

Ruppert Tamás²¹ – Bokor Barbara²² – Obermayer Nóra²³ – Tran Tuan-anh²⁴

Operátor 4.0 érettségi modell

Az emberközpontú technológiák szervezeti integrációja

A tanulmány célja egy, az emberközpontú technológiák szervezeti integrációját értékelő koncepcionális Operátor 4.0 érettségi modell bemutatása. A modellfejlesztés empirikus kiindulópontját 120 magyar ipari vállalat körében végzett kérdőíves felmérés eredményei jelentették. Az eredményeket kontextusváltozóként vagy érettségi tényezőként osztályoztuk, ezekből modellkövetelményeket és fő értékelési területeket vezettünk le, majd az érettségi modellek és az Operátor 4.0/5.0 szakirodalma alapján rendeztük őket egységes struktúrába. Az értékelés egysége nem a teljes vállalat, hanem bármely folyamat vagy munkaadómás egy adott technológia-operátor-munkafolyamat hármasa. A modell a vállalati kontextust, a háromdimenziós érettségi magot és a technológiai életciklust kapcsolja össze. Az érettségi mag a technológiai alkalmazkodóképességet, az operátori technológiai felkészültséget és az emberközpontú integrációt négy fejlődési szinten, egymástól elkülönítve értékeli. Az eredmény nem összevont pontszám, hanem háromdimenziós érettségi profil. A modell koncepcionális keret, amelynek érthetőségét, értékelhetőségét és gyakorlati alkalmazhatóságát későbbi exploratív vállalati pilotvizsgálatokban szükséges ellenőrizni.

Kulcsszavak: emberközpontú technológia, Operátor 4.0, érettségi modell, magyar ipar

JEL-kód: L60, O32, O33, R11

Operator 4.0 Maturity Model

Organizational integration of Human-Centric technologies

This study presents a conceptual Operator 4.0 maturity model for assessing the organizational integration of human-centric technologies. The empirical starting point of the model development was a questionnaire survey conducted among 120 Hungarian industrial companies. The survey results were classified as either contextual variables or maturity factors; model requirements and key assessment areas were then derived from these findings and organized into a coherent structure based on the literature on maturity models and Operator 4.0/5.0. The unit of assessment is not the company as a whole, but a specific technology–operator–workflow triangle of any process, or in any workstation. The model integrates three layers: the organizational context, a three-dimensional maturity core, and the technology lifecycle. The maturity core evaluates technological adaptability, operator technological preparedness, and human-centric integration separately across four development levels. The result is not an aggregated score but a three-dimensional maturity profile. The proposed model is a conceptual framework whose comprehensibility, assessability, and practical applicability should be examined in future exploratory company pilots.

Keywords: human-centric technology, Operator 4.0, maturity model, Hungarian industry

JEL codes: L60, O32, O33, R11

<https://doi.org/10.32976/stratfuz.2026.32>

1. Bevezetés

Az Ipar 5.0 az emberközpontúságot a fenntartható és reziliens ipari fejlődés egyik meghatározó pilléréként kezeli (European Commission, 2021). Az Operátor 4.0 és Operátor 5.0 megközelítések olyan technológiák alkalmazását ösztönzik, amelyek az emberi operátort a termelési feladatokban támogatják, és az ember–automatizálás együttműködésére épülő munkarendszereket hoznak létre (Gładysz et al., 2023; Romero & Stahre, 2021). Magyarországon az ipar 2025-ben a

²¹ PhD, Egyetemi docens, Pannon Egyetem, Rendszermérnöki Intézet Tanszék, ruppert.tamas@mk.uni-pannon.hu

²² MSc, PhD hallgató, Pannon Egyetem, Szervezési és Vezetési Intézet Tanszék, bokor.barbara@phd.gtk.uni-pannon.hu

²³ PhD, Egyetemi tanár, Pannon Egyetem, Szervezési és Vezetési Intézet Tanszék, obermayer.nora@gtk.uni-pannon.hu

