

Ipar 4.0 érettségi felmérés kérdőíves módszertana

Tanulmány



Készítette:

Nick Gábor (SZTAKI)

Beregi Richárd (SZTAKI)

Domián Krisztina (SZTAKI)

Mezgár István (SZTAKI)

Nacsa János (SZTAKI)

Smejkál Péter (SZTAKI)

Szalavetz Andrea (KRTK Világgazdasági Intézet)

Szaller Ádám (SZTAKI)

Várgedő Tamás (SZTAKI)

Lektorálta:

Monostori László

Váncza József

2021.február

Tartalomjegyzék

Vezetői összefoglaló.....	4
1 Bevezető.....	6
2 Az ipar digitális transzformációjának elméleti alapjai.....	9
2.1 Ipar 4.0	9
2.2 Ipar 4.0 érettség.....	14
2.3 Az Ipar 4.0 alapját meghatározó technológiák	19
3 A modell kontextusa	25
3.1 A 2017-es előzmény modell	25
3.2 Testreszabott érettségi modellek	26
3.3 A kérdőív aktualitása a COVID-19 kapcsán	27
4 Modell '22	30
4.1 A modell fókusza	30
4.2 A modell keretrendszere és újdonságtartalma.....	31
4.3 A kidolgozott modell keretrendszer koncepciójának áttekintése.....	32
4.3.1 A keretrendszer struktúrája	32
4.3.2 Pillérek - horizontális dimenziók	33
4.3.3 Szintek - vertikális dimenziók	34
5 Értékelés – a vállalat és közvetlen környezete.....	36
5.1 Belső vállalati szempontok (mikrószint).....	36
5.1.1 Belső szervezet és stratégia	36
5.1.2 Fizikai infrastruktúra.....	37
5.1.3 Digitális erőforrások	37
5.1.4 Termékek.....	38
5.1.5 Szolgáltatások.....	38
5.1.6 Munkavállalók	39
5.2 Külső vállalati szempontok (mezoszint)	40
5.2.1 Partnerkapcsolatok és dinamika	40

5.2.2	Beszállítói hálózat.....	41
5.2.3	Külső IT szolgáltatások	42
5.2.4	Termék életciklus menedzsment	43
5.2.5	Szolgáltatási értékláncok.....	43
5.2.6	Tudásmegosztás	44
6	Felmérés – Nemzeti környezet és hatások.....	46
6.1	Nemzetgazdasági szempontok (makroszint)	46
6.1.1	Iparfejlesztési politika.....	46
6.1.2	Nemzeti infrastruktúra	46
6.1.3	Digitalizációs politika	47
6.1.4	Szabályozási környezet.....	48
6.1.5	Platform ökoszisztémák	48
6.1.6	Munkaerőpiac	49
7	Kiértékelés és módszertana	51
7.1	A kiértékelés módszertana.....	51
7.2	Az érett vállalat jellemzői.....	52
8	Kitekintés.....	54
8.1	A use case-ek érték- és mértékadó szerepe, az ún. világítótornyok („Lighthouses”) tanulságai	54
8.2	Hazai törekvések az érettségi modellek egységesítése témában	56
9	Összegzés	58
10	Irodalomjegyzék	59

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A kidolgozott keretrendszer áttekintő modellje	4
2. táblázat A '22-es modell szerkezeti áttekintése.....	31

Vezetői összefoglaló

Az Ipar 4.0 korunk ipari fejlődésének, iparfejlesztésének a digitalizáció mellett a legerősebb hívószava lett. A szakemberek és a szakpolitikusok egyetértenek abban, hogy a modern gazdaság versenyképességet priorizáló világában a vállalkozások nem lehetnek meg anélkül, hogy ne tűznék zászlajukra az Ipar 4.0 paradigma megvalósítását, a negyedik ipari forradalom innovációinak adaptációit.

Alapvető célunk jelen dokumentumban bemutatni a 2021-ben kidolgozott keretrendszert (1. táblázat) amelynek a segítségével:

- **értékelhető** az **ipari vállalatok** egyedi *objektív érettségi szintje*;
- **felmérhető** a **hazai Ipar 4.0 ökoszisztéma szereplőinek *szubjektív igényei, elvárásai***.

1. táblázat: A kidolgozott keretrendszer áttekintő modellje

Pillérek / Szintek	Vállalati értékelés		Ökoszisztéma felmérés
	Belső (Mikroszint)	Külső (Mezoszint)	Nemzeti (Makroszint)
1. Általános keretek, egyezmények	Elemi dimenziók		
2. Fizikai erőforrások			
3. Virtuális erőforrások			
4. Termék és életútja			
5. Közösségi értékteremtés			
6. Humán erőforrás			
Kérdések száma	36	24	12

Forrás: saját szerkesztés

A fenti cél érdekében:

- összefoglaljuk és értékeljük a szakirodalomban fellelhető érettségi modelleket az Ipar 4.0 paradigma definíciói alapján;
- felvetjük és röviden számba vesszük azon dilemmákat, kulcsterületeket és technológiákat melyeket szükségesnek tartunk majd vizsgálni;
- bemutatjuk az új modell szerkezeti és tartalmi tervezetét;
- értékelési módszertant javasolunk Ipar 4.0 érettség tekintetében vállalati szinten;
- felmérési módszert, alapokat javasolunk makró szempontok alapján a hazai ökoszisztémára vonatkozóan;

- felhasználjuk az NTPSz¹ vonatkozó korábbi eredményeit, tudásbázisát.

Lényeges kiemelni, hogy a majdan megalkotandó mikro és a mezo szintű kérdések a vállalati érettség értékelését célozzák, míg az elkészítendő makró kérdések a hazai digitalizációs ökoszisztéma egészének helyzetfelmérésére hivatottak. A megfontolás ezek mögött az, hogy a kitöltők Ipar 4.0 érettsége makro szinten nem értelmezhető, ezen a szinten csak igények és hatások vannak. Ennek okán itt csak azon, a vállalat belső (mikró) és közvetlen külső (mezo) környezetét érintő célokra és trendekre vonatkozó ismérvekre hívjuk fel a figyelmet, melyek fejlesztése befolyásolhatja a hazai digitalizációs helyzetet.

Ugyanakkor a vállalat és közvetlen környezetének tekintetében (mikró és mezo szinten) törekszünk az objektivitásra, így itt konkrét technológiai és technikai ismérveket és prioritásokat azonosítunk. Az ipari digitalizáció technológiai, alkalmazási területeinek bemutatása számos dokumentációban megtalálható, ennek megfelelően jelen dokumentum csak arra vállalkozik, hogy röviden tárgyalja a számunkra releváns innovációkat.

A dokumentum elsősorban az ipari digitalizációban jártas szakembereknek készült, nem célja az Ipar 4.0 részletes bemutatása.

Az egyes kérdések és válaszok publikálása nem része jelen tanulmánynak, tekintve, hogy azt meg kell, hogy előzze az *Ipar 4.0 érettségi felmérés kérdőíves módszertana* koncepcionális modell társadalmi és tudományos, de legfőképpen szövetségen belüli egyeztetése. Ennek során a dimenziók, a szintek, a támogató technológiák és technikák revíziója indokoltá válhat. A reflexiók eredményeképpen születhet meg a bemutatott keretrendszer bővített – immár a konkrét kérdéseket is tartalmazó – változata.

¹ Az Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform Szövetség (a továbbiakban NTPSz) 2017. decemberéig mint Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform (NTP) működött.

1 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” tekintsen és felkaroljon egy folyamatot (vagy a saját eszközeit latba vetve, megpróbálja erőteljesen ellenszegülni annak), hiteles és hatásos narratívára van szükség.

Ilyen volt a 2011-es Hannoveri Vásáron, Henning Kagermann előadásával a köztudatba bevezetett, a negyedik ipari forradalomról szóló narratíva.

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 számos irodalom elemezte. Néhány példa a klasszikussá vált művekre: Dosi és szerzőtársai, 1988; Nelson és Winter, 1982; Perez, 2002; Rosenberg (1976). Magyar nyelven átfogó áttekintést adott Szanyi (2019) és ez utóbbinak elgondolkodtató kritikáját Havas (2019).

A Kagermann 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 több 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 kiküszöbölhető (sőt megelőzhető) a gyártási folyamat során fellépő egyes problémák, az Ipar 4.0 *narratíva* az új technológiák elterjedése szempontjából elengedhetetlennek bizonyult. Gazdaságpolitikai hatásának mértékét tekintve, az Ipar 4.0 gyorsan felzárkózott a tudományos fogalomból egy megfelelő narratíva segítségével eurómilliárdokat megmozgató gazdaságpolitikai programmá vált eddigi legsikeresebb, „intelligens szakosodási” 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; McKinsey, 2015; Manyika és szerzőtársai, 2013; McKinsey Digital, 2015) és nemzetközi szervezetek is

elismerték. Ez utóbbi körbe tartozó legismertebb publikáció a versenyképességi jelentéseiről ismert Világgazdasági Fórumhoz fűződik (Schwab, 2016), de az OECD, az UNCTAD és a Világbank egyaránt külön kutatási témakörként foglalkozik a digitális átalakulással és nagyszámú kiadványt jelentet meg (például Hallward-Driemeier és Nayyar, 2019; OECD, 2017; UNCTAD, 2019; World Bank, 2016). Mindez további Ipar 4.0-specifikus fejlesztési programok elindítását katalizálta, illetve ami ennél fontosabb, az Ipar 4.0-val és a digitális technológiákkal kapcsolatos hype a vállalati beruházásokat is erősen ösztönözte².

A Statista előrejelzése alapján a globális vállalati IT kiadások³ növekedni fognak. 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. Az eredmények mind a cégek szintjén, mind makroszinten a várakozások alatt maradtak. Ami ez utóbbit illeti, jelentős irodalom tárgyalta azt a kérdést, hogy miért lassul a gazdaság és a termelékenység növekedése a digitalizáció időszakában, vagyis éppen, amikor áttörés következett be az elvileg látványos termelékenységemelkedést és gazdasági növekedést kiváltó technológiák fejlődésében (lásd Szalavetz, 2019 áttekintését).

Ami pedig a cégek digitalizációs projektjeit illeti, ma már közhelynek számít, hogy a projektek többsége már a kezdeti, kísérleti fázisban elakad (Blackburn és szerzőtársai, 2020; Correani és szerzőtársai, 2020; Davenport és Westerman, 2018; Gebauer és szerzőtársai, 2020; WEF, 2019a).

A magyarázatok között gyakran szerepel ez a bizonyos elakadás: a kutatók hangsúlyozzák, hogy az „Ipar 4.0-ra történő áttérés” kifejezés félrevezető, mert 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 sokféleképpen értelmezik és az akadémiai publikációkban is definíciók sokaságával találkozhatunk (Culot és szerzőtársai, 2020; Leitão és szerzőtársai, 2020; Osterrieder és szerzőtársai, 2020; Vial, 2019).

² <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>

³ A globális vállalati IT-kiadások alakulása 2005–2020 között Statista (www.statista.com)

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.

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 –, 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 (Büchi és szerzőtársai, 2019; Colledani és szerzőtársai, 2014; Szász és szerzőtársai, 2020).

Mindazonáltal, mivel összefüggés van az Ipar 4.0 technológiák alkalmazásának diverzitása (azaz, hogy 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 (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) tűzte ki célul, hogy Ipar 4.0 érettségi modelleket dolgozzon ki – 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, mezo szintű és vállalatspecifikus értelmezéséhez is segítséget nyújtanak.

A következőkben röviden áttekintjük e modellek fejlődését és sajátosságait, az Ipar 4.0 fogalmát. A szakirodalom szintetizálást követően bemutatjuk a saját modellünket, s annak szerkezetét, kifejtjük dimenzióinak tartalmát, majd a kérdőív lehetséges kiértékelésének módszertani leírása következik. A kérdőív kérdéseinek első verziója a tanulmányunk következő kiadásában a Mellékletben kerül majd elhelyezésre.

2 Az ipar digitális transzformációjának elméleti alapjai

2.1 Ipar 4.0

Az új műszaki-gazdasági paradigmára utaló „Ipar 4.0”-kifejezést⁵ definiáló tanulmányok többsége (például Lorenz és szerzőtársai, 2015; Lu, 2017; Osterrieder és szerzőtársai, 2020) a technológiai újdonságokból indul ki, első helyen említve a Dolgok Internetére épülő kiber-fizikai rendszereket (Kim, 2017; Monostori, 2015; Monostori és szerzőtársai, 2016), amelyek magukban foglalják a nagy adattömegek generálásának és legújabbban gépi tanulóval megvalósított feldolgozásának és elemzésének technológiáját. Az Ipar 4.0 alaptechnológiái közé tartozik továbbá a felhőalapú számítástechnika,⁶ a 3D nyomtatás⁷ és a blokklánc.⁸ A legfontosabb alkalmazások a gyártásban alkalmazott kollaboratív robotok (Krüger és szerzőtársai, 2009; Wang és szerzőtársai, 2019), a gyártást támogató folyamatok automatizálása, a nagy adattömeg feldolgozására épülő döntéstámogatási megoldások, a gyártóegységekben logisztikai feladatokat megvalósító autonóm járművek, a szimuláció (Mourtzis, 2020), a virtualizáció⁹ és a kiterjesztett valóság (Nee és szerzőtársai, 2012; Palmarini és szerzőtársai, 2018).

Az Ipar 4.0 irodalmat áttekintő tanulmányok (Chiarello és szerzőtársai, 2018; Ghobakhloo, 2018; Monostori és szerzőtársai, 2016; Xu és szerzőtársai, 2018) 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, technológiakombinációk keletkeznek.

⁵ Az Ipar 4.0 szinonimájaként számos egyéb elnevezést is használnak, például intelligens gyártás, kiber-feldolgozóipar, ipari internet.

⁶ A felhőalapú számítástechnika azt jelenti, hogy a felhasználó számára, az ő változó igényeiknek megfelelő mennyiségben az Interneten keresztül biztosítanak különböző erőforrásokat: számítástechnikai infrastruktúrát, szoftvereket, szolgáltatásokat (Kim, 2017).

⁷ Campbell és szerzőtársai, 2011; Garrett, 2014.

⁸ 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.

⁹ A virtualizáció, másképpen digitális iker azt jelenti, egy fizikai rendszert (például egy termelési rendszert 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.

Következésképpen, az Ipar 4.0 fogalom körébe tartozó technológiák rendszerezésekor célszerűbbnek tűnik a funkcionális megközelítés (Culot és szerzőtársai, 2020). Eszerint beszélhetünk:

- a fizikai és a digitális világ összekapcsolását lehetővé tevő technológiákról (kiber-fizikai rendszerek) és alkalmazásairól (például vizualizációs megoldások);
- hálózati technológiákról (felhőalapú számítástechnika, blokklánc);
- a megoldások közötti átjárhatóságot (interoperabilitást) megteremtő, illetve
- a megoldások kibervédelmét biztosító technológiákról;
- 5. generációs vezeték nélküli hálózat;
- a nagy adattömegek feldolgozását lehetővé tevő technológiákról és alkalmazásairól (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.¹⁰ 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 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 alkalmazásainak köszönhetően nő az erőforráshatékonyság, javul az általános eszközkihasználtság, az anyag- és

¹⁰ A szakirodalom erre utal a vertikális integráció kifejezéssel (például Monostori és szerzőtársai, 2016; Xu és szerzőtársai).

energiafelhasználás, és a munkaerő kihasználásának hatékonysága. 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.¹¹ 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 logisztika) 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” technológiák gyakran erőteljesebben járultak hozzá, mint az egyes műveletek robotizálása. Ide tartoznak például az összeszerelési, vagy a karbantartási feladatokat támogató kiterjesztett valóság-alapú 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 megerősítő munkát megkönnyítő mesterséges vázszerkezetek (robotruhá) (Longo és szerzőtársai, 2017; Ruppert és szerzőtársai, 2018).

