

Ipar 4.0 technológiák és környezeti fenntarthatóság – magyar feldolgozóipari tapasztalatok

SZALAVETZ ANDREA

*A cikk az ipar 4.0 technológiák környezeti hatásait vizsgálja 16 magyarországi feldolgozóipari leányvállalatnál készített mélyinterjúk alapján. Megállapítja, hogy a kibernetikai termelési rendszerek, a termelésirányítási és folyamatfelügyeleti rendszerek, folyamatoptimalizálási algoritmusok, továbbá a digitális termékfejlesztési, illetve termékéletciklus-kezelési megoldások nem csupán a leányvállalatok termelési képességeit és erőforrás-hatékonyságát javítják, hanem a környezeti teljesítményét is. Azt találja továbbá, hogy szoros összefüggés van a helyi leányvállalatok feljebb lépésének különböző dimenziói: a termék alapú, a termelési eljárás-alapú, valamint a funkcionális feljebb lépés, illetve a környezeti teljesítmény szempontjából elemzett feljebb lépés, és a digitális feljebb lépés között.**

Journal of Economic Literature (JEL) kód: O33, O14, Q55, F23.

A környezet-gazdaságtan és különösen a vállalati fenntarthatóság tudományterületének kutatói számára az egyik klasszikus hivatkozás Porter és Van der Linde 1995-ös cikke: az ún. Porter-hipotézis. A cikk azt a tételt bizonyítja, hogy a környezeti fenntarthatóság és a vállalati versenyképesség közötti kapcsolat nem feltétlenül ellentétes irányú, a fenntartható vállalati működést célzó beruházásoknak számottevő versenyképesség-erősítő hatásuk lehet.

E cikk óta eltelt évtizedekben könyvtárnyi írás vizsgálta a vállalati környezeti stratégia és a versenyképesség összefüggéseit, különösen a környezeti innovációknak (Renning, 2000; magyar nyelvű áttekintést ad: Zilahy–Széchy, 2012), a környezeti menedzsment rendszerek bevezetésének (Lucas, 2010) és egyáltalán, a környezeti teljesítmény mérésének a versenyképességre gyakorolt hatását (Schaltegger és szerzőtársai, 2015).

Az oksági kapcsolat másik iránya: a versenyképesség erősítését célzó stratégiai lépéseknek a környezeti teljesítményt befolyásoló hatása látszólag triviális. A termékek minőségének (élettartamának, megbízhatóságának, üzemanyag-hatékonyságának) javítását, zajsztintjének csökkentését célzó egyes innovációk például egyúttal automatikusan környezeti termékinnovációknak minősülnek. Hasonlóan, az erőforrás-felhasználás (például anyag- és energiafelhasználás) hatékonyságának növelését célzó folyamatinnovációk egyúttal automatikusan ökoinnovációknak tekinthetők. Duarte–Cruz–Machado [2017] például, jelentős

Szalavetz Andrea, MTA KRTK Világgazdasági Intézet, E-mail: szalavetz.andrea@krtk.mta.hu

* A kutatás az OTKA (K116173) támogatásával valósult meg.

irodalmat áttekintve bizonyítja, hogy a széles értelemben vett pazarlás megszüntetését célzó lean menedzsment és a vállalati környezetmenedzsment között jelentősek az átfedések, a két menedzsment paradigma integrálható, integrálandó.

Az is közhelynek számít, hogy az eljárásfejlesztés gyakran új termelőeszközök beszerzését igényli, és az új gépek energiahatékonysága rendszerint felülmúlja a korábbi évjáratokéit. Így az eszközbeszerzés egyúttal az üzem fajlagos energiahatékonyságát is javítja.

Ez a cikk amellet érvel, hogy e triviális példákön túlmenően is érdemes megvizsgálni a versenyképesség és a környezeti fenntarthatóság ok-okozati összefüggésének ez utóbbi irányát: a vállalati versenyképesség erősítését célzó beruházások kedvező környezeti „mellékhatásait”.

Cikkemben ennek az összefüggésnek egyetlen megnyilvánulási formájával¹ foglalkozom. Globális vállalatok magyarországi feldolgozóipari leányvállalatainak példáján, 16 magyarországi, autóipari, elektronikai és gépipari leányvállalatnál készített interjúk eredményeit elemezve bemutatom, hogy amennyiben e cégek a versenyképességük erősítése érdekében a negyedik ipari forradalom² technológiáit alkalmazzák a hozzáadottérték-termelő tevékenységeikben (például kiberfizikai termelési rendszereket, termelésirányítási és folyamatfelügyeleti rendszereket, folyamatoptimalizálási algoritmusokat állítanak üzembe, vagy/és digitális termékfejlesztési, illetve termékéletciklus-kezelési megoldásokat alkalmaznak), e technológiák egyúttal gyakran a tevékenység környezeti fenntarthatóságát is erősítik.

Feldolgozóipari *leányvállalatok* tapasztalatairól lesz szó, ami jelentősen szűkíti a versenyképesség → környezeti fenntarthatóság meglehetősen szerteágazó témáját. Ez esetben ugyanis nincs értelme olyan versenyképesség-erősítő lépéseket tárgyalni (illetve azok környezeti teljesítményt javító hatását), amelyek üzleti kiaknázása önálló vállalkozási tevékenységet igényel. Így például, nem foglalkozom az additív gyártás (3D nyomtatás) kedvező környezeti következményeivel, noha ez a technológiai újdonság környezeti szempontból igen releváns (az additív, a terméket rétegről rétegre felépítő gyártás

¹ Az összefüggés számos egyéb vonatkozásban is vizsgálható, például a versenyképesség erősítését célzó üzletimodell-innovációk kedvező környezeti hatásai vonatkozásában. Ide tartozik az újragyártás, vagy a „termék, mint szolgáltatás” üzleti modellje, vagy a megosztáson alapuló gazdaság üzleti modelljei. Ezekben az esetekben nem állíthatjuk egyértelműen, hogy az üzleti modell-innovációk célja elsősorban a fenntarthatóság lenne: ezek az ötletek par excellence stratégiai, üzleti megfontolásokból születnek, és amennyiben sikert aratnak, egyúttal kedvező környezeti „mellékhatásokkal” járnak.

² A negyedik ipari forradalom definícióját lásd a következő fejezetben.

anyagtakarékosabb, mint a hagyományos szubsztraktív technológiák, továbbá az új technológia rövidebb, lokálisabb értékláncokat eredményez, vagyis kevesebb köztes termék–szállításra lesz szükség – *Bermann, 2012; Ford–Despeisse, 2016*).

