

Dunaújváros

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2026. XIV. évfolyam VI. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok



ASZALAY KÁLMÁN

A felnőttképzés mint társadalompolitikai beavatkozás Magyarországon (2010–2025)

HAVAS DÁVID ANDRÁS–BALÁZS LÁSZLÓ
Humanoid Robots In Service At Universities

FATIMA ABBASOVA
Improving the Human Resources Management System

SZABÓNÉ CZINEGE ENIKŐ–KOVÁCS TAMÁS
A humán erőforrás fejlesztésének új irányai, a motiváció és a digitalizáció szerepe egy magyar KKV példáján keresztül

**TAMÁS-PÉTER TIBOR–
TAMÁS-PÉTER JÓZSEF**
Autonóm hajtásirányítási rendszerek fejlesztése Ipar 4.0/5.0 környezetben



Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2026. XIV. évfolyam VI. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

MEGJELENIK ÉVENTE 12 ALKALOMMAL

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

András István, Bacsa-Bán Anetta, Balázs László, Kovács-Bokor Éva,
Nagy Bálint, Németh István, Rajcsányi-Molnár Mónika.

Felelős szerkesztő: Németh István

Szerkesztők: Falus Orsolya, Halmi Nóra, Kőkuti Tamás, Varga Anita

Tördelés: Duma Attila

Szerkesztőség és a kiadó címe: 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUE Press, a Dunaújvárosi Egyetem kiadója

Felelős kiadó Dr. habil András István, rektor

<http://dunakavics.uniduna.hu/>

ISSN 2064-5007

Tartalom

ASZALAY KÁLMÁN

A felnőttképzés mint társadalompolitikai beavatkozás Magyarországon (2010–2025)

5

HAVAS DÁVID ANDRÁS–BALÁZS LÁSZLÓ

Humanoid Robots In Service At Universities

17

FATIMA ABBASOVA

Improving the Human Resources Management System

31

SZABÓNÉ CZINEGE ENIKŐ–KOVÁCS TAMÁS

A humánerőforrás fejlesztésének új irányai, a motiváció és a digitalizáció szerepe egy magyar KKV példáján keresztül

45

TAMÁS-PÉTER TIBOR–TAMÁS-PÉTER JÓZSEF

Autonóm hajtásirányítási rendszerek fejlesztése Ipar 4.0/5.0 környezetben

59

Galéria (Duma Attila fotói)

72



A felnőttképzés mint társadalompolitikai beavatkozás Magyarországon (2010–2025)

EU-s programok és felzárkóztató mentorálás kritikai elemzése

Összefoglalás: A tanulmány a magyarországi felnőttképzés 2010 utáni átalakulását vizsgálja társadalompolitikai megközelítésből, különös tekintettel az Európai Unió által finanszírozott programokra (TÁMOP, EFOP, TOP, GINOP, valamint a 2021–2027-es „Plusz” konstrukciók). A központi kérdés az, hogy a felnőttképzés képes-e tartós mobilitási csatornaként működni a hátrányos helyzetű csoportok számára, vagy inkább az aktiváló állam individualizáló logikájának eszközévé válik. Az elemzés elméleti keretét a strukturális egyenlőtlenségek újratermelődésének megközelítése és Bourdieu tőkeelmélete adja, empirikus illusztrációként pedig egy országos mentorhálózati projekt tereptapasztalataira támaszkodik. Az eredmények azt mutatják, hogy a képzés önmagában ritkán vezet tartós integrációhoz; a siker feltétele az integrált szolgáltatásrendszer, különösen a személyre szabott mentorálás és pszicho-szociális támogatás. A tanulmány amellet érvel, hogy a felnőttképzés csak akkor válhat valódi társadalompolitikai beavatkozássá, ha képes kezelni a strukturális egyenlőtlenségek újratermelődésének mechanizmusait.

Kulcsszavak: Felnőttképzés, társadalompolitika, felzárkóztatás, mentorálás, EU-s programok.

Abstract: This paper examines the transformation of adult education in Hungary after 2010 from a social policy perspective, focusing on EU-funded programmes (TÁMOP, EFOP, TOP, GINOP and the 2021–2027 Plus cycle). The central question is whether adult education can function as a durable mobility channel for disadvantaged groups or whether it reinforces the individualising logic of activation policies. The theoretical framework draws on approaches to the reproduction of structural inequality and Bourdieu’s capital theory, while empirical illustration is provided through field experience from a national mentoring network project.

* Debreceni Egyetem, Humán Tudományok Doktori Iskola, Szociológia és Társadalompolitika Doktori Program

Email: aszalay.kalman@gmail.com

ORCID: 0009-0006-0839-7913

[1] European Commission (2010): *Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Brussels: European Commission.

[2] OECD (2019): *Getting skills right: Future-ready adult learning systems*. Brussels: OECD Publishing.

The findings suggest that training alone rarely results in lasting integration; success depends on integrated services, especially personalised mentoring and psychosocial support. Adult education becomes a genuine social policy intervention only if it actively addresses the structural mechanisms that reproduce inequality.

Keywords: Adult education, social policy, inclusion, mentoring, EU programmes.

Bevezetés

A felnőttképzés a 2010 utáni magyar társadalompolitika egyik kevésbé látható, mégis meghatározó eszközévé vált. Miközben a közbeszéd elsősorban a köz- és felsőoktatási reformokra koncentrál, a felnőttképzés a foglalkoztatáspolitikai, a szociálpolitikai és a területfejlesztés metszéspontjában folyamatosan bővülő beavatkozási térként működik. A képzés a felzárkóztatás, az aktiválás és a munkaerőpiaci integráció egyik leggyakrabban alkalmazott szakpolitikai válasza lett [1; 2].

A tanulmány két kérdés köré szerveződik. Egyrészt: a felnőttképzés valódi mobilitási csatornát jelent-e a hátrányos helyzetű csoportok számára, vagy csupán rövid távú munkaerőpiaci korrekációs eszköz? Másrészt miként alakította a hazai rendszert az EU-s fejlesztéspolitika projektlogikája, különösen az indikátoralapú mérés és a szolgáltatásintegráció terjedése?

A vizsgálat forrásai szakpolitikai dokumentumok, programleírások és a felzárkóztató projektek tereptapasztalatai.

A tanulmány nem leíró programismertetés, hanem kritikai elemzés: célja annak feltárása, hogy milyen feltételek mellett működik a felnőttképzés esélynövelő beavatkozásként, és mikor válik az individualizáló aktiváló logika eszközévé.

A következő fejezetek először az elméleti keretet tisztázzák, majd a magyar felnőttképzési rendszer és az EU-s programok társadalompolitikai értelmezését adják, végül egy mentorhálózati esettanulmány és a kritikai következtetések jönnek.

Elméleti keret: egyenlőtlenség, tőkehiány és aktiváló társadalompolitika

A felnőttképzés társadalompolitikai értelmezése nem választható el az egyenlőtlenségek szerkezetének vizsgálatától. A hátrányos helyzetű csoportok képzési részvételének problémái nem pusztán egyéni hiányosságokból fakadnak, hanem strukturális feltételekhez kötődnek. Ferge Zsuzsa munkássága rámutat arra, hogy a társadalmi egyenlőtlenségek intézményesen újratermelődnek: az oktatási rendszer, a munkaerőpiac és a szociálpolitika egymást erősítő mechanizmusai stabilizálják a társadalmi pozíciókat [3]. A felnőttképzés ebben az összefüggésben nem kiindulópont, hanem korrekciós tér. A korábbi oktatási szelekció és munkaerőpiaci kizorulás következményeire reagál.

Ez a megközelítés fontos ellenpontja azoknak a diskurzusoknak, amelyek a képzésből való kimaradást elsősorban motivációs vagy egyéni felelősségi kérdésként értelmezik. A strukturális egyenlőtlenségek figyelmen kívül hagyása a szakpolitikai felelősséget kimondatlanul az egyénre hárítja. A felzárkóztatás logikája így könnyen moralizáló narratívává válhat. Aki nem él a lehetőséggel, az nem akar változni. A kritikai társadalompolitika ezzel szemben arra hívja fel a figyelmet, hogy a részvétel feltételei maguk is társadalmilag egyenlőtlenek.

Pierre Bourdieu tőkeelmélete tovább árnyalja ezt a képet. A kulturális tőke – nyelvi kódok, tanulási stratégiák, intézményi magabiztosság – és a szociális tőke – támogató kapcsolatok, informális hálózatok – hiánya a felnőttképzésben is láthatatlan akadályokat teremt [4; 5]. A képzés intézményi rendje burkoltan a középosztályi habitusra épül. Önálló ügyintézés, időmenedzsment, absztrakt tanulási feladatok. Azok számára, akik korábbi iskolai kudarc történetekkel és alacsony intézményi bizalommal érkeznek, ez a környezet idegen és szorongáskeltő lehet.

A lemorzsolódás így nem pusztán pedagógiai kérdés, hanem tőkehiányból fakadó strukturális jelenség. A felzárkóztató programok akkor lehetnek sikeresek, ha nem csupán tudást közvetítenek, hanem a részvételhez szükséges kulturális és szociális erőforrásokat is erősítik. Ebben a folyamatban a mentorálás közvetítő funkciót tölt be: hidat képez az intézményi elvárások és a résztvevők életvilága között.

A 2010 utáni európai és hazai szakpolitikákban egyre hangsúlyosabbá vált az aktiváló állam logikája.

[3] Ferge, Z. (2006):
Struktúra és szegénység. In: Ferge, Zs.
(Szerk.): *Társadalompolitika és társadalmi struktúra*, pp. 45–78.
Budapest: Új Mandátum.

[4] Bourdieu, P. (1986):
The forms of capital.
In: J. G. Richardson
(Ed.): *Handbook of theory and research for the sociology of education*, pp. 241–258.
Santa Barbara: Greenwood.

[5] Bourdieu, P. (1990):
The logic of practice.
Stanford: Stanford University Press.

[1] European Commission (2010): *Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Brussels: European Commission.

[6] Council of the European Union (2016): *Upskilling pathways: New opportunities for adults*. *Official Journal of the European Union*.

Az aktiváló (workfare) megközelítés a támogatásokhoz való hozzáférést együttműködési kötelezettséghez és aktív részvételhez köti [1; 6]. Council of the European Union, 2016). A felnőttképzés ebben a keretben egyszerre jelenik meg eszközként és követelményként: a részvétel a társadalmi integráció feltételévé válik.

A kritikai pont abban rejlik, hogy az aktiváló logika tendenciaszerűen individualizálhatja a strukturális akadályokat. Ha a sikertelenség kizárólag az egyéni erőfejtés hiányaként értelmeződik, a szakpolitika láthatatlanná teszi a részvételt akadályozó környezeti tényezőket: a szegénységet, a területi elszigeteltséget, a gondozási terheket vagy az egészségi problémákat. A képzés így paradox módon a felelősség áthárításának eszközévé válhat.

Ezzel rokon, de normatív értelemben eltérő a társadalmi befektetés (social investment) paradigmája. Ez a megközelítés a humán fejlesztést hosszú távon megterülő közpolitikának tekinti, és hangsúlyozza a megelőzés, a készségfejlesztés és az élethosszig tartó tanulás szerepét [1]. A társadalmi befektetés azonban csak akkor lehet inkluzív, ha a részvétel feltételeit is finanszírozza: megélhetési stabilitás, gyermekfelügyelet, közlekedési hozzáférés, digitális eszközök. Enélkül a programok a jobb erőforrásokkal rendelkező csoportoknak kedveznek, és az egyenlőtlenségek csökkentése helyett újratermeléséhez járulhatnak hozzá.

A felnőttképzés társadalompolitikai értelmezése tehát három egymásra rétegződő dimenzióban ragadható meg: strukturális egyenlőtlenségek, tőkehiány és aktiváló beavatkozási logika. E dimenziók együttese teszi láthatóvá, hogy a képzés nem semleges technikai eszköz, hanem normatív és politikai jelentéssel bíró intézmény. A következő fejezet ezt a keretet alkalmazza a magyar felnőttképzési rendszer 2010 utáni átalakulásának értelmezésére.

A magyar felnőttképzés keretei 2010 után

A 2010 utáni időszakban a magyar felnőttképzés szabályozási és intézményi rendszere többször átalakult. A változások mögött egyszerre jelent meg minőségbiztosítási, piacsabályozási és foglalkoztatáspolitikai logika.

A hivatalos cél a képzési kínálat átláthatóbbá tétele és a foglalkoztatási relevancia erősítése volt, társadalompolitikai szempontból azonban a legfontosabb kérdés a hozzáférés maradt: kik és milyen feltételek mellett tudnak belépni a képzési rendszerbe.

A felnőttképzés részvételi mintázatai erősen rétegzettek. A magasabb iskolai végzettségű, stabil elhelyezkedési pozícióval rendelkező csoportok lényegesen nagyobb arányban vesznek részt képzésekben, míg az alacsony végzettségűek, a tartós munkanélküliek és a leszakadó térségekben élők alulreprezentáltak. Ez a jelenség nem magyar sajátosság, hanem nemzetközi tendencia [2], eközben a hazai társadalmi egyenlőtlenségek erőssége miatt különösen élesen jelenik meg.

A részvételt akadályozó tényezők összetettek. Az anyagi korlátok – utazási költség, kieső jövedelem – mellett jelentős szerepet játszanak a gondozási terhek, az egészségi problémák, az alacsony alapkészségek és az intézményi bizalmatlanság. A tanulás sok résztvevő számára nem semleges tevékenység, hanem korábbi iskolai kudarcokkal terhelt élmény. A képzési rendszer így nem csupán tudást kínál, hanem közvetett módon újratermeli a korábbi egyenlőtlenségeket: azok számára hozzáférhetőbb, akik már rendelkeznek a részvételhez szükséges erőforrásokkal.

Ezek a korlátok magyarázzák a szolgáltatásintegráció előretörését. A 2010 utáni programok egyre gyakrabban kapcsolták össze a képzést mentorálással, tanácsadással és pszicho-szociális támogatással. A felnőttképzés így fokozatosan kilépett a szűken vett oktatási logikából, és a szociálpolitika határterületére került. Ez a mozgás nem pusztán szervezeti, hanem normatív változást is jelez: a képzés sikeressége egyre inkább a részvételi feltételek biztosításán múlik.

A fejlesztések jelentős része EU-s finanszírozásból valósult meg, ami erőteljes projektlogikát hozott a rendszerbe. A programok meghatározott időtávval, indikátorrendszerrel és adminisztratív elszámolási kötelezettséggel működnek.

A projektlogika előnye a gyors forrásbevonás és az innováció lehetősége; hátránya a ciklikusság és az intézményesülés hiánya. Számos szolgáltatás – különösen a mentorálás – projektzárás után leépül vagy szűkített formában folytatódik, ami a résztvevők számára megszakadó támogatási láncot jelent.

Ez a ciklikusság társadalompolitikai szempontból problematikus. A felzárkóztatás időhorizontja gyakran hosszabb, mint a projektciklus.

A leginkább rászoruló csoportok esetében a bizalomépítés, a készségfejlesztés és a foglalkoztatási integráció több éves folyamat lehet.

[2] OECD (2019): *Getting skills right: Future-ready adult learning systems*. Brussels: OECD Publishing.

[1] European Commission (2010): *Europe 2020: A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*. Brussels: European Commission.

Ha a finanszírozás rövid távú indikátorokra épül, a rendszer ösztönözheti a könnyebben mobilizálható csoportok előnyben részesítését, miközben a legnagyobb szükségletű résztvevők háttérbe szorulhatnak.

A magyar felnőttképzés 2010 utáni fejlődése tehát kettős képet mutat. Ez a kettősség jól illeszkedik a strukturális egyenlőtlenségek újratermelődésének logikájába, ahol a szolgáltatásbővítés nem feltétlenül jár együtt a hozzáférési különbségek csökkenésével. Egyrészt bővültek a szolgáltatások és erősödött a felzárkóztatási fókusz, másrészt a projektalapú működés instabilitást és egyenlőtlen hozzáférést termel. A következő fejezet azt vizsgálja, miként jelenik meg ez a kettősség az EU-s operatív programok konkrét konstrukcióiban.

EU-s operatív programok: TÁMOP, EFOP, TOP, GINOP

A 2010 utáni magyar felnőttképzési fejlesztések döntő része az Európai Unió finanszírozási keretein keresztül valósult meg. Az operatív programok nem pusztán forrást biztosítottak, hanem saját fejlesztéspolitikai logikát is közvetítettek. Indikátoralapú tervezést, projektciklusokra bontott megvalósítást és szolgáltatáscsomagokra épülő beavatkozást. A felnőttképzés társadalompolitikai értelmezése ezért nem választható el az EU-s programarchitektúrától.

A 2007–2013-as TÁMOP-konstrukciók a komplex aktiválás irányába mozdították el a hazai rendszert. A programok a képzést gyakran mentorálással, álláskeresési tanácsadással és – egyes esetekben – bértámogatással kombinálták. Ez a logika felismerte, hogy a tartósan munkanélküliek esetében a képzés önmagában ritkán elegendő a foglalkoztatási reintegrációhoz.

A TÁMOP eközben rávilágított az indikátoralapú működés dilemmáira is: a mérhető outputok (bevont létszám, elvégzett képzés) könnyebben teljesíthetők a kevésbé sérülékeny csoportokkal, ami a programok fókuszát az ilyen csoportok felé terelheti [1]. Ez a működési logika nem pusztán adminisztratív sajátosság, hanem a strukturális egyenlőtlenségek újratermelődésének egyik mechanizmusa.

A 2014–2020-as EFOP a felnőttképzést kifejezetten a társadalmi felzárkóztatás keretébe helyezte. A programok gyakran alapkompétencia-fejlesztést, digitális készségeket és életvezetési modulokat tartalmaztak, valamint erősítették a mentorálási és közösségi elemeket.

A szolgáltatásintegráció itt már nem kísérleti elem, hanem strukturális elv lett: a képzés a szociális és foglalkoztatási szolgáltatásokkal összekapcsolva jelent meg. Társadalmpolitikai szempontból ez előrelépést jelentett, ugyanakkor a projektidő korlátjai és az indikátorkényszer továbbra is jelen maradtak. A rövid távon mérhető eredmények előnyt élveztek a hosszabb távú társadalmi hatásokkal szemben.

A TOP a területi szemléletet erősítette, különösen a foglalkoztatási paktumokon keresztül. Elméletileg ez lehetőséget teremtett a képzések helyi munkaerőpiaci igényekhez igazítására. A gyakorlatban azonban a területi egyenlőtlenségek korlátozták a programok hatását. A leszakadó térségekben a felszívóképesség gyenge, a mobilitási lehetőségek szűkösek, és a munkáltatói kör korlátozott. Ilyen környezetben a képzés hozama alacsonyabb, és a felzárkóztatás csak akkor lehet reális, ha a képzést gazdaságfejlesztési és közlekedési beavatkozások egészítik ki.

A GINOP elsősorban a vállalati és munkahelyi képzések támogatására épült, a termelékenység és innováció növelésének céljával. Ez a konstrukció a foglalkoztatott rétegeket erősítette, miközben kevésbé érte el azokat, akik eleve kívül rekedtek a munkaerőpiacon. Társadalmpolitikai értelemben a GINOP kettős hatású: hozzájárul a gazdasági versenyképességhez, ezzel párhuzamosan növelheti a képzettségi különbségeket, ha nem társul hozzá erős kompenzációs politika a felzárkóztató programokban.

