

**WORK ACCIDENT ANALYSIS  
IN A FUZZY LOGIC SYSTEM****MUNKABALESET ELEMZÉS  
FUZZY RENDSZERBEN**HERÉNYI Zoltán<sup>1</sup>**Abstract**

Machine safety has traditionally been a cornerstone of occupational safety. However, with the rise of artificial intelligence (AI), new types of risks have emerged that go beyond classical technical failures. This study aims to develop a fuzzy logic-based inference model capable of identifying patterns, correlations, and regularities in workplace accidents. The model is built upon the methodological guidelines of the Hungarian Ministry of National Economy and accident case studies published by the Employment Supervision Authority. The research also explores whether human knowledge and intent, when translated into machine logic, can generate new, relevant insights in other domains.

**Keywords**

artificial intelligence, fuzzy logic, accident analysis, AI-related risks, human-machine interaction

**Absztrakt**

A gépek biztonsága hagyományosan a munkavédelem egyik alappillére, azonban a mesterséges intelligencia (MI) térnyerésével új típusú kockázatok jelentek meg, amelyek túlmutatnak a klasszikus műszaki hibákon. A tanulmány célja egy fuzzy logikai alapú következtetési modell kidolgozása, amely képes baleseti mintázatok, összefüggések és szabályszerűségek feltárására. A modell alapját a Nemzetgazdasági Minisztérium módszertani útmutatója és a Foglalkoztatás-felügyelet által közzétett esettanulmányok képezik. A kutatás célja továbbá annak vizsgálata, hogy a gépi logikára fordított emberi tudás és szándék képes-e új, releváns tudás generálására más területeken is.

**Kulcsszavak**

mesterséges intelligencia, fuzzy logika, balesetelemzés, MI-kockázatok, ember-gép interakció

<sup>1</sup> zoltan.herenyi@gmail.com | ORCID: 0009-0000-2583-7104 | PhD student, Doctoral School of Safety and Security Sciences, Óbuda University | doktorandusz, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola

## BEVEZETÉS

A munkahelyi biztonság megteremtése szorosan összefügg az ott működő gépek biztonságos üzemeltetésével és az általuk végzett munkafolyamatok kontrollálhatóságával. A gépek biztonsága mindig is kiemelt szerepet töltött be a munkavédelemben, hiszen minél nagyobb mértékben haladják meg teljesítményükben az emberi képességeket – legyen szó erőről, gyorsaságról vagy pontosságról, annál nagyobb kockázatot jelent a működésük felletti irányítás elvesztése.

Ez a kockázat az intelligens rendszerek és a mesterséges intelligenciával támogatott gépek megjelenésével új dimenziókat ölt. Az ilyen gépek számos tekintetben meghaladják az emberi teljesítőképességet, ugyanakkor működésük során nemcsak egyszerű mechanikai hibák jelentkezhetnek, hanem a feladatok értelmezéséből fakadó, komplex korábban ismeretlen viselkedési hibák is.

Külön figyelmet érdemel az a tény, hogy a kezelőszervek hagyományos használatát egyre inkább felváltja a természetes nyelvű, verbális utasításadás. Bár ez elsődlegesen a kezelők számára egyszerűsítést jelent, a félreértelmességek esélye is jelentősen megnő, különösen összetett vagy kontextusfüggő feladatok esetén. A gépi intelligencia számára nemcsak a nyelvi utasítás helyes értelmezése kihívás, hanem az emberi szándék mélyebb, környezeti és szakmai kontextusba ágyazott felismerése is.

Ezért válik kulcsfontosságúvá egy olyan előfeldolgozási mechanizmus kidolgozása, amely képes a humán szándékokat formalizált szabályrendszerek mentén, a munkakörnyezet sajátosságait figyelembe véve értelmezni.

Ezen tanulmány egy kutatás eredményeit mutatja be. A vizsgálat célja az volt, hogy a Foglalkoztatás-felügyelet hivatalos felületén publikált halálos munkabaleseti esettanulmányokat elemezze. A feldolgozás alapját a Nemzetgazdasági Minisztérium által kiadott „Módszertani útmutató a munkabalesetek hatósági vizsgálatához” című dokumentum elvei képezték.

A kutatás során egy fuzzy logikán alapuló szabálybázis került kialakításra. Ennek célja, hogy a rendszer képes legyen hasonló következtetések levonására, mint amilyenekre egy tapasztalt munkavédelmi szakember jutna. Ez a megközelítés nem csupán a múlt tanulságainak strukturált feldolgozását teszi lehetővé, hanem jövőorientált alapot biztosíthat olyan intelligens döntéstámogató rendszerek számára is, amelyek segíthetik a mesterséges intelligenciával vezérelt gépek biztonságos beillesztését a munka világába.

Számos tanulmány található ebben a témában [1], [2] köztük olyan is mely több erre vonatkozó munkát gyűjtött össze strukturált formában [3] A gyakorlati alkalmazásokra jó példa a LumApps vállalati rendszer, amely a tudásalapú döntéstámogatás számos aspektusát mutatja be digitális platformokon keresztül [4].

A tudásalapú döntéstámogató rendszerek gyakorlati alkalmazására a Brain Pod AI komplex mesterséges intelligencia platformja is több példát kínál [5]. A kutatás célkitűzései összhangban állnak az EU-OSHA kutatási programjával [6], az Európai Unió munkahelyi egészségvédelemre és biztonságra vonatkozó stratégiájával [7], valamint Magyarország munkavédelemre vonatkozó nemzeti politikájával [8]. Amennyiben a fejlesztések a mesterséges intelligenciával támogatott kiterjesztett intelligencia irányába haladnak, az nemcsak a hatósági munka hatékonyságát növelheti, hanem hozzájárulhat a munkavédelem digitalizációs céljainak eléréséhez is [9].