A globális cégek feldolgozóipari leányvállalatai azonban elsősorban a termelési képességeik javításával (*Radosevic–Yoruk, 2015*) és költségeik csökkentésével versenyeznek (nem pedig önállóan, saját tervezésű, fejlesztésű termékekkel). A verseny az anyavállalatuk szervezetén, illetve az értékláncon belül folyik – a korábbiaknál jobb pozícióért, komolyabb feladatokért (mandátumért), és ennek megfelelően: több fejlesztési forrásért (*Birkinshaw, 2000*).

Ennek megfelelően, ebben a cikkben azokat a technológiai megoldásokat (azok környezeti fenntarthatóságra gyakorolt hatását) vizsgálom, amelyek a helyi leányvállalatok termelési képességét erősítik, és/vagy a termeléshez közvetlenül kapcsolódó funkciók termelékenységét javítják.

Ez a megközelítés egyrészt lehetővé teszi, hogy a versenyképesség-erősítés és a vállalatok környezeti teljesítménye közötti kölcsönhatásnak a választott, nem hagyományos irányát helyezzük nagyító alá, másrészt rávilágít kutatásom egyik fontos eredményére. Vizsgálataim során ugyanis azt találtam, hogy szoros összefüggés van a helyi leányvállalatok feljebb lépésének különböző dimenziói: a termék-alapú, a termelési eljárás-alapú, valamint a funkcionális feljebb lépés (*Humphrey–Schmitz, 2002*), a környezeti teljesítmény szempontjából elemzett feljebb lépés, és a digitális feljebb lépés között.

Feljebb lépésnek tekintem, ha egy gazdasági szereplő fajlagos hozzáadottérték-termelő képessége nő. Ez megvalósulhat akár úgy, hogy relatíve alacsony hozzáadott értékű tevékenységekről magasabb hozzáadott értékűekre áll át, vagy azokkal bővíti tevékenységi körét (funkcionális feljebb lépés), akár úgy, ha a korábbiaknál magasabb helyi hozzáadott értékű termékeket kezd gyártani (termék-alapú feljebb lépés), akár pedig úgy, hogy a termelési eljárását fejleszti, és a tökéletesebb és termelékenyebb eljárással a korábbiaknál magasabb fajlagos hozzáadott értéket hoz létre.³

³ *Humphrey–Schmitz* [2002] csoportosításában szerepel egy negyedik kategória is, az *iparágak közötti feljebb lépés*, amikor a cégek az egyik iparágban/értékláncban megszerzett kompetenciáikat arra használják fel, hogy tudásigényesebb, magasabb hozzáadott értékű, esetleg más iparágakba tartozó tevékenységek végzésére álljanak át. Az előző lábjegyzetben részletezett üzleti modell-innovációk kiválóan példázzák az iparágak közötti feljebb lépést, továbbá azt is, hogy ez utóbbi feljebb lépési kategória és a környezeti feljebb lépés is szorosan összefügg egymással. Mivel azonban ez a feljebb lépési dimenzió a feldolgozóipari leányvállalatok szempontjából nem releváns, ebben a cikkben mindezzel nem foglalkozom.

De Marchi és szerzőtársai [2013] alapján, környezeti feljebb lépésnek tekintem, ha a gazdasági szereplők úgy módosítják termelési rendszerüket, hogy ennek eredményeként a termékek előállítására, használatára, valamint a stratégiai menedzsment rendszerre visszavezethető kedvezőtlen környezeti hatások mérséklődnek, vagy teljesen megszűnnek. Digitális feljebb lépésnek pedig azt tekintem, ha egy vállalat a korábbiaknál nagyobb mértékben integrál digitális technológiákat a hozzáadottérték-termelési folyamataiba.⁴

A cikk a továbbiakban elsőként röviden áttekinti a vonatkozó szakirodalmat, majd ismerteti a kutatási módszert és összefoglalja a meginterjúvált vállalatok jellemzőit. Az eredményekre rátérve, három olyan területet mutatok be, ahol az ipar 4.0 technológiák alkalmazása egyúttal a vállalati működés környezeti fenntarthatóságát is javítja. Végül, a „Következtetések” fejezet néhány összefoglaló megjegyzést tartalmaz és elemzi az eredmények korlátait és üzleti tanulságait.

Szakirodalmi háttér

A téma szerteágazó szakirodalmi összefüggései közül, kutatásomhoz a legszorosabban a negyedik ipari forradalommal (ipar 4.0), pontosabban az új feldolgozóipari technológiák gazdasági és üzleti vonatkozásaival, valamint a vállalati működés környezeti fenntarthatóságával foglalkozó irodalom kapcsolódik.⁵ Ez utóbbi, komplex témakörön belül, leginkább a környezeti fenntarthatóság és a vállalati (üzleti és innovációs) teljesítmény összefüggésével foglalkozó írások relevánsak.

⁴ Makroszinten ezt számszerűsíti az Európai Bizottság DESI (Digitális Gazdaság és Társadalom Index) indexének üzleti komponense. A digitális teljesítményt öt dimenzió alapján mérő, összetett DESI index 2017-es rangsora szerint (<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>), Magyarország a 28 EU-tagállam közül a 21. helyezett (az öt dimenzió közül, éppen a vállalatok digitális teljesítménye az egyik leggyengébb).

⁵ A vállalati működés környezeti fenntarthatóságát hosszú ideig csupán az egyedi vállalatok szintjén vizsgálták. A globális értékláncok korában azonban ez a szemlélet egyre kevésbé állja meg a helyét, így a környezeti fenntarthatóság is bekerült azok közé a horizontális szempontok közé, amelyekkel kibővítették a vertikális szemléletű értéklánc-elemzéseket (ez utóbbiak olyan témákra fókuszálnak, mint az értékláncok koordinációja, a tevékenységek földrajzi megosztása, vagy a feljebb lépés). A horizontális szempontok közé tartozik például az értéklánc-integrálódás társadalmi hatásai, és a szegénységre gyakorolt hatásai, a munkaerőpiaci hatások, vagy az „értékláncok és politikai folyamatok”-témája (lásd: *Bolwig* és szerzőtársai, 2010). A „zöld” értéklánc-elemzések egyik gyakori témája a környezeti szempontok integrálása az ellátási lánc menedzsmentbe (lásd *Srivastava*, 2007 áttekintését). Mindazonáltal, mivel a cikk az új technológiai megoldásokba beruházó feldolgozóipari leányvállalatok környezeti teljesítményét vizsgálja, az elemzés szintje, a környezet-gazdaságtan témájában megjelent írások többségéhez hasonlóan, az egyedi vállalat.

