

TAPASZTALATOK AZ IPAR 4.0-VAL – EGY ESETALAPÚ ELEMZÉS

Mostanában számtalan tanácsadói anyag és szakcikk jelenik meg az ipar 4.0-ról és gazdaságra, illetve társadalomra gyakorolt hatásairól. Közös pontja ezen anyagoknak, hogy részletekbe menő gyakorlati példákat ritkán írnak le. A cikk célja, hogy egy cégnél nyújtson átfogó képet az ipar 4.0 adaptálásának kezdeti lépéseiről egy idehaza működő multinacionális vállalat példáján. A szerzők a vállalat által tett erőfeszítéseket az ipar 4.0 technológiákat rendező keretbe helyezik, számba veszik a kihívásokat és nehézségeket, a tapasztalt előnyöket és hátrányokat. Eredményeik alapján az ipar 4.0 teljes alkalmazása már a kezdeti szakaszban is jelentős eszközberuházásokat követel meg és komoly elvárásokat támaszt a munkaerő irányába is. Az irodalomban hangsúlyozott jelentős pozitív hatásokhoz (pl. profit, minőség, rugalmasság) képest az ipar 4.0 egyelőre olyan gazdag multinacionális vállalatok „drága játékszerének” tűnik, amelyeknek van idejük és erőforrásuk a kísérletezgetésre, elfogadva a nem megtérülés kockázatát is.¹

Kulcsszavak: ipar 4.0, esettanulmány, autóipar

Az elmúlt néhány évben a termelés- és szolgáltatás-menedzsment szakma az ipar 4.0 (I4.0) bővökérében él. A gyakorló és kutató szakemberek próbálják megérteni az I4.0 (vagy okos/digitális gyár) feltételeit és következményeit (Huber, 2016; Valenduc – Vendramin, 2016). Míg a vállalatok rendszerint a teljesítményfejlesztés nagy jövőbeli potenciáljaként gondolnak az I4.0-ra (Behrendt és szerzőtársai, 2017), jól dokumentált digitális átállási erőfeszítésekkel alig találkozhatunk.

Az I4.0 transzformáció üzleti szemléletű, integrált és stratégiai megközelítésének átfogó vizsgálata a kutatói oldalon is várat magára. Egy nemrégiben megjelent nemzetközi esetfeldolgozásra építő munka például arra hívja fel a figyelmet, hogy kevés a részletgazdag tudományos munka (Fettermann – Sá Cavalcante – de Almeida – Tortorella, 2018). A hazai kutatásokban is inkább a jelenséggel kapcsolatos általánosabb kérdések kerülnek előtérbe, pl. munkaerő (Szalavetz, 2016) vagy menedzsment (Horváth – Szabó, 2018).

Kutatási célunk annak bemutatása, hogy miként zajlik az I4.0 transzformáció a vállalati gyakorlatban egy vezető autóipari beszállító esetét használva példának. Módszer-tanilag kutatásunk esettanulmány-alapú. Megvizsgáltuk, milyen erőfeszítéseket tett a cég az I4.0 irányába, azokon a technológiákon keresztül, amelyeket az irodalomkutatás alapján feltárunk. Azonosítottuk, milyen teljesítményhatásokra számított a vállalat, milyen egyedi és általános bevezetési nehézségeket tapasztalt, és melyek azok a kritikus változók, amelyek a változtatások fenntartásához szükségesek. Cikkünk elsődleges hozzáadott értéke, hogy a koncepcionális publikációkon túllépve, több Ipar 4.0 technológia komplex bevezetésével próbálkozó vállalat erőfeszítéseit dokumentálja.

A cikkben először a digitális gazdaság fő alapelveit és megjelenését tárgyaljuk egyes iparágakban és gyakrakban. Különös figyelmet fordítunk az autóiparra, ami élen jár a fejlesztésekben és ahova esetvállalatunk is tartozik. Ezután vállalatunk I4.0 gyakorlatait foglaljuk össze, amit diszkusszió és a következtetések levonása követ.

Ipar 4.0 – a termelés és logisztika digitalizálása

A digitális gazdaság alapelvei

A digitalizáció egy teljes gazdaságra kiterjedő jelenség, ami csaknem minden ágazat és a szabályozói környezet megújulását is megköveteli (Kovács, 2017a; Kovács, 2017b). A fintech vállalatok például a bankok kihívójaként lépnek fel bizonyos pénzügyi szolgáltatásokban (pl. külföldi átutalás, szolgáltatásvásárlás) (Kerényi és szerzőtársai, 2018), az agrárszektorban a precíziós mezőgazdasági megoldások hódítanak (Takácsné, 2011), az oktatásban az online oktatási platformok (MOOC) teremtenek versenytársat a klasszikus oktatási formáknak (Nagy, 2016).

Egy átfogó kép kialakítását segíti Valenduc és Vendramin (2016) munkája, amelyben a digitális gazdaság hat alapelv köré rendezhető. Ezen alapelvek nem mindegyike új, de mindegyik lényeges részét képezi az új szintre lépett digitális gazdaságnak:

1. a digitális információ stratégiai erőforrássá vált, ami elsősorban az adat-előállítás, -tárolás és -elemzési kapacitások terén lezajlott fejlődésnek köszönhető,
2. a hálózatok váltak a gazdaság és a társadalom alapvető szervezési egységeivé,

* Köszönetnyilvánítás: Köszönjük Pudleiner Rezsőnek, a TE Connectivity folyamatfejlesztési vezetőjének a kutatásban nyújtott segítséget.

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósult meg.

3. a növekvő hozadékok alapelve (a pozitív hálózati externáliáknak köszönhetően) vált uralkodóvá, amelyet a zéró vagy kvázi-zéró határkölség jellemez,
4. az üzleti életben új üzleti modellek (pl. sharing economy alapú) és új üzleti dinamikák (a győztes mindent visz) nyertek teret,
5. Ipar 4.0 néven az ipari termelés új modellje jelent meg, amely modellben fontos marad a testre szabott/kis sorozatban gyártott termék, a globális értékláncok széttöredezése, a hatékony kapacitáshálózat (benne elmosódó határokkal a termelők és fogyasztók, vagy a gyártók és szolgáltatást nyújtók között),
6. a beruházási döntések átalakulása, amelyben párosul a technológia árának drasztikus csökkenése (hardveré és szoftveré egyaránt) a teljesítmény- és hatékonyságnövekedéssel.

A digitális gazdaság több alapelve már az elmúlt évtizedekben is alakította a menedzsment és a termelés-menedzsment érdeklődését (Jaikumar, 1986). Azonban kétségtelen, hogy ezek a jellemzők egyre karakteresebben jelennek meg és még komplexebb változásokat idéznek elő a gazdaság – és a társadalom egészének – működésében. A termelési hálózatok menedzsmentje kiemelt figyelmet kap a nagy multinacionális vállalatok és globális értékláncok terjedésének köszönhetően (2. és 5. alapelv). A vevők/beszállítók bevonása és a velük kialakított mélyebb kooperáció a termelés-menedzsmentet a szervezeti határok átgondolása irányába tolta (pl. ellátási láncok), valamint a szolgáltatások és termékek nagyobb mértékű keverésére ösztönözte (szolgáltatásodás) (5. alapelv). A szoftver- és hardverfejlesztés új lehetőségeket kínál a termelővállalatok külső (pl. értéklánc, vevői igények) és belső folyamatainak menedzselésére. A jól ismert jellemzők mellett azonosíthatók további sajátosságok, amelyek teljesen új megoldásokat hozva eredményeznek markáns változásokat. Egyértelműen ide sorolható az I4.0 megjelenése (5. alapelv) vagy az új üzleti modellek térnyerése (4. alapelv), mely utóbbi témában már a Vezetéstudomány hasábjain is jelentek meg cikkek (Csontos – Szabó, 2018; Horváth és szerzőtársai, 2018).

Egyes vélemények szerint, mivel a digitalizáció terjedése a számítógépes technológia evolúciójára vezethető vissza, így a kor, amiben ma élünk, inkább tekinthető a harmadik ipari forradalom egy újabb hullámának (a személyi számítógépekkel szimbolizált elektronikára építve), mint egy teljesen új, negyedik forradalomnak (Holodny, 2017; Jensen, 1993). Ezzel a véleménnyel nem értünk egyet. Úgy gondoljuk, hogy a negyedik ipari forradalom alapja a digitális hálózat és az adatok, ahol a számítógép csak egy eszköz. Azt azonban fontosnak gondoljuk, hogy az I4.0 a gazdaság és szélesebb értelemben a társadalom digitális átállását feltételezi, egyben várhatóan azzal jár, hogy az ipari tevékenységeket kiszolgáló szolgáltatások még erőteljesebb szerepet kapnak.

Digitális ipar, digitális gyár – Ipar 4.0

A hagyományos termelési rendszerek napjainkban számos társadalmi kihívással szembesülnek, amelyeket

a jelenleg létező megközelítésekkel nem lehet megoldani. Túlélésük veszélyben van, mivel alkalmazásuk jelentős környezeti károkhoz vezet (klímaváltozás), és túl sok nem megújuló energiát fogyasztanak. Ráadásul, a társadalom öregedése miatt a dolgozó népesség várható száma csökkenni fog (Wang és szerzőtársai, 2016). Amint az előző bekezdésekben felsoroltuk, számos üzleti kérdés is megoldásra vár, pl. a vevők a kis sorozatokat és a testre, vagy még inkább a személyre szabott termék-, illetve szolgáltatáscsomagot preferálják. A technológia képes újfajta megoldásokat kínálni a társadalmi és üzleti kihívásokra és lehetővé teszi a termelés átforgalmazását.

