

A RELATÍV HATÉKONYSÁGVIZSGÁLAT (DEA) ALKALMAZÁSA ÜZLETI SZIMULÁCIÓS JÁTÉKBAN NYÚJTOTT TELJESÍTMÉNY ÉRTÉKELÉSÉRE

APPLYING DEA FOR PERFORMANCE EVALUATION IN BUSINESS SIMULATION GAMES

Az üzleti szimulációs játékokban résztvevők teljesítményének értékelése nehéz feladat a szubjektív értékelési szempontok és a nehezen aggregálható kvantitatív információk miatt. A cikk célja annak bemutatása, hogyan alkalmazható a relatív hatékonyságvizsgálat (DEA) a szimulációs játékokban résztvevők teljesítményének átfogó értékelésére. A cikk áttekinti a szimulációs játékok jelentőségét az oktatásban, valamint az eredmények kiértékelésének problémáit és gyakorlatát. A tanulmányban állandó skálahatékonyságú, inputorientált, radiális DEA-modell segítségével elemzik a szerzők egy termelés-szimulációs játékban részt vevő hallgatók teljesítményét. Az értékelés sajátos szempontjait figyelembe véve súlyszámkorlátok alkalmazásával oldják meg, hogy valamennyi fontos értékelési kritérium szerepeljen a vizsgálatban. Az ismertetett módszer egyrészt új utat nyithat a szimulációs játékok résztvevőinek teljesítményértékeléséhez, továbbá a DEA egy eddig fel nem tárt új alkalmazási lehetőségére is rámutat. A teljesítményt átfogóan jellemző hatékonysági mutatón túl, a nem hatékony működés okai, és a mintaként szolgáló döntési stratégiák is azonosíthatók, továbbá a teljesítményjavítás útjai feltárhatók.

Kulcsszavak: teljesítményértékelés, üzleti szimulációs játék, teljesítményértékelés, termelésmenedzsment, relatív hatékonyságvizsgálat, lineáris programozás

Evaluating the performance of participants in a business simulation game is a particularly difficult task because of the many subjective evaluation criteria and the difficulty of aggregating quantitative information. The purpose of this article is to show how data envelopment analysis (DEA) can be used to comprehensively assess the performance of participants in simulation games. The paper presents the performance evaluation of master students participating in a production simulation game using a constant return to scale, input-oriented radial DEA model. Taking into account the specific aspects of the evaluation, weight limits are applied to ensure that all relevant evaluation criteria are included in the analysis. The presented method could open up a new way of evaluating the performance of business simulation game participants, as well as indicates a new application area of DEA that has not been discovered yet.

Keywords: business simulation game, performance evaluation, operations management, data envelopment analysis (DEA), linear programming

Finanszírozás/Funding:

A szerzők a tanulmány elkészítésével összefüggésben nem részesültek pályázati vagy intézményi támogatásban. The authors did not receive any grant or institutional support in relation with the preparation of the study.

Szerzők/Authors:

Tamás Alexandra, PhD-hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, (tamasa@mvt.bme.hu)
Dr. Koltai Tamás, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, (koltai@mvt.bme.hu)

A cikk beérkezett: 2019. 08. 06-án, javítva: 2019. 12. 01-én, elfogadva: 2020. 10. 14-én.

This article was received: 06. 08. 2019, revised: 01. 12. 2019, accepted: 14. 10. 2020.

A szimulációs játékok alkalmazása a felsőoktatásban az utóbbi évtizedekben egyre népszerűbbé vált (Deshpande & Huang, 2011; Lean, Moizer, Towler & Abbey, 2006). Számos tanulmány kimutatta, hogy ezen játékok használata pozitív hatással van a tanulási folyamatra (Belanich, Sibley & Orvis, 2004; Lieberman & Linn, 1991;

Moreno & Mayer, 2000). Ennek köszönhetően a szimulációs játékok a hagyományos oktatási módszerek hatékony kiegészítői (Garard, Lippert, Hunt & Paynton, 1998). Sok kutatás foglalkozik a szimulációs játékokban részt vevő hallgatók teljesítményének értékelésével, a játék során elért fejlődésük vizsgálatával (Adams, 1998; O’Neil, Wa-

iness & Baker, 2005). A teljesítményértékelés azonban nagyon bonyolulttá válik, ha egyszerre több egymáshoz ellentmondó értékelési kritériumot kell figyelembe venni.

Jelen tanulmány egy szimulációs játékban részt vevő diákcsoportok teljesítményértékelését mutatja be a relatív hatékonyságvizsgálat, angol nevén a Data Envelopment Analysis (DEA) segítségével. A cikk célja egy olyan új értékelési módszer ismertetése, amely egyszerre több szempont figyelembevételét teszi lehetővé az értékelés során, a szempontok súlyozásakor objektív (kizárólag kvantitatív információkra épülő) eszközöket használ, továbbá segíti a problémás területek gyors és hatékony feltárását.

A továbbiakban először áttekintjük a szimulációs játékok menedzsment területén történő alkalmazásának szerepét és hatását, valamint a szakirodalomban található értékelési módszereket. Ezt követően bemutatjuk, hogy a DEA hogyan alkalmazható egy üzleti szimulációs játék eredményeinek értékelésére. Különböző, az értékelési céloknak megfelelő DEA-modelleket alkalmazunk, amelyeket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vezetés és szervezés mesterképzésében rendszeresen használt termelési szimulációs játék példáján keresztül mutatunk be.

Az alkalmazott termelészimulációs játék keretében gépjárműmotorok gyártásakor kell hallgatói csoportoknak döntéseket hozniuk a következő termelési időszak működési teljesítményének növelése érdekében. Ismertetjük a részt vevő hallgatók eredményeinek értékeléséhez javasolt DEA-modelleket, valamint az elemzéssel kapható információkat. A DEA-alkalmazás lehetőségét három év adatainak felhasználásával illusztráljuk, melynek során azonosítjuk a részt vevő csapatok legjobb gyakorlatait és magyarázatot keresünk a legjobb gyakorlatoktól való eltérésekre.

A cikk rávilágít arra, hogy a relatív hatékonyságvizsgálat (DEA) alkalmazása az üzleti szimulációs játékok teljesítményértékeléséhez a DEA-alkalmazás egy új és ígéretes területének tekinthető.

A szimulációs játékok szerepe a felsőoktatásban

A szimulációs játékok újfajta tanítási módszertant tesztítenek meg, a kapcsolódó tantárgyakban elsajátított ismeretek jobb megértését és alkalmazását szolgálják. Pedagógiai eszközként használva, a szimulációs játékok kiegészítik a hagyományos oktatási módszereket, és hozzájárulnak a különböző tudományágakból nyert ismeretek integrálásához, a tantárgyak ismeretanyagai közötti összefüggések megértéséhez.

Számos kutatás foglalkozik a módszer lehetséges előnyeinek feltárásával. A szimulációs játékok jól alkalmazhatók a diákok bevonására, motiválásukra, továbbá lehetőséget adnak az elmélet és a valós problémák összekapcsolására (Ben-Zvi, 2010). A szimulációs játékok olyan dinamikus szituációba helyezik a diákokat, amelyben képesek megtapasztalni a különböző döntések és stratégiák hatásait egy virtuális versenykörnyezetben, valódi környezeti nyomás nélkül (Lewis & Maylor, 2006). Bár nincs bizonyíték arra, hogy a játékok jobb eszközök lenné-

nek, mint a hagyományos oktatási módszerek (Parasuraman, 1980), világszínvonalú egyetemeken is széles körben alkalmazzák azokat. A játékok használata lehetővé teszi a diákok számára, hogy kockázatmentes környezetben tapasztalják meg a döntéshozatalt és annak következményeit az azonnali visszajelzés lehetőségével, miközben más alapvető készségeket is fejlesztenek, mint például az időgazdálkodás, a csapatépítés és a tárgyalási technikák (Tiwari, Nafees & Krishnan, 2014). Tekintettel arra, hogy a vezetésfejlesztésben is elterjedt az üzleti szimulációkra épülő tréningek alkalmazása (Kárpáti Daróczy, Vágány & Fenyvesi, 2016), a szimulációs játékok a vezetőképzéssel foglalkozó felsőoktatási intézmények számára értékes eszközt jelenthetnek.

A szimulációs játékok oktatási célú felhasználása a háborús játékok használatából ered az 1600-as évekből (Gredler, 2004). Az operációkutatás és a számítógépes technológia fejlődése több üzleti szimulációs játék kialakulását eredményezte, kezdve az 1956-os AMA Top Management döntési szimulációval (Cohen & Rhenman, 1960). Az általános menedzsment jellegű játékok mellett számos funkcionális területre fókuszált játékot dolgoztak ki és ezek közül sokat használnak a termelés- és szolgáltatásmenedzsmentben (Riis, Smeds, Johansen, & Mikkelsen, 1998). Az egyik első üzleti szimulációs játék a Sloan School of Managementben, az 1960-as években kifejlesztett és Magyarországon is több intézményben alkalmazott (Kovács, 2010; Kovács, 2011; Bóna, Kovács & Lénárt, 2009) sörös játék („beer game”), melynek célja az ellátási láncokban tapasztalható ostorcsapáshatás megismeretése (Goodwin & Franklin, 1994). Ugyancsak széles körben ismert a Just-in-Time termelési rendszerre vonatkozó papírpohár gyártási játék („cuppa manufacturing game”), vagy a lean menedzsment témájához illeszkedő vörös gyöngy kísérlet („red bead experiment”) (Ammar & Wright, 1999). Deshpande & Huang (2011) tanulmánya a mérnökökben alkalmazott szimulációs játékok gyakorlatát mérte fel, számos példát összegyűjtve a szakirodalom áttekintésével. Nagyszámú alkalmazott játékot találtak, többek között a gépész, informatikai, építész, környezetvédelmi és vegyész mérnöki oktatásban.

