

MOLNÁR DÁNIEL–BAREITH TIBOR–BARÁTH LAJOS

A magyar feldolgozóipar technikai hatékonysági vizsgálata

Tanulmányunk célja a magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának vizsgálata a 2013–2022 közötti időszakban, olyan sztochasztikushatár-modellekkel (*Stochastic Frontier Analysis, SFA*), amelyek lehetővé teszik a vállalatok közötti nem megfigyelt heterogenitás kezelését. Emellett az output növekedését felbontottuk az input- és a termelékenységnövekedés hatására, majd a termelékenységváltozást tovább bontottuk a technológiai változás és a technikai hatékonyság változásának hatására. Az eredmények azt mutatják, hogy a vizsgált időszakot elsősorban input-vezérelt növekedés jellemezte, és a technológiai fejlődés (évi 1,4 százalék) szintén kedvezően hatott a termelékenységre. A technikai hatékonyság javulása ugyanakkor mérsékelt, és az egyes méretkategóriák között szignifikáns különbség mutatkozott, ami arra utal, hogy jelentős tartalékok rejlenek a szektor működésének hatékonyabbá tételében, különösen a kis- és középvállalatok esetében. Mindezek mellett modellünk szerint a magasabb exportorientáltság pozitívan befolyásolja a vállalati hatékonyságot. A technológiai fejlődés és a technikai hatékonyság eltérő politikai eszközökkel támogathatók: a technológiai fejlesztést főként innovációs és K + F-ösztönzéssel lehet elősegíteni, míg a technikai hatékonyság növelésében a képzési és szaktanácsadási rendszerek fejlesztése játszhat kiemelt szerepet. Eredményeink így fontos kiindulópontot jelentenek a feldolgozóipar versenyképességét és termelékenységét előmozdító intézkedések megtervezéséhez.*

Journal of Economic Literature (JEL) kód: C13, C51, D24, L60.

* Baráth Lajos köszönetet mond a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) NKFI-1, Advanced-150850. számú pályázatának a kutatáshoz nyújtott támogatásért.

Molnár Dániel PhD-hallgató, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (e-mail: victrola2020@gmail.com).

Bareith Tibor tudományos munkatárs, HUN-REN Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont (e-mail: bareith.tibor@krtk.hun-ren.hu).

Baráth Lajos tudományos főmunkatárs, HUN-REN Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont (e-mail: barath.lajos@krtk.hun-ren.hu).

A kézirat első változata 2024. december 7-én érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <https://doi.org/10.18414/KSZ.2025.4.369>

Bevezetés

A magyar feldolgozóipar az ország gazdasági növekedésének egyik kulcsfontosságú hajtóereje, amely jelentős mértékben járul hozzá a GDP-hez, az exporthoz és a foglalkoztatáshoz (KSH [2020]). Az elmúlt évtizedekben a szektorban végbement dinamikus fejlődést és átalakulást látva felmerül a kérdés, hogy a termelékenység és hatékonyság változásának milyen szerepe volt a fejlődésben. A cikk fő célja ennek a kérdésnek a vizsgálata. A Magyarország 2004-es EU-csatlakozása óta eltelt időszakban a feldolgozóipari szektor egyre inkább integrálódott az európai és a globális értékláncokba, ami új kihívásokat és lehetőségeket egyaránt hozott. A 2010-es évek után a szektor folyamatosan bővült, különösen az autóipar, az elektronika és a gépgyártás (KSH [2020]). A feldolgozóipar szerepe a gazdasági növekedésben többdimenziós. Egyrészt jelentős mértékben járul hozzá a GDP növekedéséhez, másrészt a szektor exportorientáltsága révén elősegíti a külkereskedelmi mérleg pozitív alakulását is. Továbbá a feldolgozóipar számos munkahelyet teremt, különösen a magasabb hozzáadott értékű ágazatokban, mint például az autóipar és az elektronika (Wan és szerzőtársai [2022]).

A fentiek mellett a kutatási téma fontosságát és aktualitását támasztja alá, hogy az utóbbi években tapasztalható gyors technológiai fejlődés, az ipar 4.0, valamint a digitalizáció elterjedése jelentős hatással volt a magyar gazdaságban is a termelékenységi mutatók alakulására (MNB [2022]). Ebben a környezetben különösen érdekes annak vizsgálata, hogy milyen mértékben járult hozzá a feldolgozóipar növekedéséhez a felhasznált inputok növekedése, a technológiai fejlődés és a technikai hatékonyság változása.

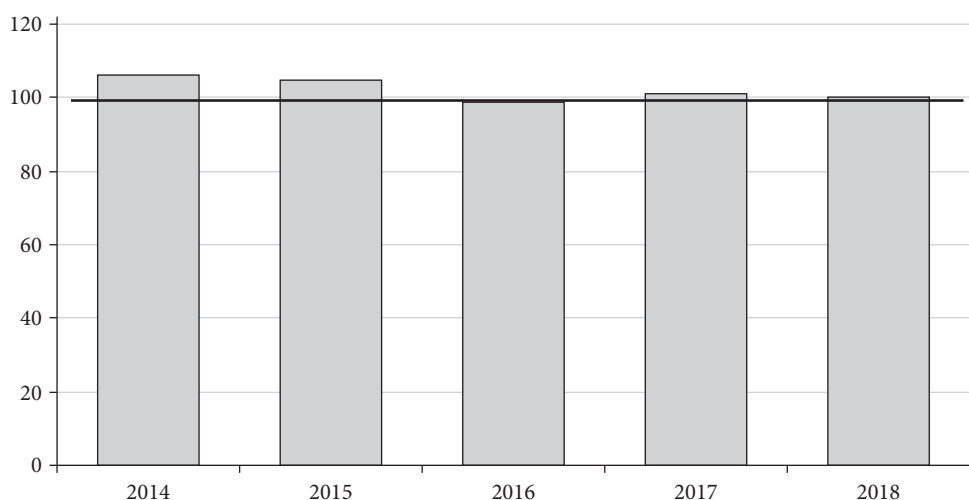
A termelékenység a gazdasági növekedés egyik legfontosabb mutatója. A termelékenység növekedésének eredményeképpen ugyanolyan mennyiségű input felhasználásával nagyobb mennyiségű output állítható elő, ami hozzájárul a gazdaság versenyképességének és az általános jólétnek a növekedéséhez (Syverson [2011]).

A termelékenység fontos szerepet játszik a nemzetgazdaságok hosszú távú fenntartható növekedésében is, mivel közvetlenül befolyásolja a reáljövedelmek emelkedését és a munkahelyek számának bővülését (Andrews és szerzőtársai [2017]). Azokban az országokban és szektorokban, ahol nagyobb ütemben nő a termelékenység, gyorsabb a gazdasági növekedés, magasabbak a reálbérek, és magasabb az életszínvonal (Baumol [2017], Fernald [2015]). Emellett a termelékenység növekedése segíti a vállalatokat, hogy versenyképesebbé váljanak a globális piacon, ami különösen fontos a globalizáció korában, amikor a nemzetközi verseny intenzívebbé válik (Baily–Montalbano [2016]). A termelékenység növekedésének elősegítése érdekében a kormányok és a vállalatok számos intézkedést hozhatnak. Ezek közé tartozik a technológiai innováció támogatása, a kutatás-fejlesztési beruházások ösztönzése, a munkaerő képzése és átképzése, valamint a vállalati és iparági szintű szervezeti reformok (Gordon [2016]). A technológiai fejlődés és az innováció különösen fontos szerepet játszik a termelékenység növekedésében, mivel lehetővé teszi az új termelési módszerek, technológiák és eljárások bevezetését, amelyek javítják az erőforrások hatékonyságát, és csökkentik a költségeket (Brynjolfsson–McAfee [2014]).

A magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának és teljes tényezőtermelékenységének alakulásáról viszonylag kevés információ található a hazai szakirodalomban. Ezzel szemben a munkatermelékenység alakulása jól dokumentált. A feldolgozóipar munkatermelékenysége évről évre növekvő tendenciát mutat, kivétel ez alól a 2016-os év, amikor 1,3 százalékkal csökkent a munkatermelékenység az előző évhez képest (KSH STADAT [2018]). Nemcsak a munkatermelékenység, hanem az ipari termelés volumene is csökkent 0,5 százalékkal az előző év azonos időszakához képest, továbbá az ipari export volumene 4,2 százalékkal elmaradt. A járműgyártás területén a csökkenés mértéke 6,0 százalékos volt, viszont a számítógép, elektronikai és optikai termékek exportja 4,0 százalékkal nőtt (KSH [2016]).

1. ábra

A feldolgozóipari munkatermelékenység indexei (az előző év = 100,0 százalék)



Forrás: KSH STADAT [2018] alapján saját szerkesztés.

A magyar feldolgozóipar termelékenységének és hatékonyságának vizsgálata az ország nemzetközi versenyképességének szempontjából is fontos, ugyanis a magyar feldolgozóiparban az export részesedése jelentős, 2023-ban a termelés mintegy 72 százaléka exportpiacokra irányult. A legnagyobb hazai exportértékesítést lebonyolító ágazat az elektromos gépek és berendezések gyártása volt, amely a teljes export 26,4 százalékát tette ki. A vizsgált időszakban különösen az autóipar és az elektromos berendezések gyártásának exportvolumene mutatott jelentős növekedést.¹ A jelentős exportarány egyértelműen rámutat a globális piacok kiemelt fontosságára a magyar feldolgozóipar esetében. Kutatási szempontból pedig felveti azt a kérdést, hogy kimutatható-e statisztikailag szignifikáns összefüggés a vállalatok árbevételén belüli magasabb exportrészarány és a vállalatok hatékonysága között. Cikkünkben ezt a kérdést is vizsgáljuk.

¹ https://www.worldstopexports.com/hungarys-top-10-exports/?utm_content=cmp-true.

Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalmi áttekintés során elsőként a magyar szerzők feldolgozóiparral kapcsolatos kutatásainak főbb megállapításait foglaljuk össze.

Békés és szerzőtársai [2011] a magyar külkereskedő vállalatok teljesítményét és hatékonyságát elemezte. A szerzők megállapították, hogy a külpiacokra lépő vállalatok termelékenysége jelentősen magasabb azokhoz a vállalatokhoz képest, amelyek kizárólag a hazai piacra termelnek. Eredményeik rámutatnak arra, hogy a külkereskedelmi tevékenység nem csupán a nagyobb méretű cégekre jellemző, hanem kisebb, de innovatív vállalatok is sikeresen bekapcsolódnak a nemzetközi piacokba. A külpiaci jelenlét és a vállalati hatékonyság között szoros összefüggés figyelhető meg: a külkereskedő vállalatok termelékenysége magasabb az ágazati átlagnál.

Vasvári és szerzőtársai [2019] a termelés és innováció kapcsolatát vizsgálva kimutatta, hogy az iparpolitikai beavatkozások jelentős szerepet játszanak a feldolgozóipari vállalatok teljesítményében, az innováció és a termelés közötti kapcsolat egyre szorosabbá válik, és az innovációs tevékenység nem csupán a vállalati versenyképességet, hanem a hatékonyságot is meghatározza. A szerzők kiemelték, hogy azok a vállalatok, amelyek az innovációs folyamatokat a termeléssel párhuzamosan fejlesztik, lényegesen jobb teljesítményt érnek el. Az elemzésből az is kiderült, hogy a támogatási mechanizmusok és a célzott iparpolitikai intézkedések hozzájárulhatnak a hazai vállalatok technológiai fejlődéséhez és exportképességének növekedéséhez.

Rédei és szerzőtársai [2002] a magyar feldolgozóipar regionális specializációját és térbeli átrendeződését elemezte. Megállapította, hogy a gazdasági szerkezet átalakulása következtében a magasabb hozzáadott értéket előállító iparágak koncentrációja jelentős földrajzi egyenlőtlenségeket eredményezett. Az ipari termelés növekedése elsősorban a fejlettebb régiókban, különösen Budapest és Győr körzetében volt jellemző, míg az alacsonyabb technológiai színvonalú termelési tevékenységek a kevésbé fejlett területeken maradtak dominánsak. Az elemzés szerint a földrajzi koncentráció mellett a vállalati méret is összefüggésben áll a hatékonysággal: a nagyobb vállalatok jellemzően korszerűbb technológiát alkalmaznak, amely növeli termelékenységüket.

Szalavetz–Somosi [2019] az ipar 4.0 technológia bevezetésének hatásait vizsgálta a magyar feldolgozóiparban, különös tekintettel arra, hogy ezek az új megoldások miként befolyásolják a vállalatok hatékonyságát és versenyképességét. Megállapította, hogy az iparágban megfigyelhető digitalizáció és automatizáció jelentős hatást gyakorol a gyártási folyamatokra, csökkentve a költségeket és növelve a termelékenységet. Az elemzés alapján a technológiai fejlesztések hosszú távon fenntartható versenyelőnyt biztosíthatnak a vállalatok számára, különösen, ha azokat a megfelelő képzési és innovációs stratégiákkal kombinálják. A szerzőpáros hangsúlyozta, hogy a magyar feldolgozóiparban a digitalizáció előnyei még nem teljes mértékben realizálódtak, mivel sok vállalatnál az új technológiák bevezetése lassú ütemben halad.

A fenti, a magyar feldolgozóiparral kapcsolatos cikkek eredményeit összegezve megállapítható, hogy a termelékenység növelése szoros kapcsolatban áll a külpiaci aktivitással, az innovációval, a regionális specializációval és az ipar 4.0 megoldások

alkalmazásával. Ezek a megállapítások segíthetik a magyar feldolgozóipar versenyképességének javítását célzó iparpolitikai intézkedések megalapozását. Cikkünk eredményei ehhez további segítséget nyújthatnak.

A hazai kutatások eredményei jól illeszkednek a nemzetközi szakirodalom megállapításaihoz, amelyek szélesebb körben vizsgálják a feldolgozóipar hatékonyságának és termelékenységének meghatározó tényezőit. A következőkben betekintést nyújtunk a nemzetközi szakirodalomnak a feldolgozóipar termelékenységével és hatékonyságával, valamint a szakpolitikák ezekre gyakorolt hatásával kapcsolatos fontosabb megállapításaiba.

Roy és szerzőtársai [2021] az indiai Gudzsarát terület feldolgozóiparának termelékenységi növekedését vizsgálta sztochasztikushatár-módszerrel (SFA). A tanulmány megállapította, hogy a technológiai innovációk és az erőforrások hatékony elosztása kulcsszerepet játszanak a termelés hatékonyságában és a versenyképesség fenntartásában. A kutatás hangsúlyozta a szakpolitikai beavatkozások, a tudásmegosztás és a regionális fejlesztési programok jelentőségét, amelyek elősegítik a fenntartható iparági növekedést.

Oh-Hildreth [2014] az autóipari gyártás energiahatékonyságát elemezte szintén sztochasztikushatár-modell segítségével. A szerzőpáros szerint az energiamegtakarítási intézkedések javítják a technikai hatékonyságot, míg a kormányzati ösztönzők kulcsszerepet játszanak az energiahatékony technológiák elterjedésében. A kutatás rávilágított az energiahatékonysági mutatók folyamatos monitorozásának fontosságára, amely nemcsak a költségsökkentést, hanem a fenntartható gyártást is elősegíti.