A negyedik ipari forradalom kifejezés egyfelől a hozzáadott értéktermelést forradalmasító új technológiai megoldásokra⁶ utal, másfelől arra, hogy új termelési paradigmával állunk szemben, amelyben

- az értékláncot alkotó számos tevékenység (a termelés és a kapcsolódó szolgáltatási tevékenységek, vállalati folyamatok) jellege megváltozik;

- újfajta termékek, üzleti szolgáltatások és leginkább: termék–szolgáltatáscsomagok kerülnek a piacra (*Porter–Heppelmann*, 2014, 2015);

- új üzleti folyamatokkal (az alaptevékenységet, és az értékláncok koordinációját támogató szolgáltatásokkal) bővülnek az értékláncok, és ennek megfelelően új, korábban nem létezett munkakörök keletkeznek;

- új üzleti modellek keletkeznek és válnak sikeressé;

- a korábbiaktól eltérő módon szerveződhetnek az értékláncokon belüli tranzakciók; és

- az új technológiáknak megfelelően módosulhatnak a vállalati szervezetek (*Brettel* és szerzőtársai, 2014; *Monostori*, 2015; *Váncza* és szerzőtársai, 2011).

Az új technológiai megoldások forradalmasítják a termelékenységet: az egyes gyártási feladatok automatizálása és robotizálása a gyártásét, a kiberfizikai rendszerekbe beépített optimalizálási, döntéstámogatási és virtualizációs megoldások pedig a termelést támogató funkciókét (például kapacitástervezés, termelés- és karbantartás-ütemezés, gyártósor-kialakítás és -bővítés, terméktervezés, gyártási logisztika).

Mivel az ipar 4.0 technológiák az alaptevékenységnek és az azt támogató funkcióknak minden egyes részterületét mérik és optimalizálják (lásd később), a vállalatok ennek eredményeként összességében kevesebb erőforrást használnak fel, és azokat is a korábbiaknál hatékonyabban (*Kagermann*, 2015).⁷

⁶ Ide tartoznak a kiberfizikai termelési rendszerek, a mesterséges intelligencia, a felhőalapú számítástechnika, a nagy adattudomány, a kollaboratív robotok, a 3D nyomtatás, stb. (Lásd erről: *Manyika* és szerzőtársai, 2013). Ebből a felsorolásból kitűnik, hogy a korábbi ipari forradalmakkal ellentétben, a „forradalmi hajtóerőt” nem egyetlen technológia jelenti, hanem részben a már korábban létező technológiai megoldások tökéletesedése, részben új technológiák megjelenése, részben pedig e technológiák konvergenciája, szinergiát eredményező együttes hatása. A technológiai újdonságok közül mindazonáltal, a (számos technológiai megoldást ötvöző) kiberfizikai termelési rendszereket emelik ki az ipar 4.0 jelenség értelmezésekor, vagyis a fizikai (termelőeszközök) és a virtuális világ (szoftvermegoldások, 3D vizualizáció) Internetalapú integrációját a feldolgozóiparban (*Monostori*, 2015).

⁷ Az ipar 4.0 technológiák kedvező környezeti hatásait óriási, de főként műszaki szakirodalom tárgyalja, például a fajlagos anyag- és energiafelhasználás csökkenését eredményező megoldások műszaki, informatikai jellegzetességeit (például: *Bauerdick* és szerzőtársai, 2017), vagy egy-egy alaptechnológia megoldásainak a

Ami a vállalati működés környezeti fenntarthatóságát illeti, az egyik klasszikus hivatkozás *Elkington* [1997], aki megfogalmazta, hogy a vállalati tőkeállomány nem kizárólag a gazdasági elemekből áll (pénztőke, technológiai- és tudástőke, piaci tőke, kapcsolati (hálózati) tőke, stb.), a versenyképesség elemzésekor a gazdasági, társadalmi és a környezeti tőke hármas egységét célszerű vizsgálni. *Hart* 1995-ös tanulmánya e kibővített célrendszerrel jellemezhető stratégiai menedzsment elméleti alapjait fektette le azzal, hogy az erőforrás-alapú vállalati versenyképesség-modellt (*Barney*, 1991) kiegészítette a modelltől hiányzó természeti erőforrásokkal, továbbá a termék-, eljárás- és fenntarthatóság-alapú „zöld” képességekkel.

Az utóbbi évtizedekben, a fejlett országok gazdasági szereplői fokozatosan elismerték a környezeti tőke jelentőségét, és stratégiájukba integrálták a tőkefelhalmozásnak ez utóbbi komponensét is – részben szabályozási kényszerek, részben a fogyasztói igények hatására, részben pedig a gyakorlati tapasztalat miatt, miszerint a jól kialakított és kivitelezett környezeti stratégia üzleti haszonná konvertálható: megéri zöldnek lenni (*Ambec–Lanoie*, 2008; *Dowell* és szerzőtársai, 2000). Sőt arra vonatkozóan is gyűlnek a tapasztalatok, hogy a fejlett környezeti stratégia és a versenyképesség között kimutatott pozitív összefüggés nem csupán a nagy és tőkeerős cégekre vonatkozik (amelyek, úgymond, megengedhetik maguknak, hogy proaktív környezeti stratégiát alakítsanak ki és finanszírozzanak), hanem akár a kisvállalatokra is (*Clemens*, 2006; *Theyel–Hoffmann*, 2012).

Az üzleti és a környezeti teljesítmény összefüggéseit vizsgáló tanulmányok egy része⁸ abból indul ki, hogy a vállalatok komoly kiaknázatlan ökohatékonyági potenciállal rendelkeznek, vagyis jelentős mértékben javíthatnák az erőforrás-felhasználásuk hatékonyságát, ami értelemszerűen növelné a profitjukat (*Backlund* és szerzőtársai, 2012). A potenciál kiaknázásához innovációra van szükség (*Carrillo–Hermosilla* és szerzőtársai, 2010; *Renning*, 2000), mégpedig elsősorban folyamatinnovációkra. Ahhoz azonban, hogy a környezeti innovációk sikeresek legyenek, hangsúlyozzák a tanulmányok (például *Mårtensson–*

vállalati környezeti teljesítményre gyakorolt hatásait (lásd például *Papadopoulos* és szerzőtársai [2016] írását a nagy adattudomány felhasználásáról a feldolgozóipari vállalatok környezeti teljesítményének javítása érdekében).

⁸ A pozitív összefüggést számos egyéb tényező is magyarázhatja (könnyebb bekerülés meghatározott piacokra, termékdifferenciálás, a kockázatok mérséklése, vállalati imázs stb. – lásd *Ambec–Lanoie* (2008, 58. o.) összefoglaló-táblázatát). Az erőforrás-felhasználás hatékonyságának javítása csupán e cikk témája, a termelési képességekkel és költségekkel versengő feldolgozóipari leányvállalatok szempontjából tekinthető elsődleges szempontnak.