A termelékenység vállalati szintű „érzékeny” emelkedéséhez mind a robotizálás, mind az egyéb támogató technológiák esetében elengedhetetlen, hogy az új technológiák integrálását stratégiai tervezés előzze meg és a technológia fejlesztésével párhuzamosan a munkafolyamatok átalakítására, a humán erőforrások fejlesztésére és vállalatszerkezeti változásokra is sor kerüljön (Bharadwaj és szerzőtársai, 2013; Geissbauer és szerzőtársai, 2016; Ghobakhloo és Fathi, 2020; Hirsch-Kreinsen, 2016; Warner és Wäger, 2020).

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

¹¹ 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).

átalakulást tételez fel és 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 eredményeként 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, erőforráshatékonyságának növelése érdekében (Singh és Hess, 2017).

E kritika ellenére meggyőződésünk, hogy az Ipar 4.0 fogalmát

- (a) a kapcsolódó technológiák;
- (b) ezek hatásaival kapcsolatos várakozások és stratégiai motivációk;
- (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, az ahhoz hozzájáruló szereplők digitális összekapcsolásáról (horizontális integráció),¹² az értékesítés és a vevői kapcsolattartás csatornáinak

¹² Az ellátási lánc digitalizációjáról és a horizontális integrációról lásd: Brettel és szerzőtársai, 2014; Manavalan és Jayakrishna, 2019.

digitalizációjáról, valamint az ún. „okos termékekről” (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, ami a feldolgozóipari cégek digitalizációjával összefüggésben azt jelenti, hogy a cégek új módon kínálnak értéket (Amit és Zott, 2001; Baden-Fuller és Haefliger, 2013; Horváth és szerzőtársai, 2018; Teece és Linden, 2017).

Korábban a feldolgozóipari cégek versenyben elfoglalt pozícióját főként a termékeik 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” versyeznek, 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,

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 erőforráshatékonyságát javítani: az ellátási lánc szintjére még csupán a legnagyobb vállalkozások tekintenek ki (az ellátási lánc-szintű elektronikus információmegosztási technológiák még kevésbé terjedtek el).

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 az ezen 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 és humánerőforrás-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 kapcsolatrendszer (hálózati tőkét) kell kialakítani és miként?,

*Az Ipar 4.0 érettség eddig felsorolt összetevői alapján immár nyilvánvaló, **hogy nyitott végű folyamatról és messze nem csupán technológiákról van szó.** Mindezek alapján tekinthetjük az Ipar 4.0-t az ipari cégek digitális átalakulása nyitott végű folyamatának, 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.*

Lényeges, hogy az Ipar 4.0 szűkebb fogalom, mint a digitális átalakulás: ez utóbbi, a gazdasági vonatkozásai mellett, a változó társadalmi létformákra utaló fogalmakkal és jelenségekkel is összefügg, mint például az okosvárosok, intelligens mobilitás, digitális egészségügy, társadalom 5.0 (Camero és Alba, 2019; Fukuyama, 2018; Holroyd, 2021).

2.2 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: sor kerül a szigetszerű alkalmazások összekötésére, egyre komplexebb támogató folyamatok digitalizálására, a heterogén információs rendszerek

összekapcsolására és harmonizálása, 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, hogy 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.

Frank és szerzőtársai (2019) technológiai kiindulópontból közelítettek 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,¹³ 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

¹³ Kivételt képeznek a kollaboratív robotok, amelyek már az érettség alsóbb szintjén is megjelennek.

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 adatalapú közelítésnél 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, a túlzott részletesség azonban csökkenti az áttekinthetőséget és a modell alkalmazhatóságát. 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 felkészültségüket).

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 technológiai 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, 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 országok szempontjából lényeges (az országok digitális érettségéről lásd a Digitális Gazdaság és Társadalom Indexet¹⁴), 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 szintekben 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 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 adatalapú megközelítésekből vett példánál induljunk ki abból, hogy az adatok rendelkezésre állása csupán az alapszintű érettséghez elegendő. Az adathierarchia (Tao és

¹⁴ <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>

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 megoldásrészletek meglétén túlmenően, azok fejlettségét is értékeli az egyes modellekben. Az előbbi, adatalapú közelítés példájánál maradván, más fejlettségi szintet jelent, ha az adatokat Excel-táblákban vagy 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 vállalatszerkezeti és menedzsment gyakorlatok fejlettsége – és fordítva?

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

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, úgymint a stratégiai menedzsment, a marketing, a humán erőforrások, az informatikai infrastruktúra és eszközök, a termelési folyamatok és az ellátási lánc szintjén.

2.3 Az Ipar 4.0 alapját meghatározó technológiák

Az ipar digitális transzformációjának alapját az alábbi technológiák meghatározzák meg, így vállalati érettségszempontjából vizsgálatuk elkerülhetetlen. A kérdőív majd legfőképpen ezen technológiák ismertségét, megvalósulását keresi a kitöltő szervezetek esetén.

- *Cloud/edge architektúrák*

A számítási felhő (cloud computing) olyan modell, amely lehetővé teszi konfigurálható számítási erőforrások (pl.: hálózatok, kiszolgálók, tárolók, alkalmazások és szolgáltatások) osztott készletének kényelmes, igény szerinti, hálózaton keresztül történő elérését, melyek gyorsan, kevés felüyeleti ráfordítással és szolgáltatói beavatkozással munkába állíthatók és eltávolíthatók. Hozzáférhetőség alapján (telepítési modell) négy alapvető típusa van: publikus-, közösségi-, privát- és hibrid felhő. A hibrid felhők elterjedése mindig domináns lesz, mivel ebben a modellben lehet leginkább kihasználni a felhők előnyeit (pl. használatarányos szolgáltatási költségek), ugyanakkor a hátrányok (privacy, biztonsági kockázatok) elfogadható szintre csökkenthetők. Az IoT (internetre közvetlenül kapcsolódó eszköz) által generált adatforgalom kezelésére a különböző modelleket alkalmazó felhő alapú architektúrák alkalmasak.

Az ipari környezetben a fizikai rétegben lévő gépekben, robotokban lévő szenzoroknál nagyon nagy mennyiségű, nagy sebességgel változó és nagyon változatos adatok keletkeznek, ezek feldolgozását, átranzformálását végzik az ún. edge-node-ok, és csak a meghatározott csomagokat küldik tovább a cloud felé. Az edge szinten közvetlenül kerülnek felhasználásra a kooperációhoz, irányításhoz szükséges adatok a kapcsolódó berendezéseknél. A cloud/edge (felhő/peremhálózat) architektúra gyorsabb adatáramlást eredményez, lehetővé válik a látenciaidő nélküli, valós idejű adatfeldolgozás, így a helyi alkalmazások már az adatok keletkezése során megfelelően reagálni tudnak a változásokra.

- *Dolgok Internete - IoT*

A dolgok internete (Internet of Things - IoT) olyan hálózatba kötött fizikai objektumok – eszközök, berendezések, robotok, okosóra, stb. – halmazát jelenti, amelyek beépített elektronikával, szoftverrel, szenzorral rendelkeznek, a mért adatokat gyűjtik és meglévő hálózati kapcsolatukon keresztül valós időben továbbítják emberi beavatkozás nélkül. Ez a hálózati kapcsolat közvetlen, hatékony integrációt tesz lehetővé a virtuális (pl. digitális iker) és a fizikai világ között.

Az IoT megvalósítása szorosan kapcsolódik a cloud/edge architektúrákhoz és az 5G mobil hálózatokhoz. Mesterséges intelligencia algoritmusok is alkalmazásra kerülhetnek az adatelemzések során és a hálózati forgalom szervezésében, irányításában.

- *Mesterséges Intelligencia*

A mesterséges intelligencián (Artificial Intelligence – AI) alapuló rendszerek olyan, emberek által megtervezett szoftverrendszerek (és lehetőség szerint hardverrendszerek), amelyek összetett céljukra tekintettel a fizikai vagy a digitális dimenzióban úgy működnek, hogy a környezetüket adatszerzés révén észlelik, értelmezik a gyűjtött strukturált és nem strukturált adatokat, ismereteik alapján érvelnek vagy ezekből az adatokból származó információkat dolgoznak fel, valamint eldöntik, hogy az adott cél eléréséhez melyek a leghatékonyabb intézkedések. Az MI-rendszerek használhatnak szimbolikus szabályokat vagy numerikus modellt is betanulhatnak, és a magatartásukat is megváltoztathatják annak elemzése révén, hogy a korábbi intézkedések hogyan hatottak a környezetre (EU meghatározás). Az MI a digitalizáció alaptechnológiája, minden kulcstechnológiával integrálható, így stratégiai szerepe van az országok gazdaságában.

A mesterséges intelligencia segíthet a vállalatok hatékonyságának növelésében, a robotoknak köszönhetően a gyártásban, a logisztikai rendszerek optimalizálásában vagy a gyárak karbantartásában és a lehetséges üzemzavarok előrejelzésében. A mesterséges intelligencia a robotok segítségével biztonságosabbá teheti a munkahelyeket is, és új munkahelyeket is teremthet. A mesterséges intelligencia kiemelt részterülete a gépi tanulás (Machine Learning), ahol is egy algoritmus iteratív módszer segítségével tanul. Ez a folyamat lehet felügyelt (supervised learning), felügyelet nélküli (unsupervised learning) vagy megerősítéses tanulás (reinforcement learning), annak függvényében, hogy milyen ki-bemeneti mintákkal, milyen definiált célértékekkel és milyen rendszer interakciókkal dolgozunk.

- *Ember-gép kapcsolatok, kollaboráció*

Az ember és a különböző rendszerek és berendezések, gépek közötti párbeszéd, interakció (Human-Computer Interaction – HCI) egyre fontosabb szerepet kap az automatizálás növekedésével, mivel az ember látszólag csökkent szerepe ellenére központi helyen maradt. Az adatbeviteli perifériák, technológiák a gépi intelligencia növekedésével egyre inkább közelítenek a humán lehetőségek határaihoz – a klaviatúrától, a hang-, mimika- és gesztus-vezérléseken, a Virtuális Valóságon / Kiterjesztett Valóságon (VR /AR) át egészen az agy-számítógép interfészekig (BCI). Az interakcióban alapvetően fontos a bizalom megteremtése, ez akkor alakulhat ki, ha a felhasználó átlátja a SW, a berendezés működését, értelmezni tudja az eredményt és kontrollálja a döntési folyamatot. A kutatások szerint az intelligens (tanuló) robotok és az ember közötti párbeszéd pozitív hatással van a bizalom kialakításában és a munkavégzés hatékonyságára és minőségére.

Az ember-gép együttműködés, kollaboráció keretében az emberek közösen dolgoznak a mesterséges intelligencia által irányított gépekkel és nem csupán egyszerű eszközként használják

őket; a két fél egymás képességeit kiegészítve oldja meg az adott problémát, ami lehet szellemi vagy fizikai területen is. Az ember-gép kollaboráció a robotok vonatkozásában mutatja a legnagyobb igényt és fejlődést. Az ember-robot kollaboráció (HRC – Human-Robot Collaboration) esetében ember és robot összhangban dolgoznak, az ember irányítja és felügyeli a műveletet, a robot pedig pl. a fizikailag megterhelőbb vagy nagy pontosságot igénylő, ismétlődő munkát végzi el. Az emberek és a speciálisan (ISO/TS 15066 szabvány szerint) tervezett, érzékelőkkel ellátott robotok (cobot – kollaboratív robot) egymás mellett, egy munkatérben fizikai vagy lézeres biztonsági határolók nélkül végzik a közös munkát a munkadarabon.

A cobotok forradalmasíthatják az ipari termelést a jövő gyáraiban, számos meghatározó előnyt kínálva; pl. maximális rugalmasság a gyártásban, megnövekedett termelékenységgel, ismételhető folyamatok kiváló minőség mellett.

- *Számítógépes biztonság*

A számítógépes biztonság, vagy informatikai technológia biztonság (IT biztonság) kifejezésen a számítógépes rendszerek, hálózatok védelme értendő a külső és belső fenyegetésektől. Az IT fenyegetés témakörébe tartozik a hardverek, a szoftverek és az elektronikusan tárolt adatok ellopása vagy megváltoztatása, és az ezek által nyújtott szolgáltatások megzavarása vagy irányításának rosszindulatú átvétele. A különböző számítógépes hálózatok kialakulásával a számítógépes biztonság minden vonatkozásban egyre nagyobb kihívást jelent, mivel ez garantálja a rendszerek kommunikációjának és az adatok tárolásának védelmét, így minden szinten (állam, vállalat, egyén) stratégiai fontossága van.

A vállalatok számára az IT biztonsági politika kidolgozása alapvető fontosságú, mivel ez tartalmazza a szervezeti, fizikai, humán, végpont (pl. adattárolás, hozzáférési jogok rendszere), és hálózati biztonság követelményeit. Fontos a hálózat egységes biztonsági szintje, mivel egy hálózat egészének biztonsága annak leggyengébb biztonsági szintű tagjának felel meg.

Külön figyelmet érdemel a felhő architektúrák biztonságának megoldása (adattárolási, hozzáférési biztonság). Speciális kezelést igényel a Tárgyak (Dolgok) Internete (IoT) hálózata, mivel nagyszámú intelligens eszköz van összekötve igen vegyes hálózati környezetben (megoldás lehet az ún. „zero trust” filozófia), és az IoT hálózatba installált (gyártó) berendezések komoly fizikai biztonsági (safety) kockázatot is jelenthetnek.

A számítógépes támadások egyre inkább ipari létesítmények, gyárak, kritikus közüzemek (pl. kórházak) ellen irányulnak, így ezek védelme kiemelkedő fontosságú (pl. speciális tűzfal architektúrák). Fontos a biztonsági törvények és szabványok figyelembevétele (pl. GDPR – Általános

Adatvédelmi Rendelet). A mesterséges intelligencián alapuló védelmi rendszerek alkalmazása nagyban növelheti az IT rendszerek biztonságát (komplex védelmi minták alkalmazása).

- *Big Data*

Az adatalapú technológiák és a szenzorok nagymértékű alkalmazása következtében adatok óriási mennyisége keletkezik és kerül tárolásra (tera-, peta-, ill. hexabyte méretű adatbázisok). Ezen adattömeg egyre nagyobb feldolgozási kapacitású számítási eszközöket, célalgoritmusokat és architektúrákat igényel az adatokba beágyazott értékes információ és intelligencia kinyerése, az összefüggések feltárása, vizuális megjelenítése, értelmezése, mindez elfogadható költséggel és idő alatt. A big data egy olyan komplex technológiai környezet, amely megoldja azoknak a nagyméretű, komplex adatállományok feldolgozását, amelyek a konvencionális adatbázis technológiák teljesítőképességét meghaladják. A big data nagy mennyiségű, nagy sebességű (azaz valós idejű, folyamatosan érkező) és nagy változatosságú (azaz sokféle tartalmú és formátumú) adatok tárolását és feldolgozását jelenti.

Az iparvállalatoknál, a termelési területeken a sokrétűen alkalmazható pl. prediktív karbantartás, IoT, ellátási láncok.

- *Autonóm ágensek*

Ágensnek tekinthető minden olyan működő, autonóm (képesség az önálló cselekvésre, direkt külső hatás, vagy irányítás nélkül is) entitás, amelyik a dinamikusan változó környezetének jellemzőit érzékeli, értelmezi, és működését ehhez is igazítva hatást gyakorol a környezetére. A hatás jellege fizikai és kommunikációs lehet.