A szimulációs játékok értékelésének módszerei

Sok tanulmány a szimulációs játékok hatékonyságának értékelésére összpontosít. Pasin & Giroux (2011) tanulmányukban egy új szimulációs játék bevezetését és annak hatását vizsgálják a termelés- és szolgáltatásmenedzsment oktatására azáltal, hogy olyan technikai hibákat elemeznek, melyeket a hallgatók követtek el a játék egymást követő szakaszaiban. Rosa & Vianello (2014) olyan távoktatási módszert vizsgált, amely a számítógépes szimulátort alkalmazza fő tanulási eszközként. A módszer hatékonyságát elő- és utóvizsgálatokkal mérik, ami azt jelenti, hogy a tanulóknak a kurzus előtt és után kérdőíveket kellett kitölteniük a módszerrel kapcsolatos benyomásokról. Az ilyen típusú kutatások azt mutatták, hogy az üzleti szimulációs játékok sokkal érdekesebbé teszik az oktatást és jobban motiválják a hallgatókat, mint a hagyományos oktatási módszerek, ezért pedagógiai alkalmazásuk ajánlott.

Más kutatások a szimulációs játékok során elért teljesítmény értékelésén alapulnak. Hand & Sims (1975) bemutatja például, hogy a path analízis (út- vagy pályaanalízis) megfelelő technika a játékokban elért teljesítményadatok elemzéséhez. Anderson (2005) lineáris regressziós módszert alkalmaz a szimulációs teljesítmény értékelésére. Peters & Vissers (2004) a „debriefing”-et (a hallgatók kikérdezését rövidebbel a játék után) tekintik a teljesítményértékelés fő módszerének.

A szimulációs játékokban részt vevő csapatok vagy egyének teljesítményének értékelését ki kell egészíteni a játék során előforduló, a tanulási folyamathoz kapcsolódó, speciális értékelési kritériumokkal. A teljesítményértékelés azonban nagyon bonyolulttá válik, ha egyszerre több értékelési kritériumot kell figyelembe venni. Ilyen esetekben általában pontozási módszereket („scoring methods”) alkalmaznak. A pontozási módszerek a teljesítményadatokat egy közös skálára transzformálják szubjektív súlyok segítségével. A relatív hatékonyságelemzés (DEA) is egyfajta pontozási módszer, amelynél azonban a súlyszámok meghatározása objektív matematikai módszerrel történik. A továbbiakban bemutatjuk, hogy a DEA miként alkalmazható egy termelésszimulációs játékban elért eredmények értékelésére.

A relatív hatékonyságvizsgálat (DEA)

A Farrell (1957) munkáján alapuló, Charnes, Cooper & Rhodes (1978) által formalizált, majd Banker, Charnes & Cooper (1984) által továbbfejlesztett módszer egy olyan teljesítményértékelő technika, amely sok esetben szolgálhat döntéstámogató eszközként a menedzsment számára. A DEA képes összehasonlítani egymással számos, egyszerre több inputtal és outputtal rendelkező, homogén szervezeti egység hatékonyságát. Segíti a menedzsment döntéshozatalát olyan teljesítménystandardok kijelölésében, amelyek egyaránt megvalósíthatók és kívánatosak a szervezet számára. A DEA segítségével azonosíthatók a hatékonyan teljesítő szervezeti egységek, valamint iránymutatást ad a nem hatékony egységeknek azáltal, hogy referenciacsoportokat határoz meg számukra. A referenciahalmazban szereplő szervezeti egységek segítik a kiválasztott teljesítménystandardok meghatározását és elérésének módját.

A DEA alkalmazási területei

A DEA alkalmazása ma már nagyon széles körű, számos területen általánosnak tekinthető (Liu, Lu, Lu & Lin, 2013). A bankszektorban, az egyik első tanulmány Sherman és Gold (1985) nevéhez fűződik, amely egy klasszikus DEA-modellt használt a bankfiókok hatékonyságának összehasonlítására. Azóta a bankszektor vizsgálata DEA segítségével az egyik legnépszerűbb területnek tekinthető (lásd például Seiford & Zhu, 1999; Fukuyama & Matousek, 2017; Maradin, Drazenovic & Benkovic, 2018; Ofori-Sasu, Abor & Mensah, 2019). Egészségügyi alkalmazásoknál a DEA-t széles körben használják, például kórházak, rehabilitációs osztályok (Dénes, Kecskés, Koltai & Dénes, 2017) és ápolási szolgáltatások teljesítményének értékelésében

(Nunamaker, 1983). A mezőgazdasági szektorra jellemző DEA-alkalmazások közül például Lim & Shumway (1992) vagy Iraizoz, Rapun & Zabaleta (2003) arra keresnek választ, hogy miként érhetnek el gazdaságilag jobb eredményeket és magasabb termelékenységet az ágazatban. A közlekedési szektorban, többek között, a légitársaságok (Scheffczyk, 1993) és kikötők (Roll & Hayuth, 1993) teljesítményét, vagy a városi közúti rendszereket (Fancello, Ucheddu & Fadda, 2014) értékelő DEA-alkalmazásokat találhatunk. Mardani, Zavadskas, Streimikiene, Jusoh & Khoshnoudi (2017) az energiaiparban fellelhető DEA-alkalmazásokat vizsgálja. Tanulmányukban számos példán keresztül ismertetik a DEA energiahatékonyság növelését célzó alkalmazását, például környezeti hatékonyság, gazdasági és ökológiai hatékonyság, vagy megújuló és fenntartható energia témákban. Az ellátásilánc-vizsgálatok területén a beszállítók rangsorolása és kiválasztása egy ígéretes új DEA-alkalmazási terület (Vörösmarty & Dobos, 2014; Vörösmarty & Dobos, 2019). Az oktatásban elvégzett teljesítményértékelésnek is széles körű alkalmazási irodalma van. Charnes, Cooper & Rhodes (1981) és Ray (1991) az állami iskolai oktatásban, Johnes (2006) és Avkiran (2001) pedig a felsőoktatásban végzett elemzéseket a DEA felhasználásával. A turizmus területén pedig Rahnema, Yaghoubi & Khaksar Astaneh (2019), valamint Agabo-Mateos, Escobar Pérez & Lobo Gallardo (2014) munkái mutatják be a DEA segítségével nyerhető információkat. Üzleti szimulációs játékok értékelésével foglalkozó alkalmazások is megtalálhatók a szakirodalomban, viszont azok kizárólag pénzügyi eredmények alapján mérik a hatékonyságot (Zhang, Han & Takubo, 2012; Zhang & Han, 2014).

A DEA alapfogalmai

A DEA egy olyan relatív hatékonyságvizsgálati módszer, amely a lineáris programozás technikáit alkalmazza az egymással összehasonlítható entitások teljesítményének értékelésére. A relatív hatékonyságvizsgálat célja azonos tevékenységet végző szervezeti egységek összehasonlítása a szervezeti egység outputjai, valamint az ahhoz felhasznált inputok súlyozott aránya alapján. Az elemzés alapját képező entitásokat *döntéshozatali egységeknek* (Decision Making Unit – DMU) nevezzük. A DMU-k lehetnek szervezetek vagy szervezeti egységek, például kórházak, egyetemek, bankfiókok, tanszékek, de a vizsgálat alanyát képezhetik különböző csoportok, illetve egyének is. A döntéshozatali egység kifejezés arra utal, hogy minden egyes DMU szabadon választhatja ki a bemeneti erőforrásait (input), valamint a kimeneti eredményeket (output). Ez magában foglalja azt a feltételt, hogy a relatív hatékonyságvizsgálat során csak az inputok mennyiségét önállóan meghatározni képes egységek (DMU-k) elemezhetők.

A DEA lineáris programozást használ a relatív hatékonyság vizsgálatához. Az elemzés egy olyan nemnegatív, 0 és 1 között értelmezhető *hatékonysági mutatót* eredményez, amely a vizsgált DMU-k inputjai és outputjai között feltételezett lineáris kapcsolatok alapján határozható meg. A hatékonysági mutató kifejezi, hogy az adott DMU mennyire bizonyult hatékonynak összehasonlítva a vizsgálatba bevont, hasonló DMU-khoz viszonyítva.

A vizsgálatban *outputnak* nevezünk minden olyan, a menedzsment, és így az értékelés számára fontos működési eredményt, amelynek érdekében a szervezeti egységek erőforrásokat használnak fel. Boltoknál például a forgalom nagysága, a vevői elégedettség, a kiszolgálás gyorsasága vagy a bolt forgalmának növekedése lehetnek outputok. *Inputnak* nevezünk minden olyan erőforrást, amelynek felhasználott mennyiségéről a szervezeti egységek szabadon dönthetnek és a menedzsment fontosnak, az értékelés meghatározó tényezőjének tekinti az azokból felhasználott mennyiséget. A példánkban említett boltoknál többek között a működési költségeket meghatározó eladók száma, a bolt területe, vagy a termékek szállítását végző logisztikai eszközök és kiszolgáló személyzet lehetnek inputok.

A DMU-k összehasonlításának alapja az *outputok súlyozott összegének és az inputok súlyozott összegének az aránya*. A súlyszámok meghatározása azonban nem szubjektív, hanem egzakt matematikai eszközökkel történik, az összehasonlítani kívánt szervezeti egységek jellemzői alapján. A súlyozott inputok és súlyozott outputok arányát kétféleképpen számolhatjuk. *Inputorientált* esetben a hatékonyság lényege, hogy az egyes szervezeti egységek adott outputértéket minél kevesebb input felhasználásával tudják elérni. Ebben az esetben a hatékonysági mutató számításakor a súlyozott outputok összegét osztjuk a súlyozott inputok összegével. Eredményül a hatékony DMU-knál a hatékonysági mutató értéke 1, míg az inputokat nem hatékonyan felhasználó DMU-knál 1-nél kisebb. Az így számolt hatékonysági mutató azt fejezi ki, hogy a szervezeti egységeknek milyen mértékű inputfelhasználás javasolt a hatékony működés elérése érdekében.

