

A habilitációs eljárás helyszíne:

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

Bizonytalansági faktorok kezelése a műszaki projektekben mesterséges intelligencia módszerek alkalmazásával

Dr. Piros Attila

Budapest
2023

Tartalomjegyzék

Jelölésjegyzék.....	3
A kutatás előzményei.....	5
A fuzzy logika alkalmazásai.....	7
Fuzzy halmazok.....	7
Fuzzy következtető rendszerek.....	10
A kutatás célkitűzései.....	13
Kutatási projektek.....	14
Emberi tényezők kezelése a műszaki projektekben.....	14
Az eredmények bizonytalanságának a csökkentése teljes megoldástér lefedésével.....	23
Jelentősen eltérő műszaki paraméterek kezelése.....	29
Műszaki és humán paraméterek együttes kezelése.....	35
Új tudományos eredmények.....	42
1. tézis: A bizonytalansági faktorok kezelésében a fuzzy logika kiemelkedő hatékonysággal alkalmazható.....	42
2. tézis: A megoldástér teljes körű rekonstruálásával csökkenthető az optimális megoldás elvesztésének a kockázata.....	43
3. tézis: A kvantitatív műszaki paraméterek közötti összefüggések kezelését is elősegítik a mesterséges intelligencia módszerek.....	44
4. tézis: Az együtt fellépő műszaki és emberi bizonytalansági tényezők is jól kezelhetők fuzzy logikával.....	45
Továbbfejlesztési lehetőségek.....	47
Ábrajegyzék.....	48
Hivatkozások 51.....	49

Jelölésjegyzék

Rövidítések:

AM	Additive Manufacturing (→ additív gyártás, 3D nyomtatás)
ARC	Areas of Relevance (releváns kutatási területek)
B-REP	Boundary Representation (→ modellezés határfelületekkel)
CFM	Corrected Fuzzy Mean (korrigált fuzzy középérték)
CMFIS	Compact Mamdani Fuzzy Inference System (→ saját fejlesztésű fuzzy r.)
CPM	Critical Path Method (kritikus út keresése egy gráfban)
CSG	Constructive Solid Geometry (→ Boolean alapú geometriai modellezés)
EmPatGen	Emotional Pattern Generator (→ érzelem alapú mintázatgeneráló rendszer)
ES	Entire Solid (→ teljesen tömör geometria)
FEA	Finite Element Simulation (→ végelelemes numerikus szimuláció)
FIS	Fuzzy Inference System (→ fuzzy következtető rendszer)
GDPV	Generalized Design Pattern Vector (→ általánosított mintázatvektor)
HA, HB	matematikai halmazok
I-AI	Industrial Artificial Intelligence (→ I-MI)
I-MI	Ipari Mesterséges Intelligencia
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor (→ fúziós reaktor)
LOS	Line of Sight (→ látóvonal, optikai tengely egy bolométer kamera esetében)
LVS	Lightweight Voronoi Scaffold
MI	Mesterséges Intelligencia
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline
PERT	Program Evaluation Review Technique (→ speciális hálózat, gráf)
PID	Proportional Integral Derivative (kontroller)
RBL	Regular Beam Lattice (→ szabályos rúd-támasztószerkezet)
TSK	Takagi-Sugeno-Kang fuzzy rendszer

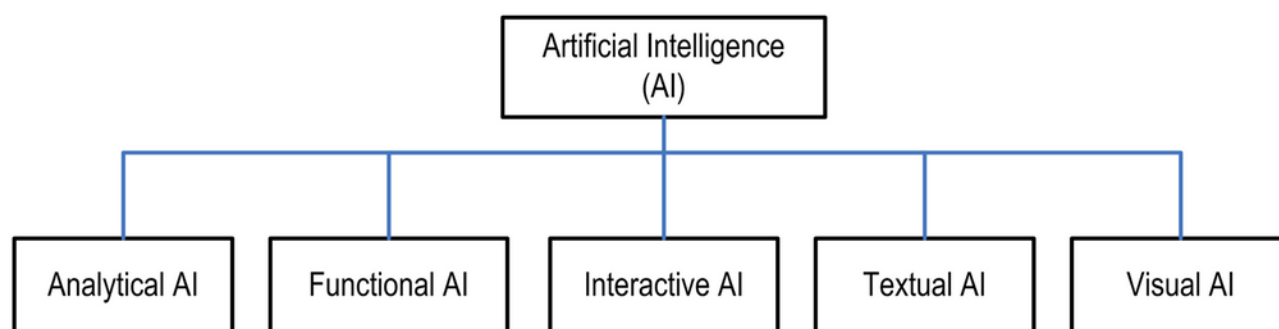
Függvények és paraméterek:

$\wedge$		AND (logikai ÉS)
$\Rightarrow$		THEN (logikai következtetés)
ν	[-]	Poisson tényező
ρ	[g/cm ³]	sűrűség
ColourSens	[-]	értékelő személy színérzékelése
d	[mm]	eredő elmozdulás
E	[GPa]	rugalmassági modulusz
Error	[-]	adott sorozatra jellemző színhiba
Ex, Ey, Ez	[-]	matematikai értékek a halmaz-tagság vizsgálatokor
m	[g]	teljes tömeg
n	[-]	előfordulások, paraméterek száma
P1..P5	[-]	probability (várható kár valószínűsége)
R ₁ , R ₂	[-]	fuzzy szabályok
S1..S4	[-]	severity (várható kár fontossága, nagysága)
T _E	[óra]	egyedi feladat várható ideje
T _{ML}	[óra]	egyedi feladat legvalószínűbb ideje
T _O	[óra]	egyedi feladat optimistán becsült ideje
T _P	[óra]	egyedi feladat pesszimistán becsült ideje
TR _O	[óra]	időeltolódás százalékos értéke optimista esetben
TR _P	[óra]	időeltolódás százalékos értéke pesszimista esetben
U(HA/B)	[-]	halmaz tagsági függvények
U(x), U(y)	[-]	bemeneti fuzzy tagsági függvényeken
U(xy)	[-]	kimeneti fuzzy tagsági függvényeken
W ₁ , W ₂	[-]	szabályok súlyozó értékei
x ₁ , y ₁ , x ₂	[-]	határozott (éles) bemeneti értékek
y ₂	[-]	határozatlan (fuzzy) bemeneti érték
z ₁ , z ₂	[-]	határozott (éles) kimeneti értékek

A kutatás előzményei

Mind a hazai-, mind a nemzetközi tudományos életben a műszaki feladatok megoldásában egyre nagyobb szerepet kapnak a mesterséges intelligencia módszerek. A mesterséges intelligencia (a továbbiakban MI) algoritmusok gyökerei egészen az 1940-es évekre nyúlnak vissza, ahol Alan Turing munkássága alapozta meg az algoritmikus gondolkodást. Az MI fejlődése az akadémiai körökben az 1960-as évek végéig töretlen volt, ám az akkor elérhető számítástechnikai környezet elégtelen színvonala törést okozott a további fejlesztésekben. Az 1970-es évek végére mind a számítógépek ára, mind azok teljesítménye olyan szintet ért el, amely jelentősen elősegítette az MI módszerek fejlesztését. Viszont ez a fejlődés túlzott elvárásokat is támasztott, amiknek következtében az MI „buborék” az 1980-as évek közepén kipukkadt és egy egészen hosszú periódusra újra befagytak a kutatások. A 2000-es évek elejétől olyan MI alapú alkalmazásfejlesztések indultak, melyek a napjainkig töretlen és egyre gyorsuló fejlődést mutatnak.

Napjainkban a mesterséges intelligencia módszereket a mindennapi élet számos területén alkalmazzák [1]. Alkalmazásuk alapján öt tipikus csoportba lehet sorolni ezeket az MI módszereket (1. ábra).



1. ábra: A mesterséges intelligencia módszerek típusai

Analitikus MI (Analytical AI): jellemzően olyan módszerek, melyek azonosítják, értelmezik az adathalmazokban megtalálható mintázatokat. Ezen belső összefüggések és függőségek felismerésével és kommunikációjával segítik a különböző döntési folyamatokat.

Funkcionális MI (Functional AI): ezek a módszerek alapvetően hasonlóan működnek, mint az Analitikus MI, de ebben az esetben jóval nagyobb adathalmazon dolgoznak. A Funkcionális MI módszereket inkább folyamatok végrehajtására használjuk, mint tanácsadásra. Leggyakrabban IoT (Internet of Things) alkalmazásokban és robotok vezérlésében használatosak.