## A kutatás fő kérdései:

- K1. Annak vizsgálata, hogy a komplex emberi tudás formalizálható-e oly módon, hogy az gépi feldolgozásra alkalmassá váljon numerikus értékek, logikai struktúrák vagy szabályalapú reprezentációk formájában?
- K2. Ezt követően annak feltérképezése válik kulcsfontosságúvá, hogy az ily módon kódolt tudásból kiindulva lehetőség nyílik-e új, eddig ismeretlen vagy rejtett tudáselemek, összefüggések feltárására. Azaz a rendszer egy fejlettebb változata képes lehet-e tanulni, következtetni és önállóan tovább építeni a meglévő ismeretbázist?

## SZAKIRODALOMI ÁTTEKINTÉS

Az Európai Unió országainak munkavédelmi tapasztalatai alapján az Európai Bizottság rendszeresen új keretirányelveket dolgoz ki, melyeket a tagállamoknak nemzeti stratégiáikba kell illeszteniük [10]. A munkavédelem európai szabályozásának alapkövét a 89/391/EGK keretirányelv [11] képezi, amely a munkavállalók munkahelyi biztonságának és egészségvédelmének javítását ösztönző intézkedéseket vezet be. A dokumentum általános jelleggel határozza meg a munkáltatók kötelezettségeit, így például az 5. cikk (1) bekezdése kimondja, hogy a munkáltató felelőssége a munkavállalók biztonságának és egészségvédelmének biztosítása minden, a munkával kapcsolatos szempontból. A 6. cikk (1) bekezdés tovább részletezi e kötelezettségeket, hangsúlyozva a megelőzés, a tájékoztatás, az oktatás és a megfelelő szervezettség fontosságát. Ez az általános alap képezi a kiindulópontját azoknak a további irányelveknek, amelyek konkrét technikai és tárgyi kockázatok kezelésére irányulnak. Kiemelendő közülük a 2009/104/EK irányelv [12] Munkavédelem, amely a munkaeszközök biztonsági és egészségvédelmi minimumkövetelményeit határozza meg. A dokumentum 2. cikk a) pontja alapján „munkaeszköz minden olyan gép, eszköz, szerszám vagy felszerelés, amelyet munka során használnak”, így közvetlen kapcsolatot teremt a munkavédelem és a gépek használatának szabályozása között. A gépek tervezésére és megfelelőségi követelményeire azonban már nem munkavédelmi irányelv, hanem a 2006/42/EK irányelv [13]. közismertebb nevén a gépdirektíva vonatkozik. Ez a szabályozás külön kezeli a gépek műszaki biztonságát, azonban célja szorosan kapcsolódik a munkavédelemhez: a veszélyforrások azonosítása, megszüntetése és a maradék kockázatok kezelése.

A fenti uniós szabályokat a magyar jogrendszer több lépcsőben integrálta. A keretirányelv rendelkezéseinek harmonizálására az 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről (munkavédelmi törvény) szolgál [14]. A 2009/104/EK irányelv [12] hazai megfelelője a 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet, amely a munkaeszközök biztonsági és egészségügyi követelményeinek minimumszintjét rögzíti. A gépdirektíva nemzeti átültetése a 16/2008. (VIII. 30.) NFGM rendeletben [15] történt meg, amely a gépek megfelelőségi tanúsításáról és biztonsági követelményeiről rendelkezik.

Ezek az irányelvek, valamint kapcsolódó dokumentumok és statisztikák elérhetők az Európai Unió hivatalos honlapján [16]. A hivatalos munkavédelmi felületek nem csupán a szakemberek számára nyújtanak tájékoztatósi alapot, hanem a cégvezetők számára is irányt mutatnak az ipar és a technológia fejlődési irányairól. Ezáltal segítik az új kihívásokra való felkészülést és a biztonságos működéshez szükséges stratégiai döntések meghozatalát. Az EU 2014–2020-as munkavédelmi stratégiája kiemelten kezeli a tagállami érvényesítés

javitását, és hangsúlyozza, hogy a jogi eszközök mellett felhasználóbarát informatikai megoldásokra is szükség van [17]. A 2023–2025-ös Egészséges munkahelyek – Biztonságos és egészséges munkahely a digitális korban kampány újabb lendületet ad a munkavédelem digitalizációjának [18].

Magyarországon a 2024. január 12-én kiadott „A munkavédelem nemzeti politikája 2024–2027” minisztériumi tájékoztató is megerősíti, hogy a zöld és digitális átállás a stratégia három kulcseleme között szerepel [8] a munkavédelem jövője tehát erősen technológia orientált irányba mozdul el.

A munkavédelem digitalizációja nem teljesen újkeletű dolog, így ennek megfelelően már évek óta léteznek olyan szoftverek a világpiacon melyek képesek valamilyen munkavédelmi feladat megoldására. Erre láthatunk példát, [19] munkája nyomán is, aki tanulmányában az ergonómiai szoftverekre vonatkozó tapasztalatokat mutatta be. A mesterséges intelligencia iparra és társadalomra gyakorolt hatását vizsgáló tanulmányok egyre gyakrabban utalnak arra, hogy a már napjainkban is érzékelhető változások egy újabb ipari forradalom előhírnökei lehetnek. [20] A szerzők szerint az MI nem csupán következménye, hanem egyre inkább motorja is a társadalmi és gazdasági átalakulásoknak, új korszakokat nyitva meg az ipar és a munka világában.

Számos tanulmány foglalkozik az AI felhasználási területeinek kutatásával, illetve működési mechanizmusaival.

Kollár és társai gyakorlati [21], [22] és szakértői oldalról is [23], [24], [25] megvilágították a mesterséges intelligencia használatának kérdését.