Westerberg, 2016; Michelin és szerzőtársai, 2013), elengedhetetlen, hogy a környezeti fenntarthatóságot célzó kezdeményezések szervesen integrálódjanak a vállalat stratégiai folyamataiba. A technológiai innovációk például a vállalati folyamatok átalakítását igénylik,⁹ sőt gyakran azt is, hogy a technológiai innovációkat szervezeti innovációk egészítsék ki.¹⁰

Az áttekintett irodalom alapján a következő állításokat fogalmaztam meg empirikus kutatásom vezérfontalaként. A globális cégek feldolgozóipari leányvállalatai folyamatos költségnyomásnak vannak kitéve anyavállalatuk szervezetén belül (leányvállalatok közötti verseny), illetve az értékláncokba betörni kívánó külső (gyártási) szolgáltatók részéről. Ahhoz, hogy megőrizték pozícióikat, termelékenységüket folyamatosan növelniük, termelési képességeiket pedig erősíteniük kell: ennek érdekében fejlesztik a vállalati folyamataikat, végeznek állóeszköz- és immateriális beruházásokat. A negyedik ipari forradalom időszakában a feldolgozóipari cégek az új technológiai megoldások alkalmazásától várják, remélik, hogy célkitűzéseik megvalósuljanak, vagyis erősödjön a versenyképességük, tökéletesedjenek termelési képességeik.¹¹ E technológiák rendszerbe állításának ugyanakkor kedvező *mellékhatásai* is lehetnek, például javulhat a technológiát használó cégek környezeti teljesítménye. A versenyképesség erősítését célzó lépések tehát egyúttal a környezeti fenntarthatóságot is szolgálják.

Kutatási módszer és a vállalati minta

Kutatási kérdésem (Képesek-e a vállalati versenyképesség javítását célzó ipar 4.0 technológiai beruházások a környezeti teljesítményt is javítani?) elvileg kétféle módszerrel válaszolható meg. Kvantitatív megközelítéssel, meghatározott vállalati mintát alapul véve vizsgálni

⁹ Az új, a korábbiaknál energiahatékonyabb gépek rendszerbe állításhoz például át kell tervezni az anyagáramlás folyamatait. Szükség van továbbá a munkaerő képzésére, és a termelés-végrehajtási szoftverek módosítására is.

¹⁰ Jól látszik, hogy a környezeti innovációkkal foglalkozó tanulmányok hasonló megállapításokra jutnak, mint az általános innovációelméleti írások (például a technológiai és a szervezeti innovációk szoros összefüggéséről, vagy a komplementer erőforrások szükségességéről, (az előbbire példa az információtechnológia vonatkozásában *Brynjolfsson–Hitt* [2000] tanulmánya, az utóbbiról lásd: *Teece* [1986] klasszikus írását).

¹¹ *Colledani és szerzőtársai* [2014] rámutatnak arra, hogy a személyes tömegtermelés és a kis sorozatok korában a gyorsan változó termékportfólióval jellemezhető vállalatok termelési képességeinek tökéletesítéséhez immár nem megfelelőek az olyan hagyományos technikák, mint a Six Sigma, a Toyota-módszer, a Teljes Körű Minőségirányítás (TQM). Ezek a módszerek ugyanis viszonylag statikus termelési környezetben célravezetők, ahol lehetőség van a termelési teljesítmény folyamatos, hosszabb ideig tartó javítására, tökéletesítésére. Dinamikus változó termelési folyamatok közepette ezekkel a módszerekkel kevésbé lehet a termelés minőségét javítani.

lehetne, hogy miként változott a környezeti teljesítmény az új technológiai megoldások rendszerbe állítása nyomán.

Ez a módszer azonban számos, egyelőre megoldhatatlan nehézséggel jár. Bár a környezeti teljesítmény mérési módszerei sokat fejlődtek (*Harangozó és szerzőtársai, 2016; Schaltegger és szerzőtársai, 2015*), sőt, a DESI index azt mutatja, a vállalati digitális átalakulás mérése is megkezdődött, mindazonáltal egy vállalati minta szintjén a magyarózó és magyarózott változók közötti kapcsolat formális kiszámítása nehezen lenne megoldható. A vállalati digitális átalakulás ugyanis komplex és elhúzódó *folyamat*, „teljesen digitális vállalat” csak elméletben létezik. A vizsgálatok kezdőpontja így nem határozható meg egyértelműen, vagyis, hogy a beruházást megkezdését követően mennyi időnek kell eltelnie, hogy az új technológia (például egy ún. termékéletciklus-kezelési, integrált rendszermegoldás) működni kezdjen, és a megoldás környezeti teljesítményre gyakorolt hatásának mérése megkezdődhessen. Ráadásul, az ipar 4.0 gyűjtőfogalmába heterogén technológiák tartoznak, és ez egyes technológiák versenyképességi és környezeti hatása más és más. Végül, ahhoz, hogy a kedvező versenyképességi és környezeti hatások érvényre jussanak, számos komplementer feltételnek kell teljesülnie. A technológiák integrálása a termelési rendszerbe vállalatonként egyedi fejlesztéseket, a folyamatok és a vállalati szervezetek átalakítását, a munkaerő képzését igényli. E feltételek megvalósulásának minősége erőteljesen befolyásolja a kedvező hatások mértékét.

Következésképpen, mért adatokon alapuló kvantitatív vizsgálat helyett, a tanulmány kvalitatív kutatási módszert alkalmaz, hogy feltárjon néhány olyan mechanizmust, amelyekben a versenyképesség erősítése céljával végzett technológiai (ipar 4.0) beruházások kedvező környezeti hatásokkal járnak.

Ami a konkrét módszert illeti, a cikk környezeti perspektívából elemzi és foglalja össze a szerző korábbi interjúinak eredményeit. Ezek az interjúk két kutatási projekt keretében készültek (*Szalavetz, 2016; 2017a és b*) globális cégek magyarországi autóiipari, elektronikai és gépipari leányvállalatainak képviselőivel (felső vezetőkkel, vagy műszaki fejlesztési, informatikai szakemberekkel). E kutatási projektek keretében összesen 16, ipar 4.0 megoldásokat viszonylag intenzíven alkalmazó helyi leányvállalat¹² tapasztalataival ismerkedtem meg. Azt vizsgáltam, hogy

– milyen, az ipar 4.0 gyűjtőfogalomba illeszkedő, új technológiákat integráltak e cégek a termelési rendszerükbe;

¹² A mintát alkotó cégek néhány összefoglaló jellemzőjét a két hivatkozott írás részletezi.

