

Bevezető

A gazdaságpolitika napjainkban egyre rövidebb késleltetéssel reagál a reálfolyamatokra: az üzleti környezetben bekövetkező jelentős változásokra, piaci és strukturális torzulásokra, vagy éppen a technológia fejlődésére visszavezethető új gazdaságfejlődési pályák kialakulására. Ahhoz azonban, hogy a gazdaságpolitika „ügynek” és tekintsen és felkaroljon egy folyamatot (vagy a saját eszközeit latba vetve, megpróbálja erőteljesen ellenszegülni annak), hiteles és hatásos narratívára van szükség.

Ilyen narratíva volt a 2011-ben, a Hannoveri Vásáron Henning Kagermann előadásával a köztudatba bevezetett, a negyedik ipari forradalomról¹ szóló. Az előadás gazdaságpolitikai javaslatcsomaggá bővített, szerkesztett változata később az ACATECH Német Műszaki Tudományok Akadémiája gondozásában jelent meg (Kagermann és szerzőtársai, 2012) és az „ipar 4.0” fogalom Németországban hivatalos gazdaságpolitikai programmá vált. Bár a műszaki tudományokban ekkor már könyvtárnyi publikáció mutatta be azokat a módszereket, amelyekkel a számítástudomány és a gyártástudomány fokozatos összeolvadása eredményeként létrejött kiber-fizikai termelési rendszerekben (Monostori (2015) a korábbiaknál könnyebben és gyorsabban kiküszöbölhetők (sőt megelőzhetők) a gyártási folyamat során fellépő egyes problémák, az ipar 4.0 *narratíva* az új technológiák elterjedése szempontjából elengedhetetlennek bizonyult.² Gazdaságpolitikai hatásának mértékét tekintve, az ipar 4.0 gyorsan felzárkózott a – tudományos fogalomból egy megfelelő narratíva segítségével eurómilliárdokat megmozgató gazdaságpolitikai programmá vált – „intelligens szakosodás”-i narratívához (Foray és szerzőtársai, 2011).

A német gazdaságpolitikai program nyomán, (különböző elnevezések alatt) számos ország dolgozott ki saját ipar 4.0. stratégiát (ezekről friss áttekintést ad Culot és szerzőtársai, 2020; Leitão és szerzőtársai, 2020; Yang és Gu, 2021). A digitális gyártási technológiáknak a versenyképességre gyakorolt jelentős hatását a közgazdasági és üzleti tudományok akadémiai képviselői mellett (például Brynjolffson és McAfee, 2014; Porter és Heppelmann, 2014, 2015; Schroeder és szerzőtársai, 2019), a tanácsadó cégek (például a BCG: Lorenz és szerzőtársai, 2015; a McKinsey: Manyika és szerzőtársai, 2013; McKinsey Digital, 2015) és nemzetközi szervezetek³ is elismerték. Mindez további ipar 4.0-specifikus fejlesztési programok elindítását

¹ Az első ipari forradalmat a gépesítés (gőzgépek), a másodikat az elektromosság, a harmadikat pedig az infokommunikációs technológiák indították el (Fülep és szerzőtársai, 2018; Xu és szerzőtársai, 2018). A kapcsolódó műszaki-gazdasági-társadalmi paradigmaváltások és hosszútávú gazdasági ciklusok történetét könyvtárnyi irodalom elemezte. Néhány példa a klasszikussá vált művekre: Dosi és szerzőtársai, 1988; Nelson és Winter, 1982; Perez, 2002; Rosenberg (1976). Magyar nyelven átfogó áttekintést ad Szanyi (2019) és ez utóbbinak elgondolkodtató kritikáját Havas (2019).

² A narratíváknak a technológia elterjedésében játszott szerepéről lásd például Malone és szerzőtársai, 2017; Mendoza és szerzőtársai, 2021; Soutar és Mitchell, 2018; Vaara és szerzőtársai, 2006.

³ A legismertebb publikáció a versenyképességi jelentéseiről ismert Világ gazdasági Fórumhoz fűződik: Schwab, 2016, de egyebek mellett az OECD, az UNCTAD és a Világbank egyaránt külön kutatási témakörként foglalkozik a digitális átalakulással és nagyszámú kiadványt jelentet meg. Lásd például az OECD 'Going Digital' projektjét (<https://www.oecd.org/going-digital/>) és az egyik leginkább ipar 4.0-specifikus kiadványt: OECD, (2017). A Going Digital projekthez kapcsolódóan a szervezet rendszeres előrejelzéseket publikál (például OECD, 2020a), továbbá egy-egy országot (például OECD, 2021a), vagy kapcsolódó témát (például a kis- és középvállalatok digitális fejlesztéseit: OECD, 2021b, vagy a digitális gazdaság mérésének módszertanát OECD, 2020b) mélységeiben elemez. A két másik említett szervezet releváns publikációira példa: Hallward-Driemeier és Nayyar, 2019; UNCTAD 2019; World Bank (2016).

katalizálta, illetve ami ennél fontosabb, az ipar 4.0-val és a digitális technológiákkal kapcsolatos hype (<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>) a vállalati beruházásokat is erősen ösztönözte.

A Függelékben található 1. táblázat a globális vállalati IT kiadások növekedését mutatja be. A piac látványos növekedése és a kiadások impresszív mértéke⁴ alapján alkotott képet árnyalja ugyanakkor, hogy az utóbbi években végzett felmérések egységesen megállapították, a digitalizációs projektek *kétharmada* esetében a beruházások nem hozták az elvárt eredményeket,⁵ sőt a projektek többsége már a kezdeti, kísérleti fázisban elakadt.⁶

A magyarázatok között gyakran szerepel ez a bizonyos elakadás: a kutatók hangsúlyozzák, hogy az „ipar 4.0-ra történő áttérés” kifejezés félrevezető: a digitalizáció nem néhány konkrét beruházást igénylő művelet (nem „egyszeri” projekt), hanem nyitott végű folyamat. Ráadásul – és ez a másik magyarázat – nem csupán technológiai beruházásokra van szükség ahhoz, hogy a működés digitalizációját célzó beruházások a vállalati teljesítmény egyértelmű javulásával járjanak, hanem e beruházásokat kiegészítő szervezeti és üzleti modellbeli innovációkra is (Ghobakhloo és Fathi, 2020; Sony és Naik, 2020; Teece és Linden, 2017; Warner és Wäger, 2020).

A projektek értékeléséhez kapcsolódóan nagyszámú felmérés mutatott rá, hogy az ipar 4.0 kifejezés, kis túlzással, mindenkinek mást jelent: az iparvállalatok képviselői – fejlettségük függvényében – másként és sokféleképpen⁷ értelmezik azt, és az akadémiai publikációkban is definíciók sokaságával találkozhatunk (Culot és szerzőtársai, 2020; Leitão és szerzőtársai, 2020; Osterrieder és szerzőtársai, 2020; Vial, 2019).

Összességében, a vállalati szféra képviselői számára továbbra is rengeteg nyitott kérdés maradt az ipar 4.0-beruházásokat illetően. Ezek közül talán az a végletekig leegyszerűsített gyakorlati probléma a legfontosabb, hogy milyen típusú, milyen sokféle és mekkora mértékű beruházásra van szükség ahhoz, hogy ezek a ráfordítások érzékelhető teljesítményjavulással járjanak.

Erre a kérdésre természetesen nincs általános érvényű válasz, mivel a konkrét technológiai és üzleti problémák iparág- és cégspecifikusak, ahogy a megoldásukat célzó beruházások is. Az „érezhető” teljesítményjavulás is definíció kérdése, hiszen, ahogy azt a digitalizációt célzó beruházások vállalati teljesítményre gyakorolt hatását felmérő kutatások rendre kimutatják,⁸ már viszonylag csekély összegű beruházások is számottevő költségmegtakarítással járhatnak, és hatásukra a vállalati teljesítmény egyéb mutatói is javulnak, például a termelékenység, a minőség, a rugalmasság.

⁴ A Statista adatai szerint, 2020-ban az intelligens gyártásra ('smart factory'-projektekre) szánt beruházások összege (a globális piac mérete) 56,6 milliárd dollár volt. Ennek 70 százalékát a cégek ipari robotokra költötték.

⁵ Az eredmények mind a cégek szintjén, mind makroszinten a várakozások alatt maradtak. Ami ez utóbbit illeti, jelentős irodalom tárgyalta azt a kérdést, hogy a digitalizáció időszakában, vagyis éppen, amikor áttérés következett be az elvileg látványos termelékenységemelkedést és gazdasági növekedést kiváltó technológiák fejlődésében, miért lassul a gazdaság és a termelékenység növekedése (lásd Szalavetz, 2019 áttekintését).