Egyes kutatások már kifejezetten az intelligens gyárak számára szükséges készségek és képességek feltérképezésére fókuszálnak – például Kelemen-Erdős és Beke munkája [26]

A mesterséges intelligencia jelen fejlettségével [27], [28] ugyanis elérkeztünk egy olyan ponthoz, ahol az informatikai eszközök már nemcsak támogatják, hanem alapjaiban alakítják át a munkavédelem működését, [29] melyet mi sem bizonyít jobban mint az (EU) 2023/1230 rendelet [30] közismert nevén az új géprendelet megjelenése, amelyet az Európai Parlament és a Tanács 2023. június 29-én fogadott el. Ez a rendelet hatályon kívül helyezi a korábbi 2006/42/EK gépirányelvet [13] és a 73/361/EGK tanácsi irányelvet [31], egyúttal teljesen új alapokra helyezi a gépek és kapcsolódó termékek biztonsági követelményeit – immár kifejezetten figyelembe véve a mesterséges intelligenciát alkalmazó rendszerek kockázatait is. A második sarokkö az AI Act (mesterséges intelligenciáról szóló rendelet) [32], amelyet az Európai Parlament 2024. március 13-án szavazott meg, és amely az első olyan átfogó jogi keretrendszert teremt meg világ szinten, amely kockázatalapú megközelítés mentén szabályozza a mesterséges intelligencia rendszerek fejlesztését, forgalmazását és használatát az Európai Unió területén. Az új géprendelet 2023/1230 rendelet [30] III. mellékletének 1.1.6. szakaszában található az idézett szöveg. „Adott esetben olyan gép vagy kapcsolódó termék átalakítása, amelynek szándékoltan teljesen vagy részben önfejlődő viselkedése vagy logikája különböző szintű önálló működésre van tervezve, hogy helyesen és megfelelő módon reagáljon az emberekre (például verbálisan szavak, nem verbálisan pedig arckifejezések vagy testmozgás révén), és hogy érthető módon tájékoztassa a kezelőket a tervezett műveleteiről (például mire és miért fog sor kerülni)” Ez elővetíti azt hogy az egyre dinamikusabban átalakuló munkakörnyezethez való alkalmazkodást fejlett döntéstámogató rendszerek fogják segíteni.

A döntéstámogató rendszerek fejlesztése tehát ma már nem pusztán elméleti lehetőség, hanem egyre inkább kézzelfogható gyakorlati cél, amelynek hatékony alkalmazására több sikeres példa is létezik. [33], [34], [35] Mindezek fényében már csak idő kérdése, hogy ezek a rendszerek a munkavédelemben is vezető szerephez jussanak a munkáltatói oldalon. A megváltozott ipari környezet új típusú kihívásokat is magával hozhat, amelyek vizsgálata nem csupán új szemléletmódot kíván a munkavédelmi hatóságoktól, hanem az ellenőrzések hatékonyságának számottevő növekedését is.

Egy mesterséges intelligenciával támogatott döntéstámogató rendszer használata egy potenciálisan jó irány egy magasan fejlett hatósági működés felé.

Számos tanulmány utal arra, hogy a legnagyobb eredményeket az ember és a mesterséges intelligencia közös tanulása, egymás képességeinek kiegészítése hozza. [9] A kiterjesztett intelligencia két alapformája ismert: a kiterjesztett humán intelligencia esetében az ember hozza meg a végső döntést a gép által előkészített adatok alapján, míg a kiterjesztett mesterséges intelligencia esetén a döntés végső pontját már a rendszer maga határozza meg. A mesterséges intelligencia alkalmazása emberi szűrőn keresztül optimális – ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy a döntés minősége ebben az esetben már az ember aktuális értelmi, érzelmi és mentális állapotától is függ. Ezért a magyarázható mesterséges intelligencia (XAI) rendszerek alkalmazása különösen indokolt lehet a munkavédelmi területen, ahol az emberi felhasználó számára érthető indoklások elengedhetetlenek a döntések elfogadásához és validálásához. Az XAI biztosítja, hogy az MI által javasolt következtetések és ajánlások átlátható logikai láncon keresztül visszakövethetők legyenek [36].

Ez a dinamikus ember-gép döntési rendszer új lehetőségeket nyithat a munkavédelmi ellenőrzések és balesetkivizsgálások hatékonyságának növelésében. Ebben az összefüggésben például Nemzetgazdasági Minisztérium által kiadott „Módszertani útmutató a munkabalesetek hatósági vizsgálatához” című dokumentum nemcsak útmutatásként szolgálhat, hanem egy lehetséges döntéstámogató rendszer strukturált tudásbázisát is képezheti [2] amennyiben tartalmát a gépi intelligencia számára is értelmezhető formába lehet transzformálni, [37]

A döntéstámogató rendszerek működése során az egyik legnagyobb kihívás annak biztosítása, hogy a rendszer ne csak adattárolóként, hanem értelmezőként is funkcionáljon. Ehhez szükséges, hogy az emberi szakértelemből származó tapasztalatokat absztrakt szabályok, súlyozások, prioritási sorrendek formájában transzformáljuk [38], [39] Mindez lehetővé teszi egy olyan adaptív rendszer kialakítását, amely nem csupán tényeket rögzít, hanem képes helyzetértékelésre, kontextusfüggő következtetések levonására is [40], [41]

## KUTATÁSMÓDSZERTAN

A kutatás módszertani alapját egy kvalitatív megközelítésű, részben Grounded Theory (GT) [42] alapú módszer képezi, amelyet deduktív és induktív logikai lépések együttes alkalmazása egészít ki. A GT célja, hogy az esettanulmányok elemzése során alulról építkezve feltárja azokat a szempontokat, relációkat és szabályszerűségeket, amelyek később a fuzzy logikai modell alapstruktúráit képezik. A kvalitatív tartalomelemzés segítségével az egyes baleseti esetekből nyert emberi tudás – beleértve a szándékokat, hibázási láncokat és környezeti kontextusokat – numerikus és logikai formába került átalakításra.

