

AZ EFQM MODELL ÉS AZ IPAR 4.0 INTEGRÁCIÓJA: VEZETÉSI ÉS SZERVEZETI KIHÍVÁSOK

Tóth Barna – Szűcs Edit

Absztrakt: Az EFQM (European Foundation for Quality Management) modell több évtizede meghatározó szerepet tölt be a minőségmenedzsment (keret)rendszerek fejlesztésében és a szervezeti kiválóság előmozdításában. Az Ipar 4.0 megjelenése a digitális technológiák, úgy, mint a mesterséges intelligencia, az IoT (Internet of Things) és az automatizáció integrációját vonta maga után, ezáltal szignifikáns átalakulást hozott a vezetési és szervezeti struktúrákban is. A kutatás célja az EFQM modell és az Ipar 4.0 kapcsolatának vizsgálata, különös tekintettel arra, hogy a minőségmenedzsment milyen szerepet játszik a digitális transzformációban, nem eltekintve a fenntartható versenyképesség szempontjától, továbbá kitekintést kívántunk eszközölni a várható jövő vonatkozására, amely az Ipar 5.0 (és a Minőség 5.0) megjelenésével várható. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy az EFQM modell segíthet a szervezeteknek a technológiai kihívások kezelésében, és ezzel párhuzamosan képes segíteni a szervezeti rugalmasságot és az innováció ösztönzését. Az Ipar 5.0 és a Minőség 5.0 térnyerése során az emberközpontúság és a fenntarthatóság kiemelt prioritást fog élvezni mind ipari, mind nem ipari környezetben, illetve feladatokban. Az EFQM modell ebben az új környezetben is releváns maradhat, segítve a szervezeteket az innováció és a minőség összehangolására, figyelembe véve a fenntartható fejlődés megkerülhetetlenségét.

Abstract: The EFQM (European Foundation for Quality Management) model has been pivotal for decades in developing quality management frameworks and promoting organizational excellence. The emergence of Industry 4.0 has led to the integration of digital technologies such as artificial intelligence, IoT (Internet of Things), and automation, bringing significant transformation to management and organizational structures. This research aims to examine the relationship between the EFQM model and Industry 4.0, with a particular focus on the role of quality management in digital transformation while also considering the aspect of sustainable competitiveness. Additionally, we sought to provide an outlook on the anticipated future developments expected with the emergence of Industry 5.0 (and Quality 5.0). The findings suggest that the EFQM model can support organizations in addressing technological challenges while simultaneously enhancing organizational flexibility and fostering innovation. During the expansion of Industry 5.0 and Quality 5.0, human-centricity and sustainability will be top priorities in both industrial and non-industrial environments and tasks. The EFQM model is expected to remain relevant in this evolving landscape, aiding organizations in aligning innovation with quality while acknowledging the inevitability of sustainable development.

Kulcsszavak: EFQM, Ipar 4.0, Ipar 5.0, minőségmenedzsment, digitális transzformáció, Minőség 5.0

Keywords: EFQM, Industry 4.0, Industry 5.0, quality management, digital transformation, Quality 5.0

1. Bevezetés

Az EFQM (European Foundation for Quality Management) modell immár több mint három évtizede tölt be központi szerepet a minőségmenedzsment rendszerek előmozdításában, azáltal, hogy a kiválóság kultúráján keresztül erősíti a szervezeteket (Llinas–Abad, 2019). Az EFQM modell egy olyan keretrendszer bevezetésében és működtetésében nyújt segítséget, amelyek alkalmazásával a szervezetek képesek a stratégiai tervezést és a folyamatos fejlődést célzó teljesítményértékelés végrehajtására. Az Ipar 4.0 koncepció az ipari forradalom új szakaszát képviseli. A digitális technológiák, úgy, mint az IoT (Internet of Things),

a mesterséges intelligencia térnyerése és egyre növekvő alkalmazása, valamint az automatizált rendszerek integrációja immáron megkerülhetetlen a termelési és szervezési folyamatokban (Erro-Garcés, 2019). Ez az elsősorban technológiai átalakulás alapjaiban változtatja meg a hagyományosnak tekinthető vezetési modelleket és szervezeti struktúrákat (Kloviene–Uosyte, 2019).

