarty, 2020). Az inputok átalakítását kétféle módon végezhetjük el: az inputadatokat helyettesíthetjük a reciprokok értékével, vagy egy új skálán helyezzük el a kiindulási adatainkat egy lineáris transzformációval. Cikkünkben mindkét megközelítést bemutatjuk, és eredményeiket összehasonlítjuk. Az alap DEA modell hátránya, hogy éppen annyi döntési egységre kell megoldanunk egy lineáris programozási feladatot, mint amennyi adatkészletünkben van (esetünkben 29 országra). E hátrány kiküszöbölése érdekében a következő két modellünkben, miközben fenntartjuk az inputokra vonatkozó feltételezést, a DEA Common

Weights Analysis (CWA) módszerét használjuk, a döntési egységekre közös súlyokat megállapítva, a két már alkalmazott skálán. Utolsó rangsorolásunk a többdimenziós skálázás (MDS) módszeréhez kapcsolódik, amely a többváltozós statisztikából ismert. Ha a pontjainkat az I-DESI dimenziók ötdimenziós teréből az egydimenziósra, azaz a számegyenesre vetítjük ki, akkor egy olyan sorrendet kapunk, amelyet rangsorként is használhatunk. Végül az utolsó fejezetekben összehasonlítjuk a rangsorolás hat vizsgált típusát és levonjuk cikkünk konklúzióit.

1 Rövid szakirodalmi áttekintés

A digitális gazdaság és a társadalom fejlődésének és hatásainak mérésével foglalkozó irodalom nagyon sokrétű, és ehelyütt csak egy rövid áttekintést próbálunk adni néhány, a közelmúltban megjelent, az adott kontextusban relevánsnak mondható munkáról.

Egy cseh-lett kutatócsoport (Mirke et al., 2019) által jegyzett tanulmány az IKT-val kapcsolatos humántőke-kérdéseket, illetve a Csehországban és Lettországon alkalmazott kapcsolódó kormányzati szakpolitikákat elemezte, és megállapította, hogy e két ország között nincs statisztikailag szignifikáns különbség a felnőtté digitális kompetenciáinak szintjében. Götz (2017) tanulmánya a negyedik ipari forradalom gazdasági kapcsolatokra, együttműködésre való hatását elemzi. A szerző munkájában arra a következtetésre jut, hogy a digitális gazdaság pozitív hatással lehet a német-lengyel kapcsolatokra. Silvaggi és Pesce (2018) cikkükben azt vizsgálják, hogy a digitális gazdaság előtt milyen kibontakozási lehetőségek állnak Portugáliában, Olaszországban és Görögországban. Kutatásuk a digitalizációnak a múzeumokra gyakorolt hatására összpontosít, ideértve a szükséges munkahelyi készségek, kompetenciák kérdéseit.

Dobrolyubova et al. (2017) tanulmányának célja az oroszországi digitális gazdaság fejlettségének összehasonlítása az EU-országokéval, és a digitális átalakulás fontos feltételeinek meghatározása. A szerzők arra a következtetésre jutnak, hogy Oroszország lemaradása az internet-hozzáférés, a digitális készségek és a digitális technológia üzleti felhasználása szempontjából jelentős, és a jövőben valószínűleg tovább fog növekedni. Petrenko et al. (2017) a nemzetközi hálózati készenléti index (NRI) részindexeit elemezték annak érdekében, hogy megértsék az oroszországi digitális gazdaságba való átmenet problémáit és meghatározzák azok megoldásának módját. Afonsova et al. (2018) tanulmánya azokat a mutatókat elemezte, amelyek a digitális ágazat fejlődésének szintjét jellemzik a digitalizációs folyamatot ösztönző intézkedések kidolgozása céljából. Grytsulenko és Umanets (2018) a digitális transzformáció folyamatát nemzetközi összefüggésben értékelte az Európai Unió, a Független Államok Közössége és Ukrajna adatain. Elemzésüket elsősorban a rendelkezésre álló statisztikai adatok feldolgozásával végezték el. Végül Belanova et al. (2020) célja a digitális gazdaság fejlődése fő irányainak és mutatóinak azonosítása volt. A szerzők összehasonlító elemzést végeznek

az információs és kommunikációs technológiákkal (IKT) és a digitalizációval kapcsolatos nemzetközi mutatókkal, ideértve az I-DESI-t is.

Az összetett indikátorok (composite indicators) elmélete igen kiterjedt. A kiindulási pont az lehet, hogy ismertek adataink, kritériumaink, amelyek nagy számossága miatt a számukat csökkenteni akarjuk valamilyen aggregációs módszerrel. Az ilyen aggregáció lehet a súlyokkal történő értékelés. Az összetett indikátorokat a témakör DEA vonatkozásával együtt egy OECD tanulmány ismerteti (OECD és Joint Research Centre of the European Commission, 2008). A szerzők egyike a módszert már alkalmazta a beszállító-kiválasztás problémájára (Dobos és Vörösmarty, 2014; Vörösmarty és Dobos, 2014). A mostani alkalmazásunk is az összetett indikátorok elméletén alapszik, ugyanis a digitális dimenziókat szubindikátorok (aldimenziók és egyéni indikátorok) segítségével állította elő az Európai Bizottság által megbízott Tech4i2 elemző cég. Vizsgálatainkat a dimenziók és nem a szubindikátorok szintjén végezzük el.

2 A digitális gazdaság mérése

Számos olyan mutató- és pontrendszer, illetve index létezik, amelyek a digitális gazdaság, a társadalom, a közigazgatás állapotát és a digitális átalakulás mértékét kívánják jellemezni.

Először is vannak olyan mutatórendszerek, amelyek a digitalizáció globális helyzetét és hatásait kívánják számszerűsíteni. Ilyenek például az ENSZ, az OECD, a Világbank vagy az ITU digitalizációs jelentései, amelyek hasonló célokat szolgálnak, mint néhány nagyobb tanácsadó cég, például a Forrester, IDC, Gartner vagy McKinsey felmérései.

Az indexek második kategóriája egy adott régióra vagy jól meghatározott országcsoportra összpontosít. Ilyen jellegű felmérések az EU eredménytáblái: a digitális gazdaság és társadalom indexe (DESI), a digitális készségek mutatója (DSI) vagy a fogyasztói feltételek eredménytáblája (CCS).

Végül, az IKT hatásainak leírására használnak országspecifikus adatbázisokat is, amelyeket általában a nemzeti statisztikai hivatalok vagy a hazai kutatócégek állítanak össze (ilyenek Magyarországon pl. a KSH felmérései).