Az internet és a technológia fejlődése az emberek, gépek és vállalatok folyamatosan kapcsolatban álló hálózatát hozza létre, és az értékteremtő folyamatokra vonatkozó valós idejű adatok megosztásával lehetővé válik a vevők személyére szabott termékek gyártása. A gépek és rendszerek, sőt maguk a termékek is óriási mennyiségű adatot állítanak elő, amelyek tárolása, feldolgozása és értelmezése nagy kihívást jelent. A versenyelőny forrása nemcsak a termelés szinkronizálásából és teljes megújításából (pl. additív termelés) ered, hanem inkább abból, ahogyan a termékeket digitális szolgáltatások veszik körül, és ahogyan a vállalatok képesek kiszűrni a releváns információkat az adatokból, hogy döntéseiket alátámasszák. A digitális aspektus mellett a robotika és az automatizáció is előtérbe kerül. Az internet használata – illetve a gépek hálózatba rendezése is – forradalmasítja a folyamatmenedzsmentet (Heynitz és szerzőtársai, 2016; Deloitte, 2015; Geissbauer és szerzőtársai, 2016).

Az Ipar 4.0 technológiái

Az I4.0 technológiáit Schwab (2016) ötletét követve a digitális világ, a fizikai világ és a kettőt összekötő „ragasztó” csoportokhoz kötjük, ahogy az *1. táblázatban* látható. A csoportokba a menedzserek gondolkodására talán legnagyobb hatással bíró tanácsadó cégek (pl. BCG, PWC, McKinsey) anyagaiban fellelhető technológiákat soroltuk be (pl. Rübmann és szerzőtársai, 2015; Geissbauer és szerzőtársai, 2016; McKinsey&Company, 2016).

Az egyes tanácsadó cégek által javasolt technológiák nagyon hasonlóak, csak kis eltérések vannak közöttük. A dominánsan digitális világ csoportba sorolt adatok a fő inputok és outputok. A jövő iparának középpontjában egy integrált hálózat áll, a *felhőben* központosítva, és a kulcs-adatok egy központi adatraktárrendszerben érhetők el. Minden eszköz oda tölti fel és onnan tölti le a szükséges adatokat és információkat (*Dolgok internete*). A *big data* és elemzése nemcsak arra szolgál, hogy megértsük adatainkat, hanem azt is lehetővé teszi, hogy bizonyos problémákat, trendeket (hibákat, varianciákat) előre jelezzenek. Ezek az adatok nyugodva a működő rendszerek sokkal kiegyensúlyozottabbakká válhatnak, ami az agilis vállalatok kialakításának alapját is jelentik. Léteznek intelligens termelési technológiák és robotok, amelyek képesek adatok fogadására és küldésére emberi interakció nélkül. Ez a nagy mennyiségű adat szükségtelenné teszi a mintaalapú és időben korlátos statisztikai számításokat (Mayer-Schönberger – Cukier, 2013). További fontos változás, hogy az adatok

valós időben rendelkezésre állnak. A valós idejű elemzés lehetővé teszi a proaktív és azonnali beavatkozást. Például, amint egy intelligens gép hibát jelez előre, vagy növekvő selejtarányt, a gép maga azonnal képes karbantartást rendelni. A vezetői szintű döntéseket is támogatja az integrált rendszer: mivel minden vállalati adat (pl. a beszerzésről, termelésről, értékesítésről) egy rendszerben rendelkezésre áll, így fejlett szimulációk, automatikus lekérdezések, beépített elemzések végezhetőek el, akár másodpercek alatt.

| Csoport | Ipar 4.0 technológia | Leírás |
|----------------------|------------------------------------|---|
| Dominánsan digitális | Big Data | Nagy volumenű, nagy változatosságú, valós idejű adatok, melyeket fejlett szimulációkhoz és automatikus lekérdezésekhez lehet használni. |
| | Dolgok internete (IoT) | Az adatok összekapcsolására és cseréjére szolgáló fizikai elemek hálózata. |
| | Felhőalapú számítástechnika | A felhasználók bárholonnan képesek elérni a szoftvereket és alkalmazásokat, amelyek elhelyezéséről jellemzően egy külső partner gondoskodik. |
| | Virtuális és kiterjesztett valóság | A virtuális valóság egy valós élethelyzetet digitálisan jelenít meg, a kiterjesztett valóság virtuális elemeket helyez a valós helyzetre. |
| “Ragasztó” | Szenzorok (köztük RFID és GPS) | Adatokat gyűjt és továbbít, az intelligensebbek képesek magukat kalibrálni és figyelmeztető üzeneteket küldeni. |
| Dominánsan fizikai | Additív termelés (3D nyomtatás) | Az anyagok számítógépes irányítással kapcsolódnak és szilárdulnak meg, háromdimenziós objektumot hozva létre. Az anyagrétegek egymásra épülnek. |
| | Robotizáció | Ember helyettesítésére alkalmas gépek. |

1. táblázat Ipar 4.0 gyakorlatok

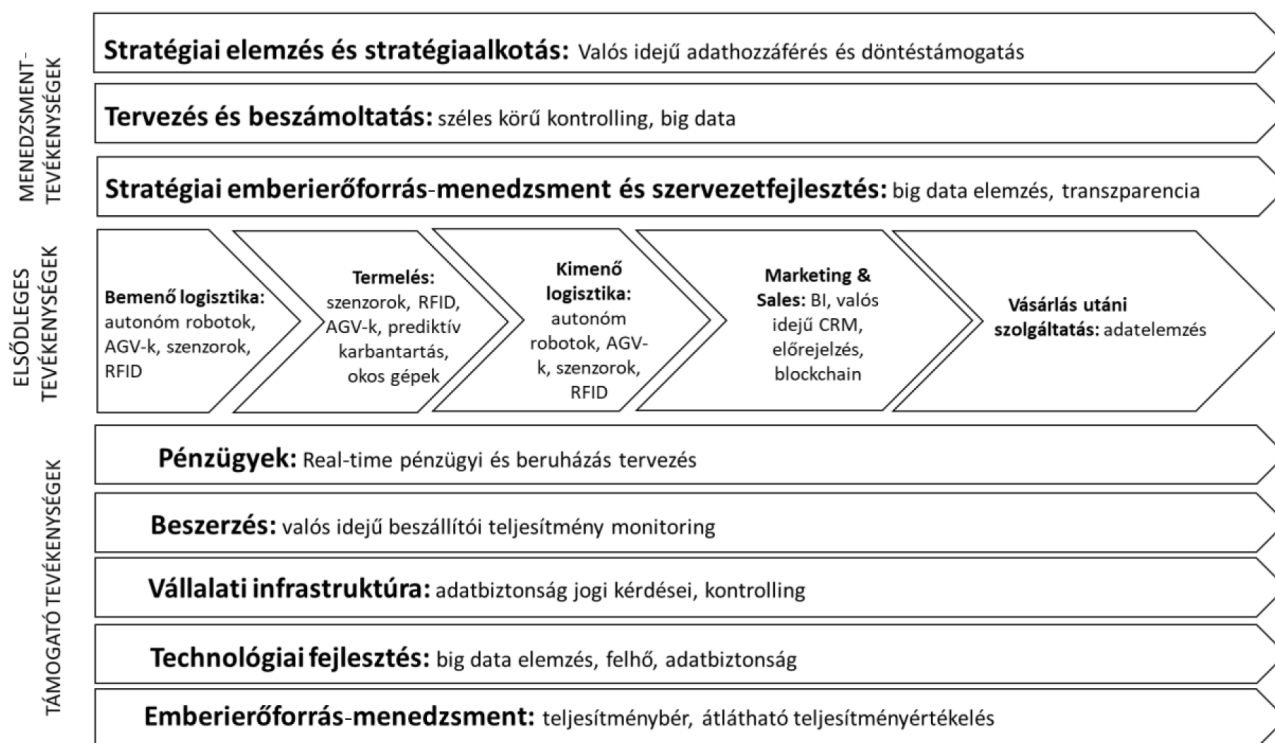
A felhő hardverkapacitást kínál az adatok tárolására és feldolgozására. Nagy előnye, hogy az adatok bármikor,

bárhol elérhetőek, nem csak a vállalati intranetről. Ez az előny azonban az információtechnológia biztonságának kérdését is előtérbe hozza. A virtuális és kiterjesztett valóság (VR/AR) eszközei számos folyamatban használhatók. Az információ azonnal továbbítható okos szemüveggel és a munkásoktól semmilyen további mozdulatot nem igényel. Minden a dolgozó szeme előtt zajlik. A technológiában nagy potenciál rejlik a raktározási feladatok terén (kigyűjtés), de további lehetőséget is hordoz (pl. tréning). A gép-gép kommunikáció (machine to machine, M2M) valójában egy IoT termelési környezetben. Az M2M rendszerekben az automata eszközök és intelligens gépek közvetlenül kommunikálnak egymással. Az intelligens eszközök képesek letölteni és elemezni a szükséges adatokat valós időben, ami lehetővé teszi a termelési terv és a termelési paraméterek megváltoztatását, vagy a gyártósor megállítását súlyos hiba esetén. Ennek a képességnek a lehetővé tételével és kiaknázásával a vállalatok jelentősen csökkenteni tudják (vagy ki is küszöbölhetik) a hibákat, a veszteségeket és a reakcióidőket, ami komolyan javíthatja a termék minőségét és a termelés rugalmasságát.