A 2021–2027-es EFOP Plusz és TOP Plusz konstrukciók folytatják a komplex megközelítést, de új kihívásokkal szembesülnek. Az infláció, a megélhetési bizonytalanság és a digitális szakadék növeli a részvételi költségeket, miközben a felnőttképzéssel szembeni elvárások erősödnek. A programok sikeressége egyre inkább azon múlik, hogy képesek-e finanszírozni a részvétel „láthatatlan költségeit”.

Emellett a mentorálási kapacitások fenntartása is kulskérdés.

E nélkül a fejlesztések a középosztálybeli résztvevők felé tolódnak el, újratermelve az egyenlőtlenségeket.

Az EU-s operatív programok tehát egyszerre jelentenek lehetőséget és korlátot. Lehetővé teszik a szolgáltatásintegrációt és a forrásbővítést, másfelől projektlogikájuk instabilitást és indikátoralapú torzulásokat hoz a rendszerbe.

A következő fejezet egy konkrét mentorhálózati projekt példáján keresztül mutatja meg, hogyan jelennek meg ezek a dilemmák a gyakorlatban.

Esettanulmány: az EFOP 1.3.2 Felzárkózási mentorhálózat

Az EFOP 1.3.2-16-2016-00001 „Felzárkózási mentorhálózat fejlesztése” kiemelt projekt célja a munka világából tartósan kiszorult, halmozottan hátrányos helyzetű felnőttek elérése és programokba segítése volt.

A projekt abból a felismerésből indult ki, hogy a célcsoport jelentős része nem csupán képzési hiányokkal küzd, hanem információs és intézményi elszigeteltségben él. A mentorhálózat így közvetítő infrastruktúraként működött: kapcsolatot teremtett a résztvevők és az intézményrendszer között.

A program egyik kulcseleme a differenciált mentorálás volt. A hosszabb távú, élethelyzetre reagáló támogatás mellett megjelent a kifejezetten képzési belépést és bennmaradást segítő mentorálás. Ehhez kapcsolódott a tanulástechnikai tréning, amely nem pusztán tananyagot közvetített, hanem a tanulási szorongás, az önbizalomhiány és a korábbi iskolai kudarcok kezelésére irányult. A tereptapasztalatok szerint a lemorzsolódás csökkenésében és a képzéshez való visszatérésben ez a komponens meghatározó szerepet játszott.

A mentorálás funkciója túlmutatott az adminisztratív támogatáson. A résztvevők számára a mentor gyakran az első stabil intézményi kapcsolatot jelentette: olyan szereplőt, aki érthetővé tette a programokat, segítette az ügyintézkést, és folyamatos visszajelzést adott. Ez a bizalmi viszony csökkentette az intézményi távolságot és növelte a részvételi hajlandóságot. A mentorálás tehát nem kiegészítő szolgáltatás, hanem a részvétel strukturális feltétele.

A projekt megvalósításában a tanulmány szerzője mentorkoordinátorként vett részt, ami közvetlen rálátást biztosított a terepi működés és az indikátoralapú adminisztráció közötti feszültségekre. A program papíron számszerű teljesítményekben létezett – elérésszámok, programba irányítás, dokumentált előrehaladás –, miközben a terepen egyéni élethelyzetekkel és lassú változási folyamatokkal kellett dolgozni.

A leginkább rászorulóknak bevonása több időt, több találkozást és intenzívebb bizalomépítést igényelt, miközben ők jelentették a legnagyobb kockázatot az indikátorok teljesítése szempontjából.

Ez a kettősség a felzárkóztató programok strukturális dilemmájára világít rá. Ha a mérési rendszer túl szűk, az a kevésbé marginalizált résztvevők felülreprezentációjához vezethet.

A projekt tapasztalatai azt is megmutatták, hogy a szolgáltatásintegráció képes csökkenteni a kulturális és szociális tőkehiányból fakadó akadályokat. A mentorálás, a tanulástechnika, az ügyintézési támogatás és a helyi intézményekkel való kapcsolatépítés együtt olyan támogató környezetet hozott létre, amely nélkül a képzés elérhetetlen maradt volna a célcsoport számára.

A tereptapasztalatok nem reprezentatív értelemben értelmezendők, hanem olyan tipikus működési mintázatokat tesznek láthatóvá, amelyek a felzárkóztató programok strukturális sajátosságaira világítanak rá. A projekt egyik legfontosabb tanulsága, hogy a felnőttképzés felzárkóztató ereje csak akkor érvényesül, ha a képzés a társadalmi közvetítés infrastruktúrájába ágyazódik.

Ezek a megfigyelések így empirikusan is alátámasztják a strukturális egyenlőtlenségek újratermeléséről szóló elméleti megközelítéseket. A bemutatott tapasztalatok nem egyedi esetleírásként, hanem a program működésében ismétlődően megfigyelhető mintázatokként értelmezendők.

Kritikai értékelés és következtetések

A 2010–2025 közötti magyar felnőttképzési folyamatok alapján több, egymással összefüggő következtetés fogalmazható meg. Ezek nem csupán programértékelési megállapítások, hanem a felzárkóztatás társadalompolitikai logikájára vonatkozó tanulságok.

Elsőként: a felnőttképzés fontos, de önmagában ritkán elegendő eszköz a társadalmi felzárkózáshoz. A hátrányos helyzetű csoportok esetében a képzés sikeressége a részvétel feltételein múlik. A megélhetési bizonytalanság, a gondozási terhek és az intézményi bizalmatlanság olyan akadályok, amelyek pusztán tantermi oktatással nem kezelhetők. A programok akkor képesek tartós hatást elérni, ha a képzést szociális és pszicho-szociális támogatás egészíti ki.

Másodszor: az EU-s projektlogika egyszerre erőforrás és korlát. Lehetővé teszi a szolgáltatásbővítést és az innovációt, ezzel párhuzamosan rövid időhorizontot és indikátorkényszert teremt.

Ha a mérési rendszer kizárólag technokrata outputokra épül, a felzárkóztatás lényege – a hosszú távú élethelyzeti változás – láthatatlanná válik. A társadalompolitikai minőség ezért nem pusztán a program volumenén, hanem a mérés érzékenységén múlik.

Harmadszor: a területi egyenlőtlenségek alapvetően meghatározzák a felnőttképzés mobilitási potenciálját. A leszakadó térségekben a képzések elhelyezkedési hozama korlátozott, ha nincs helyi kereslet, közlekedési hozzáférés és gazdaságfejlesztés.

A képzés csak akkor válhat mobilitási csatornává, ha a helyi gazdasági környezet és a közszolgáltatások infrastruktúrája is támogatja a részvételt.

Negyedszer: a mentorálás rendszerbe emelése a felzárkóztató felnőttképzés egyik legfontosabb tanulsága. Az esettanulmány tapasztalatai azt mutatják, hogy a mentorálás nem kiegészítő elem, hanem működési feltétel. A kulturális és szociális tőkehiányt nem lehet pusztán tananyaggal kompenzálni; a személyes kísérés, a bizalomépítés és a tanulási önhatékonyság fejlesztése nélkül a programok hatása jelentősen csökken.

A fenti megállapítások alapján a felnőttképzés akkor válik valódi társadalompolitikai eszközzé, ha integrált beavatkozásként működik: képzés, mentorálás, szociális támogatás és foglalkoztatási kapcsolódás együtteseként. Ennek hiányában a rendszer az aktiváló állam individualizáló logikájának eszközévé válhat, amely a sikertelenséget az egyén felelősségeként értelmezi.

A 2021–2027-es fejlesztési ciklus kulcskérdése ezért az időhorizont és az intézményesülés. Képes-e a rendszer tartós kapacitásokat építeni – különösen a mentorhálózat területén –, és képes-e a felzárkóztatás valós idejéhez igazítani finanszírozási és mérési mechanizmusait? Ha igen, a felnőttképzés a társadalmi mobilitás egyik stabil eszközévé válhat. Ha nem, fennáll a veszélye, hogy ciklikus, projektalapú beavatkozások sorozataként működik tovább, korlátozott társadalmi hatással. A felnőttképzés jövője ezért nem pusztán oktatáspolitikai kérdés, hanem a társadalmi egyenlőtlenségek kezelésének egyik kulcsterülete.

Szakpolitikai javaslatok és megvalósítási feltételek

A fenti elemzés alapján a felzárkóztató felnőttképzés fejlesztése nem pusztán programtervezési kérdés, hanem strukturális társadalompolitikai feladat.

A következő javaslatok nem elszigetelt technikai megoldások, hanem egymásra épülő feltételek, amelyek együtt képesek csökkenteni a részvételi egyenlőtlenségeket.

Elsőként érdemes különválasztani a képzési kínálat és a részvételi képesség kérdését. A hátrányos helyzetű résztvevők számára a legnagyobb akadály gyakran nem a képzések hiánya, hanem a részvétel élethelyzeti feltételeinek hiánya. A programtervezésnek ezért expliciten számolnia kell a részvétel rejtett költségeivel: utazás, gyermekfelügyelet, digitális eszközök, kieső jövedelem és a mindennapi krízisek kezelése. A támogatások célja nem pusztán az ösztönzés, hanem a belépési küszöb csökkentése kell legyen.

Másodszor: a mentorálás finanszírozását és szakmai standardjait rendszerbe kell emelni. A hatékony mentorálás kis létszámú esetkezelést, folyamatos kapcsolattartást és intézményközi koordinációt igényel. A mentorhálózat projektciklusokhoz kötött felépülése és leépülése helyett stabil kapacitás szükséges, amely képes a hosszú távú bizalomépítésre. A mentorkoordinátori funkció nem adminisztratív többlet, hanem minőségbiztosítási eszköz: csökkenti a kiégést, javítja a dokumentálhatóságot és támogatja a szakmai tanulást.

Harmadszor: az indikátorrendszer fejlesztése kulcskérdés. A bevont létszám és a képzés elvégzése önmagában nem jelzi a társadalmi integrációt.

A felzárkóztatás valós eredményei gyakran köztes állomásokban mérhetők: stabilabb életvezetés, intézményi bizalom növekedése, alapkészségek fejlődése, rendszeres részvétel. A mérési rendszernek többszintűnek kell lennie: rövid távú outputok, középtávú outcome-ok és hosszú távú hatások együttes követésével.

Negyedszer: a területi dimenziót strukturáló feltételként kell kezelni. Leszakadó térségekben a képzés önmagában nem elegendő, szükséges a gazdaságfejlesztési, közlekedési és közszolgáltatási beavatkozások összehangolása. A foglalkoztatási paktumok akkor hatékonyak, ha valódi munkáltatói igény, közös tervezés a képzés utáni beléptetési mechanizmusok is részei a rendszernek.

Ötödször: a digitális felzárkóztatás a felnőttképzés megkerülhetetlen eleme. A digitális kompetenciák hiánya önálló kirekesztési tényezővé vált. A programoknak ezért nemcsak képzési modulokat kell tartalmazniuk, hanem eszköz- és hozzáféréstámogatást, valamint gyakorlatorientált tanulási környezetet. A digitális részvétel sikeressége szintén a személyes támogatáson múlik, így a mentorálás itt is kulcsfontosságú.

Végül: a fenntarthatóság érdekében szükséges a helyi intézmények közötti stabil együttműködés és adat-alapú visszacsatolás. A projektidőn túl működő partnerségek, a helyi szükségletek rendszeres felmérése és a programok közötti átjárhatóság teszi lehetővé, hogy a felnőttképzés ne egyszeri beavatkozás, hanem életúttámogató szolgáltatás legyen.

Módszertani megjegyzések és korlátok

A tanulmány kvalitatív, elemző jellegű megközelítésre épül. Célja nem a felnőttképzési programok teljes körű empirikus hatásvizsgálata, hanem a szakpolitikai logikák és a megvalósítás során keletkező tapasztalatok társadalompolitikai értelmezése. A vizsgálat forrásai szakpolitikai dokumentumok, operatív programok tervezési keretei, valamint a felzárkóztató projektek tereptapasztalatai. Az elemzés a programok beavatkozási logikájára koncentrál: milyen problémadefinícióból indulnak ki, milyen eszközökkel kívánnak hatni, és milyen eredményeket tekintenek sikernek.

A mentorkoordinátori nézőpont egyszerre jelent erőforrást és korlátot. Erőforrás, mert rálátást biztosít a terepi működésre, a részvételi akadályokra és az indikátorrendszer gyakorlati következményeire. A programok adminisztratív és emberi dimenziójának egyidejű megfigyelése lehetővé teszi a strukturális dilemmák azonosítását.

Ez a perspektíva azonban nem reprezentatív mintán alapul, és nem helyettesíti a longitudinális, kvantitatív hatásvizsgálatot.

A tereptapasztalatok ezért nem általánosítható bizonyítékokként értelmezendők, hanem olyan empirikus illusztrációkként, amelyek tipikus működési mintázatokat tesznek láthatóvá. A felzárkóztató programok komplexitása miatt a társadalmi hatások gyakran csak hosszabb időtávon mérhetők. A projektciklusok adminisztratív adatai többnyire nem alkalmasak a tartós foglalkoztatási vagy jövedelmi mobilitás nyomon követésére.

Ebből következően a tanulmány tudatosan hangsúlyozza a köztes eredmények jelentőségét: a tanulási önhatékonyság növekedését, az intézményi bizalom erősödését, az alapkészségek fejlődését és a rendszeres részvétel kialakulását. Ezek a folyamatok gyakran előfeltételei a későbbi elhelyezkedési lehetőségeknek a munka világában, még ha rövid távon nem is jelennek meg látványos indikátorokban.

A módszertani korlátok nem csökkentik a vizsgálat érvényességét, hanem kijelölik értelmezési kereteit. A tanulmány célja nem végső bizonyítékok szolgáltatása, hanem a felzárkóztató felnőttképzés társadalmi-politikai dilemmáinak feltárása. E dilemmák azonosítása hozzájárulhat a jövőbeli empirikus kutatások és szakpolitikai fejlesztések megalapozásához.



Humanoid Robots In Service At Universities

Cross-Regional Review of Humanoid Robot Adoption in Higher Education

Összefoglalás: A humanoid robotok megjelenése a felsőoktatásban, mint egy lehetséges oktatói eszköz, egyre meghatározóbb jelenséggé válik világszerte. A tanulmány betekintést nyújt ázsiai, észak-amerikai és európai példákon keresztül az egyetemeken alkalmazott humanoid robotok felhasználási céljairól és további felhasználási lehetőségeikről.

Kulcsszavak: Humanoid robot, felsőoktatás, oktatási robotika, áttekintő tanulmány.

Abstract: The emergence of humanoid robots in higher education as a potential teaching tool is becoming an increasingly significant phenomenon worldwide. This article provides insight into the current uses and emerging applications of humanoid robots in universities, drawing on examples from Asia, North America, and Europe.

Keywords: Humanoid robot, higher education, educational robotics, exploratory review.

Introduction

Imagine a three-meter-high humanoid robot coming toward you in a university corridor. The first thing you do is check for the escape route. Seriously. Where could you go if something happens? How could you help others get out? Something triggers in your survival instinct that says this is strange and not normal. Now imagine a robot the size of a small child, friendly face, approaching instead. Completely different feeling. Similar technology. Similar underlying logic. Different body. Physical appearance is not a secondary detail. It is the first thing that shapes how people react [1].

* *AI transformation consultant*
Email: havasdav@gmail.com
ORCID: 0009-0001-9000-4085

** *University of Dunaiújváros,*
Associate Professor
Email: balazsl@uniduna.hu
ORCID: 0000-0001-9784-4768

[1] Ekström, S.–Pareto, L. (2022): The dual role of humanoid robots in education: As didactic tools and social actors. *Education and Information Technologies*, 27., (9.), pp. 12609–12644.

[1] Masoni, I.–Pagliccia, B.–Thalman, G. (2019): *The Use of Drones for Innovative Seismic Acquisition: A Change of Paradigm for HSE*. International Petroleum Technology Conference, Beijing, China, 26–28. March 2019.

[2] Belpaeme, T.–Kennedy, J.–Ramachandran, A.–Scassellati, B.–Tanaka, F. (2018): Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3., (21.), eaat5954. <https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.aat5954> [Open access – Q1 AAAS]

Luckily, we are not seeing such enormous machines in universities nowadays. But the question of size, appearance and the feeling they produce in a room is real, and it matters.

What actually is a humanoid robot, and what makes the AI-enabled version different from what came before? Think of it like a moving industrial machine with the shape and size of a human, the different components, junctions, energy store and wiring are parts of the many components, only hardware. On its own it does one thing. To make this machine smart enough to respond to what is happening in its environment in the way it was purposely built for, we need to apply advanced AI technologies – not only a preprogrammed, fixed sequence of commands. The key difference between a pre-programmed industrial robot and an AI-enabled humanoid [2] lies in the capacity to respond to unexpected situations that were never anticipated in advance. Our world is very colourful, and not everything can be put into an if-then cycle. This is, in many cases, the game changer that AI brings to robotics.

The question that comes up often is simple. Why not just use a chatbot? For many tasks, honestly, a well-designed screen-based solution will do the job just as well and at a fraction of the cost. But whenever you need to move into the three-dimensional physical environment, the screen stops working. Take a physical education course. How do you learn to stand on your hands? A robot could demonstrate the movement step by step. It could observe the student attempting the exercise, see what is happening, identify which muscles need to be stronger first, and suggest a preparation plan before the student even tries the full movement. A chatbot cannot do this. Not in reality. Anything that needs to be shown and adjusted in a physical three-dimensional space – that is where the humanoid belongs [2].

Humanoid robots are not a new idea. Personal experience from 2019, in Hungary at that time, SoftBank's Pepper humanoid solution was already being discussed as a potential tool for enterprise and educational environments. However, the opportunities offered by humanoid technology were welcomed with significant doubts in many boardrooms, and a drone-based technology was rather accepted for testing than a humanoid trial. At that moment humanoid robotics simply were not able to represent established industry practices, documented use cases, a developed legal framework. The investment decision for such proofs of concept many times resulted in drones winning over humanoids. By the year 2026 such decisions look different. Many board members know that they need some kind of AI, but a type of AI that positively affects the company's EBITDA-generating capabilities.

This approach made decision makers much more open to humanoid technologies that are entering not only companies but universities as well, across very different regions.

The reason to cover multiple regions in this article is to give a global insight by showing how different cultures and universities around the world are handling this technology. Decision makers at universities who read this might start thinking about how humanoid robots could be utilised in their own institutions, in their own context, to increase student and professor satisfaction. Those countries that do not have world-wide known robotics manufacturer companies and that are not on the developer side, still can be leaders on the adoption side. It is one thing to create the tool. It is another thing entirely to know how to populate it with content and embed it properly into an educational system [3]. From that point of view, there is a real opportunity here and now.

Conceptual Framework

In 2025, a video circulated showing humanoid robots performing a kung fu demonstration for the German Chancellor during a visit to China. The machines moved like athletes. They jumped, balanced, executed precise physical sequences with speed and accuracy. Honestly, it might have been a bit of a fearful moment for many. Robots are now basically capable of doing anything. One might think the only real limitation is their energy source and consumption of the humanoid. It might simply occur to one that a robot could be much stronger than a human. What if the AI software that directs the metal humanoid body goes beyond the intended boundaries? Naturally, this is a question posed by many, and it is one of the general concerns that advanced AI robotics raises [4]. Worth keeping on the table. Because the humanoid we are talking about in 2025 is not only the small friendly Pepper anymore. That picture has changed.

On the software and training side, NVIDIA has created a special virtual environment where the driving algorithms can practise real-life situations before the robot ever enters a physical space. The cost of failure is much lower in a virtual environment. No expensive humanoid crashes into another one and causes damage.