Az EFQM és az Ipar 4.0 közötti kapcsolat kiemelten fontos annak megértésében, hogy a minőségmenedzsment keretrendszerek hogyan tudják támogatni a digitális transzformációs és a fenntartható versenyképességet (Van Nguyen et al., 2023). Az Ipar 4.0 technológiáinak implementálása „összetettséget, mélységet ad” a szervezetek működéséhez, azonban új vezetési megközelítéseket és szervezeti átalakításokat is igényel (Medić et al., 2019). A digitális átalakulás során a szervezetek vezetőinek alkalmazkodniuk kell a dinamikus változó környezethez, ösztönözniük kell a szervezeti innovációt annak érdekében, hogy megőrizhessék a versenyképességüket (Kohnová et al., 2019, Abiodun et al., 2023).

A vezetési és szervezeti struktúrák átalakítása az Ipar 4.0 kontextusában olyan megközelítést igényel, amely támogatja a technológiai integrációt, emellett pedig erősíti a kollaboratív innovációt (Li et al., 2023). Az átalakulás során a döntéshozatali folyamatok mindinkább a digitális eszközökre és az adatalapú módszerekre támaszkodnak, ezáltal hozzájárulva a szervezetek rugalmasságának és alkalmazkodóképességének javításához (Wang, 2023). A változásmenedzsment és a technológiai innováció összehangolása nagy kihívást jelent. Ennek oka az, hogy a digitális átalakulás jelentős hatást gyakorol a vezetési folyamatokon túl az emberi erőforrásokra is (Gupta–Jauhar, 2023). Ezekben, az Ipar 4.0 követelményeinek való megfelelésben képes támogatást nyújtani az EFQM modell, amely egy olyan keretrendszert biztosít, ami a minőséget és kiválóságot tekinti prioritásnak (Sony–Naik, 2020).

2. Anyag és módszer

A kutatás módszertana tematikus irodalomelemzésre épült, amely célja az volt, hogy lehetőséget biztosítson arra, hogy a kiválasztott tudományos források alapján, meghatározott tématerületek mentén alakítsuk ki a fogalmi keretet, az elméleti kapcsolatokat és így tárjuk fel a gyakorlati összefüggéseket. Továbbá cél volt az egyes tanulmányok tartalmának megismerésén túl azok ismertetése, összevetése, valamint a közös mintázatok, kritikus pontok és az elméleti hiányosságok beazonosítása is. A tematikus irodalomelemzési módszer különösen alkalmas olyan komplex és dinamikusan fejlődő területek vizsgálatára, mint amilyen a digitális technológiák integrációja a minőségmenedzsment rendszerekkel.

A releváns szakirodalom kiválasztása során a Scopus adatbázisát alkalmaztuk, előnyben részesítve a nyílt hozzáférésű (open access) és peer-reviewed publikációkat. A források az Ipar 4.0 és Ipar 5.0, az EFQM modell, valamint a vezetési és szervezeti struktúrák kapcsolódási pontjait vizsgálták. A kutatásunk során alkalmazott megközelítést alátámasztja többek között Bajic és társainak 2023-as kutatása, amely során az intelligens minőségmenedzsment rendszerek optimalizálását vizsgálták az Ipar 5.0 kontextusában (Bajic et al., 2023). További

megerősítésként értelmezhető Coelho és társainak, szintén 2023-as kutatása, amelyben az Ipar 5.0 fogalmának kialakulását vizsgálták a tematikus szakirodalmi elemzésen és koncepcionális megalapozásán keresztül (Coelho et al., 2023).

3. Az EFQM modell és az Ipar 4.0 integrációja

Napjainkban, az Ipar 4.0 „világában”, a szervezet vezetőinek kiemelkedően fontos az együttműködő, interdiszciplináris szemlélet alkalmazása. Segítségével a szervezeten belüli kölcsönhatások és a közös célok elérését tudják szorgalmazni (Rehman et al., 2022). A technológiák hatékony bevezetését és az összetett projektek lebonyolítását képes támogatni a különböző részlegek szoros együttműködése. Ebből kifolyólag a vezetők számára elengedhetetlen nem csupán a gyors változások során a tanulási kompetencia, hanem megkerülhetetlenné vált az elköteleződés a szakmai fejlődés irányába, annak érdekében, hogy a szervezet képes legyen lépést tartani a technológiai fejlődéssel (Dhanpat et al., 2020).

