

Döntéstámogató rendszer tervezése hegesztési füst vizsgálatával

Design of a Decision Support System Based on Welding Fumes Analysis

Kovács Zsombor

Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország

kovacs.zsombor@hok.uni-obuda.hu

Összefoglalás — A munkavállalók biztonságának és egészségének megóvása egy rendkívül fontos kérdéskör napjainkban. Azonban ennek figyelése rengeteg humán erőforrást igényelne, így legtöbb esetben informatikai rendszerek segítségével monitorozzuk a munkakörnyezetet. Ezeknek a rendszereknek köszönhetően rengeteg adat áll rendelkezésre számunkra, amelyet statisztikák készítésére tudunk használni. Ebben a cikkben egy fuzzy modell megalkotása a cél, amely a hegesztés közben, számszerűen mérhető füstparaméterek alapján hivatott meghatározni a hegesztő kitettségét. Ez a modell támogatja a döntéshozatalt a munkavállalók egészségvédelmében, és a jövőben beavatkozások elvégzésére is alkalmas lehet.

Kulcsszavak: hegesztési füst, kockázatelemzés, fuzzy modell

Abstract — Ensuring the safety and health of workers is an critical concern today. However, monitoring these aspects requires a significant amount of human resources, thus, IT systems are commonly used. Thanks to these systems, a vast amount of data is available, which can be used for statistical analysis. The aim of this paper is to develop a fuzzy model that estimates the exposure of a welder based on quantifiable parameters (such as welding fumes concentration) during the welding process. This model supports decision-making processes regarding worker health protection and may facilitate future interventions.

Keywords: welding fumes, risk analysis, fuzzy model

1 BEVEZETÉS

A hegesztés az egyik legmeghatározóbb gyártási technológia napjainkban. Alkalmazása megtalálható az ipar szinte összes ágazatában. A varratkialakítás minősége alapvetően határozza meg a szerkezet mechanikai tulajdonságait. Ennek standardizálására már régóta alkalmaznak gépesített vagy robotizált hegesztési eljárásokat, amelyek egyenletes minőséget képesek biztosítani.

Ugyanakkor gyakran vannak olyan körülmények, ahol nem lehet megoldás a gépesített eljárás, a hegesztést embernek kell végeznie. Ez pedig felveti a hegesztő munkavédelmének kritériumát is. A törvényi háttér rendkívül szigorú szabályok mentén határozza meg ezeket a kritériumokat, ami nagy kihívást és felelősséget ró a munkáltatókra.

A hegesztés egy kifejezetten veszélyes technológia az egészségkárosító hatások miatt. Ide tartoznak fizikai, kémiai, biológiai és pszichoszociális körülmények. Ezek közé sorolható többek között a hegesztési pozícióból származó ergonómiai probléma, az ívfény okozta látáskárosodás, valamint –a cikk szempontjából kiemelten – a hegesztési füst által okozott légúti megbetegedések.

Emiatt kulcsfontosságú, hogy folyamatosan vizsgáljuk a munkavállalók kitettségét, függetlenül attól, hogy elsődleges vagy másodlagos expozíció éri őket. Továbbá kiemелendő, hogy a kitettség nem állandó, számos körülmény befolyásolja, amelyek függvényében kell vizsgálni a hegesztő kitettségét. A gyakorlatban azonban nincs lehetőség hosszas elemzésekre, a kockázatelemzés eredményét a lehető legrövidebb idő alatt célszerű elérni. A cikk célja egy fuzzy modell felépítése, amely képes a kiválasztott hegesztési körülmények figyelembe vételével meghatározni a hegesztő személyi kitettségét.

2 HEGESZTÉSI FÜST KOCKÁZATAI

2.1 A füst összetétele

A hegesztési füst egy komplex aeroszol, amely szilárd részecskék és gázok elegye. Ez a hegesztési ív által generált hő hatására párolog el elsősorban a hozaganyagból, illetve a hegesztendő fémből. A magas hőmérséklet hatására ezek az anyagok gőz állapotba kerülnek, majd a környező levegővel érintkezve gyorsan lehűlnek, és mikroszkopikus részecskékké kondenzálódnak, amelyek belélegezve komoly egészségügyi kockázatot jelenthetnek.