- mi volt e beruházások fő motivációja;
- milyen hatást gyakoroltak ezek a technológiai megoldások a foglalkoztatásra;
 - a munkavégzés jellegére;
 - az adott cég teljesítménymutatóira; és
 - a leányvállalati képességekre; illetve
- várható-e, hogy az új technológiák pótlólagos feljebb lépési lehetőségeket nyitnak meg a leányvállalatok számára; vagy ellenkezőleg
- a feladatkörök elvesztésével, a termelés visszatelepítésével kell-e számolni.

Mivel az interjúk során nyitott kérdéseket alkalmaztam – ezekre válaszolva a megkérdezett szakemberek részletesen feltárhatták az új technológiákkal kapcsolatos tapasztalataikat – sokrétű és részletekbe menő információkhoz jutottam, amelyek többféle szempontból elemezhetők. Ebben a cikkben környezeti szempontból elemzem az eredményeket: azt vizsgálom, hogy milyen csatornákon keresztül befolyásolhatják a leányvállalatoknál rendszerbe állított ipar 4.0 megoldások a környezeti teljesítményt.

Eredmények

Az interjúk eredményeit elemezve három olyan terület azonosítottam, ahol az ipar 4.0 technológiák rendszerbe állítása nem csupán a technológia felhasználóinak versenyképességét (termelési képességeit) javította, hanem egyúttal a környezeti teljesítményét is, mégpedig a 1) folyamatfelügyeleti és minőségirányítási 2) termelésirányítási és termelésoptimalizálási megoldások és 3) a virtualizációs technológiák használatának hatására.

Az ipar 4.0 megoldások telepítésének motivációi között a termelés tökéletesítése és a hatékonyság növelése volt a két leggyakrabban előforduló elem a megkérdezett vállalatok körében. A termelés tökéletesítésének egyik útja az intelligens folyamatfelügyeleti rendszerek telepítése volt. Ezek a rendszerek a termelési folyamat, a termelőeszközök és a termékek minden egyes paraméteréről adatokat gyűjtenek, amelyeket a termelési rendszerbe beépített analitikai megoldások azonnal feldolgoznak: hibákat, zavarokat diagnosztizálnak, sőt, előre jeleznek, és beavatkozásokat javasolnak, vagy végeznek autonóm módon.

Ennek eredményeként kevesebb hibás termék jött le a sorról, ritkábban fordult elő, hogy a szerszámok és a termelőeszközök idő előtt elkoptak, vagy meghibásodtak, kevesebb leállás volt termelési zavarok miatt. A termelés tökéletesedett, amit egyúttal a környezeti

fenntarthatóság szempontjából is előrelépést jelentett: csökkent a selejt, vagyis a pazarlás, javult az erőforrás-hatékonyság.

Az intelligens folyamatfelügyelet, vagyis a termelés paramétereiről kinyert adattömeg valós idejű elemzése, probléma esetén gyors beavatkozást tett lehetővé. A vizsgált cégek körében előfordult, hogy a sűrített levegő rendszer meghibásodása miatt szivárgás kezdődött. Mivel a sűrített levegő rendszerében a nyomáscsökkenést a folyamatfelügyeleti rendszer azonnal érzékelte és jelezte, azonnal megkezdődhetett a hiba javítása (korábban legfeljebb az időszakos energiahatékonysági felülvizsgálatok során derült fény a szivárgásokra).

Más esetekben a folyamatfelügyeleti rendszerekre visszavezethetően, sor sem került meghibásodásra (például szerszámtörésre), mivel a rendszerek – a mért paraméterek alapján – előre jelezték, hogy hol várható problémák, hol van szükség karbantartásra. Így a karbantartás az ipar 4.0 megoldásokra visszavezethetően nem a meghibásodott eszközök, szerszámok javítását, hanem az előrejelzések alapján a meghibásodás elkerülését szolgálta, ami nyilvánvaló ökohatékonysági előrelépést jelentett. A nagy adattömeget feldolgozó rendszereknek köszönhetően bármilyen eltérés azonnal visszakövethető lett, vagyis a megadott toleranciaküszöbök bármilyen átlépése esetén könnyen meg lehetett állapítani, hogy pontosan melyik termelési fázisban, melyik gép, szerszám stb. okozta a problémát.

A következő interjúrészlet a leállási idő csökkenése és az erőforrás-hatékonyság közötti kapcsolat egy érdekes elemére világít rá.

„Már a mi esetünkben [gépipari cég] is jelentős megtakarítást jelent, ha minimalizáljuk a nem tervezett leállási időt, hiszen az így kiesett termelést a foglalkoztatottaknak túlórában kellene pótolniuk. De gondoljon az élelmiszeriparra! Hosszabb leállás esetén a félkész termék a soron mind mehetne a selejtbe!”¹³

Összességében, jelentősen csökkent a befejezetlen termelés készletének mennyisége, ami közvetlenül összefügg a környezeti fenntarthatósággal (Colledani és szerzőtársai, 2014). A befejezetlen termelés készletében ugyanis fel nem fedezett hibák lehetnek. Amikor a félkész termékek a következő technológiai műveletsorba kerülnek, a selejtes termék továbbfeldolgozása feleslegesen köti le a kapacitásokat, használ fel további anyagokat és energiát, vagyis pazarlásmultiplikátor-hatás érvényesül.

A leállási idő csökkenése másként is összefügg a környezeti fenntarthatósággal. Gondoljunk bele, a modern termelőeszközök (például CNC-gépek) energiafogyasztása álló (stand-by)

¹³ Az ilyen típusú összefüggéseket, vagyis a pazarlás tovaterjedését pazarlásmultiplikátor-hatásnak nevezem.

helyzetben is legalább egyharmada a működés közben mért energiafogyasztásnak (Duflou, 2012).

Szintén a nagy adattömeg elemzése tette lehetővé, hogy a megkérdezett vállalatok a korábbiaknál pontosabban határozzák meg, hova telepítsenek minőségellenőrző pontokat (olyan „kapukat” amelyek nem megfelelő paraméterek esetén nem engedik tovább a terméket a következő műveleti fázisba), és összességében hány ilyen pontra van szükség egy gyártósoron. A termékek esetleges hibája így nem az összes termelési fázist követően a késztermék vizsgálatakor derül ki, hanem jóval korábbi fázisokban (vagyis a hibás termékek továbbfeldolgozásával kapcsolatos anyag- és energiaveszteség is mérséklődött). Ráadásul, a hagyományos sorvégi minőségellenőrzési eljárás is feleslegessé vált, legalábbis az ellenőrzésnek az a módja, hogy a gyártósor végén a késztermékek közül véletlen kiválasztással mintát vegyenek, amit minden paraméterre vonatkozóan, vagyis a mintába került termékek szempontjából destruktív módon megvizsgáljanak. Következésképpen a minőségellenőrzési eljárások során keletkező selejt is kiküszöbölhetővé vált.