Amennyiben a cél az inputok rögzített értéke mellett minél nagyobb mennyiségű output kibocsátása, akkor a hatékonysági mutató számításakor a súlyozott inputok összegét osztjuk a súlyozott outputok összegével. Ezt az esetet *outputorientált* közelítésnek hívjuk. Eredményül, a hatékony DMU-knál a hatékonysági mutató értéke 1, míg az outputokat nem hatékonyan előállító DMU-knál 1-nél nagyobb (megjegyezzük, hogy ebben az esetben is 0 és 1 közé szokták transzformálni a hatékonysági mutatót). Az így számolt hatékonysági mutató azt fejezi ki, hogy milyen mértékű kibocsátás lenne javasolt, hogy a jelenlegi input mennyiségének felhasználása hatékony legyen.

Az üzleti szimulációs játékok is felfoghatók egy sajátos DEA-alkalmazási környezetnek, ahol a játékban részt vevő csapatok döntéseket hoznak a játék során felhasználható inputok mennyiségéről és a döntés jóságát a játék eredménye (outputja) jelenti. Ilyenformán a játékban részt vevő egyének/capatok értékelése a hatékonyságvizsgálat segítségével a DEA egy új, eddig nem vizsgált alkalmazási területét jelenti. A következőkben bemutatjuk az ilyen típusú vizsgálatokhoz használható egyszerű DEA-alapmodelleket.

A vizsgálat során alkalmazott DEA-modellek

A cikkben alkalmazott inputorientált, állandó skáláhatékonyságú (CRS) modell elméleti hátterét a súlyszám alak fejezi ki legjobban. A modellek felírásakor használt jelölések jegyzékét az 1. táblázat tartalmazza. Jelölje az egyes

döntéshozatali egységeket (DMU) a j index ($j=1, \dots, J$). Legyen továbbá a szervezeti egység által felhasznált inputok indexe i ($i=1, \dots, I$), az elért eredmények, tehát az outputok indexe pedig r ($r=1, \dots, R$). A j DMU esetén az i inputból felhasznált mennyiség x_{ij} , az r outputból előállított mennyisége pedig y_{rj} . Az x_{ij} adatokat tartalmazó X mátrix, valamint az y_{rj} adatok tartalmazó Y mátrix jelenti az elemzés alapadatait. Az i input súlyszáma legyen u_i , az r output súlyszáma pedig v_r . Az u_i , valamint v_r súlyokat tartalmazó u és v vektorok elemei a feladat változói.

1. táblázat

Alkalmazott jelölések jegyzéke

Indexek:	
j	– döntéshozatali egység (DMU) indexe, $j=1, \dots, J$,
i	– input indexe, $i=1, \dots, I$,
r	– output indexe, $r=1, \dots, R$,
k	– súlyszámok futó indexe.
Paraméterek:	
y_{rj}	– az r outputból a j DMU által előállított mennyiség,
Y	– mátrix, amely a döntéshozatali egységek outputjait tartalmazza,
x_{ij}	– az i inputból a j DMU által felhasznált mennyiség,
X	– mátrix, amely a döntéshozatali egységek inputjait tartalmazza,
LI_{ik}	– az i és k inputok súlyszámarányának alsó korlátja,
UI_{ik}	– az i és k inputok súlyszámarányának felső korlátja,
LU_{rk}	– az r és k outputok súlyszámarányának alsó korlátja,
UO_{rk}	– az r és k outputok súlyszámarányának felső korlátja.
Változók:	
u_i	– az i input súlyszáma,
u	– vektor, amely az egyes inputok súlyszámát tartalmazza,
v_r	– az r output súlyszáma,
v	– vektor, amely az egyes outputok súlyszámát tartalmazza,
θ	– a relatív hatékonyság értéke,
θ^*	– a relatív hatékonyság optimális értéke input orientált közelítésnél,
λ_j	– a j döntéshozatali egység duál változója,
λ	– vektor, amely az input orientált súlyszám modell duál változóit tartalmazza.

Forrás: saját szerkesztés

A döntéshozatali egységek hatékonyságának összehasonlítása a súlyozott output és súlyozott input aránya alapján történik. A hatékonyság mérőszáma tehát a súlyozott output és súlyozott input hányadosa, amely definíció szerint 0 és 1 közötti értékeket vehet fel. Az 1 értéknél a vizsgált DMU hatékony, míg ennél kisebb értéknél nem hatékony. Egy matematikai programozási modell segítségével a súlyszámok olyan értékeit keressük, amelyek mellett egy vizsgált, 0 indexszel jelölt DMU hatékonysági mutatója a lehető legnagyobb. Miután az összes DMU ugyanazt a súlyszámot alkalmazza az összehasonlítás során, valamennyi DMU-nál a súlyozott output és súlyozott input aránya kisebb vagy egyenlő, mint 1. Az így definiált matematikai programozási modell a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \left[\frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^I v_i x_{i0}} \right] \\
 & \frac{\sum_{r=1}^R u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^I v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, J \\
 & u_i, v_r \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

Könnyen belátható, hogy az (1) modellnek végtelen sok megoldása van. Ha ugyanis egy optimális megoldás minden súlyszámát ugyanazzal a számmal megszorozzuk, akkor az egyszerűsítés miatt ugyanazt a célfüggvényértéket kapjuk, más súlyszámértékek mellett. Ha a súlyozott input értékét egyenlővé tesszük 1-el és átrendezzük (1)-et úgy, hogy kiküszöböljük a változókat a nevezőkből, akkor egy egyetlen optimális megoldással rendelkező lineáris programozási (LP) feladatot kapunk. Az így kapott LP feladatot az inputorientált állandó skálahatékonyságú modell primál alakja (súlyszám alakja), ami a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \left[\sum_{r=1}^R u_r y_{r0} \right] \\
 & \sum_{r=1}^R u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^I v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \\
 & \sum_{i=1}^I v_i x_{i0} = 1 \\
 & u_i, v_r \geq 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

A (2) modell $J+1$ feltételi egyenletet és $I+R$ változót tartalmaz. Az optimális megoldás megadja a vizsgált, 0 indexel jelzett DMU relatív hatékonyságát, valamint az inputok és outputok súlyszámait (u , v). Minden egyes DMU-ra megoldva a (2) LP feladatot megkapjuk a DMU-k relatív hatékonyságát. A DMU-k vizsgálata tehát ebben az esetben J darab LP feladat megoldását jelenti.

A gyakorlatban a súlyszámok a hatékonyságjavítást célzó döntéshozatal számára kevés információt tartalmaznak, ezért célszerűbb a (2) LP modell duálisának a megoldása. Ha θ skalárváltozó az inputnormalizálási egyenlet duál változója, valamint λ_j a j DMU-hoz rendelt duál változó, akkor az inputorientált, állandó skálahatékonyságú modell duál alakja a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} [\theta] \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \quad r = 1, \dots, R \\
 & \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, \dots, I \\
 & \lambda_j \geq 0, \theta \leq 0, \theta \geq 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

A (3) LP feladat $R+I$ feltételből és $J+1$ változóból áll. Az optimális megoldás tartalmazza a vizsgált, 0 indexszel jelzett DMU relatív hatékonyságát (θ^*), valamint a λ duál

vektorváltozó optimális értékét. Az optimális megoldás alapján a nem hatékony ($\theta^* < 1$) DMU döntéshozója megtudja tehát, hogy milyen arányban (θ^*) kell valamennyi inputját csökkentenie annak érdekében, hogy hatékonyra váljon. Az optimális megoldás azt is megmondja, hogy milyen arányban kell a hatékony DMU-k inputját kombinálni ahhoz, hogy egy nem hatékony DMU hatékony legyen. A $\lambda_j > 0$ értékkel rendelkező DMU-k alkotják a vizsgált DMU referencialalmazát. A referencialalmazba tartozó DMU-k menedzsmentgyakorlatának felhasználásával válhat egy nem hatékony DMU-hatékonyra. A (3) modellt magalkotóik, Charnes Cooper és Rhodes, nevének kezdőbetűje nyomán CCR-inputmodellnek, a modell megoldásakor kapott θ^* értéket CCR-hatékonyságnak, a kijelölt hatékonysági határt pedig CCR-hatékonysági határnak nevezik (Charnes et al., 1978).

A primál modell megoldásakor gyakran egyes súlyszámok értéke az optimális megoldásban zéró lesz. Ez azt jelenti, hogy a hatékonyság vizsgálatok a vonatkozó inputok és/vagy outputok kimaradnak. E jelenség elkerülése súlyszámkorlátok megadásával érhető el. A súlyszámkorlátos modellt az angol „assurance region” kifejezés alapján AR-modellnek nevezik. A súlyszámkorlát egyik lehetséges megfogalmazása a súlyszámok páronkénti aránytartományának előírása. Az így kapott relatív súlyszámkorlátok az input és output súlyokra a következők:

$$\begin{aligned}
 & LI_{ik} \leq \frac{u_i}{u_k} \leq UI_{ik} \quad i = 1, \dots, I; \quad k = 1, \dots, I; \quad i \neq k \\
 & LO_{rk} \leq \frac{v_r}{v_k} \leq UO_{rk} \quad r = 1, \dots, R; \quad k = 1, \dots, R; \quad r \neq k
 \end{aligned} \tag{4}$$

Az LI_{ik} , UI_{ik} , LO_{rk} és UO_{rk} korlát értékek megadása az értékelést végző feladata.

A cikk további részében az inputorientált, állandó skálahatékonyságú CCR-modell súlyszámkorlát nélküli és súlyszámkorlátos változatát alkalmazzuk egy termelés-szimulációs játékban részt vevő hallgatói csapatok eredményeinek értékelésére.

Egy termelés-szimulációs játék értékelése DEA-val

A DEA alkalmazását üzleti szimulációs játékok eredményének kiértékelésére az Ecosim által kifejlesztett Factory Midi példáján szemléltetjük. A játékot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vezetés és szervezés mesterszakán évek óta alkalmazzuk a Termelési és szolgáltatási döntések elemzése nevű tárgyban. Az évek óta tartó adatgyűjtés lehetővé tette az alkalmazást segítő megfelelő adatbázis kialakítását, valamint különféle vizsgálatok elvégzését. A korábbi kutatások között szerepelt például annak vizsgálata, hogy milyen típusú DEA-mo-dellek alkalmasak a játék kiértékelésére (Koltai & Uzonyi-Kecskés, 2017a), illetve a játék pénzügyi eredménye és DEA eredménye milyen mértékben tér el egymástól (Koltai & Uzonyi-Kecskés, 2017b).