A füstben található szilárd részecskék jelentős része oxidált formában fordul elő, és kémiai összetételük jelentős mértékben függ az alkalmazott hegesztési eljárástól, a felhasznált anyagoktól és a munkakörnyezet paramétereitől. A leggyakrabban előforduló komponensek közé tartozik a vas-oxid, amely vassal történő hegesztés során keletkezik, valamint a mangán-oxid, amely a hozaganyagokban gyakori ötvözőelem. Ezenkívül előfordulhatnak króm- és nikkel-oxidok, főként rozsdamentesacél hegesztése során, amelyek belélegzése különösen veszélyes, mivel hosszú távon akár karcinogén hatású lehet. Emellett jelen lehetnek szénalapú vegyületek, például szénkorom vagy egyéb szerves eredetű szennyeződések.

Nemcsak a részecskék, hanem a különféle gázok is jelentős szerepet játszanak a hegesztési füst káros hatásaiban. A hegesztési eljárás típusától függően különféle toxikus gázok keletkezhetnek, mint például szén-monoxid (CO), szén-dioxid (CO₂), nitrogén-oxidok (NO és NO₂), valamint ózon (O₃). A szén-monoxid erősen mérgező, mert gátolja az oxigén szállítását a vérben. A nitrogén-oxidok és az ózon erősen irritálják a légutakat, gyulladást okozhatnak, és tartós expozíció esetén maradandó tüdőkárosodást is eredményezhetnek. Egyes esetekben ezek a gázok akár központi idegrendszeri zavarokat, fejfájást, szédülést vagy akár súlyosabb mérgezési tüneteket is előidézhetnek [1].

2.2 Részecskeméret

A hegesztési füst egyik legfontosabb komponense a benne található szilárd részecskék összessége, amelyek a füst jól látható, sűrű, gomolygó részét alkotják. Ezek a részecskék nem csupán optikai jelentőséggel bírnak, hanem komoly egészségügyi kockázatot is jelentenek a hegesztők és a környezetükben tartózkodók számára. A részecskék a fémek párolgása, oxidációja, illetve különböző kémiai reakciók eredményeképpen keletkeznek, majd a levegőben lebegve szállítódnak. Számos nemzetközi kutatás és toxikológiai vizsgálat foglalkozik a szilárd részecskék biológiai hatásaival, különösen azokkal, amelyek hosszabb ideig a légutakban vagy a szervezet más részeiben maradnak.

Méret szerint a szilárd részecskéket három fő frakcióba szokás sorolni. Az első csoportba tartoznak az ún. inhalábilis részecskék, amelyek 100 µm alatti mérettartományba esnek. Ezek képesek a szájon és orron keresztül bejutni a szervezetbe. Egy részük már a felső légutakban – például az orrüregben, a garatban vagy a gégefő környékén – kiszűrődik és lerakódik, azonban jelentős mennyiség továbbjut a mellkas irányába. Ezeket a részecskéket torakális frakciónak nevezzük, mivel eljutnak a légcsövön keresztül egészen a hörgőkig. A még ennél is kisebb, 4 µm-nél kisebb méretű szemcsék képesek mélyen behatolni a tüdőbe, ahol letapadhatnak, és közvetlenül érintkezhetnek a gázcsere végző sejtek felületével. Ez különösen veszélyes, mert a lerakódott anyagok gyulladást, sejtkárosodást, és hosszú távon hegesedést vagy daganatos elváltozásokat is előidézhetnek.

A legnagyobb kockázatot azonban az ún. nanorészecskék jelentik, amelyek mérete 1 és 100 nm közé esik. Ezek olyan aprók, hogy nemcsak mélyen a tüdőbe képesek behatolni, hanem át is tudnak hatolni a sejtfalakon is. Ennek következtében bekerülhetnek a vérkeringésbe, és így a test bármely részébe eljuthatnak, akár a központi idegrendszerbe, a májba, vesébe vagy egyéb létfontosságú szervekbe. A sejtszinten kifejtett hatásuk – például oxidatív stressz vagy DNS-károsodás – súlyos, sokszor visszafordíthatatlan egészségkárosodáshoz vezethet. Emellett a nanoméretű részecskék az immunrendszere is hatással lehetnek, gyulladást okozhatnak, és fokozhatják más betegségek kialakulásának kockázatát is.

Ebből is látható, hogy a részecskeméret vizsgálata kifejezetten fontos, mivel a belélegezhető frakciónál nagyobb méretű részecskék esetében az egészségkárosító hatás jelentősen alacsonyabb [2][3].