[3] UNESCO (2021): *AI and Education: Guidance for Policy-Makers*. Paris: UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709> [Open access]

[4] UNESCO (2021): *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. UNESCO General Conference, 41st Session, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137> [Open access – 193 member states]

[2] Belpaeme, T.–Kennedy, J.–Ramachandran, A.–Scassellati, B.–Tanaka, F. (2018): Social robots for education: A review. *Science Robotics*, 3., (21.), eaat5954. <https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.aat5954> [Open access – Q1 AAAS]

[5] NVIDIA (2024): Isaac Lab – GPU-Accelerated Simulation Framework for Robot Learning. *NVIDIA Developer*. <https://developer.nvidia.com/isaac/lab> [Open access – used by Stanford, ETH Zurich, Boston Dynamics, Figure AI]

[6] Donnermann, M.–Schaper, P.–Lugrin, B. (2022): Social robots in applied settings: A long-term study on adaptive robotic tutors in higher education. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 9, 831633. <https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/robt.2022.831633/full> [Open access – Frontiers/SCIE]

No real harm to anything around. Most use cases can be tested and fine-tuned in this virtual world first, and only then brought into the three-dimensional real environment [5]. The two main advantages are physical safety, since nothing real is at risk, and cost efficiency, since virtual crashes carry no financial consequence. The fine tuning happens in the real world only after the basics are already working.

The difference between a pre-programmed robot and an AI-enabled one becomes very clear when something unexpected happens. And in a university environment, unexpected things happen all the time. It also depends on culture. In a very well organised and structured society most things are quite predictable. But as soon as you move into a less formal environment, more and more unpredictable situations occur. One can remember from his time of being a student at university that a bird flew into the classroom. Big shock. Everybody wanted to save the bird at the same time, which of course made things worse. The professor stayed calm, told everyone to settle down, opened all the windows, and in a couple of minutes the bird found its way out.

A simple example. But you simply cannot simulate everything. If you tried to program a robot for every possible situation that could happen in a university room, the storage and processing requirements would be enormous, and our own creativity might run out before we could cover all potential scenarios. An AI-enabled humanoid does not need to have foreseen every situation. It can generate a response to something it has never encountered before [2]. That is the game changer. For universities, this capacity to handle the unexpected is what opens brilliant application opportunities of humanoids as an educational tool.

How to imagine a humanoid robot at university? A robot available around the clock repeats the same explanation the thousandth time with exactly the same patience and kindness as the first [6]. For students who need to ask the same question multiple times, for students with different capabilities who need the same approach every time without any sign of frustration, this patience is a real advantage. The robot does not get tired. It does not make a student feel slow for needing repetition. Beyond the assistant role, there is another use case that is less obvious but more interesting. A student is assigned the task of teaching the robot a subject they are learning. If you are able to teach something to somebody else, you must have a much deeper understanding of it.

You have to be able to explain it with your own logic, not just recall it. It leaves a much deeper connection to the material than just reading it once [1].

The full range of use cases for humanoid robots at universities has not yet been discovered. It is simply where the technology is. When the first iPhone appeared, nobody mapped out in advance that it would become a banking terminal, a navigation device, a healthcare monitor and a social platform. The applications emerged because people found them. With humanoids at universities, the same logic applies. Currently, our creativity can be freely applied to explore how these machines could best support universities' daily operations.

Regional Overview: Asia

Asia Pacific has a long and documented history with robotics in education. Japan and South Korea were among the earliest adopters globally, and this has something to do with how these societies are organised. Japan's manufacturing approach has, for decades, been built around structured, process-based thinking. The just-in-time production system that emerged from Toyota is a good example. At its core it is a set of human-executed rules: if this happens, do this. Workers following a procedural logic long before robots existed. That kind of step-by-step algorithmic thinking is deeply embedded in the society and its institutions. The robot is, in many ways, the physical version of that same logic. From that perspective, it is understandable that Japan and South Korea were among the first to deploy robots in educational settings. Where the evidence is strongest at university level is in language learning. Robot-assisted language learning has been studied extensively in East Asia, and the findings are consistent. Students are more willing to speak, make mistakes and try again when they are interacting with a robot rather than a human teacher or a peer [7]. The reason, based on what the literature shows, is simple. There is no social judgment. The robot does not raise an eyebrow when you say something wrong. It just responds and gives you another chance. There is a warmth that a well-designed humanoid can generate, and even if the student does not know exactly what software is running in the background, that feeling of being met without judgment can matter. This is particularly relevant for students learning a foreign language, where the concern about making mistakes in front of others is a commonly cited obstacle [7].

[1] Masoni, I.–Pagliccia, B.–Thalman, G. (2019): *The Use of Drones for Innovative Seismic Acquisition: A Change of Paradigm for HSE*. International Petroleum Technology Conference, Beijing, China, 26–28. March 2019.

[7] Huang, G.–Moore, R. K. (2023): Using social robots for language learning: are we there yet? *Journal of China Computer-Assisted Language Learning*, 3., (1.), pp. 208–230. <https://www.de-gruyterbrill.com/document/doi/10.1515/jccall-2023-0013/html> [Open access – De Gruyter]

[8] Buchem, I. (2023. June 13.): Meet Humanoid Robots NAO, FURHAT & PEPPER: An Interview with Humanoid Robots Expert Professor Ilona Buchem. *AACE Review*. <https://aace.org/review/ilona-buchem/> [Open access]

Regional Overview: North America with focus on the United States of America

The United States has built a well-funded university robotics research environment, and this shows in how humanoid robots are being used and studied at university level. Stanford, MIT and Carnegie Mellon are among the institutions where significant humanoid robot research is concentrated. These institutions attract substantial investment and work in a very competitive environment. For a university leader, deploying a humanoid robot can be both a research decision and a signal about where the institution positions itself. Depending on the approach and the intention of the university leadership, humanoid robots can become a tool for improving visibility, attracting talent, and differentiating the institution in a competitive landscape.

The more interesting question is what happens outside the elite institutions. Efforts to extend access beyond flagship research centres mean that underfunded universities are increasingly encountering this technology as well. But giving the tool is not enough. It is equally important to ensure that professional robot maintainers are in place, with a full understanding of the usage opportunities and technical limitations. A clear idea of the purpose the tool will serve, and how it can be properly applied within the educational programme, is also a crucial element for embedding humanoids into the daily life of universities. If those parts are missing, the robot could become a very expensive clothes hanger. It appears in the budget books as a significant investment. But it never starts generating value because the embedding and the culture part were never addressed. This is not a hypothetical risk. It happens in industrial environments many times. Very expensive software gets purchased, but there is not enough budget left to train the operators. The same can happen with humanoids if the tool arrives to the Universities without the thinking behind it.

Regional Overview: Europe

The integration of humanoid and social robots into European university education has gained significant momentum over the past decade. Institutions such as the Berlin University of Applied Sciences (BHT), the University of Plymouth, and HU University of Applied Sciences Utrecht are among the leading pioneers in this field. At BHT, Professor Ilona Buchem has developed classroom projects utilizing NAO, Pepper, and Furhat robots to support various instructional contexts [8].

In Utrecht, the Social Robotics exchange programme introduces students to platforms including NAO, Pepper, RUBI, and Keepon [9]. At the University of Lübeck, a Pepper robot was connected to the ChatGPT large language model and deployed in a classroom setting [10]. The University of Plymouth's Centre for Robotics and Neural Systems operates with iCub, NAO, and Pepper platforms for tutoring experiments and human-robot interaction studies [11]. In France, the LAAS-CNRS laboratory at the University of Toulouse has developed the TALOS humanoid robot, with its Gepetto team focusing on anthropomorphic movement generation [12].

The robots deployed across these institutions serve a broad range of educational purposes. At BHT, NAO, Pepper, and Furhat support students in languages, mathematics, business, and project management [8]. The Utrecht programme specifically investigates how robots can assist primary school teachers and improve children's learning performance [9][13]. At the University of Lübeck, the Pepper robot guided small student groups through a subject in an interactive dialogue format, handling structured lesson delivery autonomously [10]. The LAAS-CNRS Gepetto team applies its humanoid platforms toward movement research that could form the foundation for future educational and assistive applications [12].

The recurring challenge across institutions is that current robot capabilities limit their potential role in education, due to insufficient contextualised speech recognition and a limited understanding of nuanced social interaction. Therefore, the teaching assistant role could be an initial first step for robots rather than an independent instructor role [11]. Looking ahead, researchers aim to develop more adaptive robotic tutors. The goal is to increase robots' capability of personalising their behaviour in real time. Their behaviour adjustments are tailored to individual learner profiles and emotional states [13]. The LAAS-CNRS Gepetto team is working toward equipping humanoid platforms with movement memory powered by artificial intelligence, which could eventually enable more natural and responsive educational interactions [12]. The broader consensus across these institutions is that the most effective outcomes arise from blended human-robot teaching models, where robots handle structured, repetitive tasks while human educators focus on complex and relational aspects of learning [8][10].

[8] Buchem, I. (2023. June 13.): Meet Humanoid Robots NAO, FURHAT & PEPPER: An Interview with Humanoid Robots Expert Professor Ilona Buchem. *AACE Review*. <https://aace.org/review/ilona-buchem/>

[9] HU University of Applied Sciences Utrecht (n.d.): *Social Robotics – Exchange Programme*. <https://www.internationalhu.com/exchange-programmes/social-robotics>

[10] Sievers, T. (2025): *A Humanoid Social Robot as a Teaching Assistant in the Classroom* [Preprint]. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2508.05646>

[11] University of Plymouth (n.d.): *Robots Will Never Replace Teachers but Can Boost Children's Education*. Centre for Robotics and Neural Systems. <https://www.plymouth.ac.uk/news/robots-will-never-replace-teachers-but-can-boost-childrens-education>

[12] LAAS-CNRS (n.d.): *Robotique – Équipes de Recherche. Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes*. Université de Toulouse. <https://www.laas.fr/fr/recherche/rob/> [Open access]

[13] Smakman, M. (2022): *Robots in Education: Implementing Robot Tutors in a Morally Justified Way*. [Doctoral dissertation, HU University of Applied Sciences Utrecht]. https://www.hu.nl/-/media/hu/documenten/onderzoek/projecten/matthijssmakman_thesis.pdf

[14] European Commission (2021–2027): *Digital Education Action Plan 2021–2027*. Publications Office of the EU, Luxembourg. <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan> [Open access]

[15] European Parliament and Council of the EU (2024): Regulation (EU) 2024/1689 – Artificial Intelligence Act. *Official Journal of the European Union*, 12 July 2024. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai> [Open access]

[16] Council of Europe (2024): Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, *Democracy and the Rule of Law. Council of Europe Treaty Series* No. 225, Vilnius, 5 September 2024. <https://rm.coe.int/1680afae3c> [Open access]

[17] Presno Linera, M. Á.; Meuwese, A. C. M. (2025): Regulating AI from Europe: a joint analysis of the AI Act and the Framework Convention on AI. *The Theory and Practice of Legislation*, 13., (3.). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20508840.2025.2492524> [Open access – Q1 Taylor & Francis/SSCI]

The broader EU digital education policy context is established by the Digital Education Action Plan 2021–2027, which provides a strategic vision for high-quality, inclusive and accessible digital education across member states and calls for education systems to adapt to the digital age [14]. Building on this foundation, Europe also adopted two binding instruments in 2024 that together create a more specific regulatory framework. The first is the EU Artificial Intelligence Act, Regulation (EU) 2024/1689 [15]. The second is the Council of Europe Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, CETS No. 225 [16]. They are not the same thing, they work together, but they cover different ground [17]. European universities have to consider this legal framework when planning humanoid robot deployments. The EU AI Act takes a risk-based approach, placing every AI system into one of four categories: unacceptable risk, high risk, limited risk, and minimal risk [15]. AI systems used in education that may influence a student's access to education or their professional pathway are explicitly classified as high risk under Annex III of the Act. High risk does not mean prohibited. It means regulated. Before deployment, a conformity assessment is required. A risk management system must be in place. Data governance must be documented. Human oversight must be built in. And staff and students must have sufficient AI literacy. In practice, this can be followed by universities. These institutions are already used to operating under strict internal regulations, ISO certifications and government quality standards. The AI Act obligations – risk documentation, staff training, operational procedures – are in many cases similar to what universities are already doing for other certifications. The key is embedding the new AI-specific requirements into the existing operation manual. That is normal compliance work. It requires effort, but it is manageable. On the practical side, this approach also requires university staff and students to build AI-related knowledge. This is the competence that will be required for navigating the opportunities of an AI-shaped world. The window for deployment is open, but the compliance work must come first.

Barriers and Ethical Considerations

The biggest barrier is not the technology. The technology is advancing fast. The biggest barrier is what happens after the robot arrives. A humanoid robot is an expensive investment. It looks impressive in a brochure and it appears in the budget as a significant line item. Finding the right purpose and role in pedagogy will be a crucial element in embedding humanoids into university life. Universities face the same risk as any organisation that invests in technology without a clear implementation plan. The tool and the thinking behind the tool must arrive together.

On the technical side, there are real limits that the literature documents. Speech recognition accuracy remains a genuine challenge, particularly for non-standard accents [7]. The novelty effect is well documented, students are enthusiastic in the first session and noticeably less engaged by the third [6].

At the same time, a meta-analysis of 17 controlled studies confirms that educational robots produce a moderate but significantly positive effect on student learning outcomes overall, with the strongest gains observed at secondary and higher education levels [18]. These findings suggest that planning the deployment carefully, with realistic expectations, matters a lot. A robot that is available 24 hours a day and repeats the same explanation with the same patience every time can be genuinely useful. But the technical reliability needs to be there to make that value real.

Physical safety is a barrier that is easy to underestimate. A humanoid robot operating in a space with students is a different category of risk from a laptop or a projector. It moves. It has mass. If something goes wrong, the consequences are physical. In practice, the question of what happens when something goes wrong must be answered before deployment, not after.

One concern that comes up in every region is the role of the human teacher. A humanoid robot is not a replacement for a teacher. It cannot be. What the robot can do is handle the repetitive, the patient, the all-day-available parts of teaching support, freeing the human teacher to focus on what only a human can do. Keeping this in mind is important for any institution thinking about a deployment [4].

[4] UNESCO (2021): Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. *UNESCO General Conference, 41st Session*, Paris. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137> [Open access – 193 member states]

[6] Donnermann, M.–Schaper, P.–Lugrin, B. (2022): Social robots in applied settings: A long-term study on adaptive robotic tutors in higher education. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 9, 831633. <https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2022.831633/full> [Open access – Frontiers/SCIE]

[7] Huang, G.–Moore, R. K. (2023): Using social robots for language learning: are we there yet? *Journal of China Computer-Assisted Language Learning*, 3., (1.), pp. 208–230. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/jccall-2023-0013/html> [Open access – De Gruyter]

[18] Wang, K. et al. (2023): The effectiveness of educational robots in improving learning outcomes: A meta-analysis. *Sustainability*, 15., (5.), pp. 46–37. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4637> [Open access – Q1 MDPI/SSCI]

Conclusions

This article set out to give a global overview of humanoid robot adoption in higher education, drawing on examples from Asia Pacific, North America and Europe. The goal was not only to document what is happening, but to show what it means for universities that have not yet decided whether and how to engage with this technology.

The argument for humanoid robots over screen-based solutions rests on the physical dimension. Anything that needs to be demonstrated, corrected and adjusted in a three-dimensional space is where the humanoid belongs. Asia, led by Japan and South Korea, has the longest deployment history, shaped by a cultural affinity with structured, process-based thinking. The strongest evidence from this region comes from language learning, where robots reduce the social pressure of making mistakes. North America has concentrated its humanoid robot research in elite institutions. Europe is active in terms of regulatory development, with a compliance framework now in place that universities must navigate before deployment. At the same time, several European universities are already running humanoid robot programmes.

Across all three regions, a consistent finding emerges. The biggest barrier to successful humanoid robot adoption is not the technology itself. It is what happens after the robot arrives. Purpose, embedding, training and institutional culture matter as much as the hardware.

Looking ahead, researchers are working toward more adaptive robotic tutors that can personalise their behaviour in real time based on individual learner profiles and emotional states. Platforms are being developed toward movement memory capabilities powered by artificial intelligence. These platforms are intended to make robot-human educational interactions far more natural and responsive.

Technology costs are falling, the regulatory framework is being implemented, and the use cases are still being discovered. The window for thoughtful, well-prepared adoption is open for all universities.

Improving the Human Resources Management System

Abstract: This article discusses how HRMS is no longer just a technology but part of a company's strategy. It is part of the company's strategy. Human resource management is not just about documentation. HRMS promotes innovation and rapid decision-making. All this helps to maintain the competitiveness of the company.

This study aims to understand how modern HRMS systems work. It is necessary to identify which system elements are weak. Highlighting what needs to be improved shapes research. In this research used different approaches in the analysis of article. This helped to understand which systems are more effective.

So, the integration of analytics into HRMS is an important process. The article also presented information on the reliability of databases and the use of interfaces. All this clarified the direct impact of decisions on the attitude of employees to the system.

It was concluded that HRMS modernization does not end only with increasing productivity. This is examined in the article, where it helps to create a culture that values people and data. Transparency and analytics make management clear and fair. This increases trust and efficiency within the company. It creates a greater sense of trust and participation in employees.

Improving HRMS systems is a necessity for the future. Organizations that correctly combine the human factor with technology in this area will have a more sustainable position.

Most importantly, such digital HR approaches are not only satisfied with increasing efficiency. They also increase employee motivation, trust and a sense of belonging. Future research in this area is not limited to technology. In turn, it also studies the ethical approach and the impact of artificial intelligence on decision quality. All processes should explore the formulation of data-driven human capital strategies.

* *Azerbaijan State University of Economics (UNEC)*
Email: abbasova.fatima.vugar.2024@unec.edu.az
ORCID: 0009-0002-8941-4332

Keywords: Human Resource Management System (HRMS), digital transformation, organizational efficiency, talent management, process optimization, HR development.

Összefoglalás: A jelen tanulmány kiindulópontja az a megállapítás, mely szerint a humánerőforrás-menedzsment (HRMS) már nem csupán egy technológia, hanem a vállalati stratégia fontos eleme is. A humánerőforrás-menedzsment nem csak a dokumentációról szól. A HRMS támogatja az innovációt és a gyors döntéshozatalt. Mindez segít fenntartani a vállalat versenyképességét.

A tanulmány célja, hogy megértse, hogyan működnek a modern HRMS-rendszerek, illetve azonosítsa a gyenge rendszerelemeket a fejlesztésre szoruló területek kiemelése mellett. A kutatás során alkalmazott különböző megközelítések rávilágítanak arra, hogy mely rendszerek tekinthetők hatékonyabbnak.

Az analitika integrálása a HRMS-be fontos folyamat. A jelen tanulmány ezért az adatbázisok megbízhatóságáról és az interfészek használatáról is közöl információkat annak érdekében, hogy tisztázza a döntések közvetlen hatását arra, hogy az alkalmazottak hogyan viszonyulnak a rendszerhez.

A kutatás tanulsága, hogy a HRMS modernizációja nem ér véget kizárólag a termelékenység növelésével. Fontos cél az is, hogy emellett növeljék az alkalmazottak motivációjának, bizalmának és szervezeti identitásának az érzését. Az átláthatóság és az analitika egyértelművé és igazságossá teszi a vezetést. Ez növeli a bizalmat és a hatékonyságot a vállalatban belül. A HRMS-rendszerek fejlesztése a jövő elengedhetetlen része. Azok a szervezetek, amelyek ezen a területen helyesen ötvözik az emberi tényezőt a technológiával, fenntarthatóbb pozícióba kerülnek.