⁶ Erről számol be a Világgazdasági Fórum (<https://www.weforum.org/agenda/2020/09/manufacturing-lighthouse-factories-innovation-4ir/>), a digitális átalakulással kapcsolatos gyakorlati feladatokra szakosodott tanácsadó cégek kiadványai (Blackburn és szerzőtársai, 2020) és ebből indulnak ki az okokat és magyarázatokat kereső akadémiai publikációk is (Correani és szerzőtársai, 2020; Davenport és Westerman, 2018; Gebauer és szerzőtársai, 2020).

⁷ Érdekes adalékot kínál ehhez egy a visegrádi országok iparvállalatainak és szakértőinek körében végzett felmérés (Götz és szerzőtársai, 2021).

⁸ Például Büchi és szerzőtársai, 2019; Colledani és szerzőtársai, 2014; Szász és szerzőtársai, 2020.

Mindazonáltal, mivel összefüggés van az ipar 4.0 technológiák alkalmazásának diverzitása (hányféle technológiát alkalmaznak), mélysége (hányféle értékláncszakaszban alkalmaznak ipar 4.0 technológiákat) és a vállalati teljesítményjavulás mértéke között (Büchi és szerzőtársai, 2019), a fenti kérdés megválaszolásához célszerű mégis egyfajta általános „ipar 4.0 érettség” modellt kialakítani. Ha ugyanis a tanácsadó cégek egy ilyen modellből kiindulva dolgozzák ki a vállalatspecifikus válaszokat, megvalósíthatók az összehasonlíthatóság és az ismételhetőség tudományos módszertani követelményei.

Következésképpen nem meglepő, hogy az utóbbi években nagyszámú kutatási program tűzte ki célul, hogy ipar 4.0 érettségi modelleket dolgozzon ki⁹ – akár egy-egy konkrét iparágra (Rafael és szerzőtársai, 2020), vagy országra vonatkozóan (Moura és Kohl, 2020; Nick és szerzőtársai, 2019). Ezek a modellek nem csupán az iparvállalatok digitalizációjának fejlődési útvonalát mutatják be, rávilágítva, hogy milyen beruházások és stratégiai változások szükségesek ahhoz, hogy a várt teljesítményjavulás elinduljon és felgyorsuljon, hanem egyúttal az ipar 4.0 fogalom makrogazdasági, mezoszintű és vállalatspecifikus értelmezéséhez is segítséget nyújtanak.

A következőkben röviden áttekintjük e modellek fejlődését és sajátosságait. Mielőtt erre rátérnénk, érdemes a kályhától kiindulni és röviden bemutatni az ipar 4.0 fogalmát.

Ipar 4.0

Az új műszaki–gazdasági paradigmára utaló „ipar 4.0”-kifejezést¹⁰ definiáló tanulmányok többsége¹¹ a technológiai újdonságokból indul ki, első helyen említve a Dolgok Internetére épülő kiber-fizikai rendszereket,¹² amelyek magukban foglalják a nagy adattömegek generálásának és legújabbban gépi tanulással megvalósított feldolgozásának és elemzésének technológiáját. Az ipar 4.0 alaptechnológiái közé tartozik továbbá a felhőalapú számítástechnika,¹³ a 3D nyomtatás¹⁴ és a blokklánc.¹⁵ A legfontosabb alkalmazások a gyártásban alkalmazott kollaboratív robotok,¹⁶ a gyártást támogató folyamatok automatizálása, a nagy adattömeg feldolgozására épülő döntéstámogatási megoldások, a gyártóegységekben logisztikai feladatokat

⁹ Például Frank és szerzőtársai, 2019; Leyh és szerzőtársai, 2016; Mittal és szerzőtársai, 2018; Schuh és szerzőtársai, 2017; Schumacher és szerzőtársai, 2016; 2019; Scremin és szerzőtársai, 2018.

¹⁰ Az ipar 4.0 szinonimájaként számos egyéb elnevezést is használnak, például intelligens gyártás, kiber-feldolgozóipar, ipari internet.

¹¹ Például Lorenz és szerzőtársai, 2015; Lu, 2017; Osterrieder és szerzőtársai, 2020.

¹² Kim, 2017; Monostori, 2015; Monostori és szerzőtársai, 2016.

¹³ A felhőalapú számítástechnika azt jelenti, hogy a felhasználók számára, az ő változó igényeiknek megfelelő mennyiségben az Interneten keresztül biztosítanak különböző erőforrásokat: számítástechnikai infrastruktúrát, szoftvereket, szolgáltatásokat (Kim, 2017).

¹⁴ Campbell és szerzőtársai, 2011; Garrett, 2014.

¹⁵ A blokklánc az adatok, áruk vagy a pénz áramlásának nyomon követhetőségét biztosító technológia: gazdasági tranzakciók „elektronikus naplója, amely egy adott felhasználói kör számára nyilvános, többen jogosultak benne tranzakciókat rögzíteni és azok a kör számára folyamatosan frissülnek. A rendszer nem feltörhető, és az egyes felhasználók által rögzített tevékenységeket naplószerűen tárolja.” Nagy és szerzőtársai, 2020: 7. oldal. Lásd még: Küpper és szerzőtársai, 2019; PWC, 2019.

¹⁶ Krüger és szerzőtársai, 2009; Wang és szerzőtársai, 2019.

megvalósító autonóm járművek, a szimuláció,¹⁷ a virtualizáció¹⁸ és a kiterjesztett valóság.¹⁹

Az ipar 4.0 irodalmat áttekintő tanulmányok²⁰ eredményei ugyanakkor azt sugallják, nem célszerű egyes konkrét technológiák felől közelíteni. Az ipar 4.0 ernyőfogalma alá ugyanis számos tudományterületbe sorolható, korábban létező és újonnan kifejlesztett megoldások sokasága tartozik. Chiarello és szerzőtársai (2018) például 30 különböző tudományterületbe sorolható, 1200-nál is több (!) ipar 4.0-összetevőt térképeztek fel, és bemutatták, hogy ezeket – mindig az adott konkrét műszaki feladat elvégzése érdekében – több tízezernyi módon lehet kombinálni. A technológiákat felsorolni próbáló definíciók tehát óhatatlanul beleütköznek abba, hogy fejlődésben lévő fogalomról van szó: új és új megoldások, technológia-kombinációk keletkeznek.

Következésképpen, az ipar 4.0 fogalom körébe tartozó technológiák rendszerezésekor célszerűbbnek tűnik a funkcionális közelítés (Culot és szerzőtársai, 2020), eszerint beszélhetünk

- a fizikai és a digitális világ összekapcsolását lehetővé tevő technológiákról (kiber-fizikai rendszerek) és alkalmazásaikról (például vizualizációs megoldások);
- hálózati technológiákról (felhőalapú számítástechnika, blokklánc);
- a megoldások közötti átjárhatóságot (interoperabilitást) megteremtő, illetve
- a megoldások kibervédelmét biztosító technológiákról;
- a nagy adattömegek feldolgozását lehetővé tevő technológiákról és alkalmazásaikról (szimulációk, modellezés);
- egyes fizikai műveleteket elvégző digitális technológiákról (3D nyomtatás, kollaboratív robotok); és
- a fizikai műveletek szervezését elősegítő digitális megoldásokról (például gyártásvezérlés, energiamenedzsment).

Mi változik, ha a cégek ezeket a technológiákat a termelési rendszereikbe integrálják? Az első és egyik legfontosabb változás az összekapcsoltság: a termelési és a támogató folyamatok minden egyes résztvevőjének valós idejű információt nyújtó megoldásokkal – szenzorokkal és a kinyert adatokat továbbító, összegyűjtő és feldolgozó adatinfrastruktúrával – közös információs hálózatba kötik össze.²¹ Mit jelent ez a gyakorlatban?

2018-ban az Audi győri üzemének területe ötmillió négyzetméter volt (Gaál, 2018). Egy ennél kisebb termelőüzemben is kulcsfontosságú az átláthatóság: információ arról, hogy állnak az egyes folyamatok, milyen a gépek kihasználtsága, melyik gép esett ki a rendszerből műszaki hiba miatt, beérkeztek-e a megfelelő

¹⁷ Mourtzis, 2020.