A játék célja termelés-menedzsment döntési környezet szimulálása és a döntések következményeinek elemzése

egy autómotorokat gyártó termelési folyamatban. A gyár három különböző autómotort állít elő, öt különböző piacra. Minden piac sajátos igényjellemzőkkel rendelkezik. A virtuális gyárban a munkások gyártósorokon szerelik össze az autómotorokat. A játékban részt vevő hallgatók (illetve hallgatócsoportok) a gyár menedzsmentjének szerepét töltik be és hét egymást követő periódusban hoznak döntéseket a következő területeken:

- *A három autómotortípusból termelni kívánt mennyiség.* A várható keresletre vonatkozóan előrejelzéseket kell készíteni a korábbi időszakok ismert igényei alapján. A következő periódus termelési mennyiségének meghatározását a várt kereslet, a rendelkezésre álló kapacitások és a periódusvégi készletinformációk alapján határozzák meg.
- *Árak és fizetési feltételek.* A keresletet a kedvező eladási ár és fizetési feltételek ösztönzik. Döntést kell hozni a következő gyártási időszak egységáráról és az ügyfeleknek felajánlott fizetési késedelmi százalékokról.
- *A rendelt alapanyag mennyisége.* A különböző alkatrészcsoportok és alapanyagok rendelési mennyiségét a tervezett termelési mennyiségek, az autómotorok alkatrészszükséglete, valamint a készlet- és pénzügyi információk alapján kell meghatározni.
- *A munkavállalók száma, a műszakok száma és a túlóra.* A termelési mennyiséget a gépek kapacitása és a munkavállalók száma határozza meg. Rövid távon a kapacitás befolyásolható munkavállalók felvételével vagy elbocsátásával, a termelési műszakok számának megváltoztatásával vagy túlórával. Döntést kell hozni a munkaerő szintjéről és a műszakok számáról, valamint a túlóra megengedéséről a következő termelési időszakra vonatkozóan.
- *Beruházások.* Hosszú távon a termelési kapacitás növelhető új gyártósorok kialakításával, valamint a termelésre és a készletezésre rendelkezésre álló terület növelésével. Minden termelési időszakban döntést kell hozni az új gyártósor-létesítmények számáról és a gyár területének méretéről.
- *Hatékonyágnövelő projektek elindítása.* Lehetőség van olyan projektek indítására, amelyek javíthatják a termelési feltételeket. Az előre meghatározott projektek különböző hatásokkal és különböző indítási és fenntartási költségekkel rendelkeznek. Döntést kell hozni arról, hogy mely projektek induljanak el egy adott termelési időszakban.
- *Hitel.* A gyár működésének finanszírozására három különböző hiteltípus áll rendelkezésre. Minden hiteltípusnak eltérő feltételei vannak. Dönteni kell az egyes hitelfajtákból felhasznált összegről és a korábbi hitelek visszafizetéséről.

A döntéshozatalt követően a szimulációs program előállítja a termelési időszak eredményét, amelyet két jelentés foglal össze:

- *Termelési jelentés.* A termelési jelentés a hallgatói csapat adott időszakra vonatkozó döntéseit, valamint a termelési eredményeit tartalmazza. Bemu-

tatja a gyártott és értékesített motorok mennyiségét, a felhasznált alkatrészek mennyiségét és a gyártási időszak végén fennmaradó végtermék- és alkatrész-készleteket. A jelentésben a következő termelési időszakra rendelkezésre álló munkavállalók száma, a gépi kapacitások, a gyártósorok száma és a beruházásra rendelkezésre álló terület nagysága is szerepel.

- *Pénzügyi jelentés.* A pénzügyi jelentés tartalmazza az adott termelési időszakra vonatkozó mérleget, az eredmény- és a cash flow-kimutatást.

A hallgatók a jelentések elemzése és értékelése során több, a mesterképzésben érintett tanulmányi terület (pl. marketing, előrejelzés, kapacitástervezés, vállalati pénzügyek) ismeretét használják fel és ezek alapján végzik a döntéshozatalt a következő periódusra vonatkozóan.

A hallgatói csoportok teljesítményét a hetedik periódus végén az aggregált eredmények alapján értékeljük a DEA segítségével. A hallgatói csapatok alkotják a vizsgált szervezeti egységeket, vagyis a DMU-kat. Az elemzés során két outputot és négy inputot alkalmazunk. A két output a következő:

- *gyártott kumulált mennyiség:* a termelés mennyisége tükrözi a gépi és humán erőforrás-kapacitással kapcsolatos termelésmenedzsment-döntések, az anyagszükséglet-tervezés és a készletgazdálkodás eredményességének hatását,
- *nettó kumulált nyereség:* a profit integrálja a marketing-, a termelési és a pénzügyi döntések hatását.

A négy input a termelési folyamatban felhasznált erőforrások mennyiségét mutatja:

- *létszám:* a munkavállalók összesített száma kifejezi a felhasznált emberi erőforrás mennyiségét,
- *gépkapacitás:* a gépórák összesített száma kifejezi a felhasznált technikai jellegű erőforrások mennyiségét,
- *anyagfelhasználás:* a nyersanyagokra és az alkatrészekre fordított pénzösszeg kifejezi az anyagi erőforrások mennyiségét,
- *hitelfelhasználás:* a hitelek kumulált értéke kifejezi a felhasznált pénzügyi jellegű erőforrások mennyiségét.

A DEA-val kapott eredmények értékelése

Jelen tanulmányban három év adatait (lásd 1. melléklet) felhasználva végzünk elemzéseket a relatív hatékonyságot és a legjobb gyakorlatok azonosítására. Az adatok magyarázatánál szereplő WCU a World Currency Unit rövidítése, amely a szimulációs játékban a pénz értékét kifejező virtuális mértékegység. 2015-ben és 2016-ban egyaránt 19 hallgatói csapat, míg 2017-ben 18 csapat vett részt a szimulációs játékban. Feltételezve, hogy az input- és outputértékek között állandó skálahatékonyság áll fenn, a csapatok eredményét két inputorientált CRS-modell segítségével értékeltük.

Az első modellt az egyszerű CCR-modell (a továbbiakban a jelölése: CRS), míg a második modellt ugyanezen

modell súlyszámkorlátokkal kiegészített változata (a továbbiakban a jelölése: CRS-AR). Az elemzésbe bevont input- és outputtényezők súlyszámára gyakran nullát eredményez az alapmodell, vagyis a hatékonysági mutató kiszámításakor egyes bemenetek és kimenetek nulla súlyal szerepelnek. Ezek az inputok és outputk figyelmen kívül maradnak az értékelés során, ami esetünkben nem összeegyeztethető az értékelési célokkal. A nulla-súlyszám probléma elkerülése érdekében súlyszámkorlátozókat vezettünk be az e célra széles körben alkalmazott „assurance region” modell segítségével (Cooper, Seiford & Tone, 2007). Az inputok súlyszámarányainak tartományaként a [0,1; 10], az outputk súlyszámarányainak tartományaként pedig a [0,25; 4] intervallumot írtuk elő szubjektív megfontolások alapján.

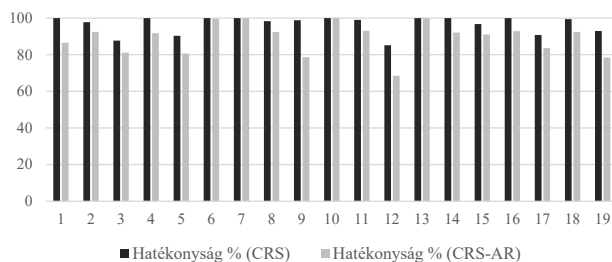
A továbbiakban a két DEA-modell alkalmazásából levonható eredményeket vizsgáljuk. Elsőként bemutatjuk a két modell segítségével kapott hatékonysági mutatókat és megvizsgáljuk ezen eredmények változását a súlyszámkorlát bevezetésekor. Ezt követően a referenciahalmazba tartozó hallgatói csoportokat és a nem hatékony csoportoknál tapasztalható problémák feltárását ismertetjük.

Relatív hatékonyságok alakulása

A CRS és a CRS-AR-modellek segítségével kapott hatékonysági eredményeket az 1. ábra foglalja össze. Az ábra a 2015-ben futó kurzuson részt vevő hallgatók teljesítményét kifejező relatív hatékonyságokat tartalmazza. A vízszintes tengelyen a csapatok sorszáma látható. Az oszlopdiaagramok magassága pedig a két modellel kapott hatékonysági mutatók értékét jelzi. A CRS-moddal megoldásakor 7 csapat bizonyult hatékonnak, míg a CRS-AR-moddal megoldásakor ez a szám 3-ra csökkent. A 7, 10 és 13-as számú csapatok maradtak hatékonyak, bár a 6-os csapat is igen magas, 99,6%-os hatékonysági mutatót ért el. Annak érdekében, hogy magyarázatot találjunk a hatékonyságromlás okára, meg kell vizsgálnunk a függelékben részletezett alapadatokat, valamint érdemes megvizsgálni, hogy a CRS-modell mely input- és outputtényezőket hagyta figyelmen kívül zéró súlyszám megválasztásával a hatékonyság számításakor.