A legfontosabb, hogy az ilyen digitális HR-megközelítések nemcsak a hatékonyság növelésével elégednek meg. Növelik az alkalmazottak motivációját, bizalmát és a szervezeti identitás érzését is. A jövőbeli kutatások ezen a területen nem korlátozódnak a technológiára, de az etikai megközelítést és a mesterséges intelligencia döntéshozatalra gyakorolt hatását is vizsgálják. Minden folyamatnak fel kell tárnia az adatvezérelt humántőke-stratégiák kidolgozását.

Kulcsszavak: Emberi Erőforrás Menedzsment Rendszer (HRMS), digitális transzformáció, szervezeti hatékonyság, tehetségmenedzsment, folyamatoptimalizálás, HR-fejlesztés.

Introduction

The rapid pace of technological change and structural changes in the labor market in recent times, recent research indicates that, are forcing organizations to take a more agile and systematic approach to human resource management [1]. Competition is increasing every day. On the one hand, remote and hybrid work models are spreading, and on the other hand, employee expectations are changing. This makes human capital management both more complex and more strategically important.

It is no longer possible to view IRIS systems as tools for paperwork and personnel accounting, as it was before. These systems have now become the main “helpers” of organizations. Because they are very important in terms of decision-making, planning and adaptation to operational changes.

In the current competitive environment, IRISs facilitate important functions such as recruitment, training and development, performance appraisal and payroll management. The goal of these systems is to automate work. However, in real situations, these systems are often not used to their full potential [2]. Recent studies show that digital transformation and the use of high technologies have significantly increased management efficiency. This process continues to help organizations achieve sustainable growth. Recent studies show that digital transformation and the use of high technologies have significantly increased management efficiency. This process continues to help organizations achieve sustainable growth [3].

Why? Because in many organizations, these systems cannot manage data effectively, their interfaces are difficult, and there are problems in integrating with other corporate programs. Moreover, the analysis tools are also weak. Considering all this, it seems important to review these systems and develop them based on modern technologies.

In the rapidly changing labor market, digitalization and globalization, there is a great need for companies to manage human resources more correctly. Traditional methods are no longer valid. Because working conditions have changed. Employees want more flexibility. They want to constantly learn. The flow of personnel has also increased. This necessitates the transition to smarter, technology-based systems.

Human Resource Management Systems are no longer just a management tool. I have come to the conclusion that these systems are the main mechanism for maintaining the competitiveness of the organization, adapting to the challenges of the modern era, and making strategic decisions.

[1] Alqarni, K. (2023): The effect of electronic human resource management (E-HRM) systems on achieving a sustainable competitive advantage. *Sustainability*, 15., (23.). <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/23/16382>

[2] Huang, L. (2020): Improvement in human resource management process: A case study in BP. *SSRN Electronic Journal*.

[3] Salehzadeh, G. S.–Aghamaliyeva, Y. C.–Abdulazimova, A. F. (2025): Stimulating economic growth through high technologies: The case of the Republic of Azerbaijan. *UNEC Journal of Economics and Management Advances*, 1., (1.), pp. 30–45.

[4] Gromova, O. N.–Latfullin, G. R.–Rustamov, K. N.–Sundukova, G. M. (2021): Improving the human resource management system in the Moscow region municipality. In: *Proceedings of the Conference on Current Problems of Our Time: The Relationship of Man and Society (CPT 2020)*. pp. 233–236. Atlantis Press. <https://www.atlantis-press.com/article/125953263.pdf>

[5] Chen, H.–Cui, X. (2022): Design and implementation of human resource management system based on B/S mode. *Procedia Computer Science*, 208., pp. 442–449.

[6] Aliyev, M.–Hamidov, H. (2023): *Human Resource Management in Business*. Baku: University of Economics Publishing.

Find this idea in the research of Gromova et al.: IRIS systems not only modernize HR procedures, but also fundamentally change the interaction between the employee and the employer [4].

This issue, has also become more relevant against the background of the development of the digital economy and the increase in corporate social responsibility. Therefore, main goal in this article is to identify the main areas for improving IRIS – based on both scientific literature and real practice. For this purpose, used strategic analysis tools such as literature review, comparative analysis, case analysis, and SWOT and GAP.

The functional and technical aspects of modern HRMS systems should be seriously considered. A number of problems arise during the implementation of these systems. The aim of research was to find these gaps. As well as to overcome them with innovative solutions [5]. More specifically, this research focuses on technological agility, data analysis tools. It turned out that these systems, when properly configured, have a positive effect on labor productivity.

The results indicate that this research has not remained just theoretical. On the contrary, approaches that can be applied in real life and have practical value have been put forward. These systems increasingly, such studies can provide serious support to enterprise managers not only from a technical point of view, but also from a strategic management point of view. Such methods can provide organizational leaders with a broader perspective when making decisions.

Historical and Theoretical Background of HRM Systems

Recent research indicates that, the concept of human resource management began to take shape precisely at the beginning of the 20th century. At that time, industrialization was developing very rapidly. Companies were growing, the number of employees was increasing, and therefore there was a need for more systematic and controlled personnel management [6]. The timely arrival of employees, the correct distribution of tasks, and general discipline were so important that this area gradually rose to the level of a special department. In the early stages, the main goal was not at all the development of employees.

The main goal at that time was only to collect documents, control the time schedule, and calculate salaries. The human resources (HR) department performed more of a support function and was not considered part of strategic decisions [7].

However, over time, this view began to change. Companies began to understand that not only technology and finance, but also the human factor are the main factors of organizational success. It was at this stage that the concept of “human capital” appeared. I came to the conclusion that this turning point paved the way for organizations to perceive personnel not only as executives, but as strategic resources.

In the second half of the 20th century, a new stage began. The development of computer technologies played a major role in the history of HR systems. Paper-based systems gradually began to become obsolete. Databases replaced them. Automated systems were established. Employee lists became electronic [7]. Leave schedules were also part of the system. Payroll payments were now made by software. This was the first step in HR technology.

In the 1970s–1980s, the first HR programs appeared. They were simple. They mainly kept payroll and working hours. But they became the basis for future large HR platforms. It was considered a great innovation for that time. It showed what technology was capable of in HR.

Companies understood that investing in human resources is important. Future success depends on it. Human capital is not a burden. It is an asset. Therefore, more attention was paid to training. Motivation and the work environment also came to the fore.

Another breakthrough occurred in the 21st century. The Internet entered everyday work. Cloud systems spread. Artificial intelligence also joined the processes. A major change occurred in HR. Evidence suggests that, HR is no longer just an office program. It is a broader system.. These systems can work online, training is conducted remotely, and employee performance data is analyzed instantly.

Today’s HR management is no longer based solely on the experience and instinct of managers. Decisions are now based on metrics, reports, and real-time data. I have come to the conclusion that this transformation symbolizes the transition from simple clerical work in the HR field to a digital ecosystem focused on the strategic goals of the organization [5].

[5] Chen, H.–Cui, X. (2022): Design and implementation of human resource management system based on B/S mode. *Procedia Computer Science*, 208., pp. 442–449.

[7] Asif, A.–Muzammil, M.–Shafi, K.–Rehman, F. (2025): The impact of digital transformation on HR practices: A systematic literature review. *SSRN*. <https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/5376835.pdf?abstractid=5376835>

[5] Chen, H.–Cui, X. (2022): Design and implementation of human resource management system based on B/S mode. *Procedia Computer Science*, 208., pp. 442–449.

In fact, the History of Human Resources Development shows that as the level of technology increases, the bond between people and the organization's strategy also strengthens. At each stage, HR systems have evolved to become a more valuable and strategic function.

This evolutionary process can be presented more clearly in the table below:

**Figure 1. Evolutionary Stages of HRIES
(Human Resource Information and Evaluation Systems)**

Evolution Stage	Years	Description
1. Integrated HR Systems	1980s	Integration of HR functions into a unified platform
2. Client-Server Architecture	1990s	Deployment of HRIES on local servers
3. Cloud-Based HRIES	2000s	Achieving flexibility, scalability, and cost efficiency
4. Mobile HRIES	2010s	Ensuring accessibility of HRIES through mobile technologies
5. Artificial Intelligence	Present	Development through predictive analytics and personalized employee experiences

Source: Compiled by the author based on [5].

Evidence suggests that, the 1980s were an important starting point in the development of human resource management systems. At that time, organizations were already beginning to understand that personnel management was not just a paper job. Therefore, the trend of creating unified systems that brought together various HR functions emerged. These first integration attempts laid the foundation for future HRIES systems.

As the 1990s passed, more serious changes occurred in technology. One of the most important turning points was the introduction of client-server architecture. What did this mean? HR systems could now be placed on central servers. That is, it became easier and faster to access and manage the system.

The spread of HRMES is the result of that technological leap. Then the interfaces changed. They became more convenient. They became more intuitive. They brought great convenience to HR professionals.

At the beginning of the 21st century, the cloud came to the fore. Studies say: it gave new life to HRMES. Companies were no longer dependent on a local server. HR information was accessed from anywhere, at any time. It was a great advantage for global companies. Because communication with a distributed team was more efficient [6].

The 2010s opened the era of mobile HRMES. Smartphones spread. So did mobile applications. HR management changed. HR specialists and employees opened the system outside the office. Leave applications were submitted by phone. Performance reviews were also done. Signing up for training was also done [8]. The result? More agile HR. More efficient processes.

In recent years, a new phase has begun: AI-powered HRMES. This phase is a game changer. Moreover, the experience is personalized. Not everyone is evaluated by the same yardstick. The system looks at the need.

In conclusion, I can say that these stages – all the changes that have occurred since 1980 to the present day – show very clearly how HRMES has evolved. Starting from simple registration programs, now reached intelligent systems based on artificial intelligence. And each technological step has tried to respond to the changing needs of organizations. At the heart of this evolution has always been the same idea: to manage human resources more efficiently, more flexibly, and more strategically [9].

Current State of Human Resource Management and Its Challenges

The nature of human resource management has evolved over the past decades. While HR departments used to perform technical and accounting functions such as personnel documents, payroll, and recruitment, today their main task is to develop human capital capable of creating added value, creating innovation, and strengthening corporate culture [10].

The main changes that have influenced the transformation of HRM systems include: – the digitalization of all business areas (the introduction of HR analytics, e-HRM, and automated platforms);

[6] Aliyev, M.–Hamidov, H. (2023): *Human Resource Management in Business*. Baku: University of Economics Publishing.

[8] Hampel, K.–Hajduova, Z. (2023): Human resource management as an area of changes in a healthcare institution. *Risk Management and Healthcare Policy*, 16., pp. 31–41. <https://www.dovepress.com/article/download/80841>

[9] Wang, T.–Li, N.–Li, H. (2021): Design and development of human resource management computer system for enterprise employees. *PLoS ONE*, 16., (12.), e0261594.

[10] Cho, W. (2023): Human resources analytics for public personnel management: A thematic review. *Administrative Sciences*, 13., (2.). <https://www.mdpi.com/2076-3387/13/2/41>

[10] Cho, W. (2023): Human resources analytics for public personnel management: A thematic review. *Administrative Sciences*, 13., (2.). <https://www.mdpi.com/2076-3387/13/2/41>

[11] Shabdin, N. I. (2024): The GAP analysis: Fundamentals for digitalization strategic planning. *HRMARS*. https://hrmars.com/papers_submitted/20580/the-gap-analysis-fundamentals-for-digitalization-strategic-planning.pdf

- the increasing role of emotional intelligence and soft skills;
- the desire for flexibility: remote work, flexible schedules, and projects;
- the increasing importance of corporate ethics, inclusiveness, and sustainable development;
- the need for a personalized approach to training and development.

Current trends show that many companies are trying to implement analytical solutions in HR management. For example, according to a study conducted in South Korea, the use of HR analytics reduced employee turnover by 20% and increased employee satisfaction by 15% through personalized career development strategies [10].

However, despite this positive trend, serious problems remain:

- Weak integration of HRM into the overall organizational strategy.
- Insufficient digital maturity in small and medium-sized businesses.
- A formal approach to assessing the effectiveness of HR functions.

The lack of a unified talent development methodology in the post-Soviet space [11]. Thus, the need to improve HR systems is not a theoretical abstraction, but a response to real socio-economic and organizational needs.

Problems with Current HR Management Systems and the Need for Improvement

Despite the growing awareness of the importance of human capital, HR systems in many organizations still face a number of chronic problems. One of the main problems facing organizations today is the clearly felt gap between human resource management and strategic management. I want to emphasize this especially because in many companies the HR department is still perceived only as a support function. That is, it is simply engaged in documentation, recruitment and payroll. HR is either approached too late or not included at all in the strategic planning stage [11].

This approach, leads to serious consequences. If HR decisions are not aligned with the larger goals of the organization, they are very unlikely to be effective. In other words, if decisions made from recruitment to training and development plans are not aligned with corporate strategy, the results will be poor.

If HR decisions are based only on personal impressions and daily requirements, this will not bring long-term success [1].

Evidence suggests that, it is possible to divide the typical problems encountered in existing HR management systems into several main groups:

- outdated recruitment and hiring models;
- low level of process automation and digitalization;
- insufficient internal training and career planning;
- weak link between motivation and performance;
- lack of tools to evaluate the effectiveness of HR decisions.

Organizations with traditional hierarchies often face bureaucratization of HR processes. The main problems in HR systems are not limited to technical shortcomings. These shortcomings often affect daily operations as well. For example, paperwork is still often too time-consuming. And appraisal systems are either formal in nature or not based on real results. Even worse, an important process such as receiving feedback from employees is sometimes either forgotten or carried out too superficially.

Here is an example to illustrate the point. 150 companies participated in a survey conducted in Russia. The result is interesting, as more than 60% of respondents said that it is important to update HR processes from scratch. This includes recruitment procedures. The same applies to the transition to electronic platforms. [4]. This figure is thought-provoking. There is widespread dissatisfaction with the HR sector.

These difficulties are more acute in post-Soviet countries. The reason is simple: budgets are low. Administrative rules are resistant to change. Results-oriented thinking is also weak. In response to the question of whether there is progress, we can say yes. For example, steps are being taken in digitalization. However, HR development in the public and private sectors has not yet been systematically established.

[1] Alqarni, K. (2023): The effect of electronic human resource management (E-HRM) systems on achieving a sustainable competitive advantage. *Sustainability*, 15., (23.). <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/23/16382>

[4] Gromova, O. N.–Latfullin, G. R.–Rustamov, K. N.–Sundukova, G. M. (2021): Improving the human resource management system in the Moscow region municipality. In: *Proceedings of the Conference on Current Problems of Our Time: The Relationship of Man and Society (CPT 2020)*. pp. 233–236. Dordrecht: Atlantis Press. <https://www.atlantispress.com/article/125953263.pdf>

[5] Chen, H.–Cui, X. (2022): Design and implementation of human resource management system based on B/S mode. *Procedia Computer Science*, 208, pp. 442–449.

[12] Panjaitan, E.–Rupianti, R.–Sukomardjo, T.–Astuti, A.–Sutardjo, A. (2023): The role of human resource management in improving employee performance in private companies. *Komitmen: Jurnal Ilmiah Manajemen*, 4., (1.), pp. 225–233. <https://www.researchgate.net/publication/368677053>

Analytical Section: Current Challenges and System Evaluation

What is the most common problem in HRMES? Inefficient data management [12]. The company is growing. Employee data is increasing. Old HRMES cannot organize this accumulated data properly. What is the result? Errors occur. The same data is repeated. Work is slowed down. HR department productivity decreases [5]. What is the solution? Systems with data cleansing and enrichment. Seamless integration with other programs. That is, more advanced HRMES solutions are needed [12]. To assess the current effectiveness of HR management systems, an analytical framework was applied using SWOT and GAP methodologies.

Figure 2. SWOT Analysis of Human Resource Management System (HRMS)

SWOT	Content
(Strengths)	– Centralized employee database – Automation of routine HR processes (time tracking, leave, reporting) – Improved integration with other IT systems (accounting, ERP) – Greater transparency in HR management – Possibility of expanding the scale of the system
(Weaknesses)	– Employee resistance to change – Implementation and maintenance costs – Insufficient level of digital literacy among employees – Potential data security issues – Need to adapt to local laws and regulations
(Opportunities)	– Application of analytics and artificial intelligence to predict HR indicators – Use of mobile applications for employees – Development of remote and hybrid forms of work – Cooperation with external HR service providers – Increasing employer attractiveness (employer branding)
(Threats)	– Rapid changes in labor laws – Cyber threats and personal data breaches – Competitors with more advanced HR systems – Layoffs of key employees – Difficulty integrating with legacy systems

Source: Compiled by the author based on (Suksup et al., 2020) and other studies.

SWOT EXPLANATORY NOTES:

Strengths

A centralized employee database eliminates duplicate records and errors. Automating processes such as vacation and time tracking, report generation, reduces the workload of the HR department and reduces the likelihood of human error. Integration of the system with accounting and ERP improves data consistency between departments, and transparency of processes increases trust in HR within the organization. Scalability allows you to grow with the organization.

Weaknesses

Any change creates resistance among employees - fear of innovation and uncertainty about using new tools. The implementation of the system requires significant investment - licenses, installation, training and support. One of the challenges in the process of implementing HR technologies is the lack of sufficient digital skills of employees. If employees do not fully understand how to work with these systems or have a distrustful attitude towards technology, this slows down the implementation of changes. Even a well-designed system will not have the desired effect if the user cannot use it effectively. If security is not set up in a timely and correct manner, personal information in the HR system will be leaked. This is a legal risk. Moreover, it is a blow to the organization's reputation. The system must also comply with local laws. Sometimes it requires additional adaptation.

Opportunities

Today, HR systems are not only about collecting data. Analytical modules are expanding. Machine learning is being added. It is possible to make predictions. Risks can be seen in advance. It is possible to provide personalized recommendations to employees. Recent research indicates that, this line will only get stronger. These technologies, allow for more accurate and proactive decisions in human resource management. For example, many leading companies already use machine learning models to predict the likelihood of employees leaving the company. That is, the systems can analyze employee behavior, work results, and even the level of motivation to predict which employees are at risk of leaving the company [9]. Mobile applications allow employees to manage leave and requests via their smartphones, increasing convenience. Hybrid work and remote models strengthen the role of digital HR tools.

[9] Wang, T.-Li, N.-Li, H. (2021): Design and development of human resource management computer system for enterprise employees. *PLoS ONE*, 16., (12.), e0261594.

[11] Shabdin, N. I. (2024): The GAP analysis: Fundamentals for digitalization strategic planning. *HRMARS*. https://hrmars.com/papers_submitted/20580/the-gap-analysis-fundamentals-for-digitalization-strategic-planning.pdf

[13] Chvarkov, V. O.– Gromova, N. V. (2024): Integrated HR data systems (HRIS) in personnel management functions: Evolution, approaches, advantages, and challenges. *Personnel Management and Intellectual Resources in Russia*, 13., (1.), pp. 62–68. <https://naukaru.ru/temp/0d5fcdd0580bbaa9c425cb96560d4019.pdf>

Cooperation with external HR providers (outsourcing, cloud solutions) expands functionality. Finally, a modern HRMS can become an element of the employer brand, demonstrating the modernity and technological progress of the organization.

Threats

Labor laws can change (e.g. requirements for personal data, security, etc.) and the system must be ready to adapt. Cyber threats are a significant risk when storing large amounts of personal data [13]. Competitors using more modern solutions can gain a personnel advantage. Laying off key employees can lead to the loss of knowledge necessary for maintaining the system or its future development. Integration with legacy IT systems can also be technically complex and expensive.