A több ágenset tartalmazó (multiágens) rendszerek azok, ahol az ágensek együtt, vagy egymástól függetlenül, netalán egymás ellentétében (pl. versenyhelyzet) folytatnak valamilyen tevékenységet. Egy multiágens olyan autonóm, adaptív, az összetett célok és törekvések megvalósítása érdekében viselkedő, szervezetszerűen működő rendszer, amelynek alkotói saját céllal rendelkező, de a közös cél megvalósítására törekvő ágensek. Az ágens alapú rendszereknek a komplex gyártási rendszerek irányításában kiemelkedő szerepük van.

- *Digitális iker és szimuláció*

A digitális iker egy termék, egy fizikai objektum vagy rendszer (pl. robotos gyártócella) rendkívül részletes, valósághű virtuális másolata. Egy bonyolult fizikai rendszer esetén a digitális iker segítségével úgy lehet a virtuális térben szimulálni a rendszert, hogy annak adatai valós időben közvetlenül a valós, fizikai rendszerből származnak, illetve a futtatás eredményei közvetlenül a

vezérlő adatok, állapot- vagy struktúra-változtatásoknak megfelelően visszacsatolhatók a valós rendszerbe. A digitális ikrek hatékonyan összekapcsolhatják a terméktervezési és a gyártási folyamatokat.

- *Blockchain*

A blokklánc (blockchain) egy elosztott adatbázis, ami abban különbözik a hagyományos adatbázisoktól, hogy az adatok nem egy centralizált hálózaton (egy központi szerveren), hanem egy elosztott hálózaton vannak tárolva. A blokklánc esetében az adatok az elosztott hálózatok csomópontjain működő számítógépekre vannak letöltve. A blokklánc hálózat működése konszenzuson alapul, amely minden tizedik percben önellenőrzést végez, azaz a hálózat összeegyeztet minden egyes tranzakciót, ami a tíz perces időközben történt. Ezen tranzakciók csoportjait nevezik „blokkoknak”. A hálózat egészére felkerült adatok minden esetben publikusak és utólag megváltoztathatatlanok, mivel egy adat megváltoztatása (egy tranzakció) is az egész hálózat felülírását eredményezi, azaz a hálózatban résztvevő valamennyi számítógépen futó program ellenőrzi, majd frissíti saját adatbázisát. Ezzel az eljárással a blokklánc kiiktatja a központilag ellenőrzött adattárolás kockázatait.

Mivel az átláthatóság blokklánc alapú dátum és helyszín időbélyeggel is jár, a technológia jól alkalmazható pl. az ellátási láncok, az IoT rendszerek esetében, ahol a hatékonyság, a biztonság növekedése érhető el.

- *5G hálózati technológia stratégiai szerepe*

A mobiltechnológia fejlődésének eredményeképpen az ipari alkalmazhatóság szintjén megjelent az 5G (5. Generation) mobilhálózat, amely újabb hálózati technológiát használ, és úgy van kialakítva, hogy drasztikusan csökkentse a késleltetést (pár milliszekundumra), megbízhatóbban vigye át a jeleket, mint a jelenlegi mobiltechnológiák, amiknél gyakran fordul elő adatvesztés. További előny, hogy az eszközök nagyteljesítményű kommunikációs összekötésénél megszűnnek a nehézkes kábelezési megoldások.

Az 5G hálózat lehetővé teszi a vállalatoknak Full HD-s videokonferenciák tartását, a kiterjesztett/virtuális valóság széleskörű használatát, és a különböző gyártó- és logisztikai berendezések valós idejű irányítását és működési adataik gyűjtését az intelligens gyárak esetében. Vezeték nélküli szenzor-hálózatoknál (IoT) több százezer kapcsolat is lehetséges.

Az 5G technológia tehát egy stratégiai alkalmazás, mivel alapvetően biztonságosan képes összekapcsolni a különböző valós időigényű szolgáltatásokat, berendezéseket, ami garantálja a vállalat fokozott versenyképességét.

3 A modell kontextusa

3.1 A 2017-es előzmény modell

Az alábbiakban röviden áttekintjük az NTPSz (akkor még NTP) Kérdőív Projektjét, amely a maga 99 kérdésével a jelen dokumentumban kidolgozott modell és kérdőív alapjának és előzményének tekintendő. A 2017-es Kérdőív Projekt alapvető szakmai célja volt felmérni a következőket:

- a (gyártó)ipar és a stratégiai gazdaságirányítás igényeit és elvárásait;
- az Ipar 4.0 ismertségének, elfogadottságának és bevezetésének jelenlegi helyzetét mind az egyedi vállalatok, mind a nemzetgazdaság szintjén;
- az Ipar 4.0 specifikus K+F és innovációs potenciált;
- A növekedési potenciált és ennek feltételeit. Ezen túlmenően pedig egy Ipar 4.0 szemléletű SWOT elemzést is kívántunk adni, különös tekintettel a magyarországi komparatív előnyökre.

A kérdőív 4 fő részre tagozódott a fent definiált szakmai célokból levezethető módon:

- *I. főrész: Általános kérdések*

A kitöltő vállalatot, szakmai szervezetet jellemző gazdálkodási és statisztikai adatok bevezető csoportja. Általánosságban a kitöltő azon ismerveit vettük itt számba, melyek a későbbiekben hozzájárultak a válaszok értelmezésének kontextusba helyezéséhez.

- *II. főrész: Vállalati minősítés*

A II. fő rész mikroszintű, a kitöltő vállalatok egyedi Ipar 4.0 képességeinek felmérésére hivatott kérdések csoportja. Ezen kérdések nemcsak arra voltak alkalmasak, hogy minősítsük a kitöltőket az Ipar 4.0 készenlétük szempontjából, hanem szélesebb perspektívában arra is, hogy rávilágítsanak az adott időszak erősségeire és gyengeségeire.

- *III. főrész: Nemzetgazdasági kérdések*

Makroszintű, a magyarországi helyzet átfogó megismerését és segítését célzó kérdések csoportja a III. főrész. A kérdések az Irinyi Terv hangsúlyos elemeinek feldolgozásával, az abban megfogalmazott szempontok bedolgozásával alakultak ki és jelentek meg a kérdőív végső formájában. Ebben a főrészben arra kerestük a választ, miként vélekednek az ipar közvetlen és közvetett szereplői a közeljövő fejlődési kilátásairól. Az állami beavatkozás lehetőségeit és hatásait is vizsgáltuk. Továbbá szervezeti-szervezési kérdések, párhuzamos infrastrukturális fejlesztések, versenyképességi preferenciák, finanszírozási és szabályozási döntések is a középpontban álltak, de

lényeges, hogy a válaszok nem voltak vonatkoztathatók az adott kitöltő szervezetére, hanem mindig magasabb, általános szinten értelmezendők, amely minimum iparágat, de leginkább országos szintet jelent.

- *IV. főrész: Visszajelzés*

A kérdőív kitöltése garantálta az anonimitást, ugyanakkor felmerülhetett az igény az egyedileg kiértékelt válaszok visszajelzésére, melyhez önkéntes alapon a 99. kérdés kitöltése teremtette meg a lehetőségét. Amennyiben a kitöltő adatainak megadásával ehhez hozzájárult, a válaszok beazonosíthatóvá, az egyéni értékelések pedig visszajelezhetővé váltak.

3.2 *Testreszabott érettségi modellek*

A vállalatok nem egységesek, ennek megfelelően van létjogosultsága a személyre szabott érettségi modelleknek, megítélésünk szerint azonban ezek további kutatások bázisán valósulhatnak. Jelen pillanatban az alábbi megkülönböztetéseket látnánk indokoltnak, noha a modellünk generikus, azaz minden ipari vállalatra érvényesíthető:

- Vállalati méret (KKV-k és nagyvállalatok)
- Termék összetettségi foka
- Értékláncban beöltött szerep (tervező, gyártó vagy szolgáltató)
- Gyártás módja alapján folytonos (pl. cement) vagy diszkrét (pl. fűrőgép) gyártással

Mittal és szerzőtársai (2018) megállapítják, hogy egyrészt a KKV-k jelentik sok gazdaságban a gyártóipar fő hajtóerejét, másrészt viszont az Ipar 4.0 bevezetését gátló tényezők is elsősorban náluk jelentkeznek. Azok az érettségi modellek rendelkeznek igazi gyakorlati jelentőséggel számukra, amelyek a KKV-k szempontjait veszik elsősorban figyelembe, tehát az ő sajátosságaikhoz vannak igazítva. A továbblépéshez három lényeges és további erőfeszítést kívánó pontot emel ki a cikk, mint tanulságot:

- A KKV-k és a nagyvállalatok kiinduló helyzetében mutatkozó alapvető eltérések figyelembevételi módja (pl. a vállalati kultúrát, a modern technológiát megvalósító beruházások pénzügyi lehetőségeit illetően).
- A legtöbbször nem integrált önfelmérés és a rá alapozó stratégiai tervezés és az érettségi modellek külső audittal támogatott alkalmazása közötti távolság, ami nagyvállalatok esetében kevésbé döntő.
- Ez azt a következtetést foglalja magában, hogy a roadmap kijelölése a KKV-k esetében külső segítség nélkül problematikus. A vízió megfogalmazásán túl – amelyre adott esetben még

képesek lehetnek a KKV-k –, a megvalósítás részletes tervezésében feltétlenül már segítségre szorulnak.

A termék maga is determinálja, hogy az érettség bizonyos területeit nem, vagy csak erőltetett, közvetett módon lehet értelmezni. A piacokon egyre inkább szolgáltatást kínálnak a cégek, nem pedig terméket. Az intelligens termékek digitalizáltságuk következtében komplex funkciókat képesek ellátni, specifikált szolgáltatásokat nyújtani, és a piacok már nem magát a terméket igénylik, hanem az általa biztosított szolgáltatásokat. Ezek esetében nincs gond, de ha olyan egyszerű termékről van szó, mind mondjuk egy szög vagy egy üveg, vélhetően nehéz lesz belőle okos terméket előállítani.

Az értékláncban beöltött szerep is befolyásolja a legjobban illeszkedő kérdőív ismérveit. Ha egy vállalatnál nem történik termékfejlesztés, akkor termék használati fázisából gyűjtött adatoknak egy részét nem fogják célzottan az értékteremtési folyamatban bevonni. Tovább menve az ökoszisztéma nem minden szereplője kapcsán értelmezhető és mérhető a mikro és mezo szintű Ipar 4.0 érettség az Ipar 4.0 klasszikus definíciója alapján, noha ők is értékteremtői a rendszernek. Kutatóintézetek, egyetemek aktív részesei kell, hogy legyenek a K+F+I folyamatoknak, de esetükben egy gyártástervező vagy -ütemező rendszer, vagy pl. a robotsűrűségekre vonatkozó kérdés nem értelmezhető. A szakmai szövetségek, érdekképviselések hasonló megfontolás tárgyát képezik, sőt esetükben az is felmerül, hogy lehet-e konkrét ipárgspecifikus digitalizációs stratégiájuk. Az oktatási intézmények, egyetemek szintén nem tartoznak a felmérendők körébe, noha értékteremtésük hiányában az egész gazdasági körforgás – lévén, hogy nem lennének szakemberek – összeomolna.

3.3 A kérdőív aktualitása a COVID-19 kapcsán

A globális vállalatok jelentős része nem, vagy csak nehezen tudja teljesíteni megrendeléseit a nemzetközi ellátási láncok különböző okok (pl. politikai, járvány) miatti megszakadása miatt. Ezért egyre inkább úgy tűnik, hogy a gazdasági, költséghatékonysági szempontoknál fontosabbá kezd válni a politikai, geopolitikai értékelési kritériumrendszer. Ezért kifejezetten nagy átalakulás előtt állhat a globális ipar, és a globalizációtól már a lokalizáció felé fordult a globális gazdaság egy része. A változás másik tényezője a technológia fejlődéséből adódik: a számítógépes hálózatok esetében a kiberbiztonsági kihívások, a gyártási rendszerek esetében a robotizáció és az intelligens, automata gyártási struktúrák térhódítása ad húzóerőt a lokalizáció irányába.

A koronavírus felgyorsította a már beindult lokalizációs folyamatot, a felmérések szerint pl. a globális vállalatok hazaköltöztetnék termelésük bizonyos folyamatait, illetve kiegészítő

megoldásként diverzifikálni tervezik partnereiket a jövőben. A koronavírus járvány rávilágított, hogy mennyire sérülékeny a kiépült ellátási hálózat, rámutatott a globális ellátási láncok hiányosságaira, a különböző termékek szállításában jelentkező zavaroktól egészen egyes iparágakban jelentkező jelentős problémákig pl. az autóiparban, ahol egyszerre jelentkezett alkatrész- és kereslethiány. A vírus ugyan Kínából indult és a kínai gyárak leállása azt eredményezte, hogy a globális ellátási láncok szerte a világban megszakadtak, de a járvány terjedésével dominószerűen szakadtak meg újabb ellátási láncok a világ más pontjain, országaiban.

A különböző felmérések alapján egyre inkább kiderül (pl. Huileng Tan, 2020), hogy a globális ágazatok 80 %-a esetében súlyos zavarok léptek fel az ellátási láncban. A tervezett változtatások arra irányulnak, hogy a vállalatok termelésük kulcsfontosságú részét visszavonják a hazai környezetbe, többi részét pedig gazdaságilag, politikailag stabilabb országokba telepítik. Ezen felmérés szerint a globális vállalatok 67 %-a ezt a stratégiát kívánja alkalmazni a jövőben.

A vállalati szintű, de még inkább az iparági, és országos szintű tervezések, fejlesztések esetében figyelembe kell venni a globális gazdaság lokális irányba való elmozdulását, mivel ezek a technológia fejlődésével párhuzamosan jelentős átalakulásokat indíthatnak mind a vállalati szervezetekben, mind a termelési, és a logisztikai folyamatokban és rendszerekben.

A turbulens gazdasági környezet és az egyre komplexebb rendszerek váratlan helyzeteket hozhatnak a vállalatok működésében. Szükséghelyzetekben (pl. járvány, gazdasági válság, nyersanyaghiány) fontos, hogy a vállalatok rugalmasan, minél rövidebb időn belül tudjanak reagálni az új kihívásokra, módosítani tudjanak termék-portfóliójukon az azonnali igényeknek megfelelően, így megőrizve versenyképességüket.

A gyors reagálás alapja egy meglévő üzletmenet-folytonossági terv (Business Continuity Plan – BCP), amely tartalmazza az infrastruktúrával, az információbiztonsággal, a dolgozókkal, a működéssel és a kommunikációval kapcsolatos kockázatok kezelését, azonban általában nem egy COVID nagyságrendű krízishelyzetre, hanem mindennap előfordulható eseményekre, pl. áramellátási zavarok, üzemi balesetek, hálózati támadás esetére. Egy ilyen BCP terv tartalmazhatja a rugalmas termékváltás kezelési irányelveit is, amely lehetővé teszi, hogy a vállalat akár más piaci szegmensben tudjon megjelenni új, innovatív a megváltozott igényeknek megfelelő termékével (példa erre a COVID idején az átállás lélegeztető gépek, orvosi eszközök gyártására, maszkok tömeggyártására).

A digitális transzformáció a termelés sok területén jelentősen felgyorsult a COVID járvány hatására, mivel a vállalatok felismerték, hogy csak a számítógéppel támogatott, irányított (pl. termék-tervezési, gyártási) folyamatok képesek megbízhatóan követni a rugalmassági elvárásokat.

Vészhelyzetek esetében a gyors gyártási átütemezést, a termékváltást, az alkalmazkodást az aktuális kihívás követelményeinek megfelelő mértékben csak digitális technológiák használatával lehet megfelelni, amelyek különböző funkciójú és teljesítményű programcsomagokban testesülnek meg.