1. ábra

Relatív hatékonyságok alakulása (2015)



Forrás: saját szerkesztés

Példaként vegyük az 1-es számú csapatot. A 2. mellékletben látható módon, az 1-es csapat esetében a CRS-modell nem rendelt nullától eltérő súlyszámot a nettó nyereség

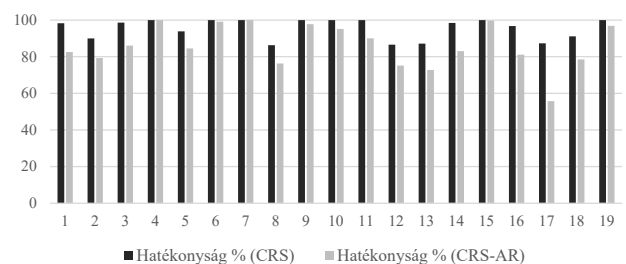
értékéhez, miközben valójában ez a csapat a második legalacsonyabb nettó nyereséget produkálta, ráadásul úgy, hogy két input esetén is kiemelkedő mértékű felhasználás történt (anyag és hitel). Ennek köszönhetően a második modell alkalmazásakor a korábbi 100%-os hatékonyság 86,5%-ra csökkent. Az 1-es csapatról elmondható, hogy a pénzügyi teljesítmény nem áll összhangban az erőforrás-felhasználással, az anyagszükséglet-tervezés, a készletgazdálkodás, valamint a pénzügyi tervezés területén gyenge teljesítményt mutat.

Jelentős hatékonyságcsökkenés tapasztalható a 9-es csapatnál (98,8% → 78,7%), illetve a 12-es csapatnál (85,2% → 68,5%) is. Mindkét csapatnál csupán egy input- és egy outputadat szerepel a CRS-moddal meghatározott súlyszámok miatt a hatékonyság számításában, a többi négy tényezőre a modell zéró súlyszámot határoz meg. Mindkét esetben magas inputfelhasználás figyelhető meg, miközben nettó nyereségük a legalacsonyabb értékek közé tartozik. E csapatoknál a humán-erőforrás- és az anyagszükséglet-tervezés, valamint a pénzügyi tervezés területén is hiányosságok mutatkoznak. Ezeket a hiányosságokat a CRS-AR-modell eredménye jól tükrözi, a zéró súlyok kizárásával.

A 2. ábrán a 2016-os évben kapott eredmények láthatók. Ebben az évben a hallgatói csoportok közül 8 csapat bizonyult hatékonnak a CRS-modell alkalmazásakor, míg a súlyszámkorlátos CRS-AR-moddal csak 2 csapat működését ítéli hatékonnak (4-es és 7-es). Megvizsgálva az adatokat, a 10-es és 19-es csapat esetében is azt láthatjuk, hogy csak kis mértékben csökkent a hatékonyságuk a súlyszámkorlát bevezetése után. A 10-es csapat például nagy mennyiségű hitel- és az egyik legnagyobb mértékű anyagfelhasználással dolgozott, viszont átlag feletti nettó nyereséget produkált, éppúgy, ahogyan a 19-es csapat tette, azzal az eltéréssel, hogy ebben az esetben nem anyag, hanem nagymértékű humán-erőforrás-felhasználás történt.

2. ábra

Relatív hatékonyságok alakulása (2016)



Forrás: saját szerkesztés

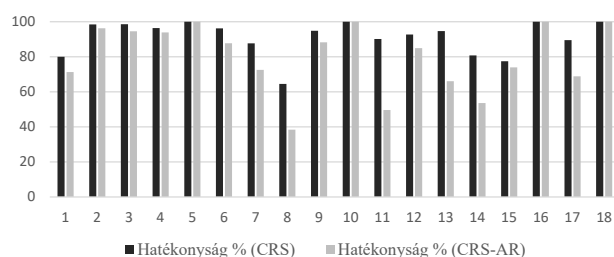
Jelentős hatékonyságromlás következett be viszont a 17-es csapatnál; a CRS-modell szerinti 87,3%-os hatékonysági mutató 55,7%-ra csökkent. Az alapadatokból kitűnik, hogy ez a csapat output- és inputoldalról is gyenge eredményt ért el. Az outputok értéke átlag alatti, miközben a hitelfelhasználás ennél a csapatnál a legmagasabb. Bár a gépkapacitás-felhasználás igen kedvező – legkisebb mértékű –, mégis a pénzügyek rossz kezelése és az alacsony

gyártott mennyiség miatt nem tartozik a jól teljesítő csapatok közé.

A 2017-es adatok feldolgozásának eredményét a 3. ábra szemlélteti. E hatékonysági mutatók körében több érdekesség is megfigyelhető. Egyrészt, mindkét modell alkalmazásával ugyanazon négy csapat bizonyult hatékonynak (5, 10, 16, 18-as csapatok). Másrészt, a nem hatékonyan teljesítő csapatok mutatóinak értékében több esetben is jelentős eltérés tapasztalható. A 8-as, a 11-es és a 14-es csapatok hatékonysága jelentősen csökkent – a korábbi eredmény 50-60%-ára – a súlyszámkorlát bevezetésével. Az input és output adatokból láthatjuk, hogy mindhárom csapat (8, 11, 14) vesztéségesen zárta a játékot, kevés gyártott mennyiséggel és hatalmas inputfelhasználással. A felhasznált létszám, gépkapacitás és hitel tekintetében is a 8-as csapat rendelkezik a legnagyobb értékekkel, de a 11-es és 14-es csapatok inputértékei is igen magasak. E csapatok pénzügyi döntései nem voltak megalapozottak, továbbá nem jól gazdálkodtak az erőforrásaikkal.

3. ábra

Relatív hatékonyságok alakulása (2017)



Forrás: saját szerkesztés

A referenciahalmazok vizsgálata

A DEA nem csak a teljesítményt jellemző hatékonysági mutatók előállítására alkalmas. A modellek megoldásakor kapott eredmények arra is megfelelnek, hogy meghatározzuk azon csapatok körét, amelyek gyakorlatát a nem hatékony csapatoknak célszerű követniük. Az ilyen, benchmarktevékenységre alkalmas DMU-k körét referenciahalmaznak nevezzük. Eredményül azt is megkapjuk, hogy a referenciahalmazban található DMU-k gyakorlatát milyen súllyal célszerű figyelembe venni egy nem hatékony DMU-nak saját teljesítménye javításakor (lambda érték). A referenciahalmazok vizsgálatából származó eredmények jelentősen hozzájárulhatnak az üzleti szimulációs játékokban részt vevő csapatok eredményének differenciált értékeléséhez (lásd például Tamás & Koltai, 2018).

A három év adatait felhasználva a két modell (CRS, CRS-AR) megoldásakor kapott referenciahalmaz és lambda értékeket a 3. melléklet tartalmazza. A táblázatok első sorában a kövéren szedett számok a hatékony DMU-kat jelzik. A hatékony DMU-k alatt pedig dőlt betűvel azt jeleztük, hogy hány DMU-nak tartozik a referenciahalmazába az adott hatékony DMU. A táblázat celláiban a lambda értékek találhatók. A hatékony csapatoknak csak önmaguk jelentik a referenciahalmazt, amit 1-es lambda érték fejez ki.

A 2015-ös adatsorban a CRS-modell hét hatékony egységet eredményezett (köztük a 6-os és 16-os csoportot), amelyek ebben a modellben referenciahalmazát képezték jelentős számú nem hatékony csapatnak. A súlyszámkorlátos modell szerint viszont csak három csapat mutatkozott hatékonyan és az említett két csapat eltűnt a listából (lásd 2. táblázat). Ennek oka, hogy mindkét csapat helytelenül értékelte a pénzügyi jelentést és rosszul döntött a hitelek felvételekor. Ezen kívül, az eredmények azt mutatják, hogy a 16-os csapat esetében a pénzügyi problémák mellett humán erőforrás-tervezési problémák is megjelentek. Mindezek eredménye, hogy a két csapat a CRS-AR-modellben már nem képezte referenciahalmazát egyetlen másik csapatnak sem.

2. táblázat

Referenciacsoportok gyakorisága (2015)

	CRS-modell						CRS-AR-modell			
DMU no.	1	6	7	10	13	14	16	7	10	13
<i>Gyak.</i>	2	7	5	1	9	3	6	15	1	14

Forrás: saját szerkesztés

A 2015-ös eredményeket elemezve a 10-es csapat helyzete is kiemelendő. E csapat mindkét modell alkalmazásakor hatékonyan bizonyult, ugyanakkor egyik esetben sem képezte referenciahalmazát önmagán kívül másik csapatnak. Ennek oka, hogy a 10-es csapat a többi hatékony csapattól eltérő, de jó eredményt hozó stratégiát alkalmazott. A nagymértékű humán erőforrás-felhasználás (közel 25%-kal több alkalmazottat foglalkoztatott, mint a többi hatékony csoport), a legalacsonyabb mértékű hitelfelhasználás és az egyidejűleg magas nettó nyereség miatt a hatékonysági határ egy távoleső pontján helyezkedik el. Ennek köszönhetően hatékony a csapat, de nem képezi referenciahalmazát semelyik másik egységnek sem.

3. táblázat

Referenciacsoportok gyakorisága (2016)

	CRS-modell							CRS-AR-modell		
DMU no.	4	6	7	9	10	11	15	19	4	7
<i>Gyak.</i>	3	1	5	2	4	3	8	1	17	2

Forrás: saját szerkesztés

A 2016. évi adatok felhasználásakor a 6-os és 7-es csapat közötti kapcsolatot elemeztük. A 3. táblázat szerint, mindkét csoport hatékonyan bizonyult a CRS-modell alkalmazásakor, de a súlyszámkorlátos esetben csak a 7-es csapat maradt hatékony. A 6-os csapat hatékonysági mutatója 99,09%-ra csökkent és a 7-es csapat lett a referencia csoportja. Egy másik fontos megállapítás, hogy a 7-es csapat a CRS-modell alkalmazásakor öt DMU referenciahalmazában jelent meg, míg a CRS-AR-modell alkalmazása ezt a gyakoriságot kettőre csökkentette és csak önmagának

és a 6-os csapatnak vált benchmarkcsapatává, viszonylag magas lambda értékkel. Az alapadatokat megvizsgálva elmondható, hogy a két csapatnak hasonló az inputfelhasználása, de a 7-es csapat magasabb outputértékeket tudott elérni. A többi nem hatékony csapat stratégiája viszont inkább a 4-es számú csapat döntéshozatalához hasonlít, így esetükben a 7-es csapat nem tudott a referencialalmaz részévé válni.