Greene [2008] az ökonometriai modellek szerepét vizsgálta a feldolgozóipar hatékonyságának mérésében. Kutatása szerint a sztochasztikushatár-modell jól elkülöníti a véletlenszerű és a rendszerszintű hatásokat. Kiemelte az innováció és a hatékonyság kapcsolatát, valamint a modellek alkalmazhatóságát iparági stratégiák kidolgozására. Greene szerint az ökonometriai módszerek megfelelő alkalmazása segítheti a termelékenység növelését és a versenyképesség javítását.

Huynh-Hoang [2023] a vietnami feldolgozóipar technikai hatékonyságát és termelékenységi változásait elemezte sztochasztikushatár-módszerrel. Eredményeik szerint a technológiai fejlesztések és az iparági struktúrák kulcsfontosságúak a hatékonyság növelésében. A szerzőpáros hangsúlyozta az emberi erőforrás fejlesztésének és az oktatásnak a szerepét, valamint az infrastruktúra és a regionális gazdasági környezet befolyását a termelékenységre. A szerzők szerint a célzott iparpolitikai intézkedések tovább növelhetik a vállalatok versenyképességét.

Hashim-Fahmy-Abdullah [2024] a maláj elektromos és elektronikai feldolgozóipar hatékonyságát vizsgálta, és arra a következtetésre jutott, hogy egyes ágazatok már közel optimális teljesítményt értek el, míg másokban még jelentős fejlesztési lehetőségek rejlenek. A versenyképesség növelése érdekében a technológiai beruházások és a K + F-tevékenységek kiemelt szerepet kapnak. A tanulmány szerint a digitalizáció és az automatizáció tovább növelheti a hatékonyságot, különösen a globális ellátási láncokhoz való csatlakozás szempontjából.

Shui és szerzőtársai [2015] a sztochasztikushatár-módszer alkalmazásával vizsgálta a gyártási termelékenység és az energiahatékonyság kapcsolatát a kínai

gyártóiparban. Megállapította, hogy az energiahatékonyság javítása jelentős költség-megtakarítást eredményez, miközben hozzájárul a fenntarthatósághoz is. A kutatás hangsúlyozta az energiafelhasználás strukturális reformjainak szükségességét, valamint a zöld technológiák bevezetésének gazdasági és környezeti előnyeit. Az eredmények szerint az innovatív technológiák alkalmazása különösen az energaintenzív iparágakban növeli a versenyképességet, ezért a kormányzati szabályozások kulcsszerepet játszhatnak a fenntartható ipari fejlődés előmozdításában.

Fahmy-Abdullah és szerzőtársai [2017] sztochasztikushatár-elemzéssel vizsgálta a malajziai szállítójármű-gyártó vállalatok technikai hatékonyságát. A tanulmány szerint a hatékonyság növelése érdekében elengedhetetlen a gyártási folyamatok optimalizálása, különös tekintettel az erőforrás-gazdálkodásra és a munkaerő képzésére. Emellett a kormányzati támogatások – például adókedvezmények és kedvezményes hitelek – jelentős szerepet játszanak a technológiai innováció előmozdításában és a nemzetközi versenyképesség erősítésében.

Lee-Jeon [2023] a sztochasztikushatár-elemzés segítségével vizsgálták a dél-koreai gyártóipar energiahatékonyságát, kiemelve a szektorok közötti eltéréseket. Eredményeik szerint az energiafelhasználás optimalizálása jelentős költségcsökkentést és fenntarthatóbb termelési folyamatokat eredményezhet, különösen az energaintenzív iparágak célzott fejlesztése révén. A kutatás hangsúlyozta az iparági szabványok és energiahatékonysági gyakorlatok bevezetésének fontosságát, valamint a magán- és állami szektor együttműködésének szükségességét a fenntartható fejlődés és a nemzetközi versenyképesség erősítése érdekében.

Filippini-Greene [2016] sztochasztikushatár-analízissel vizsgálta az európai feldolgozóipar tartós és átmeneti hatékonyságát, megállapítva, hogy a modell pontosan elkülöníti a hosszú és a rövid távú hatékonyság problémáit. Eredményeik szerint a hosszú távú hatékonyság elsősorban a technológiai adaptációs képességtől függ, míg az iparági környezet adottságai – például a piac mérete és a szabályozások – jelentős hatással vannak a termelési teljesítményre. A szerzők hangsúlyozták, hogy a technológiai innováció és a folyamatos üzleti stratégiai megújulás kulcsszerepet játszik a versenyképesség fenntartásában. A szerzőpáros egy másik tanulmányában (*Filippini-Greene* [2015]) a svájci feldolgozóiparban azt tapasztalta, hogy a technológiai és energiahatékonysági fejlesztések egyszerre szolgálják a költségcsökkentést és a fenntartható termelés erősítését.

Amornkitvikai és szerzőtársai [2014] sztochasztikushatár- és adatburok-elemzéssel (*Data Envelopment Analysis, DEA*) vizsgálta a thaiföldi kis- és középvállalatok technikai hatékonyságát, és megállapította, hogy a legfőbb akadályt az elavult technológia és a korlátozott exportkapacitás jelenti. A szerzők hangsúlyozták a technológiai fejlesztések és az exportösztönzés szükségességét, valamint az infrastrukturális beruházások és a vállalkozások közötti tudásmegosztás szerepét a hatékonyság növelésében. A tanulmány szerint az iparági támogatások és szabályozások kulcsfontosságúak a fenntartható növekedés biztosításához.

Kumbhakar-Wang [2015] paneladatokon alapuló elemzése az amerikai feldolgozóipar technikai hatékonyságát vizsgálta, kiemelve a vállalati és időspecifikus hatásokat. A szerzőpáros megállapította, hogy az ilyen modellek pontosabban tükrözik

a hatékonysági szinteket, mivel figyelembe veszik az egyedi eltéréseket és az időbeli dinamikát. A kutatás rámutatott, hogy a technológiai fejlődés kulcsfontosságú a termelékenység növelésében, valamint a versenyképesség fenntartásában. A szerzőpáros hangsúlyozta az ipari adatok folyamatos elemzésének és a vállalatok technológiai alkalmazkodóképességének jelentőségét, ami elősegítheti az iparági innovációk hatékony hasznosulását.

Liu-Zhou [2023] sztochasztikushatár-módszer alkalmazásával vizsgálta a kínai feldolgozóipar K + F-hatékonyságát befolyásoló közvetlen támogatások és adókedvezmények hatásait. A szerzőpáros megállapította, hogy a közvetlen támogatások gyorsítják az innovációs növekedést, míg az adókedvezmények hosszú távon fenntarthatóbb innovációt ösztönöznek. Az eredmények szerint a támogatások hatékonysága nagymértékben függ az iparág technológiai fejlettségétől és a régió gazdasági adottságaitól. A tanulmány kiemelte, hogy a pénzügyi ösztönzők hatékonyabb alkalmazásához elengedhetetlen azok összehangolása a vállalatok méretével és technológiai helyzetével. A kutatás arra a következtetésre jutott, hogy célzott iparpolitikai beavatkozásokkal fokozható az ösztönzők hatékonysága, figyelembe véve a helyi gazdasági és technológiai különbségeket.