¹⁸ A virtualizáció, másképpen digitális iker azt jelenti, egy fizikai rendszert (például egy termelési rendszer, vagy egy terméket) digitálisan leképeznek és ebben a virtuális rendszerben végzik el a rendszer optimalizálásához, vagy a termék fejlesztéséhez szükséges kísérleteket, számításokat (Mourtzis, 2020; Tao és szerzőtársai, 2019). A digitális iker több mint egy számítógépes modell, ugyanis a fizikai rendszerben a beépített szenzorok révén a digitális modell valós időben megjeleníti a fizikai rendszerben bekövetkező változásokat.

¹⁹ Nee és szerzőtársai, 2012; Palmarini és szerzőtársai, 2018.

²⁰ Például Chiarello és szerzőtársai, 2018; Ghobakhloo, 2018; Monostori és szerzőtársai, 2016; Xu és szerzőtársai, 2018

²¹ A szakirodalom erre utal a vertikális integráció kifejezéssel (például Monostori és szerzőtársai, 2016; Xu és szerzőtársai).

alapanyagok, alkatrészek, melyik soron alakultak ki beavatkozást igénylő minőségi problémák.

Problémák esetén, az összekapcsoltság és a valós idejű, megfelelően rendszerezett információk révén megvalósuló átláthatóság gyors beavatkozást tesz lehetővé. A termelési és üzleti környezetben bekövetkező bármilyen változásra így a korábbiaknál gyorsabb lehet a reakció. Javulnak a termelés minőségi paraméterei (Colledani és szerzőtársai, 2014; Váncza és szerzőtársai, 2011) és a nagy adattömegek feldolgozását lehetővé tevő technológiáknak és alkalmazásaiknak köszönhetően nő az erőforráshatékonyság:²² ezek a technológiák teszik ugyanis lehetővé a tevékenység egészének és minden egyes részelemének optimalizálását, továbbá a fizikai műveletek optimális tervezését és ütemezését. A javuló erőforráshatékonyság a környezeti teljesítményben is megmutatkozik (Bai és szerzőtársai, 2020; Müller és szerzőtársai, 2018; Szalavetz, 2017).

Az ipar 4.0 technológiák közül az egyes fizikai műveletek robotizálása a leglátványosabb:²³ a robotizálástól a cégek termelékenységük erőteljes emelkedését és a folyamataik stabilitásának növekedését várják.

Ami az előbbi várakozásokat illeti, a robotizálás és az automatizálás középtávon várhatóan nem feltétlenül közvetlenül a termelési folyamatok, hanem leginkább az azt támogató funkciók (például a gyártási logisztikának) termelékenységét fogja növelni és a foglalkoztatási (munkaerő-kiváltási) hatása is várhatóan a logisztikában lesz a legerőteljesebb (Anton és szerzőtársai, 2020; Sostero, 2020). A gyártás termelékenységének emelkedéséhez a munkavégzést támogató „operátor 4.0” technológiák²⁴ gyakran erőteljesebben járultak hozzá, mint az egyes műveletek robotizálása.

A termelékenység vállalati szintű „érzékeny” emelkedéséhez mind a robotizálás mind az egyéb támogató technológiák esetében elengedhetetlen, hogy az új technológiák integrálását stratégiai tervezés előzze meg²⁵ és a technológia fejlesztésével párhuzamosan a munkafolyamatok átalakítására, a humán erőforrások fejlesztésére és vállalatszervezeti változásokra is sor kerüljön (Geissbauer és szerzőtársai, 2016; Ghobakhloo és Fathi, 2020; Hirsch-Kreinsen, 2016).

A stratégiai tervezés jelentőségét hangsúlyozó üzleti és menedzsment-tanulmányok leszögezik, nem szerencsés, ha az ipar 4.0 törekvések kizárólag a műszaki, technológiai és esetleg az ezekkel kapcsolatos pénzügyi, gazdasági szempontokat tartják szem előtt. Az ipar 4.0 fogalom komplex átalakulást tételez fel és

²² Javul az általános eszközkihasználtság, az anyag- és energiefelhasználás, és a munkaerő kihasználásának hatékonysága. E mérőszámok fejlődéséről és gyakorlati alkalmazásukról jó áttekintést ad Muchiri és Pintelon, 2008. Lásd még: Braglia és szerzőtársai, 2018, 2020.

²³ Nem meglepő, hogy a szakirodalomban nem csillapodik a vita arról, hogy vajon a robotizálás és a rutinműveletek automatizálása valóban minden korábbi mértéket meghaladó technológiai munkanélküliséget okoz-e (Acemoglu és Restrepo, 2018, 2019; Arntz és szerzőtársai, 2016; Autor, 2015; Frey és Osborne, 2017). Fontos ehelyütt megjegyezni, hogy az élők munkakiváltása ma még ritkán vezet a foglalkoztatottak elbocsátásához (elbocsátás helyett a meglévő dolgozók rendszerint inkább más feladatokat kapnak – lásd erről például Drahoukoupil (2020) könyvében szereplő áttekintéseket). Az egyes műveletek robotizáló, automatizáló technológiák valójában leginkább a munkakörülményeket javítják azzal, hogy kiváltják a fizikailag nehéz, veszélyes, és/vagy nagy precizitást igénylő, ismétlődő, sztereotip munkafolyamatokat (Szalavetz, 2021a).

²⁴ Ide tartoznak például az összeszerelési, vagy a karbantartási feladatokat támogató kiterjesztett valóság-alpú megoldások, a raktárból történő kommissiózást segítő jelzőlámpás rendszer, a raktározási feladatokat segítő címkeazonosítási technológiák, az operátorok munkáját segítő az adott feladatnak megfelelően megjelenő dinamikus munkautasítások, a megerőltető munkát megkönnyítő mesterséges vázszerkezetek (robotruhák): Longo és szerzőtársai, 2017; Ruppert és szerzőtársai, 2018.

²⁵ Lásd erről Bharadwaj és szerzőtársai, 2013; Warner és Wäger, 2020.

valóban, ennek az átalakulásnak *egyik pillére* az, hogy a cégek digitális technológiákat integrálnak a termelési rendszereikbe.

Ahhoz azonban, hogy egy cég a digitális korszaknak megfelelő módon működjön és a beruházások eredményeiként a teljesítmény az elvárt mértékben javuljon, más feltételeknek is teljesülniük kell. Elengedhetetlen például, hogy a beruházásokat stratégiai vízió előzze meg, vagyis meg kell határozni az ipar 4.0-val kapcsolatos célokat és prioritásokat. Fel kell mérni milyen szervezeti és munkafolyamatbeli átalakításokat igényel az új technológia, újra kell gondolni a működési és az üzleti modellt – és végre is kell hajtani e stratégiai tervezés során meghatározott feladatokat! Az ipar 4.0 technológiák rendszerbe állítása tehát nem csupán műszaki, informatikai, hanem nagyon jelentős vezetői képességeket is igényel, annál is inkább, mivel a feladatok végrehajtása során egyúttal kísérletezésre, új irányok feltérképezésére, az eredmények állandó értékelésére és a tervek megfelelő módosítására is szükség van – és nem utolsósorban az ezt az új működési módot befogadó vállalati kultúra kialakítására.

Az ipar 4.0 fogalom meghatározására visszatérve, mint arra Vial (2019) rámutatott, a technológia-alapú ipar 4.0 definíciókkal az a gond, hogy a változás (a negyedik ipari forradalom) nem egyenlő az azt lehetővé tevő eszközökkel, technológiai erőforrásokkal. Vial ellenkező előjelű problémát lát azoknak a definícióknak az esetében, amikor az ipar 4.0 fogalmát a technológiáknak a vállalati teljesítményre gyakorolt kedvező hatásaival keverik össze. Eszerint az sem szerencsés, ha az ipar 4.0 fogalmát úgy definiálják, hogy az iparvállalatok digitális technológiákat alkalmaznak a teljesítményük javítása (Szalavetz, 2020), a versenyképességük (Kane, 2017), rugalmasságuk és alkalmazkodóképességük erősítése (Picarozzi és szerzőtársai, 2018), az üzleti modelljük megváltoztatása (Clohessy és szerzőtársai, 2017; Warner és Wäger, 2020), vagy/és a termelésük optimalizálása, erőforráshatékonyágának növelése érdekében (Singh és Hess, 2017).²⁶

E kritika ellenére, meggyőződésünk, hogy az ipar 4.0 fogalmát (a) a kapcsolódó technológiák; (b) ezek hatásaival kapcsolatos várakozások és stratégiai motivációk; és (c) az ipar 4.0-val összefüggő egyéb jelenségek bemutatásával tudjuk meghatározni.