2.3 Hegesztési füst által okozott megbetegedések

Az első dokumentált eset, amely egyértelműen összefüggésbe hozható a hegesztési füst által kiváltott egészségkárosodással, 1938-ból származik. Ebben a korai beszámolóban még csupán ártalmatlannak vélték, a légutakban lerakódott porról írtak, és a veszélyeket alábecsülték. Az orvostudomány fejlődésével és az ipari egészségvédelem előretörésével azonban fokozatosan világossá vált, hogy a hegesztési füst nemcsak kellemetlen, hanem potenciálisan súlyosan károsító hatással van az emberi szervezetre. Különösen az utóbbi évtizedekben kapott nagyobb figyelmet a hegesztők munkakörnyezetének vizsgálata és az ezzel járó egészségügyi kockázatok feltérképezése [4,5].

A hegesztők körében megfigyelt, úgynevezett hegesztőbetegségek közé tartozik többek között a foglalkozási asztma, amelyet a belélegezett irritatív anyagok váltanak ki, és amely rohamokban jelentkező légszomjat, köhögést, sípoló légzést okozhat. Szintén gyakori a fémláz (más néven füstláz vagy hegesztési láz), amelyet főként cink-oxid belélegzése vált ki, és influenzaszerű tüneteket – láz, izomfájdalom, hidegrázás – eredményez. A hegesztési füst hosszú távú belélegzése krónikus légúti gyulladásokhoz vezethet, például krónikus bronchitis kialakulásához, amely tartós köhögéssel, váladékképződéssel és légszomjjal jár. Emellett a légutakban lerakódó szilárd részecskék okozhatnak pneumokoniózist, ami egy ipari porok által kiváltott tüdőbetegség, valamint fibrózist, azaz tüdőszövet-hegesedést, ami a légzőfelület csökkenéséhez és a gázcsere romlásához vezet.

3 HEGESZTÉS MUNKAVÉDELME

A hegesztéssel összefüggő biztonságos munkavégzést garantáló előírásokat a 143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet, illetve az 5/2020 (II. 06.) ITM rendelet tartalmazza.

Ezek a szabályozások fogalommeghatározások mellett konkrét előírásokat is megfogalmaznak a munkatér kialakításával szemben, melyeket maradéktalanul be kell tartani a munkavégzés megkezdéséhez.

A rendeletek kitérnek a megfelelő szellőztetés kialakítására, annak elhelyezésére, figyelmet fordítva arra, hogy az ne akadályozza a védőgáz útját. Emellett az expozíciós határértékeket is meghatározzák a koncentrációk függvényében.

A szabályozások célja nemcsak a munkabalesetek és az akut expozíciós tünetek megelőzése, hanem a hosszú távú egészségkárosodások elkerülése is. Ezen rendeletek előírják továbbá, hogy a munkavállalók számára rendszeres egészségügyi vizsgálatokat kell biztosítani, különösen akkor, ha fokozott expozíciónak vannak kitéve. Ezenkívül kötelező az egyéni védőeszközök – például légzésvédő maszkok – biztosítása és azok rendszeres karbantartása, illetve a használatuk ellenőrzése. A rendeletek részletesen meghatározzák, milyen feltételek mellett kell helyi elszívó berendezéseket alkalmazni, milyen légszűrő-arány szükséges adott munkaműveletekhez, valamint milyen mérésekkel kell igazolni a határértékek betartását.

A rendelet előírja továbbá, hogy a munkáltatónak biztosítania kell a munkatér rendszeres monitorozását. Ezt megteheti folyamatosan aktív szenzorok segítségével, amely folyamatos adatrögzítést tesz lehetővé. Az így

kapott adatokat a cikkben tárgyalt fuzzy modell bemeneteként is fel lehet használni [6,7].

4 FUZZY LOGIKA A DÖNTÉSTÁMOGATÁSBAN

A fuzzy logika célja, hogy matematikailag nehezen leírható vagy számszerűsíthető problémákat kezeljen. Ennek alapja, hogy nem csupán bináris értékekkel dolgozik, hanem képes az igen és a nem közti átmenetet is ábrázolni, így könnyen fordítható le az emberi nyelv kifejezéseire.

Ehhez tagsági függvényeket alkalmazunk, amelyek képesek kategorizálni a bemeneti értékeket és az alkalmazott szabályrendszer alapján egy döntési javaslatot adnak kimenetként [8].