A dominánsan fizikai világ csoportba sorolhatjuk az additív termelést, ami a gyors prototípusgyártást és a kis sorozatú termelést teszi lehetővé, amikor háromdimenziós termékeket nyomtatnak számítógéppel támogatott rendszer segítségével. Különböző 3D nyomtatási technológiák vannak, amelyek különböző anyagokat használnak. Fontos szerep jut az automatizációnak, illetve a robotok és kollaboratív robotok (cobot) egyre intenzívebb használatának is. A termelési robotok legújabb generációja képes mesterséges intelligencia használatára és az emberekkel való kooperációra. Ide tartozik még az anyagáramlási folyamatot megújító önvezető jármű is (automated guided vehicles, AGV), amelyek praktikus szállításra használt robotok.

Az átfogó rendszerre elvi lehetőséget ad, hogy az I4.0 technológiákat leképező eszközök mind az elsődleges (pl. logisztika, termelés), mind a támogató tevékenységekhez (infrastruktúra, emberi erőforrások) kapcsolódóan nagy számban elérhetőek (I. ábra). Azt is hangsúlyozni kell, hogy a digitális transzformáció nemcsak jelentősen átalakítja az értékláncot, hanem új értékteremtő területek létrehozását is megköveteli, gondoljunk csak arra az extrém nyomásra, ami napjainkban a terméktervezésre és fejlesztésre, vagy az adatbiztonságra nehezedik (Porter – Heppelmann, 2015).

Amennyiben egy cég az itt bemutatott technológiák bármelyikét adaptálja, már az is arra utal, hogy elkötelezett az I4.0 erőfeszítések mellett. Meglátásunk szerint azonban csak akkor beszélhetünk I4.0 gyárról, ha az elszigetelt megoldások helyett egy átfogó rendszer jön létre és a teljes értéklánc (Porter, 1985) az I4.0 szellemében működik. A rendszer átfogó jellege mellett azonban az alkalmazott technológiák komplexitása is fokmérője az I4.0 fejlettségnek. Schuh és szerkesztőtársai érettségi indexe a fejlettség következő szakaszait különbözteti meg: 1) számítógépesítettség, 2) összekapcsoltság, 3) láthatóság (látni, mi történik), 4) transzparencia (megérteni, ami történik), 5) előrejelző képesség (felkészülési lehetőség a jö-



BI: business intelligence, CRM: customer relationship management

Forrás: Porter (1985), Szabó és Vida (2009) és Nagy és szerzőtársai (2018) alapján saját szerkesztés

1. ábra Jellemző Ipar 4.0 gyakorlatok az értékláncon

vőre), 6) adaptációs képesség (gépek emberi beavatkozás nélküli optimalizációja) (Schuh és szerzőtársai, 2017). A tanulmány alapján I4.0-ról a 3. szintől lehet beszélni.

Ezen a ponton már egyértelmű, hogy az I4.0 az értéklánc minden tevékenységét befolyásolja, és még a szervezet határain túl is jelentős hatása lehet. A következő fejezetben az autógyártó vállalatok jelenlegi termelési és logisztikai gyakorlatára fordítjuk figyelmünket.

Ipar 4.0 eszközök az autógyártásban

Huber (2016) tanulmányozta az I4.0-t a német autógyárakban (Audi, BMW, Daimler, VW, ld. 2. táblázat). A célok mellett részletes áttekintést ad az adaptált technológiákról is.

Meglátása szerint az I4.0 kezdeményezéseket alapvetően az üzleti célok motiválják. Az I4.0 irányába történő elmozdulás legfontosabb mozgatórugója, hogy az autógyárak már nem képesek a komplexitást hagyományos termelési megközelítéssel kezelni. Jó példa erre, hogy az Audi víziójában a teljesen testre szabott termékeket automata logisztikai és termelési folyamatok állítják elő, és az okos termékek szervezik gyártásukat decentralizált és hálózatos struktúrában. A decentralizált, autonóm munka szinte az ellenpontja a ma uralkodó, ütemidő által vezérelt szerelőszalagos gyakorlatnak. A társadalmi problémák

közül a korosodó munkaerő okozta kihívások kezelését emeli ki. Ehhez hozzátesszük, hogy a termelés visszahozása Németországba/Európába sem elhanyagolható szempont (Kinkel, 2014; Dachs és szerzőtársai, 2017).

Huber tapasztalatait az 1. táblázat szerinti hármas csoportosításban foglaljuk össze: dominánsan digitális, „ragasztó” és dominánsan fizikai. A szerző által használt terminológia – amelyen nem változtattunk – arra utal, hogy az I4.0 legfontosabb jellemzőit hasonlóan látják a szakemberek. A vizsgált vállalatoknak mindegyik – a korábbi fejezetben bemutatott – technológiával van tapasztalatuk. A dolgok internete talán az egyetlen olyan kivétel, amely inkább implicit, a többi technológiában „feloldódva” jelenik meg. A cégek gyakorlatai némileg eltérőek, bár figyelembe kell venni, hogy a vállalatoknál lényeges változások történhettek az elmúlt években. Amire a legjobb példa, hogy akár a Mercedes, akár a BMW már I4.0 szellemiségben tervezi új gyárait, valamint a vállalat átalakítását.

A dominánsan digitális világ csoporthoz sorolt technológiák közül a big data és a valós idejűség mindegyik vállalatnál megjelenik. A karbantartásban való használaton túl fontos kiemelni, hogy a külső partner által szállított szoftver csomagok (pl. IBM, Siemens NX) meghatározóak. Bár a valós idejű döntéshozatalt gyakran említik, az aktuális gyakorlat leírása megmarad az általánosság szintjén.

| Csoport | Technológia | Alkalmazások az egyes vállalatoknál | | | |
|----------------------|--|--|--|---|---|
| | | Audi | BMW | Daimler | VW |
| Dominánsan digitális | Big data | Prediktív karbantartás és prediktív minőség, beszállítók valós idejű értékelése | Ellátási lánc "radar" - valós idejű adatok a logisztikai láncról Partnerek IBM, SAP, cortex DB; SPSS | Prediktív karbantartása dugattyúknál (IBM SPSS, más IBM programok) "Integra" (amerikai gyár) – minden adat valós idejű | A vállalat Adatlaborot nyitott Münchenben 2014-ben |
| | Felhő-technológia | - | - | Ld. big data | |
| | Támogató technológiák a termelésben és a logisztikában (pl. kibővített/virtuális valóság, AR/VR) | Kigyűjtés fény/hangjelzések alapján AR-eszközök (az okos szemüveg használata nem volt gazdaságos, kísérlet az információk kézre vetítésére) | Okos szemüvegek, a hibák láthatóak a fotókon vagy videókon 3D kamera a minőségellenőrzésben Okos óra | RFID (más vállalatoknál is létezik) AR a minőségben és a logisztikában, pl. okos szemüveg kigyűjtésre, minőségellenőrzés kamerával | Okos szemüveg |
| | Digitális gyár (szimulációk) | - | Siemens termék 3D szkennel + digitális kamera adatgyűjtésre, folyamatszimulációval követve | „virtuális használat” (Siemens NX MCD) szimulációk (pl. lakkozás) | Technomatrix termékcsalád (Siemens) |
| Ragasztó | Szenzorok | külön nem kerülnek kiemelésre | | | |
| Dominánsan fizikai | Kiber-fizikai rendszer, CPS (M2M) | "Intelligens formázóeszközök" projekt (2009); az eszköz minőségellenőrzést végez | Önvezető járművek (AGV) | Automatikus anyagellátás | Önvezető járművek (AGV) |
| | 3D nyomtatás | '90-es évek óta használt prototípus gyártásra, 2014-től termelésben fém alkatrészekre, testre szabott ülések | 1989 óta használt prototípus gyártásra, 1991 óta szériagyártásban, jellemzően kisebb volumenű termékekre | Prototípus gyártásra és termelésben használt | Tervezik a felhasználását hamarosan a termelésben (fémre) |
| | Szenzitív robotok | Végső összeszerelésnél súlyos, vagy nehezen megfogható alkatrészekre, monoton, vagy nem ergonomikus tevékenységekre | Sűrűn ismétlődő tevékenységekre, vagy ergonomiai okokból, tanuló robotok tisztítják az eszközöket (KUKA) | Ergonomiai, demográfiai és/vagy költség okokból használt | Megerőltető és ergonomiailag problémás feladatokra használt (járművön belül, vagy fej felett), költségcsökkentési célból és demográfia okokból (2015-ben tízezer munkás ment nyugdíjba) |

Forrás: Huber (2016) alapján
2. táblázat Ipar 4.0 gyakorlatok a német autógyárakban

Nagyon kevés konkrét információt tudhatunk meg a felhőrendszerekről. A digitális gyár hatékonynak bizonyul szimulációk végzésére, folyamatoptimalizációra és gyár optimalizációra. Ami a kibővített valóság eszközeit illeti, a lassan már hagyományosnak tekinthető megoldásokon túl (mint a hangalapú kigyűjtés), az okoseszközök is terjeszkedésnek indultak. Az okoszeműveggel kapcsolatban folytatott kísérletek népszerűek, de az eddigi eredmények alapján használatuk nem gazdaságos.

