

A 21. SZÁZAD IPARI OPERÁTORÁNAK DEFINÍCIÓJA

THE DEFINITION OF THE 21ST-CENTURY INDUSTRIAL OPERATOR

Dr. Szilárd Jaskó, Dr. Tamás Ruppert***

ABSZTRAKT

A digitalizáció, az automatizálás és a mesterséges intelligencia térnyerése alapvetően átalakítja az ipari operátor szerepét. Az operátorok ma már nem kizárólag előre meghatározott fizikai műveletek végrehajtói, hanem a termelési rendszer állapotát megfigyelő, értelmező és meghatározott felelősségi körben befolyásoló emberi szereplő. Tanulmányunk célja az operátor definíciójának újraértelmezése a 21. századi megváltozott ipari környezetben. Ennek érdekében különböző operátori szerepkörök és szakirodalmi meghatározások összehasonlításával azonosítjuk a definíció közös funkcionális elemeit, majd ezeket az Operátor 4.0 és az emberközpontú gyártás követelményeivel egészítjük ki. A javasolt definíció az ipari operátort szociotechnikai termelési rendszerbe ágyazott emberi szereplőként értelmezi, aki gépekkel, digitális rendszerekkel, automatizált technológiákkal, mesterségesintelligencia-alapú eszközökkel, valamint műszaki és szervezeti támogató szereplőkkel együttműködve hajtja végre és felügyeli a termelési tevékenységeket. A meghatározás hangsúlyozza a világos döntési, beavatkozási és eszkálcációs határok jelentőségét, valamint az operátorok hozzájárulását a hatékony, biztonságos, minőségi, fenntartható, reziliens és emberközpontú működéshez.

ABSTRACT

Digitalization, automation, and the growing use of artificial intelligence are fundamentally transforming the role of industrial operators. Operators are no longer merely responsible for carrying out predefined physical tasks; they increasingly observe, interpret, and influence the state of production systems within clearly defined areas of responsibility. This study aims to reinterpret the concept of the operator in the context of twenty-first-century industry. To this end, representative operator roles and definitions from the literature are compared to identify the common functional elements of the concept, which are then extended with the requirements of Operator 4.0 and human-centric manufacturing. The proposed definition conceptualizes the industrial operator as a human actor embedded in a socio-technical production system who executes and supervises manufacturing activities in collaboration with machines,

digital systems, automated technologies, AI-supported tools, and technical and organizational support functions. The definition emphasizes the importance of clearly specified decision-making, intervention, and escalation boundaries, as well as the operator's contribution to efficient, safe, high-quality, sustainable, resilient, and human-centric industrial operations.

1. BEVEZETÉS

A magyar feldolgozóipar – beleértve többek között a jármű-, élelmiszer-, vegy- és gyógyszeripart – 2024-ben a nemzetgazdasági bruttó hozzáadott érték 18,5%-át állította elő, és mintegy 873 ezer főt foglalkoztatott [1, 2]. A szektor jelentős mértékben humánerőforrás-igényes, miközben a hazai munkaerőpiac továbbra is feszes: 2024-ben a 15–64 éves népesség foglalkoztatási rátája negyedévenként 74,8–75,3% között, míg a munkanélküliségi ráta 4,3–4,6% között alakult [3, 4]. A vállalatok egyre nehezebben találnak képzett szakmunkásokat és mérnököket, miközben az egy keresőre jutó reálkereset 2004 és 2024 között közel 92%-kal emelkedett [5]. A bérnyomás és a munkaerőhiány együtt hosszú távon veszélyeztetik a hazai gyártóipar versenyképességét.

A szakirodalom szerint a teljes automatizáció nem minden termelési környezetben valósítható meg vagy gazdaságilag indokolt. Különösen a nagy termékvalaszttékkal, kis sorozatmérettel, változó munkafolyamatokkal és összetett szerelési feladatokkal jellemezhető rendszerekben korlátozott lehet az automatizálás műszaki és gazdasági megvalósíthatósága, ezért gyakran a részleges automatizáció és az ember–gép együttműködés jelenti a célszerű megoldást [6,7]. Ennek megfelelően az elmúlt években egyre nagyobb figyelem irányul a dolgozókat támogató technológiákra, valamint az olyan emberközpontú szervezeti megoldásokra, amelyek elősegítik a munkavállalók jóllétét, képességeinek fejlődését, autonómiáját és elkötelezettségét, ezáltal ösztönzőbb és a kreativitást támogató munkakörnyezetet teremtenek [8–10]. Ennek a megközelítésnek köszönhetően a gyártás átalakul, megváltozik a munka jellege és újfajta ember–gép interakciók jönnek létre, amely irányt a Gartner előrejelzései is alátámasztották [11,12]. Az Ipar 4.0 eszköztárban szereplő megoldások erősen technológia orientáltak, azaz technokrata szemléletűek és az emberi tényezővel ritkán foglalkoznak [13], ezzel szemben az