Az Ipar 4.0 korszakában egyre fontosabbá válik a felelős, etikus vezetés. A technológiák bevezetése az automatizáció és az adatvédelem okán komoly etikai kérdéseket vetnek fel (Akhmedova et al., 2023). Az ipari fejlődés nem vethet gátat az érzelmi intelligencia és az empátia szerepvállalásának. A vezetőknek meg kell őrizniük az emberközpontú megközelítést, amely segíti a csapatdinamikát, annak megértését, valamint a motiváció fenntartását (Vrchota et al., 2020).

3.1. Az EFQM modell és az Ipar 4.0 integrációjának kihívásai

Míg az Ipar 4.0 alkalmazásával a digitális technológiák úgy, mint a mesterséges intelligencia, az IoT (Internet of things) és a nagy adatmennyiségek révén a gyártási és üzleti folyamatok átalakítása a cél, addig az EFQM modell segítségével a szervezeti kiválóság előmozdítása a prioritás (Ali et al., 2022). Az EFQM és az Ipar 4.0 összekapcsolása jelentős kihívást jelent (het) a szervezetek vezetőinek számára, mivel azok alkalmazása a szervezeti kultúra és a vezetési modellek megújítását vonja maga után. Az átalakulás során a vezetőknek agilis és innovatív vezetési stílust szükséges alkalmazniuk, hiszen ezáltal lesznek képesek kezelni a digitális átalakulás okozta komplex helyzetet (Kemendi et al., 2022). A technológiai integráció a szervezet minden szintjén új kompetenciákat igényel. Nem jelent kivételt ez alól a vezetői szint sem, mivel ezek az eszközök a technológiai előnyökön túlmutatóan stratégiai előnyöket is kínálnak (Bashynska et al., 2019).

A digitális platformok és a felhő alapú szolgáltatások alkalmazása során az adatok áramlása és az átlátható kommunikáció mind a különböző technológiák sikeres bevezetését támogatják (Alarefi, 2023, Stefanović et al., 2019). Az Ipar 4.0 alkalmazási környezetében az EFQM modell sikeres implementálásához olyan vezetési modellek kialakítása válik szükségessé, amelyek által a szervezet képes harmonizálni az automatizáció, a mesterséges intelligencia és az emberi tényezők hatását, ezáltal támogatva a versenyképességet a fenntarthatóság szem előtt tévesztése nélkül (Tolmachev et al., 2023). A vezetőknek olyan stratégiai szemléletet szükséges alkalmazniuk, amivel előtérbe tudják helyezni az innováció támogatását, valamint a digitális képzések fejlesztését (Sarwono–Bernarto, 2020). Az EFQM és

az Ipar 4.0 együttes alkalmazása során számos kulcsfontosságú technológiai és humán erőforrások közötti egyensúlyi kérdés merül fel, valamint az azokhoz kapcsolódó stratégiai kérdések kidolgozása, amelyek így támogatni képesek mindkét rendszer hatékony integrációját (Demirkesen–Tezel, 2022, Veile et al., 2020).

3.2. Stratégiai kapcsolatok

Az Ipar 4.0 célja, hogy a gyártási és üzleti folyamatokat korszerűsítse. A szervezeteknek ehhez adaptív, innovatív stratégiákat szükséges kialakítaniuk és alkalmazniuk napi működésük során (Marrucci et al., 2023). Az EFQM modell integrálása az Ipar 4.0 struktúrájába elősegítheti az alkalmazó szervezetek minőségügyi szemléletét és a fenntarthatóság biztosítását, valamint ezeken túl támogatni képes az új digitális környezethez való alkalmazkodást (Castagnoli et al., 2022). Az EFQM keretrendszer és az Ipar 4.0 közötti kapcsolat mélyebb megértése segítheti a szervezeteket abban, hogy hogyan fejlesszék a szervezeti és vezetési stratégiáikat, továbbá miképp javítsák a digitális technológiák alkalmazásával a működési folyamataikat (Antony et al., 2023). Az Ipar 4.0 bevezetése önmagában jelentős kihívások elé állítja a szervezeteket. Különös tekintettel igaz ez az állítás a digitális átalakulás okozta igények technológiai és emberi erőforrások egyensúlyának megteremtésére (Govindan–Aranpatzis, 2023). Bizonyos szervezeti struktúrák és vezetési gyakorlatok hozzájárulhatnak a sikeres integrációhoz, valamint felkészíthetik a vállalatokat a digitális átállásra. A digitális intézmények (blokklánc-alapú ellenőrzési mechanizmusok, mesterséges intelligenciával támogatott üzleti folyamatok, intelligens szerződések, automatizált minőségmenedzsment rendszerek) alkalmazása mind-mind lehetővé teszi a termékminőség, mint cél hatékony elérését és a versenyképesség növelését (Solovyov et al., 2023). Az Ipar 4.0 integrációjában az intézményi elmélet alkalmazása mellett az emberi erőforrás menedzsment gyakorlatai játszanak kiemelkedő szerepet a vezetési és szervezeti stratégia kialakításában és a folyamatok hatékonyságának növelésében (Fogaça et al., 2022, Mahfouz et al., 2021). Ehhez társítva képes az EFQM modell támogatni a minőségmenedzsment és az innováció közötti összhang kialakítását a fenntarthatóság és a versenyképesség hosszú távú, stratégiai szintre emelésével és megőrzésével (León García–Madinabeitia, 2023).