²⁴ PhD, Oktató, Hanoi University of Industry, Faculty of Industrial Systems, tuananh.tran@hau.edu.vn

nemzetgazdaság bruttó hozzáadott értékének 20,7%-át állította elő (KSH, 2026), ezért az emberközpontú technológiák alkalmazásának vizsgálata nemcsak vállalati, hanem versenyképességi szempontból is releváns. A magyar ipari vállalatok körében végzett felmérés 120 válasz alapján értékelte a digitalizáció, az automatizálás, az operátori bevonás és az operátortámogató eszközök elterjedtségét. Az eredmények egyszerre mutattak előrelépést és jelentős technológiai, illetve vállalatméretből és termelési típusból eredő különbségeket (Bokor et al., 2026). Az emberközpontú technológiák gyakorlati alkalmazása ugyanakkor vállalatonként és iparáganként eltérő. A bevezetésről beszámoló esettanulmányok jellemzően az első alkalmazásra és a közvetlen előnyökre összpontosítanak, miközben kevesebb figyelem jut a technológia hosszú távú használatára, szervezeti adaptációjára és fokozatos továbbfejlesztésére (Rhodes et al., 2025; Nasir et al., 2025). Ennek következtében a vállalatok nem minden esetben tudják meghatározni azokat a műszaki, humán és szervezeti erőfeszítéseket, amelyek a technológia teljes életciklusán át szükségesek (Gładysz et al., 2026).

E hiányosságok kezeléséhez olyan strukturált értékelési keretre van szükség, amely nemcsak a pillanatnyi alkalmazási állapotot, hanem a technológiai, humán és szervezeti fejlődés egymásra épülő szintjeit is képes megragadni. Az érettségi modellek olyan értékelési eszközök, amelyek egy meghatározott vizsgálati tárgy aktuális állapotát rendezett dimenziók és fejlődési szintek segítségével írják le, és támogatják a későbbi fejlesztési irányok kijelölését (Becker et al., 2009; Wendler, 2012). Az Ipar 4.0-hoz kapcsolódó érettségi modellek szakirodalma szerkezetében és értékelési logikájában erősen heterogén. A gyártóvállalatokra kidolgozott modellek jellemzően több egymásra épülő dimenziót és részterületet vizsgálnak, de az alkalmazott terminológia, a dimenziók hierarchiája, a fejlődési szintek száma és a szintbesorolás módja jelentősen eltér. A leggyakrabban értékelt területek közé a stratégia és vezetés, az emberi erőforrások, a technológia, a folyamatok és a szervezeti működés tartoznak, ugyanakkor az emberi tényezők szerepeltetése önmagában még nem jelent emberközpontú megközelítést (Zamora Iribarren et al., 2024; Ünlü et al., 2024; Häring et al., 2023; Van Tonder et al., 2024). A kifejezetten emberközpontú modellek egy része elsősorban a munkavállalók szakmai és szociális kompetenciáit, a munkakörnyezetet, valamint az ember–technológia kapcsolat használhatóságát és működtethetőségét értékeli (Galaske et al., 2017; Bretz et al., 2022). Az Ipar 5.0-ra épülő újabb megközelítések ezek mellett a munkavállalói jóllétet, a szervezeti kultúrát, a stratégiai elköteleződést és az értéklánc emberközpontú átalakítását is figyelembe veszik (Sajadieh & Noh, 2024; Latino, 2025). A modellek eltérő számú érettségi szintet, súlyozási elveket és értékelési módszereket alkalmaznak, ami arra utal, hogy az emberközpontú érettség értékelésére még nem alakult ki egységes szerkezet és általánosan elfogadott besorolási logika.