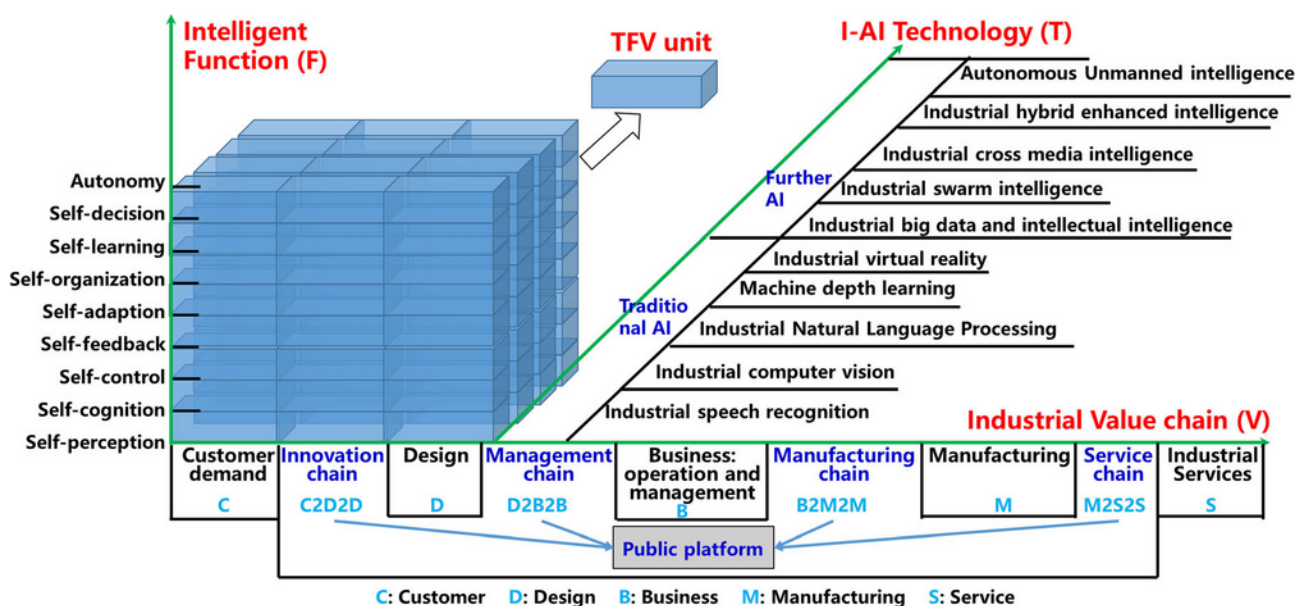
Interaktív MI (interactive AI): jellemzően a mindennapi- és az üzleti életben alkalmazott MI módszer. Ennek a módszernek az alapjai gépi tanulásra, heurisztikus keresésre és a gyakori mintázatok felismerésére épülnek. Jellemző alkalmazási területe a weboldalakon működő virtuális segédek (chat bot-ok) és interaktív asszisztensek.

Szövegfeldolgozó MI (Textual AI): ez a módszer szöveg alapú nyersanyagon dolgozik a szöveg felismerésével, lefordításával és annak az élő beszéddé alakításával kapcsolatos műveletek körében. Ilyen MI módszeren alapulnak azok a szolgáltatások, melyek releváns válaszokat tudnak adni a

felhasználók vagy fogyasztók kérdéseire.

Kutatásaim az előzőekben felsorolt MI módszerek egy speciális alkalmazására az Ipari Mesterséges Intelligenciára (továbbiakban I-MI) koncentráltak.

Az I-MI (I-AI Industrial Artificial Intelligence) az MI olyan célú alkalmazása, amely elsősorban a termékek fejlesztését, gyártását és az ezekhez kapcsolódó szolgáltatásokat segíti [2]. Ennek a módszertannak a referencia modelljét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az I-MI referencia modellje

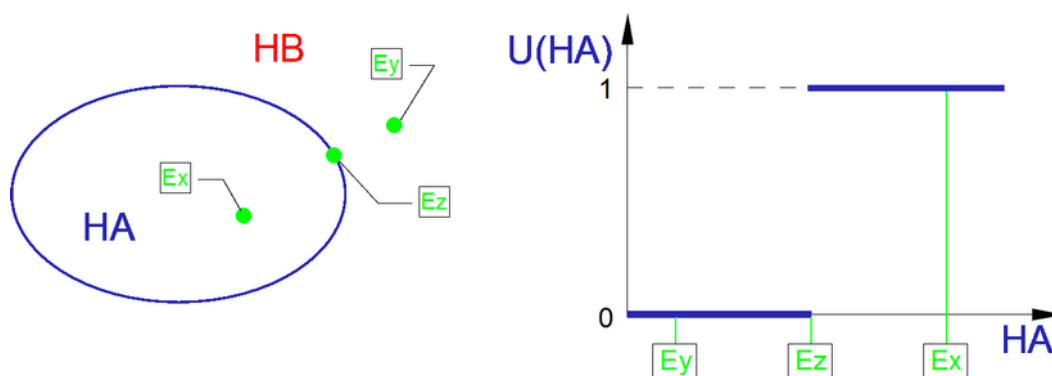
Az ábrán jól elkülöníthetők a termékéletút különböző fázisai (felhasználói igények felmérése, tervezés, gyártás és a kapcsolódó szervezési- és szolgáltatási folyamatok); az MI már használatban lévő (ipari szövegfelismerés, gépi látás, virtuális valóság, stb.) és fejlesztés alatt álló (ipari adatbányászat és elemzés, raj alapú- és autonóm intelligencia) módszerei. A függőleges tengelyen láthatók a megvalósítás szintjei a gépi alapú felismeréstől és becsléstől egészen a teljesen autonóm működésig. Egy ilyen nagy hatókörű rendszer bevezetése egyelőre még jövőbeli feladat, de a mesterséges intelligencia szigetszerű ipari alkalmazása már napi gyakorlat. Erre jó példa a mesterséges neurális hálózaton alapuló marási művelet optimalizálása [3].

Az előzőekben ismertetett MI módszerek jellemzően három csoportba sorolhatók: neurális hálózatok, evolúciós algoritmusok és a fuzzy logika. A PhD értekezésem tárgya is a fuzzy logika alkalmazása volt a konstrukciós tervezésben. Ez a téziszfüzet az akkor elindított kutatómunka legfrissebb eredményeit szeretné összegezni, kiemelve azokat a konkrét gyakorlati alkalmazásokat, ahol a műszaki vagy emberi bizonytalanságok kezelése jelentette a műszaki projekt egyik legnagyobb kihívását.

A fuzzy logika alkalmazásai

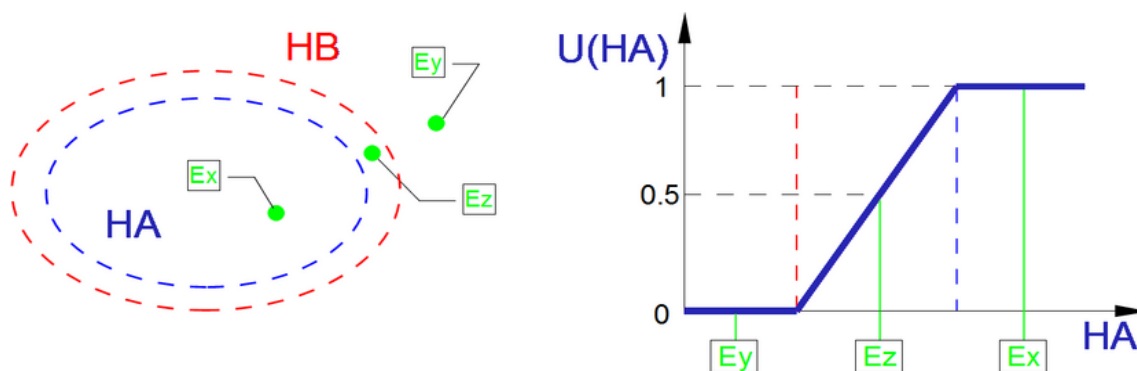
Fuzzy halmazok

A mesterséges intelligencia módszerek egyik alappillére a fuzzy logika. A fuzzy logika az elmosódott halmazok logikája [4]. Az éles (crisp) értékekkel dolgozó Boolean halmazelmélettel szemben a fuzzy halmazelmélet elmosódott (fuzzy) értékekre épül. A halmaztagság megállapítása mindkét logika alapján könnyen meghatározható, amennyiben a vizsgált elem egyértelműen az adott halmazon (HA) belül (Ex) vagy azon egyértelműen kívül (Ey) található. Amennyiben a vizsgált elem a halmaz határán helyezkedik el (Ez), akkor a hagyományos (Boolean) halmazelméletben nem lehet megállapítani az adott elem halmazhoz tartozását ($U(HA)$ függvény), mivel ez az elem egyszerre tartozik a halmazhoz (HA) és annak a komplementeréhez (HB) a 3. ábra szerint.