Figure 5. GAP Analysis of Human Resource Management System (HRMS)

Aspect / Component	Current system	Desired system	Gap
Process automation	Partial automation (vacations, time tracking)	Full automation of HR processes, including evaluation, training, and career planning	Manual operations, lack of unified modules
IT integration	Integration limited to core systems	Full integration with ERP, CRM, and financial systems	Lack of APIs or communication interfaces
Analytics and reporting	Standard reports without predictive models	Advanced analytical modules, forecasting, data visualization	No predictive analytics tools
User interface	Outdated interface, poorly user-adapted	Intuitive UX/UI, mobile applications	Poor usability, low mobile adaptability
Data security	Basic protection — passwords and access limits	Advanced protection — encryption, audits, two-factor authentication	Vulnerabilities, potential data leakage risks
Flexibility and scalability	System not fully scalable	Modular design with easy functional expansion	Difficulties in adding new modules and scaling

Source: Compiled by the author based on [11] and other studies.

GAP ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS:

Process Automation

In the current situation, many processes are still performed manually or through auxiliary tools. Any system assumes that almost all HR processes (assessment, training, talent pool, recruitment, etc.) will be automated. The gap lies in the lack of automation modules and standardized business processes. Recommendation: review current processes, determine priority modules for automation and gradually implement them, starting with the most resource-intensive procedures.

Integration with other IT systems

The current system integrates only with core systems (for example, accounting). Any system is characterized by the fact that HRMS dynamically exchanges data with ERP, CRM, training systems, etc. The gap is the lack of API, poor modularity and data duplication. Solution: use exchange standards (REST API, web services), create integration middleware and test the integration in stages.

Analytics and Reporting

Currently, reports are the mainstay—account counts, vacations, etc. Any system offers KPI visualization, turnover forecasting, etc. The gap is the lack of analytics. Recommendation: Implement BI modules, use analytical languages (SQL, Python), integrate dashboards, and train HR professionals in analytics [14].

User interface and usability

The existing interface is often complex and not mobile-friendly. The desired situation is a simple, user-friendly interface and mobile apps for employees and managers. The gap is UX/UI that does not meet modern standards. Solution: Conduct a UX audit, commission a redesign of the interface, and ensure mobile responsiveness.

Data Security

Recent research indicates that, one of the most striking problems in currently used HR systems is the low level of security. These systems are mainly limited to role-based access and work with some initial measures. However, this is no longer enough in the face of today's risks. For example, modern mechanisms such as encryption, security auditing, automatic backups and two-factor authentication are either absent or implemented very superficially in the system [14].

[14] Zolak Poljašević, B.–Šormaz, D. (2025): Human resource management in public administration: Reform requirements and resistance to change. *Administrative Sciences*, 15., (2.). <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/321238/1/admsci-15-00094.pdf>

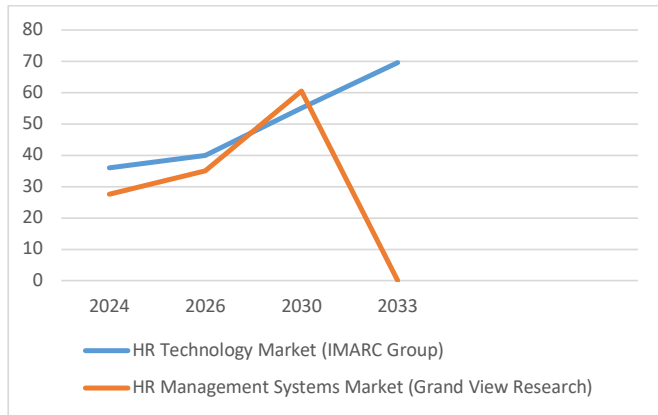
This situation, creates a serious vulnerability. Because security gaps act as an open door for outside interference. I have come to the conclusion that standard measures alone cannot be sufficient to solve this problem. Companies are advised to conduct penetration tests, regularly update the system, and also periodically conduct real security audits. Only then will HR systems work reliably.

Flexibility is important. Scalability is too

Existing systems are usually written for small and static structures. When the company grows, branches increase, functions expand — the system should also adapt without problems. Unfortunately, this is not the case now. What is the main gap? There is no modular architecture. To change one part, they often rebuild the entire system. And this is time. Cost. Risk. Recommendation: microservice-based, modular architecture. New functions can be added without touching the main system. Existing workflows are not disrupted.

What are the trends? HR technology is moving rapidly. Digital transformation is now the norm. Data analytics is too. Artificial intelligence is too. These are not only for automation. They are also used for strategic, data-driven decisions. Forecasts from IMARC Group and Grand View Research show that the global HR technology market will grow rapidly in 2024–2033. This dynamics indicates both market interest and the strategic need for HR systems.

Figure 4. Global HR Technology and HR Management Systems Market Growth (2024–2033)



Source: Compiled by the author based on data from IMARC Group (2024) and Grand View Research (2024).

The graph above also clearly shows that: the global HR technology market was worth approximately \$36 billion in 2024 and is projected to reach \$70 billion by 2033 [15]. The HRMS market was worth \$27.5 billion in 2024 and is expected to exceed \$60 billion by 2030.

Ways to Improve HR Management

1. *Digitalization and HR analytics*

E-HRM is the most promising development path for human resource management. The mentioned systems do not only automate tasks. They also do more. As Hampel (2023) says, this electronic system collects data, analyzes employee behavior and helps to make the right decisions [8]. Human resource management is no longer emphasized as just an executive function. This process has become a strategic tool. All this, in turn, reduces costs. Thanks to the technologies we mentioned, the interaction between management and employees has become efficient. Everything can be monitored in real time.

This electronic process is also applied in Turkey. Many companies in Turkey use competency analysis and KPIs. This helps them understand where employee training is needed.

2. *Structural Reform of HR Departments: What is Needed?*

These systems increasingly, transformation in HR does not happen by simply implementing technology. HR structures themselves must also change. Traditional, rigid and centralized management models are no longer suitable for today's dynamic business environment. Therefore, a flexible and adaptive HR model must be established. This new model should focus on the following key objectives:

- centralization of strategic functions (development, assessment, planning);
- decentralization of operational tasks;
- implementation of agile teams and a project-based approach;
- involvement of line managers in HR decisions.

[8] Hampel, K–Hajduova, Z. (2023): Human resource management as an area of changes in a healthcare institution. *Risk Management and Healthcare Policy*, 16., pp. 31–41. <https://www.dovepress.com/article/download/80841>

[15] Mozhaeva, T. (2019): *Improvement of human resource management in the quality management system of the enterprise. MATEC Web of Conferences*, 297, 04005.

[16] Dieleman, M.–Gerretsen, B.–Van der Wilt, G. J. (2009): Human resource management interventions to improve health workers' performance in low- and middle-income countries: *A realist review. Health Research Policy and Systems*, 7., (1.).

3. Developing Corporate Culture and Leadership: Returning to the Human Factor

These systems increasingly, no matter how much technology develops, the person himself remains the main role in human resource management. Even the most modern system, if it does not have a strong corporate culture and sound leadership behind it, remains just a technical tool. Therefore, I believe that organizations should pay special attention to creating an environment based on trust, interaction, open dialogue and feedback [16]. Because without these elements, HR policies remain only on paper. For example, the experience of European countries shows that investing in leadership programs, as well as the implementation of mentoring and coaching models, significantly strengthen HR strategies. But I have come to the conclusion that these initiatives will not be sustainable. That is, leadership development must be complemented by strategic talent planning. If we are developing leaders, we must also think about their successors.

4. Strategic Talent and Retention Planning: Building the Future Today

We have found that all of these human resource management processes are important for developing countries. The process is not limited to specific sectors. It also affects the entire economy. This process is key to the long-term success of not only employees but also the organization itself [16].

Conclusion

The results suggest that modern HRMS systems are not just about technology. This mechanism is a strategic path for companies. Management, in turn, is a path that combines data, analytics, and employee experience. Each of the integrations we mentioned makes the work more agile and efficient. Modern HRMS systems do not only simplify management. They also strengthen corporate culture. Basically, they play the role of an intersection between the company's strategic goals and daily tasks. These systems are seen as a user-friendly and functional mechanism. IRIE is easily integrated with other corporate platforms. Because all this creates a single digital structure. This will help companies quickly adapt to market changes. However, we do not deny that there are difficulties along with them.

It is important to develop a digital work culture. We need to invest not only in technology, but also in people to achieve better results. Based on our final conclusion, we consider the digital evolution of Human Resources Management (HRMS) to be an important issue. These systems are a symbol of business agility and sustainability. We have come to the conclusion that many companies are using analytics and artificial intelligence to increase employee productivity and motivation. This is the foundation of any organization's success.





A humánerőforrás fejlesztésének új irányai, a motiváció és a digitalizáció szerepe egy magyar KKV példáján keresztül

New Directions of Human Resource Development: The Role of Motivation and Digitalization through the Example of a Hungarian SME

Összefoglalás: Az írásunkban a humánerőforrás fejlesztésének aktuális kérdéseit vizsgáltam, különös tekintettel a munkavállalói motiváció, a fluktuáció és a digitalizáció összefüggéseire egy hazai kis- és középvállalkozás példáján keresztül.

A vizsgálat során arra kerestünk választ, hogy mely tényezők befolyásolják leginkább a munkavállalók elégedettségét és elkötelezettségét, valamint hogyan hat a digitalizáció a mindennapi munkavégzésre. A kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a munkavállalók motivációs szintje jellemzően közepes, amely megfelelő intézkedésekkel tovább fejleszthető.

A motiváció alakulásában kiemelt szerepet játszik az anyagi elismerés, ugyanakkor a nem anyagi tényezők, különösen a munkahelyi légkör, a vezetői szemlélet és a visszajelzések rendszere szintén meghatározóak. A vizsgálat rávilágított arra, hogy a munkavállalók számára fontos a kiszámítható és biztonságos munkakörnyezet, ugyanakkor egyre nagyobb igény mutatkozik a rugalmasságra és a munka–magánélet egyensúlyának biztosítására.

A digitalizáció megítélése összességében pozitív, azonban annak hatása nagymértékben függ a rendszerek használhatóságától és a munkavállalók felkészültségétől. A nem megfelelően alkalmazott informatikai megoldások növelhetik a terhelést és csökkenthetik a hatékonyságot, míg a tudatosan bevezetett és támogatott rendszerek jelentős mértékben hozzájárulhatnak a munkavégzés javításához. A fluktuációval kapcsolatos, hogy a munkavállalók egy része nyitott a munkahelyváltásra, különösen kedvezőtlen munkakörülmények esetén.

Ez rámutat arra, hogy a munkavállalók megtartása érdekében elengedhetetlen a motivációs rendszer fejlesztése és a szervezeti működés tudatos alakítása.

* Gábor Dénes Egyetem

Email: czinegeeniko@gmail.com

ORCID: 0009-0005-0115-0371

** Gábor Dénes Egyetem, egyetemi docens

Email: kovacs.tamas@gde.hu

ORCID: 0009-0000-6826-1539

Összességében megállapítható, hogy a motiváció, a fluktuáció és a digitalizáció egymással szoros összefüggésben állnak, és együttesen befolyásolják a szervezet működésének hatékonyságát. A tudatos humán erőforrás gazdálkodás, a megfelelő vezetői gyakorlatok és a jól alkalmazott technológiai megoldások hozzájárulhatnak a munkavállalói elégedettség növeléséhez és a hosszú távon fenntartható működés biztosításához.

A kutatás eredményei rámutatnak arra, hogy a humán erőforrás-fejlesztés és a digitalizáció összehangolt alkalmazása nemcsak a munkavállalói elégedettséget növeli, hanem közvetlenül hozzájárul a szervezeti versenyképesség erősítéséhez.

Kulcsszavak: Humán erőforrás fejlesztés, munkavállalói motiváció, munkaerő-megtartás, digitális átalakulás, kis- és középvállalkozások.

Abstract: This study examines new directions in human resource development, with particular focus on the relationships between employee motivation, turnover, and digitalization through the example of a Hungarian small and medium-sized enterprise. The relevance of the topic is supported by the transformation of the labor market, the growing labor shortage, and the changing expectations of employees, all of which increasingly influence organizational operations.

The aim of the research is to explore which factors employees consider most important in terms of motivation, as well as how digitalization affects everyday work processes. The study is based on a questionnaire survey with 53 respondents.

The results indicate that employee motivation is generally moderate, but it is significantly influenced by financial recognition, workplace atmosphere, and managerial attitude. The findings also show that digitalization has an overall positive impact on work processes; however, the improper use or underutilization of systems may reduce efficiency and increase employee workload.

It can be concluded that the conscious development of human resources combined with the effective application of digitalization contributes to higher employee satisfaction and improved organizational performance.

Keywords: Human resource management, employee motivation, turnover, digitalization, SME.

Bevezetés

Az elmúlt években a munkaerőpiac jelentős átalakuláson ment keresztül, amely a vállalatok működésére és a munkavállalók elvárásaira egyaránt hatással van. A globalizáció és a technológiai fejlődés következtében a szervezetek egyre összetettebb kihívásokkal szembesülnek, különösen a humánerőforrás területén. A vállalatok sikerességét ma már nem kizárólag a gazdasági eredmények határozzák meg, hanem az is, hogy mennyire képesek motivált és elkötelezett munkavállalókat megtartani [1].

A humánerőforrás a vállalatok egyik legfontosabb erőforrásává vált, mivel a munkavállalók teljesítménye, elkötelezettsége és motivációja közvetlen hatással van a szervezeti működés hatékonyságára. A motiváció hiánya, a nem megfelelő kommunikáció és a vezetői bizalom hiánya hosszabb távon a fluktuáció növekedéséhez vezethet [2].

Ez különösen a kis- és középvállalkozások esetében jelent problémát, ahol a munkavállalók pótlása és betanítása jelentős erőforrást igényel. A digitalizáció szintén meghatározó szerepet tölt be a vállalatok működésében. Az informatikai rendszerek hozzájárulnak a folyamatok átláthatóságához és az adatalapú döntéshozatalhoz, ugyanakkor ezek a rendszerek nem kerülnek teljes mértékben kihasználásra. A digitalizáció ezért nem csupán technológiai, hanem szervezeti és vezetési kérdés is [3].

Írásunkban egy hazai kis- és középvállalkozás működésén keresztül vizsgáljuk a motiváció, a fluktuáció és a digitalizáció közötti kapcsolatot. A célunk, hogy feltárjuk azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a munkavállalók elégedettségét és elkötelezettségét, valamint olyan fejlesztési lehetőségeket mutassunk be, amelyek hozzájárulhatnak a hatékonyabb működéshez. A vizsgálat során arra törekedtünk, hogy a különböző tényezőket ne külön-külön, hanem egymással összefüggésben elemezzük, mivel a gyakorlatban ezek együttesen hatnak a szervezeti működésre. Tapasztalataink alapján a motiváció nem állandó tényező, hanem folyamatosan változik a munkakörülmények, a vezetői hozzáállás és a szervezeti környezet függvényében [4][5].

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[2] Herzberg F. (1968): One More Time: How Do You Motivate Employees? *Harvard Business Review*, 46., (1.), pp. 53–62.

[3] Dobák M. (2008): *Szervezeti formák és vezetés*. Budapest: Akadémiai.

[4] Deci E. L.–Ryan, R. M. (2000): The What and Why of Goal Pursuits. *Psychological Inquiry*, 11., (4.), pp. 227–268.

[5] Maslow, A. H. (1943): A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50., (4.), pp. 370–396.

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[6] Központi Statisztikai Hivatal (2024): *Munkaerő*. <https://www.ksh.hu/munkaero>

[7] Deloitte. (2023): *Global Human Capital Trends Report*. Deloitte Insights.

[8] Központi Statisztikai Hivatal (2021): *Felértékelődött a távmunka a COVID-19 árnyékában*. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/koronavirus-tavmunka/index.html>

[9] Eurofound (2020): *Élet, munka és COVID-19. Az Eurofound-felmérés megállapításai. Munkaügyi Szemle*, 64., (3.), pp. 82–85.

[10] Jenei Sz.–Módosné Szalai Sz. (2022): *A digitális átalakulás és a koronavírus hatásai a munkaerőpiacon. Új Munkaügyi Szemle*, 3., (2.), pp. 2–12.

A téma jelentősége és aktualitása

A munkaerőpiac az elmúlt években jelentős változásokon ment keresztül, amelyek alapvetően befolyásolják a vállalatok működését és a munkavállalók elvárásait. A gazdasági és technológiai környezet átalakulása következtében a szervezeteknek egyre nagyobb figyelmet kell fordítaniuk a humán erőforrás hatékony kezelésére, különösen a motiváció fenntartására és a fluktuáció csökkentésére [1]. A munkaerőhiány és a megfelelő szakemberek megtalálása egyre nagyobb kihívást jelent. A munkavállalók mobilitása növekedett, és egyre gyakoribbá vált a rövidebb időn belüli munkahelyváltás. Ennek következtében a vállalatok számára nemcsak a munkaerő megszerzése, hanem annak hosszú távú megtartása is kiemelt jelentőségűvé vált [6]. A munkavállalói elvárások is jelentősen átalakultak. A stabil munkahely és a biztos jövedelem mellett egyre fontosabb szerepet kap a munkahelyi légkör, a vezetői hozzáállás és a megfelelő kommunikáció. A munkavállalók számára lényeges, hogy munkájukat elismerjék, és hogy értékes tagjai legyenek a szervezetnek. Különösen a fiatalabb generációk esetében figyelhető meg, hogy nagyobb hangsúlyt fektetnek a munka és a magánélet közötti egyensúlyra, valamint a rugalmas munkavégzési lehetőségekre [7]. A rugalmas munkavégzés, különösen a távmunka és a hibrid munkavégzés iránti igény az elmúlt években jelentősen megnőtt. [8]. Mindez új kihívásokat jelent a vállalatok számára a munkaszervezés és a teljesítményértékelés területén. A szervezeteknek alkalmazkodniuk kell ezekhez az elvárásokhoz annak érdekében, hogy versenyképesek maradjanak a munkaerőpiacon [9]. A digitalizáció szintén meghatározó tényezővé vált. Az informatikai rendszerek lehetővé teszik a munkafolyamatok hatékonyabb szervezését és az információk gyorsabb áramlását. Az adatalapú működés támogatja a döntéshozatalt és növeli a szervezeti hatékonyságot [10]. Ugyanakkor a gyakorlatban sok esetben megfigyelhető, hogy a rendelkezésre álló rendszerek nem kerülnek teljes mértékben kihasználásra. A motiváció és a fluktuáció szorosan kapcsolódik ezekhez a folyamatokhoz. A nem megfelelő motivációs rendszerek, a visszajelzés hiánya és a bizonytalan munkakörnyezet hozzájárulhatnak a munkavállalók elvándorlásához. A vállalatok számára ezért kiemelten fontos, hogy tudatosan foglalkozzanak ezekkel a tényezőkkel, és olyan megoldásokat alkalmazzanak, amelyek hosszú távon is fenntarthatóak.

Úgy látom, hogy azok a szervezetek, amelyek képesek alkalmazkodni a változó környezethez, és figyelembe veszik a munkavállalók igényeit, hosszú távon versenyelőnyre tehetnek szert.

A túlzott kontroll és a rugalmatlan működés ezzel szemben csökkentheti a motivációt és az elégedettséget, ami közvetve a fluktuáció növekedéséhez vezethet [1].