A szakirodalom két fajtáját különbözteti meg a döntéshozatalnak. Az egyik a leíró, a másik pedig a normatív döntéshozatal. Fontos meghatározni, hogy a döntéstámogató rendszerünk pontosan melyiket támogatja [9].

A leíró döntéshozatal (*descriptive decision making*) célja, hogy egy átfogó képet mutasson a döntéshozó számára, amelyből képes megérteni az összefüggéseket és feltárni a lehetséges kimeneteket. Nem ad döntési javaslatot, csupán információval szolgál. [9]

A normatív döntéshozatal (*normative decision making*) konkrét döntési javaslatot készít. A folyamatokat matematikai modellekbe ülteti át, és ez alapján keresi a megfelelő megoldást, ezért szorosan kapcsolódik az optimalizációelmélethez.

A fuzzy logika mindkét szemlélethez kapcsolódik és támogatja azt. Alapvetően leíró döntéstámogatásnak tekinthető, mivel nem feltételez tökéletes racionalitást, jól modellezi az emberi gondolkodást, a bizonytalanságot és inkább a nyelvi kifejezéseket támogatja a működése során mint például: *kevés, közepes, sok*.

A fuzzy logika egyik legnagyobb előnye, hogy képes kezelni az információhiányból vagy szubjektivitásból fakadó bizonytalanságokat is, ezáltal lehetővé teszi olyan komplex helyzetek modellezését, amelyekben a hagyományos logikai rendszerek csődöt mondanak. Nem klasszikus értelemben vett optimalizációt végez, azonban egy reális képet ad, valamint iránymutatást ad a döntés meghozatalához [10].

5 KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK HATÁSA A VIZSGÁLT SZEMÉLY KITETTSÉGÉRE, A FUZZY MODELL BEMENETEI ÉS KIMENETEI

A jelen modell célja a munkavállaló hegesztő füst általi kitettségének meghatározása. Ehhez azonban először kulcsfontosságú kijelölni azokat a paramétereket, körülményeket, amelyek befolyásolják ezt a kitettséget. A szubjektív kezelés érdekében megfelelően kell particionálni a bemeneti paramétereket, hogy megfelelő tagsági függvényeket kapjunk. Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek ezeket a tényezőket, illetve felosztásukat. Mivel ezek a tényezők nem merev határokkal elválaszthatók, hanem fokozatosan változnak, elengedhetetlen a fuzzy logika alkalmazása, amely lehetővé teszi az átmeneti értékek és bizonytalanságok kezelését. A bemeneti paraméterek megfelelő particionálása kulcsfontosságú, hiszen minden tényezőt

olyan kategóriákra kell bontani (például: alacsony, közepes, magas), amelyekhez tagsági függvényeket rendelünk, ezáltal biztosítva azt, hogy a nyelvi jellegű bemenetek – mint például a „gyenge szellőzés” vagy a „hosszú munkavégzés” – is matematikailag értelmezhetők legyenek.

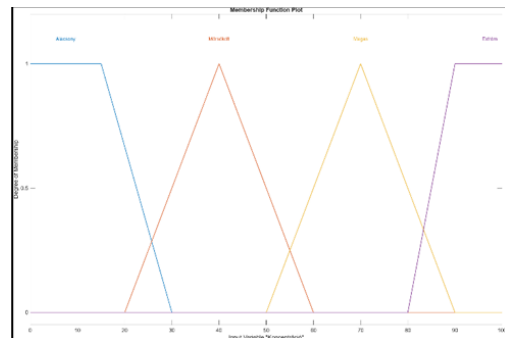
5.1 Szállópor-koncentráció

A hegesztési füst koncentrációja alapvetően befolyásolja a hegesztő kitettségét, mivel a füstben lévő finom részecskék a tüdőbe kerülve súlyos egészségkárosító hatást gyakorolnak. Egy átlagos irodai környezetben a szállópor-koncentráció mértéke $4-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ érték körül mozog, a hegesztés során ez az érték nagyságrendi ugrásokat mutat és akár $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t is elérheti.

A koncentráció értéke egzakt módon meghatározható és folyamatosan mérhető, így pontos adat áll rendelkezésre a modell számára. Azonban a kapott értéket árnyalja a hegesztési eljárás, az alkalmazott segédanyagok típusa, így ezekre vonatkozóan nem állítható fel minden körülmények között érvényes szabály.