3.3. Kihívások és lehetőségek

Az EFQM modell jelentős hatást gyakorolt a minőségmenedzsment fejlődésére és ez alól nem képez kivételt az Ipar 4.0 korszaka sem. Célja a szervezeti kiválóság támogatása a folyamatos fejlesztés és a minőségmenedzsment alapelvek integrálásával (Llinas–Abad, 2019). Az EFQM modell kiemelt figyelmet fordít az ügyfélközpontúságra, a stratégiai tervezésre a vezetői elköteleződés mellett (Kloviene–Uosyte, 2019). A keretrendszer segíti a szervezeteket a teljesítményük javításában és az Ipar 4.0 technológiai újításaihoz való alkalmazkodásban (Erro-Garcés, 2019). Az automatizáció, a Big Data és az IoT mind-mind jelentős hatással vannak a szervezetek működésére, különösen az EFQM keretrendszeren keresztül, amely támogatja a versenyképességet és a fenntarthatóságot (Van Nguyen et al.,

2023). Az EFQM modell alkalmazása elősegíti a szervezeti alkalmazkodást ezekhez az új technológiai változásokhoz (Kohnová et al., 2019). Mindezen technológiai újítások fenntartható versenyelőnyt biztosítanak az alkalmazó szervezetek számára (Abiodun et al., Li et al., 2023).

Mindazonáltal szükséges megemlíteni azt, hogy az eltérő megközelítések kihívásokat is rejtenek magukban. Az EFQM emberközpontú vezetési modellje nem minden esetben illeszkedik az Ipar 4.0 technológiaorientált struktúrájához (Medić et al., 2019). A digitális kompetenciák alacsony szintje, az infrastruktúra hiánya és a potenciális szervezeti ellenállás további akadályokat képezhetnek (Llinas–Abad, 2019, Erro-Garcés, 2019). Azonban a két rendszer együttes alkalmazása hatékonyabb termelést, optimálisabb erőforrás kihasználást eredményezhet. Ehhez az intelligens rendszerek és az automatizált folyamatok alkalmazása szükséges, ezáltal csökkentve a hibalehetőségeket egy finomhangolt működési rendszerben (Van Nguyen et al., 2023). Az iparágak közötti különbségek megfigyelése meghatározhatja az Ipar 4.0 és az EFQM integrációjának módját. A kis- és középvállalkozások számára az EFQM képes biztosítani a digitális megoldások (felhőalapú rendszerek, automatizáció) hatékony kihasználását (Marrucci et al, 2023, Tolmachev et al., 2023). A gyártóiparban az intelligens termelési rendszerek által nagy mértékben csökkenthető a hibaszám és párhuzamosan növelhető a hatékonyság (Vrchota et al., 2020, Veile et al., 2020), míg az egészségügyben az EFQM és a digitalizáció együttes alkalmazása javítja a betegellátást, az orvosi döntéshozatal gyorsaságát, addig a közszolgáltatások területén az adminisztrációs folyamatokat képes egyszerűsíteni, miközben növeli az átláthatóságot (Sony–Naik, 2020, Alarefi, 2023).

Az ipariági különbségek és az esettanulmányok számossága miatt nehéz általánosítani az implementálás kihívásaival kapcsolatban. Mind a kvalitatív, mind a kvantitatív módszerek kombinációja segíthet(ne) a szervezeti és technológiai változások mélyebb megértésében. A jelenlegi adathalmaz korlátozottsága okán az Ipar 4.0 gyakorlati alkalmazásának további kutatása megkerülhetetlen annak érdekében, hogy a vállalatok még inkább képesek legyenek kihasználni a technológiai innovációk nyújtotta lehetőségeket. Az Ipar 4.0 és az EFQM modell együttese új távlatokat nyithatna a vállalati működésben, anélkül, hogy az emberi tényező ne merüljön feledésbe. Igaz, hogy az iparáganként eltérő alkalmazhatóság és a technológiai adaptáció az emberi tényező figyelembevételével elsősre áthidalhatatlan akadálnak tűnik, azonban hosszú távon a versenyképesség és a fenntarthatóság motorja lehet.