Az ipar 4.0 megoldások alkalmazásának másik fontos területe a széles értelemben vett termelsoptimalizálás volt. A vizsgált cégek a termelés során kinyert nagy adattömeg elemzésével, továbbá a folyamatok modellezésével, a termelési és technológiai alternatívák hatásainak szimulációjával optimalizálták a termelés és a karbantartások ütemezését és ennek megfelelően osztották be a termelési kapacitásaikat. Az erőforrások kihasználása tehát nem csupán a termelési eljárás hibáinak és zavarainak csökkenése, hanem az optimalizálási erőfeszítések eredményeként is javult, emelkedett az erőforrás-hatékonyság.

Az intelligens algoritmusok segítségével a gyártócellák és -sorok elrendezését is optimalizálták. Az anyagáramlás átalakításával kevesebb belső szállításra volt szükség, a gyártási logisztika hatékonysága nőtt, ami szintén értelmezhető ökohatékonyságnövekedésként.

A megkérdezett vállalatvezetők közül többen is hangsúlyozták, hogy az optimalizálás nem egyszeri gyakorlat: nem arról van szó, hogy bonyolult számításokkal azonosítsák a minden szempontból leghatékonyabb eljárást és azt kezdjék alkalmazni. *Egyszeri* optimalizáláshoz ugyanis nem kellenének ipar 4.0 technológiák! A termelési rendszer folyamatosan átalakul: változik a termékportfólió és az egyes termékekből termelt mennyiségek, kopnak a berendezések, leállítanak, kicserélik gépeket, szerszámokat, új eszközöket, új szerszámokat állítanak üzembe, kiesnek dolgozók betegség, átképzés, kilépés miatt, új alkalmazottak lépnek be, változnak a beszállítók, fejlesztik, átalakítják a folyamatokat. A termelési folyamat technológiai és környezeti (kontextuális) komplexitása (Letmathe–

Schinner, 2017) folyamatos optimalizálást igényel. Ez akkor valósítható meg, ha egyrészt rendelkezésre állnak (mégpedig valós időben) a releváns adatok és az adatok elemzéséhez szükséges intelligens algoritmusok, másrészt az eltérő gyártócellákon, termelési sorokon, és a támogató és döntéshozó vállalati funkciókban dolgozó szereplők között folyamatos az információáramlás. Az ipar 4.0 technológiák biztosítják mindezeket a feltételeket, továbbá képesek együttesen kezelni és optimalizálni az értékláncot alkotó, egymáshoz kapcsolódó tevékenységeket.

Energiahatékonyság szempontjából például nem célszerű csupán egy adott gép, vagy egy gyártócella szintjén optimalizálni a folyamatokat: a gyártócella-szinten optimális működés ugyanis nem feltétlenül adódik össze, és képez gyártósori szintű optimumot, vagy ami gyártósori szinten optimális az nem jelent feltétlenül a termelési rendszer szintjén is optimumot (Duflou és szerzőtársai, 2012).

Az optimalizálási feladatok komplexitását példázza az az eset, amikor az egyik leányvállalat, részben a költségei csökkentése érdekében, részben pedig a környezettudatosság jegyében, meghatározott termékek gyártásánál „készletre termelésről”, „megrendelésre termelésre” tér át (természetesen anyavállalati kezdeményezésre). Az utóbbi esetben első látásra egyértelműen javul a környezeti teljesítmény, hiszen kevesebb a felesleges készlet (csökken az ezzel kapcsolatos anyag- és energiapazarlás, a felesleges szállítás, tárolás, selejtezés). Ugyanakkor, megrendelésre termelés esetén kevésbé lehet a folyamatos kapacitáskihasználtságot biztosítani, vagyis a stand-by üzemmódú energiafogyasztást minimalizálni. Amennyiben tehát a termékek egy részét megrendelésre kezdik gyártani, a kapacitások tervezése, allokációja, és a termelés ütemezése még bonyolultabb lesz, az optimalizálás fejlett szoftvermegoldásokat, és nagy adattudományra építő, megbízható kereslet-előrejelzést igényel.

A termelés és a támogató folyamatok optimalizálásának esetei jól mutatják, hogy milyen szoros az összefüggés az eljárásalapú feljebb lépés, a környezeti feljebb lépés és a digitális feljebb lépés között. Kevésbé nyilvánvaló első látásra, de a vizsgált vállalati tapasztalatok alapján az is egyértelmű, hogy a környezeti fenntarthatósági szempontok integrálása a vállalati stratégiába, funkcionális feljebb lépést is eredményezett: új mérési, elemzési, optimalizálási feladatok keletkeztek. Az érem másik oldalaként bizonyos feladatokat átvettek, automatizáltak az intelligens rendszerek. Ez utóbbira példa, hogy az ISO 14001-es (környezetközpontú irányítási rendszer) és az ISO 50001-es (energiagazdálkodási irányítási rendszer) előírásainak megfelelően az intelligens energiamedzsment rendszerek gyűjtik,

tárolják és kívánság szerinti formában megjelenítik az energiagazdálkodási adatokat, jelentéseket és előrejelzéseket készítenek.

A versenyképesség erősítése érdekében felhasznált ipar 4.0-megoldások kedvező környezeti hatásai megnyilvánulásának harmadik területe a virtualizáció. A vizsgált cégek virtuális 3D tervezőrendszereket alkalmaztak a termékek/alkatrészek, és az eljárások (tovább)fejlesztéséhez, a termékek és eljárások paramétereinek teszteléséhez (például digitális formatervezést, gépészeti tervezést, szerszámtervezést és folyamattervezést). Digitálisan tervezték meg és tesztelték a robotok mozgásának pályáját, vagy a mozgó alkatrészeket tartalmazó komplex rendszereket (digitálisan ellenőrizték, nincs-e ütközés). Digitális szimuláció segítségével tesztelték az anyagfáradást, végeztek szilárdsági- és töréstanvizsgákat.

A virtualizáció közvetlen pozitív hatást gyakorol a környezeti fenntarthatóságra, mivel nincs szükség valóság-hű prototípusok elkészítésére, illetve nem a fizikai valóságban kísérleteznek alternatív technológiai megoldásokkal, vagyis megtakarítják az ezekhez szükséges anyagot és energiát.