Ezért az alábbi tagsági függvények meghatározhatók (1. ábra):

- Alacsony
- Mérsékelt
- Magas
- Extrém



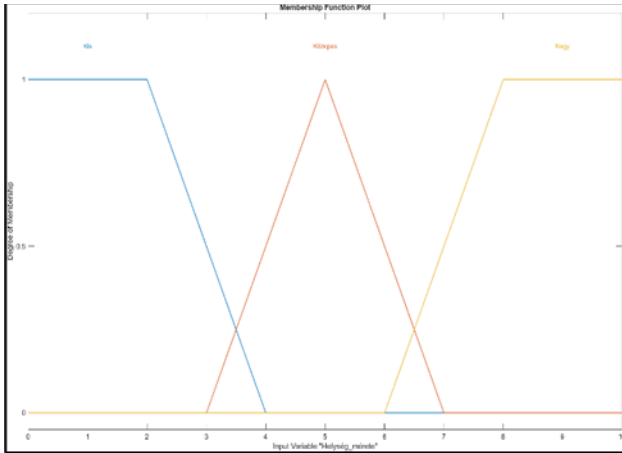
1. ábra: Koncentráció tagsági függvénye

5.2 Szellőztetés hatékonysága

A füstelszívás hatékonysága szintén egy kulcselem a biztonságos munkavégzéshez, mivel elvezeti a káros anyagokkal dúsult füstöt, megtisztítja azt, valamint friss levegőt juttat vissza a munkavégzés helyére. Ennek a hatékonysága több tényező miatt is romolhat. Ilyen a anyag karbantartás, alultervezett berendezés miatti teljesítménykorlát vagy a szűrők telítettsége.

Emiatt a hatékonyságát legjobban az keletkezett füst és megtisztított levegő arányával lehet reprezentálni, így három csoport különíthető el a tagsági függvényekhez (2. ábra):

- Gyenge
- Közepes
- Jó



2. ábra: Szellőztetés hatékonyságának tagsági függvénye

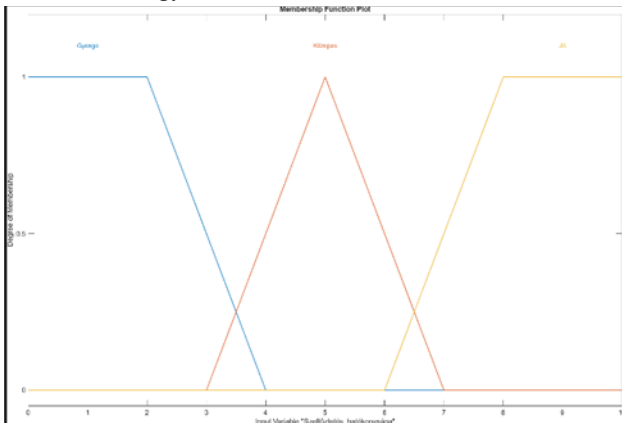
5.3 Helyiség mérete

A munkaterület térfogata szorosan összefügg az előző két kategóriával. Mivel egy kis, zárt helyiség sokkal veszélyesebb munkakörnyezet lehet, nagyobb elszívási kapacitás kell, hogy a levegő ne telítődjön káros anyaggal. Nagy, nyitott terek esetén a koncentráció sokkal lassabban érne el a határértéket.

Vannak olyan hegesztési helyzetek, ahol csak külön óvintézkedés mellett lehet munkát végezni, ilyen például a zárt tartály belsejében végzett munka, mivel itt nehéz megoldani a megfelelő szellőztetést.

Egy hegesztő helyiség optimális térfogata sok kísérletet és mérést igényel, ezért inkább általános meghatározásokat adtunk meg (3. ábra):

- Kis
- Közepes
- Nagy



3. ábra: Helyiség méretének tagsági függvénye

5.4 Expozíciós idő

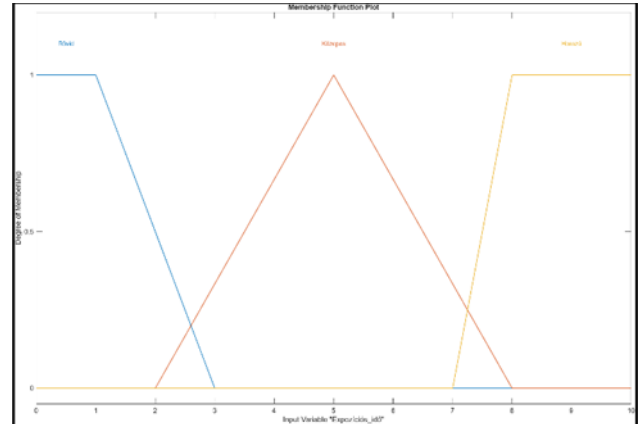
A hegesztő kitettsége nagy mértékben függ az expozíciós időtől. Minél hosszabban tartózkodunk a térben, annál több káros anyagot szívunk be, ezért fontos, hogy a lehető legkisebb értéken tartsuk ezt az időt. Ezt gyakori szünetek elrendelésével érhetjük el, amikor a munkavállaló az expozíciós téren kívül tartózkodik.