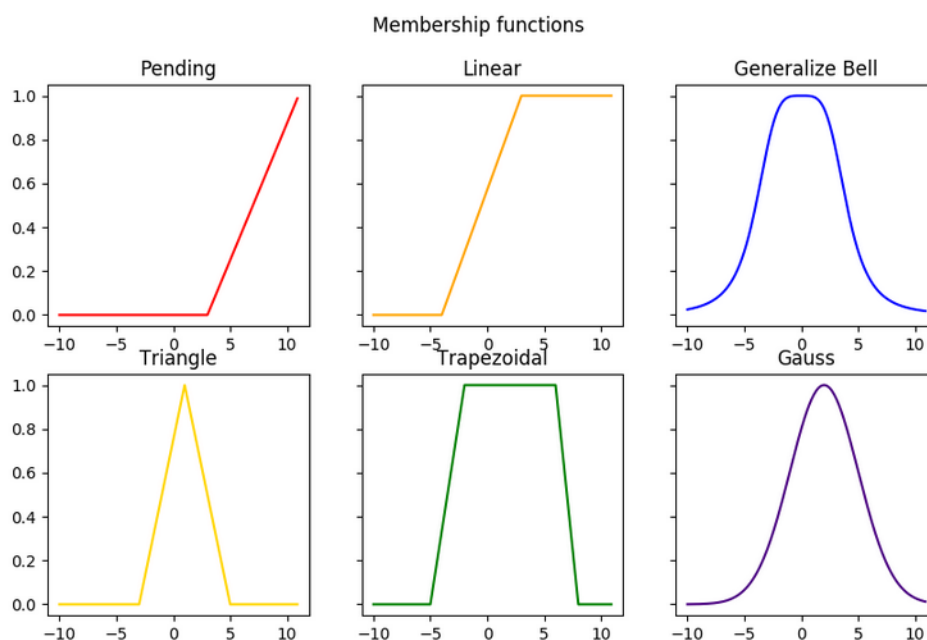
3. ábra: Halmaztagság értelmezése a Boolean logika szerint

A fuzzy logikán alapuló halmazelmélet azonban kiterjeszti a halmaztagság ($U(HA)$ függvény) definíciójának a korlátait. Fuzzy logika alkalmazásakor lehetőségünk van a halmazhoz tartozás mértékének a meghatározására, amit a halmaz határának a kiterjesztésével és elmosásával érünk el. Ahogy azt a 4. ábra is jól szemlélteti a halmaz határán álló elem (Ez) halmazhoz tartozásának a mértéke egyértelműen definiálható az $U(HA)$ tagsági függvény segítségével.



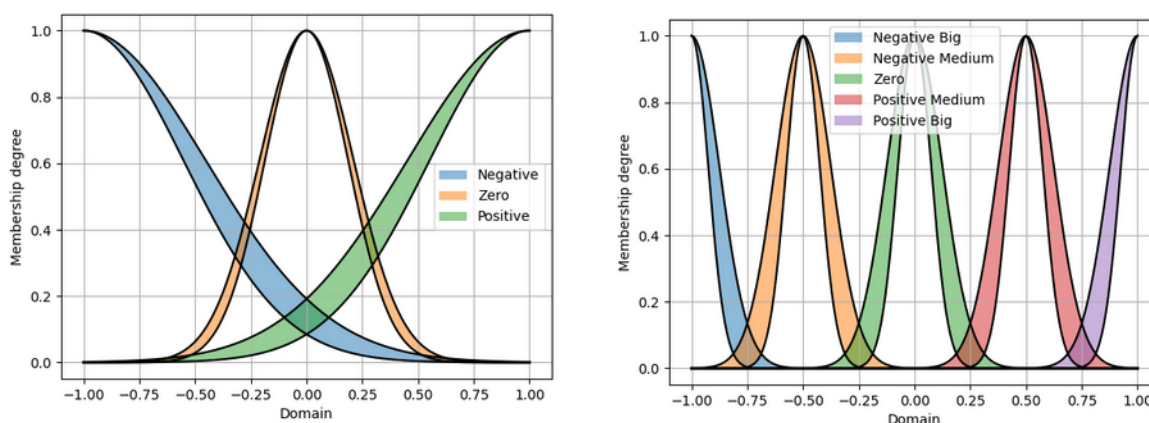
4. ábra: Halmaztagság értelmezése a fuzzy logika szerint

A halmaztagság kezelését a fuzzy logikában tagsági függvényekkel (membership functions) lehet megoldani. Ezeknek a tagsági függvényeknek választhatunk lineáris-, hatvány-, statisztikai alapú függvényalakot is 5. ábra [5].



5. ábra: Különböző alakú tagsági függvények

Maguk a tagsági függvények is tartalmazhatnak további bizonytalanságokat, ami lehetőséget ad többszintű bizonytalanság kezelő rendszerek összeállítására [6]. Két ilyen tipikus Type-2 típusú tagsági függvényt mutat be a 6. ábra [7], ahol jól megfigyelhető, hogy a függvények alakja sem határozott, hanem egy intervallum jelenik meg az egyértelmű vonal helyett.



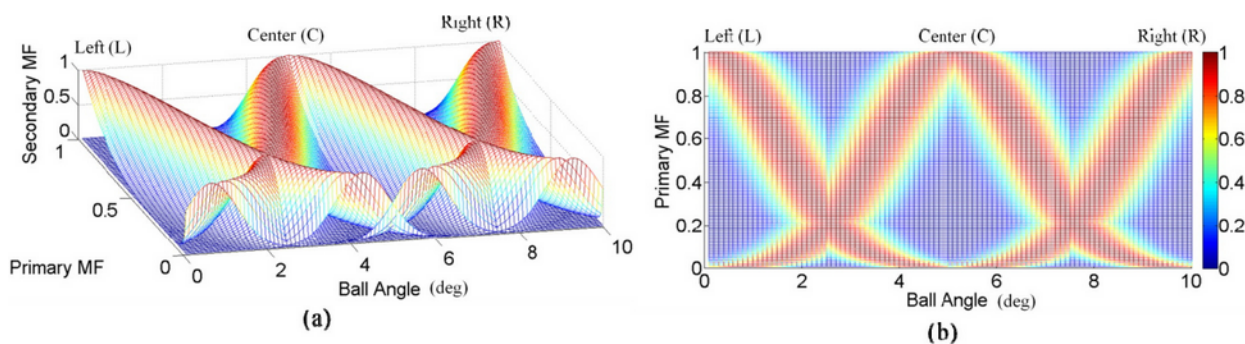
6. ábra: Type-2 típusú tagsági függvények

A fuzzy logika alkalmazásának számos előnye van [8]:

- A fuzzy logika koncepciója egyszerűen megérthető.
- A fuzzy logika rugalmasan alkalmazható egymástól lényegesen eltérő területeken is.
- A fuzzy logika képes bizonytalan adatok kezelésére is, köszönhetően az alapdefiníciójának.
- A fuzzy logika társítható más lágy számítási módszerrel is és így megoldhatóvá válnak bonyolult, nemlineáris feladatok is a különböző lágy számítási módszerek együttes alkalmazásával (pl.: neuro-fuzzy módszer [9], genetikusan algoritmusok társítása a fuzzy logikával [10]).
- A fuzzy logika azonnal képes már rendelkezésre álló szakértői tudást adaptálni a belső szabályrendszer és a tagsági függvények felépítésekor, szemben más számítási módszerekkel. Például a genetikusan algoritmusok, vagy a neurális hálózatok esetén az adatok számos generációjára van szükség a rendszerek öntanuló folyamatai kiszolgálásához.
- A fuzzy logika szerinti leírásban alkalmazhatóak az élő nyelv elemei is, amivel jelentősen megkönnyíthetők a fuzzy logika alkalmazásával épített rendszerek beállítási.
- A fuzzy halmazok és a kapcsolódó tagsági függvények definiálása hasonló az emberi gondolkodásban alkalmazott sémákhoz.
- A fuzzy módszer jól algoritmizálható, és így könnyen implementálható a digitális tervezési környezetbe.