A dominánsan fizikai világban a szenzitív robotok terjedésének lehetünk tanúi. Ezek a robotok képesek az emberekkel együtt dolgozni, vagy betanulás után a feladatot egyedül elvégezni. A vállalatok nagy lépéseket tettek az M2M rendszerek felé is.

Ez a rövid áttekintés alátámasztja, hogy a német autógyárak már évekkal ezelőtt is számos I4.0 technológián alapuló eszközt használtak, vagy kísérleteztek velük. Mivel Huber amellet érvel, hogy döntően üzleti megfontolások állnak a háttérben, a feldolgozott esetekben tetten érhető, hogy a kísérletezés is fontos motívum. A gyártók a legnagyobb előrelépést a dominánsan fizikai világhoz sorolható eszközökkel érték el, például a szenzitív robotokkal vagy a 3D nyomtatással. Jó eredményeik vannak az automatikus anyagellátásban is. Ez az M2M rendszer kapcsolódik a dominánsan digitális világhoz és a Dolgok internetéhez egyaránt.

A dominánsan digitális világ technológiai terén van néhány jól dokumentált projektjük, de úgy tűnik, hogy a vizsgálat idején még nem sikerült szisztematikus és stratégiai módon közelíteni hozzájuk. Sajnos, sok I4.0 gyakorlat leírása általános, így nem igazán segítenek más vállalatoknak és vezetőknek. Végül, nagyon kevés információt tudhatunk meg a szűk keresztmetszetekről és az I4.0 projektek kritikus pontjairól. A pozitívumok elnagyolt bemutatása mellett az esetleges negatív hatásokról is kevés szó esett.

Módszertan

Kutatásunk során az esettanulmány módszertana mellett döntöttünk. Esettanulmányunk leíró jellegű, és azon belül is revelatory case study (revelatív) (Yin, 2012), "ami olyan szituációt ír le, amely a társadalomtudósok számára normál esetben nem hozzáférhető" (p. 49.), ugyanakkor exemplary (példaszerű) is, mert "egy rendkívül sikeres vállalkozás példáját írja le" (p. 49.). Az esettanulmány menedzsmentproblémák bemutatásában is bevett megoldás, akár egy vállalat mélyreható elemzése esetén is (Kenesei – Cserdi, 2018; Kalló, 2018; Csedő et al., 2018), különösen fontos, ha olyan jelenséget térképezünk fel, amely újszerű, és azt valós környezetében akarjuk megismerni (Horváth – Mitev, 2015).

Az esettanulmány elkészítéséhez számos adatforrást felhasználtunk (interjúk, vállalatlátogatások hallgatói csoportokkal, számos vendégelőadás, szakdolgozatok, publikus és belső dokumentumok). A kutatásban közreműködő szerzők összesen három interjút készítettek a vizsgált vállalatnál, kettőt a vállalat folyamatfejlesztési csoportjának vezetőjével, egyet egy üzleti elemzővel, aki a digitalizációval foglalkozó csapat egyik tagja. A csoportvezető

szerpe nemcsak a magyar telephely I4.0 tevékenysége szempontjából fontos, hanem mert ugyanez a személy résztvevője a regionális vállalati I4.0 fejlesztési stratégiát kidolgozó bizottságnak is. A szerzőknek személyesen is volt szerencsájük ellátogatni a gyárba.

A vállalat és az egyetem közötti kapcsolat nem újkeletű, a kutatócsoport tagjai korábban is többször keresték már fel a céget más kutatási témákkal kapcsolatban (Demeter – Losonci, 2016; Demeter – Losonci – Kovács (szerk., 2017)), a vállalat gyakran fogad szakdolgozókat, akik ott is dolgoznak. A szakdolgozókat írók a szerzők útmutatásai alapján a magyar gyáregységről már több szempontból is készítették esettanulmányt (Bernáth, 2017; Erdős, 2017; Horváth, 2017; Németh, 2017). A cég konferenciákon is megjelent már fejlesztéseivel.

A különböző adatforrásokból kinyert információkat az alábbiak szerint mutatjuk be. A vállalat általános bemutatása után a magyar gyárban megjelenő digitális megoldásokat írjuk le.

A vizsgált vállalat

A magyar telephely egy globális vállalat, a TE Connectivity (a továbbiakban TE) része. A vállalat gyökerei az Egyesült Államokba nyúlnak vissza, központja ma már Svájcban található. A vállalat közel félmillióféle precíziós terméket gyárt, világszerte 100 termelőhelyen, 75 ezer embert foglalkoztatva. A vizsgált közép-dunántúli gyár több mint 1500 főt foglalkoztat, a vállalat autóiipari divíziójához és az EMEA (Európa, Közel-Kelet és Afrika) régióhoz tartozik. A termékvariációk száma, a termékek méretének különbözősége (millimétertől több méterig) és a gyártott volumen (millió nagyságrend) mind nagyok tekinthető a gyár esetében. Ezek a paraméterek megnehezítik az előrejelzést, a tervezést, valamint növelik a termelésirányítást és a logisztika komplexitását. A magyar telephely főként kábeleket és csatlakozókat gyárt elsőkörös autóiipari beszállító partnerei számára. Mind gyártást, mind összeszerelő tevékenységet végez a magyarországi leányvállalat. E termékeken kívül a háttérvilágítási eszközök és az elektronikai alkatrészek is helyet kapnak termékportfóliójukban.

A gyár a vállalatcsoporton belül modern technológiát használó egységnek számít a folyamatfejlesztési osztály vezetőjének állítása szerint. A digitális megoldásokkal való kísérletezés 4-4,5 éve kezdődött. Az utóbbi három évben jelentős szervezeti támogatásban is részesült a digitális átállás. A cégnél az I4.0 szellemiségű fejlesztésektől elsődlegesen a termelési hatékonyság növelését, és legfőképpen a költségek csökkenését várják. Az autóiiparban nem ritka a beszállítókkal szembeni évi 3-5%-os költségmegtakarítási elvárás (Demeter és szerzőtársai, 2006).

2014-ben a TE egy egyhetes workshopot hívott össze Németországban. Az autóiipari részleg képviselői kidolgozták azon potenciális területek és üzleti folyamatok listáját, ahol a digitalizáció költségcsökkentést eredményezhet, és ahol a lehető leghamarabb el kell kezdeni a fejlesztéseket. A lista 160 elemet tartalmazott, amelyeket a következő csoportokba soroltak:

- valós idejű KPI (key performance indicators – kulcs teljesítménymutatók) vizualizáció,
- a folyamat paramétereinek vizualizációja,
- digitális minőség-ellenőrzés,
- eszközök teljes digitális nyomon követése,
- teljes körű hatékony karbantartás (Total Productive Maintenance, TPM),
- big data,
- agilis ellátáslánc-tervezés,
- digitális oktatás.

A felsorolásból látható, hogy a menedzserek egymás mellett emelték ki az I4.0 technológiát (big data), egy-egy terület digitális átalakítását (pl. TPM, KPI vizualizáció) vagy éppen új értékteremtő tevékenységet (pl. agilis ellátáslánc-tervezés).

A workshop résztvevői abban is megállapodtak, hogy a régióban Németországban és Magyarországon lesznek a kísérleti gyárak. Ez azt jelenti, hogy e két telephelyen tesztelik az I4.0 csoportokhoz kapcsolódó eszközöket és technológiákat, és pozitív tapasztalatok esetén a többi gyár is implementálja azokat. A gyárak közötti disszemináció során a kísérleti gyárak koordináló szerepkörben működnek majd. A tesztelt eszközök és technológiák megoszlása nem egyenletes, a magyar gyár 70 százalékot, a német gyár pedig „csak” a fejlesztések 30 százalékát vállalta. A német üzem elsősorban nyomon követési eszközökkel foglalkozik, az eszközök életciklus elemzésével, és a hozzájuk kapcsolható egyéb digitális megoldásokkal.

Digitális gyár a gyakorlatban

IoT a vizsgált vállalatnál

Az I4.0 lehetőségeinek kihasználása érdekében a gyár felismerte az adatgyűjtés szükségességét. Ezért az I4.0 felé vezető első lépés az olyan eszközök és/vagy szoftverek telepítése volt, amelyek képesek elvégezni a kívánt megfigyeléseket. Készítettek egy központi adatbázist, amelyben az összes adatot gyűjtik, és amelyben minden adat rendelkezésre áll. Így tehát a gyárban a számítógépek, a laptopok, az adatelemző programmal rendelkező PC-k, az Android készülékek, az intelligens képernyők és az üzemi területen működő kioszkok, érzékelők stb. csatlakoznak ehhez a központi adatbázishoz. A gyár még nem végezte el a telepítést az egész termelésben, de sok gép már rendelkezik érzékelőkkel, szkennerekkel, 3D-s kamerákkal, hogy megbízhatóbb képet kapjanak a folyamatokról. Néhány eszköz képes egymással is kommunikálni.