4. táblázat

Referenciacsoportok gyakorisága (2017)

CRS-modell				CRS-AR-modell				
DMU no.	5	10	16	18	5	10	16	18
Gyak.	14	6	2	9	8	9	2	12

Forrás: saját szerkesztés

A 2017. évi adatokkal kapott eredmények fő jellemzője, hogy az 5, 10, 16 és 18-os számú csoportok mindkét DEA-modell alkalmazásakor hatékonyak bizonyultak, de különböző referenciacsoport-gyakoriságok és eltérő lambda értékek tartoznak hozzájuk (lásd 4. táblázat és 3. melléklet). Látható, hogy az 5-ös csapat 14-szer szerepelt referencialalmazban a CRS-modellt alkalmazva, azonban a CRS-AR-modell alkalmazásakor ez a szám 8-ra csökkent, miközben a 18-as csapat 9-ről 12-re növelte ezt a gyakoriságot. Továbbá, 6 nem hatékony csapatnál az 5-ös csapat eltűnt a CRS-AR-modell által javasolt referencialalmazokból. Helyét a 18-as csapat három esetben vette át. Az input- és outputeredményeket vizsgálva látható, hogy annak ellenére, hogy az inputok tekintetében az 5-ös csapat jobban teljesített (alacsonyabb alkalmazotti létszám, gépóra és hitelfelhasználás jellemzi), 30%-kal alacsonyabb nettó nyereséget produkált, mint a 18-as csapat. Az eredmények azt sugallják, hogy az 5-ös csapat gyenge pénzügyi teljesítménye miatt vehette át a 18-as csapat a benchmarkszerepet több csapat esetében is.

Összegzés

E tanulmány az üzleti szimulációs játékokban résztvevők teljesítményének egy új, adatelemzésre épülő kiértékelési lehetőségével foglalkozott. A szimulációs játékokban résztvevők teljesítményének megítélésakor egyrészt számos szubjektív tényező játszik szerepet, továbbá a rendelkezésre álló kvantitatív információk is nehezen aggregálhatók egy minden szempontot kifejező eredménymutatóvá. A relatív hatékonyságvizsgálat (DEA) segíthet az említett problémák megoldásában.

A tanulmány első részében áttekintettük a szimulációs játékok szerepét az oktatásban, valamint megvizsgáltuk az eredmények értékelésének gyakorlatát és problémáit. Ennek alapján megállapítható, hogy nincs egységes és széles körben alkalmazott módszer a játékokban résztvevők teljesítményének értékelésére. Az általunk javasolt relatív hatékonyságvizsgálat (DEA) e téren új lehetőséget teremthet, amelyet egy termelészimulációs játék segítségével mutattunk be. Az ismertetett termelészimulációs

játék szerves része a BME Vezetés és szervezés mesterprogramjának. A játékot évek óta alkalmazzuk a témakör tananyagának szintetizálására, valamint a gyakorlati döntéshozatal problémáinak szemléltetésére. Az összegyűlt tapasztalatokat és adatokat felhasználva egy inputorientált, állandó skálahatékonyságú, radiális DEA-modell segítségével mutattuk be a részt vevő hallgatói csapatok teljesítményének értékelését, a jó gyakorlatok azonosítását és a problémák feltárásának lehetőségét.

Fontos hangsúlyozni, hogy a DEA nem kizárólagos célja a hatékonysági mutató segítségével történő teljesítményértékelés. További előnye, hogy a játékban résztvevők által elkövetett hibák, téves stratégiák és a működés alternatív útjai is feltárhatók. Ezek segítségével azonosíthatók a döntéshozatalhoz szükséges ismeretek hiányosságai, valamint feltárhatók a döntési problémák megoldásának sokféle, egyaránt sikeres útjai. Egy további kutatási irány lehet a hallgatók által végzett előrejelzések elemzése és annak vizsgálata, hogy az előrejelzés jósága miként korrelál az elért eredményekkel (lásd például Kovács, 2012).

A cikk részletesen ismertette a vizsgálatához alkalmazott lineáris programozási modell primál és duál alakját. A hagyományos modelleket relatív súlyszámkorlátokkal egészítettük ki annak érdekében, hogy valamennyi fontosnak vélt input és output kellő súllyal vegyen részt az értékelésben. További kutatások célja lehet az alkalmazott modellek továbbfejlesztése oly módon, hogy a slack értékek még részletesebb információt szolgáltatassanak a javítási lehetőségekről. Ugyancsak fontos kutatási irány a hatékonysági mutató időbeni változásának elemzése (lásd például Koltai, Lozano, Uzonyi-Kecskés & Moreno, 2017) és a játék során megfigyelt tanulási hatás értékelése és felhasználása a tanulás hatékonyságának növelésére. Az ígéretes kutatási lehetőségek mellett azonban a DEA már jelen formájában is egy új lehetőség az üzleti szimulációs játékok eredményének értékelésére és egyben a DEA egy eddig feltáratlan új alkalmazási területe.

Felhasznált irodalom

Adams, P.C. (1998). Teaching and learning with SimCity 2000. *Journal of Geography*, 97(2), 47-55. <https://doi.org/10.1080/00221349808978827>

Agabo-Mateos, F. L., Escobar Pérez, B., & Lobo Gallardo, A. (2014). Measuring efficiency of the youth hostel sector in Andalusia using an adapted DEA model. In *Cultura, desarrollo y nuevas tecnologías: VII jornadas de investigación en turismo (2014)* (pp. 185-210). Sevilla: Universidad de Sevilla. Retrieved from <https://idus.us.es/handle/11441/53058>

Ammar, S., & Wright, R. (1999). Experiential learning activities in operations management. *International Transactions in Operational Research*, 6(2), 183-197. [https://doi.org/10.1016/s0969-6016\(98\)00022-7](https://doi.org/10.1016/s0969-6016(98)00022-7)

Anderson, J.R. (2005). The Relationship Between Student Perceptions of Team Dynamics and Simulation Game Outcomes: An Individual-Level Analysis. *Journal of Education for Business*, 81(2), 85-90. <https://doi.org/10.3200/joeb.81.2.85-90>

- Avkiran, N.K. (2001). Investigating Technical and Scale Efficiencies of Australian Universities through Data Envelopment Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), 57-80.
[https://doi.org/10.1016/s0038-0121\(00\)00010-0](https://doi.org/10.1016/s0038-0121(00)00010-0)
- Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper, W.W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Belanich, J., Sibley, D. E., & Orvis, K. L. (2004). *Instructional characteristics and motivational features of a PC-based game (No. ARI-RR-1822)*. Alexandria: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
<https://doi.org/10.21236/ada422808>
- Ben-Zvi, T. (2010). The efficacy of business simulation games in creating Decision Support Systems: An experimental investigation. *Decision Support Systems*, 49(1), 61-69.
<https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.01.002>
- Bóna, K., Kovács, G., & Lénárt, B. (2009). Egy ellátási lánc szimulációs játék (SCSG) modellje és az egyetemi oktatásban végrehajtott tesztelés gyakorlati tapasztalatai. In *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés konferencia 2009* (Online-Internet) (pp. 2-4), 2009.09.03-2009.09.05, Budapest.
- 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)
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science*, 27(6), 668-697.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.27.6.668>
- Cohen, K.J. & Rhenman, E. (1961). The Role of Management Games in Education and Research. *Management Science*, 7(2), 131-166.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.7.2.131>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis. A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Wiesbaden: Springer.
- Dénes, R.V., Kecskés, J., Koltai, T., & Dénes, Z. (2017). The Application of Data Envelopment Analysis in Healthcare Performance Evaluation of Rehabilitation Departments in Hungary. *Quality Innovation Prosperity*, 21(3), 127-142.
<https://doi.org/10.12776/qip.v21i3.920>
- Deshpande, A. A., & Huang, S. H. (2011). Simulation games in engineering education: A state-of-the-art review. *Computer Applications in Engineering Education*, 19(3), 399-410.
<https://doi.org/10.1002/cae.20323>
- Fancello, G., Uccheddu, B., & Fadda, P. (2014). Data Envelopment Analysis (D.E.A.) for Urban Road System Performance Assessment. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 111, 780-789.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.112>
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
<https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fukuyama, H., & Matousek, R. (2017). Modelling bank performance: A network DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 721-732.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.044>
- Garard, D. L., Lippert, L., Hunt, S. K., & Paynton, S. T. (1998). Alternatives to traditional instruction: Using games and simulations to increase student learning and motivation. *Communication Research Reports*, 15(1), 36-44.
<https://doi.org/10.1080/08824099809362095>
- Goodwin, J. S., & Franklin, S. G. (1994). The beer distribution game: using simulation to teach systems thinking. *Journal of Management Development*, 13(8), 7-15.
<https://doi.org/10.1108/02621719410071937>
- Gredler, M. E. (2004). Games and simulations and their relationships to learning. In Jonassen, D.H. (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (2nd ed., pp. 571-582). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hand, H. H., & Sims, H.P. (1975). Statistical evaluation of complex gaming performance. *Management Science*, 21(6), 708-717.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.21.6.708>
- Iraizoz, B., Rapun, M., & Zabaleta, I. (2003). Assessing the technical efficiency of horticultural production in Navarra, Spain. *Agricultural Systems*, 78(3), 387-403.
[https://doi.org/10.1016/s0308-521x\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/s0308-521x(03)00039-8)
- Johnes, J. (2006). Data envelopment analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education. *Economics of Education Review*, 25(3), 273-288.
<https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2005.02.005>
- Kárpátiné Daróczi, J., Vágány, J., & Fenyvesi, É. (2016). Fejlődünk, hogy fejlődhessünk?–avagy milyen önképzési módszereket részesítenek előnyben a mikro- és kisvállalkozások vezetői napjainkban Magyarországon? *Vezetéstudomány*, 47(12), 72-82.
<https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2016.12.07>
- Koltai, T., Lozano, S., Uzonyi-Kecskés, J., & Moreno, P. (2017). Evaluation of the results of a production simulation game using a dynamic DEA approach. *Computers & Industrial Engineering*, 105(March), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.12.048>
- Koltai, T., & Uzonyi-Kecskés, J. (2017a). Evaluation of the results of a production simulation game with different DEA models. In *Management and Organization: Concepts, Tools and Applications* (pp. 109-120). Harlow: Pearson.
<https://doi.org/10.18515/dbem.m2017.n02.ch09>
- Koltai, T., & Uzonyi-Kecskés, J. (2017b). The comparison of Data Envelopment Analysis (DEA) and financial