A modell keretrendszer fejlesztése során ilyen vészhelyzeti esetek megoldásához szükséges irányelveket is figyelembe vettünk, bár ezek inkább csak implicit módon jelennek meg, továbbá a kérdőív kitöltése rávilágíthat olyan területekre is, melyek jelentősége kizárólag vészforgatókönyvek végrehajtása esetén nyer értelmet.

4 Modell '22

Az NTP 2017-ben meghatározta és rögzítette a maga Ipar 4.0 definícióját. Tekintve, hogy jelen modell is ennek a bázisán született, ezért itt is rögzítjük ezt a meghatározást. Az Ipar 4.0 fogalom a negyedik ipari forradalomra utal, amely a kiber-fizikai rendszereken, azaz a valós és virtuális valóság korábban nem létező integrációján alapulva a termékek teljes életciklusában az egész értéklánc új szintre emelt szervezését és szabályozását valósítja meg. Ez a ciklus az egyre inkább individualizálódó ügyféligényeket követi, és kiterjed a termék koncepcionális tervezésétől, a gyártásán keresztül a végfelhasználóhoz való kiszállításig, végül pedig az újrahasznosításig. Mindennek az alapja az összes releváns információ valósídejű rendelkezésre állása, amely feltételezi az értéklánc objektumainak hálózatba kapcsoltóságát. Az emberek, objektumok és rendszerek összekötése révén olyan dinamikus, valós időben optimalizált, önszervező és a vállalatok között átívelő többletérték termelő hálózatok jönnek létre, amelyek különböző kritériumok, pl. költség, rendelkezésre állás és erőforrás-felhasználás szerint optimalizálhatók.

Az Ipar 4.0 víziója a következő négy cél teljesülését kell, hogy magával hozza:

- 1 Horizontális integráció: Az okos gyár minden időben alkalmazkodik környezetének új körülményeihez és önmaga optimalizálja a termelési folyamatait. Ez az értékláncban a beszállítókkal és az ügyfelekkel való integráción keresztül valósul meg.
- 2 Vertikális integráció: Az okos gyárban az emberek, gépek és egyéb erőforrások digitális modellben képződnek le és egymással a kiber-fizikai rendszereken keresztül kommunikálnak.
- 3 Az okos termékek: információkkal rendelkeznek a saját gyártási folyamatukról és képesek adatokat gyűjteni és továbbítani az életciklusuk gyártási és a használati fázisairól.
- 4 Az ember maga az értékteremtés vezérlője, ő áll a középpontban.

Amikor Ipar 4.0 érettség értékelést, arra szóló modell megalkotását tűzzük ki célul, tulajdonképpen a fenti megállapítások és ismérvek közvetlenül vagy közvetve történő teljesülését vizsgáljuk a felállított értékelési koordináta-rendszer szerint.

4.1 A modell fókusza

Az Ipar 4.0 készültségi szintet együttesen befolyásolja a vállalati célok és jövőképek rendszere, a termék és a gyártási folyamat, a rendelkezésre álló humán erőforrás és az értékláncban betöltött szerep. digitális módon, a megfelelő infrastruktúra és know-how.

A modell a magyar Ipar 4.0 ökoszisztéma gyártás és logisztikai területén tevékenykedő szereplőit hivatott feltérképezni. Érettségi szintjüket illetően azt vizsgáljuk, hogy az Ipar 4.0 ismérvek mennyire jelennek meg a hazai vállalatok esetében. Milyen eltérések mutathatók ki az egyes

vállalatok nemzetgazdasági elvárásait illetően? A jelenlegi helyzet és a tervezett jövő sikeres és mind szélesebb körű megismeréséhez a következőket szükséges felmérni:

- legfőképpen a vállalatok egyedi Ipar 4.0 képességeit;
- a K+F+I együttműködési potenciált;
- a tudásmegosztás trendjeit és aktuális helyzetét;
- az emberi erőforrást érintő releváns kihívásokat;
- az ipari vállalatok stratégiai gazdaságirányítással kapcsolatos igényeit és elvárásait.

A modell az ipari vállalatokra és a hozzájuk szoros kapcsolódó szolgáltató szervezetekre fókuszál. Kutatóintézetek, egyetemek és szakmai szövetségek nem tartoznak a felmérendők körébe, tekintve ezen szervezetek esetében nem történik gyártás, konkrét termékelőállítás vagy logisztikai szolgáltatás, így számos kérdés esetünkben nem értelmezhető.

4.2 A modell keretrendszere és újdonságtartalma

2. táblázat A '22-es modell szerkezeti áttekintése

Pillérek / Szintek	Értékelés		Felmérés
	Belső (Mikró szint)	Külső (Mezo szint)	Nemzeti (Makró szint)
1. Általános keretek, egyezmények	Belső szervezet és stratégia	Partnerkapcsolatok és dinamika	Iparfejlesztési politika
2. Fizikai erőforrások	Fizikai infrastruktúra	Beszállítói hálózat	Nemzeti infrastruktúra
3. Virtuális erőforrások	Digitális erőforrások	Külső IT szolgáltatások	Digitalizációs politika
4. Termék és életútja	Termékek	Termék életciklus menedzsment	Szabályozási környezet
5. Közösségi értékteremtés	Szolgáltatások	Szolgáltatási értékláncok	Platform ökoszisztémák
6. Humán erőforrás	Munkavállalók	Tudásmegosztás	Munkaerőpiac

Forrás: saját szerkesztés

Amennyiben az Ipar 4.0 jelenséget közkeletű módon úgy fogjuk fel, mint az infokommunikációs technológiák, valamint a gyártási és logisztikai folyamatok automatizálásának fejlődése során a fizikai és a virtuális világ fokozatos közeledését és összeolvadását, akkor azt mondhatjuk, hogy a 2. *Fizikai erőforrások* és a 4. *A termék és életútja* pillérek a fizikai világra, a 3. *Virtuális erőforrások* és a 5. *Közösségi értékteremtés* pedig a fizikainak a *virtuális leképezésére* vonatkozik. Az 1. *Általános keretek, egyezmények* és a 6. *Humán erőforrás* pillérek pedig két általános szempontrendszer hoz be a vizsgálatba, amely egyben alátámasztja a holisztikus ökoszisztéma alapú megközelítés létjogosultságát is.

A korábbi modellhez képest alapvető újdonság a mezo szint önálló definiálása. A pillérek szerepe is felértékelődik, tartalmuk markánsabb lett. Bevezetjük az elemi dimenzió fogalmát, így nyitva lehetőséget a pillérek – szintek csomópontjainak definiálása előtt, mely közelebb visz bennünket a kérdések fókuszáltabb megfogalmazása felé.

Noha most minden elemi dimenziót, mint zárt elemet, önmagában értékeljük és saját magán belül értelmezzük, tudatában kell lennünk annak, hogy ez egy jelentős egyszerűsítés, tekintve, hogy minden elemi dimenzió kapcsolatban áll a többi elemmel, egy komplex egészet alkotva.

Végeredményben azonban a vállalat belső ismérveiből és viszonyaiból kiindulva egyre holisztikusabban tudjuk megfogni ezt a komplex valóságot, amellyel szemben találjuk magunkat, ezzel segítve egy mindenki által általánosan elfogadható keretrendszer kialakulását.

4.3 A kidolgozott modell keretrendszer koncepciójának áttekintése

4.3.1 A keretrendszer struktúrája

A tanulmány célja a bevont szervezetek értékelése, így a modell keretrendszerben az egyes pillérekre (horizontális dimenziók) és a gazdasági/szerveződési szintekre (vertikális dimenziók) vonatkozó kérdések összeállítására ennek megfelelően került sor.

A horizontális dimenzió hat pillére összekapcsolja a valós- és a virtuális világ, a stratégiai és a humán területek ismérveit az értékelésben, míg a vertikális dimenzió három vizsgálati/elemezési/értékelési területből épül fel, a gazdaság különböző egységei belső struktúrájának megfelelően.

A modell keretrendszer egyes celláiban, azaz az **elemi dimenziókban** az adott pillér (sor) szempontrendszere alapján az aktuálisan kijelölt szint (oszlop) értékeléséhez szükséges legfontosabb szakmai jellemzők/területek összefoglaló elnevezése található, amelyekhez az értékelési kérdések kerülnek majd hozzárendelésre.

Minden pillérhez minden szinten definiálunk a későbbiekben kérdéseket, azok számossága azonban nem lesz egyenletes. Az érettség egyedi befolyásolhatóságának mértéke belső vállalati szinten a legmagasabb, így a kérdések domináns többsége, 36 db erre a szintre fókuszál. A vállalat közvetlen környezetét 24 db kérdés hivatott feltérképezni és értékelni. Nemzeti szinten a helyzet felmérése okán 12 db jelenik meg.

A kérdőív a kitöltő vállalatot jellemző gazdálkodási és statisztikai adatok felmérésével indul. Ebben a felvezető részben a kitöltő azon ismérveire kérdezzük rá 12 db kérdés segítségével, amelyek mélyítik a majdani feldolgozás során a válaszok értelmezésének lehetőségeit, azok árnyalását. Noha ezek egy része (pl. árbevétel, foglalkoztatotti létszám) akár meglévő adatbázisokból, akár származtatás útján (pl. a cég besorolása kis- vagy nagyvállalatra) kinyerhető lenne, fontosnak tartottuk ezen adatok leghitelesebb forrásból, a kitöltők általi megadását. Számba vesszük, hogy tevékenységét mely iparág(ak)ban folytatja az adott szervezet.

4.3.2 Pillérek - horizontális dimenziók

- **1. Pillér – Általános keretek, egyezmények**

Az 1. pillér minden szintnél az általános kereteket és szabályokat definiálja.

- **2. Pillér – Fizikai erőforrások – Valós Világ**

A 2. pillér a fizikai objektumokkal kapcsolatos kérdéskörre fókuszál minden szinten. Kapcsolatban van „A termék és életútja” pillérrel, mivel ebben a pillérben a termék fizikai jellemzőire vonatkozó kérdések kerülnek meghatározásra, így mindkét pillér a valós (fizikai) világba tartozó értékelendő paramétereket tartalmazza.

- **3. Pillér – Virtuális erőforrások – Virtuális Világ**

A 3., „Virtuális erőforrások” pillér a digitális technológiák és infrastruktúra elemeivel kapcsolatos témakörre koncentrálna. Az egyes szintekben a virtuális világ alapjaira vonatkozó kérdések is megjelennek, mivel ezen a szinten kerülnek megadásra az IT infrastruktúrához kapcsolódó eszközök, technológiák és szolgáltatások, amelyek alkalmasak a fizikai világ virtuális leképezésére. Ehhez a szinthez kapcsolódik az 5., „Közösségi Értékteremtés” pillér, amely a virtuális világ kontrolljával foglalkozik.

- **4. Pillér – A termék és életútja – Valós Világ és működése**

A negyedik pillér a termékhez és annak életútjához, valamint a kapcsolódó szabályozási környezethez rendelhető kérdésekkel foglalkozik.

Ebben a pillérben a fizikai, valós világ és működése, valamint kontrollja jelenik meg mindhárom főirányban.

- **5. Pillér – Közösségi értékteremtés - Virtuális Világ és kontrollja**

Az 5. pillér az eredmények/értékek hasznosulásával kapcsolatos kérdéseket vizsgálja, összekapcsolva a 3. pillérben leképezett Virtuális Világ kontrolljával.

- **6. Pillér – Humán erőforrás**

A 6., „Humán erőforrás” pillér és az „Általános keretek, egyezmények” pillér két általános szempontrendszer hoz be a vizsgálatba: magukat a munkavállalókat és az általuk birtokolt tudás kezelésének problémakörét, amibe beletartozik a tudás megszerzése, cseréje és menedzselése is.

4.3.3 Szintek - vertikális dimenziók

- **1. Szint – Mikró – Belső kérdések**

Ezek a mikroszintű kérdések hivatottak a kitöltő vállalatok egyedi Ipar 4.0 képességeinek felmérésére. Ugyanakkor nemcsak arra alkalmasak, hogy minősítsük a kitöltőket az Ipar 4.0 felkészültségük szempontjából, hanem szélesebb perspektívában arra is, hogy rávilágítsanak a mai helyzet erősségeire és gyengeségeire.

A vállalati érettség alapját elsősorban az határozza meg, hogy a definiált hat pillér hogyan van jelen a vállalat belső életében, az egyes pillérek mentén milyen megállapítások tehetők. Egy vállalat általános vizsgálatánál feltehető az a kérdés, hogy *kik mit állítanak elő, hogyan és mivel*. A „kik” kérdés a hatodik pillérnek megfelelően a munkavállalókkal kapcsolatos kérdéseket részletezi, a „hogyan-t” járja körbe az első pillérhez illeszkedően a belső szervezet és stratégia. A „mit” kérdésre felel a negyedik és ötödik pillér, amelyek a vállalat termékeit és szolgáltatásait vizsgálják. Végül a „mivel” kérdést válaszolja meg a második és harmadik pillérnek megfelelően a fizikai infrastruktúra, illetve a digitális erőforrások.

- **2. Szint – Mezo – Külső kérdések**

A belső körülmények után vizsgálandó az a környezet, ahol és amiben önkéntesen működik az adott ipari egység. Egyszerűen fogalmazva mindaz, ami a gyárkapun kívül található, de még nem érinti a kormányzati szektort. Ide tartoznak mindazok a partnerkapcsolatok, amikben gazdasági érdekből részt vesz a vállalat, beleértve a terméikének és szolgáltatásainak fogyasztóját is. Mindazon külső erőforrások, melyek működése során igénybe vesz, legyenek fizikaiak vagy digitálisak, szintén ide

sorolandók. Azonban ezek a külső-belső határok fokozatosan és dinamikusan változnak, ezért lehet némi átfedés a korábban vizsgáltakkal. Ez a szórás elfogadható a modell szempontjából, hiszen a kiértékelés során ezeket a szinteket horizontálisan is vizsgáljuk.

- **3. Szint – Makro – Nemzeti kérdések**

Makroszintű, a magyarországi helyzet átfogó megismerését célzó kérdések csoportja. A kérdések az Irinyi Terv hangsúlyos elemeinek feldolgozásával, az abban megfogalmazott szempontok bedolgozásával alakultak ki és jelentek meg a kérdőív végső formájában. Ezen a szinten arra keressük a választ, miként vélekednek az ipar közvetlen és közvetett szereplői a közeljövő fejlődési kilátásairól. Az állami beavatkozás lehetőségeit és hatásait is vizsgáljuk. Továbbá szervezeti-szervezési kérdések, párhuzamos infrastrukturális fejlesztések, versenyképességi preferenciák, finanszírozási és szabályozási döntések is a középpontban állnak, de lényeges, hogy a válaszok nem vonatkoztathatók az adott kitöltő szervezetére, hanem mindig magasabb, általános szinten értelmezendők, amely minimum iparágat, de leginkább országos szintet jelent.

5 Értékelés – a vállalat és közvetlen környezete

5.1 Belső vállalati szempontok (mikró szint)

5.1.1 Belső szervezet és stratégia

Az Ipar 4.0 felkészültség előfeltétele a digitális képességek megléte, azok folyamatos fejlesztése. Az igazi digitális vállalkozássá való fejlődéshez azonban világos jövőkép és megfelelő stratégia is szükséges. A *Stratégia és szervezet* témakörében elsődleges kérdés, hogy látja-e az összefüggést a vállalat a versenyképesség és az Ipar 4.0 között, azaz érti-e, hogy olyan témáról van szó, mely a saját érdekeit szolgálja.