A kutatás célja egy olyan fuzzy logikára épülő következtetési modell kialakítása, amely képes munkabaleseti esettanulmányok alapján rejtett összefüggések és mintázatok

feltárására, a humán szándék és tudás gépi logikába történő átültetésével. A módszertan az alábbi négy egymásra épülő szakaszra tagolható.

### Forrásanyagok rendszerezése

Az elemzéshez használt esettanulmányok a Foglalkoztatás-felügyelet által publikált halálos munkabaleseti esetleírásokból származnak, melyeket a Nemzetgazdasági Minisztérium „Módszertani útmutató a munkabalesetek hatósági vizsgálatához” alapján kerültek újra strukturálásra. A cél az adatok formalizálása gépi feldolgozásra alkalmas formában.

### Szempontrendszer és szabályalapú modellezés

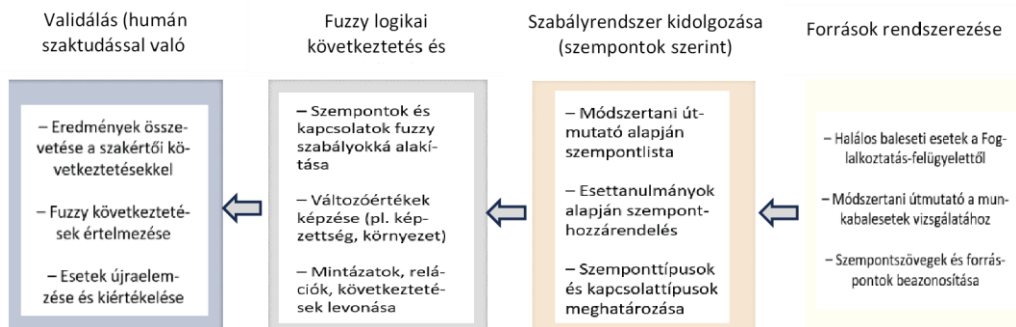
A kvalitatív megfigyelések kvantifikálása egy előre definiált vizsgálati szempontrendszer alapján történik. Minden szempont esetében rögzítésre kerül annak jelenléte, relevanciája és a kapcsolódó logikai viszonyok. Ezek alapján fuzzy szabályok alkotása történik, amelyek képesek leképezni a szakértői gondolkodás alapmintáit.

### Fuzzy következtetési rendszer kiépítése

Az azonosított szempontok és szabályok alapján fuzzy logikai modell kerül kialakításra, ahol a szöveges, gyakran bizonytalan megfogalmazások numerikus logikai reprezentációval párosulnak. A rendszer célja nem bináris döntések hozatala, hanem a valószínűségi relációk értelmezése a gépi tudásalkotás elősegítésére.

### Validálás és reflexív tanulságlevonás

A modell teljesítménye az eredeti esettanulmányok alapján ellenőrzésre kerül, összevetve a szakhatósági következtetésekkel. Ezen felül vizsgálatra kerül, hogy a rendszer képes-e új, eddig nem dokumentált összefüggések azonosítására, azaz tanul-e a szabályalapú tudásból. Ez nemcsak a munkavédelmi területen, hanem más, emberi szándék visszafejtésére épülő rendszerekben is alkalmazhatóvá teszi a módszert.



1. Ábra: A fuzzy logikai következtetési modell felépítése a munkabaleseti elemzés során

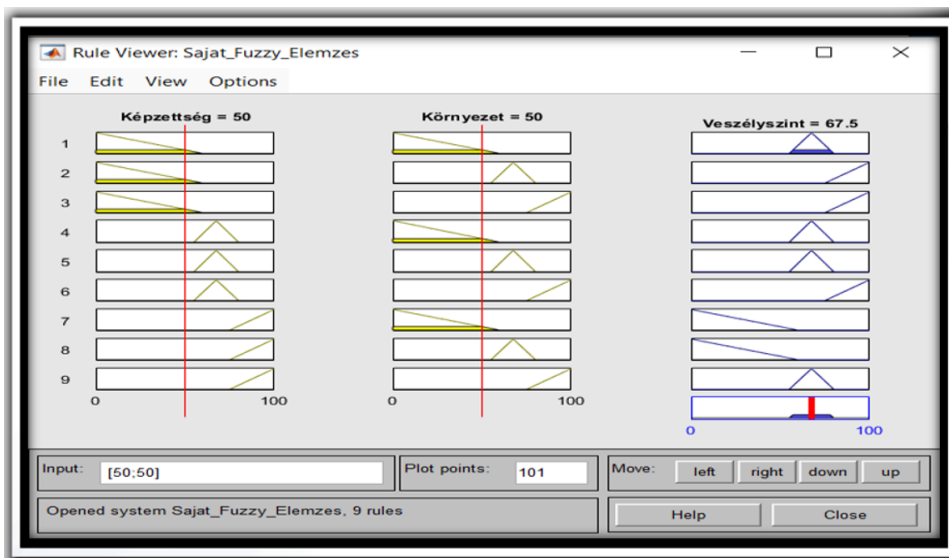
Forrás: Saját szerkesztés

Az alábbi ábra a mesterséges intelligencia alkalmazásán alapuló, fuzzy logikai következtetési modell kialakításának lépéseit mutatja be, amely strukturáltan vezeti végig a baleseti esettanulmányok szöveges tartalmától a gépi következtetésekig.