*egyetemi docens, Pannon Egyetem, Alkalmazott Informatikai Tanszék. Titkár, Gépipari Tudományos Egyesület, Operátor szakosztály

**egyetemi docens, Pannon Egyetem, Rendszermérnöki Intézeti Tanszék. Elnök, Gépipari Tudományos Egyesület, Operátor szakosztály

Ipar 5.0 koncepció három fő pillérre az emberközpontúság [14], a fenntarthatóság és a rugalmasság/ellenállóképesség (reziliencia). Az Ipar 5.0 a társadalom igényeit helyezi középpontba, célja, hogy az emberek és a modern technológiák egy rugalmas, alkalmazkodó gyártási környezetben, egymás erősségeit kihasználva működjenek együtt [15]. Az emberközpontúság lényege, hogy a technológiai megoldások és szervezeti gyakorlatok tervezésénél, fejlesztésénél, megvalósításánál és bevezetésénél az emberi szükségletekre, jellemzőkre, motivációra és tapasztalatokra helyezték a hangsúlyt.

Az Európai Unió által kiadott kapcsolódó anyagában az emberközpontúság egy többdimenziós keretrendszer, amely az emberi szükségleteket, jellemzőket, motivációt és tapasztalatokat helyezi a technológiai megoldások és szervezeti gyakorlatok tervezésének, fejlesztésének és megvalósításának középpontjába, amelyek nemcsak a funkcionális követelményeket teljesítik, hanem javítják az emberek jólétét, képességeit, készségeit és munkakörülményeit is [16].

A tanulmány célja az operátor fogalmának újraértelmezése a 21. századi ipari környezetben. A cikk először röviden bemutatja az Operátor 4.0 és az emberközpontú rendszerek megközelítéseinek jelentőségét, majd különböző operátori szerepek összehasonlításával azonosítja a fogalom közös funkcionális elemeit. Ezek alapján javaslatot tesz a 21. századi ipari operátor definíciójára, továbbá meghatározza a szerep technológiai, döntési és felelősségi határait. A tanulmány hozzájárulása három elembe foglalható össze: az operátori szerep közös funkcionális magjának azonosítása; a 21. századi ipari operátor új definíciójának megfogalmazása; valamint az operátor, az intelligens technológia és a kapcsolódó szakértői szerepek közötti felelősségi határok kijelölése.

2. OPERÁTOR 4.0 ÉS EMBERKÖPONTÚ RENDSZEREK

Romero és munkatársai bevezették az Operátor 4.0 koncepciót [17], melynek célja, hogy az emberek és a gépek közötti bizalomra és interakcióra épülő kapcsolatokat hozzon létre és az intelligens gyárak ne csak a gépek erősségeit és képességeit használják ki, hanem az operátorokat is új készségekkel és eszközökkel ruházzák fel. Ennek köszönhetően a gyár teljes mértékben kihasználhatja az Ipar 4.0 technológiák által teremtett lehetőségeket. A koncepcióban definiált és az azóta létrejött számos specializált megoldások (mint pl. a Logisztikai Operátor 4.0 [18], Kognitív Operátor 4.0 [19]) alapjai az emberközpontú gyártási megoldásoknak és hasznos eszközkészletet adnak a különböző iparágaknak a dolgozók támogatásának elősegítésére, legyen szó ergonómiáról vagy döntéstámogatásról.