A vállalkozásnak elemeznie és értékelnie kell jelenlegi digitális érettségét és egyértelmű célokat kell meghatároznia az előtte álló időszakra vonatkozóan. Elengedhetetlen azon kulcsterületek és intézkedések azonosítása, amelyek számára a jövőben a legnagyobb értéket termelik, és nem csupán a technikai-technológiai megoldásokra, hanem az emberi tényezőkre (mint a vállalatvezetés elkötelezettsége, a munkavállalók digitális képességeinek fejlesztése) is fókuszálnia szükséges. A vezetők számára elengedhetetlen, hogy az Ipar 4.0 fogalmával tisztában legyenek, közös jövőképük legyen a vállalattal kapcsolatban – ez vezetői tréningek, továbbképzések, konferenciákon való részvétel útján érhető el.

Alapvetés, hogy tudatos stratégia nélkül nincs siker, ha pedig létezik ilyen dokumentum, érdemes mérni mutatószámok segítségével a benne kijelöltek megvalósulását. A stratégia minősítésére szolgál annak felülvizsgálati periódusait, az általa érintett területeket vizsgáló kérdések sora. Fontos, hogy a stratégia végrehajtását a vállalat vezetése központilag koordinálja: ez lehet egy felelős személy vagy munkacsoport, koordinálja és felügyeli az összes feladatot és az érintett feleket a megvalósítási folyamat során.

Az Ipar 4.0 megvalósítása mindenképpen fejlesztéseket, beruházásokat igényel. Vannak vele erősebben és kevésbé szorosan összefüggő területek egyaránt, melyek között – tekintve, hogy a pénzügyi erőforrások, származzanak bármilyen forrásból is, végesek –, a menedzsment döntési kényszerbe kerül, melynek kimenete jellemzi a vállalatot és így megkülönböztetésre teremt lehetőséget a számára. A beruházásokkal kapcsolatos kockázatelemzés elvégzése szintén nem elhanyagolható.

Lényeges szempont tudni, hogy milyen technológiai megoldások vannak már most bevezetve a vállalatnál, ezeket mennyire tudatosan és mennyire folyamatszemplélettől vezérelve fejlesztik. A szemléletmód kérdésében releváns, hogy mennyire támogatják a nyílt innovációt és egyáltalán folytatnak-e aktív innováció menedzsmentet a digitalizáció érdekében a vállalat kiemelt területeire vonatkoztatva.

5.1.2 Fizikai infrastruktúra

A vállalat alaptervékenységének ellátásához szükségesek a különféle termelési (gyártó, szerelő) berendezések és az ezeket körülölelő logisztikai eszközök. A számviteli szemlélettel tárgyi eszközöknek nevezett javak hosszú távon határozzák meg a vállalat teljesítőképességét. A logisztikai eszközök lehetnek teljesen általános célúak, melyek bármely vállalatnál előfordulhatnak (pl. céges autó), de jelen vizsgálatban fontosabbak azok, amelyek a vállalat speciális funkcióit és működési módját befolyásolják.

Az érettséget közvetlenül nem érintik pl. az ingatlanok, épületek stb. tulajdonviszonyai, ugyanakkor ezek korszerűsége, fenntarthatósága, az ezek által szolgáltatott funkcióknak van Ipar 4.0 relevanciájuk. Minden olyan valós eszköz vagy technológia, mely a vállalati működést és kiemelten a termelést végzi vagy támogatja, beleértendő ebbe a kategóriába. A fizikai infrastruktúrához tartozik az automatizálás, hogy a vállalat gyártó és egyéb folyamatai hogyan és mennyire vannak automatizálva. Az infrastruktúra fejlettségének fontos fokmérője, hogy a gyártás során milyen mérőeszközök támogatják a megfelelő minőségű termékek előállítását, illetve, hogy ezen mérőeszközök automatikusan (pl. lézerskenneres ellenőrzés) vagy manuálisan működnek-e.

A logisztikai rendszerek tekintetében is a mai technológiák már jelentős potenciált rejtnek magukban: az előre meghatározott útvonalakon mozgó vagy akár az üzemben önálló tájékozódásra képes, önmagát lemerülés esetén feltöltő AGV-k (Automatic Guided Vehicle) alapjaiban változtathatják meg az üzemen belüli logisztikai folyamatokat.

Az automatizálás speciális területe, hogy a humán munkaerő kap-e és milyen támogatást a robotizáció által, az esetleges robotok kiváltják-e az emberi munkavégzést, vagy vele esetleg kollaboratív módon dolgoznak. Az infrastruktúra része továbbá mindazok a berendezések, rendszerek, amelyek a dolgozók biztonságát és a környezet védelmét szolgálják.

5.1.3 Digitális erőforrások

A vállalatok informatikai infrastruktúrája kulcseleme az Ipar 4.0 érettségnek. Ide tartoznak az általános informatikai erőforrások (számítógépek, hálózati perifériák), illetve az, hogy ezek mennyire szövik át a vállalatot. Kérdés, hogy az eszközökkel egy hagyományos ügyvitel szerint működik-e a vállalat, ahol a lényeges iratok továbbra is papír alapúak, vagy az ügyvitel maga digitális. Feltételezve egy teljeskörű komplex vállalatirányítási rendszert, vajon milyen mértékben fedi a meglévő működés ezt az elvi rendszert? Hol és milyen hiányok, lyukak vannak? Az esetleg meglévő elemek mennyire illeszkednek egymáshoz, legalább elvi szinten lehetséges-e ezek összekapcsolása? Milyen területeket foglal magába a digitalizáció és melyek maradnak ki?

Mennyire automatizáltak elsősorban szoftveresen a vállalat egységei (iroda, logisztika, termelés, tervezés, fejlesztés stb.)? A meglévő megoldások mennyire bővíthetők, fejleszthetők? Bárhol a vállalat eszközparkjában jelen vannak-e a legkorszerűbb technológiák (pl. virtuális valóság)?

Megvalósítható-e a gépek közötti információcsere, esetleg a gyártási paraméterek ehhez illesztése?

A gyártást üzemeltető mérnökök tudják távolról (irodából, vagy akár otthonról) vezérelni a gyártást, esetleg a gyártóeszközök állapotát ellenőrizni?

Természetesen az adatok gyűjtésére, továbbítására, tárolására, elemzésére megfelelő hálózati infrastruktúra szükséges, ezen kívül a gyártóeszközöknek is felszereltnek kell lenniük az ehhez elengedhetetlen eszközökkel, pl. szenzorokkal. Az említetteken kívül a belső digitális (informatikai) infrastruktúrához tartozik minden olyan szoftvereszköz vagy IT megoldás, amely akár a termelést, akár más funkciókat végez vagy azt támogatja.

5.1.4 Termékek

Egy vállalat ismertségét, helyét a gazdaságban a termékei határozzák meg. Az érettség szempontjából is izgalmas, hogy milyenek ezek a termékek, mekkora hozzáadott értéket állít elő a vállalat. Milyen a termékportfólió struktúrája, divergenciája, volumene, hogyan oszlik meg a vállalat eredménye az egyes termékek között? A legfontosabb termékek hol tartanak a saját életciklusukban és kellően átlapolt-e a kulcstermékek életciklus görbéje? Összehasonlítva a versenytársakkal, meghatározható-e, hogy milyen speciális előnyökkel/hátrányokkal rendelkeznek a vállalat termékei? Izgalmas kérdés az is, hogy maguk a termékek mennyire felelnek meg az Ipar 4.0 kritériumainak. A termékek személyre szabhatósága is meghatározza egy vállalat érettségét, másképpen fogalmazva, alkalmas-e a vállalat arra, hogy akár minden terméke egyedi legyen (valamilyen paraméterében eltérjen a többitől). A személyre szabhatóság kérdésköréhez tartozik, hogy a termék egyes tulajdonságai megváltoztathatóak-e az eladás után (pl. okostelefonok esetén egyedileg összeválogatott alkalmazások telepítése). Termékpalettától függően lényeges lehet, hogy a már eladott termékek használati adatokat továbbítsanak a gyártó felé, aki ezek alapján tovább fejlesztheti, optimalizálhatja termékeit. Napjainkban a többi gyártó termékeivel, rendszereivel történő összekapcsolhatóság sem elhanyagolható szempont.

5.1.5 Szolgáltatások

A legtöbb vállalat esetében a termékek és a szolgáltatások éles elhatárolása nem egyszerű. Az érettség vizsgálatánál mégis külön pillérekhez tartoznak, amely kifejezi a szolgáltatás alapú megközelítés növekvő fontosságát az Ipar 4.0 területén. Ide tartoznak a vállalatok által nyújtott közvetlen szolgáltatások és azok is, amelyek a termékeket kiegészítik. Az Ipar 4.0 érettségnek egy

aspektusa az is, hogy hagyományos/korábbi termékek helyett esetleg szolgáltatásokat árul-e a vállalat. Szolgáltatások esetén kérdéses az is, hogy azok mennyire szabhatók testre. A szolgáltatások értékesítése irányába való elmozdulás lehet sokak számára a jövő: a bevételek egyre kisebb részét tegye ki maga a termék, és minél nagyobb részét a hozzá kapcsolódó szolgáltatások, amelyekre igény keletkezhet a termék életciklusa végéig. A szolgáltatások önmagukban, vagy a termékhez kapcsolódva is lehetőséget biztosítanak a felhasználói szokások mérésére, és az összegyűjtött információk alapján a további fejlesztésre a felhasználói élmény, és ezáltal közvetett módon a vállalat versenyképességének javítása érdekében.

Az Ipar 4.0 általános tapasztalata, hogy merőben új szolgáltatások jelennek meg. Ezek felbukkanása leginkább kétféle módon történik, vagy újonnan alakult – értelemszerűen – kis vállalatok (startup-ok) nyújtanak eddig ismeretlen üzleti logikát követő szolgáltatást, vagy hagyományos vállalatok kezdenek el nemcsak újfajta termékeket, hanem új szolgáltatásokat is kínálni. Ez utóbbi esetben akár az eddigi termék központú vállalati szemléletet felváltja, vagy mellé zárkózik a szolgáltatás központú szemlélet.

5.1.6 Munkavállalók

Bármennyire technokrata jellegű is a jövőképünk, annak középpontjában is az embernek kell állnia. A *Munkavállalók* kérdéscsoportban azt vizsgáljuk, hogy milyen belső képzési programok, milyen humán erőforrás folyamatok léteznek az adott vállalatnál és egyáltalán hogyan értékelik saját munkavállalóik kompetenciáit az Ipar 4.0 kapcsán felmerülő jövőbeli elvárások terén.

Ennek a témának két fő vonulata van: az első maga az emberi erőforrások „kiműveltségében”, a felhalmozott tudásvagyon őrzésében és gyarapításában rejlik. A második pedig, hogy hogyan ösztönzik a belső és külső körülmények a tudásvagyon innovációra való konvertálását.

Az Ipar 4.0 ellenzői táborából leginkább hangoztatott kérdés vagy inkább figyelmeztetés a robotok terjedése kapcsán jelentkezik. Milyen ágazatokban és milyen hatással lesz a munkaerőpiacra a robotok térnyerése? Hogyan változnak az emberi munkakörülmények? Az Ipar 4.0 sikere jelentősen függ a tudástól, szakértelemtől és a képességektől, a humán erőforrás gazdálkodási stratégiát is tehát ennek megfelelően kell kialakítani – új, magas szintű digitális képességekkel rendelkező dolgozói állomány kialakításával és különböző szintű oktatásával, továbbképzésével. Lényeges, hogy a munkavállalók motiválva legyenek az új ismeretek elsajátítására: a vállalat fejlődésének ütemét meghatározza az is, mennyire aktívak a dolgozók a folyamat során.

A jelenlegi pandémia következtében felgyorsult a digitalizáció olyan munkaterületen is, amelyek korábban nem voltak ennek a fejlődésnek a fókuszterületei. Ez oda vezet, hogy a munkaerő szakmai

képzettségén, és alapvető digitális készségein túl felértékelődik az informatikai biztonság jelentőségének megértése, és az informatikai rendszerek helyes használatának kultúrája.

A digitalizált munkahelyek új munkakultúrát követelnek. Ebben az új kultúrában a munkaidőalap jelentősége csökken, és az eredménycentrikus teljesítményértékelés kerül előtérbe. A munkaerő áthelyezhetősége, a több feladatra alkalmas képzettség szerepe szintén növekszik, különösen a KKV-k vonatkozásában.

5.2 Külső vállalati szempontok (mezo szint)

5.2.1 Partnerkapcsolatok és dinamika

Az értékláncban betöltött szerepük, a tudás, mint hozzáadott érték tekintetében választ ad arra, hogy az adott vállalat hová pozicionálhatja magát a globális piacokon. A partnerkapcsolatok számából, a vállalatszervezésre, a működési filozófiára vonatkozó kérdésekre adott válaszokból a horizontális és a vertikális integrációval kapcsolatban tehetünk megállapításokat.

Magyarországon óriási az igény és elvárás az innovációs tevékenység felgyorsítása, azaz a kutatási eredmények és a legmodernebb technológiák hatékonyabb gyakorlati alkalmazása iránt. Ez új termékek, szolgáltatások megjelenéséhez és gyorsabb elterjedéséhez kell, hogy vezessen. Tágabb értelemben az üzleti gyarapodás forrásai lesznek, mind már létező szervezeteken belül (az ún. intrapreneurship), mind új startup vállalkozások alapítására való bátor készség (az ún. entrepreneurship) erősödésén keresztül. Mindez aktív innovációmenedzsmentet tételez fel, amelyben az alábbi szerepköröket azonosíthatjuk:

- az innovációs csatornák (az értéklánc szereplői, a technológiaszolgáltatók, stb.) közötti közvetítés (bróker funkció);
- a termékeny K+F környezet megteremtésének elősegítője („promoter”);
- az új üzleti partneri viszonyok, az aktorok komplex hálózatának, az új gazdasági-szociális klíma építésének előmozdítója („facilitator”).

A vállalati szinten technológia- és innovációmenedzsmentről beszélhetünk (TIM). Meg kell különböztetni a folyamatos technológiai, szervezési, üzletviteli fejlesztést/javítást az innovációtól. Az első esetben természetesen tervszerű szakmai tevékenységről van szó elsősorban, de mellette óriási a jelentősége a termelésben közvetlenül résztvevő alkalmazottaktól érkező ötletek és javaslatok szisztematikus értékelésének, feldolgozásának és alkalmasság esetén megvalósításának. Erre megfelelő vállalati kultúrát és motivációs rendszert kell kialakítani, és persze a dolgozók folyamatos képzését is biztosítani szükséges.

Az Ipar 4.0 célkitűzéseivel összhangban lévő kiber-fizikai rendszerekkel szemben támasztott elvárások óriásiak és sokszínűek: robusztusság, autonómia, önszerveződés, transzparencia, előreláthatóság, hatékonyság, interoperabilitás. A kooperatív irányítás, multiágens rendszerek, komplex adaptív rendszerek, emergens rendszerek, szenzorhálózatok, az adatbányászat stb. területén elért jelentős eredmények ellenére a fenti elvárásoknak akár a részleges kielégítése is valós kihívást jelent a kutatói közösség számára. Ezeknek a sokrétű kihívásoknak a kutatás csak úgy tud megfelelni, ha több tudományterület – jellemzően a számítástudomány, az operációkutatás és játékelmélet, a gyártástudomány és a mesterséges intelligencia módszerek – együttes művelését végzi és az iparvállalatokkal összefogásban teszi ezt.

Ezen a területen alapvető cél a nemzetközi szinten is jelentős eredményeket hozó kutatási eredmények elérése az Ipar 4.0 egyes kulcsterületein, ezek ipari gyakorlatba való átültetése és elérhetővé tétele az ipari szféra széles köre számára. Az Ipar 4.0 lehetőségeit kihasználó, új üzleti modellek kidolgozása és meghonosítása – különös tekintettel a hazai KKV-k innovációs képességének növelésére – alapvető fontosságú.