DESI dimenziók	Releváns szakpolitikai területek és indikátorok
Internet-hozzáférés	Vezetékes és mobil szélessávú hálózatok és árak
Humántőke	Alap- és magasabb szintű digitális készségek, jártasság
Internetes szolgáltatások használata	Az állampolgárok online tartalomfogyasztása, kommunikációja és tranzakciói
A digitális technológia integráltsága	Üzleti digitalizáció és e-kereskedelem
Digitális közszolgáltatások	E-kormányzati és e-egészségügyi szolgáltatások

1. táblázat. A DESI dimenziói. *Forrás:* The Digital Economy and Society Index (DESI), Európai Bizottság. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> (Letöltve: 2019.06.04.).

Noha a DESI szinte születésétől fogva viták keresztüzében áll, és mérési módszertana és adatbázisa számos problémával terhelt, mégis talán ez a legis-

mertebb és legátfogóbb, az európai digitális transzformáció leírására használható mutatórendszer. A DESI jelentései a tagállamok által a digitalizálás terén elért haladást mutatják be, öt fő dimenzió, szakpolitikai terület alapján, amelyek az 1. táblázatban láthatóak.

A DESI egy, a szakértők és a politikai döntéshozók által széles körben alkalmazott és idézett mérési rendszer (Csótó, 2019; Bánhidi és Dobos, 2020). Fő előnye, hogy indikátorait minden uniós országban azonos módszertannal mérik, ami elősegíti az adatok összehasonlíthatóságát; az Európai Unió intézményei ismerik és elfogadják, valamint képes átfogó képet nyújtani az Európai Unió és a tagállamok digitális ökoszisztémájáról. Egy külön adatkészlet (International Digital Economy and Society Index, I-DESI) célja a DESI eredményeinek tükrözése és kiterjesztése az uniós tagállamok mellett 17 EU-n kívüli országra a szélesebb körű nemzetközi összehasonlítás (benchmarking) céljából.

A felsorolt előnyök mellett azonban a DESI mutatórendszer több fontos hátránya is kiemelhető: mivel az adatfelvételt, felméréseket 28 különböző országban végzik, ezért a módszertannak kellően általánosnak és mindenhol alkalmazhatónak kell lennie. Viszont ebből következően az eredmények is meglehetősen általánosak lesznek, és nem alkalmasak bizonyos jelenségek mélyebb elemzésére és magyarázatára. További hátrány, hogy a DESI indikátorok igen gyakran változnak, ráadásul e változások nincsenek kellő részletességgel dokumentálva. Az indikátorok gyakori változásai pedig jelentősen megnehezíthetik a teljesítmények időbeli összehasonlítását, az idősoros elemzéseket is. Végül, az elvileg egységes módszertan dacára a tapasztalatok szerint jelentős különbségek vannak a statisztikai hivatalok adatgyűjtési módszerei, a felmérések időzítése között, és ezek a problémák a kiterjesztett I-DESI adatbázis esetében – a harmonizáció hiánya miatt – hatványozottan jelentkeznek.

3 Az EU-28-ak és Oroszország rangsorolása

Adatkészletünket az I-DESI weboldalról gyűjtöttük össze. Az eredeti adatkészlet 45 ország adatait tartalmazza: az EU-28 és 17 nem uniós ország, köztük Oroszország adatait. Ebből az adatkészletből a 28 EU-tagállam és Oroszország adatait szűrtük le, és ezt használtuk fel elemzéseinkhez, az öt fő dimenzió adatait felhasználva rangsorok képzéséhez. A cikkünkben a következő kérdésekre keresünk választ:

- a. Hogyan képezhető rangsor a 29 országra a Bizottság által meghatározott pontrendszer (scoring modell) segítségével?
- b. Lényegesen különböznek-e ettől az alap DEA modell segítségével képezhető rangsorok?
- c. A DEA/CWA (közös súlyok módszere) alkalmas-e robusztus rangsorok felállítására?
- d. A többdimenziós skálázás (MDS) eredményei szignifikáns eltéréseket mutatnak-e a többi rangsorhoz képest?

Ország	Kód	Internet hozzáférés	Humán-tőke	Internetes szolgáltatások használata	A digitális technológia integráltsága	Digitális közszolgáltatások
Ausztria	AT	0,63	0,59	0,60	0,59	0,72
Belgium	BE	0,68	0,60	0,62	0,61	0,61
Bulgária	BG	0,61	0,47	0,42	0,36	0,45
Horvátország	HR	0,54	0,45	0,49	0,46	0,56
Ciprus	CY	0,54	0,45	0,54	0,39	0,49
Csehország	CZ	0,67	0,58	0,58	0,39	0,43
Dánia	DK	0,77	0,80	0,79	0,71	0,71
Észtország	EE	0,62	0,66	0,70	0,53	0,85
Finnország	FI	0,72	0,73	0,78	0,67	0,83
Franciaország	FR	0,59	0,62	0,59	0,53	0,82
Németország	DE	0,64	0,62	0,66	0,59	0,69
Görögország	EL	0,50	0,48	0,46	0,45	0,48
Magyarország	HU	0,60	0,62	0,55	0,51	0,46
Írország	IE	0,63	0,77	0,56	0,51	0,66
Olaszország	IT	0,51	0,50	0,42	0,47	0,68
Lettország	LV	0,65	0,47	0,58	0,32	0,56
Litvánia	LT	0,61	0,53	0,58	0,46	0,63
Luxemburg	LU	0,65	0,67	0,79	0,77	0,64
Málta	MT	0,64	0,48	0,57	0,57	0,66
Hollandia	NL	0,75	0,69	0,76	0,75	0,76
Lengyelország	PL	0,53	0,53	0,51	0,33	0,57
Portugália	PT	0,60	0,43	0,47	0,39	0,55
Románia	RO	0,61	0,43	0,48	0,27	0,39
Oroszország	RU	0,39	0,64	0,49	0,30	0,57
Szlovákia	SK	0,57	0,65	0,59	0,40	0,38
Szlovénia	SI	0,60	0,44	0,53	0,43	0,67
Spanyolország	ES	0,64	0,62	0,58	0,55	0,82
Svédország	SE	0,75	0,69	0,78	0,65	0,73
Egy. Királyság	UK	0,74	0,65	0,72	0,68	0,90

