

**RISKS RELATED TO HUMAN
RESOURCES MANAGEMENT
IN THE AUTOMOTIVE
INDUSTRY****A HUMÁN ERŐFORRÁS VÁLLALATI
MŰKÖDÉSSEL ÖSSZEFÜGGÉSBE
HOZHATÓ KOCKÁZATAI
AZ AUTÓIPARBAN**TÓTH Georgina Nóra¹ – DRÉGELYI-KISS Ágota²**Abstract**

Over the past decade, the automotive industry has undergone such rapid and profound technological transformation that it has fundamentally reshaped the nature of human resource risks. The emergence of Industry 4.0 and Industry 5.0 has brought about the digitization and automation of manufacturing processes, giving rise to new competency requirements. Alongside increasing technological complexity, the roles of lifelong learning, flexibility, and resilience have also become increasingly prominent. The risk impact of human factors is linked not only to professional preparedness but also to challenges related to organizational operations, psychosocial stress, and technological transition. The aim of this article is to systematically explore these risks and identify the competency gaps that cause operational uncertainty in the modern automotive industry, while also highlighting the role of higher education in this context.

Keywords

automotive digitalization, human resources risks, skills gaps, engineering education, Industry 4.0/5.0, STEM

Absztrakt

Az autóipar az elmúlt évtizedben olyan gyors és mélyreható technológiai átalakuláson ment keresztül, amely alapvetően formálta át a humánerőforrás-kockázatok jellegét. Az Ipar 4.0 és az Ipar 5.0 megjelenése a gyártási folyamatok digitalizációját, automatizációját hozta magával, amellyel új kompetenciakövetelmények jelentek meg. A technológiai komplexitás növekedése mellett egyre hangsúlyosabbá vált az élethosszig tartó tanulás, a rugalmasság és a reziliencia szerepe is. A humán tényezők kockázati hatása nem csupán a szakmai felkészültséghez, hanem a szervezeti működéshez, a pszichoszociális terheléshez és a technológiai átmenethez kapcsolódó kihívásokhoz is kötődik. A cikk célja ezen kockázatok rendszerszintű feltárása, valamint azoknak a kompetenciahiányoknak az azonosítása, amelyek a modern autóipari környezetben működési bizonytalanságot okoznak, figyelmet fordítva a felsőoktatás szerepére is a témában.

Kulcsszavak

autóipari digitalizáció, humánerőforrás kockázatok, kompetenciahiány, mérnök-képzés, Ipar 4.0/5.0, STEM

¹ toth.georgina@bgk.uni-obuda.hu | ORCID: 0009-0007-7451-9322 | assistant lecturer, Óbuda University | egyetemi tanársegéd, Óbudai Egyetem

² dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-1622-0820 | associate professor, Óbuda University | egyetemi docens, Óbudai Egyetem

BEVEZETÉS

Az autóipar az elmúlt évtizedben olyan mélyreható technológiai és szervezeti átalakuláson ment keresztül, amely alapjaiban formálja át a humánerőforrás-kockázatok természetét. A változás elsődleges mozgatórugói az Ipar 4.0 és az Ipar 5.0 megjelenése, amelyek nem csupán technológiai innovációt, hanem új kompetencia és szaktudással összefüggő követelményeket jelentenek, továbbá hangsúlyosan megjelenik az élethosszig tartó tanulás fontossága, valamint elvárás fogalmazódott meg a rugalmassággal, rezilienciával kapcsolatban is.

Az Ipar 4.0 a gyártási folyamatok teljes digitalizációját és automatizációját hozta magával, olyan technológiákra építve, mint a kiber-fizikai rendszerek, a mesterséges intelligencia, a big data, a felhőalapú infrastruktúrák és az IoT. Az Ipar 4.0 bevezetése jelentős kompetenciaváltást eredményezett. A vállalatoknak egyszerre van szükségük fejlett technikai tudásra (adat- és rendszerelemzés, robotika, AI-alkalmazások) és olyan, nem elsősorban technikai készségekre, mint a kreativitás, a csapatmunkára való alkalmasság és a komplex problémamegoldó képesség [1].

A 2024 után megjelenő Ipar 5.0 koncepció tovább mélyítette ezt az átalakulást, mivel a technológiai innovációt az emberközpontú, fenntartható és rugalmas működéssel kapcsolja össze. Az Ipar 5.0 célja nem a további automatizáció illetve annak maximalizálása, hanem az ember szerepének tisztázása, és a technológiával való összehangba hozása. A vállalatoknak olyan munkaerőre van szükségük, amely képes együttműködni a mesterséges intelligenciával, ugyanakkor rendelkezik magas szintű kommunikációs, kreatív és együttműködési készségekkel illetve rendszerszemlélettel, amelyek lehetővé teszik, hogy az ember legyen a döntéshozó szerepben, felhasználva a rendelkezésre álló legjobb információkat [2]. A paradigmaváltás egyik legfontosabb következménye a készséghiány felerősödése. Ez szükségessé teszi a technológiai és humán kompetenciák összehangolását és újfajta képzési stratégiák alkalmazását, amelyek lehetővé teszik új készségek elsajátítását vagy meglévők fejlesztését [3].