Módszertan

Kutatási témánkhoz jól illeszkedik a Céginformáció.hu Kft. által működtetett Crefoport Scholar adatbázis, amely Magyarországra vonatkozóan teljes körű vállalati pénzügyi adatokat tartalmaz az éves beszámolók alapján. Az adatbázis a beszámolóknak rögzített mérleg- és eredménykimutatási adatokat is lefedi, így pontos képet nyújt a cégek pénzügyi teljesítményéről. Ezek az adatok termelési függvények becsléséhez is jól használhatók. Cikkünkben a 2013 és 2022 közötti időszakra vonatkozó adatokat használtuk fel az empirikus elemzésekhez.

Kutatási kérdéseink megválaszolásához sztochasztikushatár-elemzési módszert használtunk. Ezt a módszert elsőként egymástól függetlenül Aigner és szerzőtársai [1977], valamint Meeusen-van Den Broeck [1977] vezették be. Az általuk javasolt modell általános formában a következőképpen írható fel:

$$y_i = \alpha + \beta'x_i + v_i - u_i, \quad (1)$$

ahol y_i a vállalatok kibocsátását, x_i az üzem által használt inputokat jelenti, β a technológiai együttthatók vektorát, v_i a statisztikai hibát és u_i a technikai hatékonyság hiányát (*technical inefficiency*), azaz az adott technológiával elérhető maximális kibocsátástól való elmaradás mértékét jelöli. A modell empirikus becsléséhez a v_i és az u_i eloszlására vonatkozóan feltételezéssel kell élnünk. Az egyik leggyakoribb feltételezés az Aigner és szerzőtársai [1977] által bevezetett úgynevezett normál-fél normál eloszlású modell:

$$\begin{aligned} v_i &\sim iid N(0, \sigma_v^2), \\ u_i &\sim iid N^+(0, \sigma_u^2), \end{aligned} \quad (2)$$

ahol v_i független és ideális normál eloszlású véletlen változó 0 várható értékkel és σ_v^2 varianciával; u_i a nulla várható értékű normál eloszlásból származtatott egyoldalú eloszlás. További feltételezés, hogy v_i és u_i eloszlása független egymástól és a magyarázó változókétól. Ezekkel a feltételezésekkel a modell maximum likelihood módszerrel becsülhető.

Bevezetésük óta a sztochasztikushatár-elemzési modellek jelentős fejlődésen mentek keresztül. Részletes összefoglaló található ezekről a modellekről többek között a következő könyvekben: *Coelli és szerzőtársai* [1998], *Fried és szerzőtársai* [2008], *Kumbhakar–Lovell* [2000].

Az egyik legfontosabb módszertani fejlődés a vállalatok közötti heterogenitás megfelelő figyelembevételéhez kapcsolódik. A korai modellek elsősorban a heterogenitás jellemzésére használt változók termelési határfüggvénybe való beépítését célozták. Sok esetben azonban nem állnak rendelkezésre ilyen változók, vagy ha rendelkezésre állnak, erős a multikollinearitás mértéke (*Hsiao* [2022]). A későbbi munkák ezért inkább a heterogenitás figyelembevételekor az ökonometriai módszerek fejlesztésére koncentráltak. *Greene* [2005a], [2005b] két olyan sztochasztikushatár-modellt vezetett be, amelyek képesek szétválasztani a nem megfigyelt heterogenitás hatását a technikai hatékonyságtól, és alkalmasak az időben változó technikai hatékonyság becslésére. Ezeket a modelleket *Greene* valódi fixhatás- (*True Fixed Effect, TFE*) és valódi véletlenhatás- (*True Random Effect, TRE*) modelleknek nevezte el.

Az elnevezés arra utal, hogy a hagyományos panelmodellek (fixhatás- vagy véletlenhatás-modellek) is alkalmasak a technikai hatékonyság becslésére (*Pitt–Lee* [1981], *Schmidt–Sickles* [1984]), de jelentős korlátok mellett: 1. csak időben változatlan hatékonyság becslésére alkalmasak, ami alapvető azonosítási problémát vet fel, és 2. nem tudják szétválasztani a vállalatok közötti keresztmetszeti heterogenitás hatását a hatékonyságtól (*Abdulai–Tietje* [2007], *Greene* [2005a]). A *Greene* által javasolt mindkét modell megoldást nyújt ezekre a problémákra. A valódi fix hatású modellek azonban – rövid idősor és nagyszámú keresztmetszeti megfigyelés esetében (ami a mintánkra is jellemző) – torzított becsléshez vezethetnek az úgynevezett járulékosparaméter-probléma (*incidental parameter problem*) miatt, ezért a kutatás során a valódi véletlenhatás-modellt használtuk:

$$y_{it} = \alpha_0 + \omega_i + \beta'x_{it} + v_{it} - u_{it}, \quad (3)$$

ahol ω_i időben változatlan, üzemspecifikus véletlen hatást jelöl (másként megfogalmazva: a vállalatok közötti heterogenitás hatását foglalja magában), a többi változó a korábbi jelöléseknek megfelelően értelmezhető. A modell ebben a formában szimulációs maximum likelihood módszerrel becsülhető.

Fontos megjegyezni: a valódi véletlenhatás-modell feltételezi, hogy az üzemspecifikus heterogenitás nem korrelál a magyarázó változókkal, ezért érzékeny az ebből adódó torzításokra (*Farsi és szerzőtársai* [2005a], [2005b], *Kuenzle* [2005]). Egy lehetséges módszer a torzítások elkerülésére az úgynevezett Mundlak-specifikáció (*Mundlak* [1978]). Ez a módszer segít megszüntetni a potenciális korreláció miatti torzítás problémáját és figyelembe venni a nem megfigyelt, de a magyarázó változókkal korreláló heterogenitást. Mundlak megközelítése a nem megfigyelt heterogenitás és

a regresszorok közötti korreláció modellezését jelenti egy kiegészítő egyenletben, feltételezve, hogy a nem megfigyelt környezeti termelési tényezők korrelálnak a magyarázó változók csoportátlagaival. A Mundlak-specifikáció a következőképpen építhető be a fenti modellünkbe:

$$\omega_i = \alpha' \bar{x}_i + \theta_i, \quad (4)$$

ahol feltételezzük, hogy $\theta_i \sim N(0, \sigma_\theta^2)$. A felülvonás az időbeni átlagot jelöli. A kiegészítés alapvetően az üzemspecifikus komponenst két hatásra bontja: az első részt a megfigyelhető változók magyarázzák, míg a fennmaradó komponenst úgy tekinti, hogy ortogonális a magyarázó változókkal. Ezt az ortogonalitási feltételezést *Mundlak* [1978] bizonyítja.

További lehetséges kiterjesztése a sztochasztikushatár-elemzési modelleknek a hatékonyságot és/vagy hibatagot magyarázó változók beépítése. Erre többféle megoldás létezik (*Kumbhakar–Lovell* [2000]). Az egyik leggyakoribb megoldás a hatékonysági és/vagy hibatag alapmodellekben feltételezett homoszkedaszticitásának feloldása és heteroszkedaszticitás feltételezése. A heteroszkedaszticitás valamilyen megfigyelt változó és a kapcsolódó koefficiens segítségével a következő módon paraméterezhető (*Kumbhakar–Lovell* [2000]):

$$\begin{aligned} \sigma_{u,i}^2 &= \exp(z'_{u,i} w_u), \\ \sigma_{v,i}^2 &= \exp(z'_{v,i} w_v), \end{aligned} \quad (5)$$

ahol $z'_{u,i}$ és $z'_{v,i}$ a megfigyelhető változók $(m \times 1)$ -es vektorai, beleértve a konstans tagot is, w_u és w_v a változókhoz tartozó koefficiens $(m \times 1)$ -es vektorai.