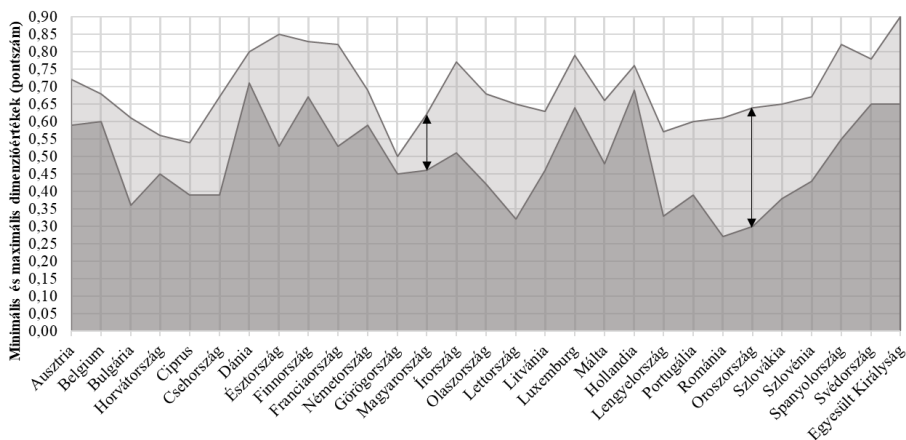
2. táblázat. Alapadataink (\underline{x}_i). Forrás: International Digital Economy and Society Index 2018. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/international-digital-economy-and-society-index-2018> (Letöltve: 2019.06.05.).

Mivel a dimenziók \underline{x}_i -pontszámai a 0-1 skálára normalizált egyedi mutatók súlyozott összegéből számíthatók, a 2. táblázatban szereplő számoknak nincs önálló jelentése vagy mértékegysége (azon túl, hogy a magasabb pontszám a kedvezőbb), ám e pontértékeknek lehetővé kell tenniük, hogy összehasonlítsuk az adatbázisunkban szereplő 29 ország relatív teljesítményét mindegyik dimenzióban, illetve értékeljük általános digitális versenyképességüket.

Oroszország a humántőke dimenziójában a 10. helyen áll, a digitális közszolgáltatások között a 18-19. (Lengyelországgal holtversenyben), az internethasználat terén a 23., a digitális technológia integrációja dimenziójában a 28., az internet-hozzáférés mutatójában pedig jelentős lemaradással az utolsó, 29. helyezett.

Magyarország teljesítménye valamivel kiegyensúlyozottabb: hazánk szintén a humántőke dimenziójában éri el a legmagasabb, holtversenyben 11-14. helyezést, a digitális technológiák integráltságát tekintve a 14-15. (Írországgal holtversenyben), az internetes szolgáltatások használatában a 19., az internet-hozzáférés terén a 19-21., a digitális közszolgáltatásokat tekintve pedig csak a 25. Az 1. ábrán bemutatjuk a dimenziókra kapott pontértékek (1 – legjobb; 0 – legrosszabb) szóródását is, Oroszország esetében ez igen jelen-

tősnek mondható, leginkább a humántőke dimenziójában nyújtott viszonylag jó, illetve az internet-hozzáférés terén mutatott kiemelkedően gyenge teljesítménynek köszönhetően.



1. ábra. Az egyes országok legjobb és leggyengébb dimenzióértékei. Megjegyzés: A 2. táblázat adatai alapján.

Az Európai Bizottság e dimenziók pontértékeinek súlyozott összegét használja az I-DESI általános indexének kiszámításához és az országok hivatalos rangsorának felállításához, de a DEA és a többdimenziós skálázás (MDS) alternatív megoldásokat kínálnak a rangsorképzés problémájára, lehetővé téve számunkra azt, hogy teszteljük az I-DESI rangsor robusztusságát. Ebben a fejezetben hat modellt mutatunk be. Először meghatározzuk a klasszikus I-DESI aggregált indexet a Bizottság által javasolt súlyokkal. Ez a vizsgálat a döntéseméletben scoring modellként ismert.

Ezután a DEA módszertant használjuk fel az alternatív rangsorok képzéséhez. A DEA modellben a kritériumok (dimenziók) két csoportra oszthatók: független (input) és függő (output) kritériumokra. Az input kritériumok jelen esetben az internet-hozzáférés és a humántőke, míg az output kritériumok az internetes szolgáltatások használata, a digitális technológia integráltsága és a digitális közszolgáltatások dimenziói. A DEA módszertan használata során azonban inputadatainkat át kell alakítani, mivel e kritériumok esetén az adatbázisban szereplő legjobb, maximális értékeket a minimumra kell konvertálnunk. Ez kétféle módon érhető el: a kritériumértékeket helyettesíthetjük azok reciprokával, vagy alkalmazhatunk egy lineáris transzformációt is azok azonos skálaterjedelmű, normalizált intervallumra való leképzéséhez.

Ehhez hasonlóan elvégezzük az DEA közös súlyok módszere szerinti elemzést (DEA/CWA) is az előzőekben megadott két különböző transzformációval kombinálva. Ennek a módszernek az a fő előnye, hogy használata során nem 29 lineáris programozási feladatot kell megoldanunk, hanem csak egyet, és minden ország adatait azonos súlyokkal vesszük figyelembe.

A DEA input és output kritériumainak beosztásához a Bánhidi és Dobos (2020), valamint a Bánhidi et al. (2020) dolgozatokat használtuk. A két dol-

gozatban használt parciális korrelációelemzés alapján két digitális dimenzió mutatkozott megfelelőnek az input kritériumokhoz: az internethozzáférés és a humántőke. A másik három dimenziót tekinthetjük output kritériumnak. Ez az eredmény intuitív módon is belátható. Ha adottak a digitális technológiához való hozzáférés infrastrukturális adottságai, és az oktatási színvonal is lehetővé teszi a technológia sikeres alkalmazását, akkor a lakosságot megcélzó internetes szolgáltatások, a vállalati és kormányzati alkalmazások is jobban felhasználásra kerülhetnek.

Végül a többdimenziós skálázás (MDS) egydimenziós változatának segítségével szintén képezhetünk egy alternatív rangsort, amely összehasonlítható az eredeti scoring modell eredményeivel, illetve a DEA módszertannal képzett rangsorokkal is.

3.1 A DESI aggregált index kiszámítása a 29 elemzett országra

A döntésemélet (Parmigiani és Inoue, 2009) scoring modelljeiben a homogén döntési egységeknek (Decision Making Unit, DMU) tulajdonított kritériumértékekből az adott kritériumok egy előre meghatározott súlyvektorával kombinálva számíthatjuk ki az aggregált index értékeit. Ha a \underline{w} súlyvektor esetén az adott kritériumok mentén az i -edik DMU-értékek az \underline{x}_i vektorok, akkor a $\underline{w} \cdot \underline{x}_i$ értéket rendeljük az i -edik DMU-hoz:

$$F_i = \underline{w} \cdot \underline{x}_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot x_{ji}, \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

ahol a dimenziók száma m és a döntéshozó egységek száma n . Az eredményül kapott F_i értékek az aggregált index értékei lesznek. Ehhez a 3. táblázatban megadott súlyokat kell használni.