A (c) pontra rátérve, induljunk ki abból, hogy elemzésünk egysége eddig a feldolgozóipari gyártóegység volt, mint az ipari digitalizáció alanya és tárgya. A gyártóegység határain túllépve, az ipar 4.0 fogalom tárgyalásakor említést kell tennünk az értéklánc digitalizációjáról, vagyis a teljes hozzáadott érték létrehozásában közreműködő, ahhoz hozzájáruló szereplők digitális összekapcsolásáról (horizontális integráció),²⁷ az értékesítés és a vevői kapcsolattartás csatornáinak digitalizációjáról, valamint az ún. „okos termékekről”.²⁸

²⁶ A Corvinus Egyetem Versenyképesség Kutató Központjának 2019-es gyorsjelentése (Chikán és szerzőtársai, 2019) 234 magyarországi, döntően kis-közepes vállalkozás körében végzett kérdőíves felmérést, többek között a digitalizációs projektekkel kapcsolatos várakozásokról. A válaszadók döntő többsége e projektektől a döntések felgyorsulását és új információk szerzését várja, vagyis közvetve a versenyképességük javulását.

²⁷ Az ellátási lánc digitalizációjáról és a horizontális integrációról lásd: Brettel és szerzőtársai, 2014; Manavalan és Jayakrishna, 2019.

Hazai felmérések (Baksa és szerzőtársai, 2021) arról tanúskodnak, a magyarországi feldolgozóipari cégek ma még leginkább a belső folyamataikat igyekeznek digitális technológiák segítségével optimalizálni, vagyis a termelésük minőségét és erőforráshatékonyágát javítani: az ellátási lánc szintjére még csupán a legnagyobb vállalkozások tekintenek ki (az ellátási lánc-szintű elektronikus információmegosztási technológiák még kevéssé terjedtek el).

²⁸ Lásd erről McKinsey Digital, 2015; Porter és Heppelmann, 2014, 2015; Gebauer és szerzőtársai, 2020, Yoo és szerzőtársai, 2012.

Az okos, más szóval összekapcsolt termék egyfelől azt jelenti, hogy az adott termék (például gépek, berendezések) képes a saját működéséről adatokat gyűjteni és ezeket az adatokat eljuttatni egy azokat feldolgozó és felhasználó félnek (ez lehet a gyártó, a felhasználó, vagy valamilyen harmadik fél). A termékeknek ez a – meglehetősen komplex infrastrukturális háttérrel feltételező – jellemvonása lehetővé teszi a nyomon követésüket és/vagy a működésük távolról történő megfigyelését, szükség (például hibás működés) esetén a távolról történő beavatkozást, vagy a terméket vezérlő szoftverek frissítését.

Másfelől az okos termék digitális funkcionalitásokkal ellátott terméket jelent (Yoo és szerzőtársai, 2012). Az új funkcionalitások száma és diverzitása azt sugallja, a digitalizáció a feldolgozóipari cégek számára nem csupán a termelési és a támogató folyamataik javítását eredményező innovációkra ad alkalmat, hanem megannyi termékinnovációs lehetőséget is teremt. Az okos termékekkel összefüggő egy további innováció-típus az üzleti modell-innováció,²⁹ ami a feldolgozóipari cégek digitalizációjával összefüggésben azt jelenti, hogy a cégek új módon kínálnak értéket.

Korábban a feldolgozóipari cégek versenyben elfoglalt pozícióját főként a termékek műszaki paraméterei és előállításuk költségei befolyásolták. Az okos termékekbe épített digitális funkciók és a termékekhez kapcsolódó szolgáltatások, vagyis a *funkcionalitás* napjainkban a korábbiaknál nagyobb mértékben határozza meg a versenyelőnyöket. A feldolgozóipari cégek tehát ma már nem feltétlenül „termékekkel” versenyeznek, inkább megoldást, *funkcionalitást* kínálnak: erre utalnak a „termék–szolgáltatási rendszer” (Meier és szerzőtársai, 2010) és a feldolgozóipari cégek szolgáltatásorientációját leíró „digitális szolgáltatásodás” (Paschou és szerzőtársai, 2020) kifejezések.

Következésképpen, a feldolgozóipari cégek új (szolgáltatási) tevékenységekkel és új kínálati elemekkel egészítik ki korábbi portfóliójukat. A szolgáltatásorientáció ugyanakkor nem szűkíthető le arra, hogy a szolgáltatások szerepe fokozatosan nő a feldolgozóipari cégek tevékenység-portfóliójában. Legalább ennyire fontos, hogy a feldolgozóipari cégek hálózati kapcsolatai a korábbiaknál komplexebbé váltak és nőtt a hálózati partnerek száma. Együttműködő partnereik, stratégiai szövetségeseik között mind nagyobb számban találunk digitális technológiai és digitális szolgáltatásokra szakosodott cégeket. A feldolgozóipari értékláncokba integrálódó, feldolgozóiparon kívüli szektorokból érkező szereplők száma megsokszorozódott és ennek nyomán átalakult a feldolgozóipari értékláncokban megtermelt teljes hozzáadott érték szerkezete, összetétele (Szalavetz 2021b).

Ezek az ipar 4.0 fogalommal összefüggő jelenségek a feldolgozóipari cégek számára további stratégiai kérdéseket vetnek fel. Mint korábban írtuk, az ipar 4.0 beruházásokkal összefüggő stratégiai tervezés nulladik, „vízió” fázisában a cégeknek tisztázniuk kell e beruházásokkal kapcsolatos célokat, prioritásokat. Az első, vagyis a „beruházási” fázisban, a beruházásokkal párhuzamosan, ki kell alakítaniuk és végrehajtaniuk az elengedhetetlenül szükséges szervezeti és működésbeli változtatásokat, képzési, humán erőforrás-fejlesztési feladatokat.

A fent jelzett, újabb stratégiai kérdések a termékek és az üzleti modell digitalizációjához kapcsolódnak. A cégeknek át kell gondolniuk, hogyan változott az érték az adott iparágban, vagyis mi az, ami a fogyasztók számára értéket jelent, a cégeknek pedig versenyelőnyt biztosít? Milyen erőforrásokat kell kiépíteni, vagy megszerezni ahhoz, hogy a digitális korszak változó fogyasztói elvárásainak megfeleljenek? Milyen kapcsolatrendszert (hálózati tőkét) kell kialakítani és miként?

²⁹ Lásd erről Amit és Zott, 2001; Baden-Fuller és Haefliger, 2013; Teece és Linden, 2017. Az üzleti modell-innovációról Horváth és szerzőtársai (2018) tanulmánya ad átfogó, magyar nyelvű áttekintést.

Az ipar 4.0 érettség eddig felsorolt összetevői alapján immár nyilvánvaló, nyitott végű folyamatról és messze nem csupán technológiákról van szó. Mindezek alapján az ipar 4.0 fogalmát a következőképpen definiáljuk:

Ipar 4.0-nak a feldolgozóipari cégek digitális átalakulásának nyitott végű folyamatát nevezzük, amelynek során teljesítményük javítása és versenyképességük erősítése érdekében a cégek digitális technológiák integrálásával fejlesztik erőforrásaikat és folyamataikat, illetve e technológiák optimális működési feltételeinek megteremtése érdekében további immateriális beruházásokat hajtanak végre.

A fenti definíció egyik fontos és korábban külön nem hangsúlyozott eleme, hogy feldolgozóipari cégekről van szó. Az ipar 4.0 tehát szűkebb fogalom, mint a digitális átalakulás: ez utóbbi, a gazdasági vonatkozásai mellett, a változó társadalmi létformákra utaló fogalmakkal és jelenségekkel is összefügg (például az okosvárosok, intelligens mobilitás, digitális egészségügy, társadalom 5.0).³⁰ A definícióban szereplő általános fogalmak (teljesítmény, erőforrások, folyamatok, immateriális beruházások) ugyanakkor elegendően tágak ahhoz, hogy az ipar 4.0 változó és bővülő jelentéstartománya – legalább rövidtávon – ne igényelje a definíció módosítását.

Ipar 4.0 érettség

Az ipar 4.0 jelenséget három egymással párhuzamos folyamatként célszerű értelmezni. Egyfelől, az ipar 4.0 ernyőfogalma alá tartozó technológiák folyamatosan fejlődnek, továbbá új technológiák és alkalmazások jelennek meg. A változó, fejlődő technológia új módon kínál megoldást a feldolgozóipari cégek hagyományos problémáira és új problémák megoldását is elősegíti.