Természetesen mindezen előnyök ellenére a fuzzy logika nem egy mindenható, általános számítási módszer, hiszen olyan esetekben nehézkes az alkalmazása amennyiben a belső szabályrendszer leírását megnehezíti magának a problémának az értelmezése (7. ábra). Egy mozgásvezérlési referenciapélda (ball-cart control) is jól szemlélteti a nehezen kezelhető paraméterteret [11] ami mérete és összetettsége miatt nehezen implementálható egy korlátozott memória kapacitású vezérlő egységben.

Ezekben az esetekben, amennyiben ilyen rendelkezésre áll, célszerű más, egyszerűbb módszert választani.



7. ábra: Kifejezetten összetett Type-2 típusú tagsági függvény

Fuzzy következtető rendszerek

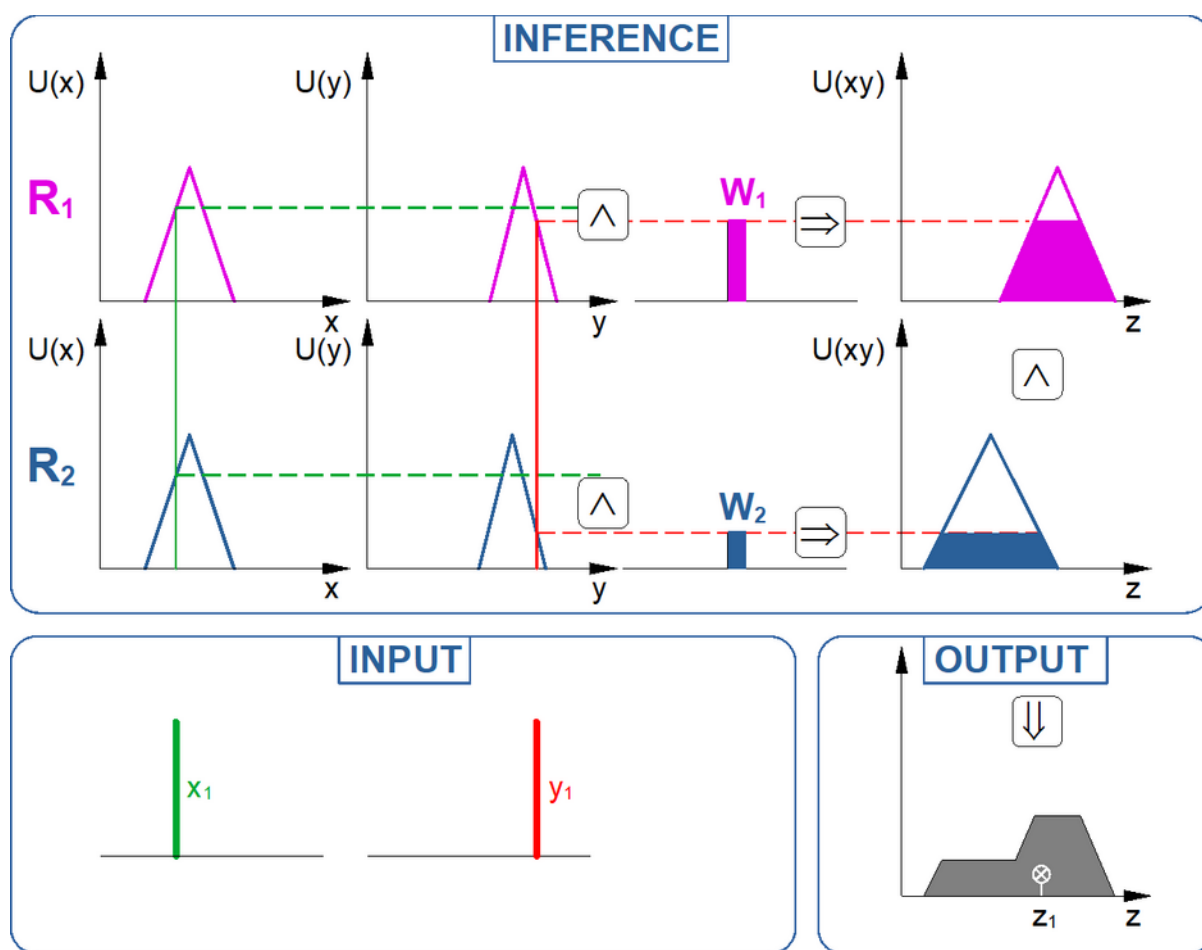
A fuzzy logika ipari szintű alkalmazása a fuzzy következtető rendszerekben (FIS Fuzzy Inference System) testesül meg. Ezek a rendszerek jellemzően a következő egységekből épülnek fel:

- **Bemeneti egység (Input):** jellemzően a határozott bemeneti értékeket alakítja fuzzy változókká (fuzzifikáció) bemeneti fuzzy tagsági függvények alkalmazásával.
- **Szabályrendszer (Fuzzy rules):** szakértők segítségével vagy valamilyen automatizáció alkalmazásával létrehozott szabályok gyűjteménye, melyek segítségével meghatározhatók a különböző bemenetek és a kimenetek kapcsolatai.
- **Következtető rendszer (Inference system):** meghatározza, hogy az egyes fuzzy szabályok mikor aktiválódnak és milyen módon kombinálódnak.
- **Kimeneti egység (Output):** a következtető rendszer eredményeként kapott fuzzy értéket alakítja határozott számértékké (defuzzifikáció).

A tudományos és ipari alkalmazásokban alapvetően kétféle fuzzy következtető rendszer alkalmazása terjedt el. Az egyik ilyen rendszer a Takagi-Sugeno-Kang (TSK) fuzzy rendszer [12]. Ebben a rendszerben a defuzzifikáció kimarad a fuzzy kiértékelés lépései közül, így nincs szükség kimeneti tagsági függvényekre. A kimeneti érték képzéséhez a TSK rendszer a bemeneteket szorozza meg konstans értékekkel, majd az így kapott szorzatok súlyozott átlagát számolja ki. Belátható, hogy ezzel a módszerrel kis számítási kapacitással is rendkívül gyorsan lehet eredményt kapni, ezért különösen alkalmas lineáris szabályozók (pl. PID kontrollerek) vezérlésére [13]. A TSK rendszer vitathatatlan előnyei mellett számos korlátozással is rendelkezik. Ezek közül az egyik legproblematisabb a kimenetek képzésénél alkalmazott konstans szorzótényezők megfelelő beállításának a nehézsége, ami miatt a sok esetben az elvártnál pontatlanabb eredményeket (összehasonlítva a Mamdani módszerrel). Habár a TSK módszer matematikai algoritmusokkal jól optimalizálható, de a be- és kimenetek kezelése miatt nem igazán alkalmazható humán tényezők kezelésére. Mindezek alapján a továbbiakban csak a kutatásaimban alkalmazott Mamdani módszer részletes ismertetésére és alkalmazásának a bemutatására szűkítem le a téziszfüzetemet.