A folyamat során az emberi szakértői tudás formális szabályokká alakul, majd ezek alapján lehetőség nyílik új, releváns tudás generálására. Az ábra balról jobbra haladva végigkíséri a tudás kinyerés, szerkezetépítés, súlyozás, logikai kapcsolás, és végül a fuzzy

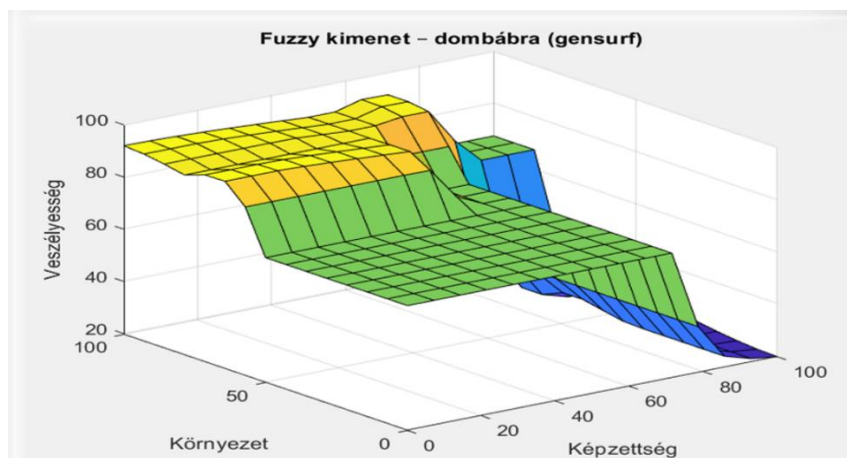
következtetés egyes szakaszait – összekapcsolva a valóságos tapasztalatokat a gépi értelmezés világával.

## KUTATÁSI EREDMÉNYEK



2. Ábra A rendszer szabályrendszerének grafikus megjelenítése Forrás: Saját szerkesztésű

A 2. ábra a fuzzy döntéstámogató rendszer szabályrendszerének grafikus megjelenítését mutatja. Az ábrán a bemeneti változók („Képzettség” és „Környezet”) értékei 50–50, amelyek alapján a rendszer a kilenc szabály mindegyikét aktiválja különböző mértékben. A jobb oldalon látható kimeneti változó („Veszélyszint”) értéke 67,5, amely a szabályok által súlyozott következtetés eredménye. A piros függőleges vonalak a bemeneti értékeket, míg az alsó, vastag piros vonal a defuzzifikált kimeneti értéket jelöli. Az ábra jól szemlélteti, hogy a rendszer miként építi fel az eredményt a különböző szabályok és bemeneti értékek kombinációjából.



3. Ábra Veszélysrűrség ábra az első vizsgálat elvégésekor Forrás: Saját szerkesztésű

A 3. ábra a fuzzy modell első vizsgálatának eredményeként létrejött kimeneti felületet (gensurf) szemlélteti. A dombábra azt mutatja meg, hogy a „Képzettség” és a „Környezet” változók különböző értékeinél mekkora a várható „Veszélyesség” szintje. Jól látható, hogy a veszélyesség mértéke különösen akkor magas, ha a képzettség alacsony, miközben a környezeti kockázat magas – ez a térképen sárgás és narancsszínű régióként jelenik meg. Ezzel szemben a magasabb képzettségi szintek egyértelműen csökkentik a veszély mértékét még kedvezőtlen környezeti feltételek mellett is. Az ábra megerősíti a modell várakozásait, és vizuálisan is igazolja, hogy a két bemeneti változó között erős, nemlineáris kapcsolat figyelhető meg a kimeneti veszélyérték tekintetében.

|   | Kepzettseg | Kornyezet | CoA     | Szint |
|---|------------|-----------|---------|-------|
| 1 | 27         | 59        | 88.5000 | MV    |
| 2 | 38         | 67        | 89.9000 | MV    |
| 3 | 38         | 69        | 89.9000 | MV    |
| 4 | 53         | 67        | 88.5000 | MV    |
| 5 | 35         | 82        | 89.4000 | MV    |
| 6 | 47         | 82        | 89.1000 | MV    |
| 7 | 32         | 91        | 90.4000 | MV    |
| 8 | 32         | 91        | 90.4000 | MV    |

4. Ábra Az első vizsgálat eredményei Forrás: Saját szerkesztésű

A 4. ábra az első modellfutás eredményeit tartalmazza, amelyben a „Képzettség” és a „Környezet” tényezők együttes hatása jelenti a maximálisan lehetséges veszélyszintet. Ebben az esetben az értelmezés szerint a két változó teljes mértékben lefedi a balesetveszélyt, így azok együttes hatása alkotja a 100%-os referenciaértéket. A CoA (Center of Area) módszerrel meghatározott kimeneti értékek szinte kivétel nélkül a magas veszélyszint (MV) kategóriájába estek, ami azt jelzi, hogy a rendszer a két tényező alapján helyesen ismeri fel a veszélyeztetettséget. Az eredmények tehát jól tükrözik a modell érzékenységét a kulcstényezők kombinációira.

|   | Kepzettseg | Kornyezet | CoA     | Szint |
|---|------------|-----------|---------|-------|
| 1 | 38         | 41        | 67.5000 | KV    |
| 2 | 54         | 47        | 67.5000 | KV    |
| 3 | 54         | 48        | 67.5000 | KV    |
| 4 | 76         | 47        | 54.8000 | KV    |
| 5 | 50         | 57        | 83.8000 | MV    |
| 6 | 67         | 57        | 67.5000 | KV    |
| 7 | 45         | 63        | 89.2000 | MV    |
| 8 | 45         | 63        | 89.2000 | MV    |

5. Ábra A második vizsgálat eredményei Forrás: Saját szerkesztésű

Az 5. ábra a második vizsgálat eredményeit mutatja, ahol a viszonyítási alap már nem a két változó együttes maximuma, hanem a teljes baleseti szituáció komplex veszély-

szintje. Ez azt jelenti, hogy a modellnek azt kellett megbecsülnie, a „Képzettség” és a „Környezet” tényezők együtt milyen arányban járultak hozzá a ténylegesen bekövetkezett balesethez. A kimeneti értékek itt változatosabb képet mutatnak, több eset a közepes veszélyszint (KV) kategóriájába esik, ami arra utal, hogy a vizsgált tényezők az adott esetekben nem kizárólagosan determinálták a balesetek bekövetkezését. Ez a megközelítés segíti az ok-okozati viszonyok finomabb megértését, és rámutat arra is, hogy egyes szituációkban további tényezők is jelentős szerepet játszhattak.

## KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az 1-5-ig az ábrák a rendszer első működési ciklusának eredményeit mutatják be. A 2. ábra a kialakított szabályhalmazt, valamint az aggregált kimeneti eredményeket jeleníti meg. A grafikus felület lehetőséget biztosít az egyes szabályok külön-külön történő tesztelésére, ezáltal nyomon követhető, hogy azok milyen kimenetekhez vezetnek. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy ez a felület nem alkalmas a rendszer egészének működésére vonatkozó érvényességi megállapításokra, azaz nem képes visszajelzést adni a teljes logikai struktúra helyességéről.

A rendszer validálásában kulcsszerepet játszik a veszélyssűrűség-vizsgálat, amelyet a 3. ábra szemléltet. Ezek az ábra a rendszer működésének minőségéről, valamint a veszélyeloszlások logikai következményeiről ad tájékoztatást. A konkrét működési helyesség alátámasztására azonban elsősorban a 4. és 5. ábrák szolgálnak, amelyek a kimeneti értékeket rendszerszintű logikai összefüggések mentén mutatják be.

A két megközelítés szerint készült eredménytáblázatok különböző értelmezési szinteket képviselnek. Az első megközelítés szerint a vizsgált veszélyszintet kizárólag a két bemeneti változó – a „Képzettség” és a „Környezet” – kombinációja idézte elő. Mivel ebben az esetben nem kerültek bevonásra további tényezők, a modell logikája szerint a két változónak együttesen közelítenie kell a 100%-os veszélylefedettséghez. A 4. ábra tanúsága szerint az eredmények 88–90% közötti tartományban mozogtak, ami azt jelzi, hogy a rendszer működése ebben az értelemben megfelelt az elvárásoknak.

A második megközelítés a két változó relatív hozzájárulását vizsgálta a balesetek során ténylegesen kialakult veszélyszinthez képest. Előzetes számítások alapján ebben az értelmezésben a várható hozzájárulás átlagosan 72% volt, amely a rendszer besorolása szerint a közepes veszélyszintnek felel meg. Ez arra utal, hogy még abban az esetben is, ha a balesethez vezető valamennyi kulcstényező a két fő szál valamelyikén megjelent, a tényleges baleseti veszélyszintnek csak körülbelül 70%-át tudták lefedni – ami azt is jelenti, hogy a balesetnek elvileg nem kellett volna bekövetkeznie. Mivel azonban minden vizsgált esetben súlyos balesetről volt szó, ez az érték elsőre alacsonynak tűnhet.

Fontos ugyanakkor megjegyezni, hogy a rendszerben megjelenő kulcstényezők súlyozása nem kizárólag a tényleges jelentőségükön, hanem a vizsgálati szálakhoz való kapcsolódásuk erősségén is múlik. Azok a tényezők, amelyek nem közvetlenül a felügyelői értékelés révén kerültek be, vagy csak gyenge kapcsolattal voltak összeköthetők a fő szálakkal, automatikusan alacsonyabb súlyozást kaptak. Ennek kiküszöbölésére a jövőbeni verziókban cél a kapcsolati súlyozás módosítása, valamint több vizsgálati szál párhuzamos alkalmazása, amely lehetővé teszi a tényezők valós értékének pontosabb visszatükrözését.

Összességében a várható eredmények a közepes veszélyszint tartományába estek, és a tényleges kimenetek ezt többnyire megerősítették. A 5. ábra szerint az esetek többsége

valóban ebbe a kategóriába esett, ugyanakkor az esetek 37%-ában magas veszélyszintet mutatott a rendszer. Bár a korábbi matematikai előrejelzések alapján nem lett volna várható ilyen magas kategória, azok csak az átlagértékekre vonatkoztak. Egyedi esetek szintjén korábban is megfigyelhetők voltak hasonló eltérések.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy a rendszer működése megfelelőnek tekinthető, azonban a kapott eredmények részletesebb értelmezése és a vizsgálatok bővítése több bal-eseti eset bevonásával elengedhetetlen a végleges következtetések megalapozásához

## ÖSSZEFOGLALÁS

A balesetvizsgálat eredményessége nem kizárólag a tudás mennyiségén vagy a szakemberek felkészültségi szintjén múlik, hanem azon is, hogy a meglévő ismeretek és gyakorlati tapasztalatok miként illeszkednek az adott kivizsgálási helyzet sajátos körülményeihez. Ez különösen igaz a hatóságok által végzett helyszíni vizsgálatokra, amelyek során pszichés nyomás, időkorlátok és számos egyéb akadályoztató tényező mellett kell objektív és megalapozott döntéseket hozni. E körülmények között jelentős támogatást nyújthat egy olyan döntéstámogató rendszer, amely képes a már rendelkezésre álló adatok alapján meghatározni a további szükséges információkat, irányt mutatni a vizsgálat folytatásához, illetve a teljes adathalmaz birtokában elősegíteni az objektív tényfeltárást.