- analysis results in a production simulation game. *Acta Polytechnica Hungarica*, 14(4), 167-185.
<https://doi.org/10.18515/dbem.m2017.n02.ch09>
- Kovács, Z. (2010). Egy ellátási lánc szimulációjának tapasztalatai. *Vezetéstudomány*, 41(10), 53-61.
- Kovács, Z. (2011). Ellátási láncok irányítási algoritmusai a sörjáték példáján. *Vezetéstudomány*, 42(11), 40-48.
- Kovács, Z. (2012). The key to competitiveness: Forecast. *Acta Oeconomica*, 62(4), 505-518.
<https://doi.org/10.1556/aoecon.62.2012.4.5>
- Lean, J., Moizer, J., Towler, M., & Abbey, C. (2006). Simulations and games: Use and barriers in higher education. *Active Learning in Higher Education*, 7(3), 227-242.
<https://doi.org/10.1177/1469787406069056>
- Lewis, M.A. & Maylor, H.R. (2007). Game playing and operations management education. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 134-149.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.02.009>
- Lieberman, D. A., & Linn, M. C. (1991). Learning to learn revisited: Computers and the development of self-directed learning skills. *Journal of Research on Computing in Education*, 23(3), 373-395.
<https://doi.org/10.1080/08886504.1991.10781968>
- Lim, H., & Shumway, C. R. (1992). Profit maximization, returns to scale, and measurement error. *Review of Economics and Statistics*, 74(3), 430-38.
<https://doi.org/10.2307/2109487>
- Liu, J.S., Lu, L.Y.Y., Lu, W., & Lin, B.J.Y. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, 41(5), 893-902.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.11.004>
- Maradin, D., Drazenovic, B. O., & Benkovic, S. (2018). Performance evaluation of banking sector by using DEA method. In Ribeiro, H., Naletina, D., & Lorga da Silva, A. (eds.), *Economic and Social Development 35 th International Scientific Conference on Economic and Social Development – „Sustainability from an Economic and Social Perspective” Book of Proceedings* (pp. 684-690). Lisbon: Varazdin Development and Entrepreneurship Agency.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(April), 1298-1322.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.030>
- Moreno, R., & Mayer, R.E. (2000). Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 724-733.
<https://doi.org/10.1037//0022-0663.92.4.724>
- Numamaker, T.R. (1983). Measuring Routine Nursing Service Efficiency: A Comparison of Cost Per Patient Day and Data Envelopment Analysis Models. *Health Services Research*, 18(2), 183-208.
- Ofori-Sasu, D., Abor, J. Y., & Mensah, L. (2019). Funding structure and technical efficiency: A data envelopment analysis (DEA) approach for banks in Ghana. *International Journal of Managerial Finance*, 15(4), 425-443.
<https://doi.org/10.1108/ijmf-01-2018-0003>
- O’Neil, H. F., Wainess, R., & Baker, E. L. (2005). Classification of learning outcomes: Evidence from the computer games literature. *The Curriculum Journal*, 16(4), 455-474.
<https://doi.org/10.1080/09585170500384529>
- Parasuraman, A. (1980). Evaluation of simulation games; a critical look at past efforts and future needs. *Experiential Learning Enters the Eighties*, 7, 192-194. Retrieved from <https://absel-ojs-ttu.tdl.org/absel/index.php/absel/issue/view/7>
- Pasin, F., & Giroux, H. (2011). The Impact of a Simulation Game on Operations Management Education. *Computers & Education*, 57(1), 1240-1254.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.12.006>
- Peters, V.A.M., & Vissers, G.A.N. (2004). A Simple Classification Model for Debriefing Simulation Games. *Simulation & Gaming*, 32(1), 70-84.
<https://doi.org/10.1177/1046878103253719>
- Rahnama, A., Yaghoubi, M., & Khaksar Astaneh, H. (2019). Evaluating the Relative Efficiency of Iran’s Tourism Industry: A Non-Parametric Approach. *Iranian Economic Review*, 23(2), 417-435.
<https://doi.org/10.22059/IER.2019.70292>
- Ray, S.C. (1991). Resource use efficiency in public schools — a study of Connecticut data. *Management Science*, 37(12), 1620-1628.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.37.12.1620>
- Riis J.O., Smeds R., Johansen J., & Mikkelsen H. (1998). Games for organizational learning in production management. In Okino, N., Tamura, H., & Fujii, S. (eds.), *Advances in Production Management Systems. IFIP — The International Federation for Information Processing* (pp. 327-338). Boston, MA.: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-35304-3_29
- Roll, Y., & Hayuth, Y. E. H. U. D. A. (1993). Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). *Maritime Policy and Management*, 20(2), 153-161.
<https://doi.org/10.1080/03088839300000025>
- Rosa, A.D., & Vianello, M. (2014). On the Effectiveness of a Simulated Learning Environment. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 171, 1065-1074.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.267>
- Schefczyk, M. (1993). Operational performance of airlines: An extension of traditional measurement paradigms. *Strategic Management Journal*, 14(4), 301-317.
<https://doi.org/10.1002/smj.4250140406>
- Seiford, L. M., & Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management Science*, 45(9), 1270-1288.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.45.9.1270>
- Sherman, H.D., & Gold, F. (1985). Bank Branch Operating Efficiency. *Journal of Banking and Finance*, 9(2), 297-315.
[https://doi.org/10.1016/0378-4266\(85\)90025-1](https://doi.org/10.1016/0378-4266(85)90025-1)
- Vörösmarty, G., & Dobos, I. (2014). Fenntarthatósági szempontok beépítése a beszállító értékelésébe a DEA/

CI összetett indikátorok módszere alkalmazásával. *Vezetéstudomány*, 45(3), 62-70.

Vörösmarty, G., & Dobos, I. (2019). Supplier Evaluation with Environmental Aspects and Common DEA Weights. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 27(1), 17-25. <https://doi.org/10.3311/ppso.11814>

Tamás, A., & Koltai, T. (2018). Evaluation of decision making of teams in business simulation games using DEA. In European, Operations Management Association (eds.), *25th Annual EurOMA Conference. To Serve, To Produce and to Servitize in the Era of Networks, Big Data and Analytics* (pp. 1-10). Budapest: EOMA.

Tiwari, S.R., Nafees, L. & Krishnan, O. (2014). Simulation as a pedagogical tool: Measurement of impact on perceived effective learning. *The International Journal of Management*, 12(3), 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2014.06.006>

Zhang, Z., Han, S., & Takubo, M. (2012). Data Envelopment Analysis with application to a business simulation game. In *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems* (pp. 1978-1981). Kobe: IEEE. <https://doi.org/10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505245>

Zhang, Z., & Han, S. (2014). Growth potential analysis with application to a business simulation game by DEA. In *2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)* (pp. 879-882). Kitakyushu: IEEE. <https://doi.org/10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044809>

Mellékletek

1. melléklet

Alapadatok

2015						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió db)	Létszám (ezer fő)	Gépkapacitás (millió db)	Anyag (millió WCU)	Hitel (millió WCU)	Nettó nyereség (millió)
1	2,7741	10,7710	3,0119	5,6211	2,2782	0,1763
2	2,6650	10,5710	3,4892	4,6402	0,8807	1,1484
3	2,8378	12,9190	3,4115	5,6722	2,4728	0,9915
4	3,1480	15,6940	3,5854	4,9660	1,4000	1,5380
5	2,8571	13,7810	3,0984	5,8544	1,5097	0,7931
6	3,0673	12,2110	3,2428	4,8961	1,0067	1,8001
7	2,9947	11,6110	3,4100	4,7480	0,7121	1,9364
8	2,4936	12,1990	2,6648	4,0406	1,1831	1,3702
9	2,6072	13,8990	2,5768	5,1750	1,9725	0,3462
10	2,9828	14,7750	3,3901	4,7518	0,6778	2,0482
11	2,8602	13,2640	3,4549	4,5666	1,3000	1,6093
12	2,5513	14,6420	2,9260	5,4117	2,2385	0,1209
13	2,9398	12,6200	2,8705	4,7204	1,4380	2,1308
14	2,4899	11,2260	2,5353	4,5833	0,7484	0,7263
15	2,8448	12,8060	2,9311	5,6772	1,2052	1,3534
16	3,2014	14,7350	3,6514	5,0437	1,4800	1,5119
17	2,8007	12,1040	3,3871	5,7653	1,0757	0,8552
18	3,1812	14,6290	3,5613	5,0641	1,3600	1,4796
19	2,0660	10,8710	2,6833	3,5040	2,3077	0,5070

2016						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió db)	Létszám (ezer fő)	Gépkapacitás (millió db)	Anyag (millió WCU)	Hitel (millió WCU)	Nettó nyereség (millió)
1	2,988	13,541	2,9273	5,9801	2,9738	0,2152
2	2,4171	10,861	3,0059	5,0765	2,2587	0,0785
3	3,0541	16,265	2,8958	6,1895	1,5	0,7561
4	2,7573	11,747	2,8485	4,565	0,8053	1,9612
5	2,6609	11,68	3,0667	5,4164	2,0257	0,4782
6	2,3164	10,541	2,5948	4,5245	0,4446	1,24
7	2,809	12,166	2,7902	4,8992	0,7141	1,7115
8	2,1095	10,241	2,7171	4,1951	1,1382	0,2689
9	3,0022	12,039	3,5053	4,7135	2,8857	1,2315
10	3,0907	12,229	3,5455	5,5194	3,2665	0,8707
11	2,4669	10,375	2,7381	4,8275	0,906	0,5706
12	2,3292	12,791	2,5427	5,0035	0,8707	0,1209
13	2,4534	13,341	2,6325	4,9822	2,3992	-0,0592
14	2,6215	10,54	3,4234	5,7391	3,2136	-0,3758
15	3,0504	13,916	2,8515	4,8332	1,029	1,5118
16	2,911	15,521	2,8139	5,7897	1,7394	0,1845
17	2,1126	12,75	2,2623	4,9453	4,4313	-1,3475
18	2,8385	13,681	3,0469	5,9203	1,7576	0,236
19	3,0566	14,343	2,9716	4,7998	3,5863	1,6509