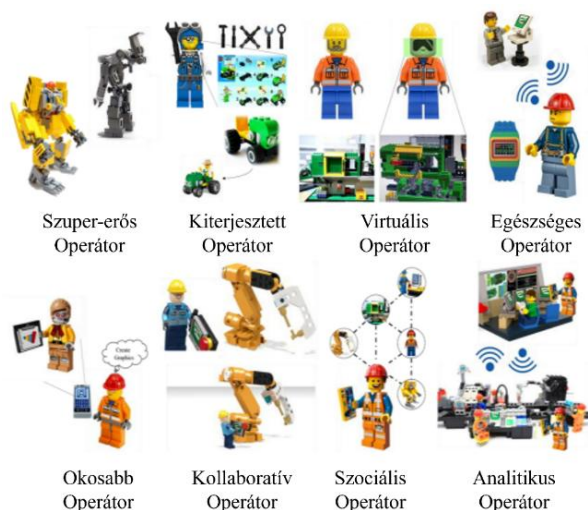
Ahogy a szervezetek egyre inkább digitalizálódnak és automatizálódnak, az emberközpontú megközelítésnek

figyelembe kell vennie az emberi tényezőket mind a technológia fejlesztésében, mind a szervezeti szintű alkalmazásában. Technológiai szinten az emberközpontúság célja az egyének és a gépek közötti interakciók optimalizálása. Ez magában foglalja a folyamatok, rendszerek és munkakörnyezetek közös tervezését, amelynek célja a munkavállalók elkötelezettségének, biztonságának, jólétének és termelékenységének javítása, miközben a technológiai integráció révén erősíti az ember szerepét [20].

A cél a technológiák etikus fejlesztésének és bevezetésének biztosítása, az egyének autonómiájának és ellenőrzésének megőrzése, az emberi értékek tiszteletben tartása mellett. Szervezeti szinten az emberközpontú megközelítés különös hangsúlyt fektet a munkavállalók jólétére és elégedettségére, figyelembe véve specifikus igényeiket, készségeiket és perspektíváikat [16]. Ez a megközelítés nagyra értékeli a munkavállalók hozzájárulását és szakértelmét, ezáltal elősegítve az együttműködés és az inkluzivitás kultúráját. Emellett aktívan ösztönzi a munkavállalók készségfejlesztését és folyamatos tanulását, biztosítva, hogy rendelkezzenek a folyamatosan fejlődő technológiához való alkalmazkodáshoz szükséges képességekkel. Ezenkívül biztosítja a munka és a magánélet egészséges egyensúlyát. Az egyének előtérbe helyezésével az emberközpontú megközelítés javítja a munkavállalók motivációját, hatékonyságát és a szervezet általános sikerességét [21]. Ezenkívül biztosítja, hogy a vállalat rendelkezzen azokkal a képességekkel, amelyekkel alkalmazkodni tud a gyorsan fejlődő technológiához.

Az operátori szerep technológiai fejlődésének főbb szakaszait az 1. táblázat foglalja össze. Az Operátor 4.0 alap koncepciója nyolc operátor támogatási típust mutat be részletesen az emberi munkavállalóhoz társított Ipar 4.0 technológia alapján, melyet az 1. ábra szemléltet [17]. A támogatás jellege lehet fizikai, kognitív, illetve a két területet együttesen érintő. A fizikai támogatást az exoskeletonok és a kollaboratív robotok képviselik: előbbieket csökkenthetik a fizikai megterhelést, javíthatják a munkabiztonságot és lehetővé tehetik az idősebb, tapasztalt munkavállalók hosszabb ideig történő foglalkoztatását, míg a kollaboratív robotok az ismétlődő, nehéz vagy ergonómiailag kedvezőtlen műveletek átvállalásával tehermentesíthetik az operátort. A kognitív támogatás körébe tartozik a kiterjesztett és a virtuális valóság alkalmazása, amelyek a munkautasítások szemléletesebb átadását, a képzést, a döntéshozatalt és a folyamatok tervezését segíthetik. Az intelligens személyi asszisztensek természetesebb kommunikációt biztosíthatnak a gépekkel és informatikai rendszerekkel, a vállalati közösségi hálózatok pedig támogatják a tudásmegosztást, az együttműködést és a problémamegoldást. járulhatnak hozzá a jólét, a biztonság és a teljesítmény javításához.