Az empirikus becslés során Cobb–Douglas-féle függvényformát feltételeztünk, és a technológiai haladás modellezésére az inputok mellett az időváltozót bevontuk a modellbe. A becslt empirikus modellünk a következő:

$$\ln y_{it} = \alpha_i + \sum_j \beta_j \ln x_{jit} + \beta_t * t + v_{it} - u_{it}, \quad (6)$$

ahol $\alpha_i = \alpha' \bar{x}_i + \bar{z}_i$, $t = 1, \dots, T$ az éveket jelöli, a többi változó a korábbiakban meghatározottaknak megfelelően értelmezhető.

Három különböző modellt becsltünk:

1. valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikáció nélkül,
2. valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikációval és
3. valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikációval és a hatékonyságot magyarázó változókkal.

A kutatás során használt függő változó a vállalatok árbevétele (belföldi és exportárbevétel), míg a független változók az anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$), a személyi jellegű ráfordítások ($\log x_2$) és az amortizáció ($\log x_3$). Az elemzés során a változók természetes alapú logaritmusát vettük, hogy csökkentsük a skálák közötti eltéréseket. Az adatokat az EU KLEMS forintalapú árindexeivel defláltuk (*EU KLEMS* [2025]).

Eredmények

Kutatásunk során három különböző valódi véletlenhatás-modellt becsültünk a magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának elemzésére. Ezek a modellek lehetővé tették számunkra, hogy különböző szempontok alapján vizsgáljuk a szektor technikai hatékonyságát, figyelembe véve a vállalatok közötti nem megfigyelhető heterogenitást. Az eredményeket a következőkben részletezzük, összehasonlítva a három modell teljesítményét és az azokból levont következtetéseket a releváns szakirodalom fényében.

Az első modell célja a magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának alapbecslése volt. Az eredmények a következőképpen alakulnak (1. táblázat).

1. táblázat

Valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikáció nélkül

	Koefficiens	Standard hiba	z	$P > z$	95 százalékos konfidenciaintervallum	
Anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$)	0,668	0,002	360,320	0,000	0,664	0,671
Munkaerő ($\log x_2$)	0,230	0,002	112,380	0,000	0,226	0,234
Amortizáció ($\log x_3$)	0,036	0,001	24,620	0,000	0,033	0,039
Időtrend (t)	0,013	0,000	32,380	0,000	0,012	0,014
Konstans	0,267	0,005	54,760	0,000	0,258	0,277
Technikai hatékonyság (variancia) [$\sigma(u)$]						
Konstans	-2,534	0,017	-153,180	0,000	-2,566	-2,501
Véletlen hatások (variancia) [$\sigma(v)$]						
Konstans	-3,547	0,016	-223,660	0,000	-3,578	-3,516
Heterogenitás (τ)						
Konstans	0,388	0,005	80,800	0,000	0,379	0,398
$\sigma(u)$	0,282	0,002	120,920	0,000	0,277	0,286
$\sigma(v)$	0,170	0,001	126,130	0,000	0,167	0,172
λ	1,659	0,003	493,740	0,000	1,653	1,666

Forrás: saját szerkesztés.

A kapott eredmények output-elaszticitásként értelmezhetők. Az inputok közül a legnagyobb mértékű az anyagjellegű ráfordítások hozzájárulása ($\log x_1$) a kibocsátáshoz, míg a munkaerő ($\log x_2$) nagyjából 23 százalékkal járul hozzá. A modell alapján a tőkeinput közelítő változójaként használt amortizáció ($\log x_3$) hozzájárulása 3,6 százalék. Az éves technológiai fejlődés (t) mértéke ebben a specifikációban 1,3 százalék.

Az $\sigma(u)$ és $\sigma(v)$ mutatók alátámasztják a technikai hatékonyság és a véletlen komponensek szignifikáns szerepét a becsült termelési modellben. A τ magas és statisztikailag szignifikáns értéke a cégek közötti heterogenitás jelentőségét mutatja, az 1-nél

magasabb λ pedig a technikai hatékonyság domináns szerepét emeli ki a véletlen tényezőkhoz viszonyítva.

A második modellt (2. táblázat) az úgynevezett Mundlak-féle specifikációval becsültük, amely lehetővé teszi a nem megfigyelt, üzemspecifikus tényezők és a magyarázó változók közötti korreláció kezelését. A szignifikáns Mundlak-változók ($\log x_1$, $\log x_2$, $\log x_3$) arra utalnak, hogy szükséges ennek a korrelációnak a figyelembevétele a termelési modellünk esetében. Ennek eredményeként a munkaerő és a tőke hozzájárulása csökken, és pontosabb képet kapunk a vállalatok közötti különbségek hatásairól.

2. táblázat

Valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikációval

	Koefficiens	Standard hiba	z	$P > z$	95 százalékos konfidenciaintervallum	
Anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$)	0,688	0,002	288,360	0,000	0,683	0,692
Munkaerő ($\log x_2$)	0,196	0,002	79,910	0,000	0,192	0,201
Amortizáció ($\log x_3$)	0,032	0,002	20,500	0,000	0,029	0,035
Időtrend (t)	0,013	0,000	32,360	0,000	0,012	0,014
($\log x_1$)-es Mundlak-változó	-0,072	0,004	-19,620	0,000	-0,079	-0,065
($\log x_2$)-es Mundlak-változó	0,102	0,004	24,160	0,000	0,094	0,110
($\log x_3$)-as Mundlak-változó	0,017	0,003	6,560	0,000	0,012	0,022
Konstans	-0,215	0,041	-5,200	0,000	-0,296	-0,134
Technikai hatékonyság (variancia) [$\sigma(u)$]						
Konstans	-2,508	0,016	-159,740	0,000	-2,539	-2,477
Véletlen hatások (variancia) [$\sigma(v)$]						
Konstans	-3,585	0,015	-237,510	0,000	-3,614	-3,555
Heterogenitás (τ)						
Konstans	0,378	0,004	103,990	0,000	0,371	0,385
$\sigma(u)$	0,285	0,002	127,370	0,000	0,281	0,290
$\sigma(v)$	0,167	0,001	132,510	0,000	0,164	0,169
λ	1,713	0,003	538,720	0,000	1,707	1,719

Megjegyzés: a felülvonás a változó átlagát jelöli.

Forrás: saját szerkesztés.

A becslések szerint az anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$) továbbra is körülbelül 68,8 százalékkal növeli a kibocsátást, míg a munkaerő ($\log x_2$) nagyjából 19,6 százalékkal járul hozzá. Az amortizáció ($\log x_3$) további 3,2 százalékos pozitív hatást mutat, az

éves technológiai fejlődést (t) pedig itt is 1,3 százalékra becsüljük. Ebben az esetben is megmarad a technikai hatékonyság $[\sigma(u)]$ és a véletlen hatások $[\sigma(v)]$ kiemelt szerepe, a magas τ továbbra is a cégek közötti heterogenitás fontosságát mutatja, és az 1 feletti λ változatlanul azt hangsúlyozza, hogy a technikai hatékonyság meghatározóbb, mint a tisztán véletlen tényezők.

A harmadik modell (3. táblázat) lehetővé teszi, hogy még részletesebb képet kapjunk a technológiai és környezeti tényezők szerepéről a feldolgozóipari vállalatok hatékonyságában.