Elméleti háttér

A MUNKAVÁLLALÓI MOTIVÁCIÓ ELMÉLETI HÁTTERE

A munkavállalói motiváció a szervezeti működés egyik alapvető tényezője, amely közvetlen hatással van a teljesítményre, az elégedettségre és a szervezethez való kötődésre. A motiváció meghatározza, hogy a munkavállalók milyen mértékben hajlandók erőfeszítést tenni feladataik ellátása során [1][11]. A motiváció elméleti megközelítései közül az egyik legismertebb Maslow szükséglet-hierarchia-elmélete, amely szerint az emberek különböző szükségletek kielégítésére törekednek, hierarchikus sorrendben [5][12]. A munkahelyi környezetben ez azt jelenti, hogy az alapvető szükségletek kielégítése után jelennek meg a magasabb szintű igények, mint az elismerés vagy az önmegvalósítás.

1. ábra. Maslow (1943) szükséglet piramis



Forrás [12]

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[5] Maslow, A. H. (1943): A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50., (4.), pp. 370–396.

[11] Dobák M.–Antal Zs. (2016): *Vezetés és Szervezés*. Budapest: Akadémiai.

[12] Maslow A. H. (1998): *Maslow on Management*. New York: John Wiley-Sons.

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[4] Deci E. L.–Ryan, R. M. (2000): The What and Why of Goal Pursuits. *Psychological Inquiry*, 11., (4.), pp. 227–268.

[13] Sipos N. (2016): A munkaelégedettség Herzberg-modelljének továbbfejlesztése. *Vezetéstudomány*, 47., (12.), pp. 97–108.

Herzberg kéttényezős elmélete szerint különbséget kell tenni a higiénés és a motívációs tényezők között. A higiénés tényezők hiánya elégedetlenséget okoz, ugyanakkor meglétük nem eredményez tartós motivációt. A valódi motivációt azok a tényezők biztosítják, amelyek a munka tartalmához kapcsolódnak, például az elismerés és a fejlődési lehetőség [13].

2. ábra. Herzberg kéttényezős modellje

Motiváló tényezők	Higiénés tényezők
Teljesítmény	Kapcsolat a kollégákkal
Elismerés	Vállalati politikák
Maga a munka	Fizikai munkakörnyezet
Előrelépési lehetőségek	Munkafeltételek
Személyes növekedés lehetősége	Fizetés
Fejlődési lehetőségek	Státusz

Forrás: [13]

A modern megközelítések közül kiemelhető Deci és Ryan elmélete, amely szerint a belső motiváció három alapvető tényezőre épül az autonómiára, a kompetenciára és a kapcsolódásra [4]. Amennyiben ezek a tényezők jelen vannak, a munkavállalók nagyobb elkötelezettséggel végzik munkájukat. A motiváció nem egységes jelenség, mivel azt számos tényező befolyásolja, többek között a vezetői stílus, a munkahelyi légkör és a visszajelzések rendszere. A szervezetek számára ezért fontos, hogy komplex motivációs rendszereket alakítsanak ki, amelyek figyelembe veszik a különböző munkavállalói igényeket [1].

A FLUKTUÁCIÓ ÉS A MUNKAERŐ MEGTARTÁS ÖSSZEFÜGGÉSEI

A fluktuáció a munkavállalók szervezetén belüli elvándorlásának mértékét jelenti, amely fontos mutatója a vállalat stabilitásának és működésének. Bizonyos mértékű fluktuáció természetes jelenség, azonban a túlzott elvándorlás már komoly problémákat okozhat a szervezet számára. A munkavállalók távozása több szempontból is kedvezőtlen hatással van a vállalatra. Egyrészt jelentős költségekkel jár, mivel az új munkavállalók toborzása, kiválasztása és betanítása idő és erőforrásigényes folyamat. Másrészt a tapasztalt dolgozók elvesztése a szervezeti tudás csökkenéséhez vezet, ami hosszabb távon a működés hatékonyságának romlását eredményezheti [14].

A fluktuáció egyik legfontosabb oka a motiváció hiánya. Amennyiben a munkavállalók nem érzik magukat megbecsültnek, nem kapnak megfelelő visszajelzést, vagy nem látnak fejlődési lehetőséget, nagyobb valószínűséggel döntenek a munkahelyváltás mellett [13]. A munkahelyi elégedettség és a szervezethez való kötődés ezért kulcsfontosságú a megtartás szempontjából.

A munkaerő megtartásában egyre nagyobb szerepet kapnak a nem anyagi ösztönzők is. A munkahelyi légkör, a vezetői kommunikáció és a közösség minősége jelentős hatással van arra, hogy a munkavállalók mennyire érzik magukat elkötelezettnek. Emellett a karrierlehetőségek és a szakmai fejlődés biztosítása szintén meghatározó tényező [15][16]. A fluktuáció csökkentése érdekében a vállalatoknak komplex megközelítést kell alkalmazniuk. Ez magában foglalja a megfelelő bérezési rendszer kialakítását, a pozitív szervezeti kultúra megteremtését és a vezetői szerep tudatos erősítését. A közvetlen vezető hatása különösen fontos, mivel a mindennapi kapcsolat jelentős mértékben befolyásolja a munkavállalók elégedettségét [1]. Megfigyelhető az is, hogy a fluktuáció nem minden szervezeti területen jelenik meg azonos mértékben. Azokon a területeken, ahol a terhelés magasabb vagy a munkakör kevésbé kiszámítható, nagyobb az elvándorlás valószínűsége. Ez további terhet ró a meglévő munkavállalókra, ami könnyen egy negatív folyamatot indíthat el. A munkavállalók megtartása ezért nemcsak gazdasági, hanem szervezeti stabilitási kérdés is. A tudatos HR-gyakorlatok alkalmazása hozzájárulhat a fluktuáció csökkentéséhez és a hosszú távon fenntartható működéshez [17][18].

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[13] Sipos N. (2016): A munkaelégedettség Herzberg-modelljének továbbfejlesztése. *Vezetéstudomány*, 47., (12.), pp. 97–108.

[14] Bencsik A. (2024): *Tudásmenedzsment elméletben és gyakorlatban*. Budapest: Akadémiai.

[15] Monos E. (2007): *A motiváció, az érzelem és a magatartás pszichofiziológiai alapjai*. Budapest: Semmelweis.

[16] Szabó B. (2018): A munkavállalói siker és az elérését támogató szervezeti karriermenedzsment-eszközök. *Vezetéstudomány*.

[17] Poór J. (2019): *Nemzetközi emberi erőforrás menedzsment*. Budapest: Wolters Kluwer.

[18] Karoliny M.–Farkas F. (2009): *Emberi erőforrás menedzsment*. Budapest: Complex.

[3] Dobák M. (2008): *Szervezeti formák és vezetés*. Budapest: Akadémiai.

[7] Deloitte. (2023): *Global Human Capital Trends Report*. Deloitte Insights.

[10] Jenei Sz.–Módosné Szalai Sz. (2022): A digitális átalakulás és a koronavírus hatásai a munkaerőpiacon. *Új Munkaügyi Szemle*, 3., (2.), pp. 2–12.

[19] Armstrong M.–Taylor S. (2020): *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice*. London: Kogan Page.

[20] Gallup (2023): *State of the Global Workplace Report*. Washington: Gallup.

[21] pwc (2022): *pwc's Global Workforce Hopes and Fears Survey*.

[22] Venczel-Szakó T.–Sipos N.–Bankó Z. (2023): *Munkavállalói elégedettség a home office-szal a Covid alatt és után*.

A MODERN MUNKAVÉGZÉS ÉS A DIGITALIZÁCIÓ SZEREPE

A digitalizáció az elmúlt években a vállalati működés egyik meghatározó tényezőjévé vált. A technológiai fejlődés lehetővé teszi a munkafolyamatok hatékonyabb szervezését, az információk gyorsabb áramlását és az adatok pontosabb nyomon követését. A modern szervezetek számára a digitalizáció ma már nem csupán versenyelőnyt jelent, hanem alapvető működési feltétellé vált [3]. A vállalati információs rendszerek, például az ERP és CRM megoldások, hozzájárulnak a folyamatok átláthatóságához és a döntéshozatal támogatásához. Az adatalapú működés lehetővé teszi, hogy a szervezetek pontosabb képet kapjanak saját teljesítményükről és működésükről [19]. A digitalizáció hatása azonban nem kizárólag pozitív. A nem megfelelően kialakított vagy nehezen használható rendszerek növelhetik az adminisztrációs terheket és csökkenthetik a munkavállalók motivációját. Különösen problémát jelenthet, ha a munkavállalók nem kapnak megfelelő képzést a rendszerek használatához [10]. A digitalizáció és a motiváció között szoros kapcsolat figyelhető meg. Amennyiben a technológiai megoldások támogatják a munkavégzést és csökkentik a terhelést, az pozitív hatással van az elégedettségre. Ezzel szemben a túl bonyolult vagy nem hatékony rendszerek növelhetik a stresszt és a bizonytalanságot [20][21]. A szervezetek számára ezért fontos, hogy a digitalizációt ne csupán technológiai fejlesztésként kezeljék, hanem a szervezeti működés szerves részeként. A sikeres alkalmazás feltétele a megfelelő képzés, a vezetői támogatás és a folyamatok tudatos használata. A digitalizáció megfelelő alkalmazása hozzájárulhat a hatékonyság növeléséhez, a döntéshozatal javításához és a munkavállalói elégedettség erősítéséhez. Ez hosszú távon a szervezet versenyképességét is növeli [22][7].

A kutatás bemutatása és módszertana

KUTATÁSI CÉLOK ÉS HIPOTÉZISEK

A kutatás során arra törekedtünk, hogy feltárjuk a munkavállalói motiváció, a munkahelyi elvárások és a digitalizáció közötti összefüggéseket. A vizsgálat célja annak bemutatása, hogy mely tényezők befolyásolják leginkább a munka-

vállalók motivációját, valamint hogyan hat a munkakörnyezet és a vezetői hozzáállás az elégedettségre [5][4].

A kutatás során az alábbi hipotéziseket fogalmaztuk meg:

- A munkavállalói motiváció szintje közepes vagy annál magasabb.
- Az anyagi elismerés kiemelt szerepet játszik a motiváció kialakulásában.
- A pozitív munkahelyi környezet növeli a munkavállalók elégedettségét.
- A digitalizáció összességében pozitív hatással van a munkavégzésre.

A hipotézisek a szakirodalmi háttér és a saját tapasztalataink alapján kerültek meghatározásra, és irányt adnak a kutatás elemzéséhez [1].

A KUTATÁS MÓDSZERTANA

A kutatás során primer adatgyűjtést alkalmaztunk, amelynek eszköze egy online kérdőív volt. Az űrlap összeállításakor arra törekedtünk, hogy a kérdések egyértelműek és könnyen értelmezhetőek legyenek, valamint átfogó képet adjanak a vizsgált témáról [19]. Az adatgyűjtés online kérdőív-felületen keresztül történt, anonim módon. A válaszadás önkéntes volt, amely hozzájárult az őszinte véleménynyilvánításhoz. A kutatás során összesen 53 válasz érkezett, amelyek megfelelő alapot biztosítottak az elemzéshez.

A kérdőív több témakört ölelt fel:

- demográfiai adatok,
- motiváció szintje,
- motivációs tényezők,
- munkahelyi elvárások,
- digitalizáció megítélése.

Az adatok feldolgozása leíró statisztikai módszerekkel történt. Az eredményeket százalékos megoszlások segítségével elemeztem, amely lehetővé tette az egyes válaszok összehasonlítását és értelmezését. A módszer alkalmazása gyors és hatékony adatgyűjtést tett lehetővé, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy az eredmények nem tekinthetők reprezentatívnak. Ennek ellenére jól tükrözik a válaszadók tapasztalatait és véleményét. A kérdőíves módszer lehetőséget biztosított a munkavállalói tapasztalatok közvetlen megismerésére.

[1] Bakacsi G. (2004): *Szervezeti magatartás és vezetés*. Budapest: Aula.

[4] Deci E. L.–Ryan, R. M. (2000): The What and Why of Goal Pursuits. *Psychological Inquiry*, 11., (4.), pp. 227–268.

[5] Maslow, A. H. (1943): A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50., (4.), pp. 370–396.

[19] Armstrong M.–Taylor S. (2020): *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice*. London: Kogan Page.

A VIZSGÁLT VÁLLALAT BEMUTATÁSA

A vizsgálat során egy hazai kis- és közép vállalkozás működését elemeztük, amely Budapest agglomerációban található. A vállalat ipari vegyi anyagok és speciális alapanyagok kis- és nagykereskedelmével foglalkozik. A működése saját telephelyen történik, ahol a raktározási és csomagolási folyamatok egyaránt jelen vannak. A vállalat B2B jelleggel működik, vagyis elsősorban más vállalkozások számára értékesít. A beszerzési folyamatok során hazai és külföldi partnerekkel is kapcsolatban áll, ami összetett logisztikai és adminisztratív feladatokat eredményez.

Az értékesítés főként belföldi piacra irányul, ugyanakkor exporttevékenység is jelen van. A szervezet létszáma 18 fő, ami lehetővé teszi a közvetlen kommunikációt és a rugalmas működést. A kisebb szervezeti méretből adódóan a munkakörök között gyakran átfedések figyelhetők meg, ami egyszerre jelent előnyt és kihívást. Az együttműködés kulcsszerepet játszik a mindennapi működés során. A vállalat szervezeti felépítése egyszerű. A vezetői feladatokat az ügyvezető látja el, aki a stratégiai döntések mellett az operatív működésben is aktívan részt vesz. Az irodai területen a pénzügyi és adminisztratív feladatok zajlanak, míg az értékesítési terület az ügyfélkapcsolatokért és a bevételek biztosításáért felel.

A raktári és gyártási terület a megrendelések teljesítésében játszik meghatározó szerepet. A működés során jól megfigyelhető, hogy a különböző területek szoros együttműködésére van szükség. Az információáramlás minősége közvetlen hatással van a hatékonyságra, ezért a kommunikáció kiemelt jelentőségű. A humán erőforrás helyzetét tekintve a vállalatnál időszakos terhelésingadozás figyelhető meg. Bizonyos időszakokban, különösen a megnövekedett kereslet idején, a munkatempó jelentősen felgyorsul, ami fokozott terhelést jelent a munkavállalók számára. Ez hosszabb távon hatással lehet a motivációra és az elégedettségre is.

A működés során az is megfigyelhető, hogy a különböző munkakörök eltérő módon járulnak hozzá a vállalat eredményességéhez, azonban ez nem minden esetben jelenik meg a motivációs rendszerben. Ez különösen az adminisztratív területeken jelenthet problémát, ahol a teljesítmény nehezebben mérhető. A digitalizáció jelen van a vállalat működésében, azonban a rendszerek kihasználtsága nem teljes körű. Az informatikai megoldások elsősorban adminisztratív eszközként jelennek meg, és kevésbé támogatják a teljesítménymérést. A vállalat működése jól szemlélteti a KKV-kra jellemző humán erőforrás és digitalizációs kihívásokat.

A kutatás eredményei

A MUNKAVÁLLALÓI MOTIVÁCIÓ

A kutatás eredményei alapján a munkavállalók motivációs szintje jellemzően közepesnek tekinthető. A válaszadók többsége nem érzi magát teljes mértékben motiváltként, ugyanakkor nem is elégedetlen a jelenlegi helyzetével. Ez arra utal, hogy a motiváció fejleszthető, és megfelelő intézkedésekkel növelhető. A motiváció szintje szoros kapcsolatban áll a munkakörülményekkel és a vezetői hozzáállással. A válaszok alapján jól látható, hogy a munkavállalók számára nemcsak az anyagi tényezők fontosak, hanem a munkahelyi légkör és az elismerés is jelentős szerepet játszik [5] [23]. Ez azt mutatja, hogy a megfelelő vezetői támogatással és motivációs eszközökkel a munkavállalói teljesítmény és elégedettség jelentősen növelhető. A kutatás eredményei a megfogalmazott hipotézisek többségét alátámasztották.

A MOTIVÁCIÓT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A kutatás során a válaszadók több tényezőt is megjelöltek, amelyek hatással vannak a motivációjukra. Az egyik legfontosabb tényező az anyagi elismerés, amely továbbra is meghatározó szerepet tölt be. Emellett kiemelt jelentősége van a vezetői visszajelzésnek, a munkahelyi közösségnek és a fejlődési lehetőségeknek. A válaszok alapján egyértelműen megfigyelhető, hogy a nem anyagi tényezők szerepe egyre nagyobb. A befolyásoló faktorok összhangban állnak a szakirodalmi megállapításokkal, amelyek szerint a belső motiváció erősítése hosszú távon hatékonyabb, mint a kizárólag anyagi ösztönzés [4]

A MODERN MUNKAHELYEL KAPCSOLATOS ELVÁRÁSOK

A válaszadók elvárásai alapján a modern munkahely legfontosabb jellemzői közé tartozik a megfelelő bérezés, a stabilitás és a pozitív munkahelyi légkör. Emellett egyre nagyobb szerepet kap a rugalmas munkavégzés és a munka-magánélet egyensúlya.

[4] Deci E. L.–Ryan, R. M. (2000): The What and Why of Goal Pursuits. *Psychological Inquiry*, 11., (4.), pp. 227–268.

[5] Maslow, A. H. (1943): A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*, 50., (4.), pp. 370–396.

[23] Chapman G.–White P. (2013): *A munkahelyi elismerés 5 nyelven*. Budapest: Harmat.

[13] Sipos N. (2016): A munkaelégedettség Herzberg-modelljének továbbfejlesztése. *Vezetéstudomány*, 47., (12.), pp. 97–108.

[15] Monos E. (2007): *A motiváció, az érzelem és a magatartás pszichofiziológiai alapjai*. Budapest: Semmelweis.

A válaszok azt mutatják, hogy a munkavállalók számára fontos a kiszámíthatóság és a biztonság, ugyanakkor igénylik a rugalmasságot is. Ez a kettősség kihívást jelent a vállalatok számára, mivel egyszerre kell stabil és alkalmazkodó működést biztosítaniuk.

A DIGITALIZÁCIÓ HATÁSÁNAK MEGÍTÉLÉSE

A kutatás alapján a digitalizáció megítélése összességében pozitív, azonban nem egyértelműen. A válaszadók egy része úgy látja, hogy a digitális rendszerek megkönnyítik a munkavégzést, míg mások szerint inkább többletterhelést jelentenek. Ez az eltérés arra utal, hogy a rendszerek használhatósága és a munkavállalók felkészítése kulcsszerepet játszik a megítélésben. Amennyiben a digitalizáció megfelelően támogatja a munkát, növeli a hatékonyságot és az elégedettséget.

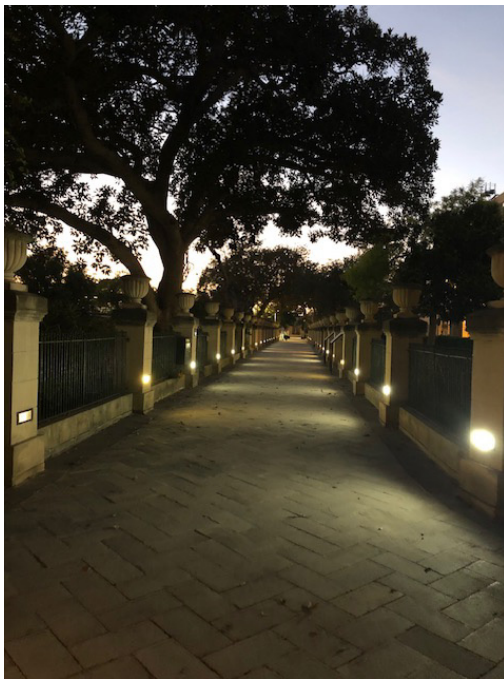
A FLUKTUÁCIÓVAL KAPCSOLATOS ATTITÜDÖK

A válaszok alapján megfigyelhető, hogy a munkavállalók egy része nyitott a munkahelyváltásra, különösen abban az esetben, ha nem elégedett a jelenlegi körülményekkel. Ez összhangban áll a motiváció és a fluktuáció közötti kapcsolatot bemutató szakirodalmi megállapításokkal [13] [15]. A fluktuációval kapcsolatos attitűdök azt mutatják, hogy a munkavállalók megtartása érdekében szükség van a motivációs rendszer fejlesztésére és a munkakörülmények javítására.