	Operátor 1.0	Operátor 2.0	Operátor 3.0	Operátor 4.0	Operátor 5.0
Munka típusa	Kézzel elvégezhető munka	Támogatott munka	Együttműködés	Támogatott munka	Ellenálló, emberközpontú
Jellemző eszközök, módszerek	Mechanikus és kézi működtetésű szerszámgépek	Számítógépes eszközök, vállalati információs rendszerek	Együttműködés robotokkal, gépekkel és számítógépes eszközökkel	Ember-kiber-fizikai rendszerek	Intelligens rendszerek, MI támogatás, kognitív támogatás
Fő cél	Fizikai munka elvégzése	Az ember gépekkel való segítése, Informatikai támogatás	Ember-gép együttműködés, közös feladatvégzés	Az ember fizikai, szenzoros és kognitív képességeinek kiterjesztése	Az operátor mentális, fizikai, kognitív állapotára figyelés, illetve rendszer reziliencia



1. ábra: Operátor 4.0 koncepció főbb típusai [17]

3. OPERÁTOR DEFINÍCIÓJA

Tapasztalataink szerint az operátor szó köznyelvi és részben ipari értelmezése az elmúlt évtizedekben leszűkült. Az operátori munkakört számos ipari környezetben a szervezeti hierarchia alacsonyabb szintjén elhelyezkedő, csekély hozzáadott értékű és korlátozott szaktudást igénylő pozícióval azonosítják. Ez az értelmezés azonban nem fedi le például a folyamatirányító, SCADA-, robotikai vagy automatizálási rendszereket felügyelő operátorok összetett feladatait és felelősségét. A fejezet célja ezért az operátor fogalmának áttekintése és egy, a 21. századi ipari környezet sajátosságait figyelembe vevő definíció kialakítása. Ennek a fogalomnak az újra értelmezése azért fontos, mivel egyrészt jelenleg nem érhető el egységes definíció, másrészt az automatizálás és a digitalizáció előretörésével a klasszikus „bio-robot” (azaz, monoton, könnyen betanulható és gyakorlatilag tudást nem igénylő fizikai mozdulatok) jellegű munkák fokozatosan háttérbe szorulnak. Ezeket egyre inkább gépek és algoritmusok veszik át. Ezzel párhuzamosan a hosszú távon is fennmaradó munkakörök közös jellemzője, hogy magasabb szintű kompetenciát, döntéshozatalt és problémamegoldást igényelnek.

Az „operátor” fogalma a 19. század végén jelent meg, először a távközlésben és a gépkezelésben. Az iparosodás

és a technológiai fejlődés azonban gyorsan kiterjesztette ezt a szerepkört számos területre: nehézgépkezelők, ipari gép- és üzemi operátorok, raktári és logisztikai operátorok, valamint az informatikai és hálózati rendszerek felügyeletét ellátó szakemberek mind ebbe a körbe tartoznak. Közös vonásuk, hogy feladatuk mindig valamely rendszer, berendezés vagy folyamat működtetése, felügyelete és hatékony működésének biztosítása. A 20. században az operátor szerepe jellemzően fizikai és ismétlődő tevékenységekre épült. A mai modern iparban a gépkezelő, folyamatirányító, robotikai, logisztikai és irányítótermi operátorok már nem pusztán végrehajtók. Feladataik között megjelent a digitális rendszerek használata, az eltérések felismerése és az első szintű hibakezelés, valamint a termelési folyamatok optimalizálásában való aktív részvétel [23]. A növekvő felelősségi körökkel együtt jár, hogy az operátor meghatározott hatáskörben hozott döntései jelentős hatással lehetnek a termelés minőségére, biztonságára és fenntarthatóságára.

Mindez új eszközöket is igényel [22], így például döntéstámogató rendszerek, valós idejű adatelemzés, virtuális/kiterjesztett valóság (VR/AR) és viselhető technológiák segítik az operátorokat, hogy komplex környezetben is hatékonyan és biztonságosan dolgozhassanak.

3.1. A definíció kialakításának logikája

A javasolt definíció kialakításakor négy egymásra épülő szempontot vettünk figyelembe. Elsőként az eltérő alkalmazási területeken működő operátorok közös funkcióit azonosítottuk. A szempontokat a szakirodalomban megjelenő operátordefiníciók, valamint a 2. táblázatban összefoglalt reprezentatív operátori szerepek funkcióinak összevetésével határoztuk meg. Ezt követően a vizsgálatot az ipari termelésben közvetlenül részt vevő operátorokra szűkítettük. A definícióba beépítettük az Ipar 5.0 emberközpontúsági, fenntarthatósági és reziliencia/ellenállóképesség elvárásait, végül pedig meghatároztuk az operátor helyét a digitalizált és automatizált termelési rendszer döntési és szabályozási folyamataiban.