Másfelől, a cégek ipar 4.0 fejlesztései és a kapcsolódó immateriális beruházásai egyre komplexebbek, egyre nagyobb léptékűek, ahogy az „alacsonyán lógó gyümölcsöket learatva”, sor kerül a szigetyszerű alkalmazások összekötésére, egyre komplexebb támogató folyamatok digitalizálására, a heterogén információs rendszerek összekapcsolására és harmonizálására, illetve ezt követően, vagy ezzel párhuzamosan a termékek és az üzleti modell digitalizációjára.

A harmadik folyamat a külső környezet digitális átalakulása: a versenytársak és az értéklánc-partnerek (megrendelők, beszállítók) fejlesztései, illetve az iparág szerkezetét és a verseny feltételeit felforgató új belépők (digitális technológiai cégek) és egyes hagyományos termékeket a piacról kiszorító alternatív digitális megoldások megjelenése.

Összességében, az ipar 4.0 technológiák megjelenése, illetve a fogyasztói elvárások és a versenyfeltételek átalakulása sokrétű alkalmazkodást igényel. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, a stratégiakészítés, a szükséges technológiai és komplementer beruházások felmérése, ütemezése és *megvalósítása* nem a folyamat legelején a legnehezebb. Leginkább a továbblépés, pontosabban a *szintet lépés* igényel jelentős felkészültséget, erőforrásokat és képességeket. Itt lép be a képbe az ipar 4.0 érettség kérdése, ugyanis a felmérések azt sugallják, a digitalizáció előrehaladása során, az újabb szintek más és más megközelítést igényelnek: változnak a követelmények, a prioritások, nő a továbblépés erőforrásigénye és a feladatok komplexitása.

Vizsgáljuk meg ennek fényében, hogy a szakirodalom miként közelíti meg az ipar 4.0 érettség kérdését, milyen modellek jelentek meg és miként kategorizálják az érettség egyes szintjeit.

³⁰ Lásd például: Camero és Alba, 2019; Fukuyama, 2018; Holroyd, 2021.

Frank és szerzőtársai (2019) technológiai kiindulópontból közelítették az érettséghez és azt vizsgálták, az egyes cégek milyen ipar 4.0 technológiákat integráltak a termelési rendszereikbe. Megállapították, hogy érettségük növekedésével a cégek mind több technológiát alkalmaznak: először a vertikális integrációt elősegítő technológiákat (szenzorokat, PLC vezérlést, a felügyeleti irányítást és adatgyűjtést (SCADA) megvalósító rendszereket, gyártásvezérlő (MES) és vállalatirányítási (ERP) rendszereket, a következő szinten a virtualizációt és az automatizálást, illetve az alapanyagok, alkatrészek, termékek és eszközök nyomon követését megvalósító megoldásokat. Az okos termékkel rendelkező cégekre általában magasabb szintű gyártási technológia volt jellemző: ez azt valószínűsíti, hogy a termékek (így közvetve az üzleti modell) digitalizálása magasabb érettségi szinten valósul meg. Hasonlóképpen, a munkavégzést támogató megoldások és az ellátási lánc digitalizálása olyan cégeknél valósult meg, ahol a gyártási folyamatok digitalizációja már magasabb szintet ért el,³¹ így e folyamatok esetében is azt állíthatjuk, ezek digitalizációja a vállalatok többségénél az ipar 4.0 érettség magasabb fokán kerül sorra.

Mittal és szerzőtársainak (2020) kis- és középvállalatokra kifejlesztett ipar 4.0 érettségi modellje nem konkrét technológiákból indul ki, hanem azt vizsgálja, hogy az egyes vállalati funkciókban rendelkezésre állnak-e funkcióspecifikus adatok. Naprakész-e például a pénzügyi funkció az egyes költségnemek alakulását illetően? Valós idejű információ áll-e rendelkezésre arról, hogy a foglalkoztatottak hány órát dolgoztak egy adott időszakban, hogy melyik dolgozó, mely műveletek elvégzésére, mely gépek kezelésére kapta meg a szükséges képzést? Rendelkezésre állnak-e (ha igen, milyen formában) valós idejű adatok arról, hogyan alakulnak egyes meghatározott teljesítményindikátorok? Ami a termelési folyamatot illeti, milyen paraméterekről és milyen bontásban állnak rendelkezésre valós idejű adatok (gépek kihasználtsága, egyes gépek pillanatnyi státusza, energiafelhasználási adatok, az alapanyagokkal kapcsolatos adatok, stb.)? Támogatják-e termelésfelügyeleti és karbantartási adatok a karbantartók munkáját? Mittal és szerzőtársai (2020) hosszan sorolják tovább a termékekkel, illetve az ellátási lánc egyes paramétereivel kapcsolatos adatigényt, amelyek megalapozzák, hogy a vállalat ipar 4.0 felkészültsége az értékelhető tartományba kerüljön.

E két technológia- és adat-alapú közelítésénél átfogóbb, rendszerszintű elemzések is napvilágot láttak, amelyek több dimenzióban vizsgálják a vállalatok ipar 4.0 felkészültségét. A legismertebb ezek közül a Német Műszaki Tudományok Akadémiája (ACATECH) modellje (Schuh és szerzőtársai, 2017), de az ipar 4.0 érettség modelljeire fókuszáló irodalom-áttekintések (például Basl és szerzőtársai, 2019; Hizam-Hanafiah s szerzőtársai, 2020; Pacchini és szerzőtársai, 2019) esetenként már húsznál is több érettség-modellt szemlélnek.

A versengő modellek számának gyors növekedése arra az egyszerű átváltási csapdára vezethető vissza, hogy a vizsgált kérdések számának növelése a cégek felkészültségének egyre precízebb értékelését eredményezi,³² a túlzott részletesség azonban csökkenti az áttekinthetőséget és a modell alkalmazhatóságát.

³¹ Kivételt képeznek a kollaboratív robotok, amelyek már az érettség alsóbb szintjén is megjelennek.

³² Egy további különbség, hogy egyes modellek csupán egy-egy meghatározott folyamat, vagy ipar 4.0 összetevő érettségét, ipar 4.0 felkészültségét vizsgálják (technológia, infrastruktúra, gyártás, humán erőforrások, vállalati szervezet ellátási lánc), mások a teljes vállalat érettségét helyezik nagytól alá, megint mások a vállalat felkészültségét annak iparági és makrokörnyezetével együtt vizsgálják (lásd Wagire és szerzőtársai (2020) áttekintését).

Hizam-Hanafiah és szerzőtársainak tanulmánya (2020) például kezelhetetlen mennyiségű, 158 elemzési szempontot listázott az áttekintett szakirodalom alapján. Ennek megfelelően, elengedhetetlen volt az egyes témák csoportosítása. A szerzők hét dimenziót különböztettek meg: technológia, humán erőforrások, stratégia, menedzsment, folyamatok, integráció és innováció: ezzel gyakorlatilag más modellközelítésekhez hasonló elemzési keretet alkottak meg.

Az érettségi modellek megkülönböztető jellemvonása értelemszerűen nem az, hogy hányféle szempontot vizsgálnak, hány konkrét kérdést tesznek fel a vállalatoknak (ugyanakkor, ezek a kérdések természetesen már önmagukban eligazítást nyújtanak a vállalatvezetőknek arról, melyek azok a területek, amelyekre eddig kevés hangsúlyt helyeztek, és amelyek kedvezőtlenül befolyásolják a felkészültséget).

Még csak nem is feltétlenül a kérdések csoportosítása, vagyis a vizsgált dimenziók száma és elnevezése, vagy az egyes érettségi szintek száma az, amitől egyik modell a felhasználó vállalatok szempontjából értékesebb és használhatóbb lesz, mint a többi.

A vizsgált dimenziók száma általában három és hat között mozog. Schuh és szerzőtársai (2017) például négy dimenziót különböztetnek meg: erőforrások, információs rendszerek, szervezet és kultúra. Scremin és szerzőtársai (2018) háromdimenziós modellt állítottak fel: vizsgálták a *stratégiát* (az üzleti, a hálózati integrációs és a technológia-stratégiát), az infrastruktúra, az adatok elemzési képességének és az új technológiák befogadási képességének *fejlettségét* (ez utóbbi vonatkozásában az új technológia befogadásához elengedhetetlen komplementer beruházásokat), valamint a technológiák *vállalati teljesítményre* gyakorolt hatását. Ez utóbbi témakörben rákérdeztek a technológia gazdasági, társadalmi (például a munkafolyamatok minőségére gyakorolt) és környezeti hatásaira,³³ és külön az erőforráshatékonyságra.

