



# Területi Statisztika

Közzététel: 2023. július 24.

**A tanulmány címe:**

Országgrangsorolás a nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index 2020-as adatai alapján, DEA- és TOPSIS-módszerrel

Szerzők:

Bánhidai Zoltán–Dobos Imre

<https://doi.org/10.15196/TS630405>

***Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Területi Statisztika 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: Területi Statisztika c. folyóirat 63. évfolyam 4. számában megjelent, Bánhidai Zoltán–Dobos Imre által írt, Országgrangsorolás a nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index 2020-as adatai alapján, DEA- és TOPSIS-módszerrel c. tanulmány”***

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

# Országgrangsorolás a nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index 2020-as adatai alapján, DEA- és TOPSIS-módszerrel

Country rankings based on the 2020 data of the international digital economy and society index, with DEA and TOPSIS methods

**Bánhidi, Zoltán**

Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem  
E-mail: banhidi.zoltan@gtk.bme.hu

**Dobos, Imre**

Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem  
E-mail: dobos.imre@gtk.bme.hu

A tanulmány a nemzetközi digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő mutató (International Digital Economy and Society Index – I-DESI) öt alapidimenziója segítségével, de az önkényes, szubjektív súlyozáson (scoring modellen) alapuló összetett mutató helyett objektívebb, az adatsorok statisztikai tulajdonságait felhasználó rangsorolási módszerekkel választ keres arra a kérdésre, hogy Magyarország hol helyezkedik el a digitális fejlettséget tekintve az Európai Unió országai és az adatállományban szereplő más fejlett országok között. A szerzők a rangsorolást a DEA- (Data Envelopment Analysis) közös súlyok módszerével (hatféle modellel) és a TOPSIS- (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) módszer alkalmazásával végzik el, majd összehasonlítják a súlyvektorokat és a rangsorokat. Bár az eredményül kapott súlyvektorok jelentősen eltérnek az Európai Bizottság által meghatározott szubjektív súlyoktól, az országgrangsorok hasonlóak maradnak, ugyanis viszonylag kevésbé érzékenyek a választott súlyképzési módszerre.

**Kulcsszavak:**  
nemzetközi digitális gazdaság és  
társadalom index (I-DESI),  
információs és kommunikációs  
technológiák,  
burkológörbe-elemzés,  
TOPSIS

The paper is based on the five principal dimensions of the International Digital Economy and Society Index (I-DESI), however, instead of the original scoring model based on arbitrary pre-determined weights, the authors apply more objective ranking methods using the statistical properties of the data series to determine where Hungary stands in terms of digital development among the countries of the European Union and other developed countries in the data set. The

**Keywords:**  
international digital economy and  
society index (I-DESI),  
information and communication  
technology,  
data envelopment analysis,  
TOPSIS

ranking is performed using the DEA-CWA (Data Envelopment Analysis / Common Weights Analysis) method (with six models) and the TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) method; the resulting weight vectors and rankings are then compared. Although the resulting weight vectors differ significantly from the arbitrary weights set by the European Commission, the country rankings remain similar, displaying relatively little sensitivity to the chosen weighting method.

*Beküldve:* 2022. december 14.

*Elfogadva:* 2023. február 28.

## Bevezetés

A nemzetközi digitális gazdaság és társadalom index (International Digital Economy and Society Index – I-DESI) egy kétévente (elsőként 2016-ban) kiadott mutatórendszer és tanulmány, amelyet az Európai Bizottság (EB) felkérésére független szakértők (kutató cégek) készítenek. Célkitűzése, hogy átfogóan értékelje az Európai Unió (EU) helyzetét a „digitális társadalom és a gazdaság felé vezető úton”, a nem uniós gazdaságokhoz viszonyítva.

Módszertani szempontból meghatározó alapelv, hogy a mutatórendszer az EB eredeti (csak az EU-tagországokra számított) digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő (Digital Economy and Society Index – DESI) mutatójának eredményeit tükrözze, illetve azt földrajzi szempontból bővítsse ki olyan helyettesítő mutatók felhasználása révén, amelyek az EU-n kívüli országokra is rendelkezésre állnak. A DESI és az I-DESI egyaránt olyan mutatórendszerek, amelyek több egyedi indikátort előre definiált súlyokkal kombinálnak, és hasonló (de nem teljesen azonos) pontozásos rendszereket (scoring modell) használnak arra, hogy a digitális gazdaság és a társadalom fejlődésének nyomon követése céljából az egyes országokat a digitális teljesítményük alapján értékeljék és rangsorolják.

A DESI mutatórendszer legfontosabb alaptulajdonságait, előnyeit és hátrányait korábbi tanulmányunkban már bemutattuk (Bánhidi et al. 2020), véleményünk szerint ezek az I-DESI esetében is érvényesek, azzal a kiegészítéssel, hogy az EU-n kívüli országok szerepeltetése, a harmonizáció hiánya és az egyedi indikátoroknál előforduló adathiány miatt az adatok megbízhatósága alacsonyabb szintű.

Az I-DESI 2020-as változata a digitalizáció terén elért teljesítményt 45 (ebből 27 EU-tag, 18 nem uniós) országban; öt fő szakpolitikai területen mérte fel (1. táblázat): az internet-hozzáférés (összekapcsoltság), a humán tőke, az internetes szolgáltatások használata, a digitális technológiák integráltsága és a digitális közszolgáltatá-

sok dimenzióban. Jelen tanulmányban ezek 2018. évre számított adatait vettük alapul az országok értékeléséhez, a DEA- és a TOPSIS-hatékonyságok kiszámításához (lásd Függelék F1. táblázat).

Tanulmányunk második fejezetében röviden áttekintjük a DESI- és I-DESI-mutatórendszerekhez kapcsolódó szakirodalmat. Az ezt következő fejezetekben a tanulmányunkban használt modellek módszertanát, a burkológörbe-elemzést (Data Envelopment Analysis – DEA), az erre épülő modelleket, illetve a TOPSIS-módszert, valamint az eredményeinket mutatjuk be. Végül, tanulmányunkat fő következtetéseinkkel zárjuk le.

1. táblázat

**Az I-DESI 2020 dimenzióinak szakpolitikai értelmezése**  
Policy interpretation of the dimensions of I-DESI 2020

Dimenzió	Az adott dimenzió szakpolitikai értelmezése
Internet-hozzáférés (összekapcsoltság)	Széles sávú hálózati infrastruktúra rendelkezésre állása és minősége
Humán tőke	A digitális társadalom által kínált lehetőségek igénybevételéhez szükséges digitális készségek rendelkezésre állása
Internetes szolgáltatások használata	Az internetes szolgáltatások igénybevétele a polgárok (fogyasztók) által
Digitális technológiák integráltsága	A vállalkozások digitalizálása és az online értékesítési csatornák
Digitális közszolgáltatások	A közszolgáltatások digitalizáltsága, fókuszálva az e-kormányzati szolgáltatásokra

*Forrás:* Európai Bizottság (2021) alapján.