A vállalatok és a felsőoktatás számára ez azt jelenti, hogy a képzési kialakítása során figyelembe kell venniük, hogy a kompetenciafejlesztés nem választható el a szakmai tudás átadásától, valamint a tanulási motiváció és tudatosság növelésétől. [4]

Az ipari ágazatokban a humán erőforrás nemcsak költségtenyezőként jelenik meg, hanem kritikus kockázati forrásként is. A kutatások az emberi kockázatokat egyre inkább a termelési, technológiai és szervezeti kockázatokkal összefonódó tényezőként írják le. [5], [6], [7], [8]. A technológia összetettségének növekedésével a humán tényezők kockázati hatása exponenciálisan nő [9]. A mérnöki tudással kapcsolatos problémák és az utánpótlás hiánya rendszerszintű kockázatot jelent az iparban [10].

KOMPETENCIÁK SZEREPE A MUNKAERŐPIACON AZ AUTÓIPAR TERÜLETÉN

A kompetenciák szerepe a munkaerőpiacon az elmúlt évtizedben radikálisan felértékelődött. A gyors technológiai változások, a digitalizáció, a robotok egyre elterjedtebb alkalmazása, valamint a globális gazdasági bizonytalanságok egyaránt hozzájárultak ahhoz, hogy a munkáltatók a versenyszférában egyre komplexebb kompetenciaprofilokat várnak el. A magyarországi empirikus kutatások [11],[12] egyértelműen rámutatnak arra, hogy a

kompetenciák fejlesztése, mérése, és összehangolása a munkaerőpiaci igényekkel kritikus tényezővé vált. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a felsőoktatás továbbra is túlságosan ismeretközpontú, miközben a munkaerőpiac egyre inkább készségekre és attitűdökre épülő kompetenciákat vár el a pályakezdőktől.

A LinkedIn 'Future of Skills' és Most In-Demand Skills 2024-2025 jelentései, valamint Li [1] szerint, és az autóipari álláshirdetések alapján, a legkeresettebb kompetenciák közé tartozik a komplex problémamegoldás, a kritikus gondolkodás, a hatékony kommunikáció, a csapatmunka, az alkalmazkodóképesség, a reziliencia, a vezetői készségek és a kulturális intelligencia, különösen a multinacionális vállalatok esetében. Ezek a készségek ma már legalább olyan fontosak, mint a szakmai tudás, hiányuk komoly versenyképességi kockázatot jelent a műszaki és különösen az autóipari szektorban [12].

AZ AUTÓIPARI HUMÁNERŐFORRÁS-KOCKÁZATOK RENDSZERE

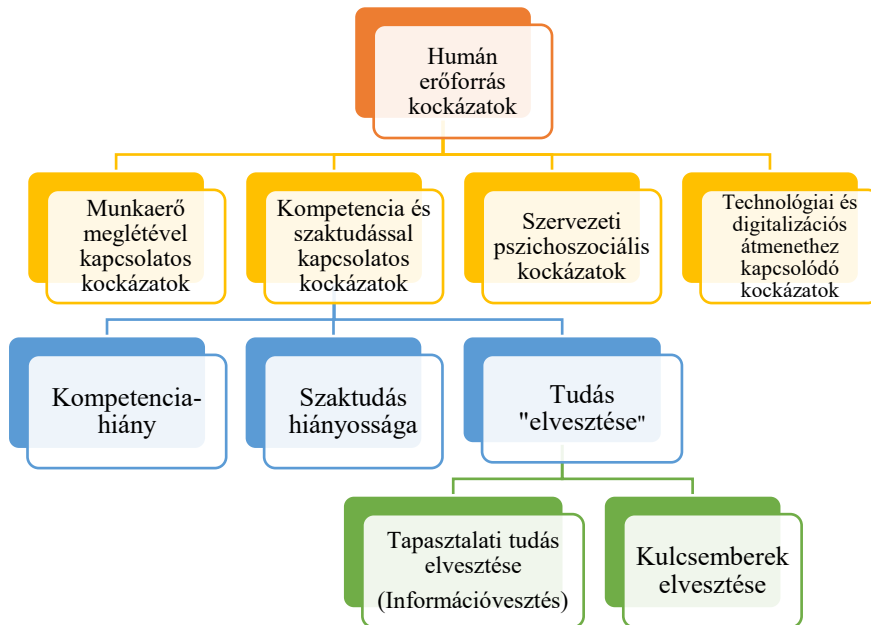
A kockázat definíciója az ISO 31073: 2019-es Kockázatmenedzsment terminológiai szabvány alapján a bizonytalanság hatása a célokra. A kockázatfelmérés -kezelés folyamata során több kockázati kategóriát is vizsgálhatunk. [13] A humán erőforrással összefüggő kockázatok, amelyeket vizsgálók a nehezebben számszerűsíthető kockázatok közé tartoznak, ráadásul kezelésük sem olyan egyszerű.