3.4. Vezetési és szervezeti szempontok

Az Ipar 4.0 és az EFQM modell integrációja a szervezeti alkalmazkodás és a teljesítménynövelés érdekében új vezetési megközelítéseket igényelnek. A transzformatív vezetés támogatja az innovációt, míg az agilis vezetés elősegíti a gyors alkalmazkodást, csökkenti a szervezeti ellenállást, miközben növeli az együttműködést, az adaptív vezetés pedig képes növelni a szervezet

ellenállóképesség, a minőségmenedzsment sikeres működésében elengedhetetlen. (Sony–Naik, 2020, Rehman et al., 2022, Dhanpat et al., 2020, Vrchota et al., 2020).

Az új technológiák bevezetése rugalmasabb struktúrát és gyors döntéshozatali mechanizmust igényel. A digitális készségek fejlesztése és naprakészen tartása kulcsfontosságú. A digitális átalakulás sikere a transzparens, támogató vezetésen múlik. Az emberi erőforrás menedzsment feladata és felelőssége nem csak a tehetségek vállalathoz való vonzása és megtartása, hanem a digitális innovációk alkalmazásának elősegítése is. Az EFQM és az Ipar 4.0 kombinációja így hosszú távon növelheti a szervezetek fenntarthatóságát és versenyképességét.

3.5. Ipar 5.0

Az Ipar 1.0-tól az Ipar 5.0-ig tartó ipari forradalmak az elmúlt évszázadokban jelentős technológiai és szervezeti változásokat okoztak. Míg az Ipar 4.0 a digitalizáció és az automatizáció révén forradalmasította a gyártási rendszereket, az Ipar 5.0 az emberközpontúságra, a fenntarthatóságra és a társadalom és a technológia kölcsönhatásának optimalizálására tűzi ki célul (Grabowska et al., 2022). Az új paradigma nem csupán azért fontos, hogy a hatékonyságot növelhessék a vállalatok, hanem a humán faktor, illetve az intelligens rendszerek közötti szinergia fokozása is kiemelt prioritást élvezhet (Barata–Kayser, 2023).

Az Ipar 5.0 alappillérei az emberi munka és az egyre dinamikusabban fejlődő mesterséges intelligencia együttműködése, amelyek így lehetőséget adnak arra, hogy az egyedi igényekhez igazodó gyártást testre lehessen szabni (Coelho et al., 2023). Az intelligens technológiák (edge computing [adatfeldolgozás közel az adatforráshoz], adatoptimalizálás) gyorsabb és hatékonyabb minőségirányítást képesek eszközölni, amelynek az a következménye, hogy a vállalatok képesek valós időben reagálni a gyártási folyamatok kihívásaira, ebből következően pedig csökkenthetik a selejt arányát, a hulladék termelését és az energiafelhasználást, elősegítve a fenntarthatóságot és versenyképességet (Bajic et al., 2023, Sarkar et al., 2024).

Az Ipar 5.0 szerves részeként a minőségmenedzsment rendszerek is jelentős átalakuláson esnek át, amelyet a Quality 5.0 (Minőség 5.0) testesít meg. A Minőség 5.0 célja nem kevesebb, mint egy proaktív minőségbiztosítási rendszer kialakítása, amelyben az intelligens rendszerek elsődleges célja a hibák előrejelzése és megelőzése, és nem csupán azok felismerése (Frick–Grudowski, 2023). Ez az új megközelítés és az EFQM modell - amely a szervezeti kiválóságra helyezi a hangsúlyt - közösen új lendületet kaphat az Ipar 5.0 kontextusában, mivel az általa képviselt és ösztönzött folyamatos fejlődés és adaptív szervezeti működés kiválóan illeszkedik a Minőség 5.0 filozófiájához (Golovianko et al., 2023). Az ipari vállalatok számára az Ipar 5.0 és ezáltal a Minőség 5.0 nem csupán egy technológiai változást jelent, hanem paradigmaváltást is.