5.2.2 Beszállítói hálózat

Beszállítói hálózaton azt a partnerhálózatot értjük, akikkel fizikai eszközöket érintő logisztikai kapcsolat áll fenn. Mindazokat a szereplőket értjük bele a beszállítási láncba, akinek beszállít kész termékeket, továbbá, akik biztosítják az alapanyag, a félkész termék, a kereskedelmi áru és az egyéb gyártó- és logisztikai berendezések ellátását, esetleg rendszeres vagy alkalmi karbantartási, fejlesztési vagy üzembehelyezési feladatokat végeznek számukra. Jelen modell ezen pontja a beszállítói hálózatokat mint külső, de függő szereplők rendszerét vizsgálja.

A negyedik ipari forradalom alapjai a rendszerbe kapcsolt okos eszközök, melyek lehetőséget teremtenek a beszállítói kapcsolatok alapján rendszerbe szerveződő ipari szereplők számára egy mélyebb, értékteremtőbb viszony kialakítására. Ez a lehetőség azonban nem magától értetődően kamatoztatható. Egyrészt a hálózatok bonyolultsága a kapcsolódási pontok (jelen esetben, akár egyedi eszközök is hozzárendelhetők másik szereplő eszközéhez) számával nem feltétlenül lineárisan növekszik, hanem időnként exponenciálisan. Másodrészt az elvárásokkal lépést tartani sem magától értetődő, hiszen néha egymásnak ellentmondó igények találkoznak a technológiai és a gazdasági szempontok irányából.

Egy vállalat Ipar 4.0 helyzetét meghatározza beszállítóinak fejlettsége is, illetve azok nyitottsága a technológiai újítások implementálása felé. A kapcsolatok digitalizáltsága (pl. a rendelést telefonon kell-e leadni, vagy van egy közös vállalati platform erre), a kommunikációs csatornák fejlettsége nagyban hozzájárul a hatékonyabb működéshez.

A beszállítói hálózatok összetettségére való tekintettel több aspektusból is érdemes vizsgálni azokat: egyrészt hálózatelméleti szempont szerint (pl.: robusztusság vagy redundancia), másrészt külső hatásoknak való kitettségét (pl.: területi eloszlás, vagy infrastrukturális összeköttetés minősége), továbbá egyre nagyobb hangsúlyt kap a bizalom, mint objektíven nem mérhető, de nélkülözhetetlen tényező. Szubjektív értékeléseket alapul véve jelen modell lehetőséget teremt a bizalom számszerűsítésére és ezáltal kiértékelésére.

A modell jelen pontjához tartozó kérdések elsősorban a beszállítói hálózatban elfoglalt szerepek szempontjából vizsgálják a kiaknázott és a még rejtett potenciálok mentén a kitöltő résztvevőket. Így szerepkörönként is, és egészében is vizsgálhatóvá téve a beszállítási láncok helyzetét.

5.2.3 Külső IT szolgáltatások

Külső IT szolgáltatásokon a működéshez használt külső, független cég által biztosított informatikai és telekommunikációs szolgáltatásokat értjük, melyek támogatják vagy segítik a mindennapi működést. Ide tartozik a dinamikusan igényelt felhő-alapú technológiáktól a belső kapcsolattartás céljából fenntartott telefon flottáig bezáróan minden IT megoldás. Kiemelten fontos a felhőalapú technológiák használata a dokumentumok tárolására, gyártási adatok vagy minőségi mérőszámok gyűjtésére és elemzésére.

A dinamikusan növekvő kapcsolattartási, adattárolási és számítási kapacitások miatt napjainkban szinte elengedhetetlen, hogy olyan ezekhez adaptívan alkalmazkodó megoldásokat is alkalmazzanak az ipari szereplők, mint a Big Data technológiák vagy a mesterséges intelligencia nyújtotta lehetőségek. Ezek azonban olyan kompetenciákat igényelnek, melyek többnyire alkalmatlanul szükségesek csak a konkrét ipari szereplők számára, emiatt praktikusabb és gazdaságosabb ezeket használat alapon igénybe venni.

A technológiai igények mellett más szellemi tulajdoni és gazdasági érdekek is fontos szerepet játszanak ebben a kérdéskörben. A visszakövethető és biztonságos adattárolás és -továbbítás mára kulcskérdéssé vált. Elengedhetetlenül fontos a modellben annak a kérdéskörnek a vizsgálata, hogy a biztonság és technikai előnyök között megadható legyen az optimum pontja. Az olyan biztonságtechnikai technológiák, mint a blockchain és a biometrikus azonosítás elfogadottsága kritikus és etikai kritikái máig aktuálisak.

A szoftverek világában folyamatos átrendeződés figyelhető meg az open source vagy más szóval nyitott szoftverek irányában. Napjainkban nem a programkódot tekintik értéknek, hanem a használatának ismeretét. Egyfajta termékorientáltságtól szolgáltatásorientáltság felé történő mozgással jellemezhető a folyamat. Ez azonban egyelőre nem jellemzi az ipari szektort. A modell vizsgálni kívánja a kérdőívet kitöltő résztvevő hozzáállását ehhez a kérdéskörhöz is.

5.2.4 Termék életciklus menedzsment

Életciklus menedzsmenten a termékek életútjának nyomon követését értjük a fenntarthatóság jegyében, mely procedura során a folyamatosan változó felhasználói igényekre adható termékfejlesztési lehetőségek összegyűjtése történik, valamint ezek visszacsatolása a tervezés és gyártás fázisaiba. Ez ma elengedhetetlen egy hosszútávon a piacon részt venni kívánó ipari szereplő számára. A felhasználó igények változása napjainkban annyira dinamikus, hogy a termékfejlesztésnek szinte prediktív módon kell reagálni ezekre. Alternatíva a trendeket meghatározó nemzetközi mamutvállalatok működési modellje, de ehhez akkora piaci részesedés szükséges, mely egyedi modellt is igényelne. Jelen modell ezek miatt csak a termékfejlesztési megoldások lehetőségeit vizsgálja.

A körkörös gyártás (*Circular Economy*) egy olyan új paradigma, mely a fenntarthatóságot mind környezeti hatás, mind pedig gazdasági szempontból megköveteli. A digitalizáció jelenlegi szintjén lehetőség van a termék fejlesztése és gyártása során már beépíteni az újrahasználatosság, a felújíthatóság és az újrahasznosíthatóság elengedhetetlen alapelemeit, ezzel is csökkentve az ökológiai lábnyomát. A fenntarthatóság ma már nem hangzatos kifejezés, hanem a fennmaradásunk kulcsa. Kihangsúlyozandó, hogy mindeközben folyamatosan szemmel tartandó a gazdasági megtérülés szempontja is, hisz a gazdasági szereplők számára fennmaradásuk másik kulcsa a hasznot teremtő működés. A modell ebből a kettős szempontból vizsgálja a termék életútját, célként tűzve ki az egyensúlyi állapot megkeresését.

Ahhoz, hogy egy termék támogassa az újrahasználatosságát, felújíthatóságát vagy újrahasznosíthatóságát, szükséges, hogy legalább sorozat szintjén azonosítható és követhető legyen. Ugyanis minden további lépés szükségessé teszi, hogy pontosan tudni lehessen, miről van szó. A működési historikus adatok gyűjtése és feldolgozása további lehetőséget teremt a körkörös gyártás számára.

5.2.5 Szolgáltatási értékláncok

A szolgáltatások értékláncon azokat a terméket támogató informatikai és telekommunikációs, főként szoftvereszközök hálózatát értjük, melyeken keresztül a vállalkozás digitálisan kapcsolatot tart a fogyasztókkal, hogy további, nem materiális értékeket biztosítson a számukra. A digitalizáció nyújtotta lehetőségek közül ide értjük azokat a termékhez kapcsolt kiegészítő, tehát új funkciókat biztosító juttatásokat, melyekkel a felhasználói élmény növelhető. A hangsúly ezen dimenzió esetében – az előző dimenzióhoz képest – inkább a fogyasztón van, mint a terméken.

A termék és a felhasználó a mai fogyasztói társadalomban párban kezelendő. Ugyanazt a terméket két különböző fogyasztó teljesen máshogy, teljesen másra használhatja. Az ebből fakadó különbségek feltárása és az ebben rejlő potenciálok kiaknázása módfelett előremutató üzleti stratégia. A megfelelő digitális többlétszolgáltatással ugyanaz az eszköz egyszerre kettő vagy annál több szolgáltatást is tud nyújtani. Persze a funkció-túlhalmozás sem gazdaságos, de amennyiben feltárható az a két-három jellegzetes felhasználói attitűd, ami a piacon releváns, abban az esetben célszerű megragadni ezeket.

A digitalizáció megteremti ezen új szemléletmód alapját. Eszköztára pedig megoldásokat nyújt arra, hogy felderítsük az attitűdöket a konkrét fogyasztói visszajelzések és az eszközök által szolgáltatott adatok alapján. Így a korábban említett párok összekapcsolódnak, és nagy adatmennyiség esetén szakszerű döntés hozható.

A negyedik ipari forradalom továbbá lehetőséget biztosít egészen új termelési elgondolások implementálására is. A *Crowd Manufacturing* koncepciója nagyon jó példa arra, hogy milyen módon kapcsolódhatnak a felhasználók konkrét termék nélkül is a termelő egységhez, ezáltal új, korábban nem várt értékláncot alkotva. Az ilyen és ehhez hasonló új paradigmákra való nyitottságot, kiaknázásának lehetőségeit is vizsgálja a modell ezen dimenziója.

5.2.6 Tudásmegosztás

A gazdaságban működő kooperációs csoportok szintjén kiemelhető az ipari és akadémiai szektor intenzív és célirányos együttműködése, az ún. *triple helix* kapcsolatok, közös kutatási témák kijelölése, az elméleti és gyakorlati tudást összefogó közös tevékenységek beindítása. A triple helix modell alapján a gazdasági, akadémiai és kormányzati szféra entitásainak térbeli koncentrációja és klaszteresedése által megvalósuló szoros és aktív kooperációja támogatja az innovációk mind gyorsabb létrejöttét, majd diffúzióját (Etzkowitz – Leydesdorff 1997; Porter 1998). A modern innováció nem nagyvállalatok zárt kutatólaboratóriumaiban történik, hanem sokszínű, széleskörű innovációs rendszerek szisztematikus együttműködésének eredményeként. S itt nő meg a mintagyárak, mintaüzemek, nagyvállalati beszállító programok, inkubátorok, integrátorok, ipari parkok stb. jelentősége.

Magyarországon rendelkezésre áll egy kiváló kutatás-fejlesztési infrastruktúra és teljesítmény, mégis a kutatási eredmények hasznosítása összességében szerény. Noha fejlett felsőoktatási rendszerrel, kutatási infrastruktúrával és mindazok által elért komoly eredményekkel rendelkezünk, mégsem tudjuk mindezt piacképes innovációvá alakítani. Csekély kivételtől eltekintve az innovációs képesség néhány multinacionális cég magyarországi kutatólaboratóriumára korlátozódik.

A nagyvállalati struktúrák és a multinacionális környezet sokszor nem teszik lehetővé, hogy a nagyvállalatok képesek legyenek mind az innovatív, az Ipar 4.0-hoz kapcsolódó ötletek és innovációk felkarolására és az ipari alkalmazhatóság szintjére történő eljuttatására, mind a vállalatcsoporton kívülről érkező, jellemzően ipari startup-októl származó újítások alkalmazására vagy bármilyen közös fejlesztésben történő együttműködésre. Ennek oka egyrészt a vállalati kultúrában, másrészt a két vállalatípus (startup és nagyvállalat) közötti, alapvető különbségben keresendő: az innovációk és az üzleti modellek vonatkozásában a startup-ok egyfajta kereső üzemmódban működnek, a nagyvállalatok pedig a végrehajtásban, és a működés jellemzően inkrementális finomhangolásában és tökéletesítésében érdekeltek.

Az Ipar 4.0 gyártástechnológiai és informatikai oktatás minden szinten küzd a kínálati szemléletű oktatás gyengeségeivel, a tananyag túlzott elméleti és kevésbé gyakorlati jellegével, a felgyorsult erkölcsi elavulás veszélyeivel. A hazai szakképzési rendszer infrastrukturális, technikai, tartalmi, munkaszervezési és humán erőforrás szempontból nincs megfelelően felkészítve a digitális társadalom és gazdaság igényeinek megfelelő nevelési, oktatási és képzési feladatok ellátására, ezért is van nagy jelentősége a domináns szereplők tudásmegosztásának, azaz nyitott mintalaborok, mintagyárak, kultúraterjesztő bemutató workshopok meglétének.

6 Felmérés – Nemzeti környezet és hatások

6.1 Nemzetgazdasági szempontok (makró szint)

6.1.1 Iparfejlesztési politika

A vállalkozások digitalizációs lehetőségeit a rajtuk kívülálló tényezők is nagymértékben befolyásolják. Az általános külső keretek átfogó nemzeti stratégiákon, illetve specifikus iparági és technológiai stratégiákon keresztül jelölhetik ki a továbblépési irányokat, a kkv-k mozgásterét. A gazdaság- vagy iparfejlesztési politika témakörében elsőként az a kérdés vizsgálható, hogy a vállalkozások mennyire vannak tisztában az ország azon horizontális és ágazati politikáival és egyéb kulcsfontosságú, pl. innovációs stratégiákkal és ajánlásokkal, melyek számukra vagy az adott szektor szempontjából relevánsak, illetve működési kereteikre hatással vannak.

Tekintettel a digitalizáció ugrásszerű fejlődésére, az ezen a téren eszközölt beruházások egyrészt gyorsan elavulhatnak, másrészt jelentős befektetéseket igényelnek. Éppen ezért elengedhetetlen az is, hogy az Ipar 4.0 terén érettségben előjáró vállalkozások felkészültek legyenek a lehetséges hazai pályázati források és uniós támogatási lehetőségek vonatkozásában. Ide tartozik még a pályázati intézményrendszer és az innovációs ökoszisztéma egyéb szereplőinek átfogó ismerete is. Az Ipar 4.0 társadalmi és nemzetgazdasági beágyazottsága megköveteli a teljes egész holisztikus egységként történő kezelését, az állami szabályozó-végrehajtó intézményrendszer célirányos adaptációját.

Az Ipar 4.0 a különböző nagyszabású állami programok, tervek és stratégiák sikeréhez az innovatív, minőségi iparfejlesztés eszközeként a hatékonyság és a versenyképesség javításával járul hozzá. A gazdaságpolitika célja, hogy a globális versenyképességi trendeknek is megfelelően minél előbb, és minél mélyebbre hatolva tudja beindítani, illetve elősegíteni a hazai ipar digitalizációs átalakulási folyamatait.

6.1.2 Nemzeti infrastruktúra

A digitalizáció folyamata megállíthatatlan és visszafordíthatatlan: az informatikai megoldásokat tudatosan és szervesen használó vállalkozások hatékonyabbak és versenyképesebbek hagyományos megoldásokat alkalmazó versenytársaiknál az ipar és a gazdaság minden területén. A kormányzat feladata a digitális átalakulással kapcsolatban a munkavállalók és a vállalkozások felkészítése a digitális korra: az oktatási rendszer digitális átalakítása, a digitális kompetenciák fejlesztése, a hazai vállalkozások és a közigazgatás további digitális transzformációjának segítése, a hálózatok (közlekedési, távközlési, internet) folyamatos javítása.

A digitális világ horizontális és vertikális integrációját lehetővé tevő nemzeti infrastruktúra biztosítása a szolgáltatások és termékek valós idejű információinak rendelkezésre állására és a kibertér nyújtotta lehetőségek kihasználására alapvető szüksége és előfeltétele az ipar digitális átalakulásának.