Az autóiparban működő vállalatoknak számos kihívással kellett megküzdeniük az elmúlt évtizedben. A COVID mellett, olyan technológiai, szervezeti és munkaerőpiaci változások történtek, amelyek a humán erőforrással összefüggő kockázatok a vállalati működés egyik legkritikusabb tényezőjévé tették. A humán erőforrással összefüggésben megjelenő kockázatok ma már nem elszigetelt problémák, hanem komplex, egymással összefüggő kockázati hálózatot alkotnak, amely közvetlen hatással van a termelékenységre, a minőségre, a biztonságra és a vállalati működésére és ellenálló képességére. A kockázatok rendszerszintű megértése különösen fontos az autóiparban, ahol a gyártási folyamatok magas fokú automatizáltsága és a beszállítói láncok sérülékenysége miatt az emberi tényező hibái gyorsan láncreakciót indíthatnak el [17]. Különböző kockázati csoportok hozhatóak létre, amelyek összefüggésbe hozhatók a humán erőforrással [15].

A korábbi tanulmányok [10],[14],[16],[17] alapján az autóipari humán erőforrás-kockázatok négy fő csoportba rendezhetők (1. ábra):

- munkaerő hiányából és fluktuációjából eredő kockázatok,
- kompetencia- és tudáshiányból eredő kockázatok,
- szervezeti és pszichoszociális kockázatok,
- technológiai és digitalizációs átmenethez kapcsolódó kockázatok.

A hierarchikus struktúrában szemléltetett kockázati csoportokat a továbbiakban részletesen kifejtem.



1. ábra: Humán erőforrás kockázatok elemzése

Munkaerő meglétével kapcsolatos kockázatok

Az autóiparban a munkaerőhiány és a fluktuáció az egyik leggyakrabban azonosított kockázati tényező. A 2020 utáni időszakban a globális ellátási láncok sérülékenysége, a járványhelyzet, illetve a geopolitikai konfliktusok tovább növelték a munkaerőpiaci bizonytalanságot. A magyar és nemzetközi kutatások szerint a fluktuáció elsősorban a betanított operátorok, karbantartók és technikusok körében jelentős, ugyanakkor a mérnökök állomány esetében is problémaként jelentkezik, ami közvetlenül növeli a hibázási arányt és a termelési leállások kockázatát [10],[16],[18].

A munkaerővel kapcsolatos további kritikus probléma az elöregedő dolgozói állomány, amely az autóiparban karbantartási és gépkezelői területeket érinti leginkább. A tapasztalt munkavállalók nyugdíjba vonulása tudásvesztést okoz, amelyet a vállalatok gyakran nem tudnak időben pótolni [14],[16].

Kompetencia- és szaktudással kapcsolatos kockázatok

A kompetencia- és tudáshiány az autóipar egyik legkritikusabb működési kockázati tényezőjévé vált [9],[10]. A gyártási rendszerek növekvő komplexitása, az Ipar 4.0 technológiák gyors terjedése és az ellátási láncok sérülékenysége olyan környezetet teremtett, amelyben a humán erőforrás szakmai felkészültsége közvetlenül befolyásolja a termelékenységet, a minőséget és a vállalati rezilienciát. A digitális és automatizálási kompetenciák hiánya, a mechatronikai és karbantartási tudás elégtelensége, az analitikai készségek gyengesége, valamint a rendszerszintű gondolkodás hiánya mind olyan tényezők, amelyek növelik a hibázási arányt, a termelési leállások valószínűségét és a működési zavarok láncreakció szerű kockázatát [9],[19],[20]. Emellett az elöregedő dolgozói állományból fakadó tudásvesztés és az utánpótlás hiánya tovább erősíti a kompetenciadeficit rendszerszintű jellegét, amelyet az autóipari vállalatok egyre súlyosabb stratégiai kockázatként azonosítanak