Az eltérő operátori munkakörök összehasonlítása alapján az operátor fogalmának közös magját nem egy meghatározott gép, technológia vagy iparág adja. A visszatérő elem az, hogy az operátor kapcsolatban áll egy működő rendszerrel vagy folyamattal: megfigyeli és értelmezi annak állapotát, végrehajtja vagy felügyeli a szükséges műveleteket, felismeri az eltéréseket, és meghatározott felelősségi körén belül beavatkozik a rendszer működésébe, vagy az illetékes szakértői szintre továbbítja a problémát.

3.2. Operátori szerepkörök összehasonlítása

Az operátor megnevezés nem egyetlen foglalkozást, hanem egymással rokon szerepek csoportját jelöli. Az egyes operátortípusok eltérhetnek az alkalmazási terület, a kezelt rendszer, a technológiai környezet és a felelősség kiterjedése alapján, miközben közös jellemzőjük valamely rendszer vagy folyamat működtetése, megfigyelése, felügyelete vagy szabályozása. A 2. táblázat reprezentatív példákon keresztül mutatja be az operátori szerepek közös és eltérő jellemzőit.

3.3. Operátori szerepkörök összehasonlítása

Az összehasonlítás alapján elkülöníthető az operátori szerep általános funkcionális magja, valamint annak ipari környezetben megjelenő sajátos formája. Ennek megfelelően először az általános operátorfogalmat, majd annak a 21. századi ipari környezetre szűkített változatát határozzuk meg.

Az operátor olyan emberi szereplő, aki egy meghatározott rendszer vagy folyamat működésében közvetlenül részt vesz: annak állapotát megfigyeli és értelmezi, a szükséges műveleteket végrehajtja vagy felügyeli, valamint meghatározott felelősségi körén belül reagál a működés során fellépő eltérésekre.

Az általános operátorfogalmon belül az ipari operátort a termelési rendszerhez vagy az azt közvetlenül támogató folyamatokhoz való kapcsolata különbözteti meg. Tevékenysége nem feltétlenül egyetlen gép fizikai kezelésére irányul: gyártási folyamatok, automatizált cellák, logisztikai rendszerek, robotok, digitális termelésirányítási megoldások vagy irányító termi rendszerek működtetését és felügyeletét is magában foglalhatja.

3.4. A 21. századi operátor definíciója

A 21. századi ipari operátor olyan, szocio-technikai termelési rendszerbe ágyazott emberi szereplő, aki gépekkel, digitális rendszerekkel, automatizált technológiákkal, mesterséges intelligenciával támogatott eszközökkel, valamint műszaki és szervezeti támogató szereplőkkel együttműködve hajtja végre és felügyeli a termelési tevékenységeket, továbbá megfigyeli és értelmezi a rendszer állapotát. Meghatározott felelősségi körén belül beavatkozik a rendszer működésébe, vagy szükség esetén az illetékes szakértői szintre továbbítja a problémát. Tevékenységével hozzájárul a termelés hatékonyságához, biztonságához és minőségéhez, valamint a fenntartható, reziliens és emberközpontú működéshez.

A meghatározás alkalmazható például az ipari gépkezelőre, aki egy berendezés állapotát figyeli és annak működésébe helyi szinten avatkozik be; az irányító termi operátorra, aki több folyamatjel együttes értelmezése alapján felügyeli a rendszert; valamint a robotikai operátorra, aki automatizált berendezések és digitális interfészek együttműködését ellenőrzi. A konkrét feladatok eltérnek, de mindhárom szerepben megjelenik a rendszerállapot megfigyelése, a meghatározott hatáskörű beavatkozás és az eskaláció.

A meghatározásban az operátor kifejezetten emberi szereplő. Az automatizált vezérlők, algoritmusok és MI-alapú rendszerek érzékelhetnek, előre jelezhetnek vagy döntési javaslatokat adhatnak, de ebben az értelmezésben nem tekinthetők operátornak. Az operátor ugyanakkor nem korlátlan döntéshozó, és nem helyettesíti a technikusokat, mérnököket vagy vezetőket. Önállóan olyan, előre meghatározott és igazolt kompetenciájába tartozó helyi beavatkozásokat végezhet, amelyek felelősségi és kockázati határai egyértelműek; az ezeket meghaladó helyzeteket az illetékes szakértői szintre kell továbbítani.