4. Eredmények és következtetések

Az Ipar 4.0 bevezetése alapjaiban változtatta meg a gyártási és minőségirányítási rendszereket. Az adatalapú döntéshozatal, valamint a valós idejű monitoring

rendszerek, kiegészülve a megfelelő karbantartási folyamatokkal, képesek nagy mértékben csökkenteni a gyártási selejtarányt és a termelési kockázatot. Az EFQM modell működésének fókuszát a szervezetek kiválóságában jelölte ki, lehetőséget nyújtva számukra ezáltal a folyamatos fejlődés és az innováció elveinek beépítésére. Az ügyfélközpontúság és az adatvezérelt minőségmenedzsment összehangolása további versenyelőnyt eredményezhet az azt alkalmazó vállalatok számára.

Az ipari digitalizáció alkalmazásában még gyorsabbá és precízebbé váltak a vállalatok, azonban ez új kihívások elé állítja a szervezeteket. Ennek leginkább szembevető aspektusa a humán tényező háttérbe szorulása. Az EFQM modell alkalmazása ezt a problémát képes segíteni azáltal, hogy kiemeli a dolgozói elégedettséget, mint mérendő paramétert, támogatja az érintettek bevonását és folyamatos fejlődés útjára állítja a vállalatokat, nem megelégedve a vállalatok technológia-központú működési mechanizmusáról. Az Ipar 4.0 technológiai (automatizáció, IoT, mesterséges intelligencia) elősegítik a hatékonyságnövelést és a rugalmas üzleti gondolkodásmódot, de rávilágítottak arra, hogy szükség van új vezetési modellek felállítására. A teljesítményértékelés és a szervezeti kiválóság egyensúlyának fenntartása mellett az EFQM modell ezen a téren megfelelő keretet biztosít a vállalatok számára.

Az Ipar 5.0 és a Minőség 5.0 új irányt jelöl ki az ipari fejlődésben. Az edge computing révén a mesterséges intelligencia soha nem látott dinamikus fejlődést eredményez, ezáltal az ipari folyamatok még adaptívabbá és intelligensebbé válhatnak, míg a Minőség 5.0 a valós idejű beavatkozások és az önkorrekció lehetőségét adja meg a vállalatok számára. Az emberi kreativitás és az együttműködés meghatározó szerepet kap az ipari fejlődés új korszakában, amelyben az EFQM keretrendszer alkalmazása képes támogatást nyújtani a technológiai és humán tényezők harmonizációjában, biztosítva ezzel a fenntartható versenyképességet, a szervezeti kiválóságot és ezekből kifolyólag objektív adatokon nyugvó eredményességet is.

A kutatás eredményei az ipari vállalatok számára különösen hasznosíthatóak, ott, ahol az automatizált rendszerek és a minőségirányítás integrációja közvetlenül hatást gyakorol a működési hatékonyságra. Az EFQM modell alkalmazásával lehetőség nyílik a digitális technológiák adaptív bevezetésére, anélkül, hogy le kellene mondani a szervezet céljainak emberközpontú fókuszáról. Egy autóipari beszállító – a példa kedvéért –, a modell segítségével képes strukturáltabbá tenni a robotizált összeszerelési sorhoz kapcsolódó teljesítménymutatók monitorozását. Ipari környezetben ez a szemlélet nem csupán a termelési folyamatok optimalizálását képes támogatni, hanem hozzá tud járulni a munkavállalói elkötelezettséghez is. A lean szemléletet az EFQM-alapú önértékelési workshoppal egészítik ki, így valós idejű, adatalapú döntéshozatal segítségével csökkennek a hibaarányok, miközben nő a termelékenység és fenntartható fejlődési pályán maradnak a vállalatok. A szervezetek számára ez a kombinált megközelítés - technológiai hatékonyság és szervezeti kiválóság - hosszú távú versenyelőnyt jelenthet. Az eredmények tehát nem csak elméleti értékkel bírnak, hanem közvetlen operatív szinten is alkalmazhatóak a jövő iparában.