## Szakirodalom

Számos olyan mutatórendszer létezik, amelyek a digitális átalakulás, a digitális fejlettség mértékét országcsoportok, illetve országok szintjén jellemzik, de jelen tanulmányunkban ezek közül csak a DESI-hez és az I-DESI-hez szorosabban kapcsolódó szakirodalmat mutatjuk be.

Bánhidi et al. (2020) a DESI öt fő dimenzióját többváltozós statisztikai módszerekkel elemzi. A szerzők először a dimenziók közötti lineáris kapcsolatokat vizsgálják egyszerű Pearson- és parciális korrelációelemzéssel, valamint faktoranalízissel, a lehetséges oksági összefüggésekre összpontosítva. Ezt követően az EU-tagállamokat klaszterelemzéssel és többdimenziós skálázással (Multidimensional Scaling – MDS) csoportosítják, majd többváltozós statisztikai módszerekkel rangsorolják, és az így kapott rangsorokat összehasonlítják az EB eredeti pontozásos modellje alapján kialakult országssorrenddel. Elemzésük alátámasztja az EB azon tézisének, miszerint a DESI öt fő dimenziója szorosan összefügg egymással, és csak azok koherens és összehangolt stratégiával fejleszthetők hatékonyan.

Tokmergenova et al. (2021) hasonló elemzése a dimenziók közötti multikollinearitásra és a dimenziók közötti statisztikai kapcsolatokra összpontosít, a DESI nemzetközi kiterjesztésének tekinthető I-DESI adatainak felhasználásával. Eredményei erős multikollinearitást, redundanciát mutatnak ki a dimenziók között.

Bánhidi et al. (2021) kutatási kérdései az I-DESI rangsoron belül főként Oroszország EU-tagországokhoz viszonyított helyzetére, teljesítményére vonatkoznak. A DEA-típusú összetett mutatók módszerére (DEA/CI) épülő eredmények azt mutatják, hogy Oroszország az EU keleti és déli tagállamaihoz képest jelentős előrehaladást ért el a digitális gazdasági és társadalmi fejlődésben, ami különösen a humán tőke dimenziójában mutatott jó teljesítményével magyarázható.

Moroz (2017) Lengyelország helyzetét és fejlődésének dinamikáját jellemzi két kiválasztott mérési rendszer, a DESI és a Világgazdasági Fórum hálózati készségi indexe (*Networked Readiness Indexe – NRI*) alapján. A két mutatórendszer, illetve a szerző értékelése szerint az ország helyzete viszonylag kedvezőtlen, ugyanis alacsony fejlettségi és digitális versenyképességi szintje alacsony növekedési (felzárkózási) ütemmel párosul.

Kotarba (2017) a digitális fejlődés fontosabb mutatórendszeit, köztük a DESI-t is tárgyalja; kimutatja a közöttük megfigyelhető fő hasonlóságokat és különbségeket, illetve javaslatokat tesz azok fejlesztésére. A mutatórendszerekről levont következtései szerint a digitális fejlődést öt szinten (szakaszban) érdemes felmérni: a gazdaság egésze mellett a társadalom, az ágazatok, a vállalatok, valamint a fogyasztók szintjén.

Laitsou et al. (2020) a DESI-t és annak öt fő dimenzióját használja a görög gazdaság digitális teljesítményének meghatározására, illetve a Gompertz-modell segítségével előrejelzi, hogy Görögország miként közelíthet az EU vezető országaihoz a digitális fejlettség tekintetében. Értékelése szerint, bár az országnak a digitalizáció keresleti és kínálati oldalán egyaránt számos kihívással kell szembenéznie, a megfelelő kormányzati politikákkal Görögország 2030-ra felzárkózhat az EU-átlaghoz.

Végezetül, Esses–Szalmáné Csete (2022) a digitális átalakulás és a fenntarthatósági átmenet összefüggéseit értékeli az EU fővárosaiban. Eredményei alapján a digitalizáció és a fenntarthatóság között helyi szinten is releváns kapcsolat áll fenn, így a versenyképesség növelése, a pozitív szinergiák kihasználása érdekében a városfejlesztésben javasolta a smart, a környezeti és a társadalmi szempontok együttes figyelembevételét.

## Módszertan

### DEA-modellek explicit input nélkül és a közös súlyok

Az első DEA-modellt Charnes et al. (1978) mutatta be, amelyet további modellváltozatok követtek. Az I-DESI használatakor az öt dimenzió mindegyikére az adott ismerv ideális értéke a lehető legmagasabb, így ezek a DEA-modellben egyaránt

outputnak tekinthetők. Mivel nincsenek minimalizálandó ismérvek, így inputismérvek sincsenek. Ez utóbbi modellt a szakirodalomban explicit inputok nélküli DEA-modellnek (DEA/WEI) és/vagy DEA/CI-módszernek nevezik, mivel megfelel az említett leírásnak (Cherchye et al. 2007, Dobos–Vörösmarty 2014).

Ehelyütt megjegyezhető, hogy a DESI dimenziók egy része egy másfajta DEA-alapú modellkeretben inputként is használható, ez azonban a dimenzióadatok transzformálását teszi szükségessé. Bánhidi–Dobos (2021a) az alap DEA-módszerrel alkalmazásával rangsorolja az I-DESI-n belül az EU országait és Oroszországot, a DESI dimenziók közül inputnak használva (kétféle módszerrel transzformálva) az internet-hozzáférés és a humán tőke dimenziókat, a három másik dimenziót pedig outputként. Bár az eredményül kapott rangsorok összességében hasonlóak, bizonyos országok (például Románia, Szlovákia és Szlovénia) helyezése 4-5 hellyel módosul attól függően, hogy milyen módszert használunk az inputadatok transzformálásához. A DEA/WEI-modell használatának előnye a DEA-alapmodellrel szemben, hogy nem igényel ilyen adattranszformációt.

Az explicit input nélküli DEA-modellt gyakorlati feladatokra először Fernandez-Castro–Smith (1994), majd Despotis (2005) és Liu et al. (2011) alkalmazták. A modell alakja miatt az említett módon létrehozott összetett mutatókat használták.