A javasolt definíció alapján a 21. századi operátor nem egyszerű gépkezelő vagy végrehajtó, hanem a termelési rendszer felelős emberi szereplője. Értékét nemcsak a fizikai műveletek elvégzése, hanem a helyzetértelmezés, a tapasztalati tudás, a problémák felismerése, a megfelelő beavatkozás és az ember–technológia együttműködésben betöltött szerepe adja.

A javasolt meghatározás fogalmi szintézis eredménye, amelyet reprezentatív operátori szerepek összehasonlítása alapján alakítottunk ki. A definíció iparágakon és automatizáltsági szinteken átívelő empirikus, illetve szakértői validációja további kutatást igényel.

2. táblázat Operátori szerepek és alkalmazási területeik összehasonlítása

Operátor típusa	Elsődleges terület	Kulcsfeladat	Működési szint
Ipari gépkezelő operátor	Ipari gyártás	Gépek működtetése a termelésben	Feladatszint
Üzemi operátor	Közművek / Termesztés	Teljes ipari folyamatot felügyeli	Rendszerszint
Raktári operátor	Logisztika / Raktározás	Anyagok és áruk mozgatása, tárolása (pl. targoncával)	Feladat- vagy folyamatszint
Lean gyártási operátor	Lean gyártás	Feladatok végrehajtása, veszteségcsökkentés, többfunkciós szerepek	Folyamatszint
Távközlési operátor	Digitális kommunikáció	Adatátviteli és kommunikációs rendszerek működtetése és felügyelete.	Rendszer/Hálózati szint
Számítógép- / Hálózatfelügyeleti operátor	Informatika & Hálózat	Számítógépes rendszerek és hálózatok felügyelete	Rendszerszint
Irányítóközponti operátor	Folyamatirányítás	Automatizált rendszerek (pl. SCADA) kezelése	Központosított/rendszerszint
Robotikai és automatizálási operátor	Ipari automatizálás	Robotok felügyelete, programozása	Feladat-/Rendszerszint
Folyamatoperátor	Vegyipar/Energia	Folyamatos ipari folyamatok felügyelete és szabályozása	Folyamatszint

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja az operátor fogalmának újraértelmezése volt a digitalizált, automatizált és egyre inkább emberközpontú ipari környezetben. A különböző operátori szerepkörök összehasonlítása alapján megállapítható, hogy az operátori tevékenység közös funkcionális magját nem egy meghatározott gép, technológia vagy iparág adja, hanem a működő rendszerhez vagy folyamathoz való közvetlen kapcsolódás. Az operátor megfigyeli és értelmezi a rendszer állapotát, végrehajtja vagy felügyeli a szükséges műveleteket, felismeri az eltéréseket, valamint meghatározott felelősségi körén belül beavatkozik, vagy az illetékes szakértői szintre továbbítja a problémát.

A javasolt definíció a 21. századi ipari operátort szocio-technikai termelési rendszerbe ágyazott emberi szereplőként értelmezi, aki gépekkel, digitális rendszerekkel, automatizált technológiákkal, MI-alapú eszközökkel, valamint műszaki és szervezeti támogató szereplőkkel együttműködve vesz részt a termelési tevékenységek végrehajtásában és felügyeletében. A meghatározás hangsúlyozza, hogy az operátor nem egyszerű végrehajtó, ugyanakkor nem is korlátlan döntéshozó vagy a technikus, mérnöki és vezetői szerepek helyettesítője. Tevékenységét világosan kijelölt döntési, beavatkozási és eskalációs határok között végzi, és hozzájárul a hatékony, biztonságos, minőségi, fenntartható, reziliens és emberközpontú működéshez. A definíció alapot biztosíthat a munkaköri leírások, kompetenciamodellek, operátortámogató technológiák és ember-technológia felelősségi struktúrák következetesebb kialakításához. A javasolt meghatározás további, különböző iparágakra és automatizáltsági szintekre kiterjedő szakértői és empirikus validációt igényel.

SUMMARY

The aim of this study was to reinterpret the concept of the operator in a digitalized, automated, and increasingly human-centric industrial environment. The comparison of different operator roles shows that the common functional core of operator work is not defined by a specific machine, technology, or industrial sector, but by the operator's direct relationship with an operational system or process. The operator observes and interprets the state of the system, executes or supervises the required activities, recognizes deviations, and either intervenes within a defined area of responsibility or escalates the problem to the appropriate expert level.