A modellek általában négy–hat érettségi szintet különböztetnek meg. Egyes modelleknél a szintek nulláról indulnak, ez különösen a digitalizáció terén kevésbé fejlett országok³⁴ szempontjából lényeges, továbbá olyan modellekben, amelyeket specifikusan kis- és középvállalatok felkészültségének vizsgálatára fejlesztettek ki (Mittal és szerzőtársai, 2020).

A fenti felszíni jellegzetességek helyett, a versengő modellek értéke az egyes érettségi szintekbe történő besorolás (az értékelés) módszereitől függ.

Például, minden egyes modell kisebb-nagyobb részletességgel felméri, hogy milyen technológiák, megoldások, alkalmazások találhatóak meg az egyes vállalatoknál. A technológia *megléte* ugyanakkor nem ad egyértelmű információt az adott cég felkészültségéről, sem a megoldás *fejlettségéről*, sem arról, hogy milyen mélységben, milyen széleskörűen és milyen hatékonyan alkalmazzák azt, vagy, hogy elvégezték-e (ha igen, milyen hatékonyan) azokat a komplementer beruházásokat, amelyek a technológia megfelelő működéséhez elengedhetetlenek. Ennek megítélését segíti, ha a felmérést végző szervezet ismeri az adott technológiával kapcsolatos iparági és nemzetközi legjobb gyakorlatokat. Következésképpen, a

³³ A társadalmi és környezeti hatások vizsgálata abból a szempontból is kiemelendő, hogy a Világgazdasági Fórum Világítótorny projektje keretében időről-időre a „világítótornyok klubjába” választanak az ipari digitalizáció terén kiemelkedő eredményeket elért vállalatokat. A bekerülés feltétele, hogy a digitális technológiáknak az adott cég termelékenységére, erőforráshatékonyságára és versenyképességére gyakorolt kedvező hatásain túlmenően, számottevően javuljon a munka minősége is (és ehhez a cég részesítse megfelelő képzésben az alkalmazottait), továbbá javuljon a cégek környezeti teljesítménye, vagyis a digitalizáció össztársadalmi szinten is értelmezhető kedvező hatásokkal járjon (WEF, 2019a, b, 2020).

³⁴ Az országok digitális érettségét a Digitális Gazdaság és Társadalom Index (DESI) számszerűsíti: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>.

technológiákkal kapcsolatos kérdésekre adott válaszok alapján messze nem egyértelmű az adott terület érettségi besorolása: ez a felmérést végző és az adott modellt alkalmazó cégek rejtett tudása alapján dől el.

Egy másik, az adat-alapú megközelítésekből vett példánál induljunk ki abból, hogy az adatok rendelkezésre állása csupán az alapszintű érettséghez elegendő. Az adathierarchia (Tao és szerzőtársai, 2018) következő fázisai: az adatok összegyűjtése, tárolása, feldolgozása (például vizualizációja) a különböző területek működésével kapcsolatos adatok összekötése és az adatvezérelt döntéshozatal megfelelő módszereinek kialakítása – ez utóbbi megítéléséhez ismét elengedhetetlen a legjobb gyakorlatok ismerete.

A megoldás-részletek meglétén túlmenően, azok fejlettségét is értékelik az egyes modellekben. Az előbbi adat-alapú közelítés példájánál maradva, más fejlettségi szintet jelent, ha az adatokat Excel-táblákban, vagy a felhőben tárolják. Az adatok vizualizációja vonatkozhat egyetlen folyamatra (például a termelés státusza, az egyes teljesítménymutatók alakulása), de a vizualizáció, mint alkalmazás, nagyszámú más feladatot is támogathat: gondoljunk például az üzleti intelligencia-megoldásokra.

Az egyes területek fejlettségén túlmenően, a modellekben azt is megvizsgálják, hogy össze vannak-e kapcsolva, vagy szigetszerűen működnek az egyes megoldások. Beszélhetünk-e a termelési rendszerbe integrált megoldások, illetve az egyes kapcsolódó funkciókat támogató megoldások közötti szinergia-hatásról?

Egy további terület, ahol az egyes érettségi modelleket alkalmazó felmérések alapján készített értékelések jelentős mértékű rejtett tudást igényelnek, az egyes vizsgált dimenziók és ezen belül az egyes megoldások (azok megléte, alkalmazásuk széleskörűsége és fejlettsége) közötti súlyozás. Az értékelések ugyanis implicite azt is tartalmazzák, hogy milyen mértékben épülnek egymásra az egyes kritériumok, van-e hierarchia közöttük? Kompenzálja-e az egyes területeken (például a kiberbiztonság területén) felfedezett hiányosságokat egy másik terület (például adatvezérelt döntéshozatal) fejlettsége? Kompenzálja-e technológiai hiányosságokat a vállalatszervezeti és menedzsment-gyakorlatok fejlettsége – és fordítva?

Az egyes érettségi modelleket tehát legfőképpen a többszemponútú döntési problémák megoldására alkalmazott módszereik teszik egyedivé és értékessé,³⁵ továbbá a vizsgálatot végző személyek és szervezetek doménspecifikus (az adott ipárral és a vizsgált vállalat mezo- és makrokörnyezetével kapcsolatos) tudása.

Hivatkozások

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488–1542.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 3-30.

Amit, R., & Zott, C. (2001). Value creation in e-business. *Strategic Management Journal*, 22(6-7), 493-520.

³⁵ Bár az ipar 4.0 érettségi vizsgálatok önmagukban is értéket nyújtanak a vállalatoknak, mivel a továbblépéshez nélkülözhetetlen gondolkodási folyamatot indítanak el, ezek a felmérések leginkább akkor támogatják a stratégiaalkotást, ha egyúttal a bejárando fejlődési utat is kijelölik, vagyis megfogalmazzák, hogy a szintet lépés érdekében milyen területeken és milyen ütemezésben kell a jelenlegi állapoton változtatni (Erol és szerzőtársai, 2016). Ghobakhloo (2018) tanulmánya például (egyebek mellett) az érettség növelésének útvonalát tárgyalja különböző stratégiai területeken (a stratégiai menedzsment a marketing, a humán erőforrások, az informatikai infrastruktúra és eszközök, a termelési folyamatok és az ellátási lánc szintjén).

- Anton, J. I., Klenert, D., Fernandez-Macias, E., Brancati, M. C. U., & Alaveras, G. (2020). *The labour market impact of robotisation in Europe*. JRC Technical Report No. 2020-06. Sevilla: Joint Research Centre.
- Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The risk of automation for jobs in OECD countries: A comparative analysis. *OECD Social, Employment, and Migration Working Papers*, No. 189.
- Autor, D.H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *The Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.
- Baden-Fuller, C., & Haefliger, S. (2013). Business models and technological innovation. *Long Range Planning*, 46(6), 419-426.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Baksa, M., Freund, A., Demeter, K., & Losonci, D. (szerk.) (2021.) *Üzlet 4.0. – magyarországi vállalati tapasztalatok: termelés, szolgáltatás, logisztika*. Budapest, Akadémiai Kiadó.
- Basl, J., & Doucek, P. (2019). A metamodel for evaluating enterprise readiness in the context of Industry 4.0. *Information*, 10(3), 89.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471-482.
- Blackburn, S., Bughin, J., & LaBerge, L. (2020): How to restart your stalled digital transformation. McKinsey Digital. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/how-to-restart-your-stalled-digital-transformation>
- Braglia, M., Castellano, D., Frosolini, M., & Gallo, M. (2018). Overall material usage effectiveness (OME): a structured indicator to measure the effective material usage within manufacturing processes. *Production Planning & Control*, 29(2), 143-157.
- Braglia, M., Castellano, D., Frosolini, M., Gallo, M., & Marrazzini, L. (2020). Revised overall labour effectiveness. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-08-2019-0368>
- 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, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37-44.
- Brynjolfsson E., & McAfee A. (2014). *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. WW Norton & Company.
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119790. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- Camero, A., & Alba, E. (2019). Smart City and information technology: A review. *Cities*, 93, 84-94.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). *Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Washington, DC: Atlantic Council.
- Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A., & Fantoni, G. (2018). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using Wikipedia. *Computers in Industry*, 100, 244-257. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.006>
- Chikán, A., Czakó, E., Losonci, D., & Kiss-Dobronyi, B. (szerk.) (2019). *A 4. ipari forradalom küszöbén. Gyorsjelentés a 2019. évi kérdőíves felmérés eredményeiről*. Budapest: Corvinus Egyetem Versenyképesség Kutató Központ. http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/4328/1/Gyorsjelentés_2019_Versenykepesseg.pdf
- Clohessy, T., Acton, T., & Morgan, L. (2017). The impact of cloud-based digital transformation on IT service providers: evidence from focus groups. *International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC)*, 7(4), 1-19. <https://doi.org/10.4018/IJCAC.2017100101>