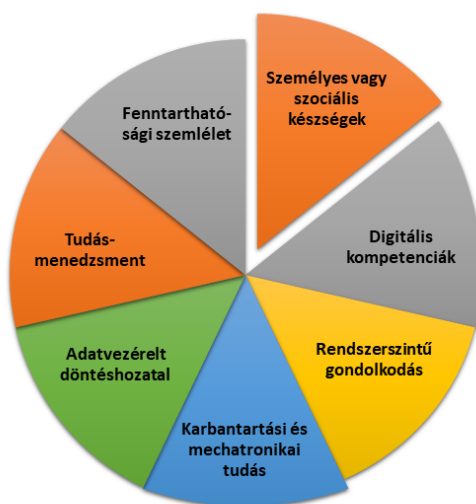
[2]. Így elmondható, hogy a munkaerő meglétével kapcsolatos kockázatok csoportja és a kompetencia- és szaktudással kapcsolatos kockázatok csoportja egymás hatását sajnos fel erősítik.

A mérnökképzés legkritikusabb hiányterületei olyan kompetenciákhoz kapcsolódnak, amelyek a modern autóiipari gyártási rendszerek működéséhez elengedhetetlenek. A digitális és automatizálási készségek, az Ipar 4.0-hoz kapcsolódó technológiai ismeretek, valamint a rendszerszintű gondolkodás hiánya közvetlenül növeli a hibázási arányt és a működési zavarok kockázatát [8], [9]. A mechatronikai és karbantartási tudás hiányosságai különösen kritikusak a robotizált és kiber-fizikai rendszerekkel működő autóiipari környezetben, ahol a dolgozóknak képesnek kell lenniük komplex rendszerek diagnosztizálására és beavatkozására [6],[10].

Emellett az adatvezérelt döntéshozatalhoz szükséges analitikai és statisztikai készségek fejlesztése továbbra is indokolt a mérnökképzésben, jóllehet a digitalizált gyártási környezetben ezek a kompetenciák alapvetőek a prediktív karbantartás, a folyamatoptimalizálás és a minőségbiztosítás szempontjából [10], [19]. A soft skillek (személyes vagy szociális készségek), különösen a kommunikáció, az együttműködés, a döntéshozatal és a vezetői készségek hiánya szintén jelentős kockázati tényező, mivel a csoportokban való hatékony működés a modern autóiipari vállalatok egyik alapfeltétele a munkaerővel szemben [12], [24].

A tudásmenedzsment és a fenntarthatósági szemlélet hiányosságai tovább erősítik a kompetenciadeficitet. A tapasztalati tudás elvesztése, a nem megfelelő dokumentáció és a fenntartható technológiák ismeretének hiánya hosszú távon csökkenti a vállalatok rezilienciáját és innovációs képességét [16].

A fenti hiányterületek szemléltetése a 2. ábrán látható. Mivel a felsőoktatás biztosítja elsősorban a mérnökök utánpótlását, az ottani képzési színvonal és technológiai felkészültség korai jelzésértékkel bír a munkaerőpiacon várható HR-kockázatokra [16].



2. ábra: A leggyakrabban azonosított hiányterületek (saját szerk.)

Szervezeti és pszichoszociális kockázatok

A pszichoszociális kockázatok az autóiparban különösen erősek a nagyfokú monotonia, a több műszakos munkarend, a teljesítménykényszer és a folyamatos minőségi elvárások miatt. A stressz, a kiegész és a motivációvesztés közvetlenül növeli a hibázási arányt, ami a termelési folyamatokban jelentős kockázatot jelent [20].

A 2021 - 2025 közötti vizsgálatok alapján a pszichoszociális kockázatok három fő területen jelennek meg:

- fizikai és mentális terhelés,
- munkakörnyezet és vezetői stílus,
- elégtelen kommunikáció és visszacsatolás.

A szervezeti kultúra hiányosságai, mint például a hibák elhallgatása vagy a nem megfelelő tudásmegosztás, tovább növelik a kockázatot. [17],[21]

Technológiai és digitalizációs átmenethez kapcsolódó kockázatok

Az autóipar digitalizációja új típusú humán kockázatokat hozott létre. A robotizált gyártósorok, a cobotok, az IoT-alapú rendszerek és az elektromos hajtásláncok kezelése olyan tudást igényel, amelyet a munkaerő jelentős része még nem sajátított el. A technológiai átmenet kockázatai közé tartozik:

- a hibás rendszerhasználat,
- a nem megfelelő robotkezelés,
- az adatértelmezési hibák,
- a kiberbiztonsági incidensek emberi eredetű komponensei.