A dolgok internetének és az összekapcsolódás fontosságának élő példája az Operator Learning Management System (OLMS). Az OLMS a munkavállalók képzettségének (és jogosultságainak) digitális monitorozásáról és tevékenységével való állandó összeegyeztetéséről szól. Ha egy munkavállaló bejelentkezik egy gépre egy feladat végrehajtásához, a gép azonnali visszajelzést ad arról, hogy rendelkezik-e az adott feladathoz szükséges szakképesséssel és/vagy jogosultsággal. Ha a munkavállaló nem rendelkezik megfelelő vagy korszerűsített képesítéssel, akkor a rendszer egy e-learning felületre irányítja az üzemen be-

lül, ahol gyorsan megtanulhatja a szükséges eljárásokat. A közelmúltban a gyár bevezette a rendszer új modulját. Ez a modul elemzi a munkavállaló korábbi teljesítményét (például témákat, pontszámokat), és ennek alapján a modul egyéni és személyre szabott képzésfejlesztési tervet javasol. A modul mintegy 1000 alkalmazottal foglalkozik. Bár ezt az eszközt viszonylag hosszú ideje használják a gyárban, az eszköz hatékonyságával kapcsolatos mutatók nem állnak rendelkezésre.

Big data – adatvizualizáció

A valós idejű teljesítményértékelési rendszer a központi adatállományon alapul. A valós idejű indikátorok a Go Meeting területek – amelyek a gyári személyzet számára kijelölt üzemi területek – érintőképernyős TV képernyőjén érhetőek el. Az alkalmazottak hozzáférhetnek az operatív mérőszámokhoz, mint a futó termékek, a hulladék aránya, a hatékonyság, a leállások, a végrehajtható cselekvések, a vevői panaszok stb. A valós idejű adatok főként leíró adatok. A vállalat ma még nem tud előrejelzést, prediktív analitikát készíteni ezek alapján, ráadásul csak a központi adathalmaz egy kis részét használhatják fel.

Felhő – helyi szerverek

A cég elsősorban belső vagy csoportszintű szervereken tárol adatokat, és csak korlátozott mértékben támaszkodik külső partnerekre. Ezek a belső szerverek nemcsak adatokat tárolnak, hanem elvégzik a szükséges számításokat és adatfeldolgozási feladatokat is. A TE inkább a helyi megoldásokat részesíti előnyben, ami a vállalat kibebiztonsági felkészültségének hiányosságaival magyarázható. Továbbá, a helyi internetes vonalak (és az általános internet-infrastruktúra) nem tudják kezelni a megfelelő felhőszolgáltatások rendszerkövetelményeit. Egy pilot projektben a TE regionális gyárai összekapcsolódnak, és egy specifikus termelési adatállományt osztanak meg egymással. A több gyár adatainak összehasonlítása lehetőséget nyújt a fejlesztendő területek megtalálásához.

Szenzorok – okos és intelligens szenzorok, andon

A magyar gyárban több ezer „okos” érzékelő működik az adatok gyűjtésére és továbbítására, valamint húsz „intelligens” érzékelő, amelyek szükség esetén beavatkozhatnak (Yurish, 2010).

Az „okos” (vagy hagyományos) érzékelőt beépítik a gépbe. Ha a termelés leáll, értesítést küld a gépkezelőnek, hogy beavatkozzon. Amikor a munkavállaló eléri a helyszínt, látja a gép vizuálisan megjelenített teljesítményét a gépen elhelyezett monitoron és az észleli a problémát. Ha ismeri a megoldást, beavatkozhat és visszaállíthatja a gyártási folyamatot. Ha nem, akkor értesítenie kell a felettesét. Ez gyakorlatilag egy digitális andon rendszer. A bemutatott megoldás egyik nagy előnye, hogy a műveletekre és a gépekre vonatkozó valós idejű adatokra támaszkodva, valamint a döntéshozatal kidolgozott beavatkozási protokolljait rögzítve gyorsabban tudnak megoldani problémákat, és így jelentősen csökken a leállás.

A minőségügyi feladatokat és a prediktív karbantartást „intelligens” érzékelők támogatják az üzemen. Az „intel-

ligens” érzékelő méri a nyomásgörbét, és a mért adatok alapján előre jelzi a termék minőségét (hogy megfelel a szabványnak vagy sem). A rezgésérzékelő hasonlóan működik, amikor karbantartási igényt jelez előre. Ha az érzékelő által mért adatok jelentősen eltérnek a tesztek során mért referenciaadatoktól, akkor az érzékelő a kopás vagy előre jelzett meghibásodás miatt javasolja a karbantartást.

A TE különös figyelmet szentel az érzékelőknek. Nemrégiben a cég megvásárolt egy szenzor gyártó céget a know-how és a K+F ismeretek megszerzéséhez.

Kiterjesztett valóság – okos szemüvegek

A gyárnak még nincsenek projektjei okos szemüveggel, azonban egy kísérleti projektet terveznek az észak-amerikai TE gyár tapasztalatai alapján. Ott a karbantartók és az üzemi dolgozók okos szemüvegeket használtak. A munkatársak a speciális karbantartási folyamatok végrehajtása során követhetik az okos szemüvegek által bemutatott utasításokat. Az intelligens szemüvegek megjelenítik a végrehajtandó folyamat lépéseinek listáját. A munkatársak elvégzik a lépéseket a listának megfelelően, és az egyes lépések végén a listát a szemmozgással jelölhetik meg. Tehát ez egy utasításlista és egy minőség-ellenőrzési lista egyidejűleg. Azonban a helyi vezetők véleménye meglehetősen kritikus ezzel a megoldással kapcsolatban. Azt mondják, hogy sokan nem szeretik az intelligens szemüveget. Sok munkavállalót zavar, ami részben a generációs különbségekkel magyarázható.

Additív termelés

A gyár a fröccsöntés területén a vállalatcsoport kiválósági központja. Ez a szerep kiemelkedő szakmai kompetenciára, illetve arra, hogy egyfajta tudásközpontként működnek a többi gyáregység irányába. Először egy fémalapú additív technológiával kezdtek kísérletezni. A pilot fő célja az volt, hogy tapasztalatokat szerezzenek a technológiáról. A közeljövőben egy új ipari 3D nyomtató is érkezik, saját hűtőrendszerrel. Az additív technológia jelenleg még prototípus fejlesztésére és belső tesztekre korlátozódik. Használata hatékonyabb az említett területeken, mivel kisebb az alkatrész igénye, így a karbantartás is kevesebb erőforrást igényel. A prototípus gyártás mellett a gyár az additív termelést a pótalkatrész-gyártásban használja, ahol a szabványok nem olyan szigorúak. Mostanáig ezt a technológiát nem lehetett sorozatgyártásban felhasználni az autóipar szigorú szabványai miatt. Ezek a gépek nem kapnak tanúsítványt az adott anyag- és vegyipari szabványokra vonatkozóan.

Robotika

A nagy hozzáadott értékű termékek előállítását során a robotok precíziós feladatokat végeznek. A közeljövőben a gyár komolyan tervezi a robotok használatát az utángyártott termékek esetében is. A robotok képesek lennének körülbelül 15-100 hasonló tételből homogén sorozatokat készíteni közel nulla átállási idővel. Ez a megoldás teljesen megváltoztatná a raktározás szerepét: a folyamat rugalmassága miatt a gyárnak aligha lenne szüksége a termék és a drága, sok helyet foglaló szerszám készletekre.

A cég I4.0 törekvéseinek értékelése

Ipar 4.0 érettség

A magyar gyárnál az I4.0 technológiák mind három piléréhez kapcsolódóan számos eszközzel folyik kísérletezés, néhány pedig már a napi rutin része (3. táblázat). Schuch és szerzőtársai (2017) digitális érettségi modelljében a gyártó több jó gyakorlata alapján valahova a 3. (láthatóság) és a 4. (transzparencia) szint közé lehet helyezni. A munkavállalói képzési program nemcsak továbbképzést biztosít (tulajdonképpen automatizált módon), de egyben jól láthatóvá és kontrollálhatóvá teszi a munkavállalók géphez való hozzáférést (3. szint). A rövid kísérletezési szakasz mellett is jelentős tapasztalat halmozódott fel a big data (elemzéshez) köthető valós idejű adatvizualizációval (3. szint). A GO meeting területen elérhető információk nemcsak a láthatóságot teremtik meg a teljes üzemre, de sok összefüggésre is rámutatnak, támogatva a miértek megértését (4. szint). Ezek mellett a szenzorok használata és a 3D nyomtatás terén történt nagyobb előrelépés. A telepített érzékelők segítenek az esetleges problémák gyors feltárásában és megoldásában (4. szint). Ugyanakkor az üzem még nem jutott el arra a szintre, hogy a hibákat képes legyen előre jelezni (5. szint). Bár az intelligens szenzorok már gyűjtenek adatokat, de azok feldolgozása megfelelő szakértelem híján még nem megoldott.