3. táblázat

Valódi véletlenhatás-modell Mundlak-féle specifikációval és a hatékonyságot magyarázó változóval

	Koefficiens	Standard hiba	z	$P > z$	95 százalékos konfidenciaintervallum	
Anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$)	0,689	0,002	293,780	0,000	0,684	0,693
Munkaerő ($\log x_2$)	0,192	0,002	78,080	0,000	0,187	0,197
Amortizáció ($\log x_3$)	0,032	0,002	20,530	0,000	0,029	0,035
Időtrend (t)	0,014	0,000	34,950	0,000	0,013	0,015
$(\log x_1)$ -es Mundlak-változó	-0,080	0,004	-22,570	0,000	-0,087	-0,073
$(\log x_2)$ -es Mundlak-változó	0,096	0,004	24,020	0,000	0,088	0,104
$(\log x_3)$ -as Mundlak-változó	0,015	0,002	6,270	0,000	0,011	0,020
Konstans	-0,026	0,041	-0,640	0,524	-0,107	0,055
Technikai hatékonyság (variancia) $[\sigma(u)]$						
Exportorientáltság (erat)	-56,892	7,140	-7,970	0,000	-70,885	-42,899
Konstans	-2,387	0,015	-164,450	0,000	-2,415	-2,358
Véletlen hatások (variancia) $[\sigma(v)]$						
Konstans	-3,621	0,013	-268,340	0,000	-3,648	-3,595
τ						
Konstans	0,376	0,003	110,560	0,000	0,369	0,382
$E[\sigma(u)]$	0,273				0,273	0,274
$\sigma(v)$	0,164	0,001	148,210	0,000	0,161	0,166

Forrás: saját szerkesztés.

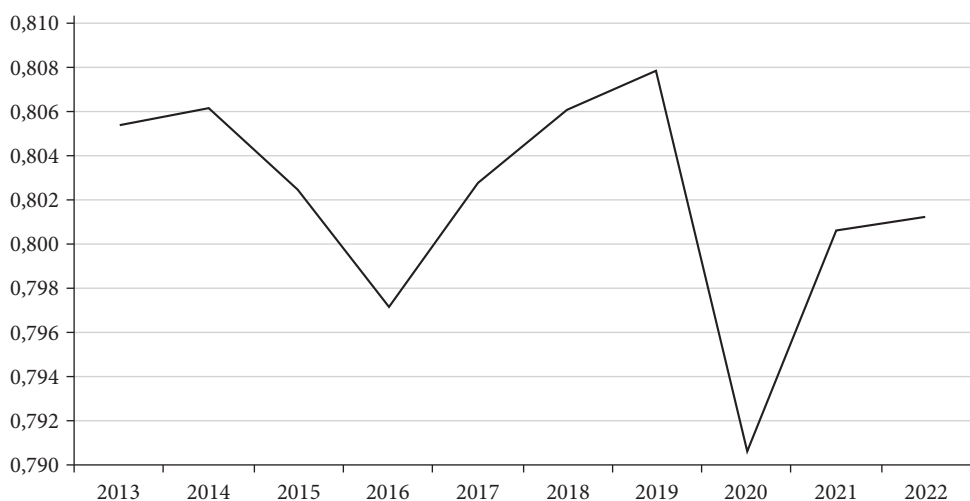
Ebben a Mundlak-specifikációjú modellváltozatban további hatékonyságot magyarázó tényezőt is bevonunk: az exportárbevétel-részesedést jelző változót (erat). A kapott eredmények szerint az anyagjellegű ráfordítás ($\log x_1$) hozzávetőleg

68,9 százalékkal, a munkaerő ($\log x_2$) 19,2 százalékkal növeli a kibocsátást, az amortizáció ($\log x_3$) pedig további 3,2 százalékos hatást jelent. Az időtrend (t) megközelítőleg 1,4 százalékos technológiai fejlődést valószínűsít. Az exportorientáltság (erat) ennél a specifikációnál is negatív előjelű, ami azt mutatja, hogy az export növekedése csökkenti a „hatékonytalanságot”, azaz növeli a technikai hatékonyságot. A Mundlak-változók szerepe változatlanul fontos, miközben a τ magas értéke és az 1 feletti λ itt is a vállalati eltérések és a technikai hatékonyság domináns szerepét hangsúlyozza.

A 2. ábra a magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának alakulását szemlélteti a Mundlak-specifikációs modell alapján. A görbe alakulásából kitűnik, hogy az időszak elején tapasztalt enyhe hullámváz után több markánsabb visszaesés és újabb emelkedés is jellemzi a feldolgozóipar teljesítményét. Ezek a kilengések a külső gazdasági feltételek változása és a vállalati alkalmazkodóképesség közötti kölcsönhatást tükrözik: a negatívabb időszakokat a piaci bizonytalanság vagy a versenykörnyezet szigorodása idézhette elő, míg a kilábalásokat hatékonyságnövelő intézkedések vagy kedvező gazdasági fordulatok táplálhatták.

2. ábra

A magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának alakulása



Forrás: saját szerkesztés.

A 4. táblázat a mintába került vállalatokat négy, árbevétel alapján kialakított méretkategóriába (kvartilisbe) sorolja, és a kategóriák átlagos technikai hatékonyságát mutatja be. Az eredmények szerint a kisebb árbevételű, azaz leginkább a kis- és középvállalatokat tömörítő kvartilisekhez tartozó vállalatok hatékonysága szignifikánsan alacsonyabb a nagyobb árbevételűeknél. Ebből is következik, hogy a technikai hatékonyságot javító programok – például képzési, innovációs és tanácsadási támogatások – kiemelten segíthetik a kis- és középvállalatokat, ezáltal hosszabb távon erősítve az egész szektor versenyképességét.

4. táblázat

A vállalatméret szerinti kvartilisek technikai hatékonysága

Kvartilis	Átlag	Z-érték	$P > z$
1.	0,716	85,114	0,000
2.	0,775	39,986	0,000
3.	0,812	6,193	0,000
4.	0,906	18,908	0,000

Forrás: saját szerkesztés.

Az elemzés kiegészítéseként az outputnövekedést felbontottuk a technológiai fejlődés, a technikai hatékonyság és az inputnövekedés hatására (*Chambers* [1988] és *Kumbhakar–Lovell* [2000] alapján).² Az 5. táblázatban az éves kibocsátás körülbelül 5,1 százalékkal emelkedik. Ennek 3,5 százalékat a bővülő inputok adják, a technológiai fejlődés (1,4 százalék) szintén fontos, ám nem elsődleges tényezőként jelenik meg, míg a technikai hatékonyság javulása csak csekély mértékben járul hozzá a növekedéshez. Mindez megerősíti azt a következtetést, hogy a magyar feldolgozóipar bővülése főként az inputfelhasználás növelésén alapult, és bár a technológiai fejlődés is számottevő, a technikai hatékonyság kihasználásában még jelentős potenciál rejlik.

5. táblázat

A teljes tényezőtermelékenység felbontása

	Megfigyelés-szám	Átlag	Standard hiba	Minimum	Maximum
Outputnövekedés	48 731	0,052	0,377	–1,997	1,998
Technológiai fejlődés	48 737	0,014	0,000	0,014	0,014
Inputnövekedés	48 731	0,035	0,309	–1,811	1,817
A technikai hatékonyság változása	48 731	0,001	0,145	–1,933	1,896

Forrás: saját szerkesztés.

Összefoglalás és következtetések

Jelen tanulmányunkban a magyar feldolgozóipar technikai hatékonyságának vizsgálatára került sor, különös tekintettel a vállalatok és régiók közötti nem megfigyelt heterogenitás szerepére. Az elemzés alapját a sztochasztikushatár-elemzési (*Stochastic Frontier Analysis, SFA*) módszertan képezi, amely lehetővé teszi a vállalatok termelékenységének és hatékonyságának precíz mérését.

² Nagy–Baráth [2015] más módszerrel, de hasonló elven alapuló becslést végzett a mezőgazdasági szektor EU-csatlakozást követő teljes tényezőtermelékenységének (TFP) alakulásáról.