A 2024-es magyar kutatás szerint a technológiai átmenet során a legnagyobb kockázatot az jelenti, hogy a dolgozók nem értik a rendszer működését, ezért hibás döntéseket hoznak vagy nem megfelelően reagálnak rendellenességekre [18].

A humán erőforrás-kockázatok rendszerszintű összefüggései

A fenti kockázati csoportok nem különálló jelenségek, hanem egymást erősítő tényezők. A fluktuáció például növeli a kompetenciahiányt a szervezeten belül, ami növeli a hibázási arányt, ami növeli a pszichoszociális terhelést, ami tovább növeli a fluktuációt. A szakirodalom ezt kockázati spirálnak nevezi, amely öngerjesztő jellegű [5], [21],[22].

A rendszerszintű megközelítés alapján a humán erőforrás-kockázatok három fő gyökérokra vezethetők vissza:

- képzési és utánpótlási hiányosságokra,
- szervezeti működésből eredő problémákra,
- technológiai fejlődéshez való alkalmazkodási késésre.

Ezek a gyökérok együttesen határozzák meg az autóipari vállalatok biztonsági és működési kockázatait [23].

A gyökérok közül az első, a képzési és utánpótlási hiányosságok meglátásunk szerint nem elszigetelt HR-problémák, hanem olyan stratégiai kockázati tényezők, amelyek a vállalat teljes működésére hatnak. Tehát a szaktudás és kompetencia hiány a teljes vállalati működésre hatással van. A kompetenciahiány akadályozza a technológiai beruházások megtérülését, lassítja a digitalizációs átmenetet, és növeli a szervezeti sérülékenységet. A

rendszer szintű megközelítés alapján a képzési hiányosságok a humán erőforrás-kockázatok egyik legfontosabb gyökérokát jelentik, amelyek megszüntetése az oktatás területén kezdhető el.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

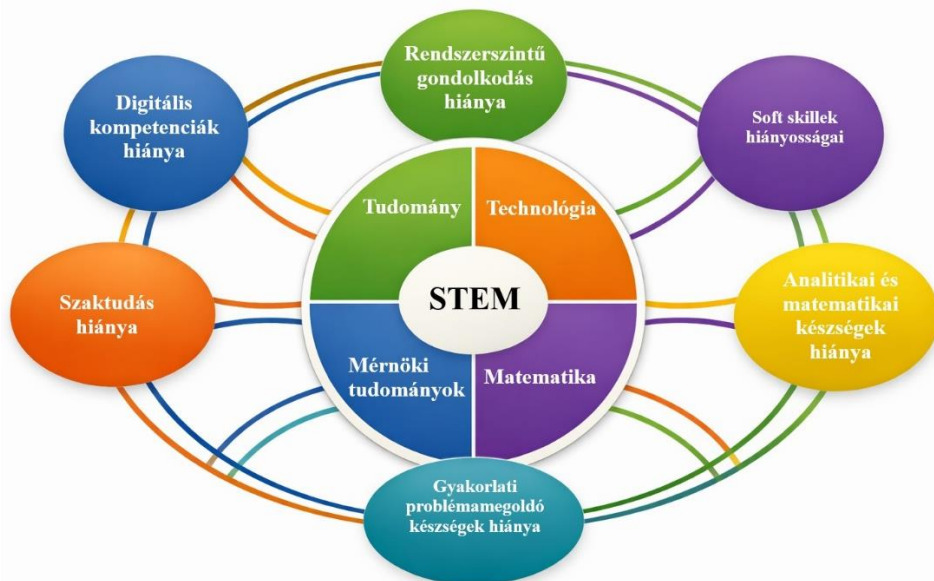
Az elemzés eredményei arra engednek következtetni, hogy az autóiparban megjelenő humán erőforrás-kockázatok szorosan összefüggenek a technológiai fejlődés ütemével és a munkavállalók felkészültségével. Az Ipar 4.0 és Ipar 5.0 technológiák terjedése olyan új kompetenciákat igényel, amelyek a jelenlegi munkaerő jelentős részénél hiányosan vannak jelen. A robotizált gyártósorok, a cobotok, az IoT-alapú rendszerek és az elektromos hajtásláncok kezelése komplex tudást és rendszer szintű megértést feltételez, amelynek hiánya növeli a hibázási arányt és a működési zavarok kockázatát. A kutatás rámutatott arra is, hogy a pszichoszociális terhelés, a vezetői stílus és a kommunikációs hiányosságok tovább erősítik ezeket a kockázatokat, és hozzájárulnak a fluktuáció növekedéséhez.