A tanulmányunk célja, hogy a magyarországi empirikus tapasztalatokra alapozva vetítsünk előre egy Operátor 4.0 érettségi modellnek az alapjait, amely modellel a magyarországi pilotálás után potenciálisan ki lehet terjeszteni a V4 országaira is. Az így kialakított értékelési keret nem általános vállalati digitalizációs index, hanem egy konkrét technológia–operátor–munkafolyamat hármasként a műszaki alkalmazkodóképességét, az operátor felkészültségét, valamint a technológia munkafolyamatba és szervezeti működésbe való beépülését írja le. A tanulmány önálló hozzájárulása a korábbi magyar felmérés eredményeiből (Bokor et al., 2026) levezetett modellkövetelmények és értékelési területek szakirodalmi alapú, háromrétegű érettségi struktúrába rendezése.

2. A magyar vállalati felmérés, mint modellfejlesztési kiindulópont

A modellfejlesztés empirikus kiindulópontját egy 120 magyar ipari vállalat bevonásával végzett felmérés eredményei adják (Bokor et al., 2026). A felmérés nem a vállalatok érettségi szintjének közvetlen meghatározására irányult, hanem az emberközpontú technológiák alkalmazási környezetének, elterjedtségének, céljainak és szervezeti feltételeinek feltárására. A fejezet ezért először bemutatja az adatforrást és a vizsgálati kört, majd azonosítja azokat az eredményeket, amelyek kontextusváltozóként vagy érettségi tényezőként járultak hozzá a modell követelményeinek és fő értékelési területeinek kialakításához.

2.1. Adatforrás és vizsgálati kör

A modell magyarországi adaptációjának empirikus kiindulópontját a Gépipari Tudományos Egyesület vállalati tagsága körében 2024 decembere és 2025 februárja között végzett online kérdőíves kutatás adja. A kérdőívet 800 vállalat vezetői és szakértői kapták meg, amelyből 120 értékelhető válasz érkezett, ami 15%-os válaszadási arányt jelent. A válaszadók 65%-a vezetői, 21%-a szakértői munkakörben dolgozott. A kérdőív a vállalati jellemzők mellett a digitalizáció, az automatizálás, az operátori bevonás, valamint a digitális és innovatív operátortámogató eszközök használatát vizsgálta (Bokor et al., 2026). Az eredeti kutatás leíró statisztikát, Kruskal–Wallis- és Dunn-próbát, valamint Spearman-féle rangkorrelációt alkalmazott. Az empirikus eredményeket Bokor et al. (2026) közölte, jelen tanulmányunk ezeket modellfejlesztési bemenetként használja. A közölt eredményeket kontextusváltozóként vagy érettségi tényezőként osztályoztuk, majd a megfelelő keretelemhez rendeltük. A felmérés eredményeiből vezettük le a modell követelményeit és fő értékelési területeit, majd ezeket az érettségi modellek és az Operátor 4.0/5.0 szakirodalma alapján rendeztük dimenziókba és fejlődési szintekbe.

2.2. A modell szempontjából meghatározó eredmények

A felmérés alapján a technológiai fejlettség önmagában nem írja le az emberközpontú alkalmazás érettségét. A digitalizáció és automatizálás eltérő szintje, az operátori bevonás változatossága, valamint az operátortámogató eszközök korlátozott elterjedtsége olyan értékelést indokol, amely a műszaki megoldást, az emberi felkészültséget és a szervezeti beágyazottságot együttesen vizsgálja. A vállalatméret és a termelési típus kapcsolatai azt is jelzik, hogy az azonos pontszám eltérő fejlesztési környezetet takarhat, ezért e változókat az érettségi profil értelmezésekor rögzíteni kell (*1. táblázat*). A felmérés alapján a vállalatméret és a termelési típus kötelező kontextusváltozóként, a régió pedig leíró változóként kapcsolódik a modellhez.