A jelen tanulmány célja egy ilyen rendszer alapjainak lefektetése volt. A kidolgozott megközelítés ötvözi a munkavédelmi szakértők gyakorlati tapasztalatait, a súlyos és halálos munkabalesetekből levonható tanulságokat, valamint a fuzzy logikai rendszer rugalmasságát. Az így kialakított modell a vizsgált nyolc balesetet elemzése során két fő vizsgálati szál – a munkavállalók képzettsége, illetve a környezeti tényezők – mentén haladva átlagosan a releváns szempontok 72%-át volt képes feltárni és fuzzy modellben értékelni.

Ez az eredmény különösen biztató annak fényében, hogy a modellbe a jövőben további vizsgálati szálak is integrálhatók, amely még tovább növelheti az értékelés hatékonyságát. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a rendszer nem az emberi döntés kiváltására, hanem annak támogatására szolgál. Már a jelenlegi eredmények is bizonyítják, hogy hasznos kiegészítő eszközként szolgálhat a balesetvizsgálatok során.

Bár a rendszer mindhárom pillére – a kivizsgálási módszertan, a baleseti tanulságok, valamint a fuzzy megközelítés – külön-külön is bizonyították létjogosultságukat, a mostani konfiguráció hatékonysága és gyakorlati alkalmazhatósága csak további esettanulmányok és validációs folyamatok révén nyerhet teljes megerősítést.

## FELHASZNÁLT IRODALOM<sup>2</sup>

- [1] I. C. Baierle, M. A. Sellitto, R. Frozza, J. L. Schaefer, and A. F. Habekost, “*An artificial intelligence and knowledge-based system to support the decision-making process in sales*,” South African Journal of Industrial Engineering, vol. 30, no. 2, pp. 17–25, Aug. 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7166/30-2-1964>
- [2] M. Tanque, “*Knowledge Representation and Reasoning in AI-Based Solutions and IoT Applications*,” in Artificial Intelligence to Solve Pervasive Internet of Things Issues,

<sup>2</sup> példák hivatkozásokra | REFERENCES examples of references

- Elsevier, 2021, pp. 13–49. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818576-6.00002-2>
- [3] N. Tamascelli, A. Campari, T. Parhizkar, and N. Paltrinieri, “*Artificial Intelligence for safety and reliability: A descriptive, bibliometric and interpretative review on machine learning*,” *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 90, art. 105343, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105343>
- [4] [5] LumApps, “*Exploring knowledge-based systems: Enhancing decision-making with AI*.” [Online]. Available: <https://www.lumapps.com/insights/blog/exploring-knowledge-based-systems-enhancing-decision-making-ai>. [Accessed: Jun. 10, 2025].
- [5] Brain Pod, “*Exploring knowledge-based agents in AI: Real-world examples and applications*,” [Online]. Available: <https://brainpod.ai/exploring-knowledge-based-agents-in-ai-real-world-examples-and-applications/>. [Accessed: Apr. 20, 2025].
- [6] EU-OSHA, “*Digitalisation and occupational safety and health: EU-OSHA research programme*,” [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/hu/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-eu-osha-research-programme>. [Accessed: Apr. 20, 2025].
- [7] European Commission, “*Strategic policy documents*,” [Online]. Available: [https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work/strategic-policy-documents\\_de](https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work/strategic-policy-documents_de). [Accessed: Apr. 20, 2025].
- [8] Ministry for Innovation and Technology, “*Digital Labour Protection Strategy*,” Hungarian Government, [Online]. Available: <https://cdn.kormany.hu/uploads/document/4/48/48c/48c0999a11d2e7741d110165f40505ec9d341513.pdf>. [Accessed: Apr. 20, 2025].
- [9] A. Correia, A. B. Barr, T. Malone, P. Dillenbourg, and G. Fischer, “*Designing for Hybrid Intelligence: A Taxonomy and Survey of Crowd-Machine Interaction*,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 4, p. 2198, Feb. 2023, doi: 10.3390/app13042198.
- [10] European Agency for Safety and Health at Work, “*OSH strategies*,” [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/hu/safety-and-health-legislation/osh-strategies>. [Accessed: Apr. 20, 2025].
- [11] European Union, Council Directive 89/391/EEC on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work, Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=celex:31989L0391>. [Accessed: Jun. 10, 2025].
- [12] European Union, Directive 2009/104/EC concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work, Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32009L0104>. [Accessed: Jun. 10, 2025].
- [13] European Union, Directive 2006/42/EC on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast), Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0042>. [Accessed: Jun. 10, 2025].
- [14] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről, NetJogtár, Available: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300093.tv>. [Accessed: Jun. 10, 2025].
- [15] 16/2008. (VIII. 30.) NFGM rendelet a gépek biztonsági követelményeiről, [Online]. Available: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800016.nfg>