A humán erőforrás-kockázatok négy fő csoportja, a munkaerőhiány, kompetencia- és tudáshiány, a pszichoszociális tényezők, valamint a technológiai átmenetből fakadó kockázatok, egymást erősítő módon jelennek meg. A fluktuáció növeli a kompetenciadeficitet, a kompetenciadeficit és a pszichoszociális terhelés növeli a hibázási arányt, amely öngerjesztő folyamat. Ez a spirál hosszú távon gyengíti a vállalatok működési stabilitását és rezilienciáját. A felsőoktatás szerepe ebben a folyamatban meghatározó, mivel a mérnökképzés jelenlegi struktúrája nem minden esetben képes lépést tartani az ipar technológiai igényeivel. A STEM-szemlélet hiánya, különösen a rendszer szintű gondolkodás, az analitikai készségek és a gyakorlati problémamegoldás területén, közvetlenül hozzájárulnak a kompetenciahiány fennmaradásához.

A STEM-szemlélet (Science – Technology – Engineering – Mathematics) olyan integrált megközelítést képvisel, amely éppen azokat a kompetenciákat helyezi előtérbe, amelyek a mérnökképzésben és az autóipari gyakorlatban hiányterületként jelennek meg (3. ábra). A STEM egyik alapelve a rendszer szintű gondolkodás és a komplex problémamegoldás fejlesztése, amely a modern autóipari gyártási rendszerekben elengedhetetlen. A kutatások szerint a mérnökhallgatók gyakran nem rendelkeznek megfelelő képességekkel a többváltozós, összetett rendszerek értelmezésére, ami a STEM-alapú oktatás hiányosságaira vezethető vissza [12][24]. A STEM-szemlélet ugyanakkor olyan interdiszciplináris megközelítést támogat, amely a mechanika, elektronika, informatika és adatvezérelt technológiák integrációját hangsúlyozza, ez pedig pontosan az a terület, ahol a mérnökképzésben a legnagyobb kompetenciadeficit mutatkozik [9],[20],[24].

A STEM-oktatás másik kulcseleme a matematikai-analitikai gondolkodás fejlesztése, amely a modern autóipari környezetben az adatvezérelt döntéshozatal alapját képezi. A gyártási folyamatok digitalizációja és a prediktív karbantartási rendszerek elterjedése miatt a mérnököknek képesnek kell lenniük nagy mennyiségű adat értelmezésére, statisztikai elemzésére és modellezésére. A mérnökképzésben az analitikai készségek fejlesztése továbbra sem kiemelt fontosságú terület, ami közvetlenül hozzájárul a kompetenciahiányhoz [19]. A STEM-szemlélet ezen a területen is releváns, mivel a matematikai és tudományos alapok megerősítése csökkentheti a hibázási arányt és javíthatja a mérnökök döntéshozatali képességeit. [10]

A STEM-alapú oktatás hangsúlyozza a gyakorlati, projektalapú tanulást és a kísérletező problémamegoldást, amelyek a mérnökképzésben továbbra is hiányterületnek számítanak. [24] A gyakorlati készségek fejlesztése különösen fontos az autópárhban, ahol a mérnököknek valós gyártási környezetben kell komplex technológiai rendszereket kezelniük. A kutatások szerint a STEM-szemléletű, gyakorlatorientált oktatás jelentősen csökkenti a kompetenciahiányból eredő működési kockázatokat, mivel fejleszti a hallgatók adaptivitását, technológiai jártasságát és problémamegoldó képességét [12]. A STEM tehát nem csupán oktatási megközelítés, hanem olyan stratégiai keretrendszer, amely közvetlenül hozzájárulhat az autópárh kompetenciadeficit mérsékléséhez.[24]



3. ábra: STEM oktatás alkalmazásának és a feltárt hiányosságok hatásábrája (saját szerk.)

A mérnökképzés számára a következő javaslatokat tartom megfontolandónak a képzések kialakítása és megvalósítása során:

1. A digitális és Ipar 4.0 kompetenciák megerősítése a képzésben
A mérnökhallgatók jelentős része nem rendelkezik megfelelő ismeretekkel az IoT-alapú rendszerek, a robotizált gyártás, a prediktív karbantartás vagy az adatvezérelt döntéshozatal területén. A képzésben ezért nagyobb hangsúlyt kell kapnia a modern gyártási technológiák működésének, a rendszerhasználat gyakorlati elsajátításának és a digitális kompetenciák fejlesztésének. Ez közvetlenül csökkenti a technológiai átmenetből fakadó hibázási kockázatokat.
2. A rendszerszintű gondolkodás és analitikai készségek fejlesztése
A hallgatók gyakran nehezen értik a komplex gyártási rendszerek összefüggéseit, ami a későbbi munkavégzés során hibás döntésekhez vezethet. A mérnökképzésben ezért szükség van olyan tantárgyakra és projektekre, amelyek a teljes rendszer működését mutatják be, és fejlesztik a matematikai-analitikai gondolkodást. Ez különösen fontos az adatvezérelt gyártási környezetben.