1. táblázat: A magyar felmérés eredményei és az értékelési keretre gyakorolt következmények

Table 1: Hungarian survey findings and their implications for the assessment framework

Vizsgált terület	Közölt eredmény	Besorolás és kapcsolódó keretelem
Digitalizáció	A vállalatok 68%-a a négy szintű skála 2–3. szintjén állt; 9% átfogó, 19% minimális digitalizációt jelzett.	Digitalizáció: <i>érettségi tényező</i> – technológiai alkalmazkodóképesség és életciklus
Automatizálás és döntéstámogatás	Közel 70% nem használt döntéstámogató rendszert; 30% alkalmazott valamilyen döntéstámogatást, teljes automatizálást 1% jelzett.	Automatizálás: <i>érettségi tényező</i> – technológiai alkalmazkodóképesség és emberközpontú integráció
Operátori bevonás	A vállalatok 33%-ában magas vagy átfogó volt az operátorok bevonása az új folyamatok és rendszerek tervezésébe vagy bevezetésébe.	Operátori bevonás: <i>érettségi tényező</i> – emberközpontú integráció
Operátortámogató eszközök	43% nem használt semmilyen felsorolt digitális eszközt, 61% pedig nem használt innovatív operátortámogató eszközt.	Operátortámogató eszközök: <i>érettségi tényező</i> – technológiai alkalmazkodóképesség és életciklus
Vállalatméret és termelési típus	A vállalatméret a digitalizációval ($\rho = 0,42$), automatizálással ($\rho = 0,40$), bevonással ($\rho = 0,29$) és digitális támogatással ($\rho = 0,26$) is pozitív kapcsolatot mutatott. A termelési típus mind az öt vizsgált változóhoz kapcsolódott.	Vállalatméret és termelési típus: <i>kontextusváltozó</i>
Területi elhelyezkedés	A vizsgált változókban nem jelentkeztet szignifikáns különbség a magyar régiók között (minden $p > 0,05$).	Területi elhelyezkedés: <i>leíró kontextusváltozó</i>

Forrás: Saját szerkesztés Bokor et al. eredményei alapján

3. Magyarországi tapasztalatokra épülő Operátor 4.0 érettségi modell

A javasolt modell koncepcionális; a dimenziókhoz és szintekhez tartozó mérési tételek, kötelező követelmények és bizonyítékkritériumok részletes operacionalizálása, valamint empirikus vizsgálata további kutatást igényel. A dimenziók és fejlődési szintek nem a felmérésben alkalmazott skálák közvetlen átvételei, hanem a felmérésből levezetett követelmények és a szakirodalmi érettségi modellek szintézisének eredményei.

A dimenziók kialakításának első lépéseként a felmérés eredményeit aszerint választottuk szét, hogy azok az értékelés kontextusát írják le, vagy közvetlenül az érettséget befolyásoló tényezőként értelmezhetők. Az utóbbiakból olyan visszatérő értékelési területek rajzolódtak ki, amelyek a technológia képességeire, az operátor felkészültségére, illetve az ember és a technológia szervezeti kapcsolatára vonatkoznak. Ezeket az Operátor 4.0/5.0 és az érettségi modellek szakirodalmi alapján három dimenzióba rendeztük: technológiai alkalmazkodóképesség, operátori technológiai felkészültség és emberközpontú integráció. A fejlődési szintek megfogalmazásakor közös, kumulatív fejlődési logikát alkalmaztunk, amely a kezdeti, alapvetően passzív támogatástól a szabályozott és adaptív működésen keresztül a szervezeten belül beágyazott és folyamatosan fejlesztett alkalmazásig vezet. A négy szint ezért nem a kérdőíves skálák statisztikai kalibrációja, hanem a felmérésből levezetett követelmények és a szakirodalmi szintlogikák koncepcionális szintézise.