Kutatásunkban három különböző valódi véletlenhatás- (*True Random Effect, TRE*) modellt alkalmaztunk, amelyek mindegyike eltérő módon kezelte a vállalatok közötti nem megfigyelhető heterogenitást, valamint a technológiai és környezeti tényezők hatásait.

Az elemzés a döntéshozók számára fontos modellezési és gyakorlati eredményekre hívja fel a figyelmet. Modellezési szempontból lényeges, hogy a nem megfigyelt heterogenitás jelentős hatást gyakorol a technikai hatékonyság becslésére a magyar feldolgozóipari vállalatok esetében. Emellett szintén fontos a Mundlak-specifikáció alkalmazása a nem megfigyelhető heterogenitás és az inputváltozók közötti korreláció kezelése miatt. Ennek köszönhetően realisabb eredményeket kaptunk, ezeknek a tényezőknek a figyelmen kívül hagyása a technikai hatékonyság jelentős alulbecsléséhez vezet. Tovább pontosíthatók az eredmények a technikai hatékonyságot magyarázó változók segítségével (esetünkben az exportárbevétel-részesedés beépítésével). Az eredmények szerint a magasabb exportarányú vállalatok technikai hatékonysága kedvezőbb, mivel az intenzívebb nemzetközi verseny és a szigorúbb minőségi követelmények javíthatják a működési hatékonyságot.

Az outputnövekedés felbontása világossá tette, hogy a magyar feldolgozóipar növekedése a vizsgált időszakban erősen inputvezérelt volt (mintegy 3,5 százalékos bővüléssel), amit a technológiai fejlődés is kiegészített (1,4-1,5 százalékos hozzájárulással), ugyanakkor a technikai hatékonyság javulása csekély maradt. Ez azt jelenti, hogy a szektoron belül számottevő további tartalék rejlik a folyamatok hatékonyságának fokozásában, amelynek kiaknázásához célzott szakpolitikai beavatkozások – például a vállalati képzések, valamint az exporttevékenység támogatása – adhatnak megfelelő háttérrel. Ezek az intézkedések a kis- és középvállalatok esetében különösen hatásosak lehetnek. A méretkategóriák szerinti összehasonlítás egyértelműen kimutatta, hogy a kisebb vállalatok technikai hatékonysága kisebb, ezért a kis- és középvállalatok esetében jelentős lehetőségek rejlenek a technikai hatékonyságon keresztül való termelékenységnövelésben.

Összességében megállapítható, hogy a magyar feldolgozóipari vállalatoknál a technikai hatékonyság becslésének pontosságát lényegesen befolyásolja a vállalati heterogenitás figyelembevétele. Az itt bemutatott eredmények, amelyek összhangban állnak több korábbi kutatás (például *Abdulai-Tietje* [2007], *Baráth-Fertő* [2013]) következtetéseivel, azt mutatják, hogy a nem megfigyelt heterogenitás és a véletlen inputhatás közötti korreláció megfelelő kezelése elengedhetetlen. A vizsgálat rávilágít arra is, hogy az erőteljesebb exportorientáltságú vállalatok hatékonyabban működnek, így az exportra irányuló vállalati stratégiák, továbbá a technológiai és menedzsmentfejlesztés (például az ipar 4.0 megoldások, innováció- és K + F-támogatás) tovább növelhetik a feldolgozóipar termelékenységét és versenyképességét. Mindez a szakpolitika tervezésénél és a vállalati döntéshozatalban egyaránt hasznos szempontként szolgálhat a jövőben.

Hivatkozások

- ABDULAI, A.–TIETJE, H. [2007]: Estimating technical efficiency under unobserved heterogeneity with stochastic frontier models: application to northern German dairy farms. *European Review of Agricultural Economics*, Vol. 34. No. 3. 393–416. o. <https://doi.org/10.1093/erae/jbm023>.
- AIGNER, D.–LOVELL, C. A. K.–SCHMIDT, P. [1977]: Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, Vol. 6. No. 1. 21–37. o. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5).
- AMORNKITVIKAI, Y.–HARVIE, C.–CHAROENRAT, T. [2014]: Estimating a Technical Inefficiency Effects Model for Thai Manufacturing and Exporting Enterprises (SMEs): A Stochastic Frontier (SFA) and Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE)*. 363–390. o. <https://doi.org/10.28945/2028>.
- ANDREWS, D.–CRISCUOLO, C.–GAL, P. [2018]: The global productivity slowdown, technology divergence and public policy: A firm-level perspective. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1372. <https://doi.org/10.1787/2e2e2f1e-en>.
- BAILY, M. N.–MONTALBANO, N. [2016]: Why Is U.S. Productivity Growth So Slow? Possible Explanations and Policy Responses. *Hutchins Center Working Paper*, No. 22. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/09/wp22_baily-montalbano_final4.pdf.
- BARÁTH LAJOS–FERTŐ IMRE [2013]: Heterogenitás és technikai hatékonyság. A magyar specializált szántóföldi növénytermesztő üzemek esete. *Közgazdasági Szemle*, 60. évf. 6. sz. 650–669. o. https://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1256/1/Kszemle_CIKK_1391.pdf.
- BAUMOL, W. J. [2017]: *The Cost Disease*. Yale University Press, New Haven, CT. <https://doi.org/10.12987/9780300188486>.
- BÉKÉS GÁBOR–HALPERN LÁSZLÓ–MURAKÖZY BALÁZS [2011]: A magyar külkereskedő vállalatok. *Műhelytanulmányok*, No. 2011/43. MTA Közgazdaságtudományi Intézet, Budapest, <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/108243/1/MTDP1143.pdf>.
- BRYNJOLFSSON, E.–MCAFFEE, A. [2014]: *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W.W. Norton & Company.
- CHAMBERS, R. G. [1988]: *Applied production analysis: a dual approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- COELLI, T.–RAO, D. S. P.–BATTESE, G. E. [1998]: *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>.
- EU KLEMS [2025]: *EU KLEMS – Growth and Productivity Accounts*. <https://euklems.eu>.
- FAHMY-ABDULLAH, M.–ISMAIL, R.–SULAIMAN, N.–TALIB, B. A. [2017]: Technical efficiency in transport manufacturing firms: Evidence from Malaysia. *Asian Academy of Management Journal*, Vol. 22. No. 1. 57–77. o. <https://doi.org/10.21315/aamj2017.22.1.3>.
- FARSI, M.–FILIPPINI, M.–GREENE, W. [2005a]: Efficiency Measurement in Network Industries: Application to the Swiss Railway Companies. *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 28. No. 1. 69–90. o. <https://doi.org/10.1007/s11149-005-2356-9>.
- FARSI, M.–FILIPPINI, M.–KUENZLE, M. [2005b]: Unobserved heterogeneity in stochastic cost frontier models: an application to Swiss nursing homes. *Applied Economics*, Vol. 37. No. 18. 2127–2141. o. <https://doi.org/10.1080/00036840500293201>.
- FERNALD, J. G. [2015]: Productivity and Potential Output Before, During, and After the Great Recession. *NBER Macroeconomics Annual*, Vol. 29. No. 1. 1–51. o. <https://doi.org/10.1086/680580>.