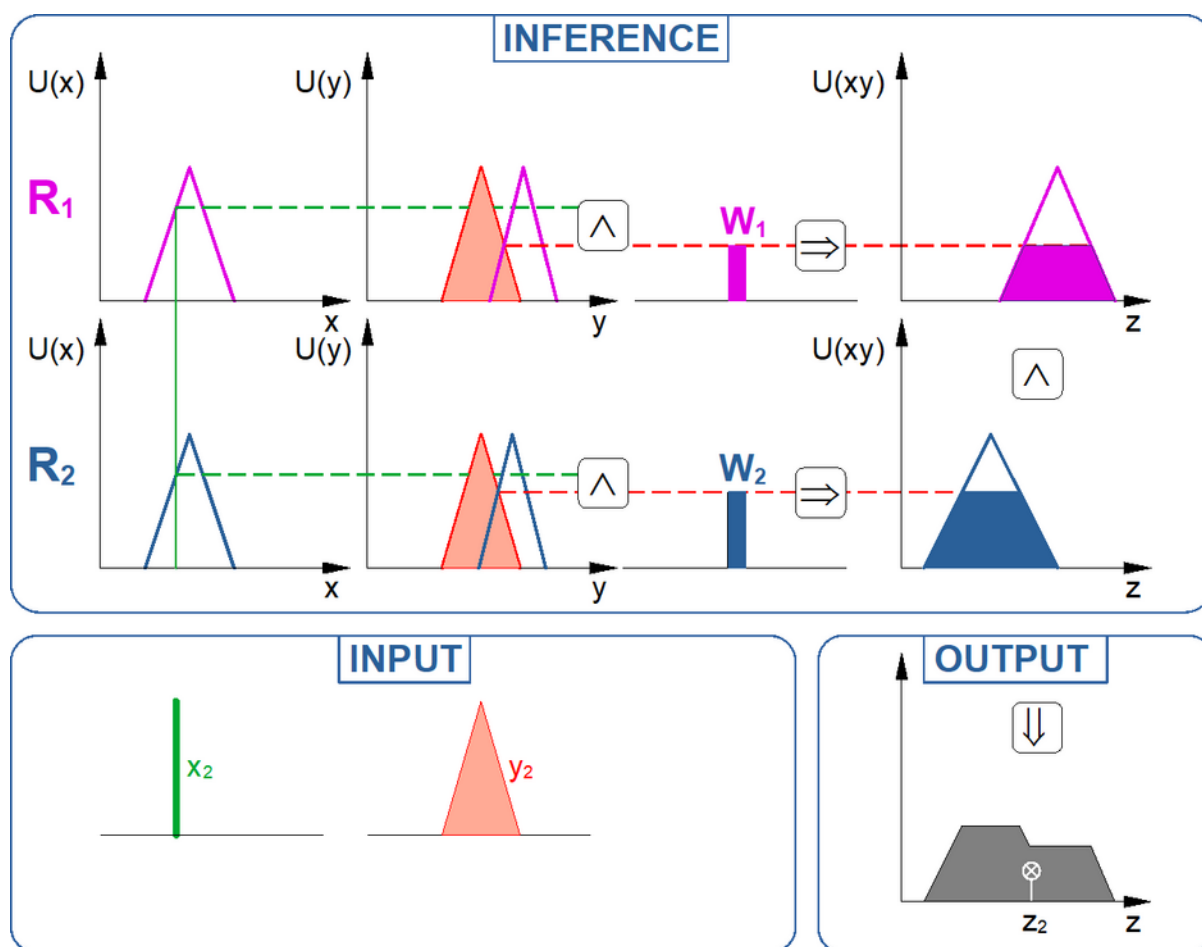
A Mamdani fuzzy rendszerek [14] mind a bemeneti, mind a kimeneti oldalon fuzzy tagsági függvényeket alkalmaznak a határozott számértékek fuzzifikálására, illetve a defuzzifikálásra. Emiatt egy ilyen típusú fuzzy következtető rendszer beállítása történhet intuitív módon szakértői segítség felhasználásával. Részletes szabályrendszer alkalmazásával nagyban leegyszerűsödik a Mamdani rendszer adaptálása egy adott feladatra, illetve sokkal könnyebben hozzáigazítható a rendszer következtető egysége az emberi gondolkodáshoz, viselkedéshez. Természetesen ezen előnyei mellett számtalan hátrányos tulajdonsággal is rendelkezik egy Mamdani típusú fuzzy következtető rendszer. A hátrányok közé tartozik, hogy komplex feladatokat nehéz megoldani a Mamdani rendszerben, mert a szabályrendszer komplexitása nehezéssé teszi a rendszer fejlesztését és használatát. A Mamdani rendszer paraméterekkel nehezebben állítható és kevesebb matematikai összefüggés használható a szabályrendszer megalkotásakor, mint a TSK rendszer esetében. Bonyolultsága miatt a Mamdani rendszer számítási igénye is messze nagyobb, mint a TSK rendszeré, ezért egy ilyen rendszer adaptálása nehezebb a valós idejű vezérlésekben.

A 8. ábra egy olyan Mamdani rendszer működését mutatja be, ahol minden bemenet határozott (éles, crisp). A példában bemutatott rendszer szabálybázisa két szabályt tartalmaz (R_1, R_2) és logikai ÉS ($\wedge$) kapcsolatokkal értékeli ki ($\Rightarrow$) a szabályokat. A bemeneti (*INPUT*) modul két éles értéket (x_1, y_1) fogad. A bemeneti értékek fuzzifikálásakor a rendszer bemeneti modulja kiszámolja a bemeneti tagsági függvények ($U(x)$ és $U(y)$) értékeit az adott bemeneti értékekkel (x_1, y_1). Ezek után a következtető rendszer (*INFERENCE*) beállítja az adott szabályok súlyozását (W_1, W_2). A következő lépésben a kimeneti fuzzy tagsági függvények ($U(xy)$) vágása történik a kiszámított súlyoknak megfelelően. A következtető rendszer a kimeneti modulban (*OUTPUT*) összegzi az elvágott kimeneti függvényeket. Az így kapott fuzzy értéket egy összetett geometriájú sík alakzat területe szemlélteti. A kimeneti fuzzy érték határozott számmá való konvertálása (defuzzifikáció) többféle módszerrel is történhet (centroid, bisector vagy a maximális értékek meghatározásával). A legkiegyensúlyozottabb értéket a centroid (súlypont megkeresése) vagy a bisector (az alakzat 2 egyenlő területre osztása) módszerével lehet megkapni. A létrejött alakzattól függően sok esetben a két előzőekben megemlített módszer ugyanazon kimeneti értéket (z_1) adja, így a rendszer finomhangolása dönti el, valamelyik módszer priorizálását.



8. ábra: Mamdani rendszer működése határozott (éles) bemenetekkel

A 9. ábra egy olyan Mamdani rendszer működését mutatja be, ahol az egyik bemenet határozott (éles, crisp), míg a másik határozatlan (elmosódott, fuzzy). A példában bemutatott rendszer szabálybázisa két szabályt tartalmaz (R_1 , R_2) és logikai ÉS ($\wedge$) kapcsolatokkal értékeli ki ($\Rightarrow$) a szabályokat. A bemeneti (INPUT) modul egy éles (x_2) és egy fuzzy (y_2) értéket fogad. A bemeneti értékek fuzzifikálásakor a rendszer bemeneti modulja kiszámolja a bemeneti tagsági függvények ($U(x)$ és $U(y)$) értékeit az adott bemeneti értékekkel (x_2 , y_2). Ezek után a következtető rendszer (INFERENCE) beállítja az adott szabályok súlyozását (W_1 , W_2). A következő lépésben a kimeneti fuzzy tagsági függvények ($U(xy)$) vágása történik a kiszámított súlyoknak megfelelően. A következtető rendszer a kimeneti modulban (OUTPUT) összegzi az elvágott kimeneti függvényeket. Az így kapott fuzzy értéket egy összetett geometriájú sík alakzat területe szemlélteti. A kimeneti fuzzy érték határozott számmá való konvertálása (defuzzifikáció) többféle módszerrel is történhet (centroid, bisector vagy a maximális értékek meghatározásával). A legkiegyensúlyozottabb értéket a centroid (súlypont megkeresése) vagy a bisector (az alakzat 2 egyenlő területre osztása) módszerével lehet megkapni. A létrejött alakzattól függően sok esetben a két előzőekben megemlített módszer ugyanazon kimeneti értéket (z_2) adja, így a rendszer finomhangolása dönti el, valamelyik módszer prioritizálását.



9. ábra: Mamdani rendszer működése határozott (éles) és határozatlan (fuzzy) bemenettel

A kutatás célkitűzései

Kutatásaim elsődleges célkitűzése a bizonytalansági faktorok azonosítása és kezelése a műszaki projektekben. Természetesen egy célirányos kutatási projekt nem tudja kezelni egy műszaki projekt összes bizonytalansági tényezőjét, hiszen a tényezők egy sokrétű, szerteágazó hálózatot alkotnak. A hálózat rétegei lehetnek műszaki-, pénzügyi-, politikai-, kulturális-, környezeti- és egyéb jellegűek [15]. A kutatási projektben alapvetően a műszaki paraméterek bizonytalanságával és a humán szempontok érvényesítésével foglalkoztam.

A bizonytalanságok tényezőinek a szemléltetésére a legjobb megközelítés az a módszertan adja, melyet általánosan használnak a kockázatelemzésekben a kockázat mértékének a megállapítására. Ezen módszer alapján a kockázat mértékét a bekövetkezési valószínűség (P - probability) és a fontosság (várható kár nagysága: S - severity) tényezőin alapuló mátrix segítségével lehet kiszámolni (1. táblázat).