The proposed definition conceptualizes the twenty-first-century industrial operator as a human actor embedded in a socio-technical production system who participates in the execution and supervision of production activities in collaboration with machines, digital systems, automated technologies, AI-based tools, and technical and organizational support functions. The definition emphasizes that the operator is neither a simple task executor nor an unrestricted decision-maker or a substitute for technicians, engineers, and managers. Instead, the operator acts within clearly defined decision-making, intervention, and escalation boundaries and contributes to efficient, safe, high-quality, sustainable, resilient, and human-centric operations. The proposed definition may provide a basis for the more consistent design of job descriptions, competence models, operator-support technologies, and human-technology responsibility structures. Further expert and empirical validation across different industries and levels of automation is required.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

This work has been funded by the NKKP STARTING 152670 project with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development, and Innovation Fund, financed under the NKKP Starting 25 funding scheme.

Project no. 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00312 has been implemented with the support provided by the Ministry of Innovation and Technology of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the PIACI KFI funding scheme.

6. IRODALOM

- [1] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL: A bruttó hozzáadott érték és megoszlása nemzetgazdasági áganként, STADAT 21.1.1.6., 2024.
- [2] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL: A GDP termelésében foglalkoztatottak száma – ESA2010, STADAT 21.1.1.50., 2024.
- [3] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL: A 15–64 évesek foglalkoztatási rátájának alakulása, STADAT 20.2.1.8., Budapest, KSH, 2026.
- [4] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL: A munkanélküliségi ráta alakulása, STADAT 20.2.1.10., Budapest, KSH, 2026.
- [5] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL: *Reáljövedelem – reálbérindex*, STADAT 21.1.1.35., Budapest, KSH, 2026.
- [6] Dimény, I., & Koltai, T. (2022). Minimising workers' workload in partially automated assembly lines with human-robot collaboration. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1734-1739.
- [7] Bottner, N., Schlickenrieder, K., & Ollinger, L. (2025). Bridging the automation gap in assembly: a comprehensive model for potential assessment and implementation. *Procedia CIRP*, 134, 235-240.
- [8] Mark, B. G., Rauch, E., & Matt, D. T. (2021). Worker assistance systems in manufacturing: A review of the state of the art and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 228-250.
- [9] Lu, Y., Zheng, H., Chand, S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X., ... & Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of manufacturing systems*, 62, 612-627.
- [10] Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry* (No. KI-BD-20-021-EN-N). Directorate General for Research and Innovation (DG RTD) of the European Commission.
- [11] Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2024 - <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-10-16-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2024>
- [12] Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2025 <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-10-21-gartner-identifies-the-top-10-strategic-technology-trends-for-2025>
- [13] Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekur, M., Heilala, J., ... & Walter, T. (2020). Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105678.
- [14] Lu, Y., Zheng, H., Chand, S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X., ... & Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of manufacturing systems*, 62, 612-627.
- [15] Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- [16] BREQUE, M., DE NUL, L., PETRIDIS, A.: Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021. ISBN 978-92-76-25308-2, <https://doi.org/10.2777/308407>
- [17] Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., Noran, O., Bernus, P., Fast-Berglund, Å., & Gorecky, D. (2016, October). Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies. In *proceedings of the international conference on computers and industrial engineering (CIE46)*, Tianjin, China (pp. 29-31).
- [18] Cimini, C., Lagorio, A., Romero, D., Cavalieri, S., & Stahre, J. (2020). Smart logistics and the logistics operator 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 10615-10620.
- [19] Thorvald, P., Fast Berglund, Å., & Romero, D. (2021). The cognitive operator 4.0. In *18th International Conference on Manufacturing Research, ICMR 2021, Incorporating the 35th National Conference on Manufacturing Research, 7–10 September 2021, University of Derby, Derby, UK* (Vol. 15, pp. 3-8). IOS Press.
- [20] Wang, L., Gao, R. X., Krüger, J., & Váncza, J. (2025). Human-centric assembly in smart factories. *CIRP annals*, 74(2), 789-815.
- [21] Yanytska, L. (2025). The rise of human-centric manufacturing in the industry 5.0 era. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 139(9), 5067-5077.
- [22] Ruppert, T., Jaskó, S., Holczinger, T., & Abonyi, J. (2018). Enabling technologies for operator 4.0: A survey. *Applied sciences*, 8(9), 1650.
- [23] Peruzzini, M., Grandi, F., & Pellicciari, M. (2020). Exploring the potential of Operator 4.0 interface and monitoring. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105600.