Fejlesztési javaslatok

A kutatás eredményei alapján több olyan terület azonosítható, ahol a szervezet működése fejleszthető. A humán erőforrás területén fontos a rendszeres és tudatos visszajelzés biztosítása. A munkavállalók számára lényeges, hogy munkájukat elismerjék, és hogy tisztában legyenek a teljesítményükkel. Ez hozzájárulhat a motiváció növeléséhez [2]. A teljesítményértékelési rendszer fejlesztése szintén indokolt.

Az átlátható és igazságos ösztönzési rendszer növeli az elégedettséget, különösen azokban a munkakörökben, ahol a teljesítmény nehezebben mérhető [19]. A rugalmas munkavégzés lehetőségének bővítése hozzájárulhat a munka–magánélet egyensúlyának javításához. Ez különösen fontos a hosszú távú megtartás szempontjából [7]. A digitalizáció területén a meglévő rendszerek hatékonyabb kihasználása és a munkavállalók képzése jelenthet előrelépést. A megfelelően alkalmazott technológiai megoldások csökkenthetik az adminisztrációs terheket és növelhetik a hatékonyságot [10]. A fejlesztések várható hatásai közé tartozik a motiváció növekedése, a fluktuáció csökkenése és a szervezeti működés javulása. A különböző intézkedések együttes alkalmazása hozzájárulhat a hosszú távon fenntartható működéshez.



[7] Deloitte. (2023): *Global Human Capital Trends Report*. Deloitte Insights.

[10] Jenei Sz.–Módosné Szalai Sz. (2022): A digitális átalakulás és a koronavírus hatásai a munkaerőpiacon. *Új Munkaügyi Szemle*, 3., (2.), pp. 2–12.

[19] Armstrong M.–Taylor S. (2020): *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice*. London: Kogan Page.



Autonóm hajtásirányítási rendszerek fejlesztése Ipar 4.0/5.0 környezetben

Összefoglalás: Az autonóm járművek fejlesztése egyre fontosabbá válik a modern közlekedéstechnikában, ahol az integrált hajtásirányítás, az energiaoptimalizálás és a közlekedésbiztonság kulcsfontosságú. Ez a kutatás az autonóm hajtásirányítási rendszerek – különösen a hajtásvezérlés, az energiaellátás, a biztonsági mechanizmusok és a döntéshozatali folyamatok – interaktív kapcsolatait vizsgálja. Továbbá megvizsgáljuk, hogy az Ipar 4.0/5.0 által kínált lehetőségek közül melyek integrálhatók: digitális ikrek és valós idejű adatfeldolgozás, adatintenzív vezérlés és prediktív elemzés, valamint fejlett mesterségesintelligencia-alkalmazások [1, 2, 3]. Az Ipar 4.0 által inspirált adatgyűjtési és elemzési módszerek alkalmazásával a rendszer döntéstámogató algoritmusai hatékonyabban tudják előre jelezni a dinamikus változásokat, és szükség esetén automatikusan beavatkozhatnak. Ezek az elemek hozzájárulnak ahhoz, hogy az autonóm hajtásirányítási rendszerek ne csak technológiailag fejlettek legyenek, hanem adaptívak és a működési tapasztalatok révén folyamatosan fejlődjenek is [1].

Kulcsszavak: Autonóm járművek, hajtásirányítás, energiaoptimalizálás, ipar 4.0/5.0, mesterséges intelligencia.

Abstract: The development of autonomous vehicles is becoming increasingly important in modern traffic engineering, where integrated drive control, energy optimization, and traffic safety are key. This research investigates the interactive relationships of autonomous drive control systems - especially drive control, power supply, safety mechanisms, and decision-making processes. Furthermore, we examine which opportunities offered by Industry 4.0/5.0 can be integrated: digital twins and real-time data processing, data-intensive control and predictive analysis, and advanced artificial intelligence applications [1, 2, 4].

* *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar*
Email: tibor.tamaspeter@eng.unideb.hu
ORCID: 0009-0000-1644-7614

** *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar*
Email: tamas.peter.jozsef@eng.unideb.hu
ORCID: 0009-0002-0916-1719

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Arora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar. (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.*

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research, 43., (2.), pp. 116–125.*

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Arora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering. Springer*, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks.*

By applying Industry 4.0-inspired data collection and analysis methods, the system's decision-support algorithms can predict dynamic changes more effectively and automatically intervene when necessary [4]. These elements contribute to making autonomous drive control systems not only technologically advanced but also adaptive and continuously improving through operational experience [1].

Keywords: autonomous vehicles, drive control, energy optimization, industry 4.0/5.0, sustainability.

Bevezetés

Az Autonóm Hajtásirányítási Rendszerek (ADCS) képezik azt az alapvető technológiai keretrendszert, amely lehetővé teszi az önvezető képességeket a modern járművekben [4]. Ezek a rendszerek magukban foglalják azokat az integrált hardver- és szoftverkomponenseket, amelyek felelősek a jármű meghajtásának menedzseléséért, az energiafelhasználásért, a biztonsági protokollokért és a környezet észleléséért [5]. A jelenlegi ADCS implementációk jelentős kihívásokkal néznek szembe a valós idejű adatfeldolgozás, a rendszerintegráció és a komplex környezetben történő döntéshozatal terén. Az elmúlt évek jelentős fejlődése ellenére ezek a rendszerek továbbra is küzdenek a megbízhatósággal változatos körülmények között, a működés közbeni energiaoptimalizálással és az alrendszerek közötti zökkenőmentes kommunikációval [6].

Az Ipar 4.0 elvei, amelyeket az összekapcsolhatóság, a digitális ikrek, a valós idejű adatfeldolgozás és az edge computing jellemeznek, robusztus keretet biztosítanak számos ADCS-korlát kezelésére [2, 6]. Ezek a technológiák lehetővé teszik a fejlettebb adatgyűjtési és -feldolgozási képességeket, lehetőséget teremtve reszponzívabb és adaptívabb vezérlőrendszerek létrehozására. Erre az alapra építve az Ipar 5.0 fejlett mesterséges intelligencia és gépi tanulási képességeket vezet be, különösen a nagy nyelvi modellekhez és mélytanulási rendszerekhez hasonló kifinomult modellek integrálásával [1]. Ezek a technológiák elősegítik az adatvezérelt intelligenciát a járműműködés komplex mintázatainak értelmezéséhez, a hagyományos statisztikai módszereken túl-

mutató fejlett prediktív képességeket, az extrém eseteket és újszerű helyzeteket kezelni képes autonóm döntéshozatali rendszereket, valamint a működési tapasztalatok révén fejlődő folyamatos tanulási rendszereket [1].

Az ADCS fejlesztési kihívásai és az Ipar 4.0/5.0 technológiai megoldásai közötti szinergia jelentős innovációs lehetőségeket rejt magában [1, 2]. A kommunikációs architektúrák, az adatfeldolgozási korlátok, az algoritmikus megszorítások és a döntéshozatali keretrendszerek kezelésével ezen a fejlett ipari technológiákon keresztül az autonóm járművek magasabb szintű teljesítményt, megbízhatóságot és hatékonyságot érhetnek el. Ez a tanulmány az ADCS-fejlesztés kulcsfontosságú kihívásait vizsgálja, és Ipar 4.0/5.0 által inspirált megoldásokat javasol az autonóm járműtechnológia jelenlegi állásának előmozdítására [1, 2, 3].

Autonóm hajtásirányítási rendszerek architektúrája

Az Autonóm Hajtásirányítási Rendszerek komplex, integrált technológiai környezeteket képviselnek, amelyek több, összehangoltan működő, specializált alrendszerből állnak. Az alapvető architektúra tipikusan három fő funkcionális területet foglal magában: hajtásvezérlő rendszereket, energiagazdálkodási rendszereket és biztonsági rendszereket, amelyeket egy központi vezérlő architektúra koordinál.

A hajtásvezérlő rendszerek a jármű mozgását irányítják a gyorsítás, fékezés és kormányzás funkcióinak integrált vezérlésével. Ezek a rendszerek a magas szintű navigációs parancsokat precíz mechanikai műveletekké alakítják, miközben figyelembe veszik a járműdinamikát, az útviszonyokat és a teljesítményparamétereket. A modern hajtásvezérlő implementációk adaptív algoritmusokat tartalmaznak, amelyek a környezeti feltételek, a jármű terhelése és a vezetési módok alapján módosítják a működési paramétereket. Ezeknek a rendszereknek precíz vezérlést kell fenntartaniuk széles sebességtartományban és változatos vezetési körülmények között, miközben optimalizálják mind a teljesítményt, mind az utasok kényelmét.

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Arora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): *AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassõlkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): *Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. Central European Journal of Engineering. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.*

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks*.

Az energiagazdálkodási rendszerek felügyelik az energia tárolását, elosztását és felhasználását a járműben. Elektromos és hibrid autonóm járművek esetében ezek a rendszerek szabályozzák az akkumulátor töltési és kisütési ciklusait, figyelik a hőmérsékleti viszonyokat, és energia-visszanyerő mechanizmusokat, például regeneratív fékezést alkalmaznak. A fejlett energiagazdálkodás prediktív útvonalinformációkat épít be az energiafelhasználás optimalizálása érdekében a tervezett utazások során, a várható szintkülönbségek, forgalmi viszonyok és környezeti tényezők alapján módosítva az energiaelosztást. E rendszerek hatékonysága közvetlenül befolyásolja a jármű hatótávolságát, üzemeltetési költségeit és környezeti hatását.

A biztonsági rendszerek aktív és passzív komponenseket tartalmaznak, amelyeket a balesetek megelőzésére és a következmények enyhítésére terveztek, ha a megelőzés sikertelen [3]. Ide tartoznak a környezetérzékelő rendszerek, amelyek különböző szenzormodalitásokat használnak, a veszélyértékelő algoritmusok, a vészhelyzeti beavatkozó mechanizmusok és a rendszer-redundanciák [6]. A biztonsági rendszerek szigorú teljesítménykövetelmények szerint működnek, beleértve a kritikus funkciók determinisztikus válaszidejét és az alapvető vezetési feladatok hibatűrő (fail-operational) képességét. E rendszerek integrációja a hajtásvezérléssel és az energiagazdálkodással az időnként versengő prioritások gondos kiegyensúlyozását igényli [4].

A hagyományos ADCS-implementációk nagymértékben támaszkodnak a Controller Area Network (CAN) protokollokra a rendszerek közötti kommunikációhoz [6]. A Bosch által 1985-ben kifejlesztett CAN robusztus üzenetküldési keretrendszert biztosít, de korlátokkal küzd a sávszélesség terén, amely nagysebességű implementációk esetén körülbelül 1 Mbit/sec [6]. A protokoll busztopológián keresztül működik, ahol az üzeneteket minden csomópontnak továbbítják, ütközéskezelési prioritási mechanizmusokkal. Bár elegendő a hagyományos autóiipari alkalmazásokhoz, a CAN korlátozott sávszélessége szűk keresztmetszetet képez az adatintenzív autonóm rendszerek számára, ahol a nagy felbontású szenzoradatokat minimális késleltetéssel kell megosztani több vezérlőegység között [6].

A modern ADCS szenzor-ökoszisztémája tipikusan több, párhuzamosan működő érzékelési modalitást tartalmaz a környezet átfogó észlelésének megteremtése érdekében [6].

Gyakori szenzortípusok közé tartoznak a radarrendszerek tárgyészleléshez és távolságméréshez, kamerarendszerek a vizuális jelenetértelmezéshez, LiDAR a precíz háromdimenziós térképezéshez, ultrahangos szenzorok a közeli akadályok észleléséhez, valamint különböző járműállapot-szenzorok a belső állapotok figyelésére [6]. Minden szenzortípus specifikus adatformátumokat generál különböző sebességgel, és speciális feldolgozási folyamatokat igényel, ami komplex integrációs kihívásokat teremt. Ezen eltérő szenzorrendszerek szinkronizált működése alapvető követelmény a megbízható autonóm működéshez [5].

Az ADCS rendszerintegrációja gondos figyelmet igényel mind a hardver-, mind a szoftverarchitektúrákra. A hagyományos megközelítések elosztott számítási modelleket alkalmaznak, ahol speciális elektronikus vezérlőegységek (ECU-k) kezelnek specifikus funkciókat. Ez a megközelítés azonban kihívásokat teremt az autonóm működéshez szükséges holisztikus döntéshozatal szempontjából. Újabb tervezések központosítják az alapvető feldolgozási funkciókat, miközben fenntartják az elosztott szenzorokat és aktuátorokat, létrehozva hibrid architektúrákat, amelyek kiegyensúlyozzák a feldolgozási követelményeket a fizikai korlátokkal.

Adatáramlási követelmények modern autonóm rendszerekben

A modern autonóm hajtásrendszerek példátlan mennyiségű adatot generálnak, amelyeket hatékonyan kell kezelni, feldolgozni és felhasználni a jármű irányításához [5]. Ezen adatáramlások és követelményeik megértése elengedhetetlen az autonóm működést támogató hatékony rendszerarchitektúrák kifejlesztéséhez.

Az autonóm járművek által generált adatmennyiség jelentősen meghaladja a hagyományos járművékét. Egy tipikus, kamerákkal, LiDAR-ral, radarral és ultrahangos szenzorokkal felszerelt autonóm tesztjármű óránként 1,4 terabájt és 19 terabájt közötti adatot generálhat, a szenzor felbontásától és a környezet komplexitásától függően [5]. Egy nagy felbontású LiDAR önmagában 10–70 MB/s adatot generálhat, míg a 4K felbontású, 60 képkocka/másodperc sebességgel működő kamerarendszerek több mint 1 GB/s nyers adatot produkálhatnak. Ez a hatalmas adatgenerálás jelentős kihívásokat teremt a fedélzeti feldolgozási, tárolási és átviteli rendszerek számára. A hagyományos autóiipari hálózatokat soha nem tervezték ilyen átviteli követelményekhez, ami a jármű kommunikációs architektúráinak alapvető újragondolását teszi szükségessé [6].

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks*.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks.*

Az autonóm rendszerekben a késleltetési követelmények széles skálán mozognak a támogatott funkciótól függően. A kritikus biztonsági funkciók, mint például az ütközésselkerülés, 10 ezredmásodperc alatti végponttól végpontig tartó késleltetést igényelnek a szenzor bemenetétől az aktuátor válaszáig. A navigációs és útvonaltervezési funkciók tolerálhatják az 50–100 ezredmásodperces tartományba eső késleltetéseket, míg a kényelmi funkciók és a nem kritikus funkciók elfogadhatnak több száz ezredmásodperces késést is. Ez a széles eltérés egy többszintű adatkezelési kihívást teremt, ahol az időkritikus és nem kritikus adatoknak meg kell férniük a megosztott infrastruktúrán, miközben minden adatkategóriához megfelelő szolgáltatási szintet kell fenntartani. A modern ADCS-nek kifinomult szolgáltatásminőségi (quality-of-service) mechanizmusokat kell implementálnia annak biztosítására, hogy a kritikus adatáramlások megfelelő prioritást kapjanak.

Az autonóm járműkommunikáció megbízhatósági igényei egy másik kritikus szempontot képviselnek. A biztonságkritikus funkciók determinisztikus kommunikációt igényelnek garantált üzenetkészesítéssel meghatározott időkorlátokon belül [4]. A hagyományos autóiipari hálózatok, mint a CAN, bizonyos megbízhatósági funkciókat biztosítanak hibafelismerési és automatikus újraküldési mechanizmusokon keresztül [6]. Az autonóm rendszerek adatáramlásainak komplexitása és volumene azonban kifinomultabb megközelítéseket igényel. A redundáns kommunikációs útvonalak, hibajavító mechanizmusok és hibatűrő protokollok az autonóm kommunikációs ketrendszerek alapvető komponenseivé válnak [3]. Az olyan funkcionális biztonsági szabványok, mint az ISO 26262, szigorú követelményeket támasztanak a kommunikáció megbízhatóságára a biztonságkritikus funkciókban részt vevő rendszerek esetében, szükségessé téve a kommunikációs protokollok formális verifikálását [4].

A sávszélességgel kapcsolatos megfontolások talán a hagyományos autóiipari hálózatok legsúlyosabb korlátját jelentik autonóm rendszerekre alkalmazva [6]. A CAN-protokoll maximális 1 Mbit/s átviteli sebessége nem képes kezelni a modern szenzoradat-mennyiségeket, leküzdhetetlen szűk keresztmetszetet teremtve a rendszerintegráció számára. Újabb protokollok, mint a CAN-FD (Flexible Data-rate), körülbelül 8 Mbit/s-ra növelik a sávszélességet, de még ez a megnövelt kapacitás is messze elmarad az autonóm rendszerek követelményeitől [6]. Az Automotive Ethernet megoldásként jelent meg erre a kihívásra, 100 Mbit/s-tól 10 Gbit/s-ig terjedő sávszélességet kínálva az implementációtól függően [6]. Ezek a nagy sávszélességű hálózatok lehetővé teszik a nyers szenzoradatokat továbbítását a feldolgozó csomópontok között, támogatva a centralizáltabb és hatékonyabb rendszerarchitektúrákat.

A biztonsági követelmények további dimenziót adnak az autonóm járművek adatáramlási megfontolásaihoz. Az összekapcsolt autonóm járműveknek védekezniük kell mind az adatlopás, mind a jármű működésébe történő rosszindulatú beavatkozás ellen. A kommunikációs protokolloknak erős titkosítást, hitelesítési mechanizmusokat és behatolásérzékelő képességeket kell tartalmazniuk a rendszer teljesítményének vagy megbízhatóságának veszélyeztetése nélkül. A kiberbiztonsági követelmények és a rendszer teljesítménye közötti feszültség komplex mérnöki kompromisszumokat teremt, amelyeket gondosan kell kezelni.

Ezen eltérő adatáramlási követelmények integrációja átfogó kommunikációs architektúrát tesz szükségessé, amely képes támogatni a változó késleltetési, megbízhatósági, sávszélességi és biztonsági igényeket a különböző járműfunkciókban [3]. A hagyományos pont-pont vagy egyszerű busz architektúrák nem tudják hatékonyan kielégíteni ezeket a komplex követelményeket, ami az Ipar 4.0 elvei által inspirált kifinomultabb megközelítések elfogadását ösztönzi [2, 3].

Döntéshozatali folyamatok az ADCS-ben

Az Autonóm Hajtásirányítási Rendszerekben a döntéshozatali folyamatok kifinomult hierarchikus struktúrákat képviselnek, amelyeket arra terveztek, hogy a nyers szenzoradatokat biztonságos, hatékony járművezérlési műveletekké alakítsák [4, 5]. Ezeknek a folyamatoknak integrálniuk kell a különböző információforrásokat, figyelembe kell venniük a bizonytalanságot, és egyensúlyt kell teremteniük a versengő célok között, miközben szigorú időzítési korlátok között működnek.