Az ipar 4.0 alkalmazásának előnyei

Az ipar 4.0 alkalmazásokba történő intenzív beruházási tempó miatt a cégnél egyelőre még nem volt energia és erőforrás arra, hogy a változások tényleges pénzügyi hatásait számszerűsítsék. A tanácsadócégek jelentései ezen a téren meglehetősen optimisták (Geissbauer és szerzőtársai, 2016; Deloitte, 2015; Rüssmann és szerzőtársai, 2015), de ezt az optimizmust csak szórványos, leginkább példaként bemutatott vállalati adatokkal támasztják alá. Véleményünk szerint a változásokat először és leginkább az operatív mutatókban lehet majd észlelni. Számottevő pénzügyi haszonra akkor számíthatunk, amikor teljes folyamatok – nem csupán sziget-szerű működési elemek – digitalizációja valósul meg.

Ugyanakkor közvetett hatások már most is egyértelműen észlelhetők a cégnél. Ilyen hatás például, hogy a GO meeting területnek köszönhetően a papírfogyasztást ki tudták küszöbölni és az adatok valós időben lekérhetőek a rendszerből. Mindezek következtében a döntéshozatal sokkal inkább a tényeken alapul, és az üzemben folyó munkát a vezetők gyorsan átlátják a megfelelő információkat lekérve az okos monitorokon. Az OLMS rendszert a dolgozók szeretik, használatával tudásuk megbízhatóbbá vált, bizonytalanság esetén a rendszerhez tudnak fordulni.

Az alkalmazást hátráltató tényezők

Mivel a szakirodalomban és a koncepcionális anyagokban leginkább az ipar 4.0 átütő hatásairól olvashatunk, ezért fontosnak tartjuk az ipar 4.0 alkalmazások bevezetésével kapcsolatos speciális problémákról is írni. Ezek a problémák ráépülnek a projektek általánosan tapasztalható problémáira, amilyen például a változásokkal szembeni ellenállás. Ezen általános problémákat a cég már megtanulta megfelelően kezelni.

| | Ipar 4.0 technológiák | Gyakorlati alkalmazás a vizsgált vállalatnál | Várt előnyök | A bevezetést gátló tényezők |
|----------------------|--|---|--|--|
| Dominánsan digitális | Big Data | a teljesítmény-mérőszámok valós idejű megjelenítése okos képernyőkön a GO meeting területeken | - pontosabb előrejelzés - kiegyensúlyozott termelés - valós idejű folyamat ellenőrzés és vizuálisan megjelenített folyamat paraméterek - központi adatbázis | - nagyon drága - nagy szakértelmet igényel a tervezésben és a megvalósításban is |
| | Internet of Things | Operator Learning Management System | - javul a munkabiztonság - növekszik a hatékonyság - a vevői panaszok hatékonyabb kezelése | - csak akkor hatékony, ha rendszeresen keletkezik tartalom |
| | Felhőalapú számítástechnika, felhőszolgáltatások | helyi szerverek, a gyárak állnak összeköttetésben egymással | - a valós idejű adatfeldolgozás elősegíti az adatmentést - további számítási kapacitás vonható be - erősíti az ellátási lánc integrációját | - magas fokú bizalmat igényel a partnerekkel, beszállítókkal szemben - nagyon magas a kiberbiztonsági kockázat |
| | Kiterjesztett valóság megoldások | okos szemüveg | - gyakorlatias tanulási folyamat - az elérhető új információk révén hatékonyabb emberi folyamatok | - nehéz elérni a dolgozói elfogadást - költséges, nem kiforrott |
| Ragasztó | Szenzorok | intelligens szenzor (önkalibráló) | - javuló munkahelyi biztonság - big data jön létre - hatékonyság növekszik | - nagy hálózatot igényel - a big data nagy adatelemzési kapacitást igényel |
| | | okos szenzor (andon) | - gyors válasz a termelési meghibásodásokra - alacsonyabb minőség költségek | - a hibás jelzések lelassítják a termelési folyamatokat |
| Dominánsan fizikai | Additív termelés | 3D nyomtató (fém) | - nő a termelési rugalmasság - magasabb termelékenységi és gyorsasági kis sorozatok esetén - gyors prototípus gyártás - hatékony pótalkatrész gyártás | - költséges - nagy sorozatok esetén lassú (ha lehetséges egyáltalán) - nehéz a minőségi specifikációknak való megfelelés |
| | Robotika | robotok nulla átállási idő igényel | - növekvő termelékenység, csökkenő hulladék - hatékonyabb kis sorozatok esetén is - alacsonyabb költségek (eszközök, készlet) | - nagyon nagy beruházási igény - hiány van szakértőkből és a mérnökökből a munkaerőpiacon |

3. táblázat Az I4.0 technológiák használatának eredményei a TE -nél

A gyártóegységben az ipar 4.0 most kísérleti fázisban van. Ez a fázis már magában foglalja a magas szintű informatikai hálózat kiépítését is (közös platform, ERP

rendszer, fizikai hálózat). Esetünkben ez a költség a teljes digitális költségvetés 60%-át teszi ki, amire nem számítotak a tervezési fázisban. A TE más gyáraiban, ahol az itt

kikísérletezett megoldásokat alkalmazzák majd, az informatikai hálózat fejlesztésének költségaránya még magasabb lehet, mintegy 80%.

Az I4.0 technológiák alkalmazása a költségek egy másik nagy hányada lesz. Ennek oka az, hogy nagyon kevés kulcsrakész megoldás áll rendelkezésre, így a vállalatnak saját magának kell azokat kifejlesztenie. A kiberbiztonság kérdése is folyamatosan napirenden van, és jelentős költségigénye van.

A költségek mellett a másik kritikus tényező a tudás hiánya. A tudás hiánya nemcsak a mérnökök és az informatikai szakemberek esetében jelent problémát, hanem technológiák alkalmazásának támogatását végző tanácsadó cégeknél is hiányzik. A speciális know-how hiánya miatt nem tudnak technikai segítséget nyújtani a vállalatoknak. A know-how generálása lehetővé tenné az egységes platformok és szabványok elérhetőségének terjedését. A peer-to-peer kapcsolatokban is hiányzik a tudás. Jelenleg nagyon kevés gyártó cég foglalkozik még az I4.0-val, így az egymástól való tanulási lehetőség (benchmarking) is korlátozott. Az a kevés cég, amely nyitott a digitalizáció felé, titokban tartja az összes adatot, hogy megvédje technológiáit. Az esettanulmányban szereplő vállalat a hat-sigma tapasztalattal rendelkező kollégáinak belső oktatást szervezett az R nyelvről, az adatelemző szoftver használatára érdekében.

A vállalat felső vezetése az I4.0 irányba való elmozduláskor expliciten megfogalmazta a termelékenység javítását. Egyelőre kevés jele van a mérhető előrelépésnek, így a rövid és középtávú profitnyomás szintén akadályosnak tűnik. Az első lépések inkább kísérletezésnek minősülnek. Az eszközök magas költségei mellett a beruházás megtérülésének ideje is bizonytalan. Gyakran előfordul, hogy egy technológia használatát követően 1-2 év után új beruházásokra van szükség ahhoz, hogy ki tudják használni a megoldásban rejlő lehetőségeket. Ezért a vezetőség előrelátása, támogatása és nyitottsága elengedhetetlen feltételek.

A cégnél az adaptáció kezdeti időszakától szembesültek az emberi erőforrással kapcsolatos kihívásokkal. Az operátorok nem mindig szeretik az új technológiákat és eljárásokat. Az operátorok akár félnek is attól, hogy az automatizálás miatt elveszítik munkájukat. Az átállást támogathatja a vállalat azáltal, hogy már a kísérleti szakaszban bevezeti az új eszközöket a gyártó területen, ahol a dolgozók javaslatokat tehetnek és maguk is fejlesztővé válhatnak. Elképzeléseik általában növelik az eszközök használhatóságát.

A vizsgált vállalatnál nagy hangsúlyt helyeznek a meggyőzésre és az oktatásra. Ez a két tevékenység teszi ki a projekt idejének legnagyobb részét. A vállalati tapasztalatok alapján a végrehajtási folyamat csak akkor lehet sikeres, ha az emberek meg vannak győződve arról, hogy az új technológia vagy módszer hatékonyabbá teszi munkáját. Ezután be kell tanítani az alkalmazottakat, és meg kell győzni őket a végrehajtás előnyeiről. Ugyanakkor feltételezhető, hogy ebben a közegben a munkavállalók körében a technológia megjelenése egy önkiválasztódási folyamatot indít el.

Fontos kiemelni, hogy az egyes technológiáktól függetlenül jelentkezik a digitális szervezeti átalakítás. Ennek egyik jele a központi stratégiaalkotási folyamat, illetve a gyári felelősök kinevezése. Ugyanakkor a vizsgált időszakában a globális vállalati struktúrába illeszkedő munkaszervezet nem volt.

Következtetések

Kutatásunk legfontosabb hozzáadott értéke, hogy egy vállalat ipar 4.0 lépéseit átfogóan mutatja be, érzékeltetve e lépések motivációit, előnyeit, nehézségeit. Mivel az I4.0-val kapcsolatos empirikus kutatások még csak kezdeti fázisban járnak, ezért a kutatómódszertani javaslatok alapján (Yin, 2012; Karlsson, 2009) az első feladat elegendő gyakorlati tapasztalat begyűjtése, amelyek szintetizálásával az első tudományos modellek kialakíthatók, és az adatok nagy mennyiségben való gyűjtése és elemzése kérdőívek formájában megvalósítható. A cikk gyakorlati értéke, hogy benchmarkinggal szolgál az Ipar 4.0-ban gondolkodó más vállalatok számára.