A DEA-alapmodell az általunk célul kitűzött rangsorolásra nem alkalmazható teljes mértékben, mert több döntéshozó egység (decision making unit – DMU), esetünkben az országok DEA-hatékonysága elérheti a maximumot, azaz az egyes értéket, ezért ezek az országok nem rangsorolhatók teljes mértékben. Ugyanakkor azzal a problémával is szembesülhetünk, hogy az egyes DMU-k különböző súlyokkal számítható hatékonyságokat érnek el. Ezért olyan módszert kell találnunk, amely az összes lehetséges DMU-t azonos súllyal értékeli.

Az egyik első ilyen alkalmazás a közös súlyok módszere (Common Weights Analysis – CWA), amit először Podinovski–Athanasopoulos (1998) használt. Ezt Maximin DEA-modellnek hívják, segítségével először megkeressük azt a DMU-t, amely egy adott súlyvektor esetén a legalacsonyabb hatékonyságú, majd megkeressük azt a súlyvektort, amely ezt a minimumot maximalizálja. (A módszer erről az eljárásról kapta a nevét.)

E probléma megoldásához olyan DEA-eljárást kell találni, amely az összes lehetséges DMU-t azonos súllyal értékeli, amit közös súlyok eljárásának nevezünk. Az említett Maximin-modellt is ebbe a csoportba sorolhatjuk. A módszer legegyszerűbb formáját Liu–Peng (2008) javasolta, és a modell a közös súlyok keresését egy olyan lineáris programozási feladat megoldására vezeti vissza, amelynek peremfeltételei a hatékonyságra is kiterjedő lineáris kényszereket tartalmazzák.

Végül, a harmadik közös súlyokat használó DEA-modell kompromisszumprogramozással (compromise programming) határozza meg a súlyokat. Ezt az eljárást Kao–Hung (2005) javasolta. A célfüggvény itt egy távolságfüggvény, amely lehet Manhattan-, euklideszi vagy Csebisev-távolságfüggvény, melynek alkalmazásához

azonban egy antiideális és/vagy ideális pontot kell meghatározni a DMU-k hatékonyságának terében. Míg az antiideális hatékonyság lehet például a nulla hatékonyság, addig az ideális a korábban meghatározott DEA-hatékonyságok vagy az egyes DMU-k számára elérhető maximális hatékonyság, vagyis egy. Ebben a tanulmányban csak a két ideális hatékonyságot használjuk. Az ideális ponthoz meg kell találni azt a súlyt, amelynél az ideális pont a legközelebb van a súlyok halmazához. Az antiideális pontok esetében a legtávolabbi hatékonyságot keressük. Az  $E^*$  vektor reprezentálja azokat a DEA-hatékonyságokat, amelyek az egyes DMU-k legnagyobb hatékonyságát mutatják.

A DEA-val szemben mindig felmerül, hogy a módszer minden DMU-ra más-más súlyrendszert ad. Ezért a szakirodalomban a közös súlyok keresése mindig megjelenik. Roll–Golany (1993) a súlyokra adott korlátozással oldja fel a közös súly keresésének problémáját. Kao–Hung (2005) munkájukban a kompromisszumprogramozás módszerét javasolják a súlyok felkutatására. Ez utóbbi programozási feladat nehézsége abban rejlik, hogy nemlineáris programozási feladatra vezet vissza a súlyok megkeresését.

A DEA-modell lehetséges súlyainak vektora az (1)-(2) egyenletrendszerrel határozható meg. Míg az (1) egyenlőtlenség a DEA-hatékonyság felső határát, azaz egyet mutatják, addig a (2) egyenlőtlenség a nem negatív súlyokat határozza meg. A DMU-k száma  $p$ , az  $y_j$  vektor pedig a  $j$ -edik DMU, jelen esetben az ország értékei. Az  $y_j$  vektorok az  $Y$  mátrixban foglalhatók össze. Az  $u$  vektor a DEA súlyokat tartalmazza. A DEA/WEI-súlyok egyenlőek az  $u \cdot Y$  vektorral.

$$u \cdot y_j \leq 1; j = 1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

$$u \geq 0. \quad (2)$$

A lehetséges DEA-modellek célfüggvényeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat

### A felhasznált DEA-modellek célfüggvényei, 2020

Objective functions of the used DEA models, 2020

DEA-modellek	Célfüggvények ( $F_i(u)$ )	Irodalom
Maximin-model (1.)	$F_1(u) = \min_{1 \leq j \leq p} u \cdot y_j \rightarrow \max$	Podinovski–Athanasopoulos (1998)
Közös súlyok módszere (2.)	$F_2(u) = u \cdot Y \cdot \mathbf{1} \rightarrow \max$	Liu–Peng (2008)
Kompromisszumprogramozás 1 ideális ponttal (3., 4.)	$F_3(u) = d_2(u \cdot Y; \mathbf{1}) \rightarrow \min$ $F_4(u) = d_{+\infty}(u \cdot Y; \mathbf{1}) \rightarrow \min$	Kao–Hung (2005)
Kompromisszumprogramozás $E^*$ ideális ponttal (5., 6.)	$F_5(u) = d_2(u \cdot Y; E^*) \rightarrow \min$ $F_6(u) = d_{+\infty}(u \cdot Y; E^*) \rightarrow \min$	Kao–Hung (2005)

Tanulmányunkban hat rangsort helyezünk górcső alá. Ennek oka, hogy a Manhattan-távolságok közös súlyelemzésének eredménye mindkét ideális vektorra, azaz

az  $E^*$  DEA-hatékonyságra és az 1-es összegző vektorra is ugyanazt az eredményt adja (Toloo 2014). A kompromisszumprogramozás távolságfüggvényei a következők:

$$\text{Euklideszi távolság } (k = 2): d_2(\mathbf{u} \cdot \mathbf{Y}; \mathbf{E}) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j - E_j)^2},$$

$$\text{Csebisev-távolság } (k = +\infty): d_{+\infty}(\mathbf{u} \cdot \mathbf{Y}; \mathbf{E}) = \max_{1 \leq j \leq p} |\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j - E_j|,$$

ahol az  $E$  vektor egy lehetséges ideális hatékonysági vektor, amely megegyezhet az  $E^*$  vagy az 1 hatékonysági vektorokkal.