Internet hozzáférés	Humántőke	Internetes szolgáltatások használata	A digitális technológia integráltsága	Digitális közszolgáltatások
0,25	0,25	0,15	0,2	0,15

3. táblázat. Az egyes dimenziók súlya az I-DESI aggregált indexben (\underline{w} vektor).
Forrás: International Digital Economy and Society Index 2018.

A számított index-értékeket a 4. táblázat tartalmazza. Az index alapján képzett rangsor elején Dánia, Hollandia és Finnország áll, Magyarország a 15., Oroszország pedig a 26. helyen, a rangsort záró Görögország, Bulgária és Románia előtt.

3.2 Alap DEA model az inputok reciprok értékeivel

A scoring modellel szemben a DEA modellek alkalmazásakor nem szükséges előre definiált súlyrendszer. A Charnes et al. (1978; 2013) által kidolgozott DEA egy matematikai programozási módszer a homogén döntéshozó

egységek (DMU) relatív hatékonyságának mérésére, amely ugyanakkor rangsorolási eljárásaként is alkalmazható. A rangsor felállításához egy hiperbolikus programozási feladatot kell megoldanunk, amely azonban átírható egy lineáris programozási feladattá. Az ilyen típusú modellek általános megoldási módszerét először Martos (1964) vizsgálta, aki ezt a problémát a lineáris programozási modellek különleges esetének tekintette. A DEA modell célja, hogy minden egyes döntéshozó egységhez megtaláljuk azt a súlyvektort, amely a maximális hatékonyságot eredményezi, ahol a hatékonyságot egy olyan hányados típusú mutatóval mérjük, amelynek számlálójában az output kritériumok súlyozott értéke, míg a nevezőjében az inputok súlyozott értéke szerepel. Írjuk fel a DEA modellt a következő formában, ahol az 1. döntéshozó egység hatékonyságát vizsgáljuk, és az u illetve a v vektorok az output és input kritériumok súlyvektorai:

$$u \cdot y_1 / v \cdot x_1 \rightarrow \max \quad (1)$$

ahol:

$$u \cdot y_j / v \cdot x_j \leq 1, \quad (j = 1, 2, \dots, 29), \quad (2)$$

$$u \geq 0, \quad v \geq 0. \quad (3)$$

(1) – (3) a DEA alapegyenletek, amelyek átírhatók egy lineáris programozási (LP) feladattá a következő formában:

$$u \cdot y_1 \rightarrow \max \quad (4)$$

az alábbi korlátozó feltételek mellett:

$$v \cdot x_1 = 1, \quad (5)$$

$$u \cdot y_j - v \cdot x_j \leq 0, \quad (j = 1, 2, \dots, 29), \quad (6)$$

$$u \geq 0, \quad v \geq 0. \quad (7)$$

A (4) – (7) egyenletek széles körben elterjedt kereskedelmi szoftverekkel, például a Microsoft Excel Solver segítségével is megoldhatók. A tanulmány elkészítése során ezt a szoftvert alkalmaztuk a számításokhoz.

Az értékelés input kritériumai az internet-hozzáférés és a humántőke, míg az output kritériumok az internetes szolgáltatások használata, a digitális technológia integráltsága és a digitális közszolgáltatások dimenziói. Az országok hatékonyságának meghatározásához 29 lineáris programozási (LP) feladatot kell megoldani, de ehhez először is transzformálnunk kell az input kritériumok értékeit.

Legelső modellünkben az input kritériumok értékeit azok reciprokával helyettesítjük:

$$x'_{ji} = 1/x_{ji}.$$

E transzformált értékek a függelékben találhatóak (F1. táblázat). A 29 LP probléma eredményeinek kiszámítása után kapjuk meg a DEA hatékonysági

mutatókat, amelyek alapján felállíthatjuk az országok rangsorát is, ezeket a 4. táblázat tartalmazza.

A legjobb országok továbbra is Dánia, Finnország és Hollandia lesznek, a legrosszabb országok pedig Horvátország, Bulgária és Görögország. Ebben az esetben Románia és Oroszország pozíciója jóval kedvezőbb, mint a scoring modellben, utóbbi a 20. helyezést éri el, megelőzve a 22. Magyarországot is.

3.3 Az alap DEA modell lineárisan transzformált input értékekkel

A DEA módszertan felhasználása előtt az adatainkat egy azonos skálaterjedelmű, normalizált intervallumra is leképezhetjük. Választásunk a mínusz húsz és mínusz egy közötti skála az input kritériumoknál, és az egy és húsz közötti skálára esett az output kritériumoknál. Ez azt jelenti, hogy a két választott input kritérium esetén a legjobbnak, azaz minimalizálandó értéknek a mínusz egyes értéket adtuk, míg a legrosszabbhoz a mínusz húszas hasznosságot rendeltük. A két szélsőérték behelyettesítésével meggyőződhetünk az adattranszformáció helyességéről. Második modellünkben az input kritériumainkat az alábbi hasznossági transzformáltakat eredményező egyenletek alapján alakítottuk át:

$$U_{ij} = \frac{19}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \cdot x_{ij} - 19 \cdot \frac{x_j^{\max}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} - 1,$$

ahol az x_j^{\max} a j -edik kritérium legkedvezőbb, az x_j^{\min} a legkedvezőtlenebb értéke. Az output kritériumok esetében a legjobbnak, azaz maximális értékhez a plusz húszas értéket adtuk, és a legrosszabbhoz a plusz egyes hasznosságot rendeltük hozzá. Az output adatokon pedig a következő átalakítást hajtjuk végre:

$$U_{ij} = \frac{19}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \cdot x_{ij} - 19 \cdot \frac{x_j^{\max}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} + 20,$$

ahol az x_j^{\max} a j -edik kritérium legkedvezőbb, az x_j^{\min} a legkedvezőtlenebb értéke. Färe és Grosskopf (2013) megállapítják, hogy az ezen egyenletekkel kapott értékek az input és output értékek lineáris transzformáltjai. (A transzformált értékek a függelékben találhatóak, ld. F2. táblázat)

A 29 lineáris programozási feladat megoldása után eredményül kapott DEA értékek a 4. számú táblázatban találhatóak. A rangsorban Dánia és Hollandia megtartja a helyet az első háromban, ám ebben az esetben Finnország helyett az Egyesült Királyság csatlakozik hozzájuk. A rangsort Görögország, Bulgária és Románia zárja, Oroszország pedig a 19. helyen áll, a 21. Magyarország mellett több más kelet-közép- illetve dél-európai uniós országot is felülmúlva.