2017						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió db)	Létszám (ezer fő)	Gépkapacitás (millió db)	Anyag (millió WCU)	Hitel (millió WCU)	Nettó nyereség (millió)
1	1,6421	8,653	2,4201	3,009	0,3658	-0,2488
2	2,165	9,098	3,1547	3,5104	0,8038	0,6949
3	2,1724	9,283	2,6032	3,5043	0,4775	0,3598
4	2,4096	10,31	3,4198	4,0622	0,665	0,72
5	2,3173	9,846	2,6645	3,2342	0,455	0,6897
6	2,4126	11,274	2,8836	3,846	0,9765	0,1198
7	2,222	11,268	3,1316	3,0618	1,9648	-0,731
8	1,8748	13,75	4,6486	2,9721	8,5625	-2,2018
9	2,139	9,778	2,6768	3,4262	0,3232	0,1027
10	2,3499	9,568	3,0614	4,0361	0,1322	0,9555
11	1,87	9,328	3,4549	2,4014	6,4023	-2,6728
12	2,3894	10,656	3,3348	4,139	0,4378	0,0626
13	1,4233	6,463	2,2623	2,0263	2,4231	-1,2249
14	1,7909	13,323	2,6768	2,4784	2,8451	-1,2754
15	1,8595	10,868	2,7696	3,3085	0,5489	0,3233
16	2,3144	9,818	2,8345	3,9563	0,1681	0,8568
17	1,7408	8,823	2,3849	2,1793	3,7891	-0,8969
18	2,2313	10,351	2,7381	2,2811	0,565	0,9872

Súlyszámok a CRS-modellben

2015						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió)	Létszám (ezer)	Gépkapacitás (millió)	Anyag (millió)	Hitel (millió)	Nettó nyereség (millió)
1	0,3605	0,0473	0,163	0	0	0
2	0,3668	0,0946	0	0	0	0
3	0,309	0,0383	0,1479	0	0	0
4	0,3169	0	0,0316	0,1767	0,0066	0,0013
5	0,316	0	0,2913	0	0,0646	0
6	0,326	0,0404	0,1561	0	0	0
7	0,3294	0,0616	0,0836	0	0	0,007
8	0,3941	0	0,0414	0,2178	0,008	0
9	0,3789	0	0,3881	0	0	0
10	0,3257	0	0,0754	0,1508	0,0409	0,0138
11	0,3391	0	0	0,219	0	0,0126
12	0,3337	0	0,3418	0	0	0
13	0,2987	0,054	0,1108	0	0	0,0572
14	0,4016	0	0,2574	0,0553	0,1259	0
15	0,34	0,0203	0,2228	0	0,0726	0
16	0,3124	0,002	0,0279	0,1722	0	0
17	0,324	0,0588	0,0827	0	0,007	0
18	0,3124	0	0,0328	0,1727	0,0063	0
19	0,4496	0	0	0,2854	0	0

2016						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió)	Létszám (ezer)	Gépkapacitás (millió)	Anyag (millió)	Hitel (millió)	Nettó nyereség (millió)
1	0,3288	0,0398	0,1573	0	0	0
2	0,3721	0,0783	0,0296	0	0,0267	0
3	0,3228	0	0,3453	0	0	0
4	0,3571	0,0561	0,1198	0	0	0,0078
5	0,3525	0,0522	0,1271	0	0	0
6	0,4317	0,0826	0	0	0,2911	0
7	0,356	0,0431	0,1703	0	0	0
8	0,409	0,0906	0	0,0077	0,0349	0
9	0,3331	0,0461	0,099	0,0208	0	0
10	0,3236	0,0479	0,1167	0	0	0
11	0,4054	0,0853	0,0322	0	0,0291	0
12	0,3715	0	0,3169	0	0,2231	0
13	0,3551	0	0,3799	0	0	0
14	0,3754	0,0949	0	0	0	0
15	0,3278	0,0397	0,1568	0	0	0
16	0,3322	0	0,3554	0	0	0
17	0,4132	0	0,442	0	0	0
18	0,321	0,0389	0,1535	0	0	0
19	0,3072	0,0171	0,0354	0,1353	0	0,0369

2017						
DMU no.	Gyártott mennyiség (millió)	Létszám (ezer)	Gépkapacitás (millió)	Anyag (millió)	Hitel (millió)	Nettó nyereség (millió)
1	0,4871	0,0873	0,1011	0	0	0
2	0,4548	0,0907	0	0,0499	0	0
3	0,4538	0,0813	0,0942	0	0	0
4	0,3999	0,0797	0	0,0439	0	0
5	0,4315	0,086	0	0,0474	0	0
6	0,3987	0	0,3468	0	0	0
7	0,3945	0,0691	0	0,0722	0	0
8	0,344	0	0	0,3365	0	0
9	0,4435	0	0,2023	0,0986	0,3727	0
10	0,4256	0,0848	0	0,0467	0	0
11	0,4821	0,0845	0	0,0883	0	0
12	0,3879	0,0773	0	0,0426	0	0
13	0,6652	0,1165	0	0,1218	0	0
14	0,451	0	0,3135	0,0649	0	0
15	0,4165	0	0,2895	0,0599	0	0
16	0,4321	0,0584	0,1454	0	0,0848	0
17	0,5142	0,0901	0	0,0941	0	0
18	0,4234	0,0824	0	0,0644	0	0,0561

3. melléklet

Referenciahalmazok és lambda értékek

2015										
DMU no.	CRS-modell							CRS-AR-modell		
	1	6	7	10	13	14	16	7	10	13
<i>Gyak.</i>	2	7	5	1	9	3	6	15	1	14
1	1	0	0	0	0	0	0	0,8101	0	0
2	0	0	0,8899	0	0	0	0	0,8486	0	0
3	0	0,8914	0	0	0,0352	0	0	0,7121	0	0,1752
4	0	0,0082	0,0795	0	0,0093	0	0,8925	0,6905	0	0,3255
5	0	0	0	0	0,9096	0,0735	0	0,0664	0	0,8134
6	0	1	0	0	0	0	0	0,623	0	0,3888
7	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0,0594	0	0	0,4352	0	0,3224	0,2196	0	0,5967
9	0	0	0	0	0,8869	0	0	0	0	0,7757
10	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0,4952	0	0	0	0,4302	0,9378	0	0
12	0	0	0	0	0,8678	0	0	0	0	0,7434
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	1	0	0,5726	0	0,1957
15	0	0,0545	0	0	0,5522	0,4234	0	0,303	0	0,6131
16	0	0	0	0	0	0	1	0,807	0	0,2223
17	0,1252	0,3879	0,4219	0	0	0	0	0,8124	0	0,0542
18	0	0,2947	0	0	0,028	0	0,6857	0,6681	0	0,3533
19	0	0	0	0	0	0	0,6453	0,5471	0	0,0833

2016										
CRS-modell									CRS-AR-modell	
DMU no.	4	6	7	9	10	11	15	19	4	7
Gyak.	3	1	5	2	4	3	8	1	17	2
1	0	0	0,5045	0	0	0	0,515	0	0,9366	0
2	0,2048	0	0	0	0,5565	0,0537	0	0	0,7503	0
3	0	0	0	0	0	0	1,0012	0	0,9986	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0,4068	0	0,4912	0	0	0	0,8562	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,8114
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
8	0,387	0	0	0,1612	0	0,2264	0	0	0,6703	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	1,0192	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	1,0187	0
11	0	0	0	0	0	1	0	0	0,8035	0
12	0	0	0,1385	0	0	0	0,636	0	0,7265	0
13	0	0	0	0	0	0	0,8043	0	0,7509	0
14	0	0	0	0	0,8482	0	0	0	0,7783	0
15	0	0	0	0	0	0	1	0	1,0557	0
16	0	0	0	0	0	0	0,9543	0	0,9106	0
17	0	0	0	0	0	0	0,6926	0	0,5468	0
18	0	0	0,7464	0	0	0	0,2432	0	0,8922	0
19	0	0	0	0	0	0	0	1	1,0683	0

2017								
CRS-modell					CRS-AR-modell			
DMU no.	5	10	16	18	5	10	16	18
Gyak.	14	6	2	9	8	9	2	12
1	0,5738	0,1329	0	0	0,5065	0,1232	0	0
2	0,3508	0,5754	0	0	0	0,7416	0	0,169
3	0,7447	0,1901	0	0	0,6466	0,2521	0	0
4	0,3008	0,7288	0	0	0	0,865	0	0,1414
5	1	0	0	0	1	0	0	0
6	1,0411	0	0	0	0,9811	0	0	0
7	0,4765	0	0	0,501	0,1167	0,1414	0	0,5579
8	0	0	0	0,8402	0	0	0	0,5344
9	0,4648	0	0,4158	0,0446	0,4056	0	0,3982	0,0596
10	0	1	0	0	0	1	0	0
11	0,2929	0	0	0,5339	0	0,0512	0	0,4315
12	0,359	0,6628	0	0	0	0,7864	0	0,149
13	0,5355	0	0	0,0818	0	0,1873	0	0,2551
14	0,1978	0	0	0,5972	0	0	0	0,594
15	0,7643	0	0	0,0396	0,7001	0	0	0,0796
16	0	0	1	0	0	0	1	0
17	0,1976	0	0	0,575	0,11	0	0	0,5015
18	0	0	0	1	0	0	0	1