### Rangsorolás DEA/WEI- és CWA-módszerekkel

A DEA/WEI-modell esetében a Manhattan-távolság minden ideális pontra ugyanazt az eredményt adja, így a DEA-hatékonyság és a maximális hatékonyság vektorai megegyeznek. Ezért elegendő a közös súlyelemzés módszerével kapott hatékonyságot meghatározni. Mivel az adott hatékonyságok összege nem függ a súlyoktól, elegendő a  $-\mathbf{u} \cdot \mathbf{Y} \cdot \mathbf{1}$  kifejezést minimalizálni, ami azt jelenti, hogy a lineáris függvény mínuszát kell maximalizálni. Ez azt is jelenti, hogy visszakaptuk a CWA-modellt. Ezért a DEA/WEI-modellekben a Manhattan-távolság minimalizálása a CWA-modell optimalizálási problémájához is vezet.

A hat közös súlyozási feladat matematikai képlete a következő:

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{y}_j \leq 1; j = 1, 2, \dots, p. \quad (1')$$

$$\mathbf{u} \geq \mathbf{0}. \quad (2')$$

$$F_i(\mathbf{u}) \rightarrow \min/\max, i=1, 2, \dots, 6. \quad (3')$$

Az 1., 2. feladatokat maximalizálni, míg a 3., 4., 5. és 6. feladatokat a távolság miatt minimalizálni kell. A függvények analitikus formáját a 2. táblázat tartalmazza.

### Rangsorolás a TOPSIS-módszerrel

A TOPSIS-módszer három lépésben határozza meg az országok sorrendjét. Ezt a következőkben ismertetjük (a módszer bővebb leírását lásd Bánhidi–Dobos 2021b). Megjegyezhető, hogy noha tanulmányunkban az egyes változók súlyát az entrópia alapú módszerrel határozzuk meg, a TOPSIS-módszer elviekben más objektív, szubjektív vagy integratív súlyképzési módszerekkel kombinálva is alkalmazható.

*Első lépésben* az alapadatokat normalizáljuk. Tegyük fel, hogy az  $i$  kritérium adatait az egyes országok szerint az  $\mathbf{x}_i$  vektor tartalmazza. (Az alkalmazott adatokat a Függelék F1. táblázata mutatja.) Ezután az adatátalakítás a következő:

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

ahol az  $i$  ismérv minimális és maximális értéke  $x_j^{\min}$  és  $x_j^{\max}$ , az  $n$  az országok száma, az  $m$  pedig az ismérvek/dimenziók száma. Ezzel az átalakítással az egyes ismér-



vek értékeit országonként  $[0,1]$  intervallumra alakítottuk át. Legyen az új vektorok értéke  $y_i$ .

A *második lépésben*, ismerve az egyes változók (esetünkben dimenziók) értékeit, az entrópia alapú módszerrel meghatározzuk a változók súlyát (Zou et al. 2006). Az átalakítás képlete a következő:

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

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 egyenlő:  $z_{ji} = w_i \cdot y_{ji}$ . Ezután az ideális és a legalacsonyabb pontokat a  $z_{ji}$  értékek segítségével határozzuk meg.

Végül a *harmadik lépésben* a súlyozott adatok alapján meghatározzuk a hatékonysági indexet az ideális ( $I_i$ ) és a legalacsonyabb ( $N_i$ ) pontok felhasználásával, amelyeket a következő módon számítunk ki:

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

A  $j$ -ik ország távolságát az ideálistól és a legalacsonyabb ponttól 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-modell  $E_j$  hatékonyságának kiszámítása, amely megmutatja a két meghatározott ponttól való távolság arányát:

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

## Eredmények

### DEA/WEI- és CWA-hatékonyságok, súlyvektorok és korreláció

A módszertan leírása után ismertetjük az adatállományon végzett számítások eredményeit. A részletes számításokat elhagyjuk.

A programozási modellek megoldásait (hatékonyságokat) a Függelék F2. táblázatában mutatjuk be, ami tartalmazza a hat közös súlyozási módszerrel kapott hatékonysági megoldást. A közös súlyozási módszerek által meghatározott hatékonyságok és a DEA-hatékonyság közötti lineáris kapcsolat esetében kétféle összefüggés jöhet számításba.

A 3. táblázat a Pearson-féle korrelációt szemlélteti. Mivel ezek a hatékonyságok folytonos változók, a Pearson-korreláció használható. A korrelációk magas, 0,8 fe-

letti értéket mutatnak. Az a kérdés is feltehető, hogy érdemes-e hatékonyságokat számítani a DEA-hatékonyságok meghatározása nélkül. Ha  $p$  DMU (esetünkben ország) van, abban az esetben, ha a DEA-hatékonyságot ideális virtuális DMU-nak tekintjük, akkor először ezeket a hatékonyságokat kell meghatározni, ami  $p$  lineáris programozás (LP) megoldását jelenti. A közös súlyok kiszámítása egy további LP megoldása. Ezzel szemben, ha csak a maximálisan elérhető hatékonyságot, azaz az egyes hatékonyságot, a lehetséges hatékonyságtól való távolságot határozzuk meg, akkor csak egyetlen (nem)lineáris programozási problémát kell megoldani.

3. táblázat

**Pearson-korreláció az I-DESI és a hat DEA-hatékonyság közös súlyai között,  
2020**

Pearson correlation between joint weights of I-DESI and six DEA efficiencies, 2020

Pearson	Manhattan	Euklideszi	Csebisev
$E^*$	0,823 <sup>a)</sup>	0,845	0,952
1	0,842	0,842	0,823

a) Manhattan-távolság helyett a Maximin-modell megoldása szerepel.

A 3. táblázatban szereplő eredmény azt mutatja, hogy a Csebisev-távolság optimális megoldása az  $E^*$  vektortól való távolság minimalizálásával 0,952-es korrelációt mutat, ami nagyon erősnek tekinthető. Az  $1$  vektortól való legmagasabb korrelációval rendelkező hatékonyság 0,842-es értéket ad, ami szintén viszonylag magas. A két különböző számítási hatékonyság nem tér el jelentősen az I-DESI-értéktől. Ez arra utalhat, hogy nem szükséges az összes  $p$  DEA-hatékonyságot meghatározni, ami idő- és költségmegtakarítást eredményezhet.

A Kendall-féle  $\tau$ -b korreláció a rangsorok közötti összefüggést fejezi ki (4. táblázat). Ez a korreláció erős sztochasztikus (lineáris) kapcsolatot mutat, ha 0,7-nél nagyobb, és az I-DESI-adatok esetében közel esnek ehhez az értékhez. Az említett Csebisev-távolsággal kapott eredmény a legmagasabb korrelációjú a hat közös súlyozás közül, 0,826-es az értéke. Ez szintén a legjobb lineáris kapcsolatot biztosítja a DEA-hatékonysággal.