1. táblázat: Kockázatelemzési mátrix a K (kockázati) szintek meghatározására

	P1: rendszeres	P2: gyakori	P3: eseti	P4: ritka	P5: valószínűtlen
S1: katasztrofális	Extra Magas K.	Extra Magas K.	Magas K.	Magas K.	Közepes K.
S2: súlyos	Extra Magas K.	Magas K.	Magas K.	Közepes K.	Alacsony K.
S3: enyhe	Magas K.	Közepes K.	Közepes K.	Alacsony K.	Alacsony K.
S4: nem számottevő	Közepes K.	Alacsony K.	Alacsony K.	Alacsony K.	Alacsony K.

A kockázatelemzési mátrix használatát megnehezíti az egyes kategóriák pontos meghatározása. Mind az időfüggő-, mind a súlyossággal kapcsolatos kategóriák meghatározása esetén nehézséget jelent a kategóriák határainak a pontos meghatározása. Vannak olyan kategóriák, melyeket könnyebb számszerűsíteni (pl.: rendszeres vagy gyakori előfordulás), de a súlyosságot érintő kategóriákat (pl.: különbség a súlyos és a katasztrofális esetek között) már jóval nehezebb egzakt módon leírni. Az ilyen esetekben lehet segítségünkre a mesterséges intelligencia módszerek egyike. Amennyiben a bizonytalanságot az adott fogalom pontos meghatározása vagy kategorizálása jelenti, akkor a legcélravezetőbb módszer a fuzzy logika alkalmazása [16].

Más jellegű bizonytalanságot okoz a műszaki paraméterek optimalizálása. Optimalizálás esetén külön gondot kell fordítani a megoldási tér részletes feltérképezésére. Amennyiben az optimum kereső algoritmus csak egy kijelölt térrészt preferál, akkor könnyen belefuthatunk egy olyan optimumba, amely csak lokális megoldást jelent. A mesterséges intelligencia módszerek segítségével lehetőségünk van teljes megoldástér elemzésére és az ott előforduló összes optimális paraméter megtalálására [17].

Speciális esete a bizonytalansági tényezőknek az emberi tényezők kezelése a műszaki projektekben. Erre jó példa lehet napjaink azon trendje, amely a termékek olyan mértékű testreszabását jelenti, ahol már nemcsak kisebb terjedelmű, adott tulajdonságú terméksorozatok tervezünk, hanem gyakorlatilag megpróbáljuk egy adott felhasználóra vonatkozóan testre-szabni a tervezett majd legyártott terméket. Ebben az esetben a műszaki paraméterek meghatározásán felül külön problémát jelent az emberi tényezők integrálása a tervezési és irányítási folyamatokba [18].

Kutatási projektek

Emberi tényezők kezelése a műszaki projektekben

Emberi bizonytalansági tényezők a projektek lefutásának az időbecslésében

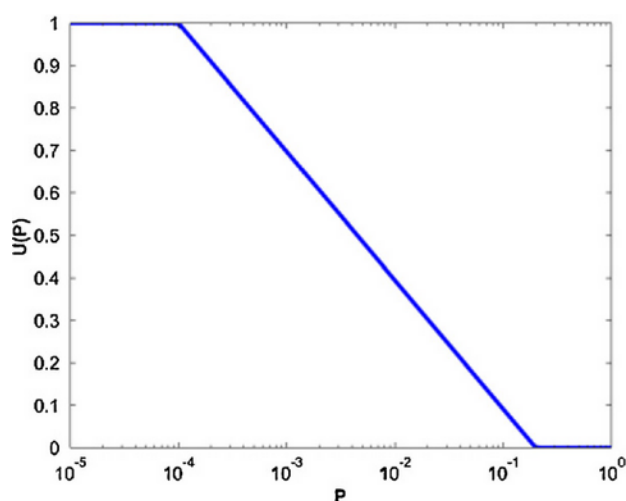
A hosszú távú tervezési projektek speciális előkészítést igényelnek a kivitelezés megkezdése előtt. Ez az előkészítés általában magában foglalja a projekt elmeit tartalmazó hálózat diagram rajzának az elkészítését is. Ez a diagram az egyes részfeladatok időbecslését tartalmazza, és információt ad a mérföldkövek várható időpontjairól. A kiszámított kritikus út ebben a hálózatban nagyon jól jellemzi az adott tervezési projektet a végrehajtási időtartam oldaláról tekintve. Számos módszer áll rendelkezésre az előkészítés ezen lépésének támogatására. Mindezek alapján kutatást indítottam a tervezési folyamat szerkezetének feltérképezésére, a mérföldkövek tisztázására és a mérföldkövek dátumának előrejelzésére. A kutatásom eredményeként megalkotott módszer a PERT hálózaton alapul, de újdonságként fuzzy logikát alkalmaz a PERT gráfon a tipikus tervezési mérföldkövek pontosítására. A fuzzy logika alkalmazásával megvalósíthatóvá válik a különböző tervezési bizonytalanságok kezelése. A lehetséges elektromos áramszünetről a mérnök megbetegedéséig sokféle tervezési bizonytalanság létezik. Ezek a bizonytalanságok sok esetben emberi tévedésekhez kapcsolódnak, és nyelvi kifejezésekkel írhatók le. A fuzzy logika lehetővé teszi, hogy ezeket a kétértelmű kifejezéseket számértékekké alakítsa a további matematikai kiértékeléshez. A módszert az ITER diagnosztikai rendszereinek infrastruktúrájának tervezési projektje során vezetik be. A módszer nemcsak a tervezési fázisban segíti a projektet, de hatékony eszköz lesz a matematikai modellezésben és a projekt végrehajtásának nyomon követésében is.

A PERT egy statisztikai eszköz egy adott projekt feladatainak elemzésére és ábrázolására [19]. A PERT a kritikus út módszerrel (CPM) [20] együtt segíthet a projekttevékenységek ütemezésében. A PERT-módszer képes kiszámítani egy egyedi feladat várható idejét (T_E) a legvalószínűbb idő (T_{ML}), optimista idő (T_O) és pesszimista idő (T_P) becslések segítségével. A három időbecslés a projekt résztvevőinek személyes tapasztalatain alapul. A T_{ML} érték előrejelzi a feladat időtartamát, feltételezve, hogy minden a szokásos módon megy végbe. A T_O és T_P értékek egy optimista és egy pesszimista forgatókönyv lehetséges időbeli eltéréseit jelentik. A T_E érték kiszámítása a következőkön alapul:

$$T_E = \frac{T_O + 4 \cdot T_{ML} + T_P}{6}$$

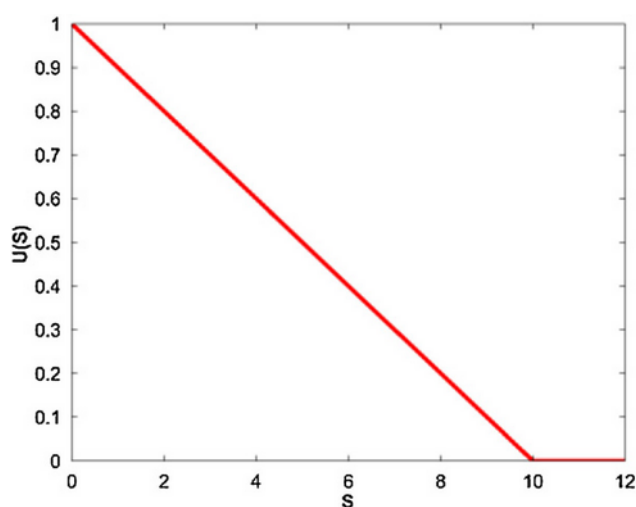
Ezen értékek felhasználásával a CPM kiszámítja a tervezett tevékenységek leghosszabb útját a projekt végéig, valamint azt a legkorábbi és legkésőbbi időpontot, amikor az egyes tevékenységek elkezdődhetnek és befejeződhetnek anélkül, hogy a projekt meghosszabbodik. A projektmenedzsmentben a kritikus út a projekthálózati tevékenységek sorozata, amelyek a leghosszabb teljes időtartamot adják. Ez határozza meg a projekt befejezéséhez szükséges legrövidebb időt. A PERT módszer fő hátránya az időkülönbségek becslésének módja. Ezeket az empirikus számításokat nehéz kezelni egy automatizált algoritmusban. Ez az oka a fuzzy logika alkalmazásának.