3.1. Az értékelés egysége és felépítése

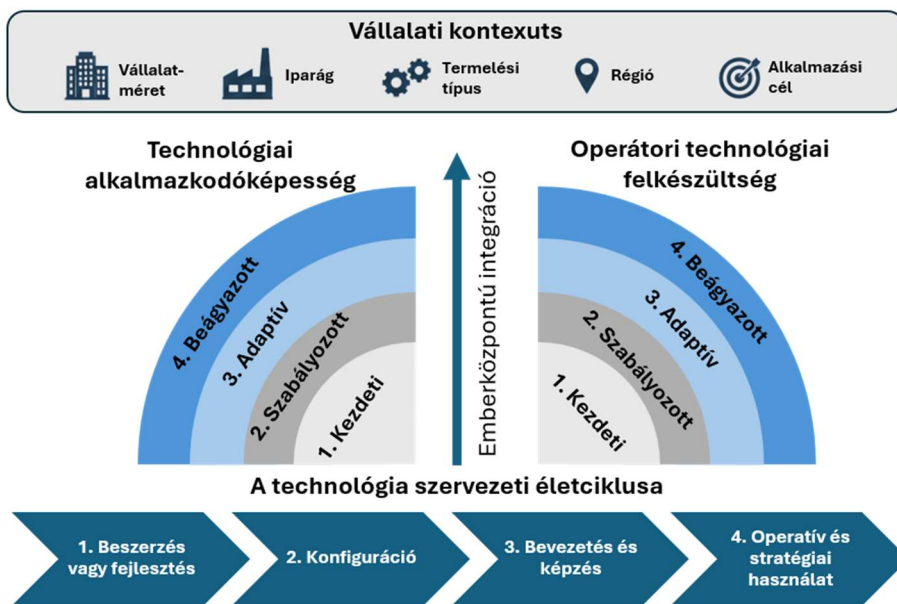
Az értékelés egysége nem a vállalat egésze, hanem egy meghatározott emberközpontú technológia, az azt használó operátori kör és az érintett munkafolyamat együttese. Ezt a folyamatszintű megközelítést számos értékelési keretrendszerben, vagy egy többdimenziós megközelítés aldimenziójaként alkalmazzák, hogy biztosítsák az érdeklődésre számot tartó belső interakció megragadását. (Saad et al., 2019). Az Operátor 4.0 koncepció ember-technológia interakciójának érdekelt hatókörén belül, ez a lehatárolás lehetővé teszi, hogy az értékelés konkrét technológiai konfigurációhoz, feladathoz, felhasználói csoporthoz és működési bizonyítékhoz kapcsolódjon. Egy vállalat ezért több, egymástól eltérő érettségi profilú technológia–operátor–folyamat hármassal is rendelkezhet.

A keret három réteget kapcsol össze (1. ábra). A *kontextusréteg* a vállalatméretet, az iparágat, a termelési típust és a területi elhelyezkedést rögzíti. Az *érettségi mag* három dimenzióban értékeli a technológiai alkalmazkodóképességet, az operátori technológiai felkészültséget és az emberközpontú integrációt. Az *életciklusréteg* a technológia beszerzését vagy fejlesztését, konfigurációját, bevezetését és képzését, valamint operatív vagy stratégiai használatát követi végig (2. táblázat).

2. táblázat: A mérnöki értékelési keret rétegei
Table 2: Layers of the engineering assessment framework

Réteg	Értékelendő elemek	Bizonyítékok példái
Kontextus	Vállalatméret, iparág, régió, termelési/összeszerelési típus, alkalmazási cél	Vállalati és folyamatadatok; technológiai leírás
Érettségi mag	Technológiai alkalmazkodóképesség; operátori technológiai felkészültség; emberközpontú integráció	Beállítások, interfészek, kompetenciák, felhasználói tapasztalatok
Technológiai életciklus	Beszerzés/fejlesztés; konfiguráció; bevezetés és képzés; operatív/stratégiai használat	Projekt- és oktatási dokumentumok; módosítási naplók; használati adatok

Forrás: Saját szerkesztés



1. ábra: Az Operátor 4.0 érettségi modell háromrétegű felépítése és négyszintű fejlődési logikája
Figure 1: Three-layer structure and four-level development logic of the Operator 4.0 maturity model