4. táblázat

**Kendall-féle tau-b korreláció az I-DESI hatékonyság és a közös súlyok között,  
2020**

Kendall's tau-b correlation between I-DESI efficiency and joint weights, 2020

Kendall	Manhattan	Euklideszi	Csebisev
$E^*$	0,669 <sup>a)</sup>	0,693	0,826
1	0,689	0,687	0,669

a) Manhattan-távolság helyett a Maximin-modell megoldása szerepel.

Végül, vessük össze a hat DEA-modell súlyvektorait. Amint azt az 5. táblázat mutatja, a Maximin és az egységvektortól mért távolságú Csebisev-modell eredménye azonos, akárcsak az egységvektortól mért euklideszi távolságmodell és a DEA/CWA-modellé. Ez azt jelenti, hogy adatainkra a hat modell csak négy különböző megoldást adott.

5. táblázat

**A digitális dimenziók kiszámított DEA közös súlyai és egyre normalizált arányuk, 2020**  
The computed DEA joint weights of the digital dimensions and their increasingly normalized ratio, 2020

Súlyok	Internet-hozzáférés	Humán tőke	Internetes szolgáltatások használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgáltatások
Maximin	1,247	0,000	0,000	0,000	0,108
	0,920	0,000	0,000	0,000	0,080
Csebisev 1	1,247	0,000	0,000	0,000	0,108
	0,920	0,000	0,000	0,000	0,080
Euklideszi 1	1,246	0,156	0,000	0,000	0,000
	0,889	0,111	0,000	0,000	0,000
DEA CWA	1,246	0,156	0,000	0,000	0,000
	0,889	0,111	0,000	0,000	0,000
Euklideszi E*	1,243	0,145	0,000	0,006	0,005
	0,888	0,104	0,000	0,004	0,004
Csebisev E*	0,944	0,000	0,029	0,279	0,127
	0,685	0,000	0,021	0,202	0,092

A Függelék F1. táblázatában szerepelnek az EB által meghatározott súlyvektorok. Összehasonlításként megállapíthatjuk, hogy amíg az EB súlyvektorai nagyon kiegyensúlyozottak, addig a modelljeink mindegyikében az Internet-hozzáférés dimenzió súlyvektora a legnagyobb, minden esetben legalább 2/3-os (de a legtöbb modellben 90% körüli súlyt kap). Ugyanakkor az Internetes szolgáltatások használata dimenzió csupán egyetlen modellben (és abban is igen csekély hozzájárulással) kerül be súlyozottan a hatékonyságot meghatározó dimenziók közé.

További érdekességként megállapíthatjuk, hogy a DEA-hatékonyságtól mért legkisebb Csebisev-távolságmodell súlyai fekszenek az EB által megadott közös súlyokhoz a legközelebb, bár azoknál jóval kevésbé kiegyensúlyozottak, ebben a modellben is messze az Internet-hozzáférés kapja a legnagyobb súlyt. Mindazonáltal a súlyvektorok eltérése az EB által meghatározott súlyoktól általában nem befolyásolja jelentős mértékben az egyes országok rangsorbeli helyzetét. Magyarország például az említett hat modell közül ötben a 37. vagy a 38., a hatodikban a 33. helyezést éri el, míg az EB eredeti rangsorában a megosztott 32–34. helyen áll.

## TOPSIS-hatékonyságok, súlyvektorok és korreláció

Az objektív súlyokat a 6. táblázatban, míg magukat a TOPSIS-hatékonyságokat a Függelék F2. táblázatában mutatjuk be.

6. táblázat

### A digitális dimenziók kiszámított TOPSIS súlyai, 2020 Calculated TOPSIS weights of digital dimensions, 2020

Megnevezés	Internet-hozzáférés	Humán tőke	Internetes szolgáltatások használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgáltatások
Súlyok	0,172	0,196	0,200	0,249	0,184

A dimenziók súlyai közül a legnagyobb a Digitális technológiák integráltsága (csaknem 1/4-es súllyal), amelyet az Internetes szolgáltatások használata és a Humán tőke követ (1/5 körüli súllyal). Ez azt jelenti, hogy a digitális technológiákat a vállalkozások és a polgárok által hatékonyan kihasználó, az oktatás terén magas fejlettségű országok állnak a lista élén. Ezeknél valamivel kisebb súlyt kapnak a Digitális közszolgáltatások és az Internet-hozzáférés dimenziók. Míg az EB által meghatározott súlyvektorral összevetve az a legfeltűnőbb különbség, hogy az EB az alapinfrastruktúra és a képzettség dimenziójának adott 1/5-nél nagyobb súlyt, addig a TOPSIS a vállalati alkalmazásoknak. Magyarország a TOPSIS-rangsorban a 34. helyen áll 45 ország között, ami gyenge-közepes fejlettségi szintnek felel meg, és majdnem teljesen megegyezik az EB eredeti rangsorában elfoglalt helyezésével. Ezzel kapcsolatban megjegyezhető, hogy az egyes alapidimenziók közül Magyarország a Digitális technológiák integráltsága dimenzióban éri el a legkedvezőbb (25.) helyezést, így a magyar helyezés szempontjából kedvező ennek felülsúlyozása az EB által ajánlott súlyvektorhoz képest. A Digitális közszolgáltatások dimenzió nagyobb súlya viszont kedvezőtlenül érinti hazánk helyezését.

7. táblázat

### Kendall-féle tau-b korreláció az TOPSIS-hatékonyság és a DEA közös súlyok hatékonysága között, 2020

Kendall's tau-b correlation between the TOPSIS efficiency and the efficiency of DEA joint weights, 2020

Kendall	Manhattan	Euklideszi	Csebisev
$E^*$	0,669 <sup>a)</sup>	0,691	0,812
1	0,686	0,685	0,669

a) Manhattan-távolság helyett a Maximin-modell megoldása szerepel.

A 7. táblázat a közös súlyozási módszerek által meghatározott hatékonyságok és a TOPSIS-hatékonyság közötti lineáris kapcsolatot mutatja be a Kendall-féle tau-b korreláció segítségével. A legmagasabb korrelációt (0,812) ismét a Csebisev-távolság

optimális megoldása az  $E^*$  vektortól való távolság minimalizálásával kapjuk, ami erős sztochasztikus kapcsolatot mutat.