A fuzzy logika kezeli a paraméterértékelés kétértelmű eseteit. Ez az út közel áll az emberi gondolkodáshoz, mert néhány egyszerű kérdés megválaszolásával beállíthatók a vonatkozó fuzzy tagsági függvények. Ez a módszer a kockázatértékeléssel kombinálva hatékonyan segítheti az időkülönbségek kiszámítását optimista és pesszimista esetekben. A kockázatértékelés két tényezőt használ a lehetséges károk becsléséhez. A kockázatszámítás hagyományos módja szerint a kockázat mértéke a kár bekövetkezésének valószínűségének és a kár súlyosságának szorzataként számítható ki. A fuzzy logika segítségével a kár kiszámítása a valószínűség és a súlyosság fuzzy tagsági függvényének felhasználásával történik. A valószínűséget a ritka (10^{-4}) és a gyakori (0,2) közé skálázzuk a következő fuzzy tagsági függvény segítségével (10. ábra).



10. ábra: A valószínűség fuzzy tagsági függvénye

A súlyosságot az elhanyagolható (0) és a katasztrofális (10) közé skálázzuk, és a következő fuzzy tagsági függvénnyel írjuk le (11. ábra). A súlyossági érték becslését több tényező is befolyásolja (pl. a következő feladatok száma és a számított feladat időtartama, mert egy hosszú feladat késése könnyen módosíthatja a kritikus utat a PERT hálózatban).



11. ábra: A súlyosság fuzzy tagsági függvénye

A vonatkozó fuzzy tagsági függvények két különböző fuzzy értéket adnak, amelyeket vissza kell alakítani egyetlen értéké. Ez az eljárás defuzzifikációs szakasza, és ez az egyetlen érték jellemzi az értékelte feladat általános kockázatát. Számos módszer létezik ennek a defuzzifikációnak a végrehajtására, de ebben a projektben a korrigált fuzzy középértéket (CFM) alkalmaztuk. Az u_{VARi} fuzzy értékeket a vonatkozó U_i fuzzy tagsági függvényekkel határozzuk meg:

$$U_{VARi} = U_i(P_{VARi})$$

A korrigált fuzzy átlag (CFM) bevezetésével jó lehetőség nyílik a fuzzy tagsági függvény annyi eredményének összegzésére, amennyi az adott feladat értékeléséhez szükséges. Ezt az értéket sokkal egyszerűbb kiszámítani, mint a fuzzy következtetési rendszerek hagyományos eredményeit.

$$CFM = \frac{u_{VAR1} \cdot u_{VAR2} \cdot \dots \cdot u_{VARn}}{\sum_{i=1}^n u_{VARi}}$$

Ezek a CFM értékek jól jelzik egy adott feladat kockázatát a projektben. Ebben a projektben az empirikus időbecslést a fuzzy alapú időbecsléssel helyettesíti. Ilyen módon minden feladat rendelkezik a reális időtartam értékkel (T_{ML}) és néhány egyéb kockázati tényezővel. A TR_O érték százalékban tartalmazza az időeltolódás mértékét, amely optimista forgatókönyv esetén az adott feladatban elért maximális idő. A TR_P az idővesztés aránya pesszimista esetben. A P_O a kockázat valószínűségi értéke optimista esetben. A P_P a valószínűségi érték pesszimista esetben. A S_O és az S_P értékek optimista és pesszimista esetekben írják le a kár súlyosságát. A feladat optimista és pesszimista időtartamát a következőképpen számítjuk ki:

$$T_O = T_{ML} - T_{ML} \cdot TR_O \cdot CFM_O$$

$$T_P = T_{ML} + T_{ML} \cdot TR_P \cdot CFM_P$$

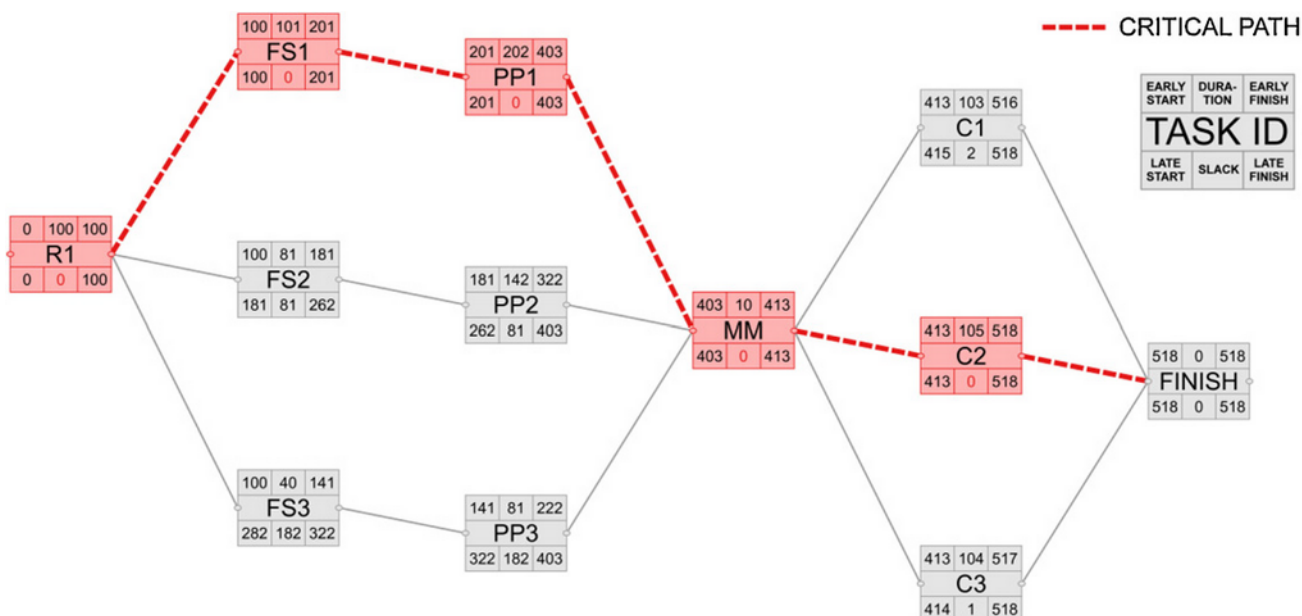
Ezzel a módszerrel a kockázatértékelés két független fázisra bontható. Ebben a módszerben a projektvezető beállíthatja az időarányokat (TR_O , TR_P) és a súlyossági értékeket (S_O , S_P). A résztvevő mérnökök minden feladatnál csak a legvalószínűbb időtartamokat (T_{ML}) és a vonatkozó valószínűségi szinteket (P_O , P_P) állíthatják be. A mérnökök sokkal reálisabb kockázatbecslést tudnak készíteni, ha csak a valószínűségi értékekre kell ügyelniük az időarányok és a súlyossági értékek ismerete nélkül.

$$CFM_O = \frac{U(P_O) \cdot U(S_O)}{\frac{U(P_O) + U(S_O)}{2}}$$

$$CFM_P = \frac{U(P_P) \cdot U(S_P)}{\frac{U(P_P) + U(S_P)}{2}}$$

A CFM_O és a CFM_P értékek tartalmazzák a feladatfeldolgozás kockázatát. A módszert a Tokamak Services for Diagnostics K+F projekt egy kis részének előfeldolgozása során teszteltük. Ez a részfeladat a diagnosztikai rendszer csatlakozóinak elvi kialakításáról szólt. Ez a tevékenység kiterjedt a követelmények és a lehetséges fizikai jelenségek összegyűjtésére, a függvénystruktúra felrajzolására, a morfológiai mátrix létrehozására és végül a csatlakozókoncepciók tervezésére. A

meglévő projekt adatok alapján megrajzoltuk a PERT hálózatot és kiszámítottuk a kritikus útvonalat ebben a hálózatban (12. ábra). Ezek az eredmények hasonlóak más módszerek eredményeihez [6], de a kockázati tényezők becslése, valamint az optimista és pesszimista feladatok időtartamának számítása jelentős eltéréseket mutat.



