



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

JUHÁSZ LÁSZLÓ

A Karbantartás 4.0 helyzetének elemzése a hazai járműiparban

Témavezető: Pokorádi László, CSc, habil

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2023.09.02.

Komplex vizsga-bizottság:

Elnök:

Prof. Dr. Berek Lajos

Tagok:

Dr. Hanka László

Dr. Kavas László

Dr. Kiss Sándor

Nyilvános védés teljes bizottsága:

Elnök:

Prof. Dr. Berek Lajos

Titkár:

Dr. Varga Péter

Tagok:

Dr. Katona Attila

Prof. Dr. Michelberger Pál

Dr. Soltész László

Bírálok:

Dr. Berényi László

Dr. Keszthelyi András

Nyilvános védés időpontja:

2024.

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ	5
1. BEVEZETÉS	7
1.1. Célkitűzések és kutatási kérdések	11
1.2. Kutatási hipotézisek	12
1.3. Kutatási lépések	13
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	15
2.1. A karbantartás szerepe és fejlődése	15
2.2. Az Ipar 4.0 elméleti alapjai	16
2.3. Karbantartás 4.0 elméleti alapjai	18
2.4. A Karbantartás 4.0 technológiái	21
2.4.1. Dolgok Internete a karbantartásban	21
2.4.2. Felhőalapú informatika a karbantartásban	22
2.4.3. Big Data analízis a karbantartásban	23
2.4.4. Additív gyártás a karbantartásban	24
2.4.5. Kiterjesztett valóság a karbantartásban	25
2.4.6. Kollaboratív robotok a karbantartásban	26
2.5. Az Ipar 4.0 és a Karbantartás 4.0 előnyei és kihívásai	27
2.6. A Karbantartás 4.0 helyzete Európában és Magyarországon	29
2.7. Covid19 világjárvány hatása az Ipar 4.0 projektekre	31
3. A FELMÉRÉS TERVEZÉSE ÉS LEFOLYTATÁSA	33
3.1. A szakértői interjúk és a pilot felmérés folyamata	33
3.2. A végső felmérés folyamata	35
3.2.1. A végső kérdőív tartalma	35
3.2.2. A végső felmérésben részt vevő vállalatok	38
3.3. Az alkalmazott elemzési módszerek	39
3.3.1. Az alkalmazott statisztikai eljárások	39
3.3.2. Az adatok elemzésének lépései	43
3.3.3. A fogalomtársítási módszer	44
4. A FELMÉRT ADATOK ELEMZÉSE	47
4.1. A különböző Karbantartás 4.0 fejlettségen lévő vállalatok összehasonlítása. 47 Következtetések	59
4.2. Kis- és középvállalkozások nagyvállalatokkal való összehasonlítása	60
Következtetések	68
4.3. Hazai és külföldi tulajdonú vállalatok összehasonlítása	69
Következtetések	76
4.4. A fogalomtársításra adott válaszok elemzése	77

Következtetések	83
4.5. A Covid19 ipari digitalizációra gyakorolt hatása	83
Következtetések	88
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	90
5.1. Hipotézisek értékelése	91
5.2. Kutatási kérdésekre adott válaszok	92
5.3. Tézisek	93
5.4. Ajánlások	94
FELHASZNÁLT IRODALOM	96
A témában megjelent saját publikációk	109
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	112
ÁBRÁK JEGYZÉKE	115
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	117
MELLÉKLET	120
A kérdőív kérdései	120

ELŐSZÓ

Egy igazán jól működő gyártó vállalatnál vagy bármely műszaki szervezetnél a klasszikus ipari mérnöki tudományok (gépészet, villamosság, informatika) akkor igazán hatékonyak, ha nem külön-külön fejlődnek, hanem a közös cél elérése érdekében együttműködnek, egymást kiegészítik. Az elmúlt évtizedekben az informatika gyors terjedése ezt a folyamatot erősítette, a digitalizálás egyre inkább érezteti hatását. Ezzel a jelenséggel a hagyományos műszaki tudományok határai egyre inkább elmosódnak, a fizikai és a virtuális világ egyre közelebb kerülnek egymáshoz. A gyártási szektorban ez a tendencia az Ipar 4.0, vagyis a negyedik ipari forradalom formájában jelenik meg, amely már nevében is előrevetíti a korábbi ipari forradalmakhoz mérhető jelentőségét.

Az Ipar 4.0 a gépek, rendszerek és folyamatok automatizálását, az adatok intelligens elemzését és az információ gyors áramlását jelenti. A negyedik ipari forradalomnak jelentős gazdasági hatásai vannak, mivel lehetővé teszi a termelékenység növelését, az üzleti folyamatok hatékonyságának javítását, és használatával új üzleti modellek jelennek meg. Az új digitális megoldások alkalmazása révén az Ipar 4.0 segít optimalizálni a termelést, csökkenti a hibalehetőségeket és növeli a gyártási kapacitást. Emellett lehetőséget ad a személyre szabott, egyedi termékek és szolgáltatások előállítására.

Az Ipar 4.0 nemcsak technológiai fejlődést hoz, hanem jelentős versenyelőnyt is biztosít azoknak a vállalatoknak és országoknak, amelyek képesek alkalmazkodni az ipari digitalizáció elvárásaihoz. Az Ipar 4.0 az Európai Unió iparstratégiájának részévé vált, az EU számos kezdeményezéssel támogatja az ipari digitalizálás kutatására, fejlesztésére és alkalmazására irányuló projekteket. Hazánk gazdaságának versenyképessége és a globális értéklánchoz való minél hatékonyabb bekapcsolódása szempontjából kulcskérdés az ipari gyártásban az új innovációs irányokhoz való alkalmazkodás, a világban lezajló trendek minél gyorsabb adaptálása. A gyakorlat viszont azt mutatja, hogy különböző okok miatt ilyen törekvésekre a hazai ipari szereplőknél egyelőre kevés jel mutatkozik.

Mérnöki munkám során több, jellemzően német autóipari cégnél megfordultam. Ezekben a gyárakban kifejezetten vagy érintőlegesen az alkalmazott karbantartási megoldások figyelemmel kísérése is a feladataim közé tartozott. Munkahelyi tapasztalatom alapján úgy vélem, hogy az üzemeltetési és karbantartási folyamatok válhatnak az új ipari forradalom és a digitalizálás egyik legnagyobb nyertesévé. Az Ipar 4.0 technológiák

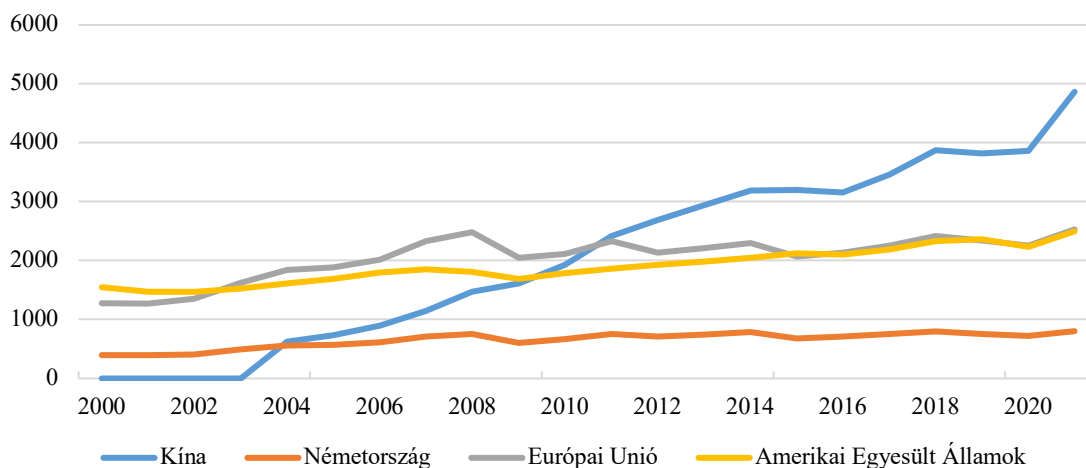
lehetővé teszik a gépek és folyamatok folyamatos, valós idejű adatgyűjtését. Ezáltal a karbantartás időben történő tervezése és előrejelzése könnyebbé válik, és az esetleges hibalehetőségeket előre fel lehet ismerni. Ez csökkenteni tudja a tényleges meghibásodásokat és a nem tervezett leállásokat, növeli a gépek rendelkezésre állását, valamint optimalizálja a karbantartási ciklusokat és az erőforrásfelhasználást. A karbantartási eljárásoknak továbbá rendkívül magas a szakmai tudásigénye, amelyet az új intelligens megoldásokba át lehet vezetni, majd ezen feladatokat automatizálni.

Doktori kutatásom célja az, hogy hozzájáruljak a hazai karbantartás digitalizációjának erősítéséhez, és hogy ezáltal az iparág versenyképesebb és hatékonyabb legyen. Ennek érdekében nagy hangsúlyt helyezek arra, hogy feltárjam a lemaradás okait, amelyek a hazai karbantartási szektorban tapasztalhatók az Ipar 4.0 területén. Fontosnak tartom, hogy azonosítsuk ezeket az okokat, hogy azok alapján konkrét megoldásokat tudjunk javasolni a lemaradás csökkentésére és a digitalizáció előrehaladásának elősegítésére.

1. BEVEZETÉS

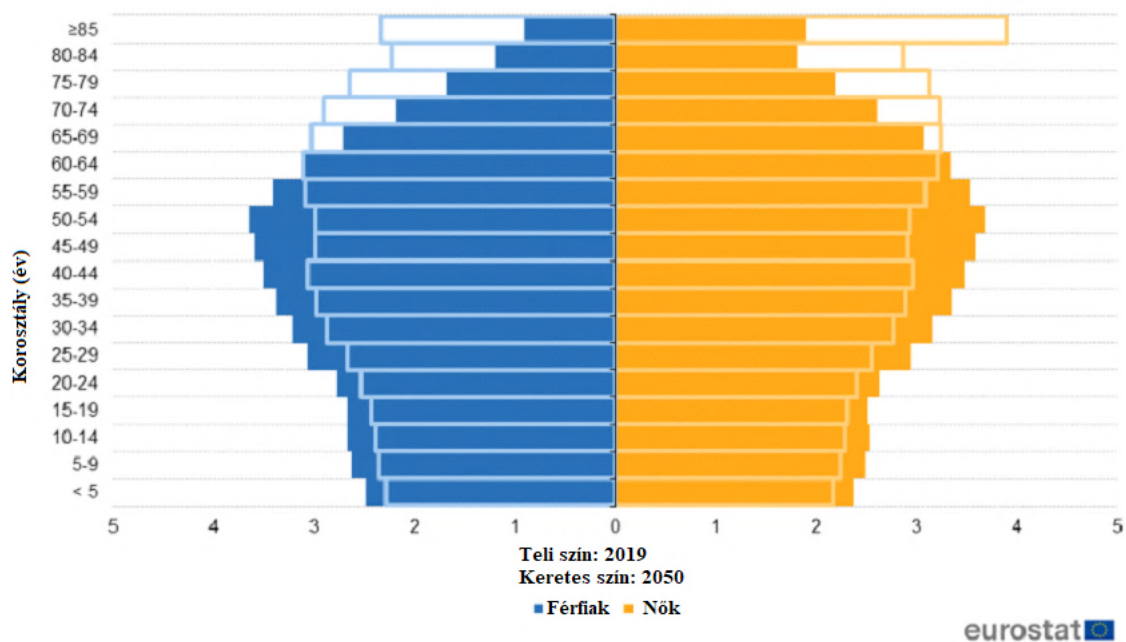
A feldolgozóipar az Európai Unió egyik gazdasági kulcsszektora. A gyártási tevékenységek, azon belül a termékgyártás az egyik legnagyobb hozzáadott értékű szektornak [1] számít, illetve ez az ágazat foglalkoztatja a legtöbb munkavállalót (30,2 millió fő) [2] a térségben. Az export több mint 80%-a, a nem állami kutatások 80%-a valamilyen feldolgozóipari tevékenységből származik, így az ipari termelés az EU tagállamaiban a fenntartható gazdasági növekedés egyik motorja [3][4].

Az ágazat azonban kihívásokkal küzd a térségben. Az uniós tagállamok az ipari teljesítményük több mint egyharmadát veszítették el az utóbbi 40 évben. Európának egyre kisebb a részesedése a globális feldolgozóiparban (1. ábra) [5], elsősorban Ázsia kezdi átvenni a vezető világpiaci pozíciót.



1. ábra A világ egyes területeinek feldolgozó ipari hozzáadott értéke (100 millió amerikai dollárban) (forrás: [4])

Ennek a hanyatló tendenciának több összetevője van, az Európai Unió tagállamoknak különböző 21. századi kihívásokkal kell szembenézniük. Az egyik ilyen kihívás az egyre inkább romló demográfiai mutatókban érhető tetten. A termékenységi ráta a reprodukciós szint alatt van, a jelenlegi trendek alapján a tagállamokat hosszú távon elérheti az előregedő társadalom problémája (2. ábra) [6]. Ez magával hozza a munkaképes korú személyek számának csökkenését, ami az ipar számára nehézséget okozhat a megfelelő számú munkaerő megtalálásában [2].



2. ábra Az Európai Unió populációja 2019-ben és 2050-ben (forrás: [6])

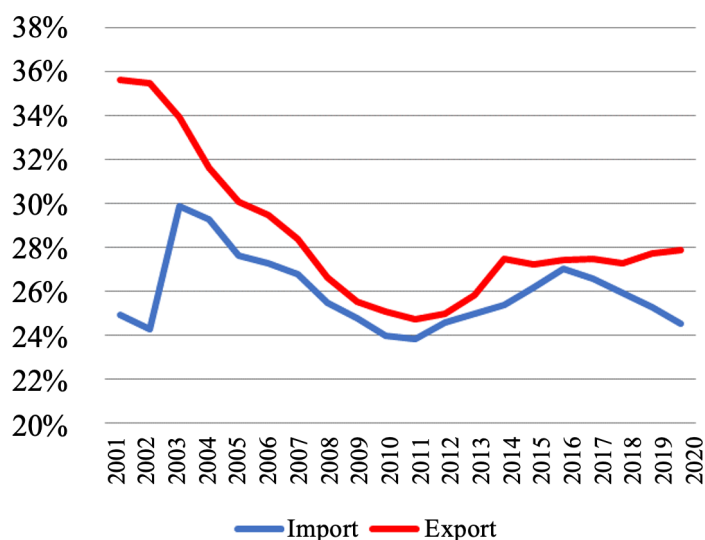
Az iparnak továbbá alkalmazkodnia kell a termékek iránti kereslet várható átalakulásához is. Ez annyit jelent, hogy a vásárlók egyre inkább az egyéni, személyre szabott termékeket fogják keresni [7] [8] [9] [10]. Ez a korábban megszokott, gazdaságosan legyártható szériatermékek visszaszorulását jelenti, amihez az egész ellátási láncnak át kell alakulnia, hogy a kis darabszámú, vagy éppen egydarabos termékgyártást is megfelelően le tudja képezni.

Gazdasági szakemberek és nemzeti döntéshozók szerint [11] [12] ezekre a kihívásokra tud választ adni az ipari digitalizálás, vagyis az Ipar 4.0. Az Európai Parlament egyik szakmai anyaga alapján [3] ettől az új stratégiától a szakemberek az ipari folyamatok megnövekedett automatizálását, nagyobb rugalmasságát, a termékvariációk megsokszorozódását, gyorsabb gyártási sebességet, jobb termékminőséget, valamint gazdaságosabb üzemeltetést várnak.

Az Európai Bizottság 2012-ben célul tűzte ki, hogy a feldolgozóipar 2020-ra az EU teljes hozzáadott értékének 20%-át tegye ki. Ehhez kapcsolódóan az Európai Unió legerősebb feldolgozóiparával rendelkező Németország 2013-ban jelentette be az Ipar 4.0 Platformjuk (Industrie 4.0 Platform) megalapítását. Ennek keretei között a legnagyobb németországi ipari szövetségek (például a BITKOM) és a főbb ipari szereplők közösen alakíthatják ki és fejleszthetik a negyedik ipari forradalom projektet. Az Ipar 4.0, vagyis „A jövő gyárai” az Európai Unió ipari és innovációs stratégiájának részévé vált [13],

amely a következő évtizedekre vonatkozó állami szintű ipari innovációs irányvonalát jelenti. Mára az összes uniós tagország kialakította a saját ipari digitális transzformációval foglalkozó platformját [14], azonban az Ipar 4.0 igazi előmozdítója továbbra is Németország, illetve a német gazdaság.

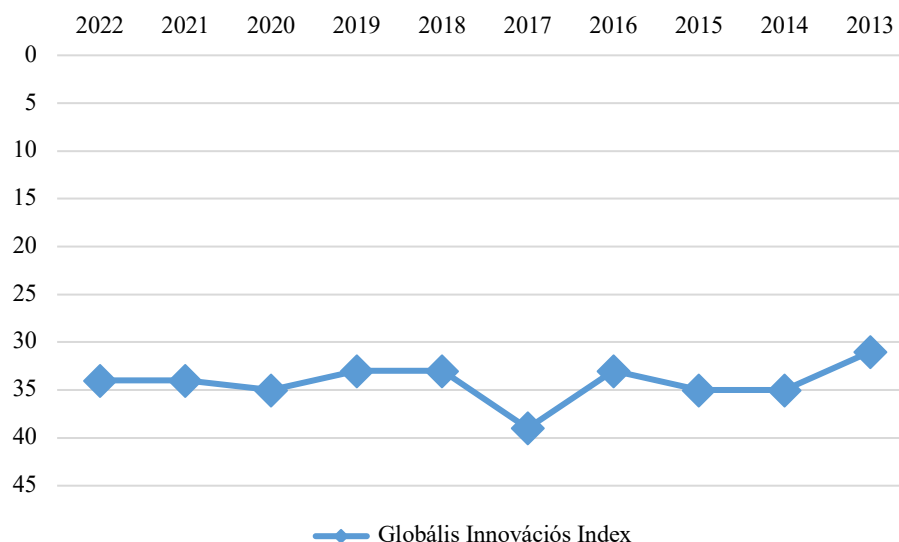
Magyarország legfőbb külkereskedelmi partnere – több közép-európai országhoz hasonlóan – Németország. Az ország importjának hozzávetőlegesen 25%-át, exportja 28%-át német partnerekkel bonyolította 2020-ban (3. ábra) [15]. Így hazánk gazdasági sikere nagymértékben függ a német teljesítménytől, illetve a két ország közötti minél gördülékenyebb kereskedelemről. Ezáltal gyorsan kell alkalmazkodnunk a német innovációkhoz, a rendszerszintű elvárásokhoz annak érdekében, hogy a kereskedelmet megfelelően tudjuk lebonyolítani a német iparral.



3. ábra Magyarország Németországgal való import és export aránya (forrás: [15])

A magyar ipari szegmens az Európai Unióra jellemző, korábban említett kihívásokkal küzd. A hazai vállalatok, különösen a magyar tulajdonú kisebb üzemek versenyképessége elmarad a világ vezető részétől, az ország innovációs indexe az utóbbi évtizedben stagnálást mutat [16] [17] [18] (4. ábra).

Az Ipar 4.0 és az ipari digitális transzformáció kitörési pont lehet Magyarország gazdasági versenyképességének növelésére [19]. A digitalizálással járó előnyök realizálásához azonban a vállalkozásoknak be kell fektetniük az infrastruktúrába, az új technológiákba és személyzetbe, valamint az adatáramlások integrációjába, ezek által részt tudnak venni a globális értékláncban [JL4].



4. ábra A magyar helyezés a Globális Innovációs Index listán (forrás: [18])

Fontos kérdés azonban, hogy az ipari digitalizálási tendenciák mennyiben érintik a magyarországi ipari szereplőket [JL1], és azok hogyan jelentek meg az általános szakmai stratégiájukban. Fontos továbbá vizsgálni, hogy milyen közvetlen kihívásokkal néznek szembe az egyes ipari szereplők. Ennek a helyzetnek a megértését követően bizonyos vállalatípusokra jellemző ajánlásokat lehet megfogalmazni, ezzel segítve hazánk vállalatainak digitális transzformációját.

Egy vállalaton belül a karbantartási folyamatok lehetnek az új digitális megoldások legnagyobb haszonélvezői. Ennek a részlegnek rendkívül nagy a szakmai tudásigénye, hiszen az összes üzemeltetési rendszert kell működésben tartania. Továbbá a karbantartási folyamatok üzemi szintjét nagyszerűen lehet automatizálni az egyre inkább elterjedt okos szenzorok, aktuátorok és a hozzájuk tartozó okos infrastruktúra segítségével.

A karbantartási folyamatok az utóbbi időszakban egyre inkább beépültek az üzemeltetési tevékenységekbe és kulcskérdéssé váltak egy üzem termelési biztonságának fenntartásában. Megfelelő működésük esetén az egész termelési tevékenység optimálisan tud működni, el lehet velük kerülni a nem várt leállásokat, a nagyobb anyagi és környezeti károkat. A minőség tartásán túl a munkavédelmi biztonság, adott esetben a környezeti biztonság is alapvető szempont a megfelelő üzemeltetés fenntartásában. Ezért rendkívül fontos és aktuális a hazai vállalatok karbantartási folyamatainak megbízhatóságával és korszerűségével foglalkozni.

1.1. Célkitűzések és kutatási kérdések

Kiemelten fontosnak tartom, hogy a hazai ipart nemzetközi szereplőkkel hasonlítsuk össze, azon belül is mérjük a digitális felkészültségünket. Az Európai Unió szerepe különös jelentőséggel bír ebben az összefüggésben, hiszen az Unió által meghatározott irányelvek és kezdeményezések nagy hatással vannak az ipari folyamatokra. A karbantartási folyamatok digitalizálása az EU által is támogatott Karbantartás 4.0 koncepciójában és az ehhez kapcsolódó fejlesztésekben jelenik meg. A hazai ipar ezen innovációkra való felkészültsége tehát kulcskérdés.

Kutatásomat Magyarország egyik legfejlettebb és legnagyobb hatású szektorában, az autóiparban folytattam, amely nemcsak jelentős részarányt képvisel a hazai GDP-ben (mintegy 25%) [20], hanem az egész beszállítói láncsal együtt élen jár a különböző innovációk alkalmazásában.

Célom volt megismerni, hogy a magyarországi autóipari vállalatok karbantartási szakemberei miképpen gondolkodnak a digitalizációról és a Karbantartás 4.0-ról, illetve a saját folyamataikat tekintve hol tartanak ezeknek a bevezetésében.

Külön érdemes megvizsgálni a vállalatok méretét a Karbantartás 4.0 fejlettségének vonatkozásában. A hazai iparban működő kis- és középvállalkozásokra (KKV) jellemző, hogy számukra korlátozott erőforrás és infrastruktúra áll rendelkezésre, ami a különböző innovációs törekvésekben hátrányt jelenthet. Célom volt, hogy feltérképezsem az autóipari KKV-k és a nagyvállalatok között fennálló különbségeket és az esetleges sajátos jegyeket a karbantartási folyamataik digitalizálásában.

Magyarországon számos külföldi autóipari vállalat működtet leányvállalatot, amelyek az anyacég nemzetközi tudástőkéjét felhasználva élen járnak a különböző ipari innovációs beruházásokban. Fontos azonban összehasonlítani ezeknek a vállalatoknak a helyzetét a Magyarországon működő hazai tulajdonosi háttérrel rendelkező vállalatokkal. Célul tűztam ki azt, hogy felmérjem, hogy a különböző tulajdonosi háttérrel rendelkező vállalatok milyen módon alkalmazzák az Ipar 4.0 innovációit a karbantartási folyamatokban.

A Covid19 világjárvány hatása szintén lényeges szempont volt a kutatás során, hiszen az nagy hatással volt az ipari szektorra és a karbantartásra. Fontos azt felmérni, hogy a járvány, illetve az azt követő lezárások mennyiben erősítették vagy gyengítették a digitális átalakulást a karbantartási folyamatokban.

Az említett tényezők felhasználásával az alábbi kutatási kérdéseket fogalmaztam meg:

Kutatási kérdések (KK):

- KK1:** A magyar autóipari vállalatok milyen fejlettségi szinten állnak a karbantartási folyamataik digitalizálásában?
- KK2:** A magyarországi autóipari kis- és középvállalkozások, illetve a nagyvállalatok karbantartási részlegei milyen különbségeket és sajátos jegyeket mutatnak a Karbantartás 4.0 bevezetésének tekintetében?
- KK3:** A Magyarországon működő magyar, illetve külföldi tulajdonú autóipari vállalatok karbantartási részlegei milyen különbségeket és sajátos jegyeket mutatnak a Karbantartás 4.0 bevezetésének tekintetében?
- KK4:** Hogyan hatott a Covid19 járvány a hazai autóipari vállalatok karbantartási folyamatainak digitalizálására?

1.2. Kutatási hipotézisek

Az Ipar 4.0 és Karbantartás 4.0 bevezetése nemzetgazdasági szempontból ugyan rendkívül fontos és előnyös, azonban a vállalatoknak számos nehézséggel kell szembenéznük azok kivitelezése során. Ilyen nehézség például a magas beruházási költség, a nem megfelelő munkaerő vagy az általános ismerethiány. Ezekkel a hátrányokkal a 2. fejezetben részletesen foglalkozom. A hazai autóiparban szerzett saját tapasztalatom és a felmérés megalapozása során megkérdezett szakemberek véleménye alapján hipotézisem szerint a nehézségek egyelőre jobban érvényesülnek, vagyis a magyar autóipari vállalatok alacsony fejlettségi szinten vannak a Karbantartás 4.0 bevezetése tekintetében.

A kis- és középvállalkozások számára a különböző skálázható digitális megoldások (például felhő informatika) megfelelő eszközök lehetnek a folyamataik digitalizálására, azonban ezen vállalatok számára jellemzően korlátozott erőforrások és infrastruktúra áll rendelkezésre, ami megnehezítheti a különböző digitalizációs projektek érvényesülését. Hipotézisem szerint összefüggés van a vállalat mérete és a Karbantartás 4.0 bevezetési szintje között, azaz a KKV-k alacsonyabb fejlettségi szinten vannak a nagyvállalatokhoz képest.

Fontos tisztázni, hogy a Magyarországon működő hazai tulajdonú vállalatok milyen fejlettségi szinten vannak a folyamataik digitalizálásában, és hogyan vélekednek az egész koncepcióról a külföldi tulajdonú vállalatokkal összehasonlítva. Hipotézisem szerint a magyar tulajdonú vállalatok elmaradnak a Karbantartás 4.0-át tekintve a külföldi tulajdonú cégek leányvállalataitól, hiszen jellemzően nem áll rendelkezésükre ugyanaz a nemzetközi tudástőke, tapasztalat és erőforrás.

A Covid19 világjárvány alapjaiban határozta meg a hazai autóipari vállalatok üzletmenetét. Ennek különböző hatásaival a 2. fejezetben részletesen foglalkozom. Hipotézisem alapján a világjárvány miatti lezárásoknak a Karbantartás 4.0 bevezetési projektekre pozitív hatása volt a hazai járműiparban, vagyis az erősítette a karbantartási folyamatok digitalizációját.

Az említett szempontok figyelembevételével az alábbi kutatási hipotéziseket fogalmaztam meg:

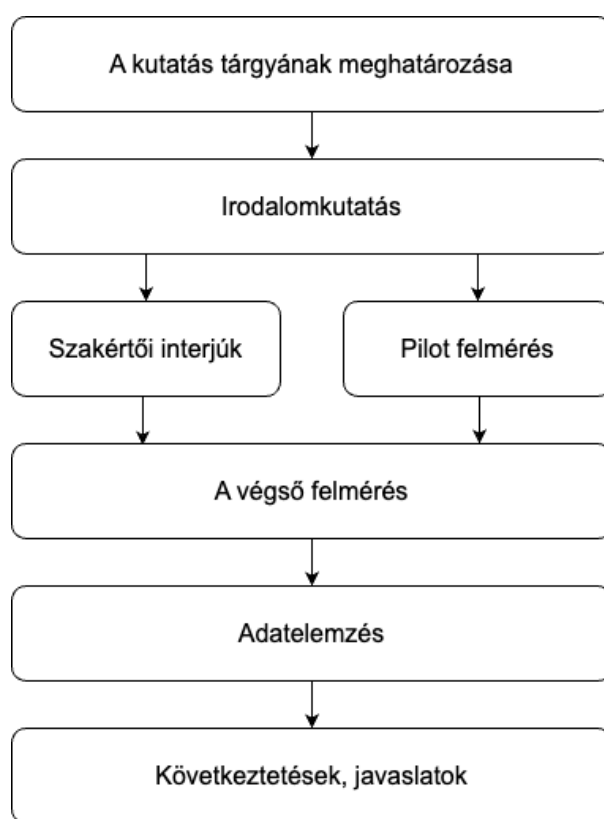
Hipotézisek (H):

- H1:** A magyar autóipari vállalatok a Karbantartás 4.0 bevezetés alacsony fejlettségi szintjén vannak.
- H2:** A magyarországi autóiparban a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szint között összefüggés van. A kis- és középvállalkozások alacsonyabb bevezetettségi szinten vannak a nagyvállalatokhoz képest.
- H3:** Összefüggés van a Magyarországon működő autóipari vállalatok tulajdonosi nemzetisége és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szintje között. A magyar tulajdonú vállalatok alacsonyabb bevezetettségi szinten vannak a külföldi tulajdonú vállalatokhoz képest.
- H4:** A Covid19 világjárvány felgyorsította a karbantartási folyamatok digitalizációját a hazai autóipari vállalatoknál.

1.3. Kutatási lépések

A kutatásom fő lépéseit az 5. ábra szemlélteti. A kutatás céljainak meghatározása után részletes irodalmi feltárásba kezdtem, ami megfelelő kontextusba helyezte a végső felmérést. Ennek keretei között körül jártam az Ipar 4.0 és a Karbantartás 4.0 elméleti hátterét, technológiáit, bevezetési előnyeit és nehézségeit. Az irodalomkutatás

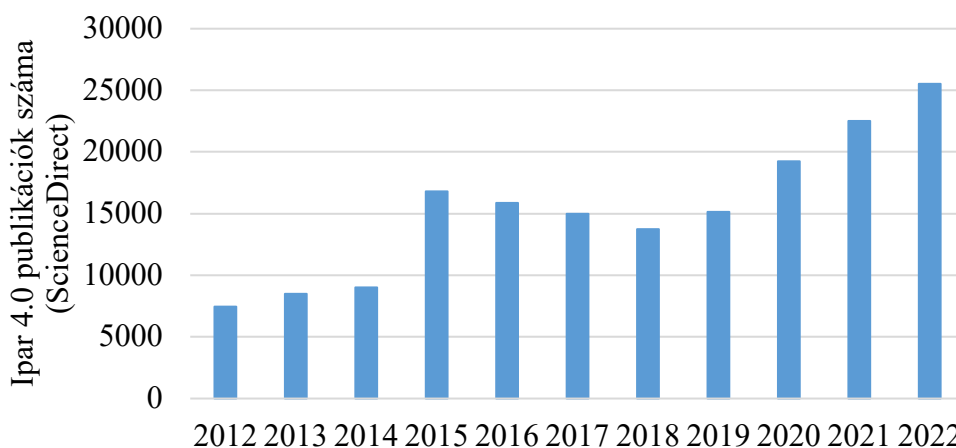
eredményeit a 2. fejezetben ismertetem. Ezt követően mind kvalitatív (szakértői interjúk), mind kvantitatív (pilot felmérés) módon folytattam a téma feldolgozását. Az előzetes felmérés részleteit a 3.1. alfejezet mutatja be. Az irodalmi megalapozás és az előzetes felmérések megfelelő alapot adtak a végső felmérés kérdéseinek összeállításához. A végső felmérés folyamatát a 3.2. alfejezet mutatja be. A végső felmérésből származó válaszokat rendszereztem, majd adatelemzést hajtottam végre a 3.3. alfejezet módszerei alapján. Ennek eredményeit a 4. fejezetben részletezem. Végül az 5. fejezetben következtetéseket vonok le és javaslatokat teszek a kutatás eredményének összefoglalásaként, melyek alapján megfogalmazom a tudományos téziseimet.



5. ábra A kutatás főbb lépései

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az Ipar 4.0 egy viszonylag részletesen kutatott témakör, a kifejezést tartalmazó tudományos publikációk éves száma a fogalom megjelenésétől kezdődően növekszik a ScienceDirect keresőoldala alapján (6. ábra) [21]. A továbbiakban a felméréshez szükséges szakirodalmat járom körül.



6. ábra A ScienceDirect publikáció találatok „Industry 4.0” keresőszóra (forrás [21])

2.1. A karbantartás szerepe és fejlődése

Az ipari forradalmak következtében a berendezések egyre nagyobb teljesítményre lettek képesek, egyre nagyobb értéket tudtak előállítani. A megfelelő szintű megbízhatóságukra egyre nagyobb figyelem hárult. Ezáltal a 20. század gyors ipari fejlődése magával hozta az üzemeltetési és karbantartási folyamatok fejlődését is [21].

Kezdetben, nagyjából a 2. világháború előtti időkhöz a meghibásodásig tartó üzemeltetési stratégia volt jellemző az iparban [22]. Ebben az időben a gépeket addig használták, üzemeltették, amíg az el nem romlott, ami állásidőt okozott. Ez a megközelítés költséges és nem elég hatékony, mivel a meghibásodások nem tervezett állásidőhöz és termelékenységsökkenéshez vezettek.

Ahogy az állásidő egyre nagyobb költséggel járt, úgy egyre inkább igyekeztek ennek időtartamát lecsökkenteni. Az 50-es, 60-as évek repülőipara magával hozta a kötött idejű, tervszerű karbantartást [23]. Ennek keretei között egy előre meghatározott üzem-, naptári időszakonként, vagy egy bizonyos teljesítmény elérése (például legyártott darabszám) után a berendezés kritikus egységeit preventív jelleggel ellenőrzik vagy cserélik.

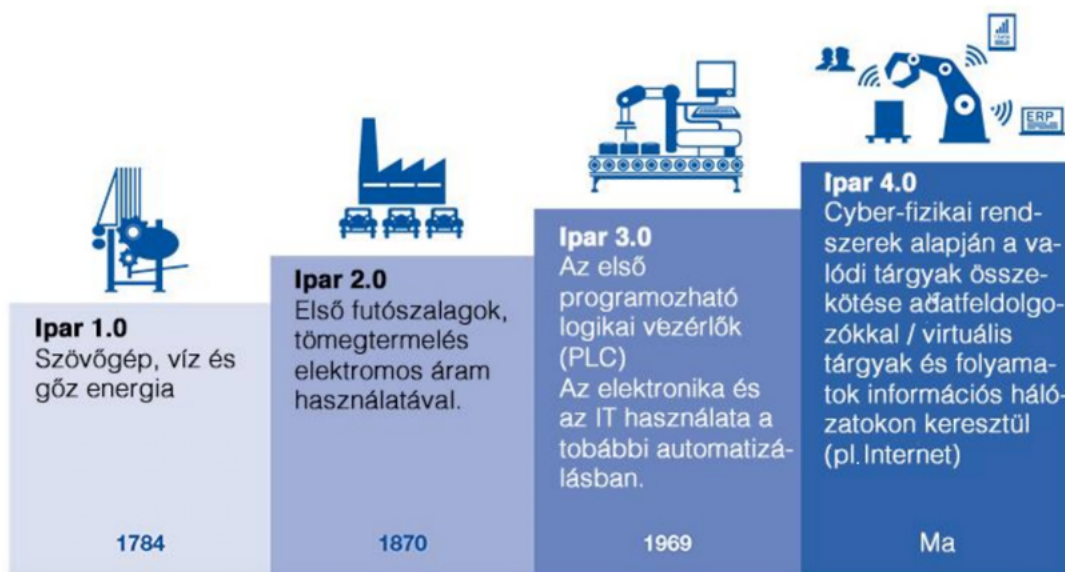
A szenzorok és diagnosztikai eszközök fejlődésével és gazdaságos használatával a

jellemző paraméter szerinti üzemeltetés lett egyre népszerűbb az iparban, különösen a kritikus berendezések üzemeltetésénél [24]. Ebben az esetben „a folyamatot az üzemeltetés tárgyának állapotát jellemző paraméter vagy paraméterek mérésével és a mért adatok kiértékelésével határozzuk meg. A paraméterek ellenőrzése lehet folyamatos vagy időszakos” [25].