A Függelék F1. ábráján az adatbázis (I-DESI jelentés) 45 országát a TOPSIS-hatékonyságok alapján értékelt digitális fejlettség rangsora alapján soroltuk 9, egyenként öt országból álló csoportba, amelyek közül a legfejlettebb (0,75-nél magasabb TOPSIS-hatékonysággal) az Egyesült Államokat, Dániát, Hollandiát, Finnországot és Svédországot; a legkevésbé fejlett a Szerbiát, Lengyelországot, Horvátországot, Chilét és Törökországot magában foglaló csoport. Magyarország – Lettországgal, Romániával, Portugáliával és Görögországgal együtt – a 7. csoportba került.

## Összegzés

DEA-modelljeink, noha a súlyvektorokat illetően viszonylag jelentős mértékben különböznek az EB által meghatározott súlyoktól, összességében nem vezetnek az eredeti I-DESI-modelltől (scoring modell) nagymértékben eltérő eredményekhez (Magyarország rangsorbeli helyezése például soha nem rosszabb a 38.-nál).

A Pearson-korrelációk alapján megállapítható, hogy a modellekben felhasznált két különböző számítási hatékonyság nem mutat jelentős különbségeket. Ez arra utalhat, hogy nem szükséges az összes  $p$  DEA-hatékonyságot meghatározni, ami idő- és költségmegtakarítást eredményezhet. A legmagasabb korrelációs együtthatót a Csebisev-távolság optimális megoldásával az  $E^*$  vektortól való távolság minimalizálásával kaptuk, mind a Pearson-korreláció, mind a Kendall tau-b korreláció esetében.

A TOPSIS-módszerrel számított súlyaink az EB által meghatározott eredeti súlyvektorhoz hasonlóan (de a DEA-modellekével ellentétben) viszonylag kiegyensúlyozottak, azonban nagyobb súlyt helyeznek a digitális technológiák üzleti és magáncélú felhasználására, mint az EB, amely az alpinfrastruktúra és kompetenciák dimenziójának adja a legnagyobb súlyt, az alkalmazásoknak pedig kisebb súlyokat. Az eredményül kapott rangsor viszont nagyjából hasonló az EB (scoring modell) eredeti rangsorához, Magyarország helyezése például szinte teljesen azonos (az eredeti rangsorbeli holtversenytől eltekintve). Emellett kijelenthető, hogy a kapott rangsorok viszonylag hasonlóak az alap DEA-moddellel végzett számításaink szerintiéhez is (Bánhidi–Dobos 2021a).

Kutatásunk lehetséges folytatásaként, a 2020-ban kiadott I-DESI 5 alapidimenzióját felhasználó alapmodellünk kibővíthető az aldimenziók vagy az egyedi indikátorok felhasználásával, illetve alapadatként a 2018. és a 2022. évi I-DESI jelentés adatait is használhatnánk (bár sajnos nem mind a 45 ország szerepel mindegyik jelentésben). Emellett az entrópia alapú súlyképzési módszer helyett a TOPSIS-modellünk más szubjektív vagy objektív módszerrel is kombinálható.

## Függelék

F1. táblázat

### A vizsgálat alapadatai (a 2020-as I-DESI adatok, a 2018. évre számítva)

Basic data of the study (data of the 2020 I-DESI, calculated for 2018)

Országok	Internet- hozzáférés	Humán tőke	Internetes szolgáltató- sok használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgálta- tások	I-DESI
Súlyszámok	0,25	0,25	0,15	0,20	0,15	
EU27-átlag	0,62	0,42	0,47	0,41	0,56	0,50
Ausztria	0,60	0,50	0,48	0,43	0,57	0,52
Belgium	0,63	0,33	0,55	0,51	0,43	0,49
Bulgária	0,60	0,37	0,27	0,22	0,49	0,40
Ciprus	0,63	0,41	0,50	0,20	0,64	0,47
Csehország	0,61	0,40	0,45	0,42	0,48	0,47
Dánia	0,73	0,58	0,74	0,66	0,83	0,70
Észtország	0,63	0,49	0,52	0,49	0,77	0,57
Finnország	0,70	0,60	0,58	0,80	0,74	0,68
Franciaország	0,67	0,50	0,41	0,46	0,86	0,57
Görögország	0,59	0,35	0,36	0,13	0,59	0,40
Hollandia	0,64	0,57	0,65	0,83	0,77	0,68
Horvátország	0,57	0,27	0,30	0,27	0,26	0,35
Írország	0,61	0,57	0,51	0,61	0,69	0,60
Lengyelország	0,54	0,30	0,36	0,11	0,52	0,36
Lettország	0,57	0,27	0,48	0,38	0,36	0,41
Litvánia	0,63	0,41	0,49	0,23	0,38	0,44
Luxemburg	0,66	0,57	0,65	0,63	0,59	0,62
Magyarország	0,55	0,31	0,43	0,38	0,37	0,41
Málta	0,70	0,39	0,39	0,31	0,57	0,48
Németország	0,63	0,50	0,54	0,67	0,54	0,58
Olaszország	0,59	0,27	0,34	0,19	0,52	0,38
Portugália	0,58	0,24	0,37	0,39	0,47	0,41
Románia	0,55	0,41	0,46	0,18	0,48	0,42
Spanyolország	0,60	0,39	0,43	0,24	0,71	0,47
Svédország	0,69	0,60	0,64	0,73	0,57	0,65
Szlovákia	0,54	0,29	0,44	0,27	0,41	0,39
Szlovénia	0,59	0,42	0,39	0,39	0,53	0,47
EU-n kívüli átlag	0,59	0,43	0,52	0,46	0,60	0,52
Ausztrália	0,65	0,57	0,52	0,50	0,77	0,60
Brazília	0,46	0,36	0,37	0,10	0,56	0,37
Chile	0,53	0,29	0,25	0,29	0,35	0,35

(A táblázat a következő oldalon folytatódik.)

(Folytatás.)

Országok	Internet-hozzáférés	Humán tőke	Internetes szolgáltatások használata	Digitális technológiák integráltsága	Digitális közszolgáltatások	I-DESI
Dél-Korea	0,69	0,37	0,54	0,35	0,85	0,54
Egyesült Államok	0,70	0,66	0,68	0,73	0,81	0,71
Egyesült Királyság	0,67	0,43	0,61	0,65	0,64	0,59
Izland	0,72	0,51	0,75	0,71	0,38	0,62
Izrael	0,55	0,47	0,64	0,76	0,54	0,58
Japán	0,75	0,42	0,52	0,58	0,60	0,57
Kanada	0,60	0,37	0,62	0,56	0,70	0,55
Kína	0,56	0,47	0,46	0,21	0,63	0,46
Mexikó	0,45	0,34	0,32	0,19	0,58	0,37
Norvégia	0,67	0,47	0,73	0,64	0,77	0,64
Oroszország	0,46	0,37	0,48	0,28	0,61	0,43
Svájc	0,69	0,56	0,64	0,86	0,50	0,66
Szerbia	0,50	0,40	0,32	0,18	0,46	0,38
Törökország	0,43	0,23	0,37	0,24	0,45	0,34
Új-Zéland	0,62	0,46	0,49	0,49	0,67	0,54

Forrás: saját szerkesztés az Európai Bizottság [2021] adatbázisa alapján.