A vizsgált vállalat tapasztalatai megerősítik, hogy az I4.0 csúcstechnológiai *összefonódnak*: a big data elemzés megfelelő használata feltételezi a dolgok internetét (szenzorokkal felszerelt gépek hálózatát), az adattárolási és számítási kapacitást (felhő), valamint a szoftvermegoldások és a megfelelő tudás egyidejű rendelkezésre állását. Az I4.0 fizikai szférája, mint az okos gépek, RFID rendszerek stb., csak ezekbe az összefonódó digitális hálózatba ágyazhatók be. Éppen ezért az integrált digitális transzformációnak már az első lépései is nagyon költségesek. A költségeket még inkább növeli, hogy ma számos eltérő ipari szabvány működik párhuzamosan. Emiatt a más gyártóktól származó gépek összekötése összetett feladat. A szabványok egységessé válását követően a szenzorok már az alaptechnológia részét képezhetik, ami nemcsak az összekötés költségeit, de annak bonyolultságát is csökkenteni fogja. Természetesen az eladott szenzorok számának növekedésével és a technológiai fejlődésnek köszönhetően is csökkenhetnek a gépek hálózatba kötésének költségei, mint ahogyan a bevezetési tapasztalat is segíthet ebben. Ez a tapasztalat azonban egyelőre hiányzik még a nagyobb cégeknél is. Mivel a kísérleti projektek jól tervezett láncba magas minőségű technológiai infrastruktúrát és humán kapacitást igényel már a kezdetektől, ezért az I4.0 jelenség még az eddigieknél is szélesebb szakadékot eredményezhet a vezető és lemaradó vállalatok között (Andrews és szerzőtársai, 2016), illetve a nagy és a kisvállalatok között (Sommer, 2015).

Az I4.0 esetvállalatunk számára is költséges kísérletet jelent, holott a cég fejlett technológiai megoldásokat használ folyamataiban, és a 3. ipari forradalom tükrében modern infrastruktúrával dolgozik, egy jövedelmező iparágban. A kevésbé jövedelmező, másodvonalas technológiákat (pl. öreg gépek, vagy szenzorokkal nehezen felszerelhető berendezések) üzemeltető, gyenge információtechnológiát és fizikai infrastruktúrát alkalmazó cégeknél valódi kihívást jelent már e korlátok leküzdése is. Ezt tetézi, hogy az ilyen cégek körében a rendelkezésre álló humán kapacitás még erősebb korlátként jelentkezik

– akár a kísérletezésbe sem reális belekezdeniük. Ez utóbbi vállalatok valószínűleg egy töredezett digitális irányba tudnak elmozdulni, ha egyáltalán próbálkoznak.

Mind az irodalom-összefoglalóban, mind a cég leírásakor a technológiát helyeztük a középpontba. A vállalati érettségi modellekben, illetve egyes szakirodalmakban (Shuch és szerzőtársai, 2017; Schumacher és szerzőtársai, 2016; Geissbauer és szerzőtársai, 2016; Weber és szerzőtársai, 2017) is tetten érhető az I4.0-val együtt járó komplex változás. Ezekben a komplex megközelítésekben a technológiai változások mellett a szervezeti megoldások és az emberi erőforrás is önálló elemként jelenik meg.

A cég tapasztalata szerint a sikeres digitális változás magas minőségű *változásmenedzsment és projektmenedzsment*-képeségeket követel. A digitális átalakulás specialitásairól azonban még keveset tudunk. Az átalakulásnak két sajátos jellemzője lehet: (1) az átfogó digitalizáció még a vezető vállalatoknál is újdonság, ezért nem nagyon akarják még a megszerzett tudást másokkal megosztani és másoktól tanulni, (2) a digitalizációt részlegesen a *generációs szakadék* is áthatja (azaz az X, Y és Z generációk technológiához való eltérő hozzáállása).

Az már a kísérletezés időszakában világhossá válik, hogy az egyik legnagyobb akadály a *humán erőforrás*. A termelőszektorban már nőtt a magasan képzett munkások iránti igény, míg az alacsonyan képzettek iránti kereslet drámaian csökkent az elmúlt évtizedekben (Rodrick, 2016). Ugyanezek a trendek érvényesek az autópárhuzamban, ahol a tőke szerepe is felértékelődött (Timmer és szerzőtársai, 2015). Az előrejelzések e trendek folytatódására számítanak a munkaerőpiacon (Frey – Osborne, 2017). Mikroszintű elemzésünk finomítja ezeket a megatrendeket. A régióban napjainkban a képzetlen és alacsonyan képzett munkások iránti igényt a növekvő kapacitások generálják, de középtávon ez nem fenntartható (Nábelek – Sturcz – Tóth, 2016). Világos, hogy az I4.0 a technológián alapul, így a tőke szerepe a munkaerővel összevetve erősödni fog, a munkaerő tekintetében pedig a magas képzettség pozíciójának további erősödése várható.

Végül, a humán erőforrással kapcsolatosan egy további korlátozó jegyre hívjuk fel a figyelmet. A TE-nél az I4.0 evolúcióját átmenetileg akadályozza a megfelelő *adatelemzési képességekkel rendelkező szakemberek* hiánya. Nem könnyű a helyzet megoldása, mivel a vállalatok globálisan harcolnak a tehetséges szakemberekért, és a termelékenyebb régiók/iparágak előnyt élveznek. Még a vezető multinacionális vállalatok is hasonló problémákkal szembesülnek Kelet-Európában. Így, bár esetvállalatunk tapasztalata alapján a digitális gyár koncepciója terjed, de a koncepció kiteljesedését a szakképzett munkaerő hiánya korlátozhatja.

Bár az I4.0 fejlesztésekkel kapcsolatban az elsődleges motívum az üzleti eredmények javítása, illetve a működési mutatók fejlesztése, esetvállalatunk e tekintetben a rövidtáv és hosszú táv dilemmájával szembesül. A TE-nél az I4.0 beruházásokat a költségek csökkentése érdekében indították el felsővezetői támogatás mellett, de rövid távon egyelőre az óriási kezdeti beruházásokkal szembesülnek. Pillanatnyilag nem képesek a bevezetett technológiák

eredményét sem mérni közvetlenül. Ez más vállalatokat visszatartathat az úton való elindulástól.

A kutatás korlátai és jövőbeli kutatási lehetőségek

A kutatás fő korlátja módszertani. Esettanulmányunk hasznos információkat nyújt és fontos összefüggésekre mutat rá egy olyan új témában, mint az ipar 4.0, de a jelenségek és az eredmények nem általánosíthatók. Jól tetten érhető azonban az esettanulmányból, hogy az I4.0-val kapcsolatban a szakirodalomban megjelenő, a technológiára fókuszáló, illetve az eredményekre kihegyezett általánosan használt „narratíva” kiegészítésre szorul, stratégiai, humán és szervezeti szempontok egyaránt befolyásolják a digitalizáció sikerét. Ezekre mutat rá cikkünk.

Ez az esettanulmány jó alapot ad kutatásunk folytatásához. A jövőben az I4.0 mikroszintű vizsgálatához további esettanulmányokat tervezünk készíteni, továbbá keresztmetszeti kérdőíves adatelemzést és panel-adatelemzést is végzünk majd, hogy az eredmények általánosíthatóak legyenek, illetve hogy a fejlődés mértékét mezo- és makroszinten is meg tudjuk ragadni.

A jelen kutatás korlátja még a magyar környezet. Bár az országban jelen lévő leányvállalatok fejlettek, mégis, a kontroll nem az ő kezükben van, ami befolyásolhatja a körülményeket, lehetőségeket. Más országokban, vezető leányvállalatoknál és/vagy vállalati központokban gyűjtött információk tudnák feloldani ezt a korlátot. A cikk szerzői ebbe az irányba is tesznek erőfeszítéseket.

Felhasznált irodalom

- Andrews, D. – Criscuolo, C. – Gal, P. N. (2016): The Best versus the Rest: The Global Productivity Slowdown, Divergence across Firms and the Role of Public Policy, OECD Productivity Working Papers, 2016-05, Paris: OECD Publishing
- Behrendt, A. – Kadocska, A. – Kelly, R. – Schirmers, L. (2017): How to achieve and sustain the impact of digital manufacturing at scale. McKinsey&Company, 2017. August 30th. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-to-achieve-and-sustain-the-impact-of-digital-manufacturing-at-scale> (02.01.2018)
- Bernáth, Zs. (2017): Poka-yoke alkalmazása a gembán túl. BCE szakdolgozat
- Csontos, R. S. – Szabó, Zs. R. (2018): A versengés új színterei: platformok stratégiai menedzsment-megközelítésből. *Vezetéstudomány*, 49 (9), p. 57-69. doi: 10.14267/VEZTUD.2018.09.05
- Csedő, Z. – Zavarkó, M. – Sára, Z. (2018): A vállalati innováció által indukált szervezeti változások a magyar energiaszektorban. *Vezetéstudomány*, 49(2), p. 53-62. doi: 10.14267/VEZTUD.2018.02.06
- Dachs, B. – Kinkel, S. – Jäger, A. (2017): Bringing it all back home? Backshoring of manufacturing activities and the adoption of Industry 4.0 technologies. MPRA, Paper No. 83167, p. 1-32.
- Deloitte (2015): Industry 4.0 –An introduction. Deloitte, The Netherlands.