3.2. Érettségi dimenziók és szintek

Az érettségi mag három, egymástól függetlenül értékelt dimenzióból áll: a *technológiai alkalmazkodóképességből*, az *operátori technológiai felkészültségből* és az *emberközpontú integrációból*. Az emberközpontú integráció a technológiai és az operátori oldal kapcsolatának minőségét ragadja meg (3. táblázat). Az általános Ipar 4.0 érettségi modellek között hatszintű, a vállalat egészének digitális átalakulását értékelő struktúrák is megtalálhatók, mint például az acatech Industrie 4.0 Maturity Index (Becker et al., 2017). Ezek elsősorban az adatkapcsolatok, az átláthatóság, a prediktív képesség és az autonóm alkalmazkodás vállalati fejlődését írják le. A jelen modell ennél szűkebb elemzési egységet, egy konkrét technológia–operátor–munkafolyamat rendszert értékel, és a technológiai, operátori, valamint kapcsolati fejlődést együttesen vizsgálja. Ezért négy, egymástól egyértelműen elkülöníthető szintet alkalmaz: *kezdeti*, *szabályozott*, *adaptív* és *szervezetileg beágyazott* működést.

A munkabiztonság, az emberi felügyelet, a jogszerűség és az adatvédelem valamennyi érettségi szinten minimumkövetelmény; hiányuk nem kompenzálható magasabb technológiai fejlettséggel.

A *technológiai alkalmazkodóképesség* azt értékeli, hogy a rendszer milyen mértékben képes az emberi igényekhez, a felhasználó állapotához és a munkafolyamat változásaihoz alkalmazkodni. Az *operátori technológiai felkészültség* az alapvető használati kompetenciától a technológia közös fejlesztéséig és a hosszú távú értékteremtésig terjed. Az *emberközpontú integráció* a képességek kezdeti támogatásától az elfogadáson és reziliens együttműködésen keresztül az inkluzív, etikus és társadalmi értéket teremtő alkalmazásig vezet.

3. táblázat: Az érettségi dimenziók négy szintű értelmezése

Table 3: Four-level interpretation of the maturity dimensions

Dimenzió	1. Kezdeti	2. Szabályozott	3. Adaptív	4. Beágyazott
Technológiai alkalmazkodóképesség	Rögzített konfiguráció és passzív támogatás	Konfigurálható rendszer és felügyelt autonómia	Intelligens, a feladathoz és a felhasználóhoz alkalmazkodó támogatás	Személyre és feladatra szabható, skálázható és folyamatosan továbbfejlesztett rendszer
Operátori technológiai felkészültség	Alapvető, részben felügyelt használat	Önálló és hatékony technológiahasználat	Problémamegoldás, rendszerbeállítás és közös folyamatfejlesztés	Folyamatos fejlesztés, tudásmegosztás és felelős technológiai innováció
Emberközpontú integráció	Célzott képességtámogatás, korlátozott operátori bevonással	Operátori részvétel, visszacsatolás, elfogadás és megőrzött emberi kontroll	Kétirányú, összehangolt és reziliens ember–technológia együttműködés	Intézményesített részvétel, inkluzivitás, etikai irányítás és rendszeres hatáértékelés

Forrás: Saját szerkesztés

3.3. Technológiai életciklus és értékelési eljárás

A technológia szervezeti életciklusa a beszerzés vagy fejlesztés, a konfiguráció, a bevezetés és képzés, valamint az operatív és stratégiai használat szakaszait foglalja magában. Ezek nem önálló érettségi szintek, hanem az egyes dimenziók értékeléséhez szükséges bizonyítékok rendszerezési szempontjai. Az értékelésben ezért a műszaki képességek mellett a konfiguráció, a képzés és a tényleges működtetés bizonyítékait is vizsgálni kell. Az életciklusréteg az egyes érettségi dimenziók bizonyítékait a beszerzés, konfiguráció, bevezetés és működtetés szakaszaihoz rendeli. Az eredmény háromdimenziós profil, nem összevont pontszám. Az értékelés kumulatív besorolási logikát követ: egy dimenzióban az a legmagasabb szint állapítható meg, amelynek valamennyi kötelező követelménye megfelelő bizonyítékkal igazolható. Részleges teljesülés esetén az alacsonyabb szintet kell rögzíteni, a hiányzó követelményeket pedig fejlesztési potenciálként kell megjelölni. A három dimenziót egymástól függetlenül kell értékelni; azokból nem képezhető kompenzáló összesített pontszám. A kontextusváltozók nem részei a pontozásnak, hanem az eredmény értelmezését támogatják.