Az ADCS hierarchikus vezérlési architektúrái tipikusan több döntéshozatali szintet valósítanak meg, amelyek különböző időléptékekben és absztrakciós szinteken működnek. Stratégiai szinten az útvonaltervezési funkciók optimális útvonalakat határoznak meg a célállomás követelményei, a forgalmi viszonyok és az energetikai megfontolások alapján, tipikusan másodpercekben vagy percekben mért frissítési ciklusokkal működve. A taktikai szint a manővertervezést kezeli, beleértve a sávváltásokat, előzési döntéseket és kereszteződésben való navigációt, száz milliszekundumos nagyságrendű frissítési rátákkal. Az operatív szint a pillanatról pillanatra történő járművezérlést irányítja kormányzási, gyorsítási és fékezési parancsokon keresztül, milliszekundumokban mért magas frekvenciákon működve.

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkín–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering*. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavasoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

Ez a hierarchikus megközelítés lehetővé teszi a rendszer számára, hogy a komplex vezetési feladatokat kezelhető komponensekre bontsa, miközben fenntartja a jármű viselkedésének általános koherenciáját.

A szenzorfüziós technikák a döntéshozatali folyamat kritikus komponensét képviselik, egyesítve a több érzékelési modalitásból származó adatokat a jármű környezetének átfogó megértése érdekében [5]. A korai füziós megközelítések a nyers szenzoradatokat egyesítik a feldolgozás előtt, maximalizálva a környezeti modellezéshez rendelkezésre álló információt, de jelentős számítási erőforrásokat igényelve. A késői füzió minden szenzorból származó adatot külön dolgoz fel az eredmények egyesítése előtt, csökkentve a számítási igényeket, de potenciálisan elveszítve a szenzorbemenetek közötti korrelációkat. A hibrid megközelítések szelektíven implementálják a korai füziót a komplementer szenzorok esetében, miközben késői füziót használnak a független érzékelési modalitásokhoz. A megfelelő füziós architektúra kiválasztása jelentősen befolyásolja a rendszer teljesítményét, megbízhatóságát és számítási hatékonyságát [5].

Az autonóm rendszerekben a predikciós követelmények túlmutatnak az egyszerű tárgykövetésen, és magukban foglalják a jövőbeli állapotok és viselkedések előrejelzését [5]. A modern rendszereknek előre kell jelezniük az észlelt járművek, gyalogosok és más közlekedési szereplők pályáját több száz milliszekundumtól több másodpercig terjedő időhorizontokon. Ezeknek az előrejelzéseknek figyelembe kell venniük a fizikai korlátokat, a tipikus viselkedési mintákat és a környezeti kontextust. Továbbá a rendszereknek bizonytalansági becsléseket kell rendelniük az előrejelzésekhez, lehetővé téve a kockázattudatos döntéshozatalt [4]. Ezen előrejelzések pontossága közvetlenül befolyásolja a biztonságot, a hatékonyságot és az utasok kényelmét, így a prediktív képesség kulcsfontosságú megkülönböztető tényező az autonóm rendszerek teljesítményében.

A járműdinamikai modellezés döntő szerepet játszik a magas szintű döntések hatékony vezérlési műveletekké történő átalakításában. Ezek a modellek megragadják a vezérlési bemenetek és a jármű válaszai közötti komplex kapcsolatokat, figyelembe véve a gumiabroncsok jellemzőit, a felfüggesztés viselkedését, a súlyeloszlást és a környezeti feltételeket, mint például az útfelület súrlódását. A hagyományos megközelítések fizikai alapelvekből származtatott, fizikaalapú modelleket használnak, de pontosságukat korlátozza a valós kölcsönhatások komplexitása. Újabb implementációk adatvezérelt technikákat építenek be, amelyek a működési tapasztalatokból tanulják meg a jármű viselkedését, lehetővé téve a jármű válaszában pontosabb előrejelzését változatos körülmények között.

Ezen modellek integrálása a döntéshozatali folyamatba biztosítja, hogy a tervezett manőverek a jármű fizikai képességein belül maradjanak.

A döntés-validálási és verifikációs rendszerek biztosítják, hogy az autonóm vezérlési döntések megfeleljenek a biztonsági és teljesítménykövetelményeknek a végrehajtás előtt [4]. Ezek a rendszerek tipikusan többrétegű validálási megközelítéseket implementálnak, ahol az elsődleges döntési algoritmusok vezérlési terveket generálnak, amelyeket ezt követően független biztonsági felügyeleti rendszerek ellenőriznek. A validálási folyamat ellenőrzi, hogy a javasolt műveletek biztonságos távolságot tartanak-e az akadályoktól, betartják-e a közlekedési szabályokat, és a jármű működési képességein belül maradnak-e. Potenciális szabálysértések észlelésekor a biztonsági rendszerek felülbírálati műveleteket hajthatnak végre, vagy átadhatják az irányítást csökkentett funkcionalitású, de garantált biztonsági tulajdonságokkal rendelkező tartalék rendszereknek [4].

A jelenlegi autonóm rendszerek döntéshozatali keretrendszerei jelentős kihívásokkal néznek szembe a determinisztikus, szabályalapú megközelítések és az adaptív, tanulásalapú módszerek közötti egyensúly megteremtésében. A szabályalapú rendszerek átláthatóságot és ellenőrizhetőséget biztosítanak, de nehezen kezelik azokat az újszerű helyzeteket, amelyeket nem explicit módon kezeltek a programozásuk során. A tanulásalapú megközelítések nagyobb alkalmazkodóképességet kínálnak, de hiányozhat belőlük a magyarázhatóság és a formális verifikációs képesség [1]. E korlátok kezelése új megközelítéseket igényel, amelyek egyesítik mindkét paradigma erősségeit, miközben mérséklik azok gyengeségeit.

Kihívások és Ipar 4.0/5.0 megoldások

Az autonóm hajtásirányítási rendszerek fejlesztése számos kulcsfontosságú kihívással néz szembe, amelyeket hatékonyan lehet kezelni az Ipar 4.0 és 5.0 technológiák alkalmazásával [1, 2, 3]. Ez a szakasz ezeket a kihívásokat vizsgálja, és fejlett ipari koncepciókra és technológiákra támaszkodó megoldásokat javasol.

Az alrendszerek közötti fejlett kommunikáció és interaktív kapcsolatok alapvető kihívást jelentenek az ADCS fejlesztésében. A hagyományos autóiipari kommunikációs hálózatok, mint a CAN, korlátozott sávzélességet és viszonylag egyszerű interakciós modelleket biztosítanak, amelyek nem tudják támogatni az autonóm rendszerek komplex, adatintenzív követelményeit [6].

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Aroara–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering. Springer*, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkín–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering*. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*.

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks*.

Az Ipar 4.0 számos megoldást kínál erre a kihívásra fejlett hálózati koncepciók és adatkezelési megközelítések révén [2, 3]. Az Ethernet-alapú járműhálózatok biztosítják a szenzoradatok és vezérlési parancsok továbbításához szükséges nagy sávszélességet, a Time-Sensitive Networking (TSN) kiterjesztések pedig determinisztikus késleltetést garantálnak a kritikus üzenetek számára [6]. Egy Unified Namespace (UNS) architektúra, egy alapvető Ipar 4.0-koncepció, megvalósítása közös adatmegosztási környezetet teremt, ahol az alrendszerek hozzáférhetnek egy közös információs modellhez és hozzájárulhatnak ahhoz [3]. Ez a megközelítés lehetővé teszi a kifinomult eseményvezérelt interakciókat, ahol az egyik alrendszer állapotának változása azonnali válaszokat válthat ki más rendszerekből komplex pont–pont-integrációk nélkül. Az MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) és az OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) protokollok könnyűsúlyú, megbízható kommunikációs mechanizmusokat biztosítanak, amelyek támogatják az eseményvezérelt architektúrákhoz elengedhetetlen publish–subscribe-mintákat [6]. Ezek a technológiák együttesen átalakítják a hagyományos, silókban működő jármű-alrendszereket egy integrált információs ökoszisztémává, ahol az adatok szabadon, de biztonságosan áramlanak a komponensek között, lehetővé téve kifinomultabb vezérlési stratégiákat és gyorsabb reagálást a változó körülményekre [2, 3, 6].

Az integrált szenzoradat-kezelés egy másik jelentős kihívást jelent az autonóm rendszerek számára [6]. A több nagy felbontású szenzor által generált hatalmas adatmennyiség a hagyományos autóiipari számítási architektúrák képességeit meghaladó feldolgozási, tárolási és elemzési követelményeket teremt. Az Ipar 4.0 edge computing koncepciói hatékony megoldásokat kínálnak a feldolgozási kapacitás rendszeren belüli elosztásával, lehetővé téve az adatredukciót és -elemzést a keletkezési pont közelében [2, 3]. A helyi feldolgozási képességeket magukban foglaló okos szenzorok elvégezhetik a kezdeti adatszűrést és jellemző-kinyerést, csak releváns információt továbbítva a nyers adatfolyamok helyett. Az elosztott számítási csomópontok implementálhatnak szenzor-specifikus feldolgozási algoritmusokat, amelyeket adott adattípusokra optimalizáltak, az eredményeket pedig központi fúziós és döntési rendszerekbe táplálva [5]. Az Edge-to-cloud architektúrák kiterjesztik ezt a koncepciót a járműrendszerek háttérinfrastruktúrához való csatlakoztatásával, lehetővé téve a számításigényes elemzések kiszervezését, amikor helyénvaló, miközben fenntartják a helyi feldolgozást az időkritikus funkciókhoz. Ezek a megközelítések jelentősen csökkentik a kommunikációs sávszélesség-igényeket, miközben javítják a rendszer válasz készségét és megbízhatóságát.

A változó forgalmi helyzeteket kezelni képes robusztus prediktív vezérlőalgoritmusok fejlesztése talán az autonóm rendszerfejlesztés legnehezebb aspektusa. A hagyományos vezérlési megközelítések küzdenek a valós vezetési környezetek komplexitásával és kiszámíthatatlanságával, különösen a változatos közlekedési szereplőkkel rendelkező városi környezetben. Az Ipar 5.0 fejlett mesterséges intelligencia és gépi tanulási technológiái hatékony megoldásokat kínálnak ezekre a kihívásokra [1].

A kiterjedt vezetési adathalmazokon tanított mély neurális hálózatok képesek felismerni olyan komplex mintákat és forgatókönyveket, amelyek meghaladják a szabályalapú rendszerek képességeit. A megerősítéses tanulási technikák olyan vezérlési stratégiákat tesznek lehetővé, amelyek folyamatosan javulnak a működési tapasztalatok révén, alkalmazkodva a változó körülményekhez és felhasználói preferenciákhoz. A nagy nyelvi modell által inspirált architektúrák képesek integrálni a különböző információforrásokat, beleértve a vezetési környezet szemantikai megértését, lehetővé téve emberszerűbb döntéshozatalt komplex forgatókönyvekben [1]. Ezek az MI-vezérelt megközelítések alapvetően átalakítják a jármű képességét a környezetének megértésére és navigálására, túllépve a merev, programozott válaszokon, és adaptív, kontextuális viselkedést tesznek lehetővé, amely nagyobb robusztussággal képes kezelni újszerű helyzeteket [1, 5].

A digitális iker implementációja fenntarthatósági dimenziókkal egy feltörekvő kihívást és lehetőséget jelent az autonóm rendszerfejlesztésben. Átfogó digitális modellek létrehozása, amelyek pontosan rögzítik a járműdinamikát, az energiaáramlásokat és a környezeti kölcsönhatásokat, kifinomult szimulációs képességeket és kiterjedt validálást igényel. Az Ipar 4.0 digitális ikerkonceptiói keretrendszereket biztosítanak ezen modellek fejlesztéséhez, míg az Ipar 5.0 MI-képességei növelik azok pontosságát és hasznosságát [1, 2, 3]. A fizika-informált neurális hálózatok kombinálják az elméleti modelleket adatvezérelt megközelítésekkel, létrehozva hibrid modelleket, amelyek fenntartják a fizikai hihetőséget, miközben alkalmazkodnak a megfigyelt viselkedéshez. A felhőalapú szimulációs környezetek lehetővé teszik a kiterjedt virtuális tesztelést változatos forgatókönyvekben, jelentősen csökkentve a fizikai tesztelési követelményeket. A jármű működése közbeni valós idejű modelladaptáció lehetővé teszi a folyamatos finomítást a működési adatok alapján, biztosítva, hogy a digitális reprezentáció összhangban maradjon a fizikai valósággal. Ezek a digitális modellek lehetővé teszik a kifinomult optimalizálást több célkitűzés mentén, beleértve az energiahatékonyságot, az alkatrészek élettartamát és a környezeti hatást, támogatva a fenntarthatóság-orientált tervezést és működést [1].

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Arora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassõlkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering*. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Arora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering. Springer*, 4., (2.), pp. 186–191.

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[4] Mahmud, S. M. S.–Ferreira, L.–Hoque, M. S.–Tavassoli, A. (2019): Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: A review of recent developments and research needs. *IATSS Research*, 43., (2.), pp. 116–125.

[5] Brummelen, J. V.–O'Brien, M.–Gruyer, D.–Najjaran, H. (2018): Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89., pp. 384–406.

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks.*

[7] Sheridan, T. B. (2016): Human-robot interaction: *Status and challenges. Human Factors*, 58., (4.), pp. 525–532.

Az autonómia és a biztonság egyensúlyának megteremtése a döntéshozatali folyamatokban feszültséget teremt aközött, hogy a rendszereknek elegendő szabadságot engedjünk a hatékony működéshez, miközben fenntartjuk a szükséges biztonsági korlátokat [6]. Az Ipar 5.0 MI-vezérelt döntési keretrendszerei átlátható logikával ígéretes megközelítéseket kínálnak erre a kihívásra [1]. A magyarázható MI (Explainable AI) technikák lehetővé teszik, hogy a komplex döntési rendszerek ember által érthető indoklást adjanak cselekedeteikre, megkönnyítve a biztonsági ellenőrzést és a felhasználói bizalmat [7]. A bizonytalanságtudatos algoritmusok explicit módon modellezik a megbízhatósági szinteket értékeléseikben, lehetővé téve a megfelelő óvatosságot kétértelmű helyzetekben, miközben fenntartják a hatékonyságot a jól értelmezett forgatókönyvekben. A neurális hálózatalapú rendszerekhez adaptált formális verifikációs módszerek matematikai garanciákat nyújtanak a viselkedésre meghatározott működési paramétereken belül [4]. Ezek a technológiák együttesen lehetővé teszik az autonóm rendszerek számára, hogy kifinomult döntéseket hozzanak, miközben fenntartják az átláthatóságot és ellenőrizhetőséget, kezelve a biztonságkritikus alkalmazások kulcsfontosságú aggályait [1, 4].

Következtetések és jövőbeli kutatási irányok

Az Ipar 4.0 és 5.0 technológiák integrációja az autonóm hajtásirányítási rendszerekkel átalakító lehetőségeket kínál a járműautomatizálás előmozdítására [1, 2, 3]. A kifinomult kommunikációs architektúrák, az edge computing, a mesterséges intelligencia, a digitális ikrek és az átlátható döntési rendszerek alkalmazása kezeli a jelenlegi autonóm implementációk kulcsfontosságú kihívásait, lehetővé téve a képességesebb, megbízhatóbb és hatékonyabb működést [1, 2, 3, 4, 5, 6].

A hagyományos autóiipari architektúrákról az Ipar 4.0 által inspirált megközelítésekre való áttérés alapvetően megváltoztatja a jármű-alrendszerek közötti kapcsolatot [2, 3]. A korlátozott interakciójú, silókban működő komponensektől a közös információs teret megosztó integrált rendszerek felé történő elmozdulás lehetővé teszi a kifinomultabb vezérlési stratégiákat és a gyorsabb alkalmazkodást a változó körülményekhez.

Az Ipar 5.0 mesterséges intelligencia képességeinek beépítése tovább javítja ezeket a rendszereket, lehetővé téve számukra komplex mintázatok felismerését, jövőbeli állapotok előrejelzését és a működési tapasztalatok révén történő folyamatos fejlődést [1].

Számos ígéretes kutatási irány rajzolódik ki az autonóm hajtásrendszerek és a fejlett ipari technológiák metszéspontjában. A szabályalapú biztonsági garanciákat a tanulásalapú alkalmazkodóképességgel ötvöző hibrid döntési architektúrák fejlesztése kritikus területet jelent a további vizsgálatokhoz. Az autonóm rendszerek ellenőrzésére szolgáló szabványosított keretrendszerek létrehozása, amelyek képesek kezelni az emergens viselkedésű MI komponenseket, egy másik jelentős kihívást jelent. A föderált tanulásban rejlő lehetőségek feltárása a járműflották között, miközben megőrizzük az adatvédelmet és a biztonságot, szintén jelentős lehetőségeket kínál a rendszerfejlesztés felgyorsítására.

A jelenlegi rendszereknek ezen fejlett architektúrák felé történő átmenetének implementációs szempontjai gondos figyelmet igényelnek. A meglévő járműrendszerekkel való visszamenőleges kompatibilitás, az inkrementális telepítési stratégiák és a biztonságot megőrző, miközben a képességeket növelő migrációs útvonalak mind további fejlesztést igényelnek. Ezen egyre inkább összekapcsolt és szoftveresen definiált rendszerek biztonsági szempontjait alapvető architektúrális szintekről kell kezelni, nem pedig utólagos gondolatként.

A folyamatos kutatást igénylő nyitott kihívások közé tartozik a megfelelő bizalmi modellek létrehozása az MI-vezérelt autonóm rendszerek számára, a folyamatos tanulást és alkalmazkodást befogadó szabályozási keretek kidolgozása, valamint hatékony ember-gép-interfészek létrehozása ezekhez az egyre képesséesebb járművekhez [7]. Ezenkívül a gyártók közötti autonóm rendszerkommunikáció közös szabványainak és protokolljainak létrehozása elengedhetetlen lépés az olyan közlekedési ökoszisztémák felé, ahol a különböző fejlesztőktől származó járművek biztonságosan kölcsönhatásba léphetnek [6].

Az autonóm hajtásirányítási rendszerek és az Ipar 4.0 és 5.0 technológiák konvergenciája példátlan lehetőségeket teremt a járműautomatizálás előmozdítására [1, 2, 3]. A jelenlegi korlátok kezelésével a kifinomult összekapcsolhatóság, az elosztott intelligencia és a fejlett mesterséges intelligencia révén ezek az integrált megközelítések kikövezik az utat a biztonságosabb, hatékonyabb és képesséesebb autonóm járművek felé.

[1] Verstina, Natalia–Yashwant Singh Bisht–Pranav, Kumar Prabhakar–Rishabh, Aroora–Sudipta K.–Mishra, N. Rajasekhar (2024): AI and Autonomous Systems: An Experiment in Industry 5.0 Transformation. *BIO Web Conf.*

[2] Raivo, Sell–Anton, Rassölnkin–Ruxin, Wang–Tauno, Otto (2019): Integration of autonomous vehicles and Industry 4.0. *Central European Journal of Engineering. Springer, 4., (2.), pp. 186–191.*

[3] Mourtzis, D.–Angelopoulos, J.–Panopoulos, N. (2022): *Industry 4.0 and smart manufacturing. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.*

[6] Kardos K.–Péntek L. Z. (2019): Gépjármű-kommunikációs hálózatok. *Automotive communication networks.*

[7] Sheridan, T. B. (2016): Human-robot interaction: Status and challenges. *Human Factors, 58., (4.), pp. 525–532.*

Galéria

Duma Attila – Málta