- [16] “*Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz - Europäische Kommission*,” Accessed: Apr. 17, 2025. [Online]. Available: [https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work\\_de](https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work_de)
- [17] “*Strategiepapiere - Europäische Kommission*,” Accessed: Apr. 17, 2025. [Online]. Available: [https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work/strategic-policy-documents\\_de](https://employment-social-affairs.ec.europa.eu/policies-and-activities/rights-work/health-and-safety-work/strategic-policy-documents_de)
- [18] Digitalisation and occupational safety and health – EU-OSHA research programme, [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/hu/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-eu-osha-research-programme>
- [19] Gy. Szabó, “*Az ergonómiai funkciók szerepe a digitalizált termelési folyamatokban, a digitalizált iparban*,” *Gép*, vol. 69, no. 1, pp. 78–82, 2018. [Online]. Available: [https://epa.oszk.hu/03300/03334/00041/pdf/EPA03334\\_gep\\_2018\\_1\\_078-082.pdf](https://epa.oszk.hu/03300/03334/00041/pdf/EPA03334_gep_2018_1_078-082.pdf)
- [20] E. González-Sarmiento, J. Roa-Perez, and L. Ortiz-Ospino, “*Big Data and Artificial Intelligence in the Development of Industry 4.0: A Bibliometric Analysis*,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1154, art. 012008, Jun. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1154/1/012008.
- [21] Cs. Kollár and B. Nagy, “*A mesterséges intelligencia felhasználási lehetőségei az objektumfelismerésben (első rész)*,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 3, no. 1, pp. 123–140, Mar. 2021. [Online]. Available: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/126>
- [22] Cs. Kollár and B. Nagy, “*A mesterséges intelligencia felhasználási lehetőségei az objektumfelismerésben (második rész)*,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 3, no. 2, pp. 115–129, Jun. 2021. [Online]. Available: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/160>
- [23] M. H. Lehoczky and C. Kollár, “*On the road to human-scale artificial intelligence, as seen by our experts*,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 4, no. 1. Ksz., pp. 5–21, Oct. 2022. [Online]. Available: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/254>
- [24] M. H. Lehoczky and C. Kollár, “*A mesterséges intelligencia múltja, jelene és jövője a senior és a junior szakértők szemszögéből (1. rész)*,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 4, no. 1, pp. 117–129, Mar. 2022. [Online]. Available: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/208>
- [25] M. H. Lehoczky and C. Kollár, “*A mesterséges intelligencia múltja, jelene és jövője a senior és a junior szakértők szemszögéből (2. rész)*,” *Biztonságtudományi Szemle*, vol. 4, no. 2, pp. 87–101, Jun. 2022. [Online]. Available: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/231>
- [26] A. Kelemen-Erdős and É. Beke, “*A mesterséges intelligencia az oktatásban – lehetőségek és korlátok*,” *Iskolakultúra*, vol. 33, no. 8, pp. 52–66, 2023, doi: 10.14232/iskkult.2023.8.52.
- [27] J. Liu, X. Kong, F. Xia, X. Bai, L. Wang, Q. Qing, and I. Lee, “*Artificial Intelligence in the 21st Century*,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 34403–34421, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2819688.
- [28] J. Sevilla, L. Heim, A. Ho, T. Besiroglu, M. Hobbhahn, and P. Villalobos, “*Compute trends across three eras of machine learning*,” in *Proc. Int. Joint Conf. Neural Netw. (IJCNN)*, Padua, Italy, Jul. 2022, pp. 1–8, doi: 10.1109/IJCNN55064.2022.9891914.

- [29] “*Can AI actually increase human productivity?* | *World Economic Forum*,” World Economic Forum, May 2023. Accessed: Apr. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/stories/2023/05/can-ai-actually-increase-productivity/>
- [30] “*Regulation - 2023/1230 - EUR-Lex*,” EUR-Lex. Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1230/oj?locale=hu>
- [31] “*Directive - 73/361 - EUR-Lex*,” EUR-Lex, Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX%3A31973L0361>
- [32] “*EU AI Act: The First Regulation on Artificial Intelligence*,” European Parliament, Accessed: Jun. 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence>
- [33] A. Kułakowska, E. Frankowska, and B. Sadzińska, “*Implementation of the Behavioural Observation Programme as Part of the Work Safety Strategy*,” *Safety & Fire Technology*, vol. 56, no. 2, pp. 156–175, 2020, doi: 10.12845/SFT.56.2.2020.10.
- [34] B. U. Ayhan and O. B. Tokdemir, “*Safety assessment in megaprojects using artificial intelligence*,” *Saf Sci*, vol. 118, pp. 273–287, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.SSCI.2019.05.027.
- [35] M. Pishgar, S. F. Issa, M. Sietsema, P. Pratap, and H. Darabi, “*REDECA: A novel framework to review artificial intelligence and its applications in occupational safety and health*,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 13, p. 6705, Jun. 2021, doi: 10.3390/ijerph18136705.
- [36] G. Kostopoulos, G. Davrazos, and S. Kotsiantis, “*Explainable artificial intelligence-based decision support systems: A recent review*,” *Electronics*, vol. 13, no. 14, p. 2842, Jul. 2024, doi: 10.3390/electronics13142842.
- [37] M. Gul, “*A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions*,” *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, vol. 24, no. 7, pp. 1723–1760, Oct. 2018, doi: 10.1080/10807039.2018.1424531.
- [38] M. Tiikkaja, M. Mäkiäho, M. M. Leppänen, P. Kivistö-Rahnasto, and T. Seppälä, “*AI-supported safety management – analysing occupational safety data using machine learning within the framework of human factors*,” *SSRN Electronic Journal*, 2024, doi: 10.2139/SSRN.4879013.
- [39] A. Y. Ng and M. Hauskrecht, “*Informed Machine Learning – A Taxonomy and Survey of Prior Knowledge Integration into Learning Systems*,” *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 35, no. 5, pp. 4504–4525, May 2023, Accessed: Apr. 21, 2025. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9429985>
- [40] P. Venkatachalam and S. Ray, “*How do context-aware artificial intelligence algorithms used in fitness recommender systems? A literature review and research agenda*,” *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 2, no. 2, p. 100139, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jjime.2022.100139.
- [41] W. Jin, R. Xu, S. Lim, D. H. Park, C. Park, and D. Kim, “*Dynamic inference approach based on rules engine in intelligent edge computing for building environment control*,” *Sensors*, vol. 21, no. 2, p. 630, Jan. 2021, doi: 10.3390/s21020630.

- [42] J. Corbin and A. Strauss, Basics of Qualitative Research (3rd ed.): Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory. Apr. 2008, doi: 10.4135/9781452230153.