3.4. További munka a modellépítéshez

A további modellfejlesztés első lépése a dimenziókhoz és szintekhez tartozó kötelező követelmények, mérési tételek és bizonyítéktípusok operacionalizálása. Ezt legfeljebb három, eltérő vállalati környezetben végzett exploratív pilotvizsgálat követheti, amely a szintleírások érthetőségét, a szükséges bizonyítékok elérhetőségét, az értékelők közötti egyezést és a gyakorlati használhatóságot vizsgálja. A kontextusváltozók a profil értelmezését és a fejlesztési ajánlások testreszabását szolgálják; nem képeznek pontszámot, és nem módosítják a szintek kötelező követelményeit. Az ilyen pilot alkalmazhatósági vizsgálatnak, nem pedig a modell teljes empirikus validálásának tekinthető.

4. Összegzés és alkalmazási potenciálok

A tanulmány a magyar ipari vállalatok körében végzett felmérés eredményeit kapcsolja össze az emberközpontú technológiák szervezeti integrációját leíró Operátor 4.0 érettségi modellel. A javasolt mérnöki keret az értékelést egy konkrét technológia–operátor–munkafolyamat hármásra szűkíti, külön kezeli a vállalati kontextust, és három dimenzióban négy szintű érettségi profilt állít elő.

A magyar felmérés szerint a vállalatméret és a termelési típus több technológiai és emberközpontú változóval is kapcsolatban állt, miközben a magyar régiók között nem jelentkezett szignifikáns különbség. Ez alapján a keret első változata magyarországi exploratív alkalmazhatósági vizsgálatok kiindulópontjaként szolgálhat, az eredményeket azonban a vállalati és termelési kontextussal együtt kell értelmezni. A modell ezért nem előre rögzített országos célértéket, hanem bizonyítékokon alapuló technológiaspecifikus profilt ad. A megközelítés

korlátja, hogy a magyar felmérés rövid kérdőívre, tématerületenként egy-egy kérdésre és nem standardizált skálákra épült; a válaszadók között a nagyvállalatok felülreprezentáltak voltak. A bemutatott keret ezért koncepcionális szintézis, nem validált mérőeszköz.

A V4-országokra történő kiterjesztés lehetősége már a magyar felmérés további kutatási irányaként megjelent (Bokor et al., 2026). Az összehasonlíthatósághoz közös definíciókra, egységes kontextusváltozókra, az értékelési tételek szakértői és nyelvi adaptációjára, valamint harmonizált mintavételre lesz szükség. Egy későbbi V4-vizsgálat így elkülönítheti a vállalatméretből és a termelési rendszerből eredő különbségeket az országos intézményi, munkaerőpiaci és technológiaadaptációs sajátosságoktól.