- FILIPPINI, M.–GREENE, W. H. [2015]: Persistent and transient productive inefficiency: a maximum simulated likelihood approach. *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 45. No. 2. 187–196. o. <https://doi.org/10.1007/s11123-015-0446-y>.
- FILIPPINI, M.–GREENE, W. H. [2016]: Energy efficiency in the Swiss manufacturing sector: A stochastic frontier analysis. *Energy Economics*, Vol. 56. 54–63. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.004>.
- FRIED, H. O.–LOVELL, C. A. K.–SCHMIDT, S. S. (szerk.) [2008]: *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*. Oxford University Press, <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195183528.001.0001>.
- GORDON, R. J. [2016]: *The Rise and Fall of American Growth. The U.S. Standard of Living since the Civil War*. Princeton University Press, Princeton, <https://doi.org/10.1515/9781400873302>.
- GREENE, W. [2005a]: Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, Vol. 126. No. 2. 269–303. o. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.05.003>.
- GREENE, W. [2005b]: Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models. *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 23. No. 1. 7–32. o. <https://doi.org/10.1007/s11123-004-8545-1>.
- GREENE, W. H. [2008]: *The Econometric Approach to Efficiency Analysis*. Megjelent: *Fried, H. O.–Lovell, C. A. K.–Schmidt S. S. (szerk.): The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*. Oxford Academic, New York, 92–250. o. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195183528.003.0002>.
- HASHIM, N.–FAHMY-ABDULLAH, M. [2024]: Technical efficiency in the Malaysian electric and electronic manufacturing industry: A stochastic frontier analysis approach. *Asian Economic and Financial Review*, Vol. 14. No. 2. 88–104. o. <https://doi.org/10.55493/5002.v14i2.5008>.
- HSIAO, C. [2022]: *Analysis of Panel Data*. Econometric Society Monographs. Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/9781009057745>.
- HUYNH, L. T. D.–HOANG, H. T. [2023]: Technical Efficiency and Total Factor Productivity Changes in Manufacturing Industries: Recent Advancements in Stochastic Frontier Model Approach. *Montenegrin Journal of Economics*, Vol. 19. No. 1. <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2023.19-1.5>.
- KSH [2016] Gyorstájékoztató az iparról, 2016. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/ipa/ipa1612.html>.
- KSH [2020]: Helyzetkép az iparról, 2020. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest, <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/jelipar/2020/index.html>.
- KSH STADAT [2018]: KSH STADAT 13.2.1.29. Az ipari termelékenység indexei alágak szerint. https://www.ksh.hu/stadat_files/ipa/hu/ipa0059.html.
- KUENZLE, M. [2005]: *Cost efficiency in network industries: Application of stochastic frontier analysis*. Doctoral Thesis ETH Zurich, ETH No. 16117. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005004701>.
- KUMBHAKAR, S.–LOVELL, K. [2000]: *Stochastic frontier analysis*. University Press, Cambridge, <https://doi.org/10.1111/1467-8276.t01-1-00317>.
- KUMBHAKAR, S. C.–WANG, H.-J. [2015]: *Estimation of Technical Inefficiency in Production Frontier Models Using Cross-Sectional Data*. Megjelent: *Ray, S.–Kumbhakar, S.–Dua, P. (szerk.): Benchmarking for Performance Evaluation*. Springer, New Delhi, https://doi.org/10.1007/978-81-322-2253-8_1.

- LEE, G. H.–JEON, H. W. [2023]: A Stochastic Frontier Analysis (SFA)-Based Method for Detecting Changes in Manufacturing Energy Efficiency by Sector and Time. Megjelent: *Alfnes, E.–Romsdal, A.–Strandhagen, J. O.–von Cieminski, G.–Romero, D.* (szerk.): *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures. APMS 2023. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol. 692. Springer, Cham, 29–42. o. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43688-8_3.
- LIU, Z.–ZHOU, X. [2023]: Can Direct Subsidies or Tax Incentives Improve the R&D Efficiency of the Manufacturing Industry in China? *Processes*, Vol. 11. No. 1. 181. <https://doi.org/10.3390/pr11010181>.
- MEEUSEN, W.–VAN DEN BROECK, J. [1977]: Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, Vol. 18. No. 2. 435–444. o. <https://doi.org/10.2307/2525757>.
- MNB [2022]: Termelékenységi jelentés. Magyar Nemzeti Bank, Budapest, <https://www.mnb.hu/letoltes/termelekenysegi-jelentes-2022-julius.pdf>.
- MUNDLAK, Y. [1978]: On the Pooling of Time Series and Cross Section Data. *Econometrica*, Vol. 46. No. 1. 69–85. o. <https://doi.org/10.2307/1913646>.
- NAGY ZSUZSANNA–BARÁTH LAJOS [2015]: A többlettermelés termelékenysége és a környezeti állapot változása a magyar mezőgazdaságban az EU-csatlakozást követően. *Statisztikai Szemle*, 93. évf. 1. sz. 53–73. o. https://www.ksh.hu/statszemle_archive/2015/2015_01/2015_01_053.pdf.
- OH, S.-C.–HILDRETH, A. [2014]: Estimating the Technical Improvement of Energy Efficiency in the Automotive Industry. *Stochastic and Deterministic Frontier Benchmarking Approaches. Energies*, Vol. 7. No. 9. 6196–6222. o. <https://doi.org/10.3390/en7096196>.
- PITT, M. M.–LEE, L.-F. [1981]: The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, Vol. 9. No. 1. 43–64. o. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(81\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0304-3878(81)90004-3).
- RÉDEI MÁRIA–JAKOBI ÁKOS–JENEY LÁSZLÓ [2002]: Regionális specializáció és a feldolgozóipari tevékenység változása. *Tér és Társadalom*, 16. évf. 4. sz. 87–108. o. <https://doi.org/10.17649/tet.16.4.864>.
- ROY, P. K.–PAL, M. K.–DAS, P. S. [2021]: Sources of Total Factor Productivity Growth of the Organized Manufacturing Industries in Gujarat, India: A Stochastic Frontier Approach. Megjelent: *Pal, M. K.* (szerk.): *Productivity Growth in the Manufacturing Sector. Emerald Publishing Limited, Leeds*, 137–153. o. <https://doi.org/10.1108/978-1-80071-094-820211011>.
- SCHMIDT, P.–SICKLES, R. C. [1984]: Production Frontiers and Panel Data. *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol. 2. No. 4. 367–374. o. <https://doi.org/10.1080/07350015.1984.10509410>.
- SHUI, H.–JIN, X.–NI, J. [2015]: Manufacturing productivity and energy efficiency: a stochastic efficiency frontier analysis. *International Journal of Energy Research*, július 28. <https://doi.org/10.1002/er.3368>.
- SYVERSON, C. [2011]: What Determines Productivity? *Journal of Economic Literature*, Vol. 49. No. 2. 326–365. o. <https://doi.org/10.1257/jel.49.2.326>.
- SZALAVETZ ANDREA–SOMOSI SAROLTA [2019]: Ipar 4.0-technológiák és a magyarországi fejlődés-felzárkózás hajtóerőinek megváltozása – gazdaságpolitikai tanulságok. *Külgazdaság*, 63. évf. 3–4. sz. 66–93. o. <https://doi.org/10.47630/kulg.2019.63.3-4.66>.

- VASVÁRI TAMÁS–DANKA SÁNDOR–HAUCK ZSUZSANNA [2019]: Termelés és innováció – tanulmányok a hazai iparpolitika számára. *Közgazdasági Szemle*, 66. évf. 10. sz. 1031–1055. o. <https://doi.org/10.18414/kszh.2019.10.1031>.
- WANG, X.–HOCKMANN, H.–BAI, J. [2012]: Technical Efficiency and Producers' Individual Technology: Accounting for Within and Between Regional Farm Heterogeneity. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 60. No. 4. 561–576. o. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2012.01264.x>.
- WAN, X.–KAZMI, S. A. A.–WONG, C. Y. [2022]: Manufacturing, Exports, and Sustainable Growth: Evidence from Developing Countries. *Sustainability*, Vol. 14. No. 3. 1646. <https://doi.org/10.3390/su14031646>.