F2. táblázat

**A közös súlyok eredményei országonként, 2020**

Results of the common weights method by countries (data of the 2020 I-DESI)

Országok	Maximin	DEA CWA	Euklideszi E*	Euklideszi 1	Csebisev E*	Csebisev 1	TOPSIS	DEA hatékonyság
Ausztria	0,810	0,826	0,824	0,826	0,773	0,810	0,503	0,831
Belgium	0,832	0,836	0,836	0,836	0,808	0,832	0,467	0,853
Bulgária	0,801	0,805	0,804	0,805	0,698	0,801	0,287	0,805
Ciprus	0,855	0,849	0,847	0,849	0,746	0,855	0,425	0,855
Csehország	0,812	0,822	0,821	0,822	0,767	0,812	0,425	0,822
Dánia	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,837	1,000
Észtország	0,869	0,861	0,861	0,861	0,844	0,869	0,602	0,911
Finnország	0,953	0,966	0,966	0,966	0,995	0,953	0,809	1,000
Franciaország	0,928	0,913	0,913	0,913	0,882	0,928	0,583	1,000
Görögország	0,799	0,790	0,788	0,790	0,679	0,799	0,307	0,799
Hollandia	0,881	0,886	0,887	0,886	0,952	0,881	0,813	1,000
Horvátország	0,739	0,752	0,751	0,752	0,655	0,739	0,204	0,760
Írország	0,835	0,849	0,848	0,849	0,848	0,835	0,650	0,869

(A táblázat a következő oldalon folytatódik.)

(Folytatás.)

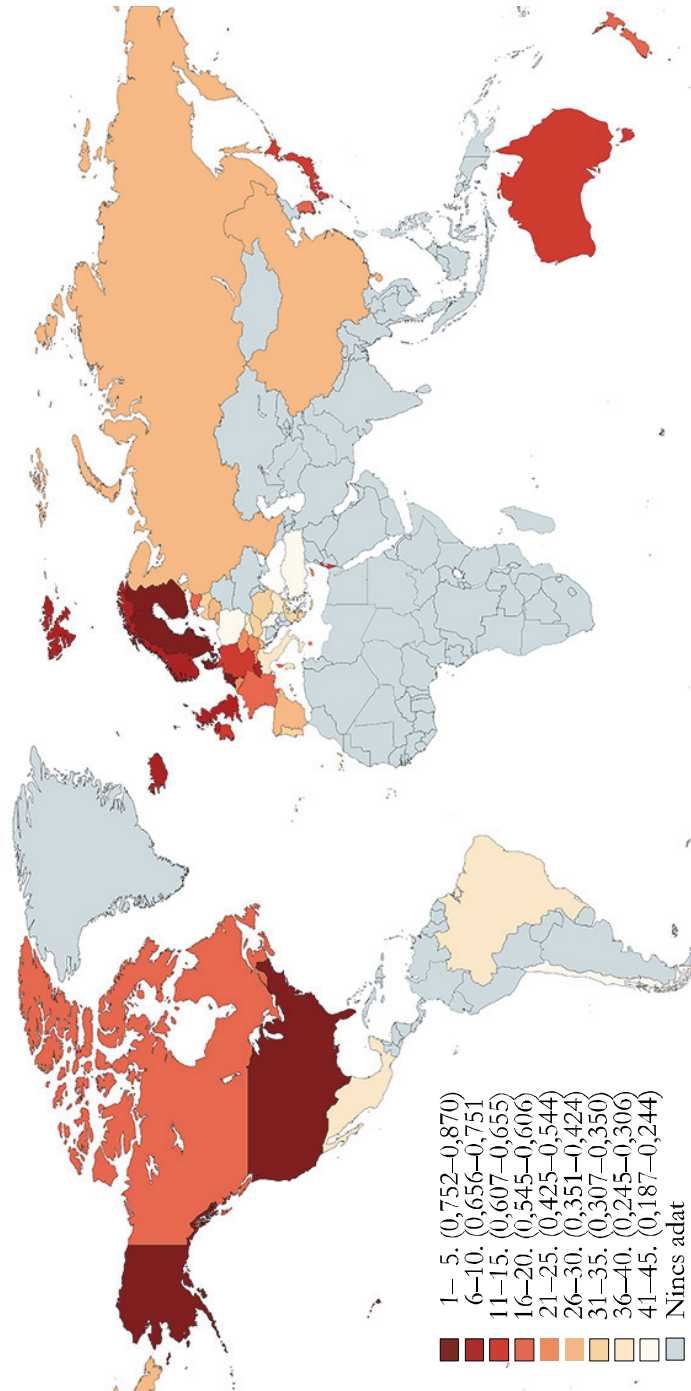
Országok	Maximin	DEA CWA	Euk- lideszi E*	Euk- lideszi 1	Csebisev E*	Csebisev 1	TOPSIS	DEA haté- konyság
Lengyelország	0,730	0,720	0,718	0,720	0,617	0,730	0,235	0,730
Lettország	0,750	0,752	0,752	0,752	0,704	0,750	0,327	0,770
Litvánia	0,827	0,849	0,846	0,849	0,721	0,827	0,366	0,849
Luxemburg	0,887	0,911	0,910	0,911	0,893	0,887	0,707	0,922
Magyarország	0,726	0,734	0,733	0,734	0,685	0,726	0,309	0,739
Málta	0,934	0,933	0,932	0,933	0,831	0,934	0,428	0,934
Németország	0,844	0,863	0,863	0,863	0,866	0,844	0,623	0,886
Olaszország	0,792	0,777	0,777	0,777	0,686	0,792	0,265	0,792
Portugália	0,774	0,760	0,761	0,760	0,727	0,774	0,313	0,774
Románia	0,738	0,749	0,747	0,749	0,644	0,738	0,324	0,749
Spanyolország	0,825	0,808	0,808	0,808	0,736	0,825	0,412	0,845
Svédország	0,922	0,953	0,952	0,953	0,946	0,922	0,752	0,977
Szlovákia	0,718	0,718	0,717	0,718	0,650	0,718	0,269	0,727
Szlovénia	0,793	0,801	0,800	0,801	0,744	0,793	0,404	0,801
Ausztrália	0,894	0,899	0,898	0,899	0,866	0,894	0,645	0,934
Brazília	0,634	0,629	0,628	0,629	0,544	0,634	0,246	0,663
Chile	0,699	0,706	0,705	0,706	0,633	0,699	0,194	0,707
Dél-Korea	0,952	0,917	0,918	0,917	0,872	0,952	0,545	1,000
Egyesült Államok	0,960	0,975	0,975	0,975	0,987	0,960	0,870	1,000
Egyesült Királyság	0,905	0,902	0,903	0,902	0,913	0,905	0,656	0,927
Izland	0,939	0,977	0,975	0,977	0,948	0,939	0,672	1,000
Izrael	0,744	0,759	0,759	0,759	0,818	0,744	0,633	0,946
Japán	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961	1,000	0,607	1,000
Kanada	0,824	0,805	0,807	0,805	0,829	0,824	0,582	0,844
Kína	0,766	0,771	0,769	0,771	0,681	0,766	0,406	0,777
Mexikó	0,624	0,614	0,613	0,614	0,561	0,624	0,245	0,679
Norvégia	0,919	0,908	0,909	0,908	0,930	0,919	0,737	0,985
Oroszország	0,640	0,631	0,630	0,631	0,604	0,640	0,351	0,728
Svájc	0,914	0,947	0,947	0,947	0,973	0,914	0,736	1,000
Szerbia	0,673	0,685	0,683	0,685	0,590	0,673	0,240	0,686
Törökország	0,585	0,572	0,572	0,572	0,541	0,585	0,187	0,585
Új-Zéland	0,846	0,844	0,844	0,844	0,821	0,846	0,550	0,846