3.4 DEA/CWA modell az input kritériumok reciprok értékeivel

A DEA alapmodelljét illetően felmerül a kérdés, hogy miért kell az egyes döntéshozó egységeket (DMU) különböző súlyokkal értékelni. Ez ugyanis azt jelenti, hogy éppen annyi lineáris programozási feladatot kell megoldani, mint a DMU-k száma. Ezzel szemben a DEA/CWA modell azon a feltevésen alapul, hogy elegendő egyetlen LP feladat megoldása, amellyel minden DMU-t azonos súlyokkal értékelünk (Liu et al., 2008). E modellben az LP feladat célja a kimenetek és a bemenetek közötti különbségek összegének minimalizálása az összes DMU esetében.

Ez esetben a (4) – (7) lineáris programozási feladat megoldása során az egyenlőtlenségek (6) összegét maximalizáljuk. A (4) – (7) egyenleteket ekkor a következő (4') – (7') formában lehet felírni:

$$u \cdot Y \cdot 1 - v \cdot X \cdot 1 \rightarrow \max \quad (4')$$

ahol:

$$v \cdot 1 = 1 \quad (5')$$

$$u \cdot Y - v \cdot X \leq 0 \quad (6')$$

$$u \geq 0, v \geq 0. \quad (7')$$

A (4') – (7') egyenletekben az Y és az X mátrixok a döntéshozó egységek input és output mátrixai a következők szerint:

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_p], \quad X = [x_1, x_2, \dots, x_p].$$

Az (5') egyenlet garantálja a súlyok halmazának korlátozottságát, a (6') egyenlőtlenségek a hatékonysági mutatókat ragadják meg, a (4') célfüggvény pedig a maximális hatékonyságtól való eltéréseket. A (4') – (7') feladat megoldása a döntéshozó egységek közös súlyvektora. A következő, második szakasz meghatározza a döntéshozó egységek hatékonyságát. Az optimális megoldást és az ez alapján képezhető rangsort a 4. táblázat tartalmazza.

Az új rangsor élén továbbra is Dánia áll, amelyhez a második helyen az Egyesült Királyság csatlakozik. Oroszország itt az utolsó, 29. helyen áll, Görögország és Bulgária mögött; Magyarország pedig a 19.

3.5 DEA/CWA modell az input kritériumok lineáris transzformáltjaival

A (4') – (7') LP feladatot a függelék *F2. táblázat* (lineárisan transzformált) értékeivel is kiszámíthatjuk. Az eredményül kapott értékeket a 4. táblázatban szerepeltettük. E rangsorban is Dánia található az első helyen, de ezúttal Szlovákia az utolsó, Magyarország a 23., Oroszország pedig a 25. helyezést éri el.

3.6 Rangsorolás többdimenziós skálázással (MDS)

A többdimenziós skálázás (MDS) egy jól ismert többváltozós statisztikai módszer. A módszer lényege, hogy egy magasabb (jelen esetben öt-) dimenziós térből pontjainkat egy alacsonyabb dimenziós térre képezzük le oly módon, hogy a távolságok a lehető legnagyobbak maradjanak. Ha ezt a leképezést az egydimenziós térbe, azaz a számegyenesre végezzük el, akkor az eredeti és a leképezett pontok közötti távolságok megfelelő korrelációja esetén egy olyan rangsort kaphatunk, amely összehasonlítható a scoring modell és a DEA eredményeivel. A számításokat az IBM SPSS Statistics 20 programcsomaggal végeztük el.

A kapott eredményeket és a rangsort szintén a 4. táblázatban tüntettük fel. A leképezés stressz értéke 0,24235, az R -négyzet értéke (amely a távolságok közötti korrelációt mutatja) pedig 0,902, ezen értékeket jónak nevezhetjük. A rangsorban továbbra is Dánia a legjobb, Magyarország a 16. helyezést éri el, Oroszország pedig a 27. helyen áll Bulgária és Románia előtt.

Ország	DESI scoring		DEA reciprok		DEA lineáris		DEA/CWA reciprok		DEA/CWA lineáris		MDS értékek	
	Érték	Hely	Érték	Hely	Érték	Hely	Érték	Hely	Érték	Hely	Érték	Hely
Ausztria	0,621	12	0,727	13	0,128	12	0,697	11	0,128	10	-0,462	11
Belgium	0,627	11	0,738	11	0,143	10	0,717	10	0,131	8	-0,422	13
Bulgária	0,473	28	0,451	28	0,030	28	0,451	27	0,030	26	1,241	28
Horvátország	0,497	22	0,479	27	0,046	25	0,478	24	0,046	21	0,789	20
Ciprus	0,480	25	0,481	26	0,031	26	0,481	23	0,031	24	0,999	25
Csehország	0,542	17	0,639	15	0,077	18	0,598	18	0,036	22	0,748	19
Dánia	0,760	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	-1,660	1
Észtország	0,659	7	0,926	6	0,170	8	0,804	7	0,164	7	-0,959	7
Finnország	0,738	3	1,000	1	0,382	5	0,985	3	0,382	5	-1,545	2
Franciaország	0,620	13	0,839	9	0,131	11	0,686	12	0,131	9	-0,582	9
Németország	0,636	8	0,737	12	0,126	13	0,735	9	0,126	11	-0,568	10
Görögország	0,476	27	0,414	29	0,031	27	0,400	28	0,025	27	1,045	26
<i>Magyarország</i>	<i>0,559</i>	<i>15</i>	<i>0,559</i>	<i>22</i>	<i>0,060</i>	<i>21</i>	<i>0,529</i>	<i>19</i>	<i>0,032</i>	<i>23</i>	<i>0,431</i>	<i>16</i>
Írország	0,635	9	0,839	10	0,339	6	0,645	14	0,108	14	-0,461	12
Olaszország	0,512	21	0,566	21	0,065	20	0,454	26	0,065	18	0,705	18
Lettország	0,515	20	0,636	16	0,083	17	0,636	15	0,083	17	0,823	21
Litvánia	0,559	16	0,626	17	0,086	16	0,626	16	0,086	16	0,208	15
Luxemburg	0,699	6	0,914	7	0,161	9	0,814	6	0,115	12	-1,341	5
Málta	0,579	14	0,684	14	0,115	14	0,662	13	0,115	13	-0,065	14
Hollandia	0,738	2	1,000	1	0,570	3	0,975	5	0,570	3	-1,536	4
Lengyelország	0,493	23	0,500	24	0,047	24	0,484	22	0,047	20	0,917	23
Portugália	0,489	24	0,514	23	0,058	22	0,514	20	0,058	19	0,962	24
Románia	0,445	29	0,481	25	0,023	29	0,465	25	0,012	28	1,572	29
<i>Oroszország</i>	<i>0,477</i>	<i>26</i>	<i>0,602</i>	<i>20</i>	<i>0,066</i>	<i>19</i>	<i>0,348</i>	<i>29</i>	<i>0,030</i>	<i>25</i>	<i>1,222</i>	<i>27</i>
Szlovákia	0,531	18	0,607	18	0,056	23	0,496	21	0,007	29	0,912	22
Szlovénia	0,526	19	0,604	19	0,093	15	0,600	17	0,093	15	0,516	17
Spanyolország	0,635	10	0,849	8	0,174	7	0,737	8	0,174	6	-0,659	8
Svédország	0,717	5	0,976	5	0,528	4	0,976	4	0,528	4	-1,294	6
Egy. Királyság	0,727	4	1,000	1	0,613	2	1,000	1	0,613	2	-1,537	3