- Demeter, K. – Gelei, A. – Jenei, I. (2006): The effect of strategy on supply chain configuration and management practices on the basis of two supply chains in the Hungarian automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 104(2), p. 555-570. doi: 10.1016/j.ijpe.2006.05.002
- Demeter K. – Losonci D. (2016): A lean tudás átadásának gyakorlatai multinacionális hálózatokban. *Vezetéstudomány*, 47 (12), p. 61-71. doi 10.14267/VEZTUD.2016.12.06
- Demeter Krisztina – Losonci Dávid – Kovács Zoltán (szerkesztők) (2016): A lean tudás megosztása. Magyarországi esettanulmányokon alapuló kutatási eredmények. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Vállalatgazdaságtan Intézet, http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/3247/1/Konyv_OTKA_vegleges_boritoval.pdf
- Erdős Zs. (2017): A karcsúság mérése – a lean értékelése. A lean implementációjának lehetséges mérése a természetben egy gyakorlati példán keresztül. Szakdolgozat. Budapest: BCE
- Fettermann, D. C. – Sá Cavalcante, C. G. – de Almeida, T. D. – Tortorella, G. L. (2018): How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of Industrial and Production Engineering*, 35(4), p. 255-268. doi:10.1080/21681015.2018.1462863
- Frey, B. C. – Osborne, M. A. (2017): The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, p. 254-280. doi:10.1016/j.techfore.2016.08.019
- Geissbauer, R. – Vedso, J. – Schrauf, S. (2016): Industry 4.0 – Building the digital enterprise (2016). PWC 2016 Global Industry 4.0 Survey, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf> (02.01.2018)
- Heynitz, H. – Bremicker, M. – Amadori, D. M. – Reschke, K. (2016): The factory of the future. KPMG AG, Germany. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/factory-future-industry-4.0.pdf> (02.01.2018)
- Holodny, E. (2017): A key player in China and the EU's „third industrial revolution” describes the economy of tomorrow. *Business Insider*, 2017.07.16. <http://www.businessinsider.com /jeremy-rifkin-interview-2017-6>. (20.10.2017)
- Horváth B. (2017): Digitális transzformáció és ipar 4.0 – Az eszközök adaptációjának bemutatása egy Magyarországon működő autóiipari beszállító példáján. Szakdolgozat. Budapest: BCE
- Horváth, D. – Mitev, A. (2015): Alternatív kvalitatív kutatási kézikönyv. Budapest: Alinea
- Horváth, D. – Móricz, P. – Szabó, Zs. R. (2018): Üzletimodell-innováció. *Vezetéstudomány*, 49 (6). p. 2-12. DOI <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2018.06.01>
- Horváth, D. – Szabó, Zs. R. (2018): A negyedik ipari forradalom vezetési aspektusai. „Mérleg és Kihívások” X. Nemzetközi Tudományos Konferencia. (V. D. Mariann, szerk.) Miskolc, Magyarország: Miskolci Egyetem. Forrás: http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/3305/1/Javitott_konf_kiadvany_u.pdf
- Huber, W. (2016): *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion. Ein Praxisbuch.* Wiesbaden, Germany: Springer Vieweg
- Jaikumar, R. (1986): Postindustrial manufacturing. *Harvard Business Review*, Nov., p. 69-76.
- Jensen, M. C. (1993): The modern industrial revolution, exit, and the failure of internal control systems. *The Journal of Finance*, 48 (3), p. 831-880.
- Kalló, N. (2018): Vállalati hat szigma rendszer hatékonyságának értékelése egy hazai vállalat példáján. *Vezetéstudomány*, 49(1), p. 65-77. doi: 10.14267/VEZTUD.2018.01.07
- Karlsson, C. (szerk.) (2009): *Researching Operations Management.* New York: Routledge
- Kenesei, Zs. – Cserdi, Zs. (2018): A kényszerített önkiszolgálás elfogadásának előzményei és következményei a BKK-automaták példáján keresztül. *Vezetéstudomány*, 49(12), p. 4-10. doi: 10.14267/VEZTUD.2018.12.01
- Kerényi, Á. – Molnár, J. – Müller, J. (2018): Veszedelemes viszonyok a bankok és a fintechek között? *Gazdaság és Pénzügy*, (letöltve: 2018.08.15.) http://real.mtak.hu/79045/1/088_99ig20kerenyi_molnar_muller_u.pdf
- Kinkel, S. (2014): Future and impact of backshoring — Some conclusions from 15 years of research on German practices. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), p. 63-65. doi: 10.1016/j.pursup.2014.01.005
- Kovács, O. (2017): Az ipar 4.0 komplexitása - I. *Közgazdasági szemle*, 64(6-7), p. 823-851. doi:10.18414/KSZ.2017.7-8.823
- Kovács, O. (2017): Az ipar 4.0 komplexitása - II. *Közgazdasági Szemle*, 64(9), p. 970-987. doi:10.18414/KSZ.2017.9.970
- Mayer-Shönberger, V. – Cukier, K. (2013): *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think.* Boston: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company
- McKinsey&Company (2016): Industry 4.0 at McKinsey's model factories. https://capability-center.mckinsey.com/files/mccn/2017-03/digital_4.0_model_factories_brochure_2.pdf (10.01.2018)
- McKinsey&Company (2017): How to achieve and sustain the impact of digital manufacturing at scale. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-to-achieve-and-sustain-the-impact-of-digital-manufacturing-at-scale>
- Nábelek, F. – Sturcz, A. – Tóth, I. J. (2016. október 23.): Az automatizáció munkaerő-piaci hatásai. Járási munkaerőpiacok automatizációs kitettségének becslése. Budapest, Magyarország: MKIK Gazdaság- és Vállalkozáskutató Intézet. Letöltés dátuma: 2017. augusztus 21., forrás: http://gvi.hu/kutatas/483/az_automatizacio_munkaero_piaci_hatasai
- Nagy, J. - Oláh, J. - Erdei, E. - Máté, D. - Popp, J. (2018). The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary. *Sustainability*, 10(10), 3491. doi:10.3390/su10103491

- Nagy, V. (2016): E-learning ABC. *Vezetéstudomány*, 47 (12), p. 6-15. doi:10.14267/VEZTUD.2016.12.01
- Németh, N. (2017): Alkalmazkodás a digitális transzformáció okozta változáshoz – Hatékony tudásátadási eszközök vállalati közegben. Szakdolgozat. Budapest: BCE
- Porter, M. E. (1985): *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Simon and Schuster
- Porter, M. E. – Heppelmann, J. E. (2015): How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93 (10), p. 96-114.
- Rodrik, D. (2016): Premature deindustrialization. *Journal of Economic Growth*, 21 (1), p. 1-33. doi:10.1007/s10887-015-9122-3
- Rüßmann, M. – Lorenz, M. – Gerbert, P. – Waldner, M. – Justus, J. – Engel, P. – Harnisch, M. (2015): *Industry 4.0 – The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. The Boston Consulting Group. <https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf> (10.01.2018)
- Schuh, G. – Anderl, R. – Gausemeier J. – ten Hompel, M. – Wahlster, W. (eds.) (2017): *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)*. Munich: Herbert Utz Verlag
- Schumacher, A. – Erol, S. – Sihn, W. (2016): A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 161-166. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040
- Schwab K. (2016): *The fourth industrial revolution*. Portfolio Penguin
- Sommer, L. (2015): Industrial Revolution - Industry 4.0: Are German Manufacturing SMEs – the First Victims of this Revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8 (5), 1512-1532. doi.org/10.3926/jiem.1470.
- Szabó, Zs. R. – Vida, G. (2009): Szolgáltató központok Magyarországon. *Vezetéstudomány*, 40(4), p. 28-42.
- Szalavetz, A. (2016): Az ipar 4.0 technológiák gazdasági hatásai – Egy induló kutatás kérdései. *Külgazdaság*, 60(7-8), p. 27-50. <http://real.mtak.hu/39363/>
- Takácsné György, K. (2011): *A precíziós növénytermelés közgazdasági összefüggései*. Budapest: Szaktudás Kiadó Ház Rt.
- Timmer, M. P. – Dietzenbacher, E. – Los, B. – Stehrer, R. – de Vries, G. J. (2015): *An Illustrated User Guide to the World Input–Output Database: the Case of Global Automotive Production*. *Review of International Economics*, 23 (3), p. 575-605. doi:10.1111/roie.12178
- Valenduc, G. – Vendramin, P. (2016): *Work in the digital economy: sorting the old from the new*. Brussels: ETUI. <https://www.etui.org/Publications2/Working-Papers/Work-in-the-digital-economy-sorting-the-old-from-the-new> (15.08.2017)
- Wang, S. – Wan, J. – Li, D. – Zhang, C. (2016): Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (1), ID 3159805
- Weber, C. – Königsberger, J. – Kassner, L. – Mitschang, B. (2017). M2DDM – A maturity model for data-driven manufacturing. *Procedia CIRP*, 63, p. 173-178.
- Yin, R. K. (2012): *Applications of Case Study Research*, 3rd Edition, Thousand Oaks: Sage
- Yurish, Y.S. (2010): *Sensors: Smart vs. Intelligent*. *Sensors and Transducers Journal*, 114, p. 1-6.