3. Gyakorlatorientált, ipari együttműködésen alapuló képzési formák bővítése

A vállalatok visszajelzése szerint a friss diplomások gyakorlati problémamegoldó készségei gyakran hiányosak. A duális képzés, az ipari laborok, a valós gyártási környezetben végzett projektek és a vállalati mentorálás növelése, valamint megfelelő oktatásmódszertan alkalmazása hatékonyan csökkenti a kompetenciadeficitet. A gyakorlatorientált oktatás hozzájárul ahhoz, hogy a hallgatók jobban megértsék a technológiai rendszerek működését, és magabiztosabban kezeljék az új technológiákat.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az autóiparban vizsgáltuk az Ipar 4.0 és Ipar 5.0 technológiák elterjedésének hatására megjelenő humán erőforrással összefüggésbe hozható vállalati működésre hatással lévő kockázatokat. A gyártási folyamatok digitalizációja, a robotizáció, az IoT-alapú rendszerek és a mesterséges intelligencia alkalmazása olyan új kompetenciakövetelményeket hozott létre, amelyek a munkaerő jelentős részénél hiányosan vannak jelen.

A humán erőforrás-kockázatok négy fő csoportba rendezhetők: munkaerőhiány és fluktuáció, kompetencia- és tudáshiány, szervezeti és pszichoszociális kockázatok, valamint a technológiai átmenetből fakadó kockázatok. Ezek a tényezők egymást erősítve olyan kockázati spirált alkotnak, amely hosszú távon gyengíti a vállalatok működési stabilitását és rezilienciáját. A kompetenciahiány mára rendszerszintű problémává vált, amelyet tovább súlyosbít az előregedő munkaerő és a tapasztalati tudás elvesztése.

A mérnökképzés során figyelembe kell venni az új kihívásokat és célszerű a megelőzésre fókuszálni, a digitális és Ipar 4.0 kompetenciák fejlesztése, a rendszerszintű gondolkodás ösztönzésére, az analitikai készségek fejlesztésére és a gyakorlati problémamegoldás oktatására. A STEM-szemlélet megerősítése, a gyakorlatorientált képzés bővítése és az ipari együttműködések erősítése kulcsfontosságú a kompetenciadeficit mérsékléséhez. A tanulmányban összességében arra a következtetésre jutottunk, hogy az autóipari vállalatok versenyképessége és működési biztonsága csak akkor tartható fenn, ha a technológiai innovációt a humán tényezők tudatos és összehangolt fejlesztése kíséri.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] L. Li, "Reskilling and upskilling the future-ready workforce for Industry 4.0 and beyond," *Inf. Syst. Front.*, vol. 26, pp. 1697–1712, 2024, doi: 10.1007/s10796-022-10318-w.
- [2] M. Brkovic, J. Culibrk, A. Rikalovic, N. Tasic, and B. Bajic, "Industry 5.0 and the skills gap: Strategies for developing a future-ready workforce," *Tech. Rep.*, Univ. Novi Sad, Serbia, 2023, doi: 10.24867/IS-2023-T6.2-2_04941.
- [3] K. Venusamy, A. Selvarani, and G. Sivanesan, "Industry 5.0: A human resource perspective on reskilling and upskilling for the industry," *Emperor Int. J. Manage.*, vol. 5, no. S1, pp. 115–119, Jan. 2025.
- [4] P. R. A. Oeij, S. Dhondt, M. van der Torre, A. van der Beek, and A. van der Meer, "A conceptual framework for workforce skills for Industry 5.0: Implications for research, policy and practice," *J. Innov. Manage.*, vol. 12, no. 1, pp. 205–233, 2024.