A vállalkozások szempontjából makroszinten fontos, hogy stabil nemzeti infrastruktúrák is támogassák a fejlődésüket, pl. kiterjedt közlekedési hálózat, távközlési és energetikai korszerűsítések, környezetbarát hulladékgazdálkodás. Az ipari digitalizáció infrastrukturális támaszát olyan megvalósult, vagy folyamatban lévő kiemelt telekommunikációs hálózati fejlesztések biztosítják többek között, mint pl.

- Szupergyors Internet Program¹⁵ – nagyarányú hálózatfejlesztések a legalább 30 Mbit/s sebességű, szupergyors internetszolgáltatás biztosítása érdekében a lakosság és a vállalkozások számára;
- Mobilinternet hálózatfejlesztés¹⁶ – a távközlési szolgáltatók nagy sebességű mobil hírközlési (4G, 4G+, 5G) hálózatfejlesztési beruházásainak támogatása.

Vizsgálható lehet, hogy a vállalkozások a gyártási/logisztikai fejlesztéseik tervezésekor mennyire ismerik és használják a nemzeti infrastruktúrák által biztosított ezen lehetőségeket, illetve hogyan segíthetik a kiemelt hazai infrastrukturális fejlesztések a kedvezőtlenebb környezetben elhelyezkedő cégek felzárkózását.

6.1.3 Digitalizációs politika

A technológia exponenciális fejlődése következtében a hazai vállalatok digitalizációja nélkülözhetetlen. Bár mondhatjuk, hogy a hazánk lemaradása ezen a téren csak néhány év, de a gyors fejlődés miatt ez a lemaradás abszolút értékben sokszor jelentősebb, mint az elmúlt évtizedekben. Ennek okán a hazai ipar termelékenysége elmarad a fejlett országok szintjétől, ami kiváltképp a KKV-k esetében csak célzott digitalizációs beruházási programokkal, az állami pályázattal rendelkező rendszernek a digitalizáció eredményeit előfeltételként kitűző átalakításával javítható. Az Ipar 4.0 felkészültségre hatást gyakorló, nemzeti szintű tényezők között meg kell említenünk a digitalizációs politikákból következő általános irányelveket, melyek a vállalkozások működési folyamatait általános szinten érintik. A digitálisan elérhető állami szolgáltatások (e-kormányzat), az online bizalom és biztonság erősítése, illetve a gyors és hatékony elektronikus hatósági ügyintézési lehetőségek bővítése elengedhetetlenek a harmonikus fejlődéshez.

¹⁵ <https://kifu.gov.hu/szip>

¹⁶ <https://digitalisioletprogram.hu/hu/tartalom/mobilinternet-halozatfejlesztes>

Vizsgálható lehet tehát, hogy a vállalkozások hogyan ítélik meg saját helyzetüket és lehetőségeiket ezeken a területeken, mennyire felhasználóbarát a közigazgatási rendszer szereplőivel való digitális kapcsolattartás, mennyire biztosított a személyes és üzleti adatok védelme, milyen mértékben csökkenthetők a papíralapú adminisztrációs terhek és hogyan egyszerűsíthetők és automatizálhatók pl. az adóbevallások és adatszolgáltatások folyamatai. Ugyanide tartozhatnak a digitális gazdaságnak a vállalkozásokat érintő egyéb területei, pl. a digitális vállalkozásfejlesztéshez az állam által biztosított szakmai mentorprogramok és pénzügyi támogatások, ezen kívül a kereskedelem egyes területei, mint az e-számlázás, online kereskedelmi csatornák.

6.1.4 Szabályozási környezet

Az Ipar 4.0 elterjedése csak olyan miliőben lehet sikeres, amelyben lehetőség van mind a vállalaton belüli, mind a vállalatok közötti szabványosított kommunikációra, és amely támogatóan és nyitottan építi be a technológiai innovációk eredményeit a mindennapi életbe, valamint a gazdasági entitásokon túl, mind az egyén, mind a társadalom és a közösség szintjén. Ez megköveteli az innovációbarát jogi és szabályozási környezet meglétét, amelynek kialakításából az államnak is ki kell vennie a részét a maga finanszírozási és politikai eszköztárának érvényesítése által.

A makrószintű tényezők között első pontban említett nemzetstratégiai keretek gyakorlati életbe történő átültetését támogatják a világos jogi keretek. A hosszútávú gazdasági növekedés szempontjából kulcsfontosságú a kiszámítható szabályozás, a transzparens előírások, az egységes szabványok alkalmazása.

A vállalkozásoknak a gazdasági élet gyors változásaihoz való rugalmas alkalmazkodását pozitívan befolyásolják mindazon bürokráciacsökkentést eredményező rendeletek, ahol a jogalkotók szándéka szerint a vállalkozóbarát üzleti környezet megteremtése és a kiegyensúlyozott piaci viszonyok fenntartása a cél. Ebben a részben vehető még figyelembe a vállalatok helyzetét egyéb módon befolyásoló tényezők vizsgálata, azaz például az adócsökkentések, a hitelprogramok és egyéb beruházás ösztönző intézkedések hatásainak elemzése is.

6.1.5 Platform ökoszisztémák

A digitális érettség egyik fokmérője a hazai tulajdonú vállalkozások versenyképességének növekedése. A kérdés fontosságát jól mutatja, hogy a Pénzügyminisztérium vezetésével a Nemzeti Versenyképességi Tanácsban 2019-ben külön program kidolgozására került sor „Program a

versenyképesebb Magyarországért¹⁷ címmel, amely kiemelten foglalkozik a vállalatok termelékenységét és exportképességét ösztönző tényezőkkel.

Ide sorolható többek között minden olyan állami beavatkozás, amely a vállalati termelés és a vállalkozások hozzáadott értékének növelése szempontjából figyelembe vehető, pl. vállalati K+F+I tevékenységek támogatása az innovációs potenciál növelése érdekében, a vállalati-felsőoktatási-kutatóintézeti ökoszisztéma együttműködések, valamint a tudástranzfer elősegítése tudásközpontok és Science parkok létrehozásán keresztül vagy a nemzetközi terjeszkedés támogatása. Szintén makrószintű prioritás a mesterséges intelligencia és 5G technológiák széleskörű alkalmazásának terjesztése, illetve ennek támogatására szakmai szervezetek, szövetségek létrehozása és működtetése.

Kiemelt jelentőségűek azon kezdeményezések, melyek támogatják és alapot teremtenek az együttműködésre, közös innovációra (pl. nemzeti laborok).

A K+F+I tevékenységre alapulva olyan ágazatok, s benne működő iparvállalatok támogatása lehet cél, amelyek képesek arra, hogy az ország gazdasági arcukat és gazdasági és szellemi teljesítő képességét nemzetközi szinten hatásosan demonstrálják.

A platform alapú digitális ipari ökoszisztéma fejlődési folyamata, a kiber-fizikai technológiákra épülő termékorientált fázistól a digitális technológiák által integrált interaktív fogyasztói kapcsolati és a digitális szolgáltatások nyújtását magában foglaló szinten át a teljes digitális ökoszisztéma kiépüléséig terjed. Ez a fejlődés törvényszerű trendje, amelyet elő kell segíteni a jelenleg még nem eléggé beágyazódott triple helix struktúra erősítésével.

A magyarországi ipari nagyvállalatok jelentős hányada még mindig nem ismeri az Ipar 4.0 elvárásokat, a várható változásokat sem a beszállítói oldal, sem a végfelhasználói piac szempontjából. Sokan nincsenek tisztában a digitális fejlődés előnyeivel, vagy azzal, hogy milyen irányba kellene elindulniuk, ha fejlődni szeretnének. Akik pedig előrébb tartanak az Ipar 4.0 megvalósításban, azzal a problémával néznek szembe, hogy találnak-e az Ipar 4.0 projektjeik kapcsán ellenőrzött tudással rendelkező szállítókat, tanácsadókat.

6.1.6 Munkaerőpiac

A versenyképesség kulcsa a magasan képzett humán erőforrás, melynek bevonása, megtartása, továbbképzése és folyamatos motiválása különösen a KKV-k számára jelenthet nagy kihívást. A vállalaton belüli vagy a vállalat által finanszírozott felnőttképzések forrásigénye miatt főleg a

¹⁷ <https://2015-2019.kormany.hu/download/9/52/91000/Program%20a%20Versenyk%C3%A9pesebb%20Magyarorsz%C3%A1g%C3%A9rt.pdf#!DocumentBrowse>

nagyvállalatok engedhetik meg maguknak, hogy munkavállalóikat folyamatosan képezzék. Az Ipar 4.0 alkalmazások bevezetésében és használatában élenjáró vállalkozások gyakran szembesülnek a szakképzett munkaerő hiányával, ami részben magyarázható a képzés hiányosságaival, az iskolarendszerű képzésből kikerülők alacsonyabb szintű digitális kompetenciáival. Makrószinten az állam feladata a képzési rendszer teljes vertikumának rendszerszintű megújítása, az Ipar 4.0 elterjedése következtében létrejövő új szakmák és foglalkozások képzési tartalmának kidolgozása, továbbá a képzők képzése a gyakorlati oktatók digitális kompetenciáinak továbbfejlesztése által. Ez egybevág a Szakképzés 4.0 stratégia¹⁸ által megfogalmazott azon kiemelt céllal, hogy a képzési követelményekbe épüljenek be az Ipar 4.0 igényei, erősödjenek a digitális tartalmak.

A digitalizációban élenjáró vállalkozások egyúttal képzőhelyként is funkcionálhatnak a duális képzések bevezetése révén, a vállalati szakemberek bevonása a gyakorlati képzésbe tovább erősítheti a vállalati és oktatási szféra együttműködését.

A versenyképességet növelő munkaerőpiaci képzések között az Ipar 4.0-hoz köthető tartalmakon túl érdemes vizsgálni az egyéb készségek, pl. vállalkozóvá válás és vállalkozói attitűdök, azaz a vállalkozói kultúra fejlesztése terén elérhető képzések, mentorprogramok hatását is.

¹⁸ https://www.nive.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=1024:szakkepzes-40-strategia&catid=10:hirek&Itemid=166

7 Kiértékelés és módszertana

7.1 A kiértékelés módszertana

A modell kritikus része a kiértékelés, hiszen szerencsétlenül megválasztott módszertannal akár észrevétlenül is torzul a felmérés érvényessége, egyes tényezők túlsúlyba kerülhetnek, mások szerepe háttérbe szorulhat. A felmérésben résztvevő vállalatok sokfélesége újabb kihívást jelent, amely elsősorban ott érzékelhető, hogy egyes kérdések adott esetben irrelevánsak egy kitöltő esetében, és akkor ezt a ténytet az értékelésnél úgy kell figyelembe venni, hogy ez ne “büntesse” a konkrét vállalatot. A módszerben fontos, hogy a kitöltő nem tudja, hogy az egyes válaszai hány pontot érnek.

A kiértékelés során szükséges a különféle szempontokat jól elválasztani:

- Az egyes kérdésekre adható válaszok egymás közötti súlya, pontszáma
- A szintek és a pillérek egymáshoz képesti hangsúlya
- A különböző kérdések egymás közötti súlya, szerepe.

Mivel egy vállalat Ipar 4.0 érettségét értékelni a belső és külső szintű kérdések feldolgozásával lehetséges, addig a nemzeti szintű kérdések nem az egyes vállalatok esetében, hanem a teljes felmérés összképében érdekesek. Az, hogy az összes kitöltő helyzete milyen országos szinten, inkább a magyar vállalati valóságról adhat értékes megfigyeléseket. A konkrét vállalat esetén azt az egyszerű módszert javasolt követni, hogy belső szinten átlagosan hat, külső szinten pedig négy kérdést tartalmazzon a kérdőív. Ez jelzi egyrészt azt az evidens tapasztalatot, hogy a belső szint a mérvadó, de a 40%-os súly a külső szint lényeges hatását is tükrözi, amely az Ipar 4.0 folyamatok esetében általános tapasztalat. A kérdőív hat pillérje között nem érdemes különbséget tenni, hiszen ezen pont mindegyike az érettség különféle fontos szempontjait reprezentálják.

Az egyes kérdésekre a kérdőívben minden válaszra 0-tól 5 pont adható, ami egyfajta normálást jelent, míg a hat elemű tartomány kellő mozgásteret ad a kérdésre adott válaszok konkrét értékének a minősítésében. A normálás miatt mindenképpen lennie kell minden kérdés esetében legalább egy-egy 5 és 0 pontos válasznak is. Ugyanakkor nyugodtan elképzelhető, hogy több válasznak ugyanakkora az értéke. A “nem releváns” válasz egyes kérdések esetében felmerülhet, ekkor 0 pontot ad a kiértékelés, de az elérhető összpontszám sem növekszik, vagyis ennél a kitöltőnél ez úgy jelenik meg a kérdőívben mintha ez a kérdés nem is szerepelne. Javasolt a “nem releváns” válaszok darabszámát külön kiszámolni azzal a felhanggal, hogy sok ilyen válasz – noha nem büntette a kiértékelés –, a minősítés pontosságát befolyásolta, hiszen kevesebb válaszból számíttódik ki az összérték.

A kiértékelés legkritikusabb része, hogy az egyes kérdések egymás közötti súlya mekkora legyen. Ha ezek a súlyok nagyon eltérőek, akkor egyes kérdésekre adott válaszok túlzott fontosságot nyernek, mások eltörpülnek. Ugyanakkor látható, hogy egy szint egy pillérjén belüli kérdések súlya azért nem azonos. Így a javaslat szerint, ha egy szint egy pillérjéhez "N" kérdés tartozik, akkor ezen kérdések közötti súlyokat úgy kell elosztani, hogy a súlyok összege is "N" legyen. Ha minden kérdés egyforma fontos, akkor mindegyik súlya 1, ha egy kérdés kétszer fontosabb, vagyis a súly 2, de akkor kell választani például két másikat, ahol a súly csak 0,5. Ebben a példában rögtön a két kérdés válasza csak negyed annyit "ér", mint a másiké. Ezért egytől eltérő súlyokat csak néhány esetben érdemes választani megfontolt indokok esetében.

A kérdőívben feltett kérdésekre adott válaszok összességben történő értékelése a súlyozásos pontozáson keresztül eredményezi a vállalatok minősítését. A kiértékelés során a kapott pontok és a maximálisan elérhető pontok aránya határozza a **Kv** (Kérdőív válasz) 0 és 1 közötti értékét. Azért, hogy a minősítési kategóriákat alapvetésnek tekinthető VDMA (2015) felméréssel és a 2017-es NTP felméréssel való összevethetőség érdekében megtarthassuk, a Kv helyett a korábbi felmérésben bevezetett Ipar 4.0 Készenléti Index-et használjuk most is, mely minősítés hatfokozatú:

0. szint: Kívülállók	($Kv < 0,15$)
1. szint: Kezdők	($0,15 \leq Kv < 0,3$)
2. szint: Haladók	($0,3 \leq Kv < 0,5$)
3. szint: Tapasztaltak	($0,5 \leq Kv < 0,7$)
4. szint: Szakértők	($0,7 \leq Kv < 0,85$)
5. szint: Csúcsteljesítők	($0,85 \leq Kv$)

Azt is fontos tudatosítani, hogy a konkrét válaszok sokkal gazdagabban reprezentálják az egyes kitöltők érettségét, mint a kiértékeléssel számolt pontok, ezért a jövőben arra is lehetőség van, hogy a használt kiértékelési módszertant áthangolva (pl. a súlyokat változtatva vagy a szintek közötti küszöbértékeket módosítva) érzékenyebb, így pontosabb kiértékelés készíthető.