A Karbantartás 4.0 ennek a fejlődési ívnek hozta el a következő generációját. A Karbantartás 4.0 egy olyan fogalom, amely az Ipar 4.0 technológiák használatára utal a gyártóüzemek karbantartási folyamatainak javítása érdekében.

2.2. Az Ipar 4.0 elméleti alapjai

Az összes ipari forradalom valamilyen új műszaki technológia gazdaságos tömegszerű hasznosításával kezdődött (7. ábra). Ilyen volt a 18. század végén a gőz- és vízenergia használatával működő gyártó berendezések feltalálása [26], mint például James Watt gőzgépe, a Montgolfier testvérek hőlégballonja vagy Richard Trevithick gőzmozdonya. A második ipari forradalmat a 19. század végén az elektromosság egyre magasabb szintű alkalmazása jelentette [27]. Az elektromos energiát hasznosító különböző berendezések (például az izzólámpa, a telefonközpont vagy a villanymotor) egyre magasabb szinten tudták támogatni a gyártási teljesítmény fokozását, míg el nem érték a tömeggyártást. Az 1970-es évektől a különböző félvezetők elterjedése kirobbantotta a harmadik ipari forradalmat. Ezeknek a segítségével olyan eszközöket tudtak kifejleszteni, mint a programozható logikai egységek (PLC-k), személyi számítógépek vagy a programozható robotok. Ezek az eszközök lehetővé tették az egyre magasabb szintű irányítást, ami elvezetett a gyártás teljes körű automatizálásához. Napjainkban pedig a negyedik ipari forradalom kialakulását éljük. Ezt a forradalmat közvetlenül az ugrásszerűen megnövekvő számítási teljesítmény indokolta, amivel különböző fejlett kiber-fizikai rendszerek tudnak létrejönni [28] [JL5]. Ezáltal el tudunk érni az ipari fejlettség következő szintjére, ami az „intelligens” gyártást jelenti.



7. ábra Az ipari forradalmak és jellemzőik (forrás: [29])

A negyedik ipari forradalom vagy az Ipar 4.0 kifejezés megjelenését a 2011-es Hannoveri Vásárhoz lehet kötni. Itt mutatták be [29] a technológia alapjait a Német Műszaki Tudományok Intézet (Acatech), a Német Kutatási Minisztérium Kulcstechnológiák – Innováció-kutatás (Schlüsseltechnologien – Forschung für Innovationen) és a Német Mesterséges Intelligencia Kutatóintézet (DFKI GmbH) vezetői együttműködésben. Véleményük szerint: „Az Ipar 4.0 lehetőséget kínál Németországnak, hogy tovább erősítse pozícióját mind gyártási lokációként, mind gyártóberendezések és IT üzleti megoldások beszállítójaként.”

A hivatalos német szövetség által megadott definíció szerint [30]: „Az Ipar 4.0 az ipari gépek és folyamatok intelligens hálózatba kapcsolását jelenti az információs és kommunikációs technológia segítségével.” A McKinsey vállalatfejlesztési tanácsadó cég [31] „az Ipar 4.0-t a gyártási ágazat digitalizálásaként határozza meg, amely gyakorlatilag minden termékalkatrészbe és gyártási berendezésbe beágyazott érzékelőket, mindenütt jelenlévő kiberfizikai rendszereket és az összes releváns adat elemzését jelenti”. Koch és társai [32] szerint: „Az Ipar 4.0 kifejezés a negyedik ipari forradalmat jelenti, és leginkább a szervezés és a termékek életciklusának teljes értéklánca feletti ellenőrzés új szintjeként értelmezhető, és az egyre inkább személyre szabott vásárlói igényekre irányul.”

Hermann és társai a következő négy alapelvvvel jellemezték az Ipar 4.0-t [33]:

Együttműködés – Az Ipar 4.0 a gépek, eszközök, érzékelők és emberek azon

képessége, hogy egy közös rendszerben össze tudnak kapcsolódni és kommunikálni tudnak egymással.

Információs átláthatóság – Az Ipar 4.0 technológia által biztosított átláthatóság átfogó információkkal látja el az üzemeltetőket a gyártási folyamat minden pontjáról, ezáltal azonosítani tudják azokat a kulcsfontosságú területeket, amelyeken javítani lehet a funkcionalitás növelése érdekében.

Technikai segítségnyújtás – A rendszerek technológiai lehetősége, hogy segítsék az embert a döntéshozatalban, a problémamegoldásban, valamint a nehéz vagy nem biztonságos feladatokban.

Decentralizált döntések – A kiberfizikai rendszerek azon képessége, hogy a legmagasabb hatékonyság elérése érdekében önállóan döntsenek és a lehető legautonómban végezzék feladataikat. Csak bizonyos kivételes esetekben delegálják a feladatokat egy magasabb szintre.

Kagermann [34] további két alapelvvel egészítette ki ezt a meghatározást:

Virtualizáció – A gyártási szinten lévő szenzorok lehetővé teszik a gyártási folyamatok távoli nyomon követhetőségét és monitorozását.

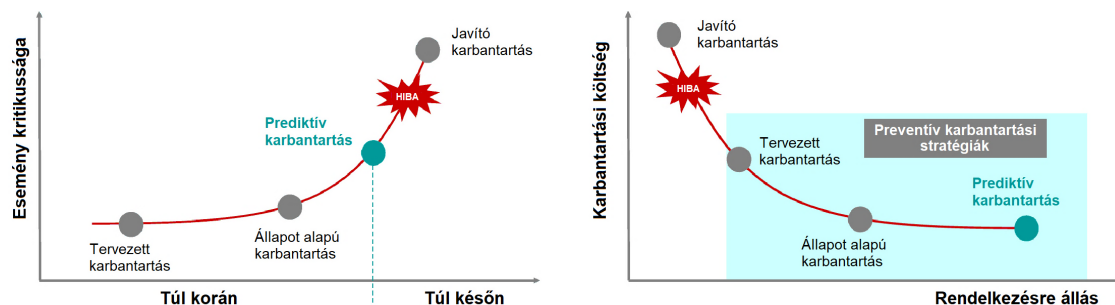
Modularitás – A gyártási folyamatnak megfelelően könnyen lehet gyártási modulokat a rendszerhez illeszteni, illetve attól elvenni.

2.3. Karbantartás 4.0 elméleti alapjai

A Karbantartás 4.0 egy új kifejezés, amely a termelőberendezések karbantartásának következő generációját határozza meg. Jasiulewicz és társai [35] szerint „a Karbantartás 4.0 az eszközök jövőbeli meghibásodásainak előrejelzéséről és végső soron a leghatékonyabb megelőző intézkedésről szól, a műszaki állapotról, a használatról, a környezetről, a karbantartási előzményekről és a máshol található hasonló berendezésekre vonatkozó nagy mennyiségű adatra vonatkozó fejlett elemzési technikák alkalmazásával, és tulajdonképpen minden olyan dologról szól, amely összefüggésbe hozható az eszköz teljesítményével”. Vagyis a Karbantartás 4.0 az Ipar 4.0 elveknek és eszközöknek az üzemeltetési és karbantartási folyamatokra való alkalmazása.

Rødseth és társai [36] szerint az Ipar 4.0 prioritásai közé tartozik a karbantartás-tervezés és a termelés teljes integrációja, amely gazdaságosabb termelési rendszert tesz lehetővé a

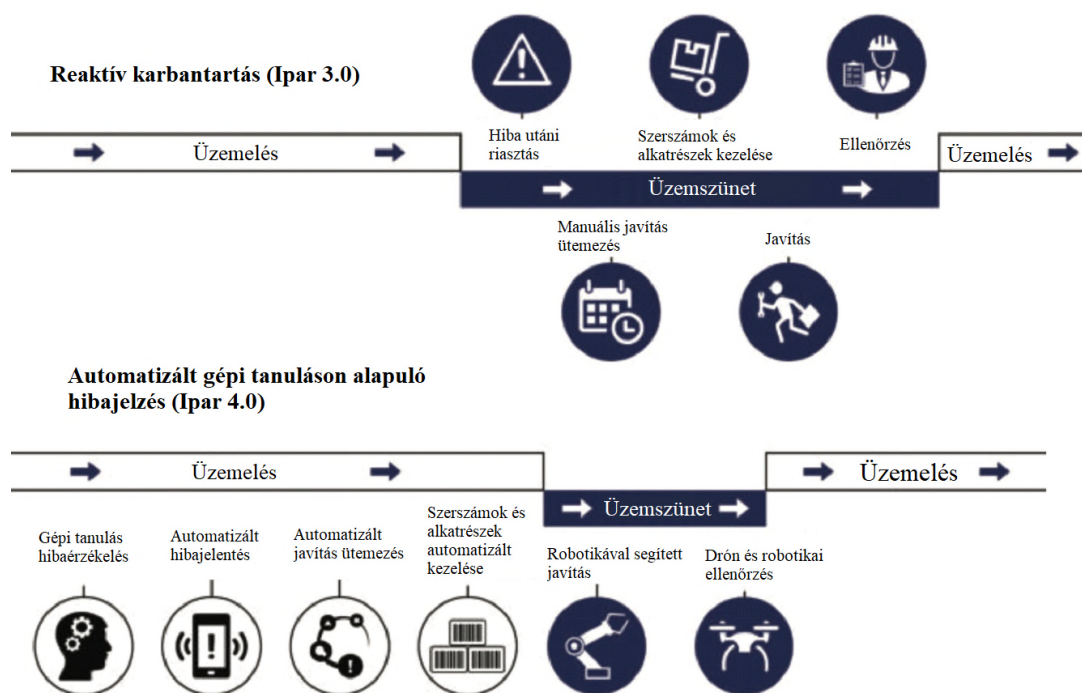
vállalatok számára. A Karbantartás 4.0 célja, hogy az új, digitális módszerekkel a lehető legkisebb állásidővel és optimális költségráfordítással megfelelő biztonság mellett lehessen üzemeltetni a gyártó berendezéseket (8. ábra).



8. ábra Az üzemeltetési stratégiák összehasonlítása (forrás: [37])

A hagyományos és a Karbantartás 4.0 összehasonlítására mutat egy tipikus esetet a 9. ábrán látható példa [38]. Korábban, a reaktív karbantartás során többnyire csak a hiba bekövetkezése után értesítették a szakembereket, és csak ezután kezdődött el a javítási folyamat. Ez a hiba jelzésével indult, majd beütemezték a manuális javítási munkát. Ezután a cserealkatrészek és a javító eszközök beszerzése, ütemezése történt. Ha minden rendelkezésre állt, elvégezték a javítási munkát, majd ellenőrizték a rendszer újbóli megfelelő működését. Ez esetben sok idő telt el állásidőben.

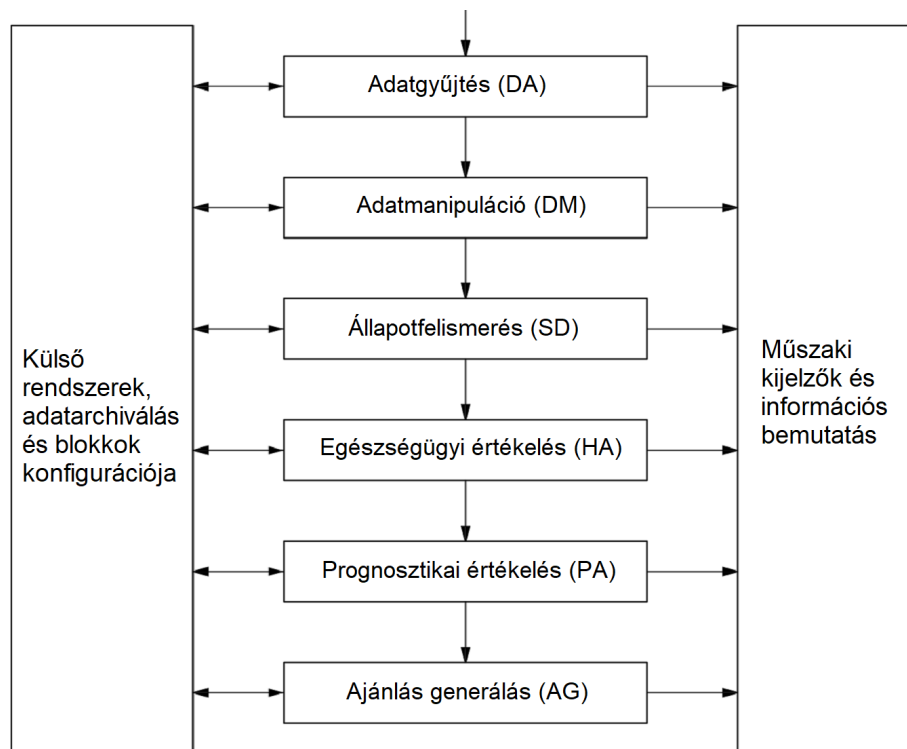
A Karbantartás 4.0 keretében a rendszer működése során folyamatosan fut a háttérben egy támogató rendszer, amely gépi tanulási módszerekkel elemzi a rendszer pillanatnyi állapotát. Ez a támogató rendszer már előre tudja jelezni a rendszer egy későbbi meghibásodását vagy karbantartást igénylő állapotát még annak bekövetkezése előtt. Ez megfelelő időben hibajelzést tud adni a többi támogató folyamatnak, és ezzel automatikusan további folyamatok indulnak el a háttérben. Beütemezésre kerül az összes szükséges erőforrás (alkatrész, eszköz, személyzet), hogy a műveletet a szükséges időben a lehető leggyorsabban és leghatékonyabban el lehessen végezni. Az Ipar 4.0-nak megfelelően a műveletet különböző új generációs eszközökkel (például kobotok) is lehet támogatni. Ezáltal az egész leállási idő rendkívül le tud csökkenni.



9. ábra Az Ipar 3.0 és Ipar 4.0 hibajavítási folyamatlépései (forrás: [38])

Cachada és társai [39] a Karbantartás 4.0 tipikus adatfolyamaként hivatkoznak az állapot-alapú karbantartáshoz használt nyílt rendszerarchitektúrára (OSA-CBM). Az OSA-CBM-et az ISO 13374-es szabvány írja le [40], amely az architektúra részeként a következő szinteket adja meg (10. ábra):

- **Adatgyűjtés (DA):** A digitális szenzorokból és jelátalakítókából származó adatokat rögzíti.
- **Adatmanipuláció (DM):** Jelátalakítást végez bizonyos algoritmusok alapján, hogy a bejövő jelből speciális jellemzőket ki tudjon nyerni.
- **Állapotfelismerés (SD):** Összehasonlítja a paramétereket az elvárt értékekkel vagy a működési határértékekkel, és állapotjelzőket és/vagy riasztást küld tovább.
- **Egészségügyi értékelés (HA):** Kiértékeli, hogy a rendszer megfelelő egészségügyi állapotban van-e. Ehhez felhasználja a rendszer pillanatnyi működési állapotát és a karbantartási előzményeket.
- **Prognosztikai értékelés (PA):** Előrejelzi a rendszer jövőbeli állapotát a jövőbeni használat függvényében.
- **Ajánlás generálás (AG):** Ajánlásokat ad a karbantartási műveletekhez és a működési paraméterek módosításához.



10. ábra Az ISO 13374-2: 2007 szabvány (forrás: [40])

2.4. A Karbantartás 4.0 technológiái

A negyedik ipari forradalomhoz leggyakrabban kilenc technológiai eszközt kapcsolnak [41][42]. Ezek közül a karbantartásnál használható leggyakoribb technológiák az Ipari Dolgok Internete [JL2], a felhőalapú informatika, a Big Data elemzés, az additív gyártás, a kiterjesztett valóság [JL3] és a kollaboratív robotok. Ezen technológiák karbantartási vetületeit mutatom be a következő részben.

2.4.1. Dolgok Internete a karbantartásban

Az Ipar 4.0 a különböző rendszerek és folyamatok digitális leképezésén alapszik. Az Ipari Dolgok Internetének (Industrial Internet of Things – IIoT) keretei között „okos” szenzorok és aktuátorok hálózatban kapcsolódnak egymással, annak érdekében, hogy azok rendszerszinten optimálisan tudjanak működni. A szenzorok a fizikai világról, vagyis a gyártásról és annak folyamatairól gyűjtenek különböző információkat, majd azokat digitalizálják. Ezeket a folyamat paramétereiket lokálisan vagy rendszerszinten feldolgozzák, monitorozzák, az aktuátorok (például motorok, szelepek) pedig a megfelelő módon közbe tudnak avatkozni.

Az okos szenzorok és aktuátorok segítségével folyamatosan lehet a berendezések és az egész gyártási rendszer állapotát figyelemmel kísérni. Ezáltal az Ipari Dolgok Internete

megfelelő adatokkal tud szolgálni a prediktív karbantartási módszerhez. Ezzel a módszerrel a vállalatok karbantartása hatékonyabb, biztonságosabb és gazdaságosabb lesz, valamint kevesebb hibával fog tudni működni [43]. Holgado és Macchi tanulmánya [44] rámutatott, hogy a prediktív karbantartási módszer tud a legköltséghatékonyabb lenni. Ezzel a technológiával a műveleteket a megfelelő időpontra lehet szervezni és a lehető legrövidebb folyamatmegállást lehet elérni.

Az Ipari Dolgok Internetével továbbá különböző karbantartási folyamatokat is automatizálni lehet. Ezáltal ki lehet váltani a folyamatból a manuális emberi műveleteket és funkciókat. Így nemcsak a rendszerbe kerülő hibák és veszteségek számát lehet redukálni, hanem az emberi hiba által okozott kiber- és adatbiztonsági sérülések kockázatát is lehet csökkenteni [45].

A szakirodalomban és az iparban az IIoT eszközök számos alkalmazását fel lehet fedezni. Civerchia és társai [46] okos IIoT szenzorokat alkalmaztak egy erőmű állapotának figyelemmel kíséréséhez. Rezgés- és hőmérsékletadatokról tudták megállapítani a különböző folyamatlépések pillanatnyi állapotát, valamint ezekből határozták meg a következő karbantartási műveletet. A Bosch mérnökei [47] egyszerű IIoT szenzorok segítségével automatizálni tudták elektromos szekrények hőadatainak leolvasását. Ezt követően vizualizálták ezeket az adatokat, és egy alapvető riasztási rendszert hoztak létre.

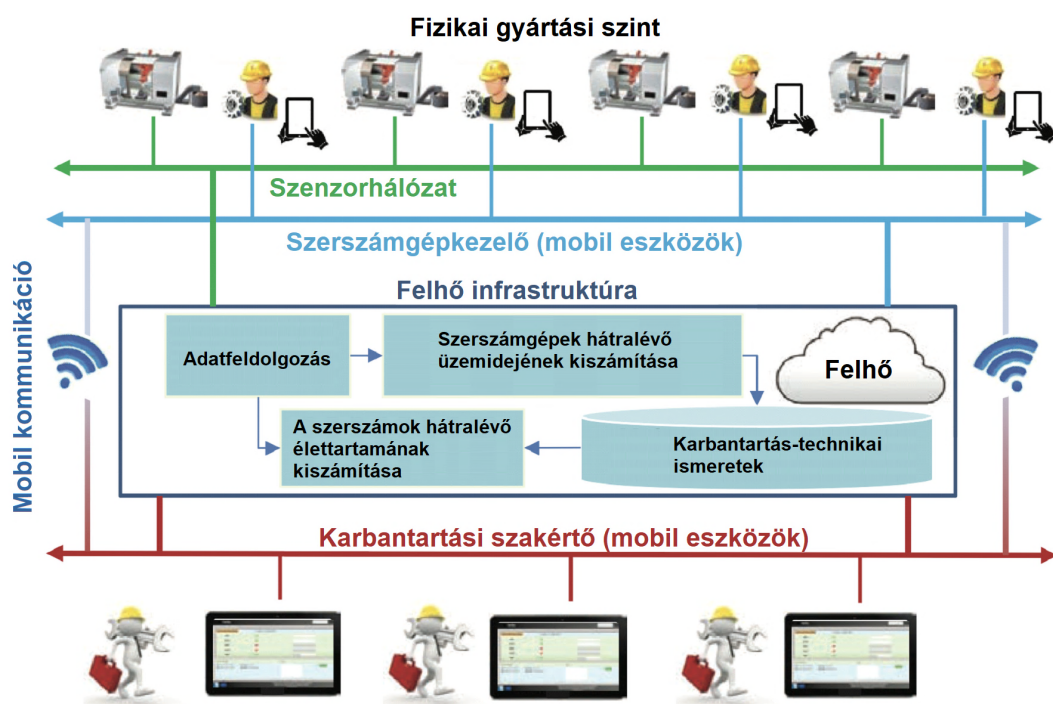
A prediktív karbantartási szenzor-adatok egy IIoT gateway-en keresztül tipikusan egy tárolásra használt informatikai felhőbe kerülnek, ahol azok további feldolgozására kerülhet sor.

2.4.2. Felhőalapú informatika a karbantartásban

Az informatikai felhő alkalmazásával egy vállalat az adatait, szolgáltatásait nem egy saját dedikált hardveren, hanem egy külső szolgáltató eszközön elosztva kezeli. A felhasználó vállalattól fizikailag el vannak különítve az informatikai szolgáltatás üzemeltetési részletei, ezeket az eszközöket a vállalat hálózaton keresztül, az internet segítségével érheti el [48].

A gyártási szinten lévő Dolgok Internete szenzorainak és aktuátorainak adatai jellemző módon felhőalapú informatikai eszközökre érkeznek be és itt kerülnek tárolásra. Az informatikai felhők Ipari Dolgok Internete eszközökkel való összekapcsolásáról, ipari folyamatokba való integrálásáról Tao és társai [49] írtak mélyebben.

Az informatikai felhők egyik legfőbb erénye, hogy azt interneten keresztül az arra jogosult személy vagy szolgáltatás könnyen el tudja érni [50]. Ilyen megoldást fejlesztett például a Volkswagen csoporthoz tartozó Seat járműgyár [51], ahol az egyik gyáruk hegesztő robotjainak prediktív karbantartását alakították ki egy informatikai felhőben. Hasonló példa forgácsoló gépek karbantartásának [52] kezelése felhőben. Itt a szenzoroktól érkező adatok a feldolgozás után a felhőben kerültek tárolásra. Ezen adatok alapján került kiszámításra a karbantartásig hátralévő idő. A megfelelő időben a karbantartó szakemberek a mobil eszközükre jelzést kaptak az elvégzendő feladatról (11. ábra).



11. ábra A karbantartásban használható felhő infrastruktúra elvi elemei (forrás: [52])

A felhőben tárolt adatok karbantartási felhasználására többnyire CMMS (számítógépes karbantartásmenedzsment rendszer) szoftverszolgáltatást használnak a vállalatok, ahonnan a napi karbantartási mutatószámokat könnyen és gyorsan le tudják olvasni a szakemberek. Ez a felhőalapú megoldás szolgáltatásként jelenik meg a kezelő számára, nem kell ismernie a mögöttes adatfolyamokat és tárolási mechanizmusokat, amelyek akár különböző szervereken és adatbázisokon szétszórtnak is elhelyezkedhetnek [53].

2.4.3. Big Data analízis a karbantartásban

Az Ipar 4.0 elveinek megfelelően az IIoT-vel a gyártástól származó adatokat a felhő szolgáltatásokon lehet tárolni. Ezek az adatok azonban egy komplex rendszer

esetében már rendkívül nagy méretűek is lehetnek, amelyeket emberi kapacitással és a szokványos adatfeldolgozási módszerekkel lehetetlen lenne kezelni. Ezeken az eseteken tud a Big Data elemzés segíteni.

A nagy üzemméret következtében ezek az információk egyszerre lehetnek rendkívül nagy méretűek, amelyeket a biztonságos üzemeltetés érdekében valós időben kell feldolgozni [53]. Ezekben az esetekben tudja segíteni a karbantartást a Big Data technológiája.

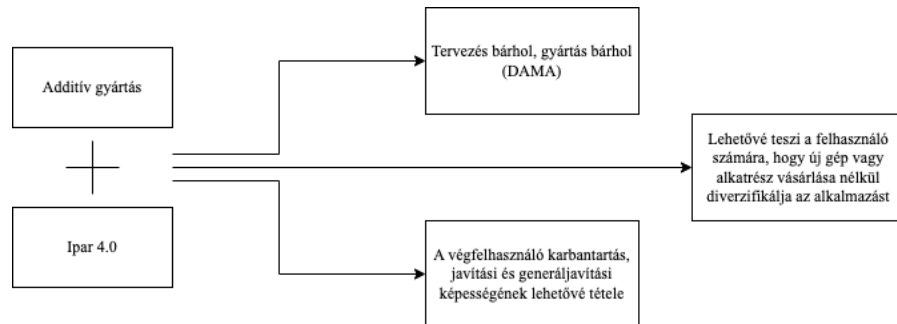
A Big Data analízis továbbá támogatást nyújt a berendezések prediktív karbantartás számításainak elvégzésére. A géptípusra jellemző történeti adatok, a karbantartási szakemberek tudása és a pillanatnyi állapot alapján modellezni lehet a berendezés valós állapotát és teljesítményét [54]. A rendszer előre tudja jelezni a következő meghibásodás időpontját és módját, amire a szakemberek időben fel tudnak készülni alapanyagokkal, eszközökkel és emberi kapacitással. A Big Data analízis karbantartási hasznosítására példa gyártó berendezések állapotának monitorozása [55], ahol prediktív módszerekkel vizsgálták csapágyak adatait, amely módszerrel azok elhasználódási valószínűségére tudtak következtetni. Egy másik példa a vasúti sínek karbantartási rendszere Nagy-Britanniában [37]. Itt a Big Data elemzést a vasúti vonalak magas száma és a belőlük nyert adatok fontossága indokolta.

2.4.4. Additív gyártás a karbantartásban

Az additív gyártás vagy közkeletű nevén 3D nyomtatás az additív gyártás szabványos terminológiája (ASTM) szerint [56] „olyan technológiák összességéként definiálható, amelyek a szubtraktív gyártási módszerekkel szemben a 3D modelladatokból, általában rétegről rétegre történő anyagösszekötéssel képesek tárgyakat készíteni”. Tehát az additív gyártási technológia nem az anyag egy részének eltávolításával (forgácsolás) vagy formájának módosításával (alakítás) készíti el a készterméket, hanem alapjaitól építi fel azt rétegről rétegre [57].

Az additív gyártási technológia rendkívül jól tudja a különböző üzemeltetési és karbantartási folyamatokat támogatni. A prediktív karbantartás révén előre lehet tudni a meghibásodás várható idejét és a hiba jellegét. A megoldáshoz szükséges alkatrészt előre meg lehet rendelni, azonban alternatívaként a cserealkatrészt házon belül additív technológiával elő is lehet állítani. Ez többnyire számottevően gyorsabb átfutási idővel megoldható, hiszen azt nem kell külső partnertől megrendelni, megoldható gyáron belül is. Továbbá a technológiával nincs szükség szerszámozásra, csupán az alkatrész 3D

modelljére. Használatával a gyártó által már nem támogatott berendezéseket is el lehet látni alkatrészekkel a megfelelő karbantartás elvégzéséhez. A 12. ábra mutatja az additív gyártástechnológia alkalmazásának főbb előnyeit Ipar 4.0 környezetben [58].



12. ábra Az additív gyártástechnológia főbb előnyei Ipar 4.0 környezetben (forrás: [58])

Additív gyártástechnológia karbantartási hasznosítására példa egy pneumatikus szelep alkatrészének meghibásodása, ahol azt egy 3D nyomtatott változatra [59] cserélték ki. A tapasztalat szerint ez gyorsan és gazdaságosan oldotta meg a meghibásodást.

2.4.5. Kiterjesztett valóság a karbantartásban

Azuma [60] definíciója szerint: „A kiterjesztett valóság (AR) lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy a valós világot lássa együtt virtuális tárgyakkal, amelyek a valós világra helyeződnek vagy azt kiegészítik. Az AR tehát inkább kiegészíti a valóságot, mintsem teljesen helyettesíti azt. Ideális esetben a felhasználó számára úgy tűnik, hogy a virtuális és a valós tárgyak ugyanabban a térben léteznek.”

A kiterjesztett valóság technológia nagyszerűen beilleszthető a Karbantartás 4.0 folyamataiba. A technológiával a karbantartási szakemberek könnyebben tudnak különböző tárgyakat beazonosítani és pontos utasítások segítségével azokat térben megfelelően elhelyezni annak érdekében, hogy a karbantartást megfelelően tudják ellátni.

A témában megjelent példák nagy részénél valamilyen össze- vagy szétszerelő műveletet lehet kiterjesztett valósággal támogatni [61]. Egy ipari példa alapján [62] a kiterjesztett valóság egy marker segítségével fel tudja mérni a karbantartandó eszköz környezeti elhelyezkedését és a megfelelő pozícióban, méretben és orientációban tudja a korábban megadott virtuális modelleket megjeleníteni. Így pontosan megmutatja, hogy melyik alkatrésszel milyen teendője van a karbantartónak. Ez nagy segítség tud lenni számára,

hiszen a rendszer lépésről lépésre tudja végig vezetni az elvégzendő műveleteken a karbantartót. Így kisebb szaktudás elegendő még a bonyolultabb munkák ellátásához is.

További példa a 13. ábrán látható okos szemüvegekkel elvégzett egységek azonosítása [63]. Itt a kiterjesztett valóság rendszer a korábban említett felhő szolgáltatással van kapcsolatban. Így az IIoT segítségével valós időben kapnak információt a karbantartók az egyes részegységekről, amelyek helyzetét az AR technológiával gyorsan be tudják azonosítani. Így a hibamegoldási idő radikálisan lerövidül.



13. ábra Karbantartandó elemek beazonosítása kiterjesztett valóság alkalmazásával (forrás: [63])

2.4.6. Kollaboratív robotok a karbantartásban

Az Ipar 4.0 irányelvei alapján a jövőben egyre inkább az egyéni vevői igényeken lesz a hangsúly, ahol szinte személyre szabott gyártást kell megvalósítani. Ezekre a feladatokra kiválóan alkalmasak a kollaboratív robotok vagy kobotok. Az ISO/TC 299 [64] definíciója szerint „a kollaboratív robot vagy kobot olyan robot, amelyet arra terveztek, hogy közvetlenül együttműködjön az emberrel egy meghatározott együttműködési térben. A kobotok az emberi munkát nem helyettesíteni, hanem kiegészíteni fogják, az ember közvetlen kollégájának tekinthetők lesznek”. A kobotok képesek átvenni az embertől a munka ismétlődő, megterhelő vagy veszélyes részeit [65] [66].

A kobotok gyorsan programozhatók és ugyanilyen gyorsan átprogramozhatók. A karbantartási folyamatokban fokozottan ki lehet használni ezt a rugalmasságot, mivel itt viszonylag sok kisebb tevékenységből áll össze a munkafolyamat. A kobotok tudnak segíteni a veszélyes, fárasztó vagy nagy erőbefektetéssel járó karbantartási munkákban, valamint ezeket automatizálni is lehet használatukkal.

A brit online szupermarket, az Ocado kollaboratív robot prototípust fejlesztett ki karbantartási folyamatainak javítására [67]. Az ARMOR 6 nevű humanoid kobotjuk elkészítésében olyan fejlesztő szervezetek vettek részt, mint a Karlsruhe Institute of Technology (KIT) vagy a Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) [64].

2.5. Az Ipar 4.0 és a Karbantartás 4.0 előnyei és kihívásai

Az Ipar 4.0 megoldásai számos előnnyel járnak az ipari szereplők számára. Vállalatfejlesztési tanácsadók [68] [69] gyártó vállalatok esetében a bevételi szint növekedése egyik fő hajtóerejének az Ipar 4.0-t tekintik. A gyártósorokról érkező nagy mennyiségű adat jelentősen tudja javítani a vállalatok cselekvőképességét. Egy teljesen digitalizált gyártás esetében pontos képet lehet kapni a folyamatok aktuális állapotáról, amely hozzájárul azok hatékonyabbá tételéhez. Ez segíti a vállalkozásokat az előállított termékek számának növelésében, a minőségük emelésében, miközben a termelési költségeik csökkennek. Tehát az Ipar 4.0 nagy mértékben tudja erősíteni a vállalkozások termelékenységét.

A pontos információ nagy mértékű rugalmasságot és agilitást is jelent a vállalatok számára, hiszen a rendelkezésre álló erőforrásokat – akár szimuláció segítségével – optimális szinten tudják hasznosítani [70]. A berendezések megfelelő hasznosítása maximalizálja a gépalkatrészek élettartamát és termelékenységét [71]. Ezek mellett csökkenti az erőforrások állásidejét [70] és a felhasznált energiát [72].

Az Ipar 4.0 ugyanakkor lehetővé tesz különböző intelligens beszerzési folyamatokat is. A digitalizált raktározási rendszerek segítenek a készletek kezelésében és a beszerzési folyamatok optimalizálásában. Az automatizált beszerzési folyamatok csökkentik az adminisztratív feladatokat, ezzel időt és pénzt takaríthatnak meg a vállalkozások.

Az Ipar 4.0 további előnye, hogy a beszállítók, gyártók és vásárlók közötti együttműködés erősödik, ami hozzájárul a kínálat és a kereslet jobb kommunikációját és összehangolását. Az Ipar 4.0 lehetővé teszi a vállalatok számára, hogy a termékek modulárisabbá és konfigurálhatóbbá váljanak [73], igény esetén testreszabott termékeket állítsanak elő

[74]. Ezzel akár az egydarabos gyártási mennyiség is gazdaságosan megvalósulhat [70]. A vásárlói adatok elemzésével továbbá a vállalatok olyan termékeket állíthatnak elő, amelyek megfelelnek a konkrét vásárlói igényeknek [75]. A másik oldalról nézve, a pontos adatok birtokában a túltermelést is lehet csökkenteni [72].

Az új digitális megoldások számos előnye mellett azonban a bevezetésük és használatuk jelentős kihívásokkal is jár. Az Ipar 4.0 kihívásai közé tartozik a kiberbiztonság és adatvédelem kérdése, a megfelelő számú munkaerő, a technológiákkal szembeni általános ismerethiány, a különböző folyamatok nehéz egységesítése, illetve a bevezetés során felmerülő pénzügyi kérdések.

A megfelelő kiberbiztonság és adatvédelem kialakítása jelentős kihívást jelent az Ipar 4.0 esetében, mivel az értékláncok tagjai a közöttük lévő vertikális és horizontális kapcsolatukkal sokkal könnyebben tudnak különböző információkhoz hozzáférni [70]. Saurabh és társai [76] szerint az Ipar 4.0-hoz tartozó szabványos kommunikációs protokollok megnövekedett használatával drámai módon megnő a kritikus ipari rendszerek, gyártósorok és rendszeradatok kiberbiztonsági fenyegetettsége. Az adatvédelem és biztonság problémái megakadályozhatják az Ipar 4.0 rendszerek hatékony működését és a vállalkozásokat biztonsági kockázatoknak szolgáltatják ki. A digitális megoldásokból származó adatok gyűjtése és kezelése emiatt fokozott figyelmet igényel [77].

Az emberi erőforrások és a szakképesítés jelentős kihívást jelent az Ipar 4.0 bevezetése szempontjából [77]. Ahogy Chen és társai [79] rámutattak, a prediktív gyártórendszerek nagyon összetett irányítási rendszert képviselnek, amelyek megfelelő tervezése és fenntartása különleges szaktudást és képzettséget igényel. Ehhez megfelelő szakemberek találása különösen nagy problémát jelenthet a vállalatok számára.

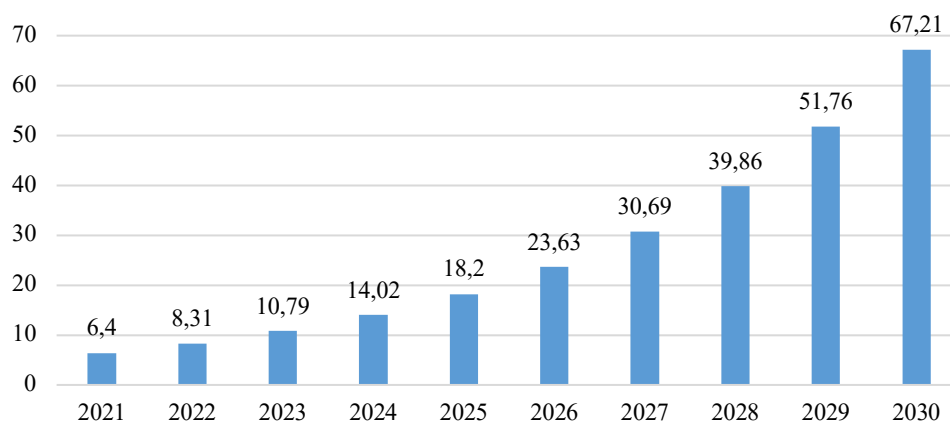
További nagyobb kihívást jelentenek az Ipar 4.0 bevezetési projekteknél a pénzügyi nehézségek. A beruházási költségek kérdése meglehetősen általános probléma a legtöbb új technológián alapú gyártási eszköz esetében. Igaz ez az Ipar 4.0 különböző pilléreinek megvalósítására is, amelyek nagyobb pénzügyi nehézséget is jelenthetnek a vállalatok számára [76] [70]. Dennis és társai [77] cikke szerint a vállalatok számára kevés sikeres bevezetés beszámolója áll rendelkezésre, amelyekből az Ipar 4.0 pénzügyi hozadékát is meg tudnák ismerni. Emiatt a digitalizálási projektek pénzügyi előnyeit bizonytalannak

látják, az általános információhiányból kifolyólag pedig a döntéshozói rétegből hiányozhat a bevezetés támogatása.

További nehézség lehet a különböző folyamatok egységesítése. Többnyire a nagyobb vállalatoknál lehet jellemző, hogy a digitalizálási egységesítést nehéz megvalósítani, ha a meglévő rendszerek és folyamatok túlságosan merevek és nem igazodnak az új szabványhoz [79] [80]. Szélsőséges esetben a vállalatoknak akár még a termelési folyamataikat és a szervezeti struktúrájukat is módosítaniuk kell annak érdekében, hogy a leginkább ki tudják használni az Ipar 4.0 előnyeit.

2.6. A Karbantartás 4.0 helyzete Európában és Magyarországon

A Karbantartás 4.0 egyre nagyobb teret nyer a világban, mivel a gyártók egyre inkább felismerik az Ipar 4.0 lehetőségeit karbantartási folyamataik optimalizálására. A Precedence Research nevű piaci elemző cég kutatása [81] szerint a Karbantartás 4.0 egyik alapköve, a prediktív karbantartás piaci mérete 2021 és 2030 között meg fog tízszeresedni (14. ábra). Többek között a már említett „jövő gyárjai” az Európai Unió gyártási kutatási és innovációs programjának szerves részei az intelligens karbantartási rendszerek is.



14. ábra A prediktív karbantartás várható világpiaci mérete milliárd amerikai dollárban (forrás: [81])

Az igazán széleskörű hasznosítás azonban az eddigi felmérések alapján elmarad. A PricewaterhouseCoopers (PwC) könyvvizsgáló cég 2017-ben egy átfogó európai felmérést [82] készített prediktív karbantartás témájában. Ebből kiderül, hogy a felmért vállalatok többségének (66%) karbantartási részlege még nem lépett túl az időszakos, lokális ellenőrzésen alapuló vizsgálati módszeren. A CXP Group kutató és tanácsadó cég 2018-ban egy hasonló felmérést készített Európában [83]. Ebben a PwC-hez hasonló

eredményre jut, a felmért vállalatok 77%-a még nem jutott túl a prediktív karbantartási folyamat pilot szintű alkalmazásán (15. ábra).



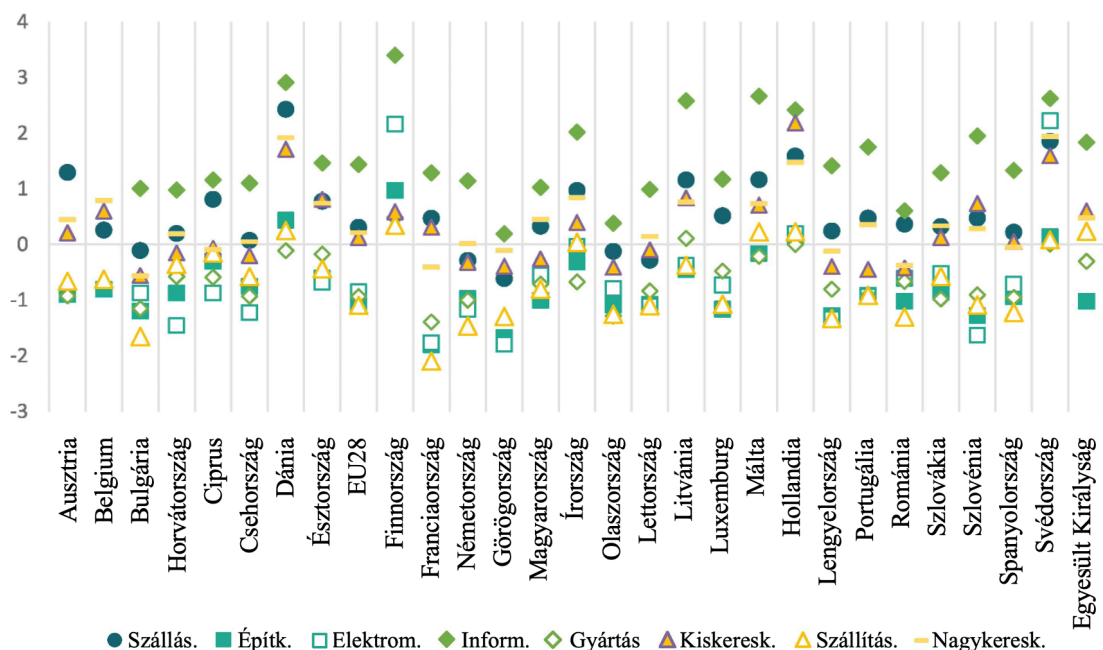
15. ábra Az Európai Unió vállalatainak fejlettsége prediktív karbantartás tekintetében (forrás: [82])

Összes ezen felmérés a prediktív karbantartást helyezte a középpontba, amely ugyan a Karbantartás 4.0 egyik fő eleme, viszont nem érinti a karbantartási folyamatok teljeskörű, Ipar 4.0 technológiákkal ellátott digitalizálását. A Nemzeti Karbantartó Társaságok Európai Szövetsége (EFNMS) egyik bizottsága egy kollektív európai Karbantartás 4.0 felmérésbe kezdett [84], ennek publikálása a közeljövőben várható.

Hazánkban a karbantartás műszaki és menedzsmenti vizsgálata széleskörű szakirodalommal rendelkezik. A Pannon Egyetemen és jogelődjein működő, Gaál Zoltán által vezetett szakmai műhely számos kötetet publikált [85][86][87], amelyekben a karbantartás és megbízhatóság elméleti, illetve gyakorlati aspektusait elemezték. Karbantartás és üzemeltetés témában Pokorádi Lászlónak számos nemzetközileg elismert kiadványa jelent meg [88][89]. Ezen szerzők széleskörűen foglalkoztak az állapotalapú karbantartás kérdéseivel, elméleti hátterével. Ezen kívül számos prediktív karbantartási kezdeményezést lehet a gyártó vállalatoknál is felfedezni, átfogóbb Karbantartás 4.0 elemzés ellenben eddig nem készült hazánkban.

Azonban több, általános Ipar 4.0 fejlettséggel foglalkozó felmérés is megjelent a közelmúltban. Losonci és társai [90] egy, a feldolgozóipart érintő ágazati mutatót vezettek be, amellyel a szektor Ipar 4.0 fejlettségét jellemezték. Ebből kiderült, hogy 2014 és 2017 között ugyan némileg csökkent a különbség a hazai ipari szereplők és az Európai Unió átlag között, azonban még mindig elmaradnak attól. 2018-ban a SZTAKI végzett

egy Ipar 4.0 Készenléti Indexszel foglalkozó felmérést [91], amely alapján kiderült, hogy a felmért vállalatok többségének nincs kidolgozott Ipar 4.0 stratégiája, azonban jelentős előrelépés történt annak ismertsége és jelentőségének felismerése tekintetében. Egy 2022-es elemzés [92] rámutatott, hogy hazánk feldolgozó ipara Ipar 4.0 infrastruktúra terén az Európai Unióban némileg elmarad az átlagos fejlettségtől (16. ábra).



16. ábra Az Európai Unió országainak Ipar 4.0 infrastruktúra fejlettsége (forrás: [92])

2.7. Covid19 világjárvány hatása az Ipar 4.0 projektekre

A Covid19 világjárvány kitörése és az azzal járó lezárások jelentős hatással voltak az Ipar 4.0 projektekre. A világjárvány nehéz helyzetbe hozta az ellátási láncokat, csökkentette a keresletet, és arra kényszerítette a vállalatokat, hogy egyre több távmunka lehetőséget adjanak a munkavállalóknak, ami ugyanakkor nagyobb mértékű digitalizálást is várt el.

A Covid19 egyik legjelentősebb hatása az Ipar 4.0 projektekre az ellátási láncok lelassulása volt. Sok gyártó más országokból származó alkatrészekre és nyersanyagokra támaszkodik, és a lezárások késedelmeket és hiányt okoztak ezen anyagok beszerzésében [93] [94]. Ez nemcsak a vállalatok főtevékenységében okozott nagy mértékű nehézséget, hanem az Ipar 4.0 projektekhez tartozó eszközök (például szenzorok, vezérlőegységek) beszerzése is fennakadásokba ütközött.

A Covid19 további hatása az Ipar 4.0 projektekre az áruk és szolgáltatások iránti kereslet csökkenése volt [95]. Mivel számos vállalkozás bezárt vagy csökkentett kapacitásra váltott, a termékek és szolgáltatások iránti kereslet csökkent, ami megnehezítette a vállalatok számára az új technológiákba való beruházást. Ez hátráltatta a vállalatok számára az Ipar 4.0 projektekbe történő beruházásokat is.

A világjárvány sok vállalatot arra kényszerített, hogy egyre szélesebb körben vezesse be a távmunkát, ami hatással volt a helyszíni telepítést és karbantartást igénylő Ipar 4.0 projektek megvalósítására. Az utazási korlátozások és a társadalmi távolságtartási intézkedések miatt a vállalatok számára nagyobb kihívást jelentett az új technológiák bevezetése és a munkavállalók betanítása azok használatára. Ugyanakkor több elemzés szerint a Covid19 világjárvány és az azt követő lezárások jelentősen felgyorsították a digitális eszközök alkalmazását és a digitális infrastruktúra fejlesztését [96] [97].

3. A FELMÉRÉS TERVEZÉSE ÉS LEFOLYTATÁSA

Az Ipar 4.0 egyes elemeinek szakirodalmi feldolgozása és a karbantartással való kapcsolatának feltárása után a felmérést a saját kutatásommal folytattam. Ebben a fejezetben ennek a kutatásnak a körülményeit és módszereit mutatom be. Az első alfejezetben a megalapozó kutatást részletezem annak érdekében, hogy kontextusba helyezzem a végső felmérés kérdéseit. A második alfejezetben a végső felmérés folyamatát, kérdéseit és körülményeit mutatom be. A harmadik alfejezetben a feldolgozáshoz, elemzéshez szükséges módszereket részletezem.

3.1. A szakértői interjúk és a pilot felmérés folyamata

Az irodalomkutatás rendszerezését követően szakértői interjúkkal folytattam a kutatást. Ennek során öt autóiipari karbantartási vezetőt kerestem fel, akik beszámoltak a vállalatuk digitalizációs koncepciójáról. A strukturálatlan interjúk során körül jártam, hogy a Karbantartás 4.0 bevezetésének milyen stádiumában vannak az interjúalanyok vállalatai, általánosságban hogyan látják a hazai viszonyokat a szakirodalomban megjelenő bevezetési nehézségek tükrében, és milyen körülmények vannak erre a legnagyobb hatással. Ezek a válaszok a végső felmérés kérdőívének számos részéhez szolgáltatott válaszlehetőséget, úgymint a karbantartási részlegek általános erősségei és nehézségei, vagy a Karbantartás 4.0-hoz kapcsolódó vélemények.

A mélyinterjúkkal párhuzamosan egy pilot felmérést is elvégeztem, ami a végső felmérés fogalomtársításához nyújtott válaszlehetőségeket. A felmérésbe – pilot jellegénél fogva – viszonylag kevés autóiipari szereplőt vontam be (18 fő), viszont a válaszadók csoportja a kutatás szempontjából releváns vállalatípusok (nagyvállalat – KKV, magyar – külföldi tulajdonú, modern – idősebb gépparkkal rendelkező) mindegyikét tartalmazta.

Ennek a felmérésnek a keretei között három egyszerű kérdést fogalmaztam meg, amelyekre kifejtős formában tudtak válaszolni a szakemberek. Ezen kérdések az alábbiak voltak:

1. Ön milyen tulajdonságok alapján jellemezne egy gyár általános fejlettségi szintjét?
Kérem, adjon meg három szempontot!
2. Ön milyen tulajdonságok alapján jellemezne egy karbantartási folyamat fejlettségét?

Kérem, adjon meg három szempontot!

3. Ön hogyan jellemezne egy okos gyárat?

Kérem, adjon meg három szempontot!

A válaszokat szöveges formában kaptam meg, amelyek mindegyike jellemző témákat érintett. Például a gyár általános fejlettségére vonatkozó kérdés egyik válasza:

„géppark; tőke; vezetőség”.

A későbbi felhasználás érdekében a válaszokat témájukat tekintve csoportosítottam. A fenti példában a „géppark” választ a *Technológia és innováció* csoportba, a „tőke” választ a *Piac és finansziális folyamat* csoportba, a „vezetőség” választ pedig a *Humán* csoportba soroltam. Így a három kérdéshez elkészült a csoportbontás, amelyek a végső felmérés válaszlehetőségeit adják:

Egy gyár általános fejlettségi szintjének jellemzői:

- 11 - {Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}
- 12 - {Piac és finansziális folyamat}
- 13 - {Technológia és innováció}
- 14 - {Digitalizálás és nyomon követés}
- 15 - {Automatizálás}
- 16 - {Humán}
- 17 - {Folyamatszemplélet}

Egy karbantartási folyamat fejlettségének jellemzői:

- 21 {Követhetőség, mérhetőség}
- 22 {Tervezhetőség}
- 23 {Szakszerűség}
- 24 {Megelőző jelleg (preventív arány)}
- 25 {Gyorsaság}
- 26 {Géppark és felszerelések}
- 27 {Rendszeresség}
- 28 {Költség hatékonyság}

Az okos gyár jellemzői:

- 31 {Digitalizálás}
- 32 {Gyorsaság, hatékonyság}
- 33 {Automatizálás}
- 34 {Folyamatközpontúság}
- 35 {Tervezhetőség}
- 36 {Kommunikáció}
- 37 {Környezetvédelem}

A pilot felméréssel a végső felmérés válaszlehetőségeinek meghatározásán túl az volt a célom, hogy teszteljem az egész mintavételezési folyamatot, és hogy ellenőrizsem a fogalomtársítási módszert. A pilot felmérés eredményeit külön publikációkban ismertettem [JL5] [JL6] [JL7]. A fogalomtársítási módszert a 3.3. fejezetben mutatom be részleteiben.

3.2. A végső felmérés folyamata

3.2.1. A végső kérdőív tartalma

A végső felmérés bemenő adatai a karbantartási szakemberek online kérdőívre adott válaszai voltak. A szakértői interjúk és a pilot felmérés megfelelő alapot nyújtottak a végső felmérés kérdéseinek összeállításához. A kérdőív első kérdései az adott válaszadó vállalatípusának meghatározására szolgáltak annak érdekében, hogy azokat külön lehessen vizsgálni és összehasonlítani. Külön kérdés irányult a vállalat tulajdonosának nemzeti hovatartozására, a dolgozói létszámra, a berendezések átlagos korára és az automatizáltságuk fokára.

A tulajdonos nemzeti hovatartozására vonatkozó kérdésnél a magyar mellett az összes jelentősebb autóiipari nemzet választási lehetőség volt, az értékelésnél viszont az összes külföldi tulajdonosi vállalatot egy csoportba soroltam, így összehasonlítva a hazai tulajdonú vállalatokat a külföldiekkel. Az értékelés során a jogszabályoknak megfelelően [98] a 250 fő alatti vállalatokat kis- és középvállalkozásnak, afölött nagyvállalatnak minősítettem. A gyártó vállalatok gyakorlatának megfelelően a 10 évnél alacsonyabb átlagkorú berendezésekből álló gyártórendszert fiatal, afölött idős gépparknak ítéltam. Az automatizálási szint felosztásához Frohm és társai [99] szintjeit használtam gyártó vállalatra szabva az alábbiak szerint:

- Egyszerű kézi eszközök

- Programozható kézi eszközök
- Automatizált kézi eszközök
- Statikus gyártó gépek
- Programozható gyártó gépek
- Félautomatizált gyártó sor
- Teljesen automatizált gyártó sor

A megelőző kutatások és a szakértői interjúk alapján állítottam össze azokat a válaszlehetőségeket, ahol a kérdések az egyes szakemberek véleményére, értékelésére vonatkoztak. A karbantartási részleg általános előnyeinek véleményezésénél a következő válaszlehetőségeket adtam meg:

- Magas hatékonyság
- Nagyfokú szakmai hozzáértés
- Gyors hibamegoldás
- Magas precizitás
- Sokéves tapasztalat
- Magas csapatmunka
- Tanulási hajlandóság

A karbantartási részleg általános nehézségeire pedig a következő kérdés és válaszlehetőségek vonatkoztak:

- Alacsony hatékonyság
- Kevés szakmai hozzáértés
- Lassú hibamegoldás
- Alacsony precizitás
- Kevés tapasztalat
- Tanulási hajlandóság hiánya
- Alacsony csapatmunka

Ezt követően a kérdőív a Karbantartás 4.0 kérdésekkel folytatódott. Először a vállalat Karbantartás 4.0 jelenlegi bevezetési stádiumára kérdeztem rá, ahol a következő, széles körben használt, stratégia megvalósítási státuszokat [100] [101] [102] használtam:

- Nem létezik stratégia

- Kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött
- Stratégia kidolgozás alatt van
- Stratégia megfogalmazódott
- Stratégiai bevezetés alatt van
- Stratégia megvalósult

További kérdés vonatkozott arra, hogy a szakértők mit gondolnak a Karbantartás 4.0 legfőbb előnyeinek:

- Rugalmasság és agilitás
- Költségcsökkentés
- Jobb kínálat/kereslet egyeztetés
- Jobb ügyfélélmény
- Megnövelt hatékonyság és termelékenység
- A gép állásidőinek csökkentése
- Magasabb bevételek

Hasonló módon a Karbantartás 4.0 bevezetésének nehézségeire is rákérdeztem:

- Lassú megtérülés
- Magas költségek
- Nem megfelelő vezetői támogatás
- Általános ismerethiány a technológiákról
- Képzetlen munkaerő
- Különböző folyamatok nehéz egységesítése
- Nem megfelelő adatvédelem

Külön kérdésként az Ipar 4.0 eszközeinek megítélése is szerepelt a kérdőívben:

- Rendszerintegráció
- Szimuláció
- Felhőalapú informatika (Cloud computing)
- Kiberbiztonság
- Dolgok internete (Internet of Things)
- Big Data elemzés
- Additív gyártás (3D nyomtatás)

- Kiterjesztett valóság
- Együttműködő robotok (kobotok)

A kérdőív a Covid19 és a Karbantartás 4.0 közötti kapcsolattal zárult. Ebben a vilájárványnak az ipari digitalizálásra gyakorolt hatására kérdeztem rá, vagyis, hogy a vilájárvány:

- Ezen folyamatok fejlődését gyorsította
- Ezen folyamatok fejlődését lassította
- Nem befolyásolta ezeket a folyamatokat

3.2.2. A végső felmérésben részt vevő vállalatok

A KSH 2021-es adatai [103] alapján 726 darab legalább 1 főt foglalkoztató járműipari vállalat működött hazánkban. Ezeknek a vállalatoknak a kiléte nem teljesen egyértelmű, hiszen nincs egy átfogó, hivatalos lista, amely lefedné a magyarországi autóipari szereplőket. Emiatt több nyilvántartást vetettem össze, amellyel létrejött a kutatásban résztvevők végleges köre. Ehhez az alábbi vállalati listákat használtam fel:

- Észak-Magyarországi Autóipari Klaszter [104] tagjai
- Alföldi Regionális Iparfejlesztési Klaszter [105] tagjai
- Hírös Beszállítói Klaszter [106] tagjai
- Autopro online elérhető adatbázis [107] elemei

Ezen listák alapján összesen 398 darab vállalatot tudtam meghatározni, amelyekhez eljuttattam a kérdőívet.

Az online űrlapot Google Űrlap és az Óbudai Egyetem EvaSYS online rendszereken készítettem párhuzamosan. A felmérést 2021 márciusa és májusa között összesen 129 vállalat karbantartási szakembere, csoportvezetője vagy menedzsere töltötte ki, ami az elméleti sokaság 17,8%-a.

Más hazai autóipari tanulmányokkal és felmérésekkel [108] [109] [110] összehasonlítva, az általam felmért vállalatok száma jelentős, az összes válaszadó száma alapján hasonló mennyiségű.

A későbbi elemzésekhez a kitöltőket elsősorban a vállalat dolgozói létszáma (KKV vagy nagyvállalat), gépparkjának kora (fiatal vagy idős) és a tulajdonos nemzeti hovatartozása (magyar vagy külföldi) alapján osztottam fel. Ezen felosztás alapján a válaszadók arányait

az 1. táblázat mutatja be. A felmérésben részt vevő vállalatok hazai és külföldi tulajdonú aránya 35-65%, a KKV-k és nagyvállalatok aránya 53-47%, valamint a modern és idős gépparkkal rendelkező vállalatok aránya is 53%-47% (1. táblázat).

1. táblázat A végső felmérésben részt vevő vállalatok típusai

Vállalattípus	Darabszám	Arány
Összes válaszadó	129	100,0%
Kis- és középvállalatok	69	53,5%
Nagyvállalatok	60	46,5%
Hazai tulajdonú vállalatok	45	34,9%
Külföldi tulajdonú vállalatok	84	65,1%
Modern gépparkú vállalatok	68	52,7%
Idős gépparkú vállalatok	61	47,3%

A végső felmérés eredményeit külön publikációkban ismertettem [JL9] [JL10] [JL11] [JL12].

3.3. Az alkalmazott elemzési módszerek

A 4. fejezetben a felmérésre adott válaszokat elemzem. Ebben az alfejezetben ennek az elemzésnek a módját részletezem.

3.3.1. Az alkalmazott statisztikai eljárások

Megbízhatósági értékelések – Cronbach-alfa

A Cronbach-alfa egy statisztikai mérőszám, amelyet egy minta belső megbízhatóságának meghatározására lehet használni [111]. A Cronbach-alfa értéke a mérési elemek közötti összefüggés erősségét jellemzi. Minél magasabb az α érték, annál nagyobb az összefüggés a mérési elemek között, és annál magasabb a belső megbízhatóság. Számítása:

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(\frac{s_y^2 - \sum s_i^2}{s_y^2} \right)$$

ahol:

k: A tesztben lévő összes mérési elem száma

$\sum s_i^2$: Az összes mérési elem varianciájának összege

s_y^2 : A teljes teszt varianciája

Az alábbi Cronbach-alfa besorolás alapján lehet a minta belső megbízhatóságát értékelni:

$0,8 < \alpha$ kiváló

$0,7 < \alpha < 0,8$ elfogadható
 $\alpha < 0,7$ nem elfogadható

A Cronbach-alfa értékének számítását SPSS programmal végeztem.

Megbízhatósági értékelések – összetétel-megbízhatóság (CR)

Az összetétel-megbízhatóság (CR) a Cronbach-alfához hasonló mérőszám, azzal a különbséggel, hogy a belső megbízhatóság helyett azt adja meg, hogy a mért adatok mennyire konzisztensek [112]. Minél magasabb a CR érték, annál inkább megbízhatók a mért adatok. Számítása:

$$CR = \frac{(\sum \lambda)^2}{(\sum \lambda)^2 + \sum \delta}$$

ahol:

$\sum \lambda$: A standardizált faktortöltések összege

$\sum \delta$: A teszt elemeinek maradék szórásainak (hibáinak) az összege

A CR esetében a legalább 0,7-es értéket lehet elfogadhatónak tekinteni.

A CR érték számítását SPSS programmal végeztem.

A Pearson-Khi-négyzet próba és Cramer-féle V asszociációs együttható

A Pearson-Khi-négyzet próba megadja, hogy két változó között van-e statisztikailag szignifikáns összefüggés. A khi-négyzet értékének számítása a következő képlet alapján történik [113]:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

ahol:

f_o : Az egyik megfigyelt gyakoriság

f_e : A másik megfigyelt gyakoriság

A khi-négyzet értéke és a szabadságfok (a vizsgált adatok száma) alapján meg lehet határozni a p szignifikancia szint értéket. A khi-négyzet alap hipotézise az, hogy a két változó között nincs összefüggés. Abban az esetben, ha a khi-négyzet próba szignifikancia szintje kisebb, mint 0,05, 95%-os valószínűségi szint mellett el lehet vetni ezt a hipotézist. Tehát ebben az esetben a két változó között szignifikáns kapcsolat van.

A khi-négyzet próbával ki lehet deríteni, hogy van-e összefüggés a két változó között. Azt, hogy ez az összefüggés mennyire erős, a Cramer-féle V asszociációs együttható (Cramer's V) adja meg [113]. Az együtthatót az alábbi képlet segítségével lehet kiszámolni:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N * \min((k - 1), (r - 1))}}$$

ahol:

χ : khi-négyzet próba értéke

N: minta elemszáma

k: Az egyik változó kategóriáinak száma

r: A másik változó kategóriáinak száma

A Cramer-féle V együttható értékelése [114]:

0,25 – 1,00: nagyon erős kapcsolat

0,15 – 0,25: erős kapcsolat

0,10 – 0,15: közepes kapcsolat

0,05 – 0,10: gyenge kapcsolat

0,00 – 0,05: nagyon gyenge kapcsolat

A khi-négyzet próba szignifikancia szinteket és a Cramer-féle V asszociációs együtthatókat az adatelemzéshez az SPSS program segítségével határoztam meg.

Kétmintás t-próba

A kétmintás t-próbával össze lehet hasonlítani két független minta átlagait, és meg lehet határozni, hogy a két minta közötti eltérés valóban szignifikáns-e. A kétmintás t-próba értékét az alábbi képlettel lehet kiszámítani [113]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

ahol:

$\bar{x}_2$: Az első minta átlaga

$\bar{x}_1$: A második minta átlaga

s_1^2 : Az első minta szórásnégyzete

s_2^2 : A második minta szórásnégyzete

n_1 : Az első minta elemszáma

n_2 : A második minta elemszáma

A t érték és a szabadságfok (a vizsgált adatok száma) alapján meg lehet határozni a p szignifikancia szint értéket. A kétmintás t -próba alap hipotézise az, hogy a két minta között nincs különbség. Abban az esetben, ha a kétmintás t -próba szignifikancia szintje kisebb, mint 0,05, 95%-os valószínűségi szint mellett el lehet vetni ezt a hipotézist. Tehát ebben az esetben a két minta között szignifikáns különbség van.

A kétmintás t -próba parametrikus teszt, amely normális eloszlást vár el a mintáktól. A központi határeloszlás tétele alapján elég nagy elemszámú minta esetén normális eloszlás használata megfelelő közelítést eredményez [113]. A gyakorlatban kb. 30 darabszámot már megfelelő mintanagyságnak lehet tekinteni.

Kruskal-Wallis próba

Az elemzés során több kisebb mintájú csoportot is összehasonlítok egymással, amiket a centrális határeloszlás tétele alapján nem lehet normális eloszlásúnak közelíteni. Ezekben az esetekben a Kruskal-Wallis próbát használom. A Kruskal-Wallis próba egy nemparaméteres teszt, amelyet akkor lehet használni, amikor több mint két független csoportot szeretnénk összehasonlítani a rangsorok értékei alapján [115]. Számítása:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

ahol:

N : A minta elemszáma

R_j : Az adott csoportban található rangok összege

n_j : Az adott csoportban található megfigyelések száma

A Kruskal-Wallis érték és a szabadságfok (a vizsgált adatok száma) alapján meg lehet határozni a p szignifikancia szint értéket. A Kruskal-Wallis próba alap hipotézise az, hogy a két minta mediánjai egyenlők. Vagyis ezzel lehet következtetni arra, hogy a két minta egy populációból származik. Abban az esetben, ha a Kruskal-Wallis próba szignifikancia szintje kisebb, mint 0,05, 95%-os valószínűségi szint mellett el lehet vetni ezt a hipotézist. Tehát ebben az esetben a két minta között szignifikáns különbség van.

A Kruskal-Wallis próba értékeinek számítását SPSS programmal végeztem.

Egymintás binomiális próba

Az egymintás binomiális próbát akkor lehet alkalmazni, amikor egyetlen csoportot vagy populációt vizsgálunk, és az érdekel minket, hogy annak a sikeres aránya szignifikánsan tér-e el az elvárt értéktől [113]:

$$Z = \frac{p - p_0}{\sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}}$$

ahol:

p_0 : Az elvárt sikeres események aránya a mintában

p : A megfigyelt sikeres események aránya a mintában

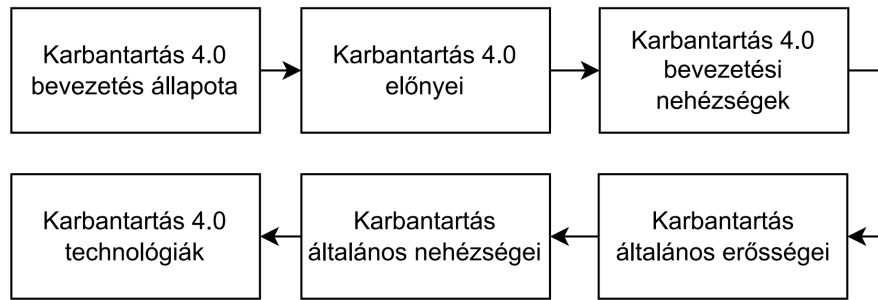
n : A minta elemszáma

A Z érték és a szabadságfok (a vizsgált adatok száma) alapján meg lehet határozni a szignifikancia szint értéket. Az egymintás binomiális próba alap hipotézise az, hogy a minta nem tér el az elvárt értéktől (dichotóm változó esetén legtöbbször 0,5). Abban az esetben, ha az egymintás binomiális próba szignifikancia szintje kisebb, mint 0,05, 95%-os valószínűségi szint mellett el lehet vetni ezt a hipotézist. Tehát ebben az esetben a minta és az elvárt érték között szignifikáns különbség van. Amennyiben a megfigyelt sikeres események aránya nagyobb, mint az elvárt érték, ez a különbség pozitív eltérés, ellenkező esetben negatív eltérésről van szó.

A binomiális próba értékeinek számítását SPSS programmal végeztem.

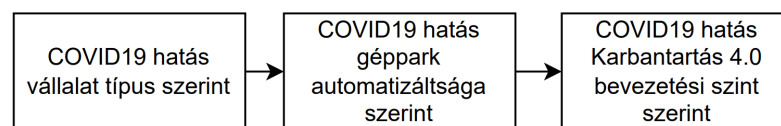
3.3.2. Az adatok elemzésének lépései

A 4.1. alfejezetben a különböző Karbantartás 4.0 fejlettségen lévő vállalatok helyzetét és a kérdésekre adott válaszokat általánosságban elemzem. Az adatok feldolgozását a 17. ábra szerinti sorrendben végzem. Először a Karbantartás 4.0 bevezetési állapota szerinti eltéréseket, majd a stratégia előnyeit és a bevezetésének nehézségeit elemzem. Ezeknél a válaszoknál nem csak a különböző fejlettségi szinten lévő vállalatok eltéréseit vizsgálom, hanem azt is, hogy melyek azok a szempontok, amelyek alapvetően szignifikánsan magasabb arányban szerepelnek. Ugyanígy elemzem a karbantartási részlegek általános erősségeit és általános nehézségeit. Hasonló sorrendű elemzést hajtok végre a 4.2. és a 4.3. alfejezetekben. Itt a KKV-kat hasonlítom össze a nagyvállalatokkal, illetve a hazai tulajdonú vállalatokat a külföldi tulajdonúakkal, keresve közöttük a szignifikáns különbségeket.



17. ábra Az 4.1., 4.2. és 4.3 alfejezetekben alkalmazott sorrend az adatok elemzésénél

A 4.5. alfejezetben a Covid19 világiárvány Karbantartás 4.0 bevezetési projektekre vonatkozó hatásait vizsgáltam (18. ábra). Először a különböző vállalat típusok szerint elemeztem a válaszokat. Ezt követően a különböző automatizáltságú gépparkkal rendelkező vállalatok véleményeit vizsgáltam. A fejezetet a Karbantartás 4.0 különböző bevezetési szintjein lévő vállalatok véleményének elemzésével zárom.



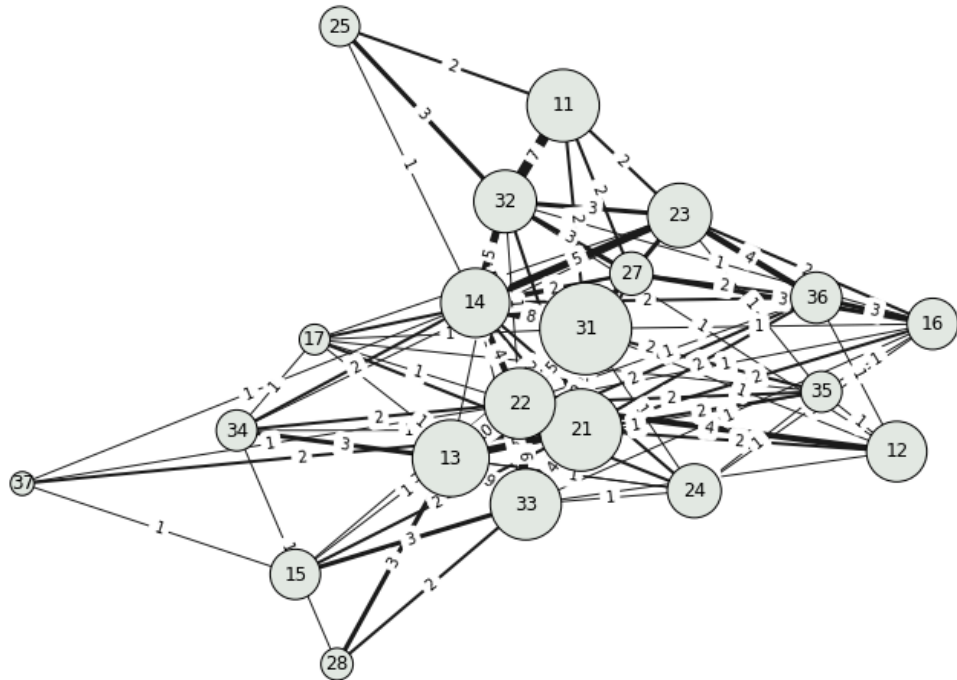
18. ábra Az 4.5. alfejezetekben alkalmazott sorrend az adatok elemzésénél

3.3.3. A fogalomtársítási módszer

A fogalomtársítási módszert a 4.4. alfejezetben arra használtam, hogy felmérjem, a szakemberek az egyes kulcsfogalmakhoz mennyi konkrét kifejezést, értelmezést tudnak párosítani. Ezáltal azt vizsgálom, hogy a szakemberek milyen részletességgel ismerik az adott fogalmat, és az egyes fogalmak között mennyire látják az összefüggéseket.

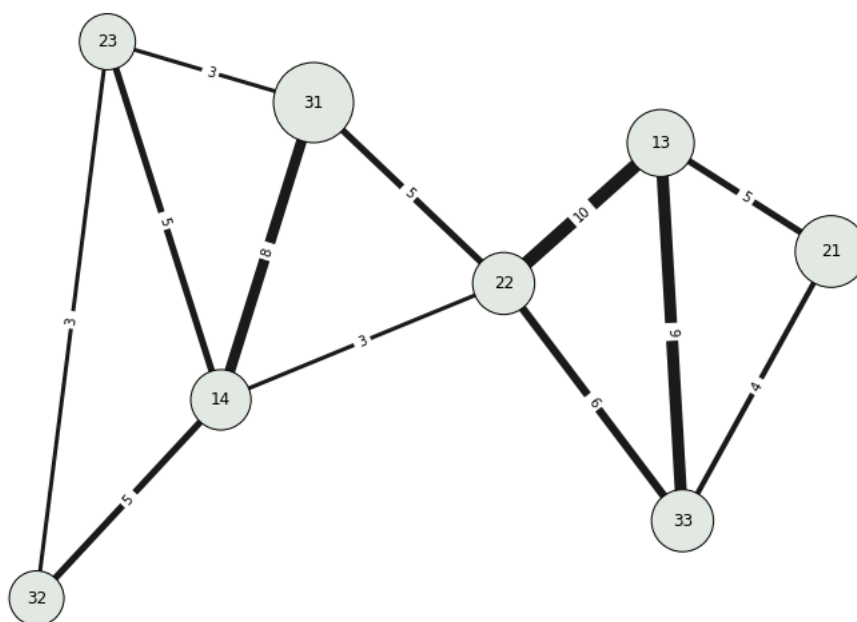
Három kulcsfogalmat (a gyár általános fejlettsége, a karbantartási folyamat fejlettsége és az okos gyár) választottam, amelyekre vonatkozóan az egyes jellemzéseket begyűjtöttem, majd a válaszok közötti kapcsolódásokat megkerestem. Ezt olyan formában tettem, hogy megvizsgáltam, egy válaszadó egyik kérdésre adott válasza után a következő kérdésre milyen választ adott. Ez alapján három kapcsolati mátrix jött létre (1. kérdés – 2. kérdés kapcsolódás, 2. kérdés – 3. kérdés kapcsolódás és 1. kérdés – 3. kérdés kapcsolódás). Ezt a három kapcsolódási mátrixot egyesítettem, és egy közös hálózatba integráltam. Erre egy példát mutat a 19. ábra, amely a pilot felmérés kapcsolódásait tartalmazza. Egy csomópontnak minél több kapcsolódása van, arányosan annál nagyobb a mérete. Ugyanígy két csomópont közötti vonal vastagsága annál nagyobb, minél nagyobb a két

csomópont közötti kapcsolat. Két csomópont közötti kapcsolódást az egymástól való távolságuk is mutatja.



19. ábra A pilot felmérés összes válasza közötti kapcsolati gráf

Ezt követően megkerestem a kapcsolódási hálózat igazán releváns kapcsolódásait. Ezt úgy határoztam meg, hogy azokat a csomópontokat vettem figyelembe, ahol a kapcsolódások egymás között minimum 90%-os (a pilot felmérésnél ezt 3 darab kapcsolódásra határoztam meg). Vagyis az egyik kérdésre adott válasz esetében a válaszadók nagy eséllyel adnak a másik kérdés válaszlehetőségére is pozitív választ. Itt nemcsak egy mátrixon belüli egyezést vizsgáltam, hanem a három kérdésnek együtt kellett megfelelnie a követelményeknek, vagyis azt vizsgáltam, hogy a három kérdés mely válaszoknál alkot releváns kapcsolódási háromszöget. Ez alapján kaptam meg a releváns kapcsolódási hálózatot, amelyre egy példát mutat a 2. táblázat és a 20. ábra, amely a pilot felmérés releváns háromszögeit tartalmazza.



20. ábra A pilot felmérés kiemelt kapcsolódást mutató válaszai közötti kapcsolati gráf

2. táblázat A pilot felmérés kiemelt kapcsolódásait mutató válaszok

Gyártási folyamat fejlettsége	
13	{Technológia és innováció}
14	{Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}
Karbantartási folyamat fejlettsége	
21	{Rendszeresség}
22	{Tervezhetőség}
23	{Gyorsaság}
Okos gyáarak	
31	{Digitalizálás}
32	{Gyorsaság, hatékonyság}
33	{Automatizálás}

4. A FELMÉRT ADATOK ELEMZÉSE

A kutatási kérdések megválaszolásához a kutatást a felmért adatok elemzésével folytattam. A felmérés egyes elemeit és lépéseit a 3. fejezetben ismertettem. Az első alfejezetben a különböző Karbantartás 4.0 fejlettségi szinten lévő vállalatok helyzetét és a kérdésekre adott válaszokat általánosságban elemzem, amivel az első kutatási kérdésre (**KK1**) keresem a választ. A második alfejezetben a KKV-kat és a nagyvállalatokat hasonlítom össze egymással, ami a második kutatási kérdéshez (**KK2**) kapcsolódik. A harmadik alfejezetben a hazai és külföldi tulajdonú vállalatokat hasonlítom össze, ami a harmadik kutatási kérdésre (**KK3**) vonatkozik. A negyedik alfejezetben a szakemberek fogalomtársításait elemzem. Az ötödik alfejezet pedig a negyedik kutatási kérdéshez (**KK4**) tartozik, amely a Covid19 járvány digitalizációjára gyakorolt hatásával foglalkozik. Mindegyik alfejezet végén röviden összefoglalom a témára vonatkozó lényeges következtetéseket.

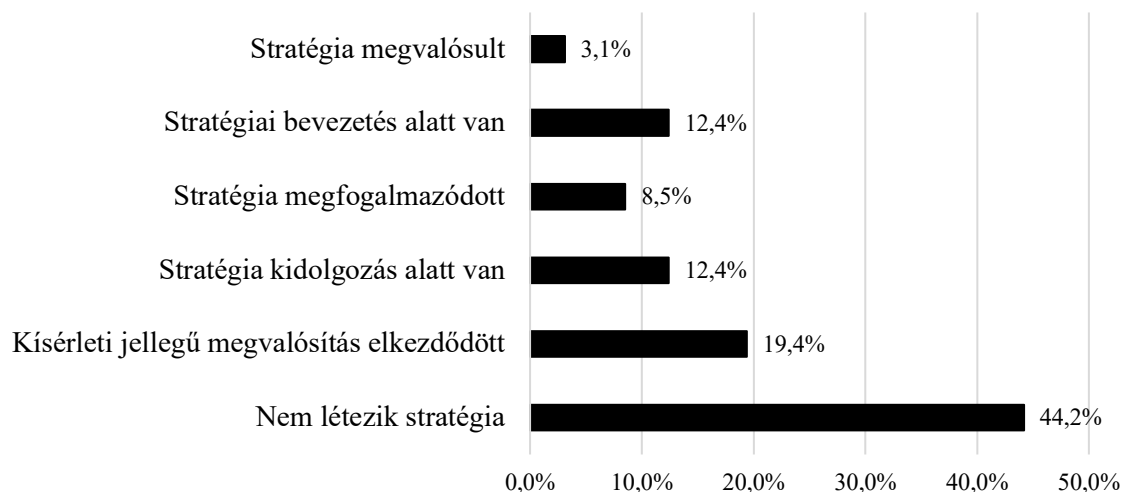
A beérkezett válaszokon Cronbach alfa és összetétel-megbízhatósági vizsgálatot végeztem el. Ezek értékei mind a két esetben magasabbak a kritikus 0,7-os értéknél, tehát a felmért adatok megbízhatóak és következtetések levonására alkalmasak.

3. táblázat A kérdőív válaszain elvégzett megbízhatósági vizsgálatok értékei

	Megbízhatósági érték
Cronbach-alfa	0,783
CR	0,963

4.1. A különböző Karbantartás 4.0 fejlettségen lévő vállalatok összehasonlítása

Az összes válaszadó által adott válaszok alapján kiderül (21. ábra), hogy a felmérésben részt vevő vállalatok nagy része a digitális gyártásra való átállás legelején tart. A mintán elvégzett Kruskal-Wallis-próba szignifikáns eltérést mutat (3. táblázat) a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szintjei között.



21. ábra A válaszadók Karbantartás 4.0 bevezetési stádiuma

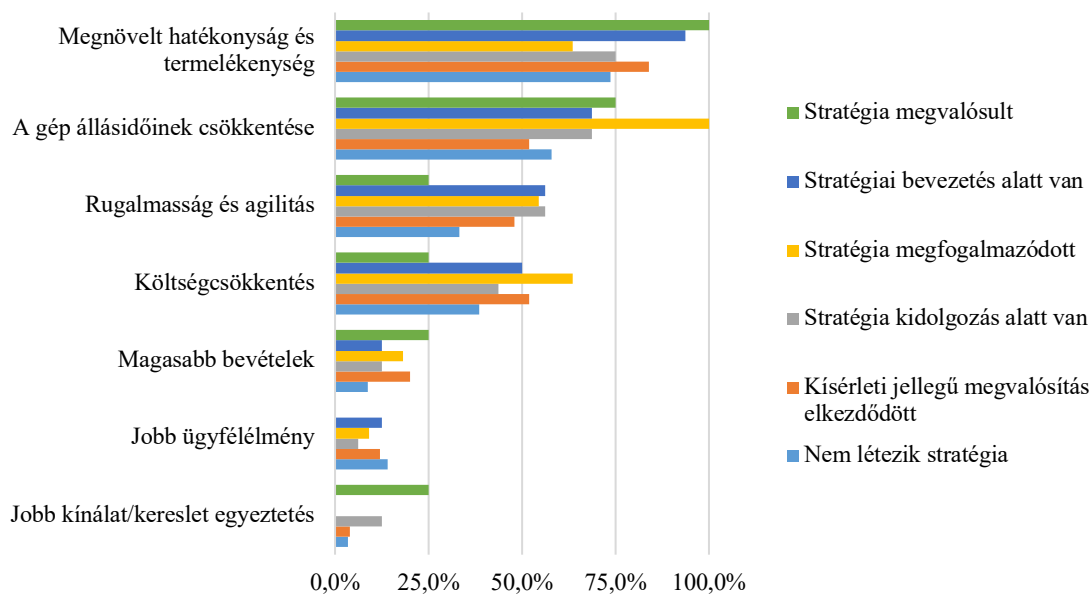
A Karbantartás 4.0 fejlettségi szintek adatain elvégzett egymintás khi-négyzet próba a 81,372-es értéket 0,001-es szignifikancia értéknél vett fel (szabadságfok: 5), vagyis a fejlettségi szintekre adott válaszok statisztikailag igazoltan eltérnek egymástól.

A 4. táblázat alapján ezért az eltérésért leginkább a *nem létezik stratégia* válasz darabszáma a felelős. Tehát a Karbantartás 4.0 bevezetés legelején tartó vállalatok száma jelentősen magas. Második legmagasabb eltérés a legfejlettebb, *stratégia megvalósult* fejlettségi szint alacsony aránya.

4. táblázat A Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken megfigyelt és elvárt gyakorisága

	Megfigyelt gyakoriság	Elvárt gyakoriság	Különbség
Nem létezik stratégia	57	21,5	35,5
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	25	21,5	3,5
Strat. kidolgozás alatt	16	21,5	-5,5
Strat. megfogalm.	11	21,5	-10,5
Strat. bevez. alatt van	16	21,5	-5,5
Strat. megvalósult	4	21,5	-17,5

A 22. ábra és 5. táblázat alapján a Karbantartás 4.0 különböző szintjein lévő vállalatok között nincs szignifikáns különbség abban a tekintetben, hogy milyen előnyöket tudnak a stratégiához kapcsolni.



22. ábra Karbantartás 4.0 előnyeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

5. táblázat A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a stratégia előnyeinek Kruskal-Wallis-próba értékei (df=5)

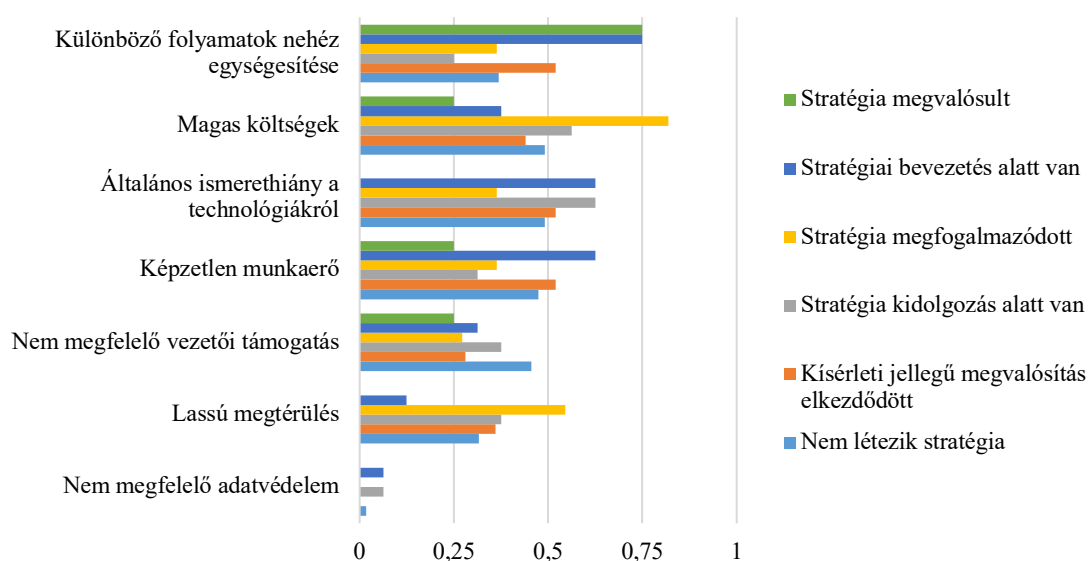
	Kruskal-Wallis H (szignifikancia szint)
Megnövelt hatékonyság és termelékenység	5,995 (0,307)
A gép állásidőinek csökkentése	9,067 (0,106)
Költségcsökkentés	3,772 (0,583)
Rugalmasság és agilitás	5,780 (0,328)
Magasabb bevételek	2,705 (0,745)
Jobb ügyfélművelés	1,371 (0,927)
Jobb kínálat/kereslet egyeztetés	7,408 (0,192)

A Karbantartás 4.0 előnyeikhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt alapján az derül ki (6. táblázat), hogy a *megnövelt hatékonyság és termelékenység*, valamint a *gép állásidőinek csökkentése* válaszok szignifikánsan nagy arányban vannak jelen.

6. táblázat A Karbantartás 4.0 előnyeirez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei

	Átlag	Szórás	Szignifikancia szint	Eltérés iránya
Megnövelt hatékonyság és termelékenység	78,3%	0,414	0,001	pozitív eltérés
A gép állásidőinek csökkentése	63,6%	0,483	0,003	pozitív eltérés
Költségcsökkentés	45,0%	0,499	0,291	
Rugalmasság és agilitás	43,4%	0,498	0,159	
Magasabb bevételek	13,2%	0,340	0,001	negatív eltérés
Jobb ügyfélélmény	11,6%	0,322	0,001	negatív eltérés
Jobb kínálat/kereslet egyeztetés	4,7%	0,211	0,001	negatív eltérés

A Karbantartás 4.0 különböző szintjein lévő vállalatok között nincs szignifikáns különbség a bevezetés nehézségei vonatkozásában (23. ábra és 7. táblázat).



23. ábra A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségei a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

7. táblázat A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a stratégia bevezetési nehézségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei (df=5)

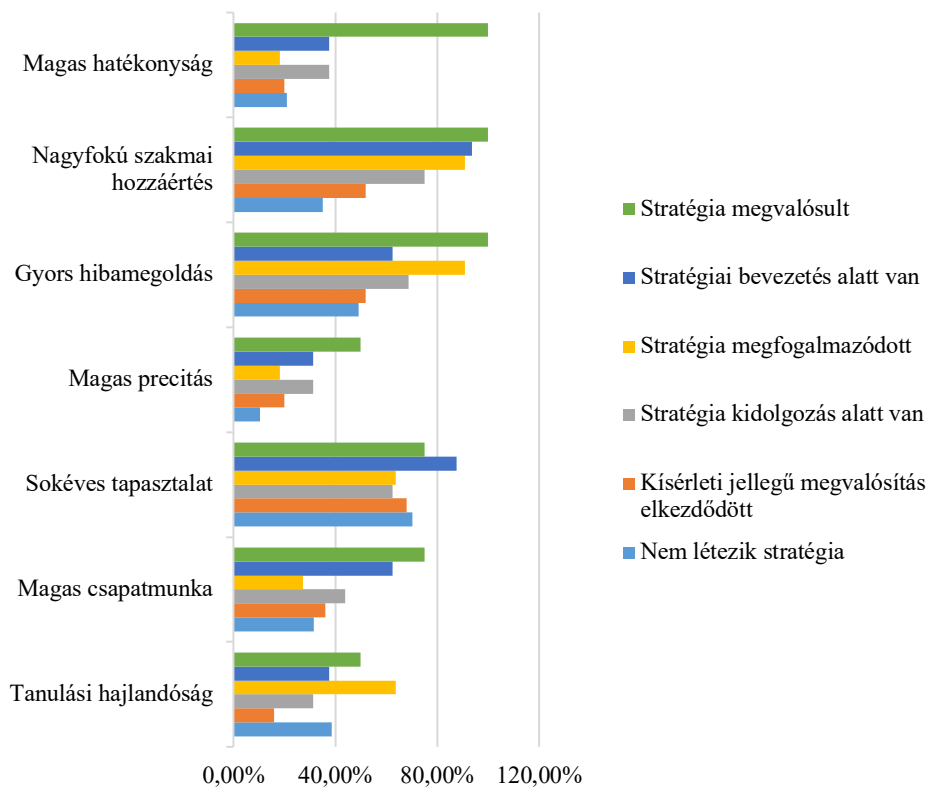
	Kruskal-Wallis H (szignifikancia szint)
Különböző folyamatok nehéz egységesítése	10,132 (0,163)
Magas költségek	7,020 (0,219)
Általános ismerethiány a technológiákról	6,815 (0,235)
Képzetlen munkaerő	4,625 (0,463)
Nem megfelelő vezetői támogatás	3,567 (0,613)
Lassú megtérülés	7,624 (0,178)
Nem megfelelő adatvédelem	3,179 (0,672)

A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségei válaszoknál egyik opció sem tér el szignifikánsan az elvárt szinttől (8. táblázat).

8. táblázat A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeihez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei

	Átlag	Szórás	Szignifikancia szint	Eltérés iránya
Különböző folyamatok nehéz egységesítése	44,2%	0,499	0,218	
Magas költségek	49,6%	0,502	1,000	
Általános ismerethiány a technológiákról	50,4%	0,502	1,000	
Képzetlen munkaerő	46,5%	0,501	0,481	
Nem megfelelő vezetői támogatás	37,2%	0,485	0,005	negatív eltérés
Lassú megtérülés	31,8%	0,467	0,001	negatív eltérés
Nem megfelelő adatvédelem	2,3%	0,151	0,001	negatív eltérés

A vállalatok Karbantartás 4.0 bevezettség állapotai szignifikánsan eltérnek a karbantartás általános előnyeikhez köthető *magas hatékonyság* és *nagyfokú szakmai hozzáértés* válaszok esetében (24. ábra és 9. táblázat).



24. ábra A karbantartás általános erősségeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

9. táblázat A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a karbantartás általános erősségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei (df=5)

	Kruskal-Wallis H (szignifikancia szint)
Magas hatékonyság	14,524 (0,013)
Nagyfokú szakmai hozzáértés	30,352 (0,001)
Gyors hibamegoldás	10,833 (0,055)
Magas precizitás	8,099 (0,151)
Sokéves tapasztalat	3,060 (0,691)
Magas csapatmunka	8,047 (0,154)
Tanulási hajlandóság	8,629 (0,125)

A *magas hatékonyság* válasz esetében a megvalósult stratégiájú, a *nagyfokú szakmai hozzáértés* válaszok esetében pedig a stratégiával nem rendelkező vállalatok térnek el jelentősen (10. és 11. táblázat).

10. táblázat A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *magas hatékonyság* válasznál (df=5)

	Nem létezik stratégia	Kísérleti jell. megval. elkezdődött	Strat. kidolgozás alatt	Strat. megfogalm.	Strat. bevez. alatt van	Strat. megvalósult
Nem létezik stratégia	-	0,922	0,193	0,845	0,193	0,001
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	0,922	-	0,221	0,910	0,221	0,001
Strat. kidolgozás alatt	0,193	0,221	-	0,269	1	0,012
Strat. megfogalm.	0,845	0,91	0,269	-	0,269	0,002
Strat. bevez. alatt van	0,193	0,221	1	0,269	-	0,012
Strat. megvalósult	0,001	0,001	0,012	0,002	0,012	-

11. táblázat A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *nagyfokú szakmai hozzáértés* válasznál

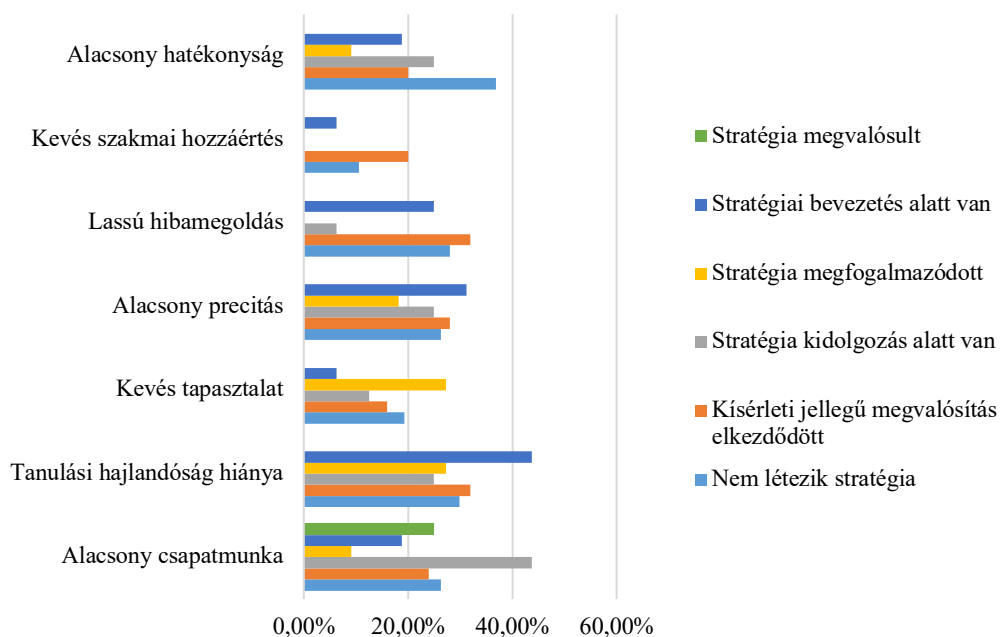
	Nem létezik stratégia	Kísérleti jell. megval. elkezdődött	Strat. kidolgozás alatt	Strat. megfogalm.	Strat. bevez. alatt van	Strat. megvalósult
Nem létezik stratégia	-	0,156	0,04	0,001	0,001	0,011
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	0,156	-	0,148	0,03	0,009	0,073
Strat. kidolgozás alatt	0,04	0,148	-	0,413	0,285	0,368
Strat. megfogalm.	0,001	0,03	0,413	-	0,884	0,754
Strat. bevez. alatt van	0,001	0,009	0,285	0,884	-	0,822
Strat. megvalósult	0,011	0,073	0,368	0,754	0,822	-

Az összes válaszadó vonatkozásában a karbantartási folyamatuk erősségeihez köthetően a *sokéves tapasztalat* válasz tér el szignifikánsan magasabb arányban (12. táblázat).

12. táblázat Az általános karbantartási erősségekhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei

	átlag	szórás	szignifikancia szint	eltérés iránya
Magas hatékonyság	0,271	0,446	0,001	negatív eltérés
Nagyfokú szakmai hozzáértés	0,574	0,496	0,113	
Gyors hibamegoldás	0,589	0,494	0,053	
Magas precizitás	0,194	0,397	0,001	negatív eltérés
Sokéves tapasztalat	0,705	0,458	0,001	pozitív eltérés
Magas csapatmunka	0,388	0,489	0,014	negatív eltérés
Tanulási hajlandóság	0,357	0,481	0,002	negatív eltérés

A karbantartás általános nehézségeihez köthető válaszlehetőségek egyike sem tér el szignifikánsan a vállalatok Karbantartás 4.0 bevezettség állapotai tekintetében (25. ábra és 13. táblázat).



25. ábra A karbantartás általános nehézségeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

13. táblázat A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a karbantartás általános nehézségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei (df=5)

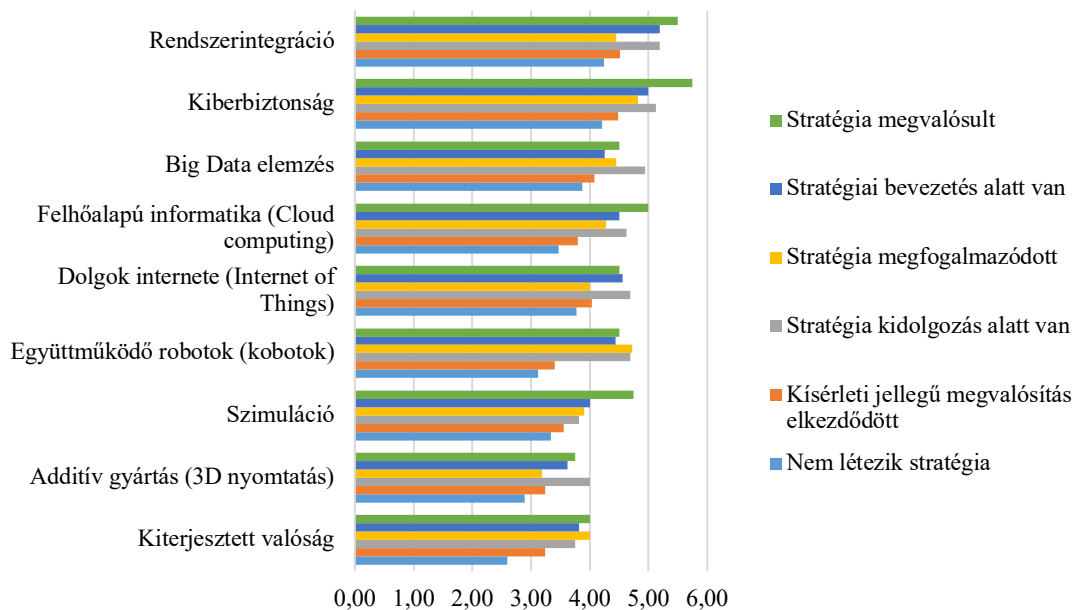
	Kruskal-Wallis H (szignifikancia szint)
Alacsony csapatmunka	4,750 (0,447)
Tanulási hajlandóság hiánya	3,388 (0,640)
Alacsony precizitás	2,041 (0,843)
Alacsony hatékonyság	7,305 (0,199)
Lassú hibamegoldás	9,078 (0,106)
Kevés tapasztalat	3,457 (0,630)
Kevés szakmai hozzáértés	6,795 (0,236)

Az összes válaszadó vonatkozásában a karbantartási folyamatuk nehézségeihez köthetően egyik válaszlehetőség sem tér el szignifikánsan magasabb arányban (14. táblázat).

14. táblázat Az általános karbantartási nehézségekhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei

	átlag	szórás	szignifikancia szint	eltérés iránya
Alacsony hatékonyság	0,264	0,442	0,001	negatív eltérés
Kevés szakmai hozzáértés	0,093	0,292	0,001	negatív eltérés
Lassú hibamegoldás	0,225	0,419	0,001	negatív eltérés
Alacsony precizitás	0,256	0,438	0,001	negatív eltérés
Kevés tapasztalat	0,163	0,371	0,001	negatív eltérés
Tanulási hajlandóság hiánya	0,302	0,461	0,001	negatív eltérés
Alacsony csapatmunka	0,256	0,438	0,001	negatív eltérés

Az Ipar 4.0 technológiák összehasonlításánál (27. ábra és 15. táblázat) a *felhőalapú informatika*, a *kooperatív robotok* és a *kiterjesztett valóság* esetében szignifikáns eltérés található a stratégia különböző bevezetettségi szintjein lévő vállalatok között. A páros összehasonlítás alapján (16., 17 és 18. táblázat) ezeknél a technológiáknál a stratégiával nem létező vállalatok a többi vállallattípushoz képest szignifikánsan alacsonyabb arányban adtak pozitív választ.



26. ábra Ipar 4.0 eszközök pozitív megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

15. táblázat A Karbantartás 4.0 szintjeinek és az Ipar 4.0 technológiák megítélésének Kruskal-Wallis-próba értékei (df=5)

	Kruskal-Wallis H (szignifikancia szint)
Rendszerintegráció	9,830 (0,080)
Kiberbiztonság	7,991 (0,157)
Big Data elemzés	4,622 (0,464)
Felhőalapú informatika (Cloud computing)	12,702 (0,026)
Dolgok internete (Internet of Things)	5,832 (0,323)
Együttműködő robotok (kobotok)	17,315 (0,004)
Szimuláció	6,924 (0,226)
Additív gyártás (3D nyomtatás)	7,812 (0,167)
Kiterjesztett valóság	19,323 (0,002)

16. táblázat A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *felhőalapú informatika* válasznál

	Nem létezik stratégia	Kísérleti jell. megval. elkezdődött	Strat. kidolgozás alatt	Strat. megfogalm.	Strat. bevez. alatt van	Strat. megvalósult
Nem létezik stratégia	-	0,492	0,01	0,113	0,027	0,051
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	0,492	-	0,078	0,325	0,151	0,117
Strat. kidolgozás alatt	0,01	0,078	-	0,594	0,765	0,618
Strat. megfogalm.	0,113	0,325	0,594	-	0,792	0,404
Strat. bevez. alatt van	0,027	0,151	0,765	0,792	-	0,492
Strat. megvalósult	0,051	0,117	0,618	0,404	0,492	-

17. táblázat A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *együttműködő robotok* válasznál

	Nem létezik stratégia	Kísérleti jell. megval. elkezdődött	Strat. kidolgozás alatt	Strat. megfogalm.	Strat. bevez. alatt van	Strat. megvalósult
Nem létezik stratégia	-	0,08	0,005	0,005	0,003	0,054
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	0,08	-	0,233	0,161	0,285	0,285
Strat. kidolgozás alatt	0,005	0,233	-	0,749	0,906	0,729
Strat. megfogalm.	0,005	0,161	0,749	-	0,831	0,907
Strat. bevez. alatt van	0,003	0,285	0,906	0,831	-	0,786
Strat. megvalósult	0,054	0,285	0,729	0,907	0,786	-

18. táblázat A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *kiterjesztett valóság* válasznál

	Nem létezik stratégia	Kísérleti jell. megval. elkezdődött	Strat. kidolgozás alatt	Strat. megfogalm.	Strat. bevez. alatt van	Strat. megvalósult
Nem létezik stratégia	-	0,655	0,004	0,007	0,17	0,127
Kísérleti jell. megval. elkezdődött	0,655	-	0,028	0,03	0,206	0,206
Strat. kidolgozás alatt	0,004	0,028	-	0,828	0,708	0,971
Strat. megfogalm.	0,007	0,03	0,828	-	0,578	0,856
Strat. bevez. alatt van	0,17		0,708	0,578	-	0,841
Strat. megvalósult	0,127	0,206	0,971	0,856	0,841	-

Az összes válaszadót vizsgálva az Ipar 4.0 technológiák megítélése válaszok többsége, vagyis a *rendszerintegráció*, a *szimuláció*, a *felhőalapú informatika*, a *kiberbiztonság*, a *Dolgok internete* és a *Big Data elemzés* válaszok is szignifikánsan magas pozitív eltérést mutatnak (19. táblázat).

19. táblázat Az Ipar 4.0 technológiákhoz megítélésén elvégzett binomiális teszt értékei

	átlag	szórás	szignifikancia szint	eltérés iránya
Rendszerintegráció	4,589	1,439	0,001	pozitív eltérés
Szimuláció	3,612	1,388	0,001	pozitív eltérés
Felhőalapú informatika (Cloud computing)	3,922	1,519	0,004	pozitív eltérés
Kiberbiztonság	4,574	1,545	0,001	pozitív eltérés
Dolgok internete (Internet of Things)	4,078	1,445	0,001	pozitív eltérés
Big Data elemzés	4,163	1,585	0,001	pozitív eltérés
Additív gyártás (3D nyomtatás)	3,240	1,560	0,075	
Kiterjesztett valóság	3,178	1,476	0,001	negatív eltérés
Együttműködő robotok (kobotok)	3,713	1,777	0,113	

Következtetések

A megkérdezett autóiipari vállalatok karbantartási szakemberei által adott válaszok elemzéséből a következő főbb következtetésekre jutottam a Karbantartás 4.0 bevezetés és az általános válaszok alapján:

- A hazai autóiipari vállalatok nagy része a Karbantartás 4.0 bevezetés legelején tart.

A vállalatok karbantartási részlegei alacsony digitalizáltságúak, a felmérésben részt vevő vállalatok közel fele (44%) egyáltalán nem rendelkezik Karbantartás 4.0 stratégiával. Több mint 80%-uk nem jutott túl a stratégiaalkotás szintjén.

- A Karbantartás 4.0 különböző szintjein lévő vállalatok között nincs szignifikáns különbség a bevezetés nehézségei vonatkozásában.
- A stratégia bevezetési nehézségei válaszoknál egyik opció sem tér el szignifikánsan magasabb arányban az elvárt szinttől.
- A karbantartás általános nehézségeihez köthető válaszlehetőségek egyike sem tér el szignifikánsan a vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetettségi állapotai tekintetében.
- Az összes válaszadó vonatkozásában a vállalatok karbantartási folyamataik nehézségeihez köthetően egyik válaszlehetőség sem tér el szignifikánsan magasabb arányban.

A lemaradás okát nem lehet egy tipikus nehézséggel azonosítani. Vannak egyes kiugró értékek, azonban azokat nem lehet sem az összes válaszadó vállalatra tekintve, sem a Karbantartás 4.0 fejlettségi szint szerinti csoportosítás alapján megállapítani.

- A Karbantartás 4.0 különböző fejlettségi szintjein lévő vállalatok között nincs szignifikáns különbség abban a tekintetben, hogy milyen előnyöket tudnak a stratégiához kapcsolni.
- A Karbantartás 4.0 előnyeihez köthető válaszoknál a megnövelt hatékonyság és termelékenység, valamint a gép állásidőinek csökkentése válaszok szignifikánsan magas arányban vannak jelen.
- Szignifikáns összefüggés van a vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetettségi szintjei, a karbantartási részleg általános erősségeihez köthető magas hatékonyság és a nagyfokú szakmai hozzáértés válaszok esetében.

A vállalatok szakemberei – a vállalat fejlettségi szintjétől függetlenül – leginkább a berendezések állásidejének csökkentését és hatékonyságuk növelését várják az Ipar 4.0 technológiáktól. A legfejlettebb szinten lévő, stratégiával rendelkező vállalatok a saját karbantartási részlegük előnyének a magas hatékonyságot adták meg.

- A felhőalapú informatika, a kooperatív robotok és a kiterjesztett valóság technológiák esetében a stratégiával nem rendelkező vállalatok a többi vállalatípushoz képest szignifikánsan alacsonyabb arányban adtak pozitív választ az Ipar 4.0 technológiákra vonatkozóan.
- Az Ipar 4.0 technológiák közül a rendszerintegráció, a szimuláció, a felhőalapú informatika, a kiberbiztonság, a Dolgok internete és a Big Data elemzés megítélése is szignifikánsan magas.

Az alacsony Karbantartás 4.0 fejlettséggel rendelkező vállalatok több technológiát (felhőalapú informatika, kooperatív robotok, kiterjesztett valóság) is lényegesen alacsony pontszámmal értékelték. A szakemberek véleménye összességében azonban számos technológia tekintetében is markánsan pozitív. Tehát a bevezetés előrehaladtával, ahogy a szakemberek megismerik a technológiákat, egyre inkább látják azok pozitív hatásait.

4.2. Kis- és középvállalkozások nagyvállalatokkal való összehasonlítása

A vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szint között elvégzett khi-négyzet próba p konfidencia együttható értéke 0,016. Ez alapján el lehet vetni a nullhipotézist, vagyis azt, hogy a két minta statisztikailag egy sokaságból származna. Tehát szignifikáns összefüggés mutatkozik a Karbantartás 4.0 bevezetési stádiuma és a vállalat mérete között (20. táblázat). A 21. táblázat Cramer-féle V együtthatója alapján a kapcsolat a két változó között erősnek mondható.

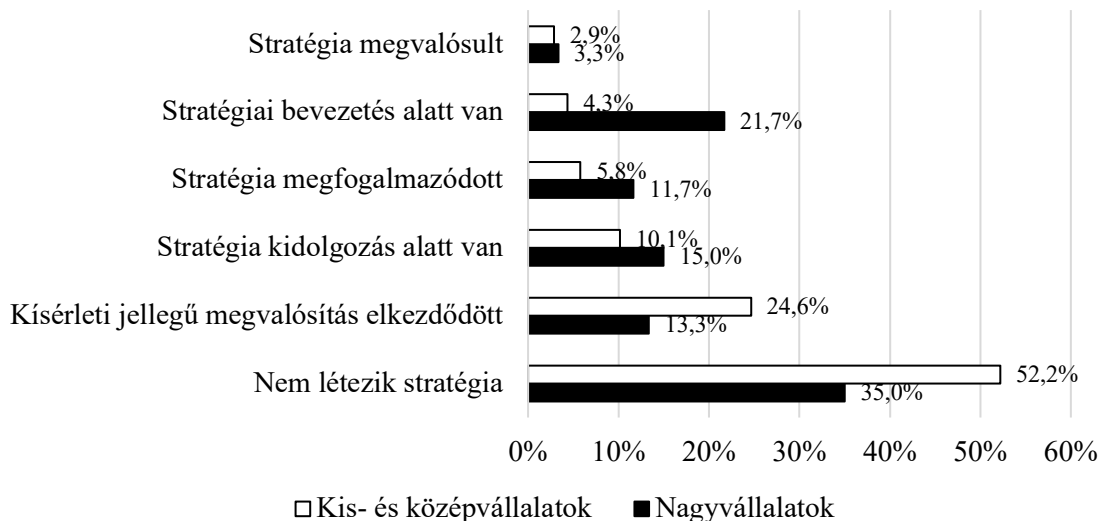
20. táblázat A vállalatok mérete és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti khi-négyzet próba

Khi-négyzet próba			
	Érték	df	Aszimptotikus szignifikancia (2 oldalú)
Pearson Khi-négyzet	13,946	5	0,016
Valószínűségi hányados	14,497	5	0,013
Lineáris-lineáris asszociáció	10,16	1	0,001
Érvényes esetek száma	129		

21. táblázat A vállalatok mérete és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti Cramer-féle V együttható

Szimmetria mérések			
		Érték	Hozzávetőleges szignifikancia
Nominális nominálissal	Phi	0,329	0,016
	Cramer's	0,329	0,016
	V		
Érvényes esetek száma		129	

A 27. ábrán és a 22. táblázaton látható összehasonlítás alapján a kis- és középvállalatok válaszadói több mint felének nincs Karbantartás 4.0 stratégiája. 77%-uk még nem jutott túl a kísérleti megvalósítás szakaszon, és mindössze 7%-uk kezdte már el bevezetni a stratégiát. A felmérésben részt vevő nagyvállalatok ezzel szemben előrébb tartanak a Karbantartás 4.0 bevezetésében. A KKV-khoz képest magasabb arányban vannak azon vállalatok, amelyek már túljutottak a kísérleti jellegű megvalósításon (52%). Szignifikáns különbség azonban csak a *stratégia bevezetés alatt van* válasznál látható. Ez alapján megállapítható, hogy a nagyvállalatok nagyobb részénél van folyamatban a Karbantartás 4.0 bevezetése.



27. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapotai

22. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapot szerinti összehasonlítása t-próba alapján

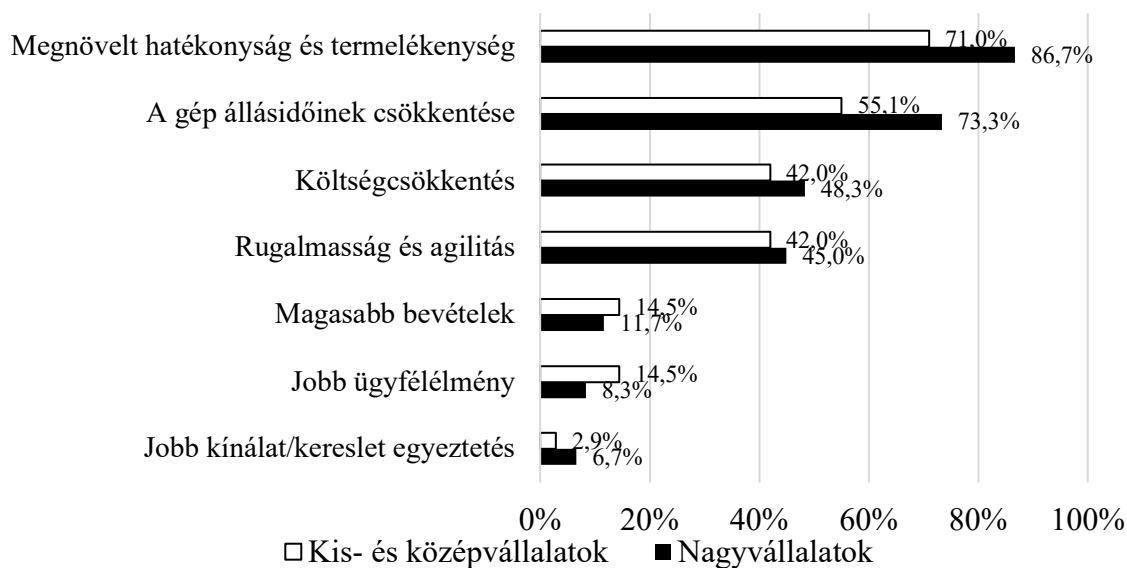
	Kis- és közép vállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Stratégia megvalósult	2,9%	0,169	3,3%	0,181	0,918
Stratégiai bevezetés alatt van	4,3%	0,205	21,7%	0,415	0,034
Stratégia megfogalmazódott	5,8%	0,235	11,7%	0,324	0,396
Stratégia kidolgozás alatt van	10,1%	0,304	15,0%	0,360	0,549
Kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött	24,6%	0,434	13,3%	0,343	0,232
Nem létezik stratégia	52,2%	0,503	35,0%	0,481	0,152

A felmérésben részt vevő KKV-k és nagyvállalatok gépparkját a 23. táblázat mutatja be. A gépparkok korát tekintve nincs jelentősebb különbség, az automatizáltságuk viszont szignifikánsan eltér egymástól. A felmérésben részt vevő KKV-k a nagyvállalatokéhoz hasonló korú gépparkkal rendelkeznek, azonban berendezéseik általános automatizáltsági szintje jelentősen alacsonyabb.

23. táblázat A KKV-k és nagyvállalatok gépparkjának kora és automatizáltsági szint szerinti összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és közép vállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Modern gépparkkal rendelkező vállalat	52,2%	0,503	53,3%	0,503	0,896
Géppark automatizáltság szintje	5,174	1,636	5,933	1,448	0,006

A KKV-k a nagyvállalatokhoz hasonlóan látják a Karbantartás 4.0 előnyeit (28. ábra és 24. táblázat) a felmérés alapján. Az első négy szempont teljesen megegyezik a két csoportot tekintve. A válaszok arányai azonban eltérnek egymástól. Szignifikánsabb magasabb arányban választották a nagyvállalatok a *megnövelt hatékonyság és termelékenység*, valamint a *gép állásidőinek csökkentése* lehetőségeket a KKV-khoz képest.

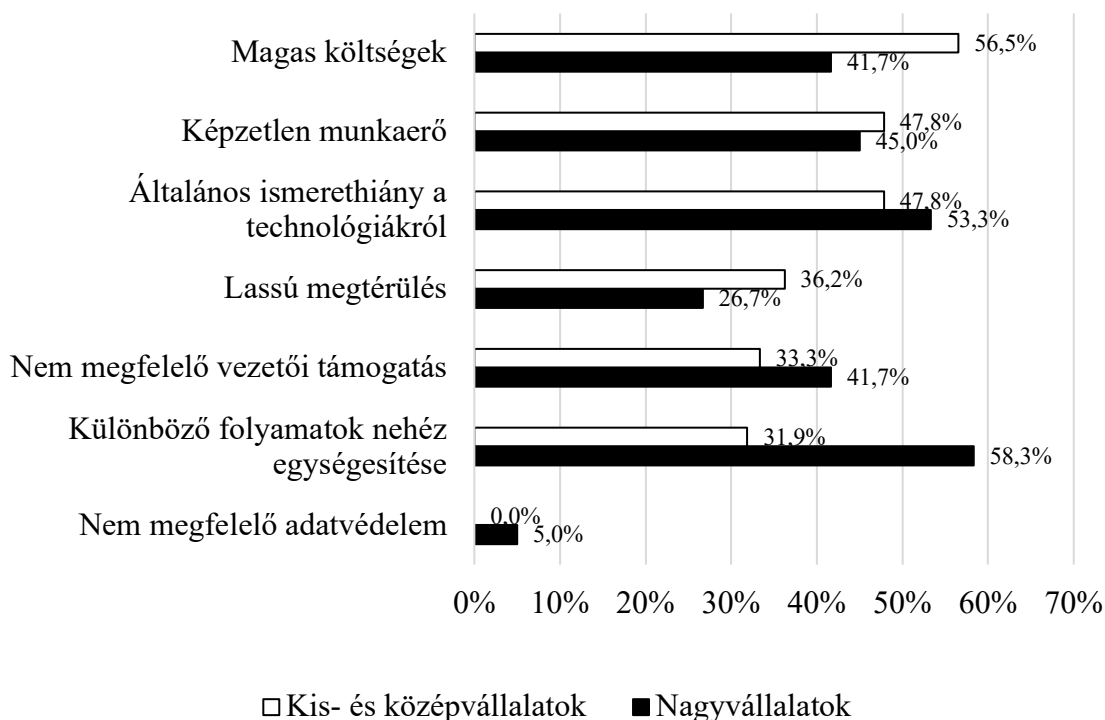


28. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye a Karbantartás 4.0 előnyeiről

24. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok a Karbantartás 4.0 előnyök véleményének összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és középvállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Megnövelt hatékonyság és termelékenység	71,0%	0,457	86,7%	0,343	0,028
A gép állásidőinek csökkentése	55,1%	0,501	73,3%	0,446	0,030
Költségcsökkentés	42,0%	0,497	48,3%	0,504	0,477
Rugalmasság és agilitás	42,0%	0,497	45,0%	0,502	0,737
Magasabb bevételek	14,5%	0,355	11,7%	0,324	0,637
Jobb ügyfélművelés	14,5%	0,355	8,3%	0,279	0,272
Jobb kínálat/kereslet egyeztetés	2,9%	0,169	6,7%	0,252	0,327

A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeire vonatkozó kérdésnél (29. ábra és 25. táblázat) a két csoport eltérő válaszokat adott meg fő okként. A KKV-k a legnagyobb kihívásnak a *magas költségeket* tartják, jóval nagyobb arányban, mint a nagyvállalatok. Ez az eltérés azonban nem számít statisztikailag meghatározó különbségnek ($p=0,094$). Szignifikáns különbség mutatkozik azonban a nagyvállalatok első számú nehézsége, a *különböző folyamatok nehéz egységesítése* válasz esetében. Ez a nehézség jelentősen magasabb arányban érinti a nagyvállalatokat. Érdekes itt megemlíteni, hogy egyik csoport sem tartja különösen nagy kihívásnak a karbantartáshoz szükséges adatok védelmének megfelelő kialakítását.

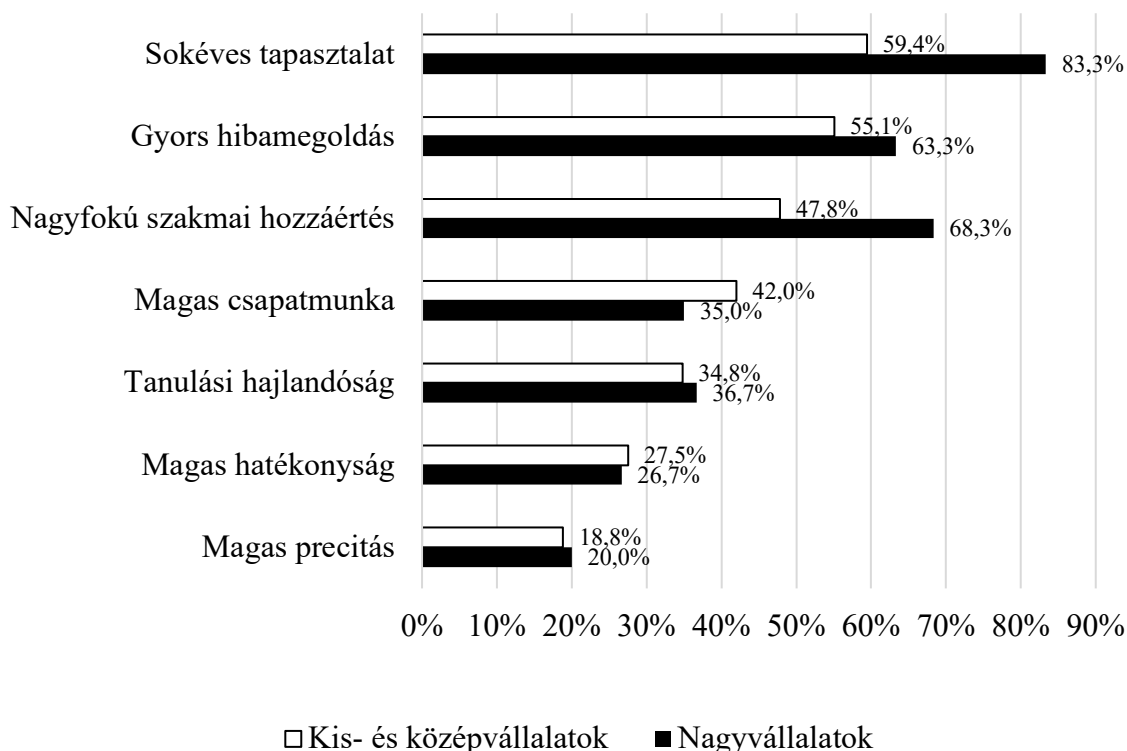


29. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye a Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeiről

25. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségek véleményeinek összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és középvállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Magas költségek	56,5%	0,499	41,7%	0,497	0,094
Képzetlen munkaerő	47,8%	0,503	45,0%	0,502	0,750
Általános ismerethiány a technológiákról	47,8%	0,503	53,3%	0,503	0,536
Lassú megtérülés	36,2%	0,484	26,7%	0,446	0,245
Nem megfelelő vezetői támogatás	33,3%	0,475	41,7%	0,497	0,334
Különböző folyamatok nehéz egységesítése	31,9%	0,469	58,3%	0,497	0,002
Nem megfelelő adatvédelem	0,0%	0,000	5,0%	0,220	0,081

A karbantartási részlegek általános előnyeinel (30. ábra és 26. táblázat) is hasonló eloszlás látható. Az első három opció megegyezik a két csoportot tekintve. A válaszok arányai azonban magasabbak a nagyvállalatok esetében. Szignifikánsan többen adták meg a *sokéves tapasztalat* és a *nagyfokú szakmai hozzáértés* választ ebben a csoportban.



30. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményének az általános karbantartási erősségeikről

26. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erősségek véleményeik összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és középvállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Sokéves tapasztalat	59,4%	0,495	83,3%	0,376	0,002
Gyors hibamegoldás	55,1%	0,501	63,3%	0,486	0,344
Nagyfokú szakmai hozzáértés	47,8%	0,503	68,3%	0,469	0,018
Magas csapatmunka	42,0%	0,497	35,0%	0,481	0,417
Tanulási hajlandóság	34,8%	0,480	36,7%	0,486	0,825
Magas hatékonyság	27,5%	0,450	26,7%	0,446	0,913
Magas precizitás	18,8%	0,394	20,0%	0,403	0,870

A karbantartási részleg általános nehézségeire vonatkozó kérdésre adott válaszok rendkívül hasonlóak (31. ábra és 27. táblázat). Sem a válaszok sorrendje, sem azok mértéke nem mutat különösebb eltérést, a szignifikancia szintek nincsenek a kritikus tartományban. A legmagasabb válasz a *tanulási hajlandóság hiánya* és az *alacsony hatékonyság* válaszokra érkezett.

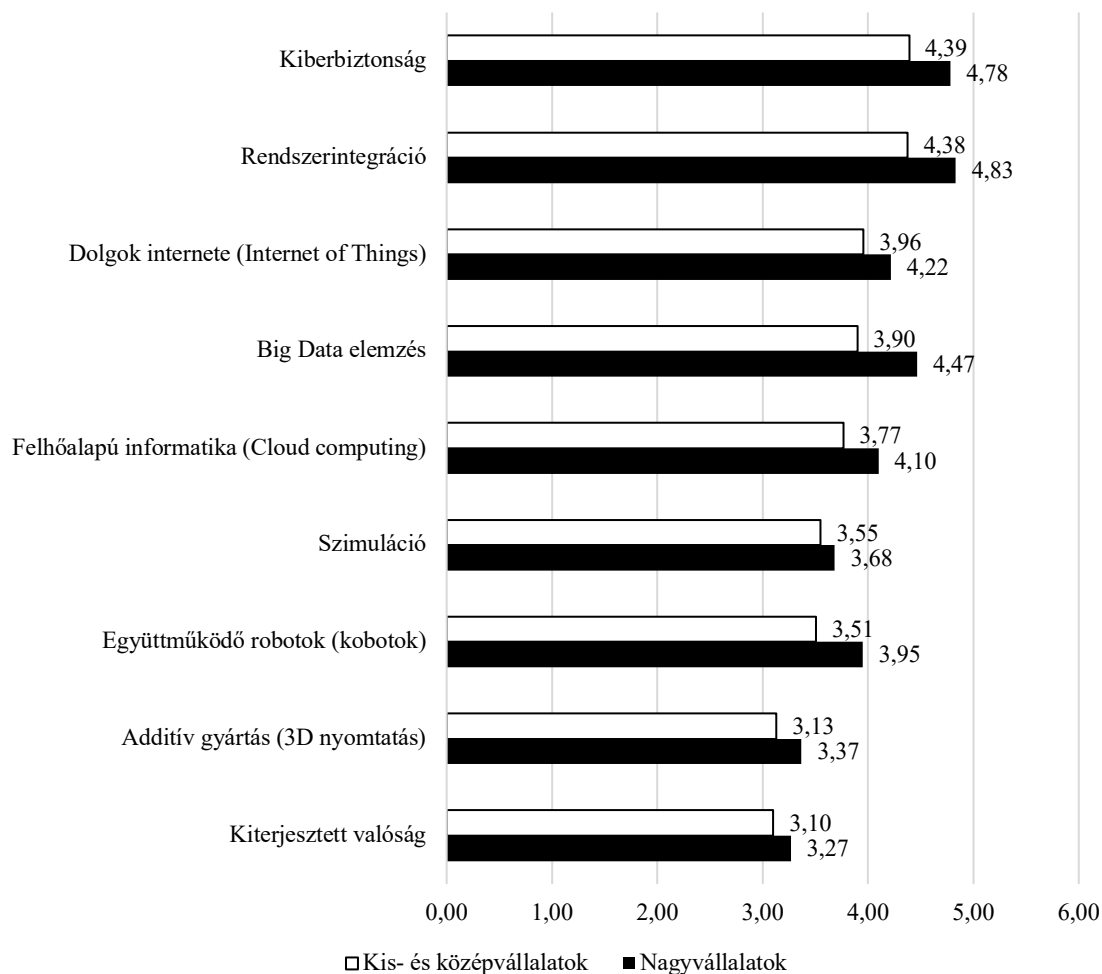


31. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye az általános karbantartási nehézségeikről

27. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erősség vélemények összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és középvállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Tanulási hajlandóság hiánya	29,0%	0,457	31,7%	0,469	0,744
Alacsony hatékonyság	24,6%	0,434	28,3%	0,454	0,639
Alacsony csapatmunka	24,6%	0,434	26,7%	0,446	0,795
Alacsony precizitás	24,6%	0,434	26,7%	0,446	0,795
Lassú hibamegoldás	20,3%	0,405	25,0%	0,437	0,529
Kevés tapasztalat	18,8%	0,394	13,3%	0,343	0,397
Kevés szakmai hozzáértés	10,1%	0,304	8,3%	0,279	0,725

A KKV-k és a nagyvállalatok hasonlóképpen gondolkoznak a különböző Ipar 4.0 technológiák megítélésével kapcsolatban (32. ábra és 28. táblázat). A legfontosabbnak a *kiberbiztonságot*, a *rendszerintegrációt* és a *Dolgok internetét* véli mind a két csoport. Jelentős eltérés egyedül a *Big Data elemzéssel* kapcsolatban van. Itt a nagyvállalatok szignifikánsan nagyobb részben tartják fontosnak ezt a technológiát.



32. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékelései

28. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékeléseinek összehasonlítása t-próba alapján

	Kis- és középvállalatok (n=60)		Nagyvállalatok (n=69)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Rendszerintegráció	4,38	1,544	4,83	1,278	0,069
Szimuláció	3,55	1,529	3,68	1,214	0,584
Felhőalapú informatika (Cloud computing)	3,77	1,592	4,10	1,423	0,213
Kiberbiztonság	4,39	1,629	4,78	1,427	0,148
Dolgok internete (Internet of Things)	3,96	1,460	4,22	1,427	0,309
Big Data elemzés	3,90	1,673	4,47	1,432	0,040
Additív gyártás (3D nyomtatás)	3,13	1,617	3,37	1,495	0,390
Kiterjesztett valóság	3,10	1,405	3,27	1,561	0,531
Együttműködő robotok (kobotok)	3,51	1,812	3,95	1,721	0,158

Következtetések

A megkérdezett autóipari vállalatok karbantartási szakemberei által adott válaszok elemzéséből a következő főbb következtetésekre jutottam a kis- és középvállalkozások és a nagyvállalatok összehasonlítása során:

- Szignifikáns összefüggés mutatkozik a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint között. A nagyvállalatok a KKV-kkal összehasonlítva nagyobb arányban tartanak a Karbantartás 4.0 stratégia bevezetésének későbbi szakaszában.
- A KKV-k a nagyvállalatokhoz hasonló korszerűségű gépállománnyal rendelkeznek, ugyanakkor eszközeik lényegesen alacsonyabb automatizáltsági fokúak.

A felmérés alapján kiderül, hogy lényegi összefüggés van a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetési szintjei között a hazai autóiparban, a KKV-k lemaradásban vannak a bevezetést illetően a nagyvállalatokhoz képest.

- A KKV-k és a nagyvállalatok hasonló előnyöket kötnek a Karbantartás 4.0 bevezetéshez. A megnövelt hatékonyság és termelékenység, illetve a gépi állásidők csökkentése válaszok esetében azonban szignifikánsan magasabb arányt adtak meg a nagyvállalati szakemberek. A bevezetési nehézségek esetében lényegi eltérés a különböző folyamatok nehéz egységesítése, amely a nagyvállalatok sajátossága.
- A karbantartási részlegek általános erősségeit vizsgálva szignifikáns eltérés mutatkozik a sokéves tapasztalat és a nagyfokú szakmai hozzáértés válaszoknál a nagyvállalatok javára. Az általános nehézségeikre irányuló kérdés esetében nincs jelentősebb különbség a két csoport között.

A lemaradás okait a felmérés során a KKV-k szakemberei nem tudták igazán egységesen és jól elkülöníthetően kifejezni. Ennek oka lehet a Karbantartás 4.0 bevezetés kapcsán rendelkezésükre álló kevés információ, amelyből meg tudnák határozni a konkrét bevezetési kihívásaikat. A nagyvállalatok saját nehézségeiknek a különböző folyamatok nehéz egységesítése választ adták, amely valóban az összetett, sok részlegből álló üzemek sajátossága. A nagyvállalatok szakemberei a digitális stratégia előnyeinél számos válaszlehetőséget is lényegesen nagyobb arányban adtak meg, ami ugyancsak arra utal, hogy a KKV-k szakemberei kevésbé jól informáltak ebben a tekintetben.

- A nagyvállalatok lényegesen fontosabbnak tartják a Big Data elemzést az Ipar 4.0 technológiákat illetően a KKV-knál.

A Big Data elemzés egy merőben új technológia a karbantartási folyamatokban. A különböző gyártási folyamatokból származó nagy mennyiségű adat elemzése már kisebb üzemméret esetében is rendkívül előnyös tud lenni. A felmérés alapján azonban a KKV-k ezt lényegesen kevésbé tartják fontos szempontnak a nagyvállalatokhoz képest, ami ugyancsak arra utal, hogy ezek a szakemberek nem értesülhettek megfelelően a technológia előnyeiről, nem láttak megfelelő megvalósítási példákat.

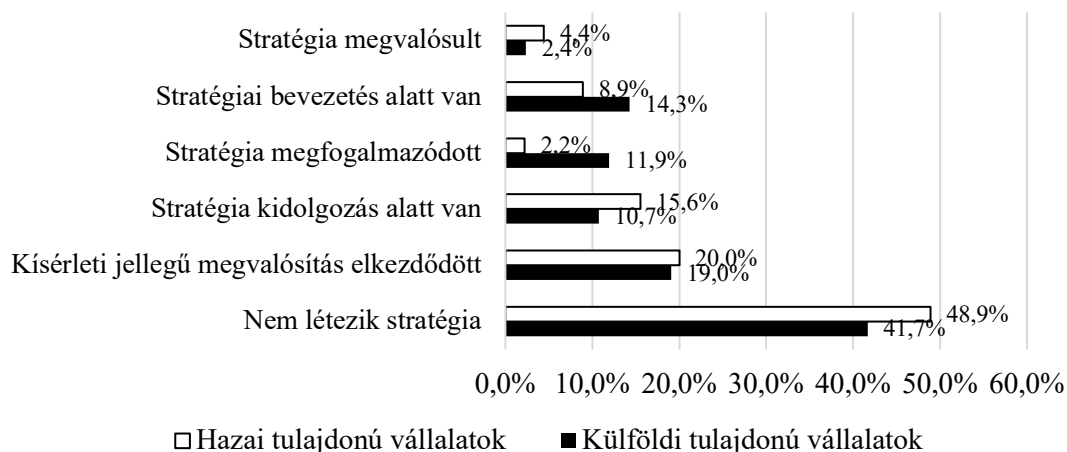
4.3. Hazai és külföldi tulajdonú vállalatok összehasonlítása

A vállalat tulajdonosi nemzetisége és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szint között elvégzett khi-négyzet próba p értéke 0,389. Ez alapján nem található szignifikáns összefüggés a Karbantartás 4.0 bevezetettsége és aközött, hogy a vállalat hazai vagy külföldi tulajdonosi körrel rendelkezik (29. táblázat).

29. táblázat A vállalatok tulajdonosi nemzetisége és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti khi-négyzet próba

Khi-négyzet próba			
	Érték	df	Aszimptotikus szignifikancia (2 oldalú)
Pearson Khi-négyzet	5,225	5	0,389
Valószínűségi hányados	5,984	5	0,308
Lineáris-lineáris asszociáció	1,068	1	0,3013
Érvényes esetek száma	129		

A 33. ábra és a 30. táblázat alapján a Karbantartás 4.0 egyes bevezetési szintjein látható ugyan kisebb különbség – a kezdeti fejlettségi szinteknél hazai tulajdonú vállalatok, a későbbiekben pedig a külföldi tulajdonúak javára – azonban egyik válasznál sem látható szignifikáns eltérés.



33. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok megoszlása Karbantartás 4.0 bevezetési állapota szerint

30. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapot szerinti összehasonlítása t-próba alapján

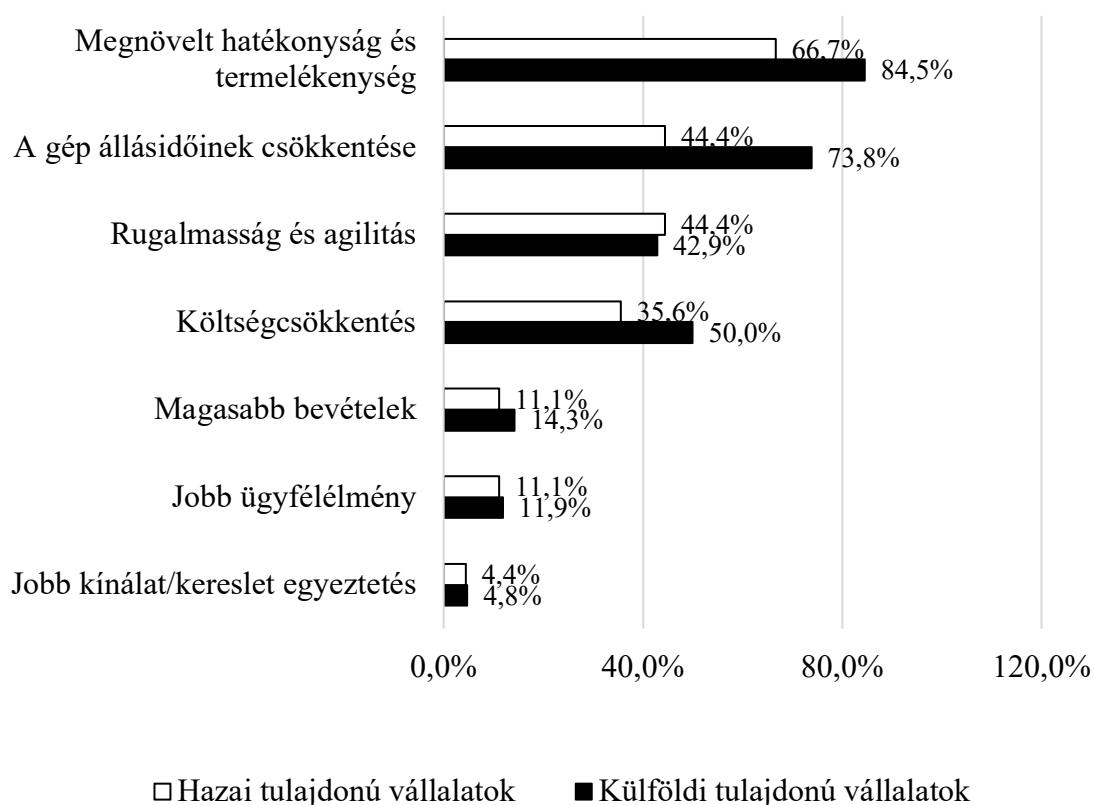
	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Stratégia megvalósult	4,4%	0,208	2,4%	0,153	0,523
Stratégiai bevezetés alatt van	8,9%	0,288	14,3%	0,352	0,379
Stratégia megfogalmazódott	2,2%	0,149	11,9%	0,326	0,061
Stratégia kidolgozás alatt van	15,6%	0,367	10,7%	0,311	0,431
Kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött	20,0%	0,405	19,0%	0,395	0,897
Nem létezik stratégia	48,9%	0,506	41,7%	0,496	0,435

A két csoport gépparkjának típusait a 31. táblázat szemlélteti. A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok között nincs szignifikáns különbség a géppark átlagos korát tekintve, azonban a gépek automatizáltsági szintje jelentősen eltér. A külföldi tulajdonú vállalatok jóval nagyobb automatizáltsággal rendelkeznek.

31. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok gépparkjának kora és automatizáltsági szint szerinti összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Géppark átlagos kora	64,4%	0,484	46,4%	0,502	0,051
Géppark automatizáltság szintje	4,78	1,691	5,93	1,387	0,001

A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok szakemberei hasonló kulcselőnyöket tudnak a Karbantartás 4.0-hoz társítani (34. ábra és 32. táblázat). A külföldi tulajdonú vállalatok azonban ezen válaszlehetőségeket nagyobb arányban kötik a koncepcióhoz. Szignifikáns különbség mutatkozik a *megnövelt hatékonyság és termelékenység* és a *gép állásidőinek csökkentése* válaszoknál.

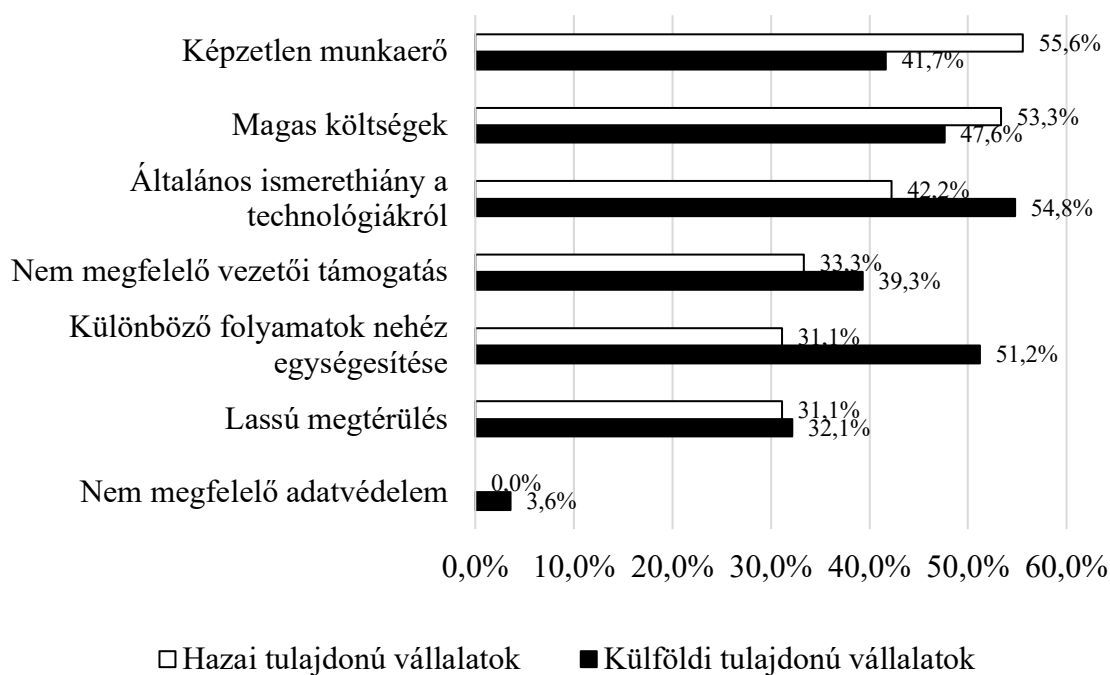


34. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei a Karbantartás 4.0 előnyeiről

32. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 előnyök vélemények összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Megnövelt hatékonyság és termelékenység	66,7%	0,477	84,5%	0,364	0,019
A gép állásidőinek csökkentése	44,4%	0,503	73,8%	0,442	0,001
Rugalmasság és agilitás	44,4%	0,503	42,9%	0,498	0,864
Költségcsökkentés	35,6%	0,484	50,0%	0,503	0,118
Magasabb bevételek	11,1%	0,318	14,3%	0,352	0,615
Jobb ügyfélművelés	11,1%	0,318	11,9%	0,326	0,894
Jobb kínálat/kereslet egyeztetés	4,4%	0,208	4,8%	0,214	0,936

A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeire adott válaszokat mutatja a hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok vonatkozásában a 35. ábra és a 33. táblázat. Ez alapján szignifikáns eltérés van a két csoport között a *különböző folyamatok nehéz egységesítése* válasz esetében. Ezt a külföldi tulajdonú vállalatok lényegesen nagyobb arányban választották.

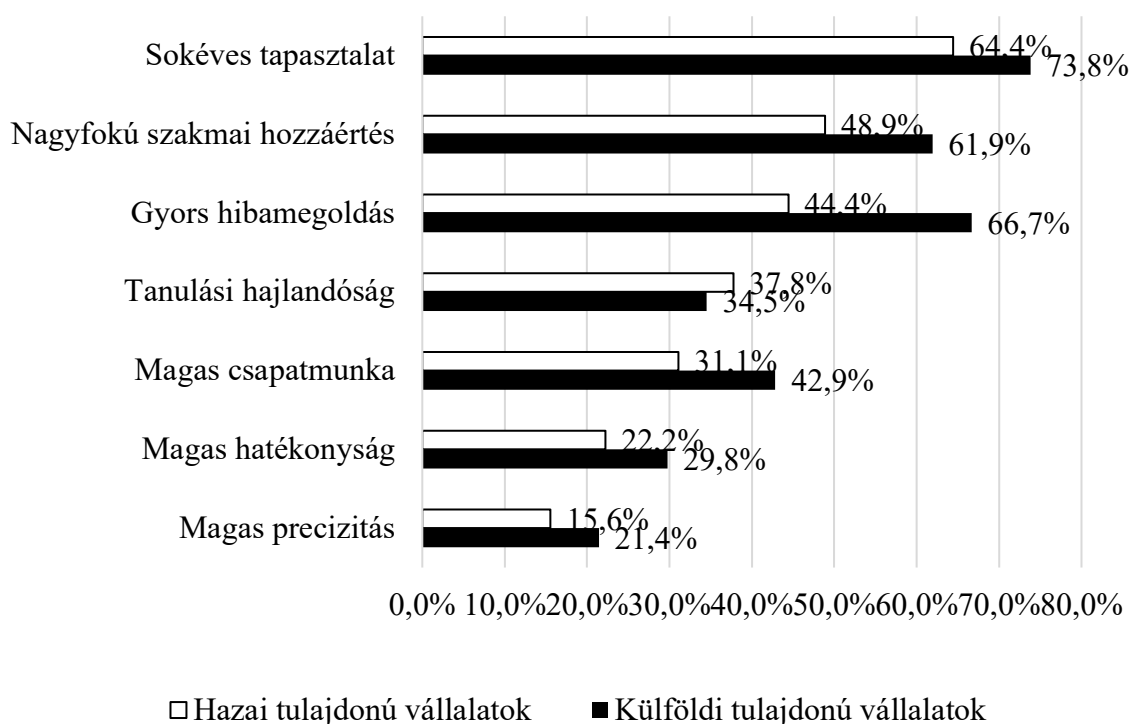


35. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei a Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeiről

33. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségek vélemények összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Képzetlen munkaerő	55,6%	0,503	41,7%	0,496	0,134
Magas költségek	53,3%	0,505	47,6%	0,502	0,540
Általános ismerethiány a technológiákról	42,2%	0,499	54,8%	0,501	0,177
Nem megfelelő vezetői támogatás	33,3%	0,477	39,3%	0,491	0,509
Különböző folyamatok nehéz egységesítése	31,1%	0,468	51,2%	0,503	0,029
Lassú megtérülés	31,1%	0,468	32,1%	0,470	0,905
Nem megfelelő adatvédelem	0,0%	0,000	3,6%	0,187	0,203

A karbantartási részlegek általános előnyeire vonatkozó válaszokat a 36. ábra és a 34. táblázat mutatja. A két csoport hasonló tulajdonságokat említ meg leggyakrabban. Szignifikáns különbség mutatkozik a *gyors hibamegoldás* válasznál, a külföldi tulajdonú vállalatok nagyobb arányban társítják ezt a szempontot saját folyamataikhoz.

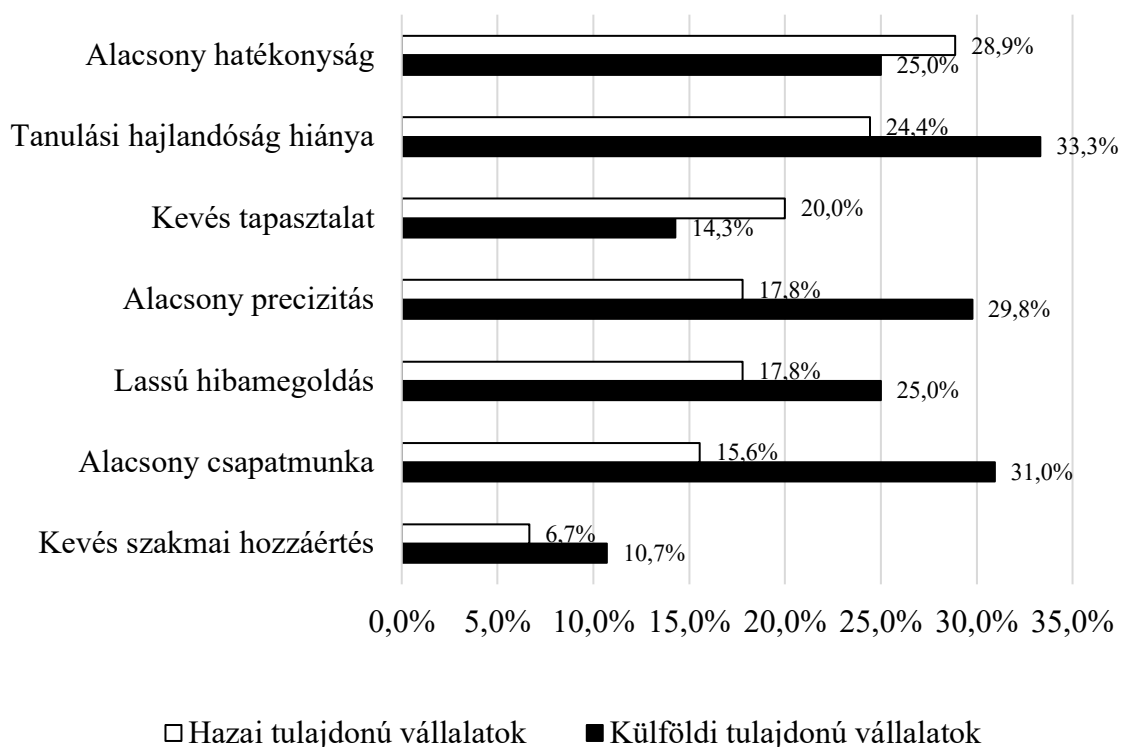


36. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei az általános karbantartási erősségeikről

34. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erőssége vélemények összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Sokéves tapasztalat	64,4%	0,484	74%	0,4423	0,270
Nagyfokú szakmai hozzáértés	48,9%	0,506	62%	0,4885	0,157
Gyors hibamegoldás	44,4%	0,503	67%	0,4742	0,014
Tanulási hajlandóság	37,8%	0,490	35%	0,4783	0,716
Magas csapatmunka	31,1%	0,468	43%	0,4978	0,195
Magas hatékonyság	22,2%	0,420	30%	0,4600	0,363
Magas precizitás	15,6%	0,367	21%	0,4128	0,425

A karbantartási folyamatok általános nehézségeire adott válaszok átlagai (37. ábra és 35. táblázat) nagyobb eltérést mutatnak, azonban a két csoport közötti különbségek nem szignifikánsak.

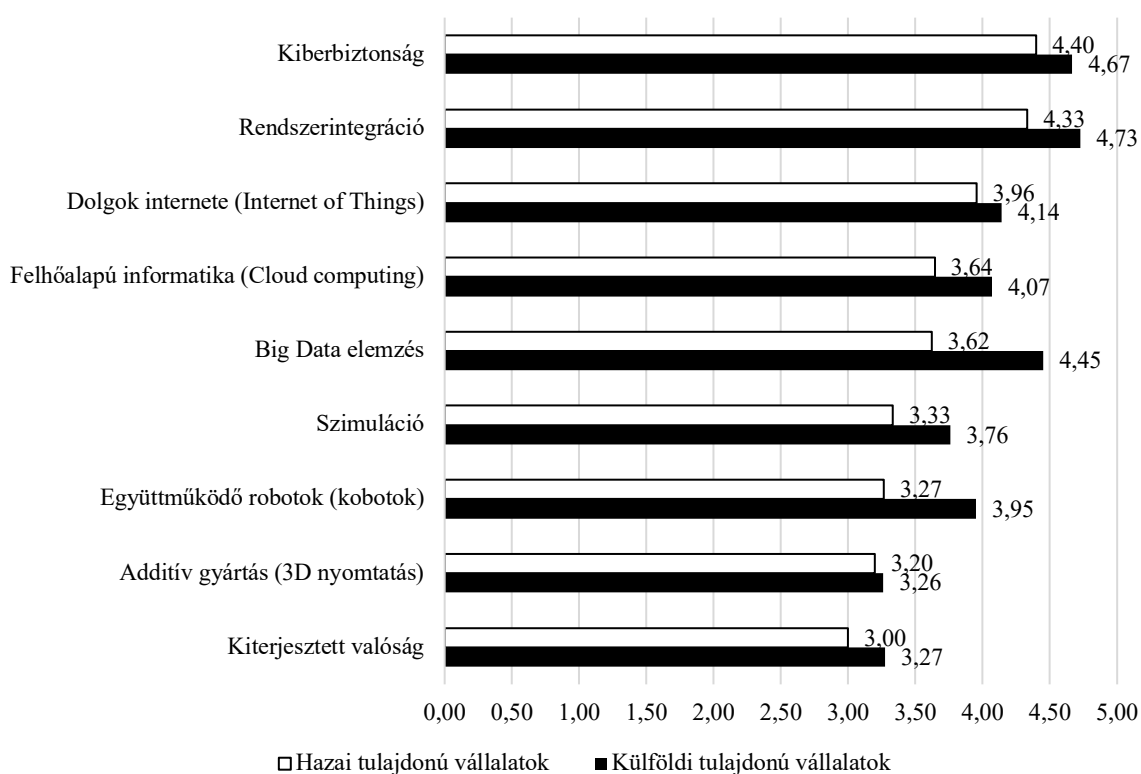


37. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei az általános karbantartási nehézségekről

35. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási nehézségek véleményeinek összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Alacsony hatékonyság	28,9%	0,458	25,0%	0,436	0,636
Tanulási hajlandóság hiánya	24,4%	0,435	33,3%	0,474	0,298
Kevés tapasztalat	20,0%	0,405	14,3%	0,352	0,406
Alacsony precizitás	17,8%	0,387	29,8%	0,460	0,139
Lassú hibamegoldás	17,8%	0,387	25,0%	0,436	0,353
Alacsony csapatmunka	15,6%	0,367	31,0%	0,465	0,057
Kevés szakmai hozzáértés	6,7%	0,252	10,7%	0,311	0,455

Az Ipar 4.0 technológiákat tekintve a legfontosabb két opcióként a *kiberbiztonságot* és a *rendszerintegrációt* adta meg mind a két csoport (38. ábra és 36. táblázat). A külföldi tulajdonú vállalatok azonban a harmadik legfontosabb technológiának a *Big Data elemzést* tartják, ami szignifikáns eltérést mutat a hazai tulajdonú vállalatoktól. További jelentős különbség az *együttműködő robotok (kobotok)* fontossága. Itt is a külföldi tulajdonú vállalat értéke a szignifikánsan magasabb.



38. ábra A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékelései

36. táblázat A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékeléseinek összehasonlítása t-próba alapján

	Hazai tul. vállalatok (n=45)		Külföldi tul. vállalatok (n=84)		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Kiberbiztonság	4,40	1,750	4,67	1,426	0,352
Rendszerintegráció	4,33	1,595	4,73	1,339	0,140
Dolgok internete (Internet of Things)	3,96	1,580	4,14	1,372	0,485
Felhőalapú informatika (Cloud computing)	3,64	1,734	4,07	1,378	0,129
Big Data elemzés	3,62	1,556	4,45	1,532	0,004
Szimuláció	3,33	1,523	3,76	1,295	0,095
Együttműködő robotok (kobotok)	3,27	1,864	3,95	1,693	0,036
Additív gyártás (3D nyomtatás)	3,20	1,604	3,26	1,545	0,831
Kiterjesztett valóság	3,00	1,595	3,27	1,409	0,317

Következtetések

A megkérdezett autóiipari vállalatok karbantartási szakemberei által adott válaszok elemzéséből a következő főbb következtetésekre jutottam a hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok összehasonlítása során:

- Nem található szignifikáns összefüggés a Karbantartás 4.0 bevezetettsége és aközött, hogy a vállalat hazai vagy külföldi tulajdonosi körrel rendelkezik. Nincs lényeges eltérés a két csoportot tekintve a bevezetés különböző fázisaiban.
- A hazai tulajdonú vállalatok a külföldi tulajdonúakhoz képest lényegesen alacsonyabb automatizáltsági fokú géppálmánnyal rendelkeznek.

A felmérés alapján a külföldi tulajdonú vállalatok némileg előrébb tartanak a Karbantartás 4.0 bevezetésében, azonban ez a különbség nem szignifikáns. Ez alapján nem lehet kijelenteni, hogy a Karbantartás 4.0 bevezetését tekintve lényegi különbség mutatkozna a tulajdonos nemzeti hovatartozása és a karbantartási folyamatuk digitalizálási állapota között.

- A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok szakemberei hasonló kulcselőnyöket tudnak a Karbantartás 4.0-hoz társítani. A külföldi tulajdonú vállalatok azonban ezeket a bizonyos válaszlehetőségeket nagyobb arányban kötik a koncepcióhoz. Szignifikáns különbség mutatkozik a megnövelt hatékonyság és termelékenység és a gép állásidőinek csökkentése válaszoknál a két csoportnál. A bevezetési

nehézségek esetében lényegi eltérés a különböző folyamatok nehéz egységesítése, ami a külföldi tulajdonú vállalatokra jellemző.

- A karbantartási részlegek általános erősségeit vizsgálva szignifikáns eltérés mutatkozik a gyors hibamegoldás válasznál a külföldi tulajdonú vállalatok esetében. Az általános nehézségeikre irányuló kérdés esetében nincs jelentősebb különbség a két csoport között.

Bevezetettségi szinttől függetlenül a két csoport szakemberei eltérően vélekednek a stratégiával kapcsolatban. A külföldi tulajdonú vállalatok lényegesen magasabb arányban kapcsolnak a Karbantartás 4.0-hoz előnyöket és egy bevezetési nehézség válasz is szignifikánsan kiemelkedett esetükben. A felmérés alapján tehát azt lehet megállapítani, hogy a külföldi vállalatoknál dolgozó szakemberek lényegesen több információval rendelkeznek a Karbantartás 4.0 koncepciójáról.

- A külföldi tulajdonú vállalatok lényegesen fontosabbnak tartják a Big Data elemzést és a kobotok alkalmazását az Ipar 4.0 technológiákat illetően a KKV-knál.

Az Ipar 4.0 technológiákat tekintve is a külföldi tulajdonú vállalatok szakemberei több opciónál (Big Data és kobotok) is lényegesen magasabb pozitív értékelést adtak, ami ugyancsak a külföldi tulajdonú vállalatok nagyobb információellátottságára utal.

4.4. A fogalomtársításra adott válaszok elemzése

A fogalomtársításhoz adott válaszok megfelelőségének eldöntéséhez Cronbach alfa módszert használtam. Az egyes főcsoportok után vizsgáltam a vállalati méret és a tulajdonos nemzetiségének az együttállásait, vagyis a hazai- és külföldi tulajdonú KKV-kat, illetve a hazai- és külföldi tulajdonú nagyvállalatokat. A számítás alapján a hazai tulajdonú nagyvállalatokon kívül az összes csoport mindhárom kérdéscsoportjában a Cronbach alfa együttható meghaladja a 0,7-es értéket, vagyis elfogadható a belső konzisztencia szintjük (37. táblázat).

37. táblázat A fogalomtársításra adott válaszok Cronbach-alfa értékei a különböző vállalatípusoknál

	Gyártási folyamat fejlettsége	Karbantartási folyamat fejlettsége	Okos gyárak
Minden válaszadó	0,8027	0,7571	0,8089
KKV-k	0,8373	0,7857	0,7957
Nagyvállalatok	0,7439	0,7005	0,8318
Hazai tulajdonú vállalatok	0,7952	0,7260	0,7181
Külföldi tulajdonú vállalatok	0,8048	0,7926	0,8495
Hazai tulajdonú KKV-k	0,8146	0,7184	0,7556
Külföldi tulajdonú KKV-k	0,8561	0,8290	0,8390
Hazai tulajdonú nagyvállalatok	0,7346	0,6256	0,6065
Külföldi tulajdonú nagyvállalatok	0,7105	0,7133	0,8646

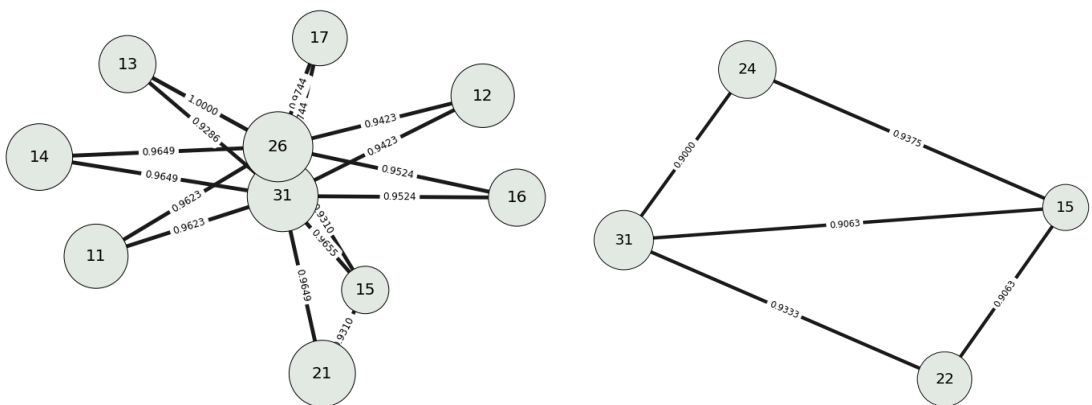
A fogalomtársítási módszerből a 38. táblázat releváns kapcsolódási darabszámai adódnak:

38. táblázat A fogalomtársításra adott válaszok releváns kapcsolódásainak száma különböző vállalatípusoknál

	Gyártási folyamat fejlettsége	Karbantartási folyamat fejlettsége	Okos gyárak
Minden válaszadó	7	4	3
KKV-k	7	1	1
Nagyvállalatok	1	2	1
Hazai tulajdonú vállalatok	7	1	1
Külföldi tulajdonú vállalatok	2	2	3
Hazai tulajdonú KKV-k	1	1	1
Külföldi tulajdonú KKV-k	3	5	6
Hazai tulajdonú nagyvállalatok	-	-	-
Külföldi tulajdonú nagyvállalatok	1	1	3

A KKV-k esetében (39. ábra bal oldala) a karbantartási folyamat fejlettsége és az okos gyárak között van egy erős kapcsolat (szakszerűség {26} és digitalizálás {31}), amihez az összes gyártási folyamat fejlettségi szempontja magas szinten kapcsolódik (39. táblázat). A nagyvállalatok esetében (39. ábra jobb oldala) ugyancsak megjelenik a digitalizálás {31}, azonban a karbantartásra vonatkozó kérdésnél itt két válasz is kapcsolódik hozzá, a tervezhetőség {21}, valamint a követhetőség és mérhetőség {24}.

Esetükben a háromszöget a gyártási folyamat automatizálása {15} egészíti ki (39. táblázat).



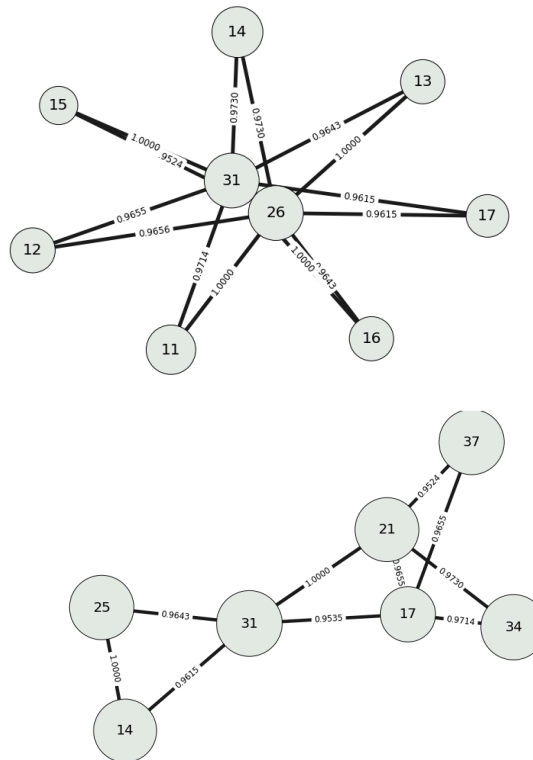
39. ábra A kis- és középvállalatok (balra) és a nagyvállalatok (jobbra) fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója

39. táblázat A kis- és középvállalatok és a nagyvállalatok fogalomtársításra adott válaszai

Gyártási folyamat fejlettsége			
Kis - és középvállalatok		Nagyvállalatok	
11	{Technológia és innováció}	15	{Automatizálás}
12	{Piac és pénzügyi folyamat}		
13	{Technológia és innováció}		
14	{Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}		
15	{Automatizálás}		
16	{Digitalizáltság és nyomon követés}		
17	{Folyamatszemplélet}		
Karbantartási folyamat fejlettsége			
Kis - és középvállalatok		Nagyvállalatok	
21	{Rendszeresség}	22	{Tervezhetőség}
		24	{Követhetőség, mérhetőség}
Okos gyárak			
Kis - és középvállalatok		Nagyvállalatok	
31	{Digitalizálás}	31	{Digitalizálás}

Hasonló arány észlelhető a hazai- és a külföldi tulajdonú vállalatok összehasonlítása esetében (40. táblázat). A hazai tulajdonú vállalatoknál (40. ábra bal oldala) a második (szakszerűség {26}) és a harmadik (digitalizálás {31}) kérdés közötti erős kapcsolódáshoz az első kérdés valamennyi opciója megfelelően kapcsolódik. A külföldi tulajdonú vállalatoknál (40. ábra jobb oldala) több kapcsolat található a karbantartási

folyamat fejlettsége (rendszeresség {21} és gyorsaság {25}) és az okos gyárak (digitalizálás {31}, automatizálás {34}, tervezhetőség {37}) válaszok esetében. Ezekhez kapcsolódik a gyártási folyamat fejlettségére vonatkozó kérdésnél a hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság {14}, valamint a folyamatszemplélet {17}.

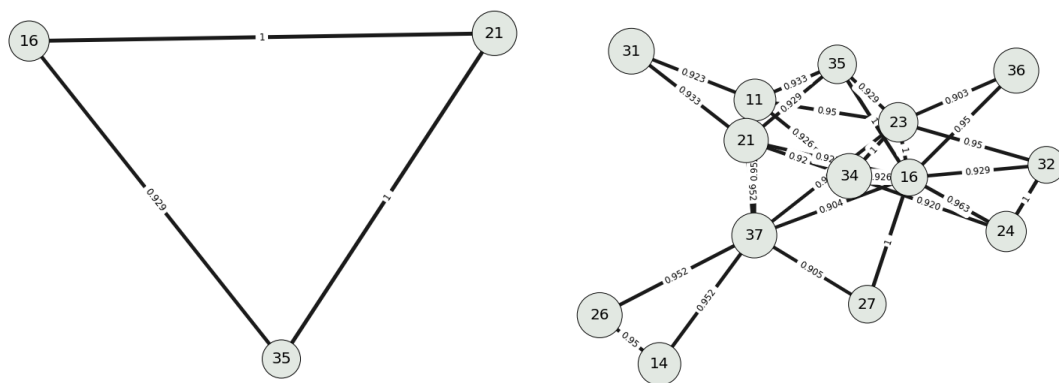


40. ábra A hazai (balra) és a külföldi tulajdonú (jobbra) vállalatok fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója

40. táblázat A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok fogalomtársításra adott válaszai

Gyártási folyamat fejlettsége			
Hazai tulajdonú vállalatok		Külföldi tulajdonú vállalatok	
11	{Technológia és innováció}	14	{Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}
12	{Piac és pénzügyi folyamat}	17	{Folyamatszervezés}
13	{Technológia és innováció}		
14	{Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}		
15	{Automatizálás}		
16	{Digitalizáltság és nyomon követés}		
17	{Folyamatszervezés}		
Karbantartási folyamat fejlettsége			
Hazai tulajdonú vállalatok		Külföldi tulajdonú vállalatok	
26	{Szakértés}	21	{Rendszeresség}
		25	{Gyorsaság}
Okos gyárak			
Hazai tulajdonú vállalatok		Külföldi tulajdonú vállalatok	
31	{Digitalizálás}	31	{Digitalizálás}
		34	{Automatizálás}
		37	{Tervezhetőség}

A leginkább eltérő különbség a hazai- és a külföldi tulajdonú KKV-k esetében észlelhető (41. ábra és 41. táblázat). A hazai tulajdonú KKV-knál csupán egy háromszöget lehet megadni, vagyis a fejlett gyárra vonatkozó digitalizálás és nyomon követés {16}, a fejlett karbantartásra vonatkozó rendszeresség {21}, és az okos gyárra vonatkozó gyorsaság és hatékonyság {35} válaszokat. Ez a hármas megjelenik a külföldi tulajdonú KKV-knál is, viszont ehhez sokkal több további fogalom társul mind a három kérdésnél. Ezek a fejlett gyárra vonatkozó technológia és innováció {11}, hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság {14}, a fejlett gyárra vonatkozó gyorsaság {23}, követhetőség és mérhetőség {24}, szakszerűség {26}, valamint a költséghatékonyság {27}, illetve az okos gyárra vonatkozó digitalizálás {31}, környezetvédelem {32}, automatizálás {34}, kommunikáció {36} és tervezhetőség {37}. Ezek alapján megállapítható, hogy a hazai tulajdonú KKV-k szakemberei sokkal kevésbé kapcsolják össze a saját részlegük és a karbantartási folyamatok fejlettségét a fejlett gyárak folyamataival és az okos gyárak fogalmaival.



41. ábra A hazai (balra) és a külföldi (jobbra) tulajdonú KKV-k fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója

41. táblázat A hazai és a külföldi tulajdonú KKV-k fogalomtársításra adott válaszai

Gyártási folyamat fejlettsége			
Hazai tulajdonú KKV-k		Külföldi tulajdonú KKV-k	
16	{Digitalizáltság és nyomon követés}	11	{Technológia és innováció}
		14	{Hatékonyság, minőség és szállítási megbízhatóság}
		16	{Digitalizáltság és nyomon követés}
Karbantartási folyamat fejlettsége			
Hazai tulajdonú KKV-k		Külföldi tulajdonú KKV-k	
21	{Rendszeresség}	21	{Rendszeresség}
		23	{Gyorsaság}
		24	{Követhetőség, mérhetőség}
		26	{Szakszerűség}
		27	{Költséghatékonyság}
Okos gyárak			
Hazai tulajdonú KKV-k		Külföldi tulajdonú KKV-k	
35	{Tervezhetőség}	31	{Digitalizálás}
		32	{Környezetvédelem}
		34	{Automatizálás}
		35	{Gyorsaság, hatékonyság}
		36	{Kommunikáció}
		37	{Tervezhetőség}

Következtetések

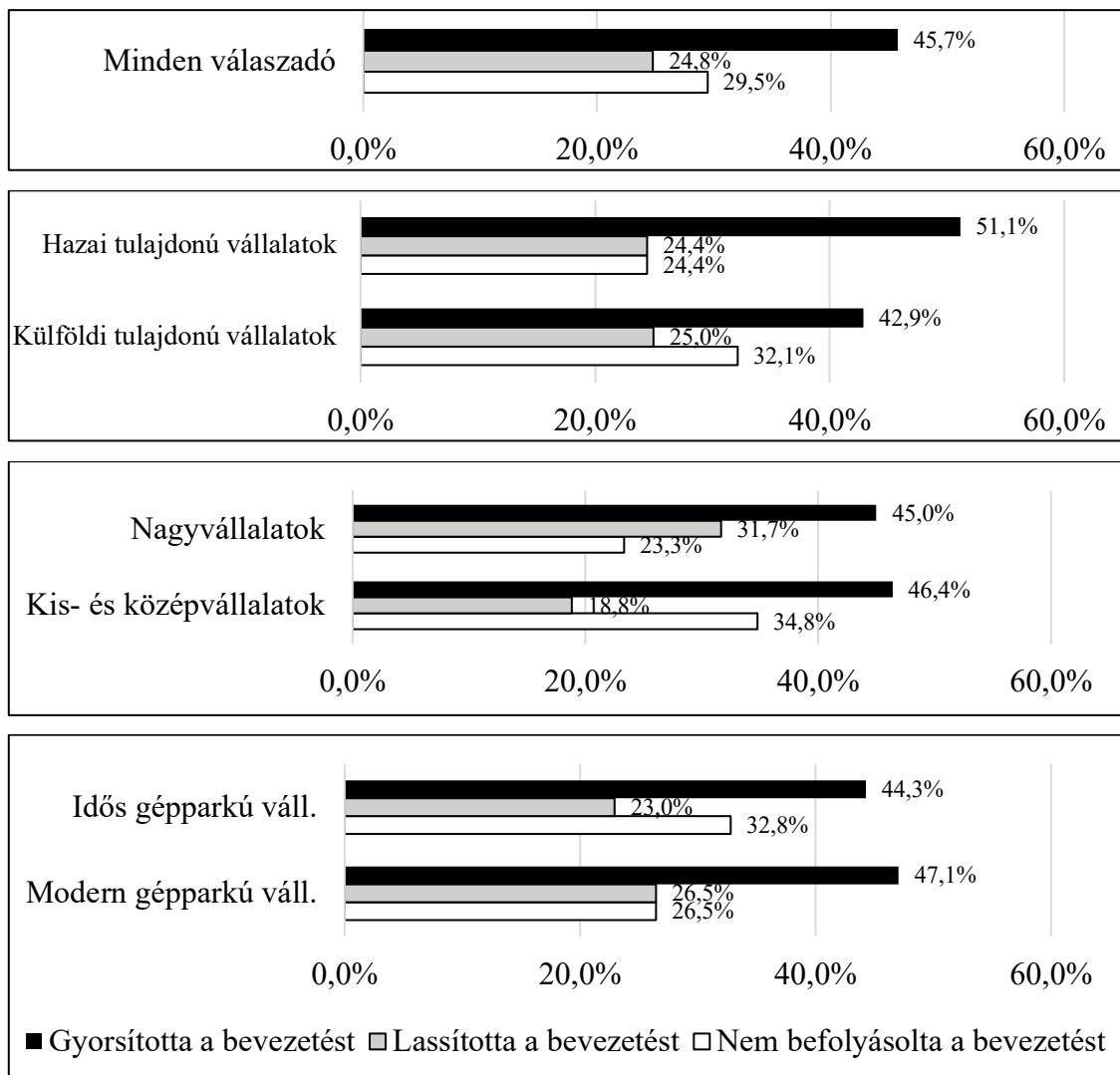
A megkérdezett autóipari vállalatok karbantartási szakembereinek a fogalomtársításra adott válaszai elemzéséből a következő főbb megállapításokra jutottam:

- A KKV-k a karbantartási folyamatok rendszeresség fogalmát az okos gyárakkal kapcsolatos digitalizálás fogalommal kötik össze. E fogalmakhoz a fejlett gyárak összes jellemzőjét relevánsnak tekintik.
- A hazai tulajdonú vállalatok az okos gyárak digitalizálásához a karbantartási folyamat szakszerűségét kapcsolják, és ehhez a párhoz kötik a fejlett gyár összes kifejezését. A külföldi tulajdonú vállalatok esetében több válasz is releváns mind a három kérdésnél.
- A külföldi tulajdonú KKV-k lényegesen több fogalmat tudnak társítani a modern gyár, a modern karbantartás és az intelligens gyár kifejezésekhez a hazai tulajdonú KKV-khoz képest.

A korábban látottakhoz hasonló képet mutat a fogalomtársításra adott válaszok elemzése. Itt is megjelenik az, hogy a KKV-k és a hazai tulajdonú vállalatok szakemberei kevesebb információval rendelkeznek. A legmarkánsabb különbséget azonban a hazai- és a külföldi tulajdonú vállalatok összehasonlítása mutatja. Itt a hazai tulajdonú KKV-k esetében egy darab releváns kapcsolati háromszöget lehet megállapítani a külföldi tulajdonúak összetett releváns kapcsolódásaival szemben.

4.5. A Covid19 ipari digitalizációra gyakorolt hatása

A 42. ábra és a 42. táblázat alapján a különböző vállalat típusoknál nem tapasztalható lényeges különbség a Covid19 világjárvány Karbantartás 4.0 bevezetésre gyakorolt hatásával kapcsolatban. Az összes válaszadó nagyjából fele (44-51%) amellett voksolt, hogy a Covid19 inkább *gyorsította ezen folyamatokat*, és a maradék fél hozzávetőlegesen egyenlő arányban oszlik meg a *lassította* (18-32%) és a *nem befolyásolta* (23-33%) válaszok között. A *gyorsította* és a *lassította* válaszok között kétmintás t-próbával vizsgáltam az eltérés szignifikanciáját. A nagyvállalatokon kívül minden vizsgált csoportban (minden válaszadó, magyar tulajdonú vállalatok, külföldi tulajdonú vállalatok, KKV-k, modern gépparkkal rendelkező vállalatok, idős gépparkkal rendelkező vállalatok) 0,05-nél alacsonyabb p érték mutatkozik, tehát a különbségek statisztikailag szignifikánsak.

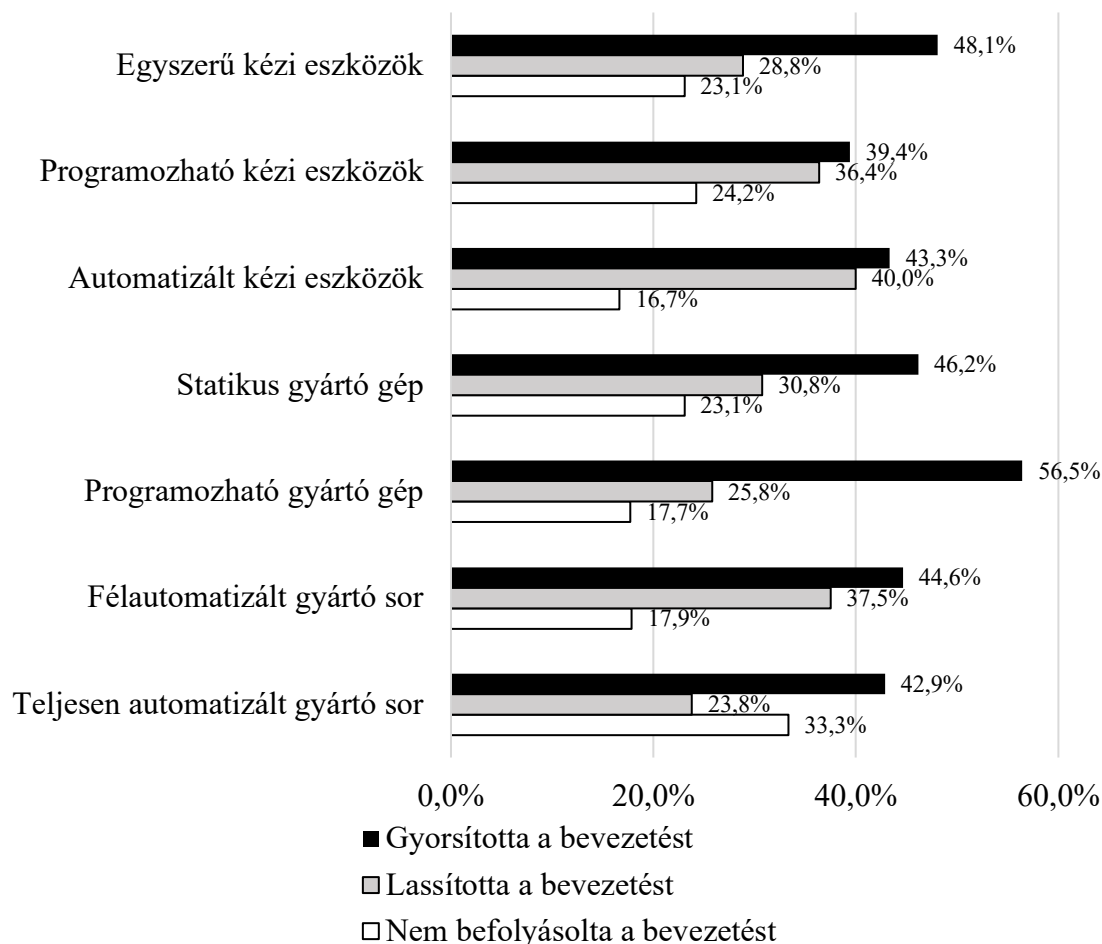


42. ábra A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésre különböző vállalattípusok esetében

42. táblázat A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetési hatásának összehasonlítása különböző vállalat típusoknál

	Gyorsította a bevezetést		Lassította a bevezetést		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Minden válaszadó (n=129)	45,7%	0,500	24,8%	0,434	0,001
Magyar tulajdonú váll. (n=45)	51,1%	0,506	24,4%	0,435	0,009
Külföldi tulajdonú váll. (n=84)	42,9%	0,498	25,0%	0,436	0,014
Nagyvállalatok (n=69)	45,0%	0,502	31,7%	0,469	0,109
KKV-k (n=60)	46,4%	0,502	18,8%	0,394	0,001
Modern gépparkú váll. (n=68)	47,1%	0,503	26,5%	0,444	0,018
Idős gépparkú váll. (n=61)	44,3%	0,501	23,0%	0,424	0,008

Eltérés tapasztalható azonban a vállalatok gépparkjának automatizáltsági szintjében (43. ábra és 43. táblázat). Az egyszerű kézi eszközöknél a korábban látott trendhez hasonlóan alakul ez az arány, a programozható és az automatizált kézi eszközök esetében azonban a *gyorsította* és a *lassította* válaszok hozzávetőlegesen kiegyenlítettek, közöttük nincs szignifikáns eltérés. A statikus gyártó gépeknél is a már vizsgált eloszlás (42-28-21%) látható, viszont kirívóan magas arányban (53%) van jelen a *gyorsította a bevezetést* válasz a programozható gépek esetében. A magasabban automatizált (félautomatizált vagy teljesen automata) gyártó soroknál hozzávetőlegesen 50%-os arány mutatkozik. Igazán egyértelmű összefüggést nem lehet felfedezni a berendezések automatizáltsági foka és a Covid19 Karbantartás 4.0 bevezetésre gyakorolt hatása között, viszont összességében elmondható, hogy inkább a kevésbé fejlett eszköz állományú (egyszerű kézi eszközökkel, statikus gyártó gépekkel, programozható gépekkel rendelkező) vállalatoknál volt szignifikánsan pozitív befolyása a világjárványnak.



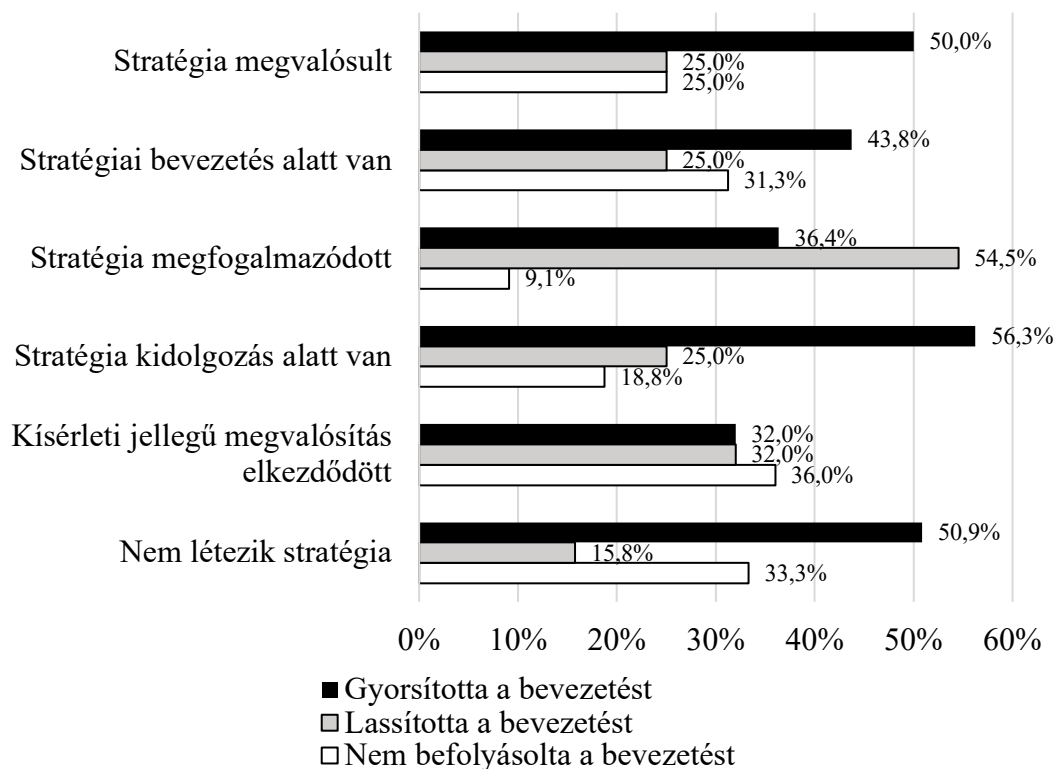
43. ábra A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésére a géppark automatizáltsági szintje szerint

43. táblázat A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetésre gyakorolt hatásának összehasonlítása a géppark automatizáltsági szintje szerint

	Gyorsította a bevezetést		Lassította a bevezetést		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Egyszerű kézi eszközök (n=53)	47,2%	0,504	28,3%	0,455	0,046
Programozható kézi eszközök (n=34)	38,2%	0,493	35,3%	0,485	0,805
Automatizált kézi eszközök (n=33)	39,4%	0,496	36,4%	0,489	0,803
Statikus gyártó gép (n=43)	41,9%	0,499	27,9%	0,454	0,179
Programozható gyártó gép (n=66)	53,0%	0,503	24,2%	0,432	0,001
Félautomatizált gyártó sor (n=58)	43,1%	0,500	36,2%	0,485	0,452
Teljesen automatizált gyártó sor (n=44)	40,9%	0,497	22,7%	0,424	0,068

Érdeemes továbbá azt is megvizsgálni, hogy a Karbantartás 4.0 bevezetés különböző stádiumaiban lévő vállalatokat hogyan érintette a világjárvány. A 44. ábra és a 44. táblázat alapján kijelenthető, hogy az összes válaszadónál meglévő arány hozzávetőlegesen itt is

megmutatkozik. A stratégiával nem rendelkező és a kidolgozás alatt lévő stratégiájú vállalatoknál kimagaslóan magas a *gyorsította a bevezetést* válasz. Az eddigi látott aránytól a két leginkább eltérő csoport egyike a már kidolgozott stratégiával rendelkező vállalatok, ahol nagyon magas (55%) a *bevezetést lassító hatású* vélemény, ami szignifikáns különbséget mutat. Ehhez a véleményhez hozzájárulhatott, hogy ebben az időszakban ezen vállalatok másra költötték ezt a fejlesztési költséget, illetve olyan indirekt tényezők is hatással lehettek a válaszra, mint a világjárvány miatti lezárások következtében lelassuló nemzetközi ellátási lánc, illetve a műszaki termékek általános áremelkedése. A másik nagyobb eltérés a *kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött* csoport, ahol nincs lényegi különbség a két válasz között.



44. ábra A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésre a bevezetés állapota alapján

44. táblázat A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetési hatásának összehasonlítása a bevezetés állapota szerint

	Gyorsította a bevezetést		Lassította a bevezetést		Eltérés szignifikancia szintje
	átlag	szórás	átlag	szórás	
Stratégia megvalósult (n=4)	50,0%	0,577	25,0%	0,500	0,001
Stratégiai bevezetés alatt van (n=16)	43,8%	0,512	25,0%	0,447	0,001
Stratégia megfogalmazódott (n=11)	36,4%	0,505	54,5%	0,522	0,001
Stratégia kidolgozás alatt van (n=16)	56,3%	0,512	25,0%	0,447	0,001
Kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött (n=25)	32,0%	0,476	32,0%	0,476	1,000
Nem létezik stratégia (n=57)	50,9%	0,504	15,8%	0,368	0,001

Következtetések

A megkérdezett autóiipari vállalatok karbantartási szakemberei által adott válaszok elemzéséből a következő főbb következtetésekre jutottam a Covid19 vilá járvány Karbantartás 4.0 bevezetésére gyakorolt hatása kapcsán:

- A vilá járványnak a Karbantartás 4.0 bevezetésére gyakorolt hatása nem mutat jelentős különbséget a felmért különböző vállalat típusok (vállalat méret, tulajdonosi nemzetiség, géppark ideje) között, az többnyire pozitív hatással volt a Karbantartás 4.0 és az ipari digitalizáció bevezetésére. A vállalatok mintegy fele úgy véli, hogy a vilá járvány felgyorsította a Karbantartás 4.0 bevezetését, és ezáltal fellendítette az ipari digitalizációt. A fennmaradó 50% nagyjából egyenlő arányban oszlik meg azok között, akik szerint a vilá járvány lelassította az alkalmazkodást, és azok között, akik szerint annak nem volt hatása.
- Igazán egyértelmű összefüggést nem lehet felfedezni a berendezések automatizáltsági foka és a Covid19 Karbantartás 4.0 bevezetésére gyakorolt hatása között, viszont összességében elmondható, hogy inkább a kevésbé fejlett eszköz állományú (egyszerű kézi eszközökkel, statikus gyártó gépekkel, programozható gépekkel rendelkező) vállalatoknál volt pozitív befolyása a vilá járványnak.
- A Covid19 hatása különbséget mutat a Karbantartás 4.0 különböző bevezetési stádiumában lévő vállalatoknál. A megvalósítási szakaszok túlnyomó többségére (beleértve a vállalatok zömét) a vilá járvány pozitív hatással volt. Egy esetben azonban (a kísérleti megvalósítás szakasza már megkezdődött) a hatás értékelése

megosztott, egy másik esetben (a stratégiája már megfogalmazódott szakasz) pedig kifejezetten negatív volt.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Dolgozatomban a hazai autóipar karbantartási ágazatának digitalizálásával és a Karbantartás 4.0 helyzetével foglalkoztam. A felmérés fő eredménye szerint a vállalatok karbantartási részlegei a Karbantartás 4.0 bevezetés elején tartanak. A vállalatok nagy része nem jutott túl a stratégiaalkotás szintjén, sok vállalat pedig egyáltalán nem rendelkezik Karbantartás 4.0 stratégiával. A lemaradás okát a felmérés alapján nem lehet bizonyos nehézségekben határozottan felfedezni sem a vállalatok egészére tekintve, sem a különböző fejlettségi szinten lévő vállalatok esetében. A vállalatok szakemberei a fejlettségi szintjüktől függetlenül közvetlenül leginkább a berendezések állásidejének csökkentését és a hatékonyságuk növelését várják az Ipar 4.0 technológiáktól.

A felmérés világosan kimutatta továbbá, hogy összefüggés van a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetése között, és a KKV-k számottevően alacsonyabb fejlettségi szinten vannak, mint a nagyvállalatok. Ennek a lemaradásnak az okai nem egyértelműek, a KKV-k szakembereinek válasza alapján nem igazolható egy kifejezett bevezetési nehézség. A nagyvállalatok a folyamatok nehéz egységesítését jelölték meg a legfőbb kihívásnak saját rendszereik digitalizálása szempontjából. Továbbá a nagyvállalatok a KKV-kkal összehasonlítva jelentősen nagyobb arányban ismerték fel a digitális stratégia előnyeit is.

A vállalatok tulajdonosi szerkezetét vizsgálva a kutatás alapján az derült ki, hogy a külföldi tulajdonú vállalatok valamivel előrébb tartanak a Karbantartás 4.0 bevezetésében, mint a magyar tulajdonú vállalatok, azonban ez a különbség nem szignifikáns mértékű. A két csoport szakemberei eltérően vélekednek a Karbantartás 4.0-val kapcsolatban. A külföldi tulajdonú vállalatok magasabb arányban tudtak a stratégiához előnyöket kapcsolni, illetve egy bevezetési nehézség is szignifikáns esetükben. A külföldi vállalatoknál dolgozó szakemberek tehát több információval rendelkeznek a karbantartási folyamatok digitalizálásával kapcsolatban.

A felmérés eredményei tehát azt mutatják, hogy a KKV-k, illetve a magyar tulajdonú vállalatok szakemberei általánosságban kevésbé tájékozottak a Karbantartás 4.0 és a digitalizáció terén. Ezt támasztja alá a fogalomtársításra adott válaszok elemzése is. A legmarkánsabb különbség a hazai- és a külföldi tulajdonú KKV-k összehasonlításából származik. A külföldi tulajdonú KKV-k válaszaiban lényegesen több fogalomtársítási kapcsolódást lehetett kimutatni a fejlett gyárak, fejlett karbantartás és az okos gyárak összevetésében.

A Covid19 járvány hatásának felmérése is fontos szempont volt a kutatás során. Az adatok feldolgozását követően kiderült, hogy a járvány miatti lezárások a vállalatok nagyobb része esetében gyorsítóan hatottak a Karbantartás 4.0 projektekre.

5.1. Hipotézisek értékelése

A felmérés eredményei szerint a vállalatok karbantartási részlegei általánosságban alacsony szinten vannak a Karbantartás 4.0 bevezetése terén, ami egyértelműen igazolja az első hipotézisemet (**H1**).

A felmérésből egyértelműen kiderül, hogy a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetése között összefüggés van, a KKV-k jelentősen alacsonyabb fejlettségi szinten vannak a nagyvállalatokhoz képest. Tehát a második hipotézis (**H2**) igazolt.

A vállalatok tulajdonosi nemzetisége szerinti összehasonlításból kiderült, hogy a Magyarországon működő külföldi tulajdonú vállalatok kissé előrébb tartanak a Karbantartás 4.0 bevezetésében a magyar tulajdonú vállalatokhoz képest, de ez a különbség nem szignifikáns, így a harmadik hipotézis (**H3**) nem egyértelműen igazolt.

A felmérés a Covid19 járvány hatásának a Karbantartás 4.0 bevezetési projektekre adott válaszainak elemzéséből kiderül, hogy a vállalatok lényegesen nagyobb aránya vélekedett úgy, hogy a járvány miatti lezárások a karbantartás digitalizálására pozitív hatással voltak, ezáltal a negyedik hipotézist (**H4**) igazoltnak tekintem.

A hipotéziseket a kutatásom a 45. táblázat alapján igazolja.

45. táblázat A kutatás hipotéziseinek értékelése

Hipotézis	Eredmény
H1: A magyar autóipari vállalatok a Karbantartás 4.0 bevezetés alacsony fejlettségi szintjén vannak.	IGAZOLT
H2: A magyarországi autóiparban a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szint között összefüggés van. A kis- és középvállalkozások alacsonyabb bevezetettségi szinten vannak a nagyvállalatokhoz képest.	IGAZOLT
H3: Összefüggés van a Magyarországon működő autóipari vállalatok tulajdonosi nemzetisége és a Karbantartás 4.0 bevezetettségi szintje között. A magyar tulajdonú	NEM IGAZOLT

vállalatok alacsonyabb bevezetettségi szinten vannak a külföldi tulajdonú vállalatokhoz képest.	
H4: A Covid19 világjárvány felgyorsította a karbantartási folyamatok digitalizációját a hazai autóipari vállalatoknál.	IGAZOLT

5.2. Kutatási kérdésekre adott válaszok

A megfogalmazott kutatási kérdésekre a kutatás eredményei alapján az alábbi válaszokat tudom összefoglaló módon adni:

KK1: A magyar autóipari vállalatok milyen fejlettségi szinten állnak a karbantartási folyamataik digitalizálásában?

A hazai vállalatok többsége a digitális karbantartásra való átállás elején tart, nagy részük egyáltalán nem rendelkezik Karbantartás 4.0 stratégiával. A Karbantartás 4.0 előnyeikhez leginkább a megnövelt hatékonyságot és termelékenységet, valamint a gép állásidőinek csökkentését kapcsolják. A stratégia bevezetési nehézségei válaszok közül egyik opció sem tér el szignifikánsan az elvárt szinttől. Az Ipar 4.0 technológiák közül a rendszerintegráció, a szimuláció, a felhőalapú informatika, a kiberbiztonság, a Dolgok internete és a Big Data elemzés megítélése is szignifikánsan magas.

KK2: A magyarországi autóipari kis- és középvállalkozások, illetve a nagyvállalatok karbantartási részlegei milyen különbségeket és sajátos jegyeket mutatnak a Karbantartás 4.0 bevezetésének tekintetében?

Szignifikáns összefüggés van a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 bevezetési állapota között. A nagyvállalatok a KKV-kkal összehasonlítva nagyobb arányban vannak a Karbantartás 4.0 stratégia bevezetésének későbbi szakaszában. A KKV-k és a nagyvállalatok hasonló előnyöket kötnek a Karbantartás 4.0 bevezetéséhez, a megnövelt hatékonyság és termelékenység, illetve a gépi állásidők csökkentése válaszok esetében azonban szignifikánsan magasabb arányt adtak meg a nagyvállalati szakemberek. A bevezetési nehézségek esetében lényegi eltérés a különböző folyamatok nehéz egységesítése, ami a nagyvállalatok sajátossága.

További különbség, hogy a nagyvállalatok lényegesen fontosabbnak tartják az Ipar 4.0 technológiák közül a Big Data elemzést, mint a KKV-k.

KK3: A Magyarországon működő hazai, illetve külföldi tulajdonú autóipari vállalatok karbantartási részlegei milyen különbségeket és sajátos jegyeket mutatnak a Karbantartás 4.0 bevezetésének tekintetében?

A felmérésben szereplő hazai tulajdonú vállalatok elmaradnak külföldi tulajdonú társaiktól a Karbantartás 4.0 stratégia bevezetése terén, azonban ez a különbség nem szignifikáns. A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok szakemberei hasonló kulcselőnyöket tudnak a Karbantartás 4.0-hoz társítani. A külföldi tulajdonú vállalatok azonban ezen válaszlehetőségeket nagyobb arányban kötik a stratégiához. Szignifikáns különbség mutatkozik a megnövelt hatékonyság és termelékenység, valamint a gép állásidőinek csökkentése válaszoknál. A külföldi tulajdonú vállalatok lényegesen fontosabbnak tartják a Big Data elemzést és a kobotok alkalmazását az Ipar 4.0 technológiákat illetően a magyar tulajdonú vállalatoknál.

KK4: Hogyan hatott a Covid19 járvány a hazai autóipari vállalatok karbantartási folyamatainak digitalizálására?

Összességben elmondható a hazai autóipari vállalatok mintegy feléről (vállalattípustól függetlenül), hogy a Covid19 világjárvány a karbantartási folyamataik digitalizálására serkentően hatott. A fennmaradó 50% nagyjából egyenlő arányban oszlik el azok között, akik szerint a világjárvány lassította a digitalizálási törekvéseket, és azok között, akik szerint annak nem volt számottevő hatása.

5.3. Tézisek

Az igazolt három hipotézisem és a kutatási kérdésekre adott válaszok alapján az alábbi új tudományos eredményeket fogalmazom meg kutatásom összegzéseként:

- 1. tézis:** A magyarországi autóipari vállalatok a Karbantartás 4.0 bevezetés alacsony fejlettségi szintjén vannak.

A szélesebb körben használt, Karbantartás 4.0 stratégia megvalósítási állapotával foglalkozó skálán a hazai autóipari vállalatok többsége a digitális karbantartásra való átállás legelején tart, vagyis nem rendelkezik Karbantartás 4.0 stratégiával.

2. tézis: A magyarországi autóiparban a kis- és középvállalkozások alacsonyabb Karbantartás 4.0 bevezetettségi szinten vannak a nagyvállalatokhoz képest.

A felmérés során szignifikáns összefüggés mutatkozott a vállalatméret és a Karbantartás 4.0 stratégia megvalósítási állapota skála között. Ezen a skálán a kis- és középvállalkozások a nagyvállalatokkal összehasonlítva szignifikánsan magasabb arányban vannak a stratégia bevezetésének korábbi szakaszaiban.

3. tézis: A hazai autóiparban a Covid19 világjárvány következtében kialakult lezárások pozitívan hatottak a Karbantartás 4.0 bevezetési projektekre.

A felmérés Covid19 világjárvány hatásaival foglalkozó részéből arra a következtetésre jutottam, hogy a magyarországi autóipari szereplők szignifikánsan magasabb aránya vélekedik úgy, hogy a lezárásoknak inkább pozitív hatásai voltak a Karbantartás 4.0 bevezetési projektekre.

5.4. Ajánlások

Hazánk autóipari vállalatainak számára az Ipar 4.0, illetve annak karbantartási folyamatokra való alkalmazása, a Karbantartás 4.0 bevezetése kulcsfontosságú jelentőséggel bírnak. A digitális stratégia egyértelmű fejlesztési irány, amivel a nemzetközi versenyképességet lehet jelentősen növelni. Az eredmények alapján azonban kiderült, hogy a hazai autóipari vállalatok többsége a Karbantartás 4.0 bevezetésének elején tart. A felmérés azt mutatta, hogy a szakemberek viszonylag kevés előnyt tudnak a stratégiához kapcsolni.

Az ipari digitalizálásban rejlő előnyök kihasználása érdekében az első lépés az Ipar 4.0 előnyeinek megértése és a vállalat alkalmazottainak az oktatása. Fontos szempont, hogy a vállalat tisztában legyen az új, digitális technológiákkal, és azzal, hogyan tudják azokat a saját folyamataikban alkalmazni. Az utóbbi időben egyre több lehetőség van hazánkban ezeknek az információknak az elsajátítására. Számos állami [29] [116] és magán [117] [118] digitális kompetencia központ érhető el a hazai közegben, amelyek különböző szintű oktatásokat, workshopokat tartanak. Ezeken gyakorlati példákon keresztül mutatják be az Ipar 4.0 és a Karbantartás 4.0 elemeit, amelyeket a szakemberek fel tudnak használni a saját digitalizációjuk erősítésére. Ezt követően a vállalatoknak érdemes kisebb pilot projektekkel kezdeni, amelyekben az Ipar 4.0 technológiákat tudják alkalmazni. Ez lehetővé tenné a vállalat szakemberei számára, hogy azokról a saját folyamataik környezetében tapasztalatokat szerezhessenek. A sikeres pilot projektek

eredményeinek bemutatása segíthet a következő projektek előmozdításában és a magasabb fejlettségi szintek elérésében.

A felmérésből kitűnik, hogy a hazai kis- és középvállalkozások kevésbé fejlettek a Karbantartás 4.0 tekintetében a nagyvállalatokhoz képest. Számukra hasznos lehet partnerségeket és együttműködéseket kialakítani olyan szervezetekkel (például az IFKA KKV-kra szabott ajánlatai [119]), amelyek tapasztalattal rendelkeznek az Ipar 4.0 területén. Ez lehetővé tenné a tudás és az erőforrások megosztását, valamint a gyorsabb fejlődést. Hasonló módon az Ipar 4.0 és a Karbantartás 4.0 minél mélyebb ismertetése, népszerűsítése segíthet a Covid19 járvány miatt felfüggesztett vagy a bevezetés során megrekedt vállalatoknak a koncepció nyújtotta előnyök mihamarabbi kihasználásában.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Eurostat, Key figures on European business, 2022, doi: 10.2785/420666,
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/14871931/KS-06-22-075-EN-N.pdf/7d3b8dad-a4a3-cced-470f-13a4275c570e?t=1665136095868>
- [2] European Commission, Factories of the Future, Multiannual Roadmap for the Contractual PPP under horizon 2020, doi:10.2777/29815,
https://www.effra.eu/sites/default/files/factories_of_the_future_2020_roadmap.pdf
- [3] Davies R., Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth, European Parliamentary Research Service,
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf) (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [4] The World Bank, Data, Manufacturing value added (current US\$)
<https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.MANF.CD>, (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [5] Elkaseer A., Salem M., Ali H., Scholz S.: Approaches to a Practical Implementation of Industry 4.0, Conference: The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions ACHI 2018, 2018
- [6] Eurostat, Ageing Europe - statistics on population developments,
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Ageing_Europe_-_statistics_on_population_developments (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [7] Dais S., Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen, Handbuch Industrie 4.0, Bd.4. Springer Reference Technik. Springer Vieweg, 2017, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-53254-6_14
- [8] Spath D., Ganschar O., Gerlach S., Hämmerle M., Krause T., Schlund S., Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0., Fraunhofer Verlag, 2013, ISBN: 978-3-8396-0570-7 150

- [9] Pech M., Vrchota J., The Product Customization Process in Relation to Industry 4.0 and Digitalization, *Processes* 2022, 10(3), 539; <https://doi.org/10.3390/pr10030539>
- [10] Baranauskas, G., Digitalization Impact on Transformations of Mass Customization Concept: Conceptual Modelling of Online Customization Frameworks, *Marketing and Management of Innovations*, 2020, Volume 3, pp. 120–132, DOI: 10.21272/mmi.2020.3-09
- [11] Teixeira J. E., Tavares-Lehmann A. T. C.P., Industry 4.0 in the European union: Policies and national strategies, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 180, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121664>
- [12] European Parliament The Directorate-General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy: Industry 4.0, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU\(2016\)570007_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/570007/IPOL_STU(2016)570007_EN.pdf) (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [13] International Electrotechnical Commission, *Factory of the future*, 2015, ISBN 978-2-8322-2811-1, https://www.iec.ch/system/files/2019-09/content/media/files/iec_wp_factory_of_the_future_en_lr.pdf (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [14] Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *A Stronger European Industry for Growth and Economic Recovery*, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0582:FIN:EN:PDF> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [15] Pásztor Sz., *A német–magyar gazdasági és külkereskedelmi kapcsolatok*, *Oeconomus Gazdaságkutató Alapítvány*, 2022, <https://www.oeconomus.hu/irasok/a-nemet-magyar-gazdasagi-es-kulkereskedelmi-kapcsolatok/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [16] Pénzcentrum, *Kevesebb új terméket, szolgáltatás dobna piacra a magyar cégek: ez áll a háttérben*, <https://www.penzcentrum.hu/vallalkozas/20220613/kevesebb-uj-termeket->

szolgáltatás-dobnak-piacra-a-magyar-cegek-ez-all-a-hatterben-1125849
(utoljára letöltve: 2023.08.23.)

- [17] Polónyi I., A magyar innováció nemzetközi összehasonlításban, *Educatio* 27 (2), pp. 161–176 (2018), doi:10.1556/2063.27.2018.2.1
- [18] Global Innovation Index, 2013-2022
<https://www.globalinnovationindex.org/analysis-indicator> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [19] Wimmer Á., Csesznák A., A hazai vállalatok versenyképességi jellemzői a negyedik ipari forradalom idején, Alinea Kiadó – BCE Versenyképesség Kutató Központ, 2021, ISBN 978-615-5669-49-1 (pdf), http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/6609/1/Wimmer_Csesznak_Vallalatok_2021.pdf
- [20] E-cars.hu, Rendkívül fontos Magyarország számára az autóipar, <https://e-cars.hu/2022/09/09/rendkivul-fontos-magyarorszag-szamara-az-autoipar/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [21] Science Direct Industry 4.0 keresés,
<https://www.sciencedirect.com/search?q=Industry%2B4.0> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [22] Nowlan F. S., Heap H. F., Reliability-centered maintenance. United Air Lines Inc San Francisco Ca., 1978
- [23] Kelly A., Maintenance organization and systems, Butterworth-Heinemann, 1997
- [24] Wang, L., Chu, J., Wu, J. (2007): Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Production, Economics*, Vol. 107.1., pp. 151-163.
- [25] Pokorádi L., Karbantartás elmélet, Elektronikus tansegédlet, 2002
- [26] Kumar U., Galar D., Maintenance in the Era of Industry 4.0: Issues and Challenges. *Quality, IT and Business Operations*, 2018, pp. 231-250, doi 10.1007/978-981-10-5577-5_19.

- [27] Xu M., David J. M., Kim S., The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges, *International Journal of Financial Research*, Volume 9, Number 2, 2018, doi: 10.5430/ijfr.v9n2p90.
- [28] Kagermann H., Lukas W.-D., Wahlster W., *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*, VDI nachrichten, Volume 13.1, 2013, pp. 2-3.
- [29] Ipar 4.0 Mintagyár projekt, IFKA Iparfejlesztési Közhasznú Nonprofit Kft., GINOP 1.1.3-16, <https://www.ipar4.hu/medias/29/negyedikipariforradalom.pdf> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [30] Német Szövetségi Oktatási és Kutatási Minisztérium, *Industry 4.0 Plattform*, What is Industry 4.0?, <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [31] McKinsey Digital, *Industry 4.0 - How to navigate digitization of the manufacturing sector*, 2015, https://www.mckinsey.com/~/_media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/industry%2040%20how%20to%20navigate%20digitization%20of%20the%20manufacturing%20sector/industry-40-how-to-navigate-digitization-of-the-manufacturing-sector.ashx (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [32] Koch V., Kuge S., Geissbauer R., Schrauf S., *Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet*, Tech. Rep. TR 2014-2, PWC Strategy GmbH, 2014, New York City, USA
- [33] Hermann M., Pentek T., Otto B., *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*, 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016, pp. 3928-3937, doi: 10.1109/HICSS.2016.488
- [34] Kagermann H., *Change Through Digitization — Value Creation in the Age of Industry 4.0*, *Management of Permanent Change*, Springer Gabler Wiesbaden, 2015, pp. 23-45, doi: 10.1007/978-3-658-05014-6_2.
- [35] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Gola A., *Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview*, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 52,

Issue 10, 2019, pp. 91-96, ISSN 2405-8963,
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.005>

- [36] Rødseth H, Schjølberg P, Marhaug A, Deep digital maintenance, *Advances in Manufacturing*, Volume 5, 2017, pp. 299–310, <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0202-9>
- [37] Rapolu B., Predictive maintenance: Big Data on rails, *Dataconomy*, <https://dataconomy.com/2015/04/predictive-maintenance-big-data-on-rails/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [38] Almagor D., Lavid D., Nowitz A., Vesely E., *Maintenance 4.0 implementation handbook*, Reliabilityweb, Inc., 2020, ISBN 978-1-941872-92-5
- [39] Cachada A., Barbosa J., Leitão P., Geraldes C. A. S, Deusdado L., Costa J., Teixeira C., Teixeira J., Moreira A., Moreira P., Romero L., *Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture*, 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2018, pp. 139-146, doi: 10.1109/ETFA.2018.8502489
- [40] ISO 13374-2: 2007, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation, 2007
- [41] Rüßmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Engel P., Harnisch M. J., Justus J., *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*, BCG, https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [42] Mendes C. R., Osaki R. Y., Da Costa C., *Application of Big Data and the Internet of Things in Industry 4.0*, *European Journal of Engineering Research and Science*, Vol. 3, No. 11, 2018, DOI: 10.24018/ejers.2018.3.11.967
- [43] Passlick J., Dreyer S., Olivotti D., Grützner L., Eilers D., Breitner M., *Predictive maintenance as an internet of things enabled business model: A taxonomy*, *Electronic Markets*, Volume 31, 2021, pp. 67-87, <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00440-5>

- [44] Holgado M., Macchi M., Exploring the role of E-maintenance for value creation in service provision, 2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE), doi: 10. 10.1109/ICE.2014.6871586.
- [45] Mendoza M., Industrial IoT – The Top 5 Benefits of Industry 4.0 Hitachi Solutions, <https://global.hitachi-solutions.com/blog/industrial-iot-benefits/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [46] Civerchia F., Bocchino S., Salvadori C., Rossi E., Maggiani L., Petracca M., Industrial Internet of Things monitoring solution for advanced predictive maintenance applications, Journal of Industrial Information Integration, Volume 7, 2017, pp. 4-12, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.02.003>
- [47] Köhler M., Industry 4.0: Condition monitoring use cases in detail, Bosch ConnectedWorld Blog, <https://blog.bosch-si.com/industry40/industry-4-0-condition-monitoring-use-cases-in-detail/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [48] Cloud Computing: What is it and How Does it Work?, Qwerty concepts, <https://www.qwertyc.com/cloud-computing-work/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [49] Tao F., Cheng Y., Xu L., Zhang L., Li B., CCIoT-CMfg: Cloud Computing and Internet of Things-Based Cloud Manufacturing Service System, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume 10, Number 2, 2014, pp. 1435-1442, doi: 10.1109/TII.2014.2306383
- [50] Mourtzis D., Vlachou E., A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance, Journal of Manufacturing Systems, Volume 47, 2018, pp. 179-198, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.05.008>
- [51] Seat Mediacenter, SEAT S.A. creates a pioneering digital system for predictive maintenance and strengthens its position in the Industrial Cloud, <https://www.seat-mediacycenter.com/smc/seat-sa/seat-sa-news/company/2021/SEAT-SA-creates-a-pioneering-digital-system-for-predictive-maintenance-and-strengthens-its-position-in-the-Industrial-Cloud.html> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)

- [52] Mourtzis D., Vlachou E., Milas E., Xanthopoulos N., A Cloud-based Approach for Maintenance of Machine Tools and Equipment Based on Shop-floor Monitoring, *Procedia CIRP*, Volume 41, 2016, pp. 655-660, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.069>
- [53] Kumar, U., Galar, D., Maintenance in the Era of Industry 4.0: Issues and Challenges. *Quality, IT and Business Operations. Springer Proceedings in Business and Economics*. Springer, Singapore, 2018, https://doi.org/10.1007/978-981-10-5577-5_19
- [54] Christiansen B., The Role of Big Data In The Maintenance Industry, SmartData Collective, <https://www.smartdatacollective.com/role-of-big-data-in-maintenance-industry/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [55] DATAbility.ai, Efficient Customer Service Management needs Prescriptive Maintenance for an Intelligent Decision Support, <https://www.datability.ai/use-case-prescriptive-maintenance-in-servicenow/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [56] Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology ASTM, 2012. ASTM F2792
- [57] Gibson I., Rosen D. W., Stucker B., *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct, Digital Manufacturing*, 2. print, New York: Springer-Verlag, 2015, ISBN 978-1-4939-2113-3 (eBook), doi: 10.1007/978-1-4939-2113-3
- [58] Kumar A., Singh G., Singh R. P., Pandey P. M., *Role of Additive Manufacturing in Industry 4.0 for Maintenance Engineering, Applications and Challenges of Maintenance and Safety Engineering in Industry 4.0*, 2020, doi: 10.4018/978-1-7998-3904-0.ch013
- [59] Wits W. W., García J. R. R., Becker J. J. M., How Additive Manufacturing Enables more Sustainable End-user Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Strategies, *Procedia CIRP*, Volume 40, 2016, pp. 693-698, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.156>.
- [60] Azuma R. T., *A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 1997; 6 (4): pp. 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

- [61] Palmarini R., Erkoyuncu J. A., Roy R., Torabmostaedi H., A systematic review of augmented reality applications in maintenance, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 49, 2018, pp. 215-228, ISSN 0736-5845, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- [62] Wakodikar A., Industrial Maintenance- Embrace the digital approach, *Industr*, <https://www.industr.com/en/industrial-maintenance-embrace-the-digital-approach-2537488> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [63] Potter K., Augmented Reality becoming a focus in maintenance technology Geospatial World, <https://www.geospatialworld.net/blogs/augmented-reality-becoming-a-focus-in-maintenance-technology/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [64] Deacon G., How Ocado Technology and partners pioneered a collaborative robot which can proactively assist humans in maintenance tasks, *Ocado Technology*, <https://www.ocadogroup.com/technology/blog/how-ocado-technology-and-partners-pioneered-collaborative-robot-which-can/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [65] Morioka M., Sakakibara S., A new cell production assembly system with human–robot cooperation, *CIRP Annals*, Volume 59, Issue 1, 2010, pp. 9-12, ISSN 0007-8506, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.044>
- [66] Chryssolouris G., Papakostas N., Mavrikios D., A perspective on manufacturing strategy: Produce more with less, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Volume 1, Issue 1, 2008, pp. 45-52, ISSN 1755-5817, <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2008.06.008>
- [67] Wilkins J., Cobots And The Future Of Maintenance, *Asia Pasific Food Industry*, <https://www.apfoodonline.com/industry/cobots-and-the-future-of-maintenance/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [68] Rüssmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P. Harnisch, M., *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*, BCG Digital Transformation, 2015, https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx (utoljára letöltve: 2023.08.23.)

- [69] McKinsey Digital, Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector, 2015,
<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/Industry%2040%20How%20to%20navigate%20digitization%20of%20the%20manufacturing%20sector/Industry-40-How-to-navigate-digitization-of-the-manufacturing-sector.ashx> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [70] Kiel D., Müller J. M., Arnold C., Voigt K., Sustainable industrial value creation: benefits and challenges of Industry 4.0, *International Journal of Innovation Management*, 2017, 1740015, World Scientific Publishing Europe Ltd., DOI: 10.1142/S1363919617400151
- [71] Bajic B., Ignjatic J., Suzic N., Stevanov S., Predictive Manufacturing Systems in Industry 4.0: Trends, Benefits and Challenges, Conference: 28TH DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND AUTOMATION, Vol. 28, DOI:10.2507/28th.daaam.proceedings.112
- [72] Waibel, M. W., Steenkamp, L. P., Moloko, N., and Oosthuizen, G. A. (2017). Investigating the Effects of Smart Production Systems on Sustainability Elements. *Procedia Manufacturing*, Vol. 8, pp. 731-737
- [73] Pereira A.C., Romero F., A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept, *Procedia Manufacturing*, Vol.13, pp. 1206-1214,
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- [74] Uglovskaja E., The New Industrial Era, Industry 4.0 & Bobst company case study
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/123113/Ekaterina_Uglovskaja.pdf?sequence=1&isAllowed=y (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [75] Tiwari S., Supply chain integration and Industry 4.0: a systematic literature review, *Benchmarking: An International Journal*, Vol. 28.3, pp. 990-1030., DOI: 10.1108/BIJ-08-2020-0428
- [76] Saurabh V., Prashant A., and Santosh B. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering/ *Procedia Manufacturing*, Vol. 20, pp. 233–238.

- [77] Dennis K., Nicolina P., Yves-Simon, (2017). Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany’s Textile Industry for the Digital Future. 7th Conference on Learning Factories, CLF 2017 Procedia Manufacturing, Vol. 9, pp 214 – 221
- [78] Liao Y., Deschamps F., Loures E. de F. R., Ramos and L. F., Past, Present and Future of Industry 4.0 – A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal, International Journal of Production Research, Vol. 55.12, pp. 3609-3629, <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- [79] Chen B., Wan J., Shu L., Li P., Mukherjee M., Yin B., Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges, IEEE Access, Vol. 6, pp. 6505-6519, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2783682.
- [80] Simunic D., Pavic I., Standards and Innovations in Information Technology and Communications, 2020, Stand ISBN: 978-3-030-44416-7, DOI: 10.1007/978-3-030-44417-4
- [81] Presedence Research, Predictive Maintenance Market, Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2022-2030, <https://www.precedenceresearch.com/predictive-maintenance-market> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [82] Haarman M., Mulders M., Vassiliadis C., Predictive maintenance 4.0-predict the unpredictable, PwC and Mainnovation, 2017. <https://www.pwc.be/en/documents/20171016-predictive-maintenance-4-0.pdf> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [83] Milojevic M., Nassah F., Digital Industrial Revolution with Predictive Maintenance, CXP Group, 2018, https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/PAC_Predictive_Maintenance_GE_Digital_Executive_Summary_2018_1.pdf (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [84] European Federation of National Maintenance Societies, Maintenance 4.0 Study, <http://www.efnms.eu/committees/ecm4-0-european-committee-maintenance-4-0/maintenance-4-0-study/>

- [85] Gaál Z., Szabó L., Élenjáró karbantartási menedzsment – úton a siker felé?, Gépgyártástechnológia, Vol. 37.4, 1997, pp. 9-11.
- [86] Gaál Z., Kovács Z., Megbízhatóság – Karbantartás, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004, ISBN: 963733226X
- [87] Gaál Z., Szabó L., Kovács O. Z., Karbantartási kultúra – A karbantartási kultúra összefüggései, A karbantartás fókuszában: érték – költség – versenyképesség, Nemzetközi konferencia kiadványa, Veszprém, 2008, pp. 176-182.
- [88] Pokorádi L., Duer S., Investigation of maintenance process with Markov matrix, Proceedings of the 4th international Scientific Conference on advances in Mechanical Engineering, pp 13-15.
- [89] Pokorádi L., Sensitivity analysis of reliability of Systems with Complex Interconnections, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 32, pp. 436-442, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.09.017>
- [90] Losonci D., Takács O., Demeter K., Az ipar 4.0 hatásainak nyomában – a magyarországi járműipar elemzése, Közgazdasági Szemle, Vol. 66., pp. 185-218., <http://real.mtak.hu/91120/1/04LosonciTakacsDemeter.pdf> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [91] MTA Sztaki, Az Ipar 4.0 Nemzeti Technológiai Platform – Kérdőív projekt, 2017, https://www.i40platform.hu/sites/default/files/i40platform/2021-02/Flyer_v9.0.pdf, (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [92] Castelo-Branco I., Amaro-Henriques M., Cruz-Jesus F., Oliveira T., Assessing the Industry 4.0 European divide through the country/industry dichotomy, Computers & Industrial Engineering, Vol. 176, 2023, 108925, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108925>
- [93] Kamin, S., Kearns, J., Impact of the COVID-19 Pandemic on Global Industrial Production. American Enterprise Institute, 2021, <https://www.jstor.org/stable/resrep45458> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)

- [94] De Vet, J.M., Nigohosyan, D., Ferrer, J.N., Gross, A.K., Kuehl, S., Flickenschild, M., Impacts of the COVID-19 pandemic on EU industries, 2021, pp. 1-86, Europai Parlament
- [95] Song, Y., Hao, X., Hu, Y., & Lu, Z., The Impact of the COVID-19 pandemic on China's manufacturing sector: a global value chain perspective, *Frontiers in public health*, Vol. 9., <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.683821>
- [96] OECD, Digital Transformation in the Age of COVID-19: Building Resilience and Bridging Divides, *Digital Economy Outlook 2020, 2020 Supplement*, OECD, www.oecd.org/digital/digital-economy-outlook-covid.pdf (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [97] Al-maaitah T. A., Tha'er Majali M. A., Almaaitah D. A., The Impact of COVID-19 on the Electronic Commerce Users Behavior, *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, 2021, Vol. 27.1.
- [98] 2004. évi XXXIV. törvény a kis- és középvállalkozásokról, fejlődésük támogatásáról, A kis- és középvállalkozások meghatározása
- [99] Frohm J., Lindström V., Winroth M., Stahre J., Levels of Automation in Manufacturing, *Ergonomia - International Journal of Ergonomics and Human Factors*, Volume 30, 2008, pp. 181-207.
- [100] Koomsap P., Luong H. T., Lima R. M., Nitkiewicz T., Chattinnawat W., Ayutthaya D. H. N., Roles of MSIE graduates to support Thailand sustainable smart industry. *Transdisciplinary Engineering for Complex Socio-technical Systems*, pp. 75-84, DOI: 10.3233/ATDE190110
- [101] Flores M., Maklin D., Golob M., Al-Ashaab A., Tucci C., Awareness Towards Industry 4.0: Key Enablers and Applications for Internet of Things and Big Data, *Collaborative Networks of Cognitive Systems, PRO-VE 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, Vol 534. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-319-99127-6_32
- [102] Nick G. A., Az Ipar 4.0 hazai adaptációjának kihívásai a vállalati és területi összefüggések tükrében, *Doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem, Regionális- és Gazdaságtudományi Doktori Iskola*, 2018

- [103] Központi Statisztikai Hivatal, Tájékoztatási adatbázis, Regisztrált gazdasági szervezetek lekérdezés, 2021.
- [104] Észak-magyarországi autóipari klaszter, <http://nohac.hu/index.php/hu/tagjaink> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [105] AIPA – Alföldi Regionális Iparfejlesztési Klaszter, <http://www.provice.hu/documents/aipaklaszterbrosura.pdf> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [106] Hírös beszállítói klaszter, <http://hirosklaszter.hu/hu/klasztertagok> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [107] Autopro cégekatalógus, <https://autopro.hu/katalogus/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [108] HIPA – Hungarian Investment Promotion Agency, Automotive Industry Hungary 2019, Automotive CEO Survey - Report on the Hungarian Automotive Industry, 2019, <https://hipa.hu/hianyotlo-felmeres-keszult-a-magyar-jarmuiparrol> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [109] Kórácz T., Aggodalommal vegyes optimizmus az autóiparban, KPMG Tanácsadó Kft, <https://home.kpmg/hu/hu/home/tanulmanyok/2021/12/kpmg-global-automotive-executive-survey-2021.html> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [110] Kiss J., A vállalatok szerepe a magyar innovációs rendszerben, 2013: Innovációs rendszerek, Szereplők, kapcsolatok és intézmények. JATEPress, Szeged, 111-123. o. <http://eco.u-szeged.hu/download.php?docID=27519> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [111] Tavakol M., Dennick R., Making sense of Cronbach's alpha, Int J Med Educ. 2011, Vol. 2, pp. 53-55., doi: 10.5116/ijme.4dfb.8dfd
- [112] Bacon D., Sauer P., Young M., Composite Reliability in Structural Equations Modeling. Educational and Psychological Measurement, 1995, Vol. 55., pp. 394-406. 10.1177/0013164495055003003.
- [113] Sheskin D., Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures, Fifth Edition, Egyesült Királyság, Taylor & Francis 110, 112, 113, 115

- [114] Akoglu H., User's guide to correlation coefficients, Turkish Journal of Emergency Medicine, 2018, Vol. 18.3, DOI: 10.1016/j.tjem.2018.08.001
- [115] Neuhauser M., Nonparametric statistical tests: A computational approach. CRC Press, 2011
- [116] Ipar 4.0 - Negyedik ipari forradalom, Ipar 4.0 Technológiai Központ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, <https://www.ipar4.bme.hu/ipar-4-0/#page-content> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [117] Ipar 4.0, Kürt Akadémia, https://kurtakademia.hu/kepzeink/ipar-4-0/?gclid=CjwKCAjw9suYBhBIEiWA7iMhNNpR9v_o80tCN-eGoHHOSiROkbGlhO4a3cnLSwmfnx7Nuow7es9sRRoCF4kQAvD_BwE (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [118] Ipar 4.0 képzés, digilean, <https://digilean.hu/ipar-4-kepzes/> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)
- [119] Ipar 4.0 Platform, A KKV-k számára, <https://www.ipar4.hu/hu/page/ipar-4-0-kkv-knak> (utoljára letöltve: 2023.08.23.)

A témában megjelent saját publikációk

- [JL1] **Juhász L.**, The Fourth Industrial Revolution in Hungary, 2018 IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2018, pp. 167-172, doi: 10.1109/CINTI.2018.8928236.
Scopus, IEEE Xplore
Független idézetek száma: 4, ebből Scopus jelölt: 1
- [JL2] **Juhász L.**, Pokorádi L., A Dolgok Internete és a karbantartás közötti kapcsolat napjainkban, GRADUS, ISSN 2064-8014, Volume 5.1, 2018, pp. 99-106.
Független idézetek száma: 1
- [JL3] **Juhász L.**, Pokorádi L., Kiterjesztett valóság a modern karbantartásban, Repüléstudományi közlemények, ISSN 1417-0604, Volume 30.2, 2018, pp. 37-46
Független idézetek száma: 1

- [JL4] **Juhász L.:** Overview of industry 4.0 tools for cost-benefit analysis, TÉR-GAZDASÁG-EMBER, ISSN 2064-1176, Volume 5.4, 2018, pp. 51-71.
Független idézetek száma: 2
- [JL5] **Juhász L.,** Az Ipar 4.0 jellemzői, technológiáinak hatása a repülőgépiparra, Repüléstudományi Szemelvények, ISBN 978-615-5945-09-0, 2018, pp- 53-78
- [JL6] **Juhász L.,** Pokorádi, L., Okos gyártás és modern karbantartás a mai magyar járműiparban, GRADUS, ISSN 2064-8014, Volume 8.1, 2021, pp. 307-312
- [JL7] **Juhász L.,** Pokorádi L., Industry 4.0 and Modern Maintenance in Today's Hungarian Vehicle Industry, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1935, 012008, 5th Agria Conference on Innovative Vehicle Technologies and Automation Solutions InnoVeTAS, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1935/1/012008
Scopus
Független idézetek száma: 1, ebből Scopus jelölt: 1
- [JL8] **Juhász L.:** Magyar és külföldi vállalati karbantartás napjainkban, GRADUS, ISSN 2064-8014, Volume 8.2, 2021, pp. 47-51
- [JL9] **Juhász L.,** Pokorádi L., Industrial digitalisation and Industry 4.0 among maintenance professionals in small and medium-sized enterprises, IEEE 20th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2022) 2022, pp. 239-244, doi: 10.1109/SISY56759.2022.10036317
Scopus, IEEE Xplore
- [JL10] **Juhász L.,** Pokorádi L., Az Ipar 4.0 megítélése a bevezetés különböző stádiumaiban, GRADUS, ISSN 2064-8014, Volume 9.1, 2022, ENG.007, <https://doi.org/10.47833/2022.1.ENG.007>
- [JL11] **Juhász L.,** Pokorádi L., The impact of COVID on the digitization of Hungarian maintenance sector, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1237, 6th Agria Conference on Innovative Vehicle Technologies and Automation Solutions (InnoVeTAS 2022), 012005, doi: 10.1088/1757-899X/1237/1/012005
Független idézetek száma: 1

[JL12] Juhász L., Pokorádi L., Digitization experiences of large Hungarian companies in industrial maintenance, 2022 IEEE 10th Jubilee International Conference on Computational Cybernetics and Cyber-Medical Systems (ICCC), IEEE Xplore, 2022, pp. 185-190, doi: 10.1109/ICCC202255925.2022.9922709.
IEEE Xplore

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

3D	3 dimenzió
Acatech	Német Műszaki Tudományok Intézet (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften)
AR	Kiterjesztett valóság (Augmented Reality)
ASTM	Az additív gyártástechnológia szabványos terminológiája (Standard Terminology for Additive Manufacturing)
BITKOM	Szövetségi Informatikai, Távközlési és Új Média Szövetség (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien)
CMMS	Számítógépes karbantartás-menedzsment rendszer (Computerized Maintenance Management System)
COTS	Kereskedelmi forgalomban kapható késztermékek (Commercial off-the-shelf)
CR	Összetétel-megbízhatóság (Composite reliability)
DA	Adatgyűjtés (Data Acquisition)
df	Szabadságfok (degrees of freedom)
DFKI	Német Mesterséges Intelligencia Kutatóintézet (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz)
DM	Adatmanipuláció (Data Manipulation)
DoS	Szolgáltatásmegtagadással járó támadás (Denial-of-service attack)
Elektrom.	Elektromos áram, gáz, gőz, klíma, vízellátás
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
EU	Európai Unió
Épitk.	Építkezés
GA	Ajánlás generálás (Advisory Generation)

GPS	Globális Helymeghatározó Rendszer (Global Positioning System)
H	Hipotézis
HA	Egészségügyi értékelés (Health Assessment)
IIoT	Ipari dolgok internete (Industrial Internet of Things)
Inform.	Információ és kommunikáció
IoT	Dolgok internete (Internet of Things)
ISO	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet
ISO/TC	Nemzetközi Szabványügyi Szervezet Műszaki bizottsága (Technical Committee of International Organization for Standardization)
IT	Információtechnológia (Information technology)
Kiskeresk.	Kiskereskedelem, kivéve gépjárművek és motorkerékpárok
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
KK	Kutatási kérdés
KKV	Kis- és középvállalkozás
Kobot	Kollaboratív robot (Cooperative robot – cobot)
KPI	Fő teljesítménymutatók (Key Performance Indicators)
LAN	Helyi hálózat (local area network)
MitM	Közbeékelődéses támadás (man-in-the-middle attack)
Nagykeresk.	Nagykereskedelem (kivéve: gépjármű, motorkerékpár)
NIST	Amerikai Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Intézet (National
OSA-CBM	Állapot-alapú karbantartáshoz használt nyílt rendszerarchitektúrára (Open System Architecture for Condition-Based Maintenance)

PA	Prognosztikai értékelés (Prognostics Assessment)
PLC	Programozható logikai vezérlő (Programmable logic controller)
SD	Állapotfelismerés (State Detection)
Szállítás.	Szállítás és tárolás
Szállás.	Szállás és vendéglátás
TCP/IP	Átviteli vezérlő protokoll/internetprotokoll (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
WiFi/IEEE 802.15.4	Vezetéknélküli telekommunikációs szabvány (Institute of Standards and Technology)

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. **ábra** A világ egyes területeinek feldolgozó ipari hozzáadott értéke (100 millió amerikai dollárban) (forrás: [4])
2. **ábra** Az Európai Unió populációja 2019-ben és 2050-ben (forrás: [6])
3. **ábra** Magyarország Németországgal való import és export aránya (forrás: [15])
4. **ábra** A magyar helyezés a Globális Innovációs Index listán (forrás: [18])
5. **ábra** A kutatás főbb lépései
6. **ábra** A ScienceDirect publikáció találatok „Industry 4.0” keresőszóra (forrás [21])
7. **ábra** Az ipari forradalmak és jellemzőik (forrás: [29])
8. **ábra** Az üzemeltetési stratégiák összehasonlítása (forrás: [37])
9. **ábra** Az Ipar 3.0 és Ipar 4.0 hibajavítási folyamatlépései (forrás: [38])
10. **ábra** Az ISO 13374-2: 2007 szabvány (forrás: [40])
11. **ábra** A karbantartásban használható felhő infrastruktúra elvi elemei (forrás: [52])
12. **ábra** Az additív gyártástechnológia főbb előnyei Ipar 4.0 környezetben (forrás: [58])
13. **ábra** Karbantartandó elemek beazonosítása kiterjesztett valóság alkalmazásával (forrás: [63])
14. **ábra** A prediktív karbantartás várható világpiaci mérete milliárd amerikai dollárban (forrás: [81])
15. **ábra** Az Európai Unió vállalatainak fejlettsége prediktív karbantartás tekintetében (forrás: [82])
16. **ábra** Az Európai Unió országainak Ipar 4.0 infrastruktúra fejlettsége (forrás: [92])
17. **ábra** Az 4.1., 4.2. és 4.3 alfejezetekben alkalmazott sorrend az adatok elemzésénél
18. **ábra** Az 4.5. alfejezetekben alkalmazott sorrend az adatok elemzésénél
19. **ábra** A pilot felmérés összes válasza közötti kapcsolati gráf
20. **ábra** A pilot felmérés kiemelt kapcsolódást mutató válaszai közötti kapcsolati gráf
21. **ábra** A válaszadók Karbantartás 4.0 bevezetési stádiuma
22. **ábra** Karbantartás 4.0 előnyeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint
23. **ábra** A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségei a vállalatok bevezetési stádiuma szerint
24. **ábra** A karbantartás általános erősségeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint
25. **ábra** A karbantartás általános nehézségeinek megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint

- 26. ábra** Ipar 4.0 eszközök pozitív megítélése a vállalatok bevezetési stádiuma szerint
- 27. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapotai
- 28. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye a Karbantartás 4.0 előnyeiről
- 29. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye a Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeiről
- 30. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményének az általános karbantartási erősségeikről
- 31. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleménye az általános karbantartási nehézségeikről
- 32. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékelései
- 33. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok megoszlása Karbantartás 4.0 bevezetési állapota szerint
- 34. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei a Karbantartás 4.0 előnyeiről
- 35. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei a Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeiről
- 36. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei az általános karbantartási erősségeikről
- 37. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok véleményei az általános karbantartási nehézségeikről
- 38. ábra** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékelései
- 39. ábra** A kis- és középvállalatok (balra) és a nagyvállalatok (jobbra) fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója
- 40. ábra** A hazai (balra) és a külföldi tulajdonú (jobbra) vállalatok fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója
- 41. ábra** A hazai (balra) és a külföldi (jobbra) tulajdonú KKV-k fogalomtársításra adott válaszainak releváns kapcsolati hálója
- 42. ábra** A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésre különböző vállalat típusok esetében
- 43. ábra** A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésére a géppark automatizáltsági szintje szerint
- 44. ábra** A Covid19 járvány hatása a Karbantartás 4.0 bevezetésre a bevezetés állapota alapján

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

- 1. táblázat** A végső felmérésben részt vevő vállalatok típusai
- 2. táblázat** A pilot felmérés kiemelt kapcsolódásait mutató válaszok
- 3. táblázat** A kérdőív válaszain elvégzett megbízhatósági vizsgálatok értékei
- 4. táblázat** A Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken megfigyelt és elvárt gyakorisága
- 5. táblázat** A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a stratégia előnyeinek Kruskal-Wallis-próba értékei ($df=5$)
- 6. táblázat** A Karbantartás 4.0 előnyeikhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei
- 7. táblázat** A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a stratégia bevezetési nehézségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei ($df=5$)
- 8. táblázat** A Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségeihez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei
- 9. táblázat** A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a karbantartás általános erősségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei ($df=5$)
- 10. táblázat** A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *magas hatékonyság* válasznál ($df=5$)
- 11. táblázat** A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *nagyfokú szakmai hozzáértés* válasznál
- 12. táblázat** Az általános karbantartási erősségekhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei
- 13. táblázat** A Karbantartás 4.0 szintjeinek és a karbantartás általános nehézségeinek Kruskal-Wallis-próba értékei ($df=5$)
- 14. táblázat** Az általános karbantartási nehézségekhez köthető válaszokon elvégzett binomiális teszt értékei
- 15. táblázat** A Karbantartás 4.0 szintjeinek és az Ipar 4.0 technológiák megítélésének Kruskal-Wallis-próba értékei ($df=5$)
- 16. táblázat** A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *felhőalapú informatika* válasznál
- 17. táblázat** A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *együttműködő robotok* válasznál
- 18. táblázat** A Kruskal-Wallis-próba páronkénti szignifikancia értékei a Karbantartás 4.0 bevezetési szinteken *kiterjesztett valóság* válasznál

- 19. táblázat** Az Ipar 4.0 technológiákhoz megítélésén elvégzett binomiális teszt értékei
- 20. táblázat** A vállalatok mérete és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti khi-négyzet próba
- 21. táblázat** A vállalatok mérete és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti Cramer-féle V együttható
- 22. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapot szerinti összehasonlítása t-próba alapján
- 23. táblázat** A KKV-k és nagyvállalatok gépparkjának kora és automatizáltsági szint szerinti összehasonlítása t-próba alapján
- 24. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok a Karbantartás 4.0 előnyök véleményének összehasonlítása t-próba alapján
- 25. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségek véleményeinek összehasonlítása t-próba alapján
- 26. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erősségek véleményeik összehasonlítása t-próba alapján
- 27. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erősség vélemények összehasonlítása t-próba alapján
- 28. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékeléseinek összehasonlítása t-próba alapján
- 29. táblázat** A vállalatok tulajdonosi nemzetisége és a Karbantartás 4.0 bevezetési szint közötti khi-négyzet próba
- 30. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési állapot szerinti összehasonlítása t-próba alapján
- 31. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok gépparkjának kora és automatizáltsági szint szerinti összehasonlítása t-próba alapján
- 32. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 előnyök vélemények összehasonlítása t-próba alapján
- 33. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Karbantartás 4.0 bevezetési nehézségek vélemények összehasonlítása t-próba alapján
- 34. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási erőssége vélemények összehasonlítása t-próba alapján
- 35. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok általános karbantartási nehézségek véleményeinek összehasonlítása t-próba alapján

- 36. táblázat** A hazai és külföldi tulajdonú vállalatok Ipar 4.0 technológiák értékeléseinek összehasonlítása t-próba alapján
- 37. táblázat** A fogalomtársításra adott válaszok Cronbach-alfa értékei a különböző vállalat típusoknál
- 38. táblázat** A fogalomtársításra adott válaszok releváns kapcsolódásainak száma különböző vállalat típusoknál
- 39. táblázat** A kis- és középvállalatok és a nagyvállalatok fogalomtársításra adott válaszai
- 40. táblázat** A hazai és a külföldi tulajdonú vállalatok fogalomtársításra adott válaszai
- 41. táblázat** A hazai és a külföldi tulajdonú KKV-k fogalomtársításra adott válaszai
- 42. táblázat** A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetési hatásának összehasonlítása különböző vállalat típusoknál
- 43. táblázat** A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetésre gyakorolt hatásának összehasonlítása a géppark automatizáltsági szintje szerint
- 44. táblázat** A Covid19 járvány Karbantartás 4.0 bevezetési hatásának összehasonlítása a bevezetés állapota szerint
- 45. táblázat** A kutatás hipotéziseinek értékelése

MELLÉKLET

A kérdőív kérdései

1. Kérem, adja meg a vállalat fő tulajdonosi körét:

- Többségi magyar tulajdon
- Többségi külföldi tulajdon

2. Kérem, adja meg a vállalat jelenlegi állományi létszámát (ügyvezetéssel együtt):

.....

3. Kérem, adja meg a vállalatuknál található gyártó berendezések átlagos életkorát:

- 0-5 év
- 5-10 év
- 10-15 év
- 15-20 év
- 20 év feletti

4. Kérem, adja meg a vállalatuknál jellemzően használt berendezéseket és legmagasabb automatizáltsági szintjét:

- Egyszerű kézi eszközök
- Programozható kézi eszközök
- Automatizált kézi eszközök
- Statikus gyártó gépek
- Programozható gyártó gépek
- Félautomatizált gyártó sor
- Teljesen automatizált gyártó sor

5. Kérem, adja meg, hogy a vállalatánál lévő karbantartási személyzetnek melyek a legfőbb erényei (többet is megjelölhet):

- Magas hatékonyság
- Nagyfokú szakmai hozzáértés
- Gyors hibamegoldás
- Magas precizitás
- Sokéves tapasztalat

- Magas csapatmunka
- Tanulási hajlandóság

6. Kérem, adja meg, hogy a vállalatánál lévő karbantartási személyzetnek melyek a legfőbb gyengeségei (többet is megjelölhet):

- Alacsony hatékonyság
- Kevés szakmai hozzáértés
- Lassú hibamegoldás
- Alacsony precizitás
- Kevés tapasztalat
- Tanulási hajlandóság hiánya
- Alacsony csapatmunka

7. Kérem, értékelje a vállalatánál lévő Ipar 4.0 stratégiát:

- Nem létezik stratégia
- Kísérleti jellegű megvalósítás elkezdődött
- Stratégia kidolgozás alatt van
- Stratégia megfogalmazódott
- Stratégiai bevezetés alatt van
- Stratégia megvalósult

8. Ön mely szempontot tartja az Karbantartás 4.0 legfontosabb előnyének az Ön vállalatára tekintve (többet is megjelölhet):

- Rugalmasság és agilitás
- Költségcsökkentés
- Jobb kínálat/kereslet egyeztetés
- Jobb ügyfélművelés
- Megnövelt hatékonyság és termelékenység
- A gép állásidőinek csökkentése
- Magasabb bevételek

9. Ön szerint melyek a leginkább hátráltató tényezők a Karbantartás 4.0 elterjedésében az Ön vállalatánál (többet is megjelölhet):

- Lassú megtérülés

- Magas költségek
- Nem megfelelő vezetői támogatás
- Általános ismerethiány a technológiákról
- Képzetlen munkaerő
- Különböző folyamatok nehéz egységesítése
- Nem megfelelő adatvédelem

10. Kérem, értékelje az alábbi Ipar 4.0 eszközöket az alapján, hogy azokat mennyire tartja a fontosnak vállalata szempontjából (1 – kevésbé fontos, 6 – nagyon fontos):

- Rendszerintegráció
- Szimuláció
- Felhőalapú informatika (Cloud computing)
- Kiberbiztonság
- Dolgok internete (Internet of Things)
- Big Data elemzés
- Additív gyártás (3D nyomtatás)
- Kiterjesztett valóság
- Együttműködő robotok (kobotok)

11. Kérem, adja meg, hogy az Ön megítélése szerint a Covid19-világjárvány az Ipar 4.0 és digitalizálás fejlődését hogyan befolyásolta!

- Ezen folyamatok fejlődését gyorsította
- Ezen folyamatok fejlődését lassította
- Nem befolyásolta ezeket a folyamatokat

D12) Nyilatkozat a munka önállóságáról, irodalmi források megfelelő módon történt idézéséről

NYILATKOZAT

A MUNKA ÖNÁLLÓSÁGÁRÓL, IRODALMI FORRÁSOK MEGFELELŐ MÓDON TÖRTÉNT IDÉZÉSÉRŐL

Alulírott Juhász László kijelentem, hogy A Karbantartás 4.0 helyzetének elemzése a hazai járműiparban

című benyújtott doktori értekezést magam készítettem, és abban csak az irodalmi hivatkozások listáján megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, a forrás megadásával egyértelműen megjelöltem.

Budapest, 2023. 09. 04.

.....

aláírás