Irodalomjegyzék

- Abiodun, T. S., Rampersad, G., Brinkworth, R. (2023): Driving smartness for organizational performance through industry 4.0: A systems perspective. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34 (9): 40–63. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2022-0335>
- Akhmedova, M. S., Meliksetyan, K. A., Krutilin, A. A., Boris, O. A. (2023): The role of quality management in the development of high-tech industrial enterprises in the context of industry 4.0. *Proceedings on Engineering Sciences*, 5: 207–220. <https://doi.org/10.24874/PES.SI.02.003>
- Alarefi, M. (2023): Cloud computing usage by governmental organizations in Saudi Arabia based on vision 2030. *Uncertain Supply Chain Management*, 11 (1): 169–178. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.10.010>
- Ali, A. M. M., Jabir, S. M., Kadhim, A. A., Almagtome, A. (2022): Nanotechnology practices and cost restructure for effective cost management under industry 4.0 based manufacturing systems. *TEM Journal*, 11 (3): 1193–1199. <https://doi.org/10.18421/TEM113-26>
- Antony, J., Sony, M., McDermott, O. (2023): Conceptualizing industry 4.0 readiness model dimensions: An exploratory sequential mixed-method study. *TQM Journal*, 35 (2): 577–596. <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2021-0180>
- Bajic, B., Suzic, N., Moraca, S., Stefanović, M., Jovicic, M., Rikalovic, A. (2023): Edge computing data optimization for smart quality management: Industry 5.0 perspective. *Sustainability*, 15 (7): <https://doi.org/10.3390/su15076032>
- Barata, J., Kayser, I. (2023): Industry 5.0 – past, present, and near future. *Procedia Computer Science*, 219: 778. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.351>
- Bashynska, I., Baldzhy, M., Ivanchenkova, L., Skliar, L., Nikoliuk, O., Tkachuk, G. (2019): Game risk management methods for investment portfolio optimization. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8 (2): 3940–3943. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1729.078219>
- Castagnoli, R., Büchi, G., Coeurderoy, R., Cugno, M. (2022): Evolution of industry 4.0 and international business: A systematic literature review and a research agenda. *European Management Journal*, 40 (4): 572–589. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2021.09.002>
- Coelho, P., Bessa, C., Landeck, J., Silva, C. (2023): Industry 5.0: The arising of a concept. *Procedia Computer Science*, 217: 1137. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.312>
- Demirkesen, S., Tezel, A. (2022): Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29 (3): 1470–1503. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1059>
- Dhanpat, N., Buthelezi, Z. P., Joe, M. R., Maphela, T. V., Shongwe, N. (2020): Industry 4.0: The role of human resource professionals. *SA Journal of Human Resource Management*, 18: 10. <https://doi.org/10.4102/sajhrm.v18i0.1302>
- Erro-Garcés, A. (2019): Industry 4.0: Defining the research agenda. *Benchmarking*, 28 (5): 1858–1882. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0444>
- Fogaça, D., Grijalvo, M., Neto, M. S. (2022): An institutional perspective in the industry 4.0 scenario: A systematic literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15 (2): 309–322. <https://doi.org/10.3926/jiem.3724>
- Frick, J., Grudowski, P. (2023): Quality 5.0: A paradigm shift towards proactive quality control in industry 5.0. *International Journal of Business Administration*, 14 (2). <https://doi.org/10.5430/ijba.v14n2p51>
- Golovianko, M., Terziyan, V., Branytskyi, V., Malyk, D. (2023): Industry 4.0 vs. industry 5.0: Co-existence, transition, or a hybrid. *Procedia Computer Science*, 217: 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.206>
- Govindan, K., Arampatzis, G. (2023): A framework to measure readiness and barriers for the implementation of industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>
- Grabowska, S., Saniuk, S., Gajdzik, B. (2022): Industry 5.0: Improving humanization and sustainability of industry 4.0. *Scientometrics*, 127 (6): 3117. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>