4. táblázat. A számított rangsorok.

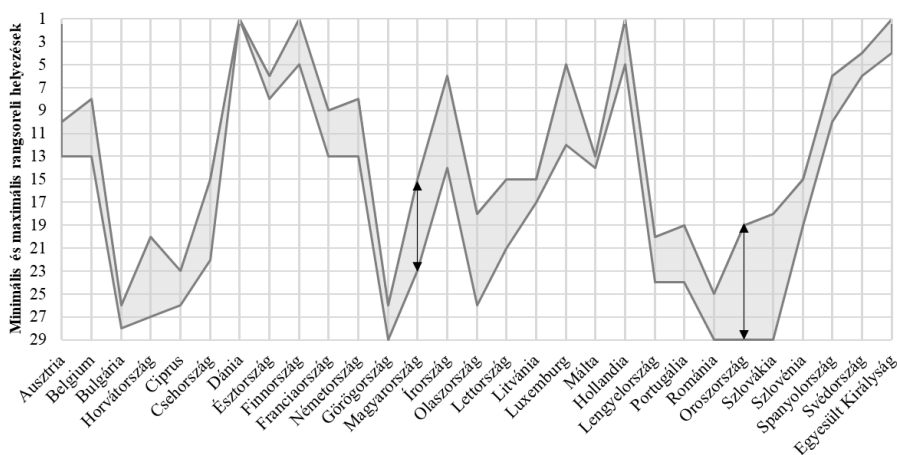
Forrás: International Digital Economy and Society Index 2018.

4 Az eredmények összehasonlítása

A DEA-val és a többdimenziós skálázással kapott rangsorok nagyon hasonlóak egymáshoz, és az eredeti DESI súlyok felhasználásával kapott rangsorhoz; e hasonlóságot az értékek közötti magas korreláció is mutatja.

A négyféle DEA modell, az egydimenziós MDS és a DESI aggregált index rangsorait a 4. táblázatban mutatjuk be, míg a különböző módszerekkel számított értékek közötti Spearman-féle rangkorrelációk mátrixa a függelékben, az *F3. táblázatban* látható. A rangkorrelációk közötti legkisebb érték is 0,899, ami erős lineáris kapcsolatot mutat a sorrendek között. Mivel sorrendek ordinális skálán adóttak, ezért elegendőnek tűnik a Spearman-féle rangkorrelációval összevetnünk a hat módszerrel kapott sorrendet.

Mint a 2. ábrán látható, a legtöbb ország helyezése a rangsorban viszonylag stabil, függetlenül attól, hogy melyik módszert alkalmazzuk, Dánia például mindegyik rangsorban az első helyezett lesz. Oroszország esetében azonban nagyobb eltérések mutatkoznak, mivel az ország a 19. helyen áll, ha a DEA-alapmodellt lineárisan transzformált adatokkal használjuk, az input kritériumok értékeit azok reciprokával helyettesítő DEA/CWA modell rangsorában azonban az utolsó helyre kerül. Magyarország helyezése szintén jelentős különbségeket mutat a választott módszertan függvényében: a legkedvezőbb, 15. helyet az eredeti I-DESI rangsorban éri el, a lineárisan transzformált adatokkal képzett DEA/CWA rangsorban azonban csak a 23.



2. ábra. Az egyes országok minimális és maximális helyezései a rangsorokban.
Megjegyzés: A 4. táblázat adatai alapján.

5 Következtetések

A cikkünk fő célja az volt, hogy összehasonlítsuk Oroszország és az Európai Unió 28 tagállama digitális teljesítményét az I-DESI adatbázis alapján az Európai Bizottság által ajánlott rangsorolási módszertan, valamint alternatív statisztikai módszerek alapján képzett rangsorok révén. Cikkünkben hat modellt, rangsort vizsgáltunk meg: az I-DESI scoring modelljét, két DEA módszerrel meghatározható hatékonysági mutató rangsorát, két DEA/CWA mutató rangsorát és végül a többdimenziós MDS alapján képzett rangsort.

Eredményeink azt mutatták, hogy ezen eltérő módszertanok alapján viszonylag hasonló rangsorok képezhetők. Ez azt is jelentheti, hogy a DESI súlyai nem befolyásolják jelentősen az országok rangsorát. Számításaink szerint Oroszország digitális fejlettsége az EU-tagállamok utolsó harmadának országaihoz hasonló szintet ér el, bár rangsorbeli helyezése a legtöbb EU-tagországnál érzékenyebb a választott módszertanra. Ennek fő magyarázata megítélésünk szerint az, hogy a leggyengébb, kelet-európai EU-tagállamokkal szemben, amelyek általában az internet-hozzáférés terén mutatnak fel relatíve jó eredményeket, Oroszország fő erőssége a digitális kompetenciákban rejlik, ez jelentheti számukra a legfontosabb kitörési pontot. Ehhez azonban le kell küzdenie az internet-hozzáférési dimenzió által jelzett infrastrukturális hátrányait. Magyarország a választott rangsorolási módszertől függően a középmezőnyben vagy szintén az országok alsó harmadában kap helyet, helyezése ugyancsak jelentékeny, bár Oroszországnál valamivel mérsékeltebb ingadozást mutat (15-23.).

A kutatás folytatásaként véleményünk szerint azt a kérdést lenne érdemes megvizsgálni, hogy az eredmények hogyan járulhatnak hozzá a szakpolitikai ajánlások megfogalmazásához. Véleményünk szerint ehhez szükséges lehet az I-DESI dimenzióstruktúrájának felülvizsgálata, a dimenziók koherenciájának javítása. A rangsorolás további módszereit is érdemes lehet megvizsgálni, mivel a scoring modell nem különbözteti meg kellőképpen az országokat, ha az adatok redundánsak.