Ugyanakkor meg kell említeni, hogy az expozíció nem csupán a hegesztőre vonatkozik. A hegesztőt elsődleges expozíció éri, mivel az ő tevékenységéből eredő koncentrációt szívja be, azonban a környezetben

dolgozók, illetve a kiszolgáló személyzet is érintett: az őket érő hatást másodlagos expozíciónak nevezzük.

A tagsági függvényeket ebben az esetben az alábbi kategóriákban határoztam meg (4. ábra):

- Rövid
- Közepes
- Hosszú

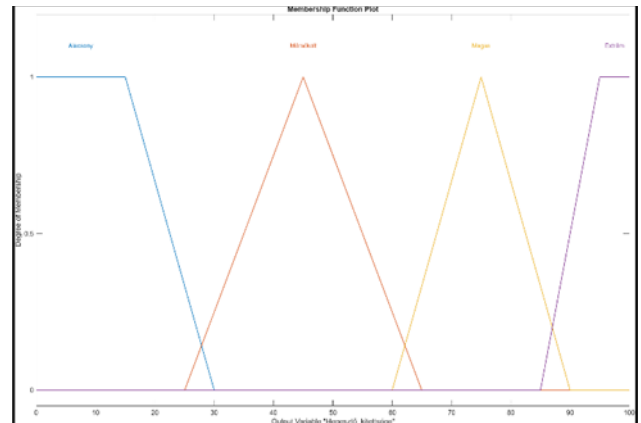


4. ábra: Expozíciós idő tagsági függvénye

5.5 A hegesztő kitettsége – Kimenet

A modell kimenete a fentebb tárgyalt körülmények alapján kerül meghatározásra, amely szintén szubjektív értelmezés szerint a következő lehet (5. ábra):

- Alacsony
- Mérsékelt
- Magas
- Extrém



5. ábra: Kimenet tagsági függvénye

5.6 Szabályrendszer

A modell működését alapvetően határozza meg a létrehozott szabályrendszer. A szabályrendszer kialakításánál figyelembe vételre kerültek azok a kulcsfontosságú tényezők, amelyek a szakirodalom és gyakorlati megfigyelések alapján a legnagyobb hatással vannak az expozíció mértékére. Ezek összeállítása saját ismeretekre és tapasztalatokra alapszik, így ennek validálása további kutatásokat és szakértői megkereséseket igényel. A szabályok célja, hogy olyan döntési logikát hozzanak létre, amely képes az adatokból levezethető összefüggések alapján becslést adni a munkavállaló kitettségi szintjére.

Az alkalmazott szabályrendszer nem fedi le teljes egészében az összes lehetséges kombinációt, mivel alapfeltételekkel éltünk úgy, mint *extrém koncentráció és hosszú expozíciós idő esetén a kitettség szintén extrém*. Az ezek alapján megalkotott szabályok az 1. táblázatban szerepelnek. A jelenlegi szabálybázis egy statikus verzió, de már ebben a formában is képes jól közelíteni a reális expozíciós szinteket, különösen akkor, ha a bemenetek precízen meg vannak határozva és a tagsági függvények helyesen tükrözik az értelmezési tartományokat. A táblázatban szereplő szabályok tehát nemcsak döntési útmutatót adnak, hanem átláthatóvá is teszik a rendszer működését a felhasználó számára, elősegítve annak elfogadottságát és gyakorlati alkalmazhatóságát.