A virtualizáció egy másik megnyilvánulási formája a papírintenés gyártás. A dolgozók (a korábbi papíros alapú munkautasítások helyett) érintőképernyős monitorokon kapnak információt a saját feladataikról, követhetik nyomon a megmunkálási folyamatokat, és dokumentálják az elvégzett tevékenységet. A gyártási logisztika területén foglalkoztatottak mobiltelefonos üzenetként kapják meg a raktárból kivételezendő anyagok, alkatrészek listáját. A lista elemei a raktár alaprajzához vannak hozzárendelve (a mobiltelefonos applikáció vizualizálja, hogy melyik alkatrész, hol, melyik polcon található), sőt a lista egyes elemei úgy szerepelnek, hogy a raktárban megteendő útvonal logikus sorba legyen rendezve. Az anyagok, alkatrészek kivételezése vonalkód-olvasóval történik, így a leltárnyilvántartás automatikusan frissül.

Következtetések és javaslatok

Ipar 4.0 megoldásokat a termelési rendszerükbe integráló magyarországi feldolgozóipari leányvállalatok tapasztalatait környezeti fenntarthatósági szempontból elemezve, a cikk három olyan területet azonosított, ahol ezek a technológiák nem csupán a leányvállalatok termelési képességeit tökéletesítették, hanem a környezeti teljesítményüket is javították.

Az ipar 4.0 gyűjtőfogalom alá tartozó folyamatfelügyeleti és minőségirányítási, termelésirányítási és -optimalizálási, továbbá a virtualizációs megoldások kedvező környezeti „mellékhatásait” elemezve igazoltam, hogy nem csupán a környezeti fenntarthatóság érdekében végzett beruházásoknak lehetnek kedvező versenyképességi hatásai: a *Porter-hipotézis* fordítva is érvényesül.

Itt célszerű megemlíteni következtéseimnek a témaválasztásra visszavezethető korlátait. Mivel a cikk a leányvállalati versenyképesség erősítését célzó technológiai beruházások kedvező környezeti mellékhatásaival foglalkozott, vizsgálatom a *környezeti hatékonyságra* korlátozódott. A visszapattanó hatást nem vettem figyelembe, vagyis, hogy az új technológiák rendszerbe állítása és a javuló termelékenység következtében nőhet a teljes termelés, így a teljes környezeti terhelés is.¹⁴ Azzal sem foglalkoztam, noha a témát jelentős és gyorsan bővülő irodalom tárgyalja, hogy a feldolgozóipar digitális átalakulása önmagában milyen környezeti hatásokkal jár (a sokrétű hatásokat jól összefoglalja *Berkhout–Hertin* [2004] cikke; lásd még *Perez* [2016] gyorsan klasszikussá vált tanulmányát ugyanebben a témában). Végül, szintén a témaválasztásra visszavezethetően, még említésszerűen sem került elő, hogy a versenyképességet erősítő technológiai fejlesztéseknek kedvezőtlen környezeti következményei is lehetnek, gondoljunk napjaink egyik aktuális szabályozási problémájára, a vállalatok részéről komoly technológiai fejlesztést igénylő *tervezett elavulás* jelenségére (*Guiltinan*, 2009; *Maitre-Ekern–Dalhammar*, 2016)

A kutatás eredményeinek megfontolásra érdemes üzleti tanulságai a következők. A vállalatoknak számításba kell venniük, hogy a termelési képességeik erősítése érdekében végzett beruházásaiknak nem elhanyagolható mértékű tovagyrűzési hatása lehet: egyúttal a környezeti teljesítményük is javulhat. Érdemes a tovagyrűzési hatásokat a vállalati stratégiába tudatosan beépíteni: a beruházások tervezésekor, a várható hatások mérlegelésekor környezeti teljesítmény-indikátorokat is meghatározni, a környezeti teljesítmény javulását mérni, és a fejlődést nyomon követni.

Míg ez a tanulság bármilyen feldolgozóipari cég számára megfontolandó, olyan javaslatok is megfogalmazhatók, amelyek elsősorban a közvetlentőke-befektetések segítségével modernizálódó országok feldolgozóipari leányvállalataira vonatkoznak.

A globális vállalati szervezeten belüli pozícióját tudatosan menedzselő „vállalkozó leányvállalatok” (*Birkinshaw*, 2000)¹⁵ számára már régóta egyértelmű, hogy az ipar 4.0 technológiák rendszerbe állítása feljebb lépési lehetőségeket teremt (*Szalavetz*, 2016). Célszerű tehát úttörő szerepet játszani e technológiák meghonosításában, nem pedig, esetleges kedvezőtlen foglalkoztatási hatásokra számítva akadályozni e technológiák helyi elterjedését. Feldolgozóipari leányvállalatok szempontjából az úttörő szerep azt jelenti, hogy a cégek anyavállalataiknál lobbiznak annak érdekében, hogy ipar 4.0 mintaalkalmazásokat a magyar

¹⁴ A visszapattanó hatásról, illetve a környezeti hatékonyság – környezeti eredményesség kettősségéről lásd: *Harangozó* [2008a, 2008b]; *Herring–Roy* [2007].

¹⁵ A vizsgált cégek mindegyikére illik ez a kategória.

leányvállalatuknál valósítsanak meg. A helyi képességek demonstrálása mellett, az anyavállalatok meggyőzésének másik fontos eszköze a megtérülési hatások számbavétele, és megfelelő kommunikációja. Itt kerülnek bele a képbe a környezeti teljesítményt javító tovagyrűzési hatások. A megtérülési számításokba mindenképpen integrálni kell e technológiáknak az erőforrás-hatékonyságra gyakorolt kedvező hatását. Meggondolandó szempont lehet az is, hogy az ipar 4.0 megoldásokba beruházó helyi leányvállalatok idővel egyúttal „környezeti fenntarthatósági kompetenciaközpontként” igyekezzenek pozicionálni magukat az anyavállalatuk globális szervezetén belül.

Hivatkozások

- Ambec, S. – Lanoie, P.* [2008]: Does it pay to be green? A systematic overview. *The Academy of Management Perspectives*, Vol. 22., No. 4., 45–62. o.
- Backlund, S. – Thollander, P. – Palm, J. – Ottosson, M.* [2012]: Extending the energy efficiency gap. *Energy Policy*, 51., 392–396. o.
- Barney, J. B.* [1991]: Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, Vol. 17., No. 1., 99–120. o.
- Bauerdick, C. J. – Helfert, M. – Menz, B. – Abele, E.* [2017]: A Common Software Framework for Energy Data Based Monitoring and Controlling for Machine Power Peak Reduction and Workpiece Quality Improvements. *Procedia CIRP*, Vol. 61., 359–364. o.
- Berkhout, F. – Hertin, J.* [2004]: De-materialising and re-materialising: digital technologies and the environment. *Futures*, Vol. 36., No. 8., 903–920. o.
- Bermann, B.* [2012]: 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, Vol. 55., No. 2., 155–162. o.
- Birkinshaw, J.* [2000]: Entrepreneurship in the global firm. London, SAGE.
- Bolwig, S. – Ponte, S. – Du Toit, A. – Riisgaard, L. – Halberg, N.* [2010]: Integrating poverty and environmental concerns into value-chain analysis: a conceptual framework. *Development Policy Review*, Vol. 28., No. 2., 173–194. o.
- Brettel, M. – Friederichsen, N. – Keller, M. – Rosenberg, M.* [2014]: How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 8., No. 1., 37–44. o.