Irodalom

1. Afonasova, M. A., Panfilova, E. E., Galichkina, M. A. (2018): Social and Economic Background of Digital Economy: Conditions for Transition. *European Research Studies*, 21 (Special Issue 3), 292–302.
2. Bánhidi, Z., Dobos, I. (2020): Az Európai Unió digitális gazdaság és társadalom indexének statisztikai elemzése. *Statisztikai Szemle*, 98(2), 149–168.
3. 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*, 10(2), 42–62.
4. Belanova, N. N., Kornilova, A. D., Sultanova, A. V. (2020): Target Indicators and Directions for the Development of the Digital Economy in Russia. In: Ashmarina S., Mesquita A., Vochozka M. (eds.) *Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, vol. 908. Springer, Cham, 111–118.
5. Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., Seiford, L. M. (2013): *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications*. Springer Science & Business Media.
6. Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444.
7. Csótó, M. (2019): Mélni annyi, mint tudni? Az elektronikus közigazgatás közösségi mérőszámairól. *Vezetéstudomány – Budapest Management Review*, 50(2), 14–31.

8. Dobos, I., Vörösmarty, G. (2014). Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators. *International Journal of Production Economics*, 157, 273–278.
9. Dobos, I., Vörösmarty, G. (2020): Egy DEA modell beszállítóértékelési feladatok megoldására. *Sigma*, 51(2), 131–148.
10. Dobrolyubova, E., Alexandrov, O., Yefremov, A. (2017): Is Russia Ready for Digital Transformation? In: Alexandrov, D., Boukhanovsky, A., Chugunov, A., Kabanov, Y., Koltsova, O. (eds.) *Digital Transformation and Global Society*. DTGS 2017. Communications in Computer and Information Science, vol. 745. Springer, Cham, 431–444.
11. Färe, R., Grosskopf, S. (2013): DEA, directional distance functions and positive, affine data transformation. *Omega*, 41(1), 28–30.
12. Fülöp, J., Temesi, J. (2001): A Data Envelopment Analysis (DEA) alkalmazása ipari parkok hatékonyságának vizsgálatára. *Sigma*, 32(3-4), 85–109.
13. Götz, M. (2017): Industry 4.0 – the perspective of international economics. The case of Polish-German relationships. *Przegląd Zachodni*, 365(4), 169–185.
14. Grytsulenko, S. I., Umanets, O. Y. (2018): The Infocommunications Development of Ukraine under Conditions of the Transition to the Digital Economy. *Problemi Ekonomiki*, 4(38), 49–60.
15. Liu, F. H. F., Peng, H. H. (2008): Ranking of units on the DEA frontier with common weights. *Computers & Operations Research*, 35(5), 1624–1637
16. Martos, B. (1964): Hyperbolic programming. *Naval Research Logistics Quarterly*, 11(2), 135–155.
17. Mirke, E., Kašparová, E., Cakula, S. (2019): Adults’ readiness for online learning in the Czech Republic and Latvia (digital competence as a result of ICT education policy and information society development strategy). *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 7(1), 205–215.
18. OECD, Joint Research Centre of the European Commission. (2008): *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. OECD Publishing.
19. Parmigiani, G., Inoue, L. (2009): *Decision theory: Principles and approaches*. Vol. 812. John Wiley & Sons, Padstow, Cornwall, Egyesült Királyság.
20. Petrenko, S. A., Makoveichuk, K. A., Chetyrbok, P. V., Petrenko, A. S. (2017): About readiness for digital economy. In: *2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*, Szentpétervár, Oroszország, 96–99.
21. Silvaggi, A., Pesce, F. (2018): Job profiles for museums in the digital era: Research conducted in Portugal, Italy and Greece within the Mu.SA project. *Journal of Cultural Management and Policy*, 8(1), 56–69.
22. Vörösmarty, G., Dobos, I. (2014): Fenntarthatósági szempontok beépítése a beszállító értékelésébe a DEA/CI összetett indikátorok módszere alkalmazásával (Integrating sustainability criteria in supplier evaluation with application of the method of DEA/CI complex indicators). *Vezetéstudomány – Budapest Management Review*, 45(3), 62–70.

6 Függelék

Ország	Kód	Internet hozzá- férés	Humán- tőke	Internetes szolgáltatások használata	A digitális technológia integráltsága	Digitális közsol- gáltatások
Ausztria	AT	1,59	1,69	0,60	0,59	0,72
Belgium	BE	1,47	1,67	0,62	0,61	0,61
Bulgária	BG	1,64	2,13	0,42	0,36	0,45
Horvátország	HR	1,85	2,22	0,49	0,46	0,56
Ciprus	CY	1,85	2,22	0,54	0,39	0,49
Csehország	CZ	1,49	1,72	0,58	0,39	0,43
Dánia	DK	1,30	1,25	0,79	0,71	0,71
Észtország	EE	1,61	1,52	0,70	0,53	0,85
Finnország	FI	1,39	1,37	0,78	0,67	0,83
Franciaország	FR	1,69	1,61	0,59	0,53	0,82
Németország	DE	1,56	1,61	0,66	0,59	0,69
Görögország	EL	2,00	2,08	0,46	0,45	0,48
<i>Magyarország</i>	<i>HU</i>	<i>1,67</i>	<i>1,61</i>	<i>0,55</i>	<i>0,51</i>	<i>0,46</i>
Írország	IE	1,59	1,30	0,56	0,51	0,66
Olaszország	IT	1,96	2,00	0,42	0,47	0,68
Lettország	LV	1,54	2,13	0,58	0,32	0,56
Litvánia	LT	1,64	1,89	0,58	0,46	0,63
Luxemburg	LU	1,54	1,49	0,79	0,77	0,64
Málta	MT	1,56	2,08	0,57	0,57	0,66
Hollandia	NL	1,33	1,45	0,76	0,75	0,76
Lengyelország	PL	1,89	1,89	0,51	0,33	0,57
Portugália	PT	1,67	2,33	0,47	0,39	0,55
Románia	RO	1,64	2,33	0,48	0,27	0,39
<i>Oroszország</i>	<i>RU</i>	<i>2,56</i>	<i>1,56</i>	<i>0,49</i>	<i>0,30</i>	<i>0,57</i>
Szlovákia	SK	1,75	1,54	0,59	0,40	0,38
Szlovénia	SI	1,67	2,27	0,53	0,43	0,67
Spanyolország	ES	1,56	1,61	0,58	0,55	0,82
Svédország	SE	1,33	1,45	0,78	0,65	0,73
Egy. Királyság	UK	1,35	1,54	0,72	0,68	0,90

F1. táblázat. Reciprok-értékekkel helyettesített inputkritérium-adatok.
 Forrás: International Digital Economy and Society Index 2018.