Forrás: Saját szerkesztés az Európai Bizottság [2021] adatbázisa alapján.



F1. ábra

**Az I-DESI országok TOPSIS-hatékonysági kategóriáinként, 2020**  
 TOPSIS efficiencies of I-DESI countries by efficiency category, 2020



Forrás: Mapchart.net, saját számítás alapján.

## IRODALOM

- 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. <https://doi.org/10.15196/RS100209>
- BÁNHIDI, Z.–DOBOS, I. (2021a): A DEA módszertan alkalmazása rangsorolásra az EU-28 és Oroszország digitális fejlettségének példáján *Szigma* 52 (4): 383–400.
- BÁNHIDI, Z.–DOBOS, I. (2021b): A digitális fejlődés rangsorolása a DEA-típusú összetett indikátorok és a TOPSIS módszerével *Statisztikai Szemle* 99 (3): 253–265. <https://doi.org/10.20311/stat2021.3.hu0253>
- BÁNHIDI, Z.–DOBOS, I.–TOKMERGENOVA, M. (2021): Russia's place Vis-à-Vis the EU28 countries in digital development: A ranking using DEA-type composite indicators and the TOPSIS method. In: HERBERGER, T. A.–DÖTSCH, J. J.: *Digitalization, digital transformation and sustainability in the global economy* pp. 135–146., Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77340-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77340-3_11)
- CHARNES, A.–COOPER, W. W.–RHODES, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units *European Journal of Operational Research* 2 (6): 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.–SAISANA, M.–SALTELLI, A.–LISKA, R.–TARANTOLA, S. (2007): Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: The case of the technology achievement index *Journal of the Operational Research Society* 59 (2): 239–251. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602445>
- DESPOITIS, D. K. (2005): A reassessment of the human development index via data envelopment analysis *Journal of the Operational Research Society* 56 (8): 969–980. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601927>
- DOBOS, I.–VÖRÖSMARTY, G. (2014): Green supplier selection and evaluation using DEA-type composite indicators *International Journal of Production Economics* 157: 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.026>
- ESSES, D.–SZALMÁNÉ CSETE, M. (2022). A digitális átalakulás és a fenntarthatósági átmenet összefüggéseinek értékelése az Európai Unió fővárosaiban *Területi Statisztika* 62 (6): 683–697. <https://doi.org/10.15196/TS620603>
- FERNANDEZ-CASTRO, A.–SMITH, P. (1994): Towards a general non-parametric model of corporate performance *Omega* 22 (3): 237–249. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(94\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0305-0483(94)90037-X)
- KAO, C.–HUNG, H. (2005): Data envelopment analysis with common weights: The compromise solution approach *Journal of the Operational Research Society* 56 (10): 1196–1203. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601924>
- KOTARBA, M. (2017): Measuring digitalization – key metrics *Foundations of Management* 9 (1): 123–138. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0010>
- LAITSOU, E.–KARGAS, A.–VAROUTAS, D. (2020): Digital competitiveness in the European Union era: The Greek case *Economies* 8 (4): 85. <https://doi.org/10.3390/economies8040085>

- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.09.006>
- LIU, W. B.–ZHANG, D. Q.–MENG, W.–LI, X. X.–XU, F. (2011): A study of DEA models without explicit inputs *Omega* 39 (5): 472–480.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.005>
- MOROZ, M. (2017): The level of development of the digital economy in Poland and selected European countries: A comparative analysis *Foundations of Management* 9 (1): 175–190.  
<https://doi.org/10.1515/fman-2017-0014>
- PODINOVSKI, V. V.–ATHANASSOPOULOS, A. D. (1998): Assessing the relative efficiency of decision making units using DEA models with weight restrictions *Journal of the Operational Research Society* 49 (5): 500–508.  
<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600543>
- ROLL, Y.–GOLANY, B. (1993): Alternate methods of treating factor weights in DEA *Omega* 21: 99–109. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(93\)90042-J](https://doi.org/10.1016/0305-0483(93)90042-J)
- TOKMERGENOVA, M.–BÁNHIDI, Z.–DOBOS, I. (2021): Analysis of I-DESI dimensions of the digital economy development of the Russian Federation and EU-28 using multivariate statistics *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика* 37 (2): 189–204.
- TOLOO, M. (2014): *Data envelopment analysis with selected models and applications* SAEI. Vol. 30. VŠB-TU Ostrava, Ostrava.
- ZOU, Z. H.–YI, Y.–SUN, J. N. (2006): Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment *Journal of Environmental Sciences* 18 (5): 1020–1023.  
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(06\)60032-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(06)60032-6)

## INTERNETES HIVATKOZÁS

- EURÓPAI BIZOTTSÁG (2021): *International digital economy and society index 2020* SMART 2019/0087. A study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology by: Tech4i2.  
<https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/72352>  
(letöltve: 2022. május)