- Colledani, M., Tolio, T., Fischer, A., Iung, B., Lanza, G., Schmitt, R., & Váncza, J. (2014). Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 63(2), 773–796.
- Correani, A., De Massis, A., Frattini, F., Petruzzelli, A. M., & Natalicchio, A. (2020). Implementing a digital strategy: Learning from the experience of three digital transformation projects. *California Management Review*, 62(4), 37-56.
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>
- Davenport, T. H., & Westerman, G. (2018). Why so many high-profile digital transformations fail. *HBR Digital*, March, 9, 2018, hbr.org/2018/03/why-so-many-high-profile-digital-transformations-fail
- Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., & Soete, L. (1988). *Technical change and economic theory*. London: Pinter.
- Drahokoupil, J. (Ed.). (2020). *The challenge of digital transformation in the automotive industry: Jobs, upgrading and the prospects for development*. Brussels: European Trade Union Institute.
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihn, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. In: *International conference on competitive manufacturing*, 9(1), 495-501.
- Foray, D., David, P. A., & Hall, B. H. (2011). Smart specialisation: from academic idea to political instrument, the surprising destiny of a concept and the difficulties involved in its implementation. Management of Technology & Entrepreneurship Institute Working Paper 2011-001, Lausanne: College of Management of Technology, EPFL
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Frey, C.B., & Osborne, M. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280.
- Fukuyama, M. (2018). Society 5.0: Aiming for a new human-centered society. *Japan Spotlight*, 27, 47-50.
- Fülep, I., Nick, G. A., & Várgedő, T. (2018). Zászlón a digitalizáció – Ipar 4.0. *Új Magyar Közigazgatás*, 11(2), 45-55.
- Gaál, B. (2018). Audi begins serial production of e-engines in Győr. *Budapest Business Journal*, , July 25.
- Garrett, B. (2014). 3D printing: new economic paradigms and strategic shifts. *Global Policy*, 5(1), 70-75.
- Gebauer, H., Fleisch, E., Lamprecht, C., & Wortmann, F. (2020). Growth paths for overcoming the digitalization paradox. *Business Horizons*, 63(3), 313-323.
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). Industry 4.0: Building the digital enterprise. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910-936.
- Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(1), 1-30. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2018-0417>
- Götz, M., Sass, M., & Éltető, A. (2021). Perceptions of Industry 4.0 in Visegrad Firms. *DANUBE*, 12(4), 239-241.
- Hallward-Driemeier, M., & Nayyar, G. (2017). *Trouble in the Making?: The Future of Manufacturing-led Development*. Washington: World Bank Publications.
- Havas, A. (2019). A műszaki és a gazdasági fejlődés kapcsolata: elméleti és szakpolitikai megfontolások. In: Szanyi, M., & Török, Á. (szerk.) *Trendek és töréspontok*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 39-61.

- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitization of industrial work: development paths and prospects. *Journal for Labour Market Research*, 49(1), 1–14.
- Hizam-Hanafiah, M., Soomro, M. A., & Abdullah, N. L. (2020). Industry 4.0 readiness models: a systematic literature review of model dimensions. *Information*, 11(7), 364.
- Holroyd, C. (2021). Technological innovation and building a 'super smart' society: Japan's vision of society 5.0. *Journal of Asian Public Policy*, 14, 1-14, <https://doi.org/10.1080/17516234.2020.1749340>
- Horváth, D., Móricz, P., & Szabó, Z. R. (2018). Üzletimodell-innováció. *Vezetéstudomány*, 49(6), 2-12.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J., Hellinger, A., & Karger, R. (2012). Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Handlungsempfehlungen zur Umsetzung. *Forschungsunion*. Letölthető: https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub_hts/kommunikation_bericht_2012-1.pdf
- Kane, G. C. (2017). Digital maturity, not digital transformation. *MIT Sloan Management Review*, <https://sloanreview.mit.edu/article/digital-maturity-not-digital-transformation/>
- Kim, J. H. (2017). A review of cyber-physical system research relevant to the emerging IT trends: industry 4.0, IoT, big data, and cloud computing. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(3), 1750011, <https://doi.org/10.1142/S2424862217500117>
- Krüger, J., Lien, T. K., & Verl, A. (2009). Cooperation of human and machines in assembly lines. *CIRP Annals*, 58(2), 628-646.
- Küpper, D., Ströhle, J., Krüger, T., Buchardi, K., & Shepherd, N. (2019). Blockchain in the factory of the future. <https://www.bcg.com/publications/2019/blockchain-factory-future>
- Leitão, P., Pires, F., Karnouskos, S., & Colombo, A. W. (2020). Quo Vadis Industry 4.0? Position, Trends, and Challenges. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 1, 298-310.
- Leyh, C., Bley, K., Schäffer, T., & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0—a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0. *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 1297-1302, IEEE. https://annals-csis.org/Volume_8/pliks/478.pdf
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144–159.
- Lorenz, M., Rießmann, M., Waldner, M., Engel, P., Harnisch, M., & Justus, J. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Malone, E., Hultman, N. E., Anderson, K. L., & Romeiro, V. (2017). Stories about ourselves: How national narratives influence the diffusion of large-scale energy technologies. *Energy Research & Social Science*, 31, 70-76.
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925-953.
- 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*. San Francisco, CA: McKinsey Global Institute.
- McKinsey Digital (2015). Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>
- Meier, H., Roy, R., & Seliger, G. (2010). Industrial product-service systems—IPS2. *CIRP Annals*, 59(2), 607–627.
- Mendoza, M. A., Alfonso, M. R., & Lhuillery, S. (2021). A battle of drones: Utilizing legitimacy strategies for the transfer and diffusion of dual-use technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 166, 120539.

- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-214.
- Mittal, S., Khan, M. A., Purohit, J. K., Menon, K., Romero, D., & Wuest, T. (2020). A smart manufacturing adoption framework for SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1555-1573.
- Monostori, L. (2015). Cyber-physical production systems: roots from manufacturing science and technology. *at-Automatisierungstechnik*, 63(10), 766-776.
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., Sihn, W., & Ueda, K. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 65(2), 621-641.
- Moura, L. R., & Kohl, H. (2020). Maturity Assessment in Industry 4.0 – A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies. *Emerging Science Journal*, 4(5), 365-375.
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927-1949.
- Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517-3535.
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K. I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, 10(1), 247.
- Nagy, J., Jámbor, Z., & Freund, A. (2020). Az ipar 4.0 és a digitalizáció legjobb gyakorlatai a hazai élelmiszergazdaságban. *Vezetéstudomány*, 51(6), 5-16.
- Nee, A. Y., Ong, S. K., Chryssolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals*, 61(2), 657-679.
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: Harvard University Press.
- Nick, G., Szaller, Á., Bergmann, J., Várgedő, T. (2019). Industry 4.0 readiness in Hungary: model, and the first results in connection to data application. 9th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, 28-30 August, 2019, Berlin.
- OECD (2017). *The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business*, Paris: OECD, <https://doi.org/10.1787/9789264271036-en>.
- OECD (2020a). OECD Digital Economy Outlook. Paris: OECD
- OECD (2020b). *A roadmap toward a common framework for measuring the digital economy*. Paris: OECD. <http://www.oecd.org/sti/roadmap-toward-a-common-framework-for-measuring-the-digital-economy.pdf>
- OECD (2021a). *Going Digital in Latvia*. OECD Reviews of Digital Transformation, Paris: OECD.
- OECD (2021b). The digital transformation of SMEs. Paris: OECD. https://www.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/the-digital-transformation-of-smes_bdb9256a-en
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.
- Paschou, T., Rapaccini, M., Adrodegari, F., & Saccani, N. (2020). Digital servitization in manufacturing: A systematic literature review and research agenda. *Industrial Marketing Management*, 89, 278–292.
- Perez, C. (2002). *Technological revolutions and financial capital*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.