- Gupta, M., Jauhar, S. K. (2023): Digital innovation: An essence for industry 4.0. *Thunderbird International Business Review*, 65 (3): 279–292. <https://doi.org/10.1002/tie.22337>
- Kemendi, Á., Michelberger, P., Mesjasz-Lech, A. (2022): Industry 4.0 and 5.0 – organizational and competency challenges of enterprises. *Polish Journal of Management Studies*, 26 (2): 209–232. <https://doi.org/10.17512/pjms.2022.26.2.13>
- Kloviene, L., Uosyte, I. (2019): Development of performance measurement system in the context of industry 4.0: A case study. *Engineering Economics*, 30 (4): 472–482. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.30.4.21728>
- Kohnová, L., Papula, J., Salajová, N. (2019): Internal factors supporting business and technological transformation in the context of industry 4.0. *Business: Theory and Practice*, 20: 137–145. <https://doi.org/10.3846/btp.2019.13>
- León García, O. A., Madinabeitia, D. (2023): Analysis of the use of industry 4.0 technologies as competitive advantage. *Revista De Metodos Cuantitativos Para La Economia Y La Empresa*, 35: 16–33. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.6311>
- Li, X., Chen, W., Alrasheedi, M. (2023): Challenges of the collaborative innovation system in public higher education in the era of industry 4.0 using an integrated framework. *Journal of Innovation and Knowledge*, 8 (4). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100430>
- Llinas, D., Abad, J. (2019): The role of high-performance people management practices in industry 4.0: The case of medium-sized spanish firms. *Intangible Capital*, 15 (3): 190–207. <https://doi.org/10.3926/ic.1485>
- Mahfouz, S., Bahkia, A. S., Alias, N. (2021): The impact of human resource management practices on employee performance and the mediating role of employee commitment. *Journal of Governance and Regulation*, 10 (4): 222–234. <https://doi.org/10.22495/jgrv10i4siart3>
- Marrucci, A., Rialti, R., Balzano, M. (2023): Exploring paths underlying industry 4.0 implementation in manufacturing SMEs: A fuzzy-set qualitative comparative analysis. *Management Decision*, <https://doi.org/10.1108/MD-05-2022-0644>
- Medić, N., Anišić, Z., Lalić, B., Marjanović, U., Brezocnik, M. (2019): Hybrid fuzzy multi-attribute decision making model for evaluation of advanced digital technologies in manufacturing: Industry 4.0 perspective. *Advances in Production Engineering and Management*, 14 (4): 483–493. <https://doi.org/10.14743/apem2019.4.343>
- Rehman, H. M., Au Yong, H. N., Choong, Y. O. (2022): Facilitating the malaysian manufacturing sector in readiness for industry 4.0: A mediating role of organization innovation. *International Journal of Asian Business and Information Management*, 13 (1): <https://doi.org/10.4018/IJABIM.297847>
- Sarkar, B. D., Shardeo, V., Dwivedi, A., Pamucar, D. (2024): Digital transition from industry 4.0 to industry 5.0 in smart manufacturing: A framework for sustainable future. *Technology in Society*, 78: 102649. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102649>
- Sarwono, R., Bernarto, I. (2020): Leading millennials to 4.0 organization. *Management Science Letters*, 10 (4): 733–740. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.10.024>
- Solovyov, A. A., Dugina, T. A., Karpushova, S. E., Zemlyacheva, E. A. (2023): Product quality management in industry 4.0 based on digital institutions. *Proceedings on Engineering Sciences*, 5: 327–340. <https://doi.org/10.24874/PES.SI.02.011>
- Sony, M., Naik, S. (2020): Key ingredients for evaluating industry 4.0 readiness for organizations: A literature review. *Benchmarking*, 27 (7): 2213–2232. <https://doi.org/10.1108/BIJ-09-2018-0284>
- Stefanović, M., Đorđević, A., Puškarić, H., Petronijević, M. (2019): Web based cloud solution for support of quality management 4.0 in the concept of industry 4.0. *Proceedings on Engineering Sciences*, 1 (2): 443–448. <https://doi.org/10.24874/PES01.02.042>
- Tolmachev, A. V., Sozinova, A. A., Savelyeva, N. K., Saidakova, V. A. (2023): The attraction of digital personnel and corporate training in quality management in industry 4.0 with a balance between sustainability and competitiveness. *Proceedings on Engineering Sciences*, 5: 311–326. <https://doi.org/10.24874/PES.SI.02.010>

- Van Nguyen, T. A., Nguyen, K. H., Tucek, D. (2023): Total quality management 4.0 framework: Present and future. *Operations and Supply Chain Management*, 16 (3): 311–322. <https://doi.org/10.31387/oscm0540391>
- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., Voigt, K. -. (2020): Lessons learned from industry 4.0 implementation in the german manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31 (5) 977–997. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- Vrchota, J., Vlčková, V., Frantikova, Z. (2020): Division of enterprises and their management strategies in relation to industry 4.0. *Central European Business Review*, 9 (4): 27–44. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.243>
- Wang, K., Li, B., Tian, T., Zakuan, N., Rani, P. (2023): Evaluate the drivers for digital transformation in higher education institutions in the era of industry 4.0 based on decision-making method. *Journal of Innovation and Knowledge*, 8 (3). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100364>