Ország	Kód	Internet hozzá- férés	Humán- tőke	Internetes szolgáltatások használata	A digitális technológia integráltsága	Digitális közszol- gáltatások
Ausztria	AT	-8,00	-11,78	10,24	13,16	13,42
Belgium	BE	-5,50	-11,27	11,27	13,92	9,40
Bulgária	BG	-9,00	-17,95	1,00	4,42	3,56
Horvátország	HR	-12,50	-18,97	4,59	8,22	7,58
Ciprus	CY	-12,50	-18,97	7,16	5,56	5,02
Csehország	CZ	-6,00	-12,30	9,22	5,56	2,83
Dánia	DK	-1,00	-1,00	20,00	17,72	13,06
Észtország	EE	-8,50	-8,19	15,38	10,88	18,17
Finnország	FI	-3,50	-4,59	19,49	16,20	17,44
Franciaország	FR	-10,00	-10,24	9,73	10,88	17,08
Németország	DE	-7,50	-10,24	13,32	13,16	12,33
Görögország	EL	-14,50	-17,43	3,05	7,84	4,65
Magyarország	HU	-9,50	-10,24	7,68	10,12	3,92
Írország	IE	-8,00	-2,54	8,19	10,12	11,23
Olaszország	IT	-14,00	-16,41	1,00	8,60	11,96
Lettország	LV	-7,00	-17,95	9,22	2,90	7,58
Litvánia	LT	-9,00	-14,86	9,22	8,22	10,13
Luxemburg	LU	-7,00	-7,68	20,00	20,00	10,50
Málta	MT	-7,50	-17,43	8,70	12,40	11,23
Hollandia	NL	-2,00	-6,65	18,46	19,24	14,88
Lengyelország	PL	-13,00	-14,86	5,62	3,28	7,94
Portugália	PT	-9,50	-20,00	3,57	5,56	7,21
Románia	RO	-9,00	-20,00	4,08	1,00	1,37
Oroszország	RU	-20,00	-9,22	4,59	2,14	7,94
Szlovákia	SK	-11,00	-8,70	9,73	5,94	1,00
Szlovénia	SI	-9,50	-19,49	6,65	7,08	11,60
Spanyolország	ES	-7,50	-10,24	9,22	11,64	17,08
Svédország	SE	-2,00	-6,65	19,49	15,44	13,79
Egy. Királyság	UK	-2,50	-8,70	16,41	16,58	20,00

F2. táblázat. Lineárisan transzformált alapadatok. *Forrás:* International Digital Economy and Society Index 2018.

		DEA reciprok	DEA lineáris	DEA/CWA reciprok	DEA/CWA lineáris	MDS érték
DESI scoring	Spearman-korreláció	0,951	0,946	0,955	0,899	0,978
	Szig. (kétoldali)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DEA reciprok	Spearman-korreláció		0,970	0,945	0,904	0,935
	Szig. (kétoldali)		0,000	0,000	0,000	0,000
DEA lineáris	Spearman-korreláció			0,928	0,941	0,941
	Szig. (kétoldali)			0,000	0,000	0,000
DEA/CWA reciprok	Spearman-korreláció				0,932	0,949
	Szig. (kétoldali)				0,000	0,000
DEA/CWA lineáris	Spearman-korreláció					0,933
	Szig. (kétoldali)					0,000

F3. táblázat. A DESI scoring modell pontszámai, a DEA modellek és az egydimenziós MDS értékek közötti Spearman-féle rangkorrelációs mátrix. *Forrás:* International Digital Economy and Society Index 2018.

AN APPLICATION OF DEA TO ASSESS THE DIGITAL DEVELOPMENT
OF RUSSIA AND THE EU-28

Our main research questions relate to the measurement of digital development and the stability of country rankings in the International Digital Economy and Society Index (I-DESI 2018), published biennially by the European Commission, focusing on Russia and Hungary as specific examples. We apply Data Envelopment Analysis (DEA) models and Multidimensional Scaling (MDS) to rank our Decision Making Units (DMUs), i.e. the countries, and compare our results with the ranking obtained with the pre-defined scoring model of I-DESI. Besides the basic DEA approach, we also investigate the applicability of the DEA Common Weights Analysis method. The main purpose of I-DESI is to mirror and extend the results of the European Commission's EU-only Digital Economy and Society Index, measuring the digital economy performance of the Member States and the EU as a whole in comparison with selected non-EU countries. Both composite indices use a scoring model, combining a (similar though not identical) set of individual indicators and using a pre-defined weighting system to rank countries based on their digital performance with the aim to benchmarking the development of the digital economy and society. They measure performance in five principal dimensions or policy areas: connectivity, human capital (digital skills), use of Internet by citizens, integration of technology and digital public services.

We set out to evaluate the robustness and stability of the ranking of the scoring model of I-DESI, by comparing it with our DEA- and MDS-based models and rankings, which we can group into three categories. The first of these is the traditional (basic) DEA method that assigns different weights to different countries, while the second, the DEA Common Weights Analysis (DEA/CWA) method uses the same set of weights to evaluate all countries. The third one is the one-dimensional version of Multidimensional Scaling (MDS), a multivariate statistics method. Our main research questions concern the degree of similarity between the rankings based on these methods and the one based on the original scoring model. The DEA method is a general framework to evaluate the performance (efficiency) of DMUs (in our case, countries) in the absence of pre-defined weights, and is based on a hyperbolic programming model under linear conditions. To determine these efficiencies, our input criteria (connectivity and human capital) had to be transformed, either by replacing the values with their reciprocals, or by using a linear transformation based on utility functions. Combining the basic DEA method and DEA/CWA with the two transformation procedures, we get four models. Our fifth model is based on MDS, where our country data points (with five dimensions) were mapped into a one-dimensional space, establishing a straight numerical order, i.e. a ranking. These methods have the advantage of allowing us to establish an incumbent ranking based on the structure of data that should be independent of any external utility assessment of the five principal dimensions.

We conclude that these ranking schemes offer broadly similar solutions to the original scoring model, since even the lowest value of Spearman's rank correlation coefficient is 0.899, which might mean that the arbitrary weighting system of the European Commission does not significantly affect the order of countries. However, the position of a few countries (including Russia and Hungary) exhibits wider variation depending on the chosen methodology.