12. ábra: PERT háló a kritikus út jelölésével

Ebben a projektben egy újszerű módszert alkalmaztam, amely segíti a projektek folyamattervezését. A módszer PERT hálózaton alapul. A hagyományos PERT módszernél a tervezők tapasztalatai alapján adják meg a három időtartamot (legvalószínűbb, optimista és pesszimista időtartam). Ebben az új módszerben a tervezőknek csak a legvalószínűbb időtartamot és a kockázat valószínűségi értékeit kell megadniuk. A projektmenedzserek dönthetnek az időarányokról és a kockázat súlyosságáról. A kockázatértékelés összetevőinek ilyen szétválasztása pontosabbá teheti az eredményeket. Egy nagyobb projektben a kockázati elemek előrejelzése több résztvevő között osztható meg. A kockázati elemek fuzzy alapú matematikai kezelése javíthatja a projekt követését és a kezdeti előrejelzések későbbi ellenőrzését. Ez az új módszer fuzzy logikát használ az optimista és a pesszimista forgatókönyv becslésére a forgatókönyv időbeli üteme és kockázata alapján. A kockázatot a kiválasztott feladat időkülönbségének valószínűségéből és súlyosságából számítják ki. Ezeket a bemeneti értékeket a projekt résztvevői becsülik meg. A bemeneti értékeket fuzzy módszerrel dolgozzuk fel, a CFM érték számításával. Az automatikusan kiszámított forgatókönyvek a PERT hálózatba kerülnek. A PERT hálózat megmutatja a tervezés legproblémásabb szakaszait, lehetővé téve a résztvevők számára, hogy a projekt végrehajtása előtt felkészüljenek ezekre a nehézségekre. Ennek a módosított PERT-módszernak a jövőbeni alkalmazása nem csak egy konkrét projekt végrehajtását jelzi előre, de jó lehetőség nyílik a futó projekt monitorozására is. A módszer ilyen jellegű alkalmazása folyamatosan számolhatja a projekt befejezési dátumát. A valós projektek adatai visszacsatolásként segíthetnek az alkalmazott fuzzy tagsági függvények finomításában és pontosabbá tenni ezt a kombinált PERT módszert a jövőbeni alkalmazásokban.

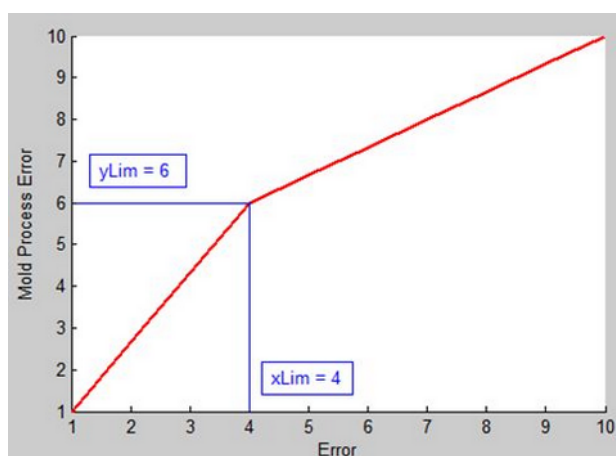
A színlátás, mint problematikus humán faktor

A fröccsöntött termékek színében megjelenő inhomogenitások minősítését manapság dolgozók végzik, akik szubjektív módon képesek az adott egyenetlenségeket értékelni. A hibára adott értékelés számos emberi tényezőtől függ. A mérési módszer bizonytalansága indokolja egy olyan rendszer kifejlesztését, ami objektív módon képes az egyenetlenségeket osztályozni. Erre lett kifejlesztve a BME Polimertechnika Tanszéken egy képelemző szoftver [21]. Munkánk során egy fuzzy logikán alapuló kiértékelő rendszert dolgozzak ki a fröccsöntött termékek színhibáinak minősítésére, amely a képelemző szoftverrel egy összetett kiértékelő rendszert alkot. A rendszerben a képelemző szoftver objektív módon, egy referenciát szolgáltatva értékeli a mintákat, míg a fuzzy logikán alapuló kiértékelés a szubjektív, emberi tényezőket is kezeli. A vizsgálat elkészítése során ABS kopolimer fröccsöntött próbatesteket használtunk, amelyhez különböző mesterkeverékeket adalékoltunk (9 szín), és 7 különböző sorozatot hoztunk létre eltérő gépbeállításokkal. A kísérletben hét ember vett részt, akik minden egyes mintát megnézték és 1-től 10-ig terjedő skálán osztályozták a minták színegyenetlensége szerint. A növekvő hibapontszámok jelentik a minták minőségének a romlását.

A kidolgozás során az adatokat fuzzy kiértékeléssel elemezzük majd. A kiértékelésnek ebben a részében az emberek által becsült adatok alapján profilokat szeretnénk kialakítani, vagyis a kutatás végső eredményként létrehozuk a fuzzy tagsági függvényeket. A fuzzy logikát indirekt módon alkalmazzuk. Az adatok kiértékeléséhez egy programot írtunk. A program kidolgozásánál a legfontosabb alapelvnek azt tekintettük, hogy minden ember egyedi, eltérő preferenciákkal, ezáltal különbözőképpen értékeli ugyanazokat a mintákat. Célunk az volt, hogy létrehozzunk olyan függvényeket, melyek segítségével a program jó közelítéssel le tudja generálni az emberek által mondott számokat minden minta esetén. Hogy az emberi „bizonytalanságot” modellezzük a program véletlen számokat generál, de megadott feltételek mellett. A véletlen számok generálásánál figyelembe fogjuk venni az adott egyén preferenciáit, vagyis a színérzékelését és a gép beállítását, vagyis a különböző sorozatok közti különbséget és az emberek hibaérzékelés görbáját. Ezekből képezzük majd végül a fuzzy tagsági függvényeket, ha sikerült megtalálunk azokat az értékeket, melyek segítségével hasonló eredményeket kapunk, mint az emberi becslések. A módszer részben hasonlít a neurális hálózatokhoz, mert az inputok beállításával az a célunk, hogy a program segítségével az emberek által mondott értékeket kapjuk vissza, vagyis adott bementetek esetén a függvény segítségével adott kimenetet kapjunk.

A programnak meg kell adni az adott értékelőre jellemző értékeket. Először az értékelő színérzékelését, vagyis a *ColourSensitivity* (*ColourSens*) értékét kell meghatározni, amely a 9 színhez tartozik (egy-egy szám minden színhez). Ezzel az értékkel vesszük majd figyelembe, hogy a különböző emberek eltérő módon érzékelik a színeket. Ha a színhez rendelt érték kicsi szám (pl. 1 vagy 2) akkor az ember nem érzékeny jobban az ebben a színben lévő hibákra, mint az átlagos hibaérzékelése. Ha a szám magas, akkor az ember érzékeny a színre, és jobban észreveszi benne a hibákat. A *ColourSens* értékek adott egyénnél minden sorozatra azonos lesz. Az *Error* érték az adott sorozatra jellemző, de ez is színenként értendő, vagyis itt a 9 színhez kell hozzárendelni egy-egy értéket. Az *Error* értékkel azt modelleztük, hogy adott gépbeállítás hogyan módosította a színben levő hibákat. Ezekon kívül meg kell adni az ember hibaérzékelő függvényét (13. ábra), ami két eltérő meredekségű lineáris részből tevődik össze, és 1-től 10-ig veszi fel az értékeket. A hibaérzékelő függvény úgy kell értelmezni, hogy ha adott sorozatnál minden színhez beállítunk egy

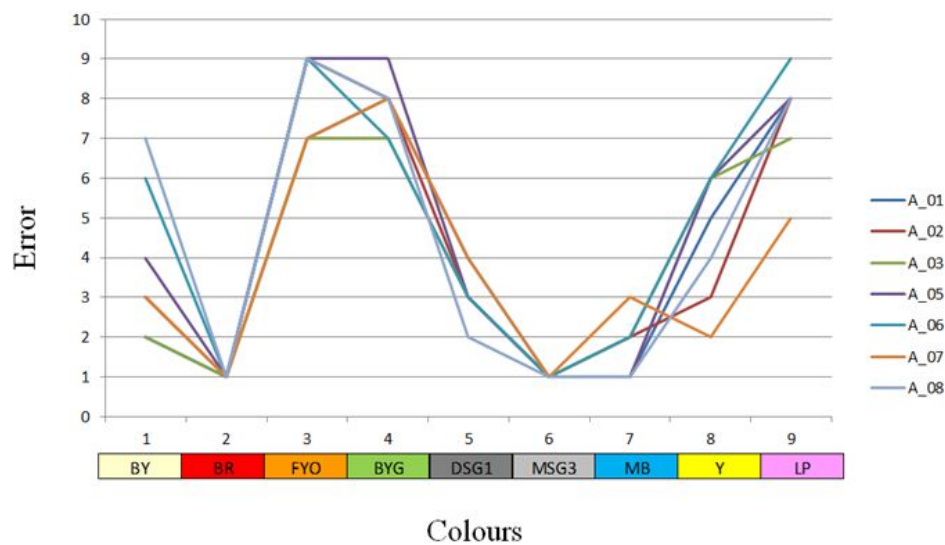
Error értéket (vízszintes tengely), majd azt az értéket az ember hibaérzékelő függvényével módosítjuk, ez lesz a *MoldProcError* érték (függőleges tengely).



13. ábra: Hibaérzékelő függvény