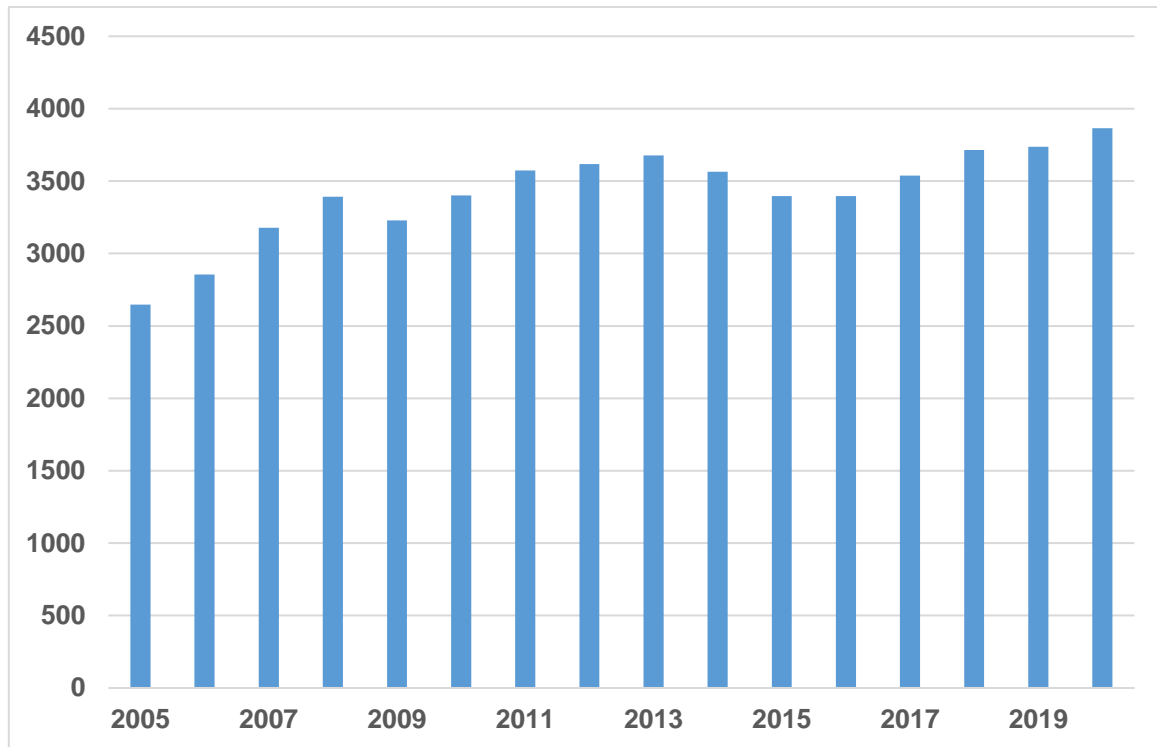
- Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, 10(10), 3821.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93(10), 96–114.
- PWC (2019). How can blockchain power industrial manufacturing? <https://www.pwc.com/cl/es/publicaciones/assets/2019/pwc-blockchain-in-manufacturing.pdf>
- Rafael, L. D., Jaione, G. E., Cristina, L., & Ibon, S. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies. *Technological Forecasting and Social Change*, 159, 120203.
- Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ruppert, T., Jaskó, S., Holczinger, T., & Abonyi, J. (2018). Enabling technologies for operator 4.0: A survey. *Applied Sciences*, 8(9), 1650, 1–19.
- Schroeder, A., Ziaee Bigdeli, A., Galera Zarco, C., & Baines, T. (2019). Capturing the benefits of industry 4.0: a business network perspective. *Production Planning & Control*, 30(16), 1305-1321.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). Industry 4.0 maturity index. *Managing the digital transformation of companies. Acatech–National Academy of Science and Engineering*.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- Schumacher, A., Nemeth, T., & Sihn, W. (2019). Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 79, 409-414.
- Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum.
- Scremin, L., Armellini, F., Brun, A., Solar-Pelletier, L., & Beaudry, C. (2018). Towards a framework for assessing the maturity of manufacturing companies in Industry 4.0 adoption. In: Brunet-Thornton, R., & Martínez, F. (Eds.). *Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments*. IGI Global, pp. 224-254.
- Singh, A., & Hess, T. (2017). How Chief Digital Officers promote the digital transformation of their companies. *MIS Quarterly Executive*, 16(1), 1-17.
- Sony, M., & Naik, S. (2020). Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. *Production Planning & Control*, 31(10), 799-815.
- Sostero, M. (2020). Automation and Robots in Services: Review of Data and Taxonomy. JRC Technical Report No. 2020-14. Sevilla: Joint Research Centre.
- Soutar, I., & Mitchell, C. (2018). Towards pragmatic narratives of societal engagement in the UK energy system. *Energy Research & Social Science*, 35, 132-139.
- Szalavetz, A. (2017). Ipar 4.0 technológiák és környezeti fenntarthatóság – magyar feldolgozóipari tapasztalatok. *Külgazdaság*, 61(7-8), 28-45.
- Szalavetz, A. (2019). Mesterséges intelligencia és technológiavezérelt termelékenységemelkedés. *Külgazdaság*, 63(7-8) 53-79.
- Szalavetz, A. (2020). Ki profitál a digitális átalakulásból? KRTK Világgazdasági Intézet Műhelytanulmányok, No. 139.
- Szalavetz, A. (2021a). Digital technologies and the nature and routine-intensity of work: Evidence from Hungarian manufacturing subsidiaries. ETUI Working Papers, No. 1. Brussels: European Trade Union Institute, <https://www.etui.org/publications/digital-technologies-and-nature-and-routine-intensity-work>
- Szalavetz, A. (2021b). Digitális átalakulás és a feldolgozóipari értékláncok új szereplői. *Külgazdaság*, 65(1-2), 137-149.
- Szanyi, M. (2019). Műszaki fejlődés és hosszú távú gazdasági ciklusok. In: Szanyi, M., & Török, Á. (szerk.) *Trendek és töréspontok. Budapest: Akadémiai Kiadó*, 13-38.

- Szász, L., Demeter, K., Rácz, B. G., & Losonci, D. (2020). Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*, <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0371>
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, *48*, 157-169.
- Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twins and cyber–physical systems toward smart manufacturing and industry 4.0: Correlation and comparison. *Engineering*, *5*(4), 653-661.
- Teece, D. J., & Linden, G. (2017). Business models, value capture, and the digital enterprise. *Journal of Organization Design*, *6*(1), 1-14.
- UNCTAD (2019). *Digital Economy Report 2019*. Geneva: UNCTAD.
- Vaara, E., Tienari, J., & Laurila, J. (2006). Pulp and paper fiction: On the discursive legitimation of global industrial restructuring. *Organization Studies*, *27*(6), 789-813.
- Váncza, J., Monostori, L., Lutters, D., Kumara, S. R., Tseng, M., Valckenaers, P., & Van Brussel, H. (2011). Cooperative and responsive manufacturing enterprises. *CIRP Annals*, *60*(2), 797-820.
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, *28*(2), 118-144.
- Wagire, A. A., Joshi, R., Rathore, A. P. S., & Jain, R. (2020). Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice. *Production Planning & Control*, <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1744763>
- Wang, L., Gao, R., Váncza, J., Krüger, J., Wang, X. V., Makris, S., & Chryssolouris, G. (2019). Symbiotic human-robot collaborative assembly. *CIRP Annals*, *68*(2), 701-726.
- Warner, K. S., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, *52*(3), 326-349.
- WEF (2019a). Fourth Industrial Revolution. Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing. World Economic Forum and McKinsey White Paper: http://www3.weforum.org/docs/WEF_4IR_Beacons_of_Technology_and_Innovation_in_Manufacturing_report_2019.pdf
- WEF (2019b). Global Lighthouse Network: Insights from the Forefront of the Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum and McKinsey White Paper: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Lighthouse_Network.pdf
- WEF (2020). Global Lighthouse Network: Four durable shifts for a great reset in manufacturing. World Economic Forum and McKinsey White Paper: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GLN_2020_Four_Durable_Shifts_In_Manufacturing.pdf
- World Bank (2016). *World Development Report 2016: Digital dividends*. Washington: World Bank Publications.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941-2962.
- Yang, F., & Gu, S. (2021). Industry 4.0, a revolution that requires technology and national strategies. *Complex & Intelligent Systems*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00267-9>
- Yoo, Y., Boland Jr, R. J., Lyytinen, K., & Majchrzak, A. (2012). Organizing for innovation in the digitized world. *Organization Science*, *23*(5), 1398-1408.

Függelék

1. ábra

A globális vállalati IT-kiadások³⁶ alakulása 2005–2020 között (folyó áron, milliárd dollárban)



2020: előrejelzés

Forrás: Statista (www.statista.com)

Megjegyzés: A vállalati szoftverekre szánt kiadások részaránya a teljes összegben belül a 2010-es 7,2 százalékról az évek során, 2020-ra 13 százalékra nőtt (forrás: Statista)

³⁶ Az IT kiadások hardver- és szoftverkiadásokat, IT- és adatközpont-szolgáltatásokat, valamint távközlési szolgáltatásokat tartalmaznak.