1. táblázat: Fuzzy modell szabályrendszere

Koncentráció	Szellőztetés hatékonysága	Helyiség mérete	Expozíciós idő	Kitettség
Extrém	-	-	Hosszú	Extrém
Magas	Gyenge	-	Hosszú	Extrém
Magas	Gyenge	Kicsi	-	Extrém
Mérsékelt	Gyenge	-	Hosszú	Magas
Magas	Gyenge	Közepes	-	Magas
Magas	Közepes	-	Közepes	Magas
Mérsékelt	Gyenge	-	Hosszú	Extrém
Mérsékelt	Közepes	-	Hosszú	Magas
Mérsékelt	Gyenge	Kicsi	-	Magas
Magas	Gyenge	-	Rövid	Magas
Mérsékelt	-	-	Közepes	Mérsékelt
Alacsony	Gyenge	-	Hosszú	Mérsékelt
Alacsony	Közepes	-	Hosszú	Mérsékelt
Mérsékelt	Jó	Nagy	-	Mérsékelt
Magas	Jó	-	Rövid	Mérsékelt
Alacsony	Jó	-	Rövid	Alacsony
Alacsony	Jó	Nagy	-	Alacsony
Alacsony	Jó	-	Közepes	Alacsony
Alacsony	Jó	-	Közepes	Mérsékelt
Mérsékelt	Jó	Nagy	Rövid	Alacsony
Mérsékelt	Jó	Nagy	Rövid	Mérsékelt

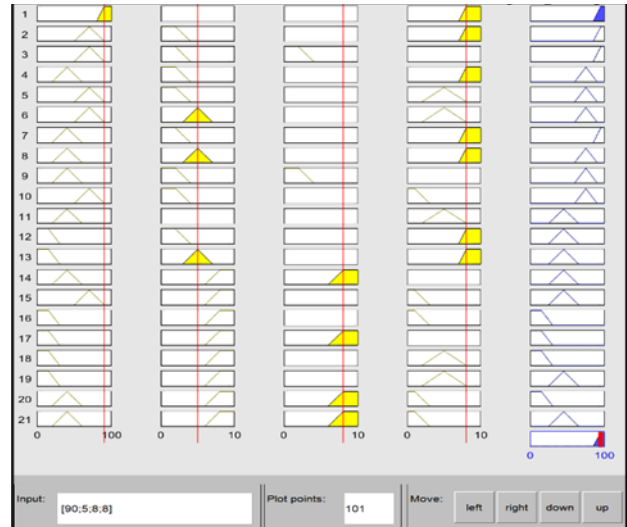
6 MODELL EREDMÉNYEK

6.1 Tesztelés

A modell tesztelése során azt vizsgáltuk, hogy a paraméterekre adott válasz milyen mértékben egyezik az előzetesen feltételezett kitettség szinttel.

Egy konkrét példában azt elemeztük, hogy extrém koncentráció és hosszú expozíció esetén van-e hatása a másik két paraméternek. A modell alapján magas koncentrációban megfelelően hosszú ideig tartózkodva nem lehet elégséges védelmet biztosítani.

- Koncentráció: 90
- Szellőztetés hatékonysága: 5
- Helyiség mérete: 8
- Expozíciós idő: 8



6. ábra: A teszt értékére adott válasz

A 6. ábra alapján a kitettség értéke 94,1 volt a beállított paraméterek mellett, amely a szabályok alapján várható volt. A szellőztetés és a helyiség adatok változtatása pedig ebben az esetben semmilyen hatással nem volt a kapott értékre.