7.2 Az érett vállalat jellemzői

Ipar 4.0 érettség tekintetében kiváló minősítést szerző vállalat számtalan innovációt valósít meg a falain belül és kapuin kívül. Egy Csúcsteljesítő vállalat ismérveit az alábbiak szerint foglalhatjuk össze:

A gyártásban résztvevő személyek, gépek, tárgyak és rendszerek beágyazott intelligenciával és hálózati kapcsolattal rendelkeznek. A szenzorok folyamatosan szolgáltatják a valós idejű információkat a gyártási folyamatról, a big data megoldások segítségével pedig késlekedés nélkül meghozható a döntés, amely alapján megtörténhet a gyártási folyamat finomhangolása, rendszeres megújítása anélkül, hogy le kellene állítani a gyártósort. Növekszik a gyártási folyamatok rugalmassága, termelékenysége, sebessége és minősége, beleértve az erőforrások optimális elosztását is. Lehetővé válik a nagysorozatú termelésbe ágyazott kissorozatú vagy egyedi termékek gazdaságos legyártása. Az autonóm járműveket és robotokat alkalmazó automatizált logisztika alkalmazkodik a gyártás igényeihez. A gyártósoron dolgozó robotok önállóan képesek kiszolgálni egymást a szükséges alkatrészekkel, esetleges hiba előfordulásakor akár az egész folyamatot, gyártósort meg tudják állítani. Az okos termékek ismerik saját gyártási folyamatukat, adatokat gyűjtenek és szolgáltatnak az értéklánc valamennyi tagjának, melyek optimalizációra, innovációra adnak lehetőséget.

A piacon bárki számára elérhető technológiai megoldások (pl. 3D nyomtatók, okos szemüvegek, szenzorok, szoftverek, vállalatirányítási rendszerek), beszerzésével még nem tekinthető egy projekt megvalósult Ipar 4.0 fejlesztésnek. A meglévő rendszerbe, különböző területekre, egyedi megoldásokkal történő integrálásuk viszont már annak értelmezhető. Ehhez azonban elengedhetetlen, hogy az adott vállalat rendelkezék mindazokkal a megfelelő alapokkal, feltételekkel, mint a vertikális struktúra, a gépek hálózatba kötése, az adatgyűjtés, adattárolás.

8 Kitekintés

8.1 A use case-ek érték- és mértékadó szerepe, az ún. világítótornyok („Lighthouses”) tanulságai

A szakirodalomban érdekes jelenség figyelhető meg az utóbbi időben. Egyrészt megmarad a numerikus indexek modelljén alapuló minősítés utáni vágy, másrészt a modellek alkalmazhatóságára vonatkozó sokszor negatív tapasztalatok inkább a példamutatást, a példaként való működés képességét emelik ki.

Az utóbbi időben egy újfajta vizsgálati és prezentációs módszer jelent meg és kezd elfogadottá válni. A *Világgazdasági Fórum* (WEF) és a McKinsey közös kutatása eredményeképpen (WEF, 2019a, b, 2020), amelynek során több mint 1000 vezető iparvállalatot mértek fel, az Ipar 4.0 bevezetésben, illetve a digitalizációban a vezetők között is élenjáró vállalatoknak jár a világítótorony minősítés. A megnevezésben rejlő hasonlatot kihasználva, olyan szervezetekről van szó, amelyek messzire ható jelzőfényvel világítják be az Ipar 4.0 „vizeit”. A szakértők és elemzők azt vizsgálták, hogy mi az oka annak, hogy még az évtized végén is az Ipar 4.0 koncepció adaptációja igen lassú, a vállalkozások többsége az ún. „pilot purgatórium” állapotában van. Ez azt jelenti, hogy mintegy 71%-uk csak most kezdi vagy éppen csak most kezdte pilot szinten a szükséges fejlesztéseket, szemben az igen alacsony arányú 29%-kal, akik már széles körben és sikeresen alkalmazzák az új technológiát. Ez a 70% az előtt a kihívás előtt áll, hogy miként tudják mégis eredményesen levezényelni a transzformációt. Ehhez nyújtanak segítséget a világítótornyok példájából levonható tanulságok. Ezek közül az egyik legfontosabb az ún. *use case*-ek nyújtotta lehetőségek.

A *use case* úgy definiálható mint a digitális technológiának valamely célzott és mérhető eredményt hozó, jól leírható alkalmazása egy specifikus üzleti kihívásra, problématerületre.¹⁹

Minél mélyebbre bontja le a kutatás a *use case* alkalmazási területeket szektorok és funkciók szerint, annál pontosabb a várható eredmény. Az idézett szakirodalom például 19 iparág 9 üzleti területén több mint 400 ilyen akár mintamegoldásnak, etalonnak is tekinthető példát ismer. Értéktermelő hajtóerőként üzleti hatásuk legfontosabb komponensei:

- a piacosítás sebessége („*speed to market*”)
- agilitás és válaszadási képesség az új igényekre, feltételekre
- erőforrás produktivitás és hatékonyság
- az egyedi ügyféligényekhez való alkalmazkodás
- többletértéket adó szolgáltatások és innováció az üzleti modellben.

¹⁹ McKinsey Global Institute: Notes From the AI Frontier – Insights From Hundreds of Use Cases 2018. április

A *use case*-ek osztályozása ezen komponensek szerint történik. Leírásuk magában kell, hogy foglalja az üzleti célt, az (általában közvetlenül vagy közvetve fellépő) megoldandó termelési problémát, az alkalmazott technológiát és folyamatokat, valamint a kézzelfogható eredményeket (teljesített KPI-eket).

A Világgazdasági Fórum arra bátorítja a gazdaság minden szereplőjét és érdekelt felét (*stakeholder*), hogy kapcsolódjanak be a világitótornyok globális hálózatába, amely így értékes bepillantást adhat nekik a technológiai felpörgetés módjáról.

- Maguk a világitótorny stáuszú szervezetek leginkább a *triple helix* típusú együttműködésből tudnak tovább profitálni.
- Azok a szervezetek, amelyek (még) nem érték el a világitótorny stáusz, de törekednek rá, társulhatnak hasonló célokat követő szervezetekkel és közös kezdenek meg a tanulási útjukat, amelyhez segítséget kaphatnak a világitótornyok hálózatától.
- A technológiaszolgáltatók, startup cégek, egyetemek arra társulhatnak létező világitótornyokkal, hogy új *use-case*-eket fejlesszenek ki, teszteljenek, és így új megoldások szülessenek a folyton változó kihívásokra.
- A világ gazdaság szintjén is egy globális Ipar 4.0 tanulási célokat szolgáló platform létrehozására lenne szükség, amely a találkozásnak, a dialógusnak, problémamegoldás közös tanulásának, a tudásmegosztásnak globális fóruma („*go-to place*”) lenne országhatároktól függetlenül.

A társadalmi és környezeti hatások vizsgálatának jelentőségére is rámutat a Világitótorny projekt. Az időről-időre a „világitótornyok klubjába” léphetnek 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).

Az Ipar 4.0 paradigma kockázatokat is hordoz magában: annak veszélyét, hogy a „győztes mindent visz” elv érvényesül és így a gyártóiparban is kialakul egy kétsébséges világ. A *Világ gazdasági Fórum* irányelveket, ajánlásokat dolgozott ki ezeknek a kockázatoknak kezelésére, amelyeket itt csak röviden foglalunk össze:

- Fejleszd a munkaerőt és ne a lecserélésében gondolkodj – annak érdekében, hogy vonzó munkahelyeket kínálj nekik, ahol a döntéshozó és adaptációs képességüket kiélve a legnagyobb a többletérték-termelő hozzájárulásuk.
- Investálj a képességfejlesztésbe és élethosszan tartó tanulásba, építsd újjá a teljes intézményes és házon belüli képzési rendszert, a mobilitásra nevelés legyen az egyik fókuszpont.
- Terjeszd az új technológiákat a földrajzi régiókon túllépve és a teljes ökoszisztémát behálózó gazdasági láncokon keresztül – a tudásmegosztás legyen vállalttípustól és az értékláncban betöltött szereptől független.
- Védj a szervezeteket és a társadalmat a kiber-biztonság szempontjából is – óvd a kritikus vagyontárgyakat (emberek, adatok, gépek, vezérlőegységek) a rosszindulatú támadásoktól, ez mind nemzetbiztonsági, mind társadalmi, mind vállalati kulcsfontosságú érdek.
- Erősítsd az együttműködést az ökoszisztéma szereplőivel az Ipar 4.0 platformokon keresztül – ez csökkentheti a szervezetednek néhány nagy üzleti partnertől való függőségét, szélesíti látókörödet és új tapasztalatokat adhat.
- Használd az Ipar 4.0 technológiát arra is, hogy a klímaváltozás hozta kihívásokkal eredményesen szembe tudjál nézni – állítsd az energiahatékonyságos, a takarékos anyaggazdálkodást is a szervezeted kiemelt működési céljai közé.

Mindezeknek a betartásával célszerű a megvalósításhoz vezető utat meghatározni. Nemzeti szinten az elvek kiteljesedését segítő állami célprogramok és stratégiák finanszírozásával, az egyéni vállalatok szintjén a technológiai lehetőségek gyakorlatba ültetésével és az erőforrások fejlesztésén keresztül való optimalizálásával.

8.2 Hazai törekvések az érettségi modellek egységesítése témában

Az elmúlt években több szervezet (pl. IFKA - Iparfejlesztési Közhasznú Nonprofit Kft.; Informatikai, Távközlési és Elektronikai Vállalkozások Szövetsége; Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform Szövetség; Magyar Kereskedelmi és Iparkamara) egymással párhuzamosan végzett ipari digitalizációs felmérést a hazai vállalkozások, gazdasági szereplők felkészültségének, érettségének vizsgálata érdekében. A felmérések célja, kutatási módszertana és résztvevői részben átfedtek egymást, eredményeik részben beépültek úgy az állami, mint a tudományos szféra tudásbázisába. A felméréseken túl minősítések is születtek, amelyek tovább növelték a tématerület produktumainak inhomogenitását.

Ugyanakkor egyikük sem tud megfelelni hosszútávon egy egységes, mindenki által legitimnek tekintett kiértékelés feltételrendszerének. Ennek okán indokolt, hogy legyen egy olyan innovációs,

digitalizációs felmérés hazánkban, amivel minden érintett domináns szervezet egyetért, illetve kialakítása közös szakértői projektmunka eredménye.

Ennek legfontosabb eredményei az alábbiak lehetnének:

- létrejönne egy, a különböző támogatási programokba belépni kívánó vállalatokra is vonatkoztatható felkészültségi index, amelyet az érintett programok egységes bemeneti feltételként tudnak pályázati konstrukciókhoz alkalmazni, elősegítve a gazdasági szereplők és programvezetés stratégia alkotók kényelmét;
- megalapozhatja a K+F+I és/vagy digitalizációs stratégia irányait;
- indexálható, lehet általa mérni az elmozdulást az idő előrehaladtával;
- valós és átfogó visszajelzést adhatna a gazdaság szereplőinek önmagukról (pl. vállalati általános, technológia, digitalizáció, folyamat, szervezet, üzleti modell vonatkozású) érettségéről a versenytársakhoz képest;
- mérhető lenne, hogy egy vállalat, bármilyen helyet is foglaljon el az értékláncban – beszállító, gyártó, OEM –, mennyire érett az Ipar 4.0 koncepció és technológia befogadására, illetve meddig jutott el annak megvalósításában;
- ugyanezt a minősítést használhatnák az iparvállalatok saját potenciális üzleti partnereik kiválasztása során is, biztosítva ezáltal, hogy technológiai felkészültségben és üzleti modelljükben hasonló cégek alakítsanak ki tartós partneri hálózatokat;
- az egységes minősítési rendszer támogathatja a fenntartható minőségi termelés kialakulását, ami közvetlen, akár a GDP növekedésben is lecsapódó eredményt hozhat.

9 Összegzés

Jelen dokumentumban bemutattuk egy általunk kidolgozott keretrendszert, amely segítségével **értékelhető az ipari vállalatok egyedi objektív érettségi szintje, valamint felmérhető a hazai Ipar 4.0 ökoszisztéma szereplőinek szubjektív igényei, elvárásai.**

A szakirodalom alapján összefoglaltuk a már létező érettségi modellek ismérveit és számba vettük azon dilemmákat, kulcsterületeket és technológiákat melyeket szorosán kapcsolódnak a témához.

Megítélésünk szerint a hazai Ipar 4.0 ökoszisztéma alapvető érdeke lenne egy, az Ipar 4.0-hoz kapcsolódó általánosan elfogadott minősítési rendszer mihamarabbi kidolgozása és bevezetése, melyhez jelen tanulmány, mint kiinduló, megalapozó dokumentum kíván hozzájárulni.

10 Irodalomjegyzék

- 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.
- 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.
- Bauernhansl Thomas; Hompel Michael Ten; Vogel-Heuser Birgit (2014): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Springer, Wiesbaden
- 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.
- BITKOM; VDMA; ZVEI (2015): *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 – Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2015/Leitfaden/Umsetzungsstrategie-Industrie-40/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf> Letöltve: 2017.03.04.
- 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_Versenykepesség.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., lung, 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., & Sihm, W. (2016). Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. In: *International conference on competitive manufacturing*, 9(1), 495-501.
- Európai Parlament, Hírek (2015) Körkörös gazdaság: mit jelent, miért fontos és mi a haszna? <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/economy/20151201STO05603/korkoros-gazdasag-mit-jelent-miert-fontos-es-mi-a-haszna> (Megtekintve: 2021.03.15.)

- 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., & Éltes, A. (2021). Az Ipar 4.0 különböző értelmezései a visegrádi országok vállalatainál és szakértőinél. *Vezetéstudomány*, elbírálás alatt.
- 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.

Huileng Tan, (2020), There will be a 'massive' shuffling of supply chains globally after coronavirus shutdowns, MARCH 20, 2020, <https://www.cnbc.com/2020/03/20/coronavirus-shocks-will-lead-to-massive-global-supply-chain-shuffle.html>

Kagermann Henning; Lukas Wolf-Dieter (2011): Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI Nachrichten*, Nr.13 2011.04.01., 2. o.

Kagermann Henning; Wahlster W.; Helbring J. (2013): *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V., Berlin

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., & Forstnhäusler, 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., Rößmann, 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., 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.

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.

Monostori László (2017): *A számítógépes szerszámgépezérlésektől a kiberfizikai termelési rendszerekig*. <https://www.sztaki.hu/szefoglalok/2017-akademiai-szefoglalo-monostori-laszlo/>, Letöltve: 2017.08.19.

Monostori László; Kádár Botond; Bauernhansl T.; Kondoh T.; 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. o.

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., Jámor, 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., & Sacconi, 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.

Roland Berger (2014): *Industry 4.0 – The new industrial revolution, How Europe will succeed*. Think Act March 2014, Munich

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., & Sihm, 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., & Sihm, 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 Andrea (2015): *Szakosodás és feljebb lépés a multinacionális vállalatok globális értékláncain belül*. http://real-d.mtak.hu/861/7/dc_1027_15_doktori_mu.pdf , Letöltve: 2017.12.12.
- Szalavetz Andrea (2016a): Az Ipar 4.0 technológiák gazdasági hatásai: egy induló kutatás kérdései. *Külgazdaság*, 60.évf. 7-8.sz., 27-50. o.
- Szalavetz Andrea (2016b): Egy előre bejelentett forradalom krónikája Magyarországon: Ipar 4.0-technológiák és a hazai feldolgozóipari leányvállalatok. *Külgazdaság*, 60.évf. 9-10.sz., 28-48. o.
- 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.
- VDMA (2015): *Industrie 4.0 Readiness*. VDMA's IMPULS-Stiftung, Aachen, Köln
- 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.