Irodalomjegyzék

- Becker, T., Blocher, A., Bücker, I., Drewel, M., Faath, A., Harland, T., Hermann, M., Herzog, G., Hocken, C., Jussen, P., Krebs, U., Lukas, M., Moser, B., Pitz, K., Porta, D., Reschke, J., Schmitz, S., Schröter, M., Weber, M., Wenger, L., Werbig, A., Winter, J., & Zeller, V. (2017). *Industrie 4.0 maturity index* [eng.]: Managing the digital transformation of companies. Herbert Utz Verlag.
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing maturity models for IT management: A procedure model and its application. *Business & Information Systems Engineering*, 1, 213–222. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>
- Bokor, B., Obermayer, N., Tran, T.-A., Bárdos, K., & Ruppert, T. (2026). Evaluating the perspectives of Human-Centric Manufacturing. *Emerging Science Journal*, 10(5), 3250–3272. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2026-010-05-031>
- Bretz, L., Klinkner, F., Kandler, M., Shun, Y., & Lanza, G. (2022). The ECO Maturity Model – A human-centered Industry 4.0 maturity model. *Procedia CIRP*, 106, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.160>
- European Commission. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2777/308407>
- Galaske, N., Arndt, A., Friedrich, H., Bettenhausen, K. D., & Anderl, R. (2017). Workforce management 4.0-assessment of human factors readiness towards digital manufacturing. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 106–115). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60474-9_10
- Gładysz, B., Cimini, C., Lagorio, A., Mattsson, S., Pinzone, M., Romero, D., Ruppert, T. & Thorvald, P. (2026). Technology adoption models for Operator 5.0 implementations: A harmonized framework. *Computers & industrial engineering*, 217, 112089. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2026.112089>
- Gładysz, B., Tran, T., Romero, D., Van Erp, T., Abonyi, J., & Ruppert, T. (2023). Current development on the Operator 4.0 and transition towards the Operator 5.0: A systematic literature review in light of Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 160–185. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.07.008>
- Häring, K., Pimentel, C., & Teixeira, L. (2023). Industry 4.0 implementation in small-and medium-sized enterprises: Recommendations extracted from a systematic literature review with a focus on maturity models. *Logistics*, 7(4), 99. <https://doi.org/10.3390/logistics7040099>
- Központi Statisztikai Hivatal. (2026). *A bruttó hozzáadott érték megoszlása nemzetgazdasági ágak szerint, 2025 – ESA2010* (STADAT 21.1.3.3). Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. https://www.ksh.hu/stadat_files/gdp/hu/gdp0081.html
- Latino, M. E. (2025). A maturity model for assessing the implementation of Industry 5.0 in manufacturing SMEs: learning from theory and practice. *Technological Forecasting and Social Change*, 214, 124045. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.124045>
- Nasir, V., Hosseini, A., Binfield, L., Hasani, N., Ghotb, S., Diederichs, V., Fox, G. O., McCann, A. J., Riggio, M., Chandler, K. D., & Hansen, E. (2025). Human-centric Industry 5.0 manufacturing: A multi-level framework from design to consumption within Society 5.0. *International Journal of Sustainable Engineering*, 18(1), 2551000. <https://doi.org/10.1080/19397038.2025.2551000>
- Rhodes, D. H., Cuddy, S., Jeffers, M., & O'Rourke, F. (2025). Human-centric manufacturing culture: a research study of MedTech manufacturers in Ireland. *Production & Manufacturing Research*, 13(1), 2445623. <https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2445623>
- Romero, D., & Stahre, J. (2021). Towards the resilient Operator 5.0: The future of work in smart resilient manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 104, 1089–1094. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.183>

- Sajadieh, S. M. M., & Noh, S. D. (2024). Towards sustainable manufacturing: A maturity assessment for urban smart factory. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 11(3), 909-937. <https://doi.org/10.1007/s40684-023-00554-z>
- Saad, M. H., Nazzal, M. A., & Darras, B. M. (2019). A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*, 97, 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.09.062>
- Ünlü, H., Demirörs, O., & Garousi, V. (2024). Readiness and maturity models for Industry 4.0: A systematic literature review. *Journal of Software: Evolution and Process*, 36(7), e2641. <https://doi.org/10.1002/smr.2641>
- Van Tonder, C., Bossink, B., Schachtebeck, C., & Nieuwenhuizen, C. (2024). Key dimensions that measure the digital maturity levels of small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of technology management & innovation*, 19(1), 110-130. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242024000100110>
- Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 54(12), 1317–1339. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.007>
- Zamora Iribarren, M., Garay-Rondero, C. L., Lemus-Aguilar, I., & Peimbert-García, R. E. (2024). A review of industry 4.0 assessment instruments for digital transformation. *Applied Sciences*, 14(5), 1693. <https://doi.org/10.3390/app14051693>