6.2 Bemenetek hatása a kimenetre

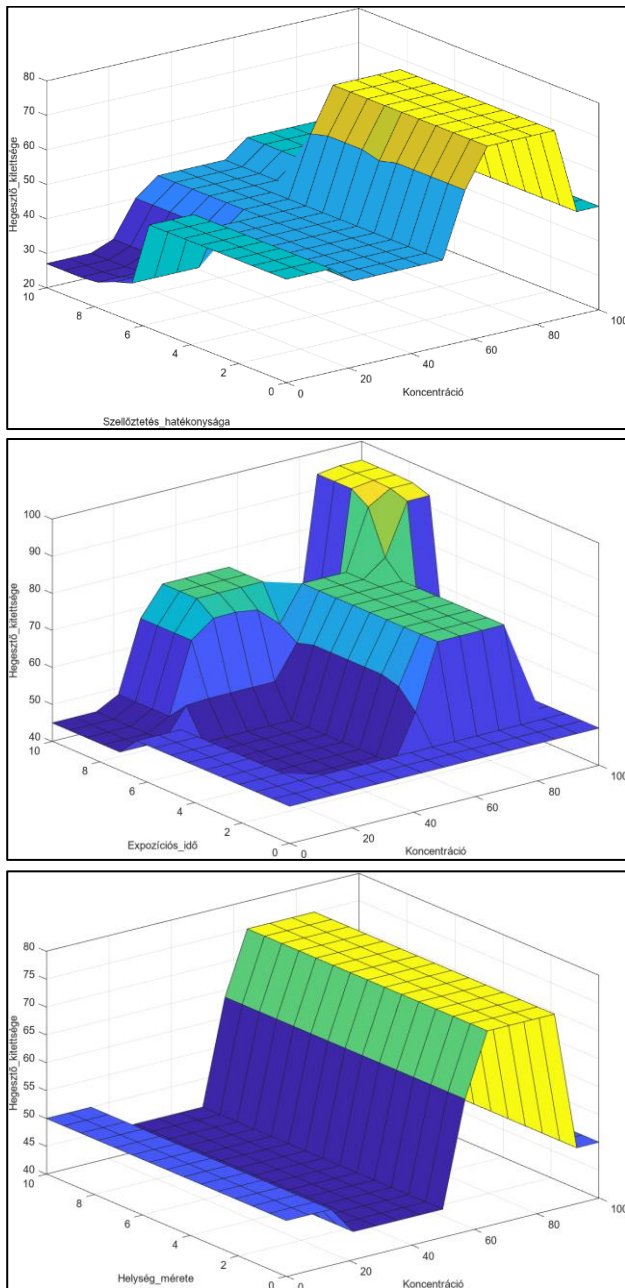
A MATLAB segítségével a bemenetek hatása a kitettségre könnyen vizualizálható. Az összehasonlítások során a koncentráció súlyát vizsgáltuk a többi bemenethez mérten. Ennek eredményeképpen kaptuk a 7. ábrát.

7 ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a hegesztő személy kitettségét vizsgáltuk egy fuzzy modell elkészítésével. Ennek keretében kijelöltünk négy paramétert, amelyek befolyásolhatják ezt a kitettséget, és ezek kockázatát egyszabályrendszer kidolgozásával határoztuk meg.

A modell megfelelőségének validálására eddig kevés vélemény áll rendelkezésre szakértők részéről, így ebből a szempontból további kutatások és interjúk szükségesek.

A modell jelen esetben alkalmas arra, hogy a kitettség meghatározásán keresztül javaslatot adjon a döntéshozónak a további intézkedésekhez. Azonban a modell validálása után cél azt továbbfejleszteni, és egy beavatkozásra képes rendszert felépíteni. Ez képes lenne valós időben értékelni a kockázatot és jelzéseket adni a hegesztő vagy a hegesztést felügyelő személy számára, extrém esetben pedig akár a folyamat megszakítására is alkalmas lehet.



7. ábra: A bemeneti paraméterek hatása a kimenetre

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Berlinger Balázs, "Munkahelyi levegőben megjelenő hegesztési füstök toxikus fém tartalmának meghatározására szolgáló mintavételi és analitikai eljárások továbbfejlesztése és összehasonlító vizsgálata", 2009, ELTE Kémiai Doktori Iskola
- [2] Dr. Gáti József, "Hegesztési Zsebkönyv", 2023, Budapest, Cokom Mérnökiroda Kft.
- [3] Peter Brand, Kalus Lenz, Uwe Reisinger, Thomas Kraus, "Number Size Distribution of Fine and Ultrafine Fume", 305-313 o., 2013, Oxford University Press
- [4] Halshka Graczyk, Nastassja Lewinski, Jiayuan Zhao, "Characterization of Tungsten Inert Gas (TIG)", 205-219 o., 2015, Oxford University Press
- [5] Kjell Torén, "Occupational exposure to dust and to fumes, work as a welder and invasive pneumococcal disease risk", Occup Environ Med. 2020 Feb;77(2):57-63.
- [6] 143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet a Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról, [Online]
- [7] 5/2020 (II.6.) ITM rendelet, [Online]
- [8] Zadeh, L. A. (1965) Information and control. Fuzzy sets. Vol. 8, No. 3, pp. 338-353
- [9] Joan M. C. Sousa, Uzey Kaymak, "Fuzzy decision making in modeling and control", World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems, 2002
- [10] Váczai Dániel, Tóth-Laufer Edit, Szádeczky Tamás, "Az emberi tényező fuzzy alapú kiberbiztonsági kockázatelemzése a minősített információszivárgás szempontjából", Bánki Közlemények, 4. évfolyam, 1. szám, 2021