- Brynjolfsson, E. – Hitt, L. M.* [2000]: Beyond computation: Information technology, organizational transformation and business performance. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14., No. 4., 23–48. o.
- Carrillo-Hermosilla, J. – Del Río, P. – Könnölä, T.* [2010]: Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18., No. 10., 1073–1083. o.
- Clemens, B.* [2006]: Economic incentives and small firms: does it pay to be green? *Journal of Business Research*, Vol. 59., No. 4., 492–500. o.
- Colledani, M. – Tolio, T. – Fischer, A. – Jung, B. – Lanza, G. – Schmitt, R. – Váncza, J.* [2014]: Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 63., No. 2., 773–796. o.
- De Marchi, V. – Di Maria, E. – Micelli, S.* [2013]: Environmental strategies, upgrading and competitive advantage in global value chains. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 22., No. 1., 62–72. o.
- Dowell, G. – Hart, S. – Yeung, B.* [2000]: Do corporate global environmental standards create or destroy market value? *Management Science*, Vol. 46., No. 8., 1059–1074. o.
- Duarte, S. – Cruz-Machado, V.* [2017]: Green and lean implementation: an assessment in the automotive industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 8., No. 1., 65–88. o.
- Duflou, J. R. – Sutherland, J. W. – Dornfeld, D. – Herrmann, C. – Jeswiet, J. – Hauschild, M. – Kara, S. – Kellens, K.* [2012]: Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 61., No. 2., 587–609. o.
- Elkington, J.* [1997]: *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business.* Oxford: Capstone Publishing.
- Ford, S. – Despeisse, M.* [2016]: Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137., 1573–1587. o.
- Guiltinan, J.* [2009]: Creative destruction and destructive creations: environmental ethics and planned obsolescence. *Journal of Business Ethics*, 89., Supplement 1., 19–28. o.

- Harangozó G. [2008a]: A környezeti teljesítményértékelés módszerei. *Vezetéstudomány*, XXXIX. évf., 2. sz., 38–50. o.
- Harangozó, G. [2008b]: Mitől zöld egy vállalat – avagy mit is jelent a jó környezeti teljesítmény? *Vezetéstudomány*, XXXIX. évf., 1. sz., 27–36. o.
- Harangozó G. – Széchy A. – Zilahy G. [2016]: A fenntarthatósági lábnyom- megközelítések szerepe a vállalatok fenntarthatósági szempontú teljesítményértékelésében. *Vezetéstudomány*, XLVII. évf., 7. sz., 2–13. o.
- Hart, S. L. [1995]: A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, Vol. 20., No. 4., 986–1014. o.
- Herring, H. – Roy, R. [2007]: Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect. *Technovation*, Vol. 27., No. 4., 194–203. o.
- Kagermann, H. [2015]: Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In: *Albach, H. – Meffert, H. – Pinkwart, A. – Reichwald, R. (Eds.): Management of Permanent Change*. Wiesbaden, Springer, 23–45. o.
- Letmathe, P. – Schinner, M. [2017]: Competence Management in the Age of Cyber Physical Systems. In: *Jeschke, S. – Brecher, C. – Song, H. – Rawat, D.B. (Eds.): Industrial Internet of Things. Cybermanufacturing Systems*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 595–614. o.
- Lucas, M. T. [2010]: Understanding environmental management practices: integrating views from strategic management and ecological economics. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 19., No. 8., 543–556. o.
- Maitre-Ekern, E. – Dalhammar, C. [2016]: Regulating Planned Obsolescence: A Review of Legal Approaches to Increase Product Durability and Reparability in Europe. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, Vol. 25., No. 3., 378–394. o.
- Manyika J. – Chui M. – Bughin J. – Dobbs R. – Bisson P. – Marrs A. [2013]: *Disruptive Technologies: Advances that will transform life, business and the global economy*. New York: McKinsey Global Institute
- Mårtensson, K. – Westerberg, K. [2016]: Corporate Environmental Strategies Towards sustainable development. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 25., No. 1., 1–9. o.
- Michelon, G. – Boesso, G. – Kumar, K. [2013]: Examining the link between strategic corporate social responsibility and company performance: an analysis of the best corporate

Szalavetz, A. [2017a]: Industry 4.0 in ‘factory economies’. In: *Galgóczy, B. – Drahokoupil, J. (Eds.) Central-Eastern Europe: Beyond the low-wage based FDI-driven economic model. Galgóczy, B. (Ed.): XXX, Brussels, ETUI, megjelenés alatt.*

Megjegyzés [A1]: munkacím, lehet, hogy változik

Szalavetz, A. [2017b]: Industry 4.0 and capability development in factory economies. Kézirat.

Teece, D. [1986]: Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Research Policy*, Vol. 15., No. 6., 285–305. o.

Theyel, G. – Hofmann, K. [2012]: Stakeholder relations and sustainability practices of US small and medium-sized manufacturers. *Management Research Review*, Vol. 35., No. 12., 1110–1133. o.

Váncza, J. – Monostori, L. – Lutters, D. – Kumara, S. R. – Tseng, M. – Valckenaers, P. – Van Brussel, H. [2011]: Cooperative and responsive manufacturing enterprises. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 60., No. 2., 797–820. o.

Zilahy Gy. – Széchy A. [2012]: A vállalati környezeti innovációs tevékenység háttere – elméleti áttekintés. In: *Marjainé Szerényi Zs. – Podruzsik Sz. (szerk.): Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj. 2. kötet, Budapest, BCE, 91–111. o.*

ANDREA SZALAVETZ

The impact of adopting industry 4.0 technologies on the environmental performance of manufacturing companies in Hungary

The paper investigates the impact of industry 4.0 technologies on the environmental performance of 16 Hungarian manufacturing subsidiaries. We find that the implementation of cyber-physical production systems, smart production control, production monitoring and process optimisation algorithms, virtual product development and product lifecycle management solutions have improved not only the production capabilities and the resource efficiency of local manufacturing subsidiaries, but also their environmental performance. Another finding is that there is strong interrelation among various dimensions of upgrading: not only among the traditional upgrading categories of product, process, and functional upgrading, but these categories are also strongly related to both environmental upgrading and digital upgrading.