- [5] M. R. Endsley, S. Biller, Y. S. D. Wong, J. A. Camelio, and R. A. Shoureshi, “Human-centric Industry 5.0 manufacturing: A multi-level framework from design to consumption within Society 5.0,” *J. Appl. Manage. Entrep.*, vol. 30, no. 1, pp. 1–25, 2025, doi: 10.1080/19397038.2025.2551000.
- [6] H. Stern and T. Becker, “Development of a model for the integration of human factors in cyber-physical production systems,” *Proc. Manuf.*, vol. 9, pp. 151–158, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.030.
- [7] P. M. A. Achoki, “Upskilling and reskilling for a VUCA world: Organizational sense-response framework,” *GiLE J. Skills Dev.*, vol. 3, no. 4, pp. 34–52, 2023.
- [8] X. Xu, T. Jia, P. Zheng, and L. Wang, “Human-centric manufacturing: Re-thinking, re-justifying, and re-envisioning,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 84, pp. 259–268, 2026, doi: 10.1016/j.jmsy.2025.12.001.
- [9] A. M. Silva, “Industry 5.0: Human-centric approach for future manufacturing systems,” *Future Stud. Res. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–15, 2023, doi: 10.24023/FutureJournal/2175-5825/2023.v15n1.p1-15.
- [10] T. de Jong, “Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought,” *Instr. Sci.*, vol. 38, pp. 105–134, 2010, doi: 10.1007/s11251-009-9110-0.
- [11] K. Bajkai-Tóth, J. Garamvölgyi, and I. Rudnák, “Elvárt és valós munkavállalói kompetenciák vizsgálata a köz- és versenyszférában,” *Vezetéstudomány / Budapest Manage. Rev.*, vol. 56, no. 1, pp. 2–13, 2025, doi: 10.14267/VEZTUD.2025.01.01.
- [12] A. Leles, L. Zaina, and J. R. Cardoso, “Challenge-Based Learning for Competency Development in Engineering Education, a Prisma-Based Systematic Literature Review,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 67, no. 5, pp. 746–760, Oct. 2024, doi: 10.1109/TE.2024.3417908.
- [13] MSZ ISO 31073:2024 Kockázatmenedzsment. Szakszótár, Magyar Szabványügyi Testület, 2024.
- [14] M. Ghobakhloo, H. A. Mahdiraji, M. Iranmanesh, and V. Jafari-Sadeghi, “From Industry 4.0 digital manufacturing to Industry 5.0 digital society: a roadmap toward human-centric, sustainable, and resilient production,” *Inf. Syst. Front.*, 2024, doi: 10.1007/s10796-024-10476-z.
- [15] G. N. Tóth, Á. Drégelyi-Kiss, “Autóipari beszállítói lánc kockázatelemzési szempontrendszere,” in *Proc. FMTÜ XIX. Int. Sci. Conf.*, Kolozsvár, Románia: Erdélyi Múzeum Egyesület, pp. 409–412, 2014, doi: 10.36243/fmtu-2014.095
- [16] K. Bajkai-Tóth, E. Szabó, I. Rudnák, and R. Magda, “The role of human resource in organizational performance in the automotive industry,” *Vadyba J. Manage.*, vol. 1, no. 37, pp. 45–52, 2021, doi: 10.38104/vadyba.2021.1.02
- [17] R. Adattila, P. Thorvald, and D. Romero, “Assessing the psychosocial impacts of Industry 4.0 technologies adoption in the Operator 4.0: Literature review & theoretical framework,” *Int. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 15, no. 1, pp. 59–80, Mar. 2024, doi: 10.24867/IJIE-2024-1-348.
- [18] I. Gál, Z. Hima, A. Tick, “Az autóipari termelés kockázatainak csökkentése,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 6, no. 1, pp. 27–40, 2024.

- [19] J. Hecklau, M. Galeitzke, S. Flachs, and H. Kohl, “Holistic approach for human resource management in Industry 4.0,” *Procedia CIRP*, vol. 54, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.05.102.
- [20] T. Filemon, S. Lubbe, and H. Mynhardt, “The assessment of risk management in human resources practices,” *Socio-Econ. Challenges*, vol. 8, no. 2, pp. 342–359, 2024, doi: 10.61093/sec.8(2).342-359.2024.
- [21] D. Romero, J. Stahre, M. Taisch, “The Operator 4.0: Towards socially sustainable factories of the future,” *Comput. Ind. Eng.*, 2019, doi: 10.1016/j.cie.2019.106128.
- [22] A. Chauhan, M. V. Rani, “Resilient supply chains in the automotive industry: A risk prioritization framework for electric and traditional vehicles in Industry 4.0,” *Int. J. Product. Perform. Manage.*, vol. 75, no. 2, pp. 353–379, 2026, doi: 10.1108/IJPPM-03-2024-0123.
- [23] M. T. D. Ta, T. Kim, A. H. Gausdal, “Resilient leadership style and psychosocial safety climate in high-tech manufacturing,” *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 30, no. 2, pp. 353–369, 2022, doi: 10.1080/09617353.2022.2035627.
- [24] G. N. Tóth, Á. Drégelyi-Kiss, “Bridging skill gaps through STEM: HR risk management in higher education for Industry 4.0 and 5.0,” in *Proc. IEEE 24th World Symp. Appl. Mach. Intell. Informatics (SAMI)*, 2026, doi: 10.1109/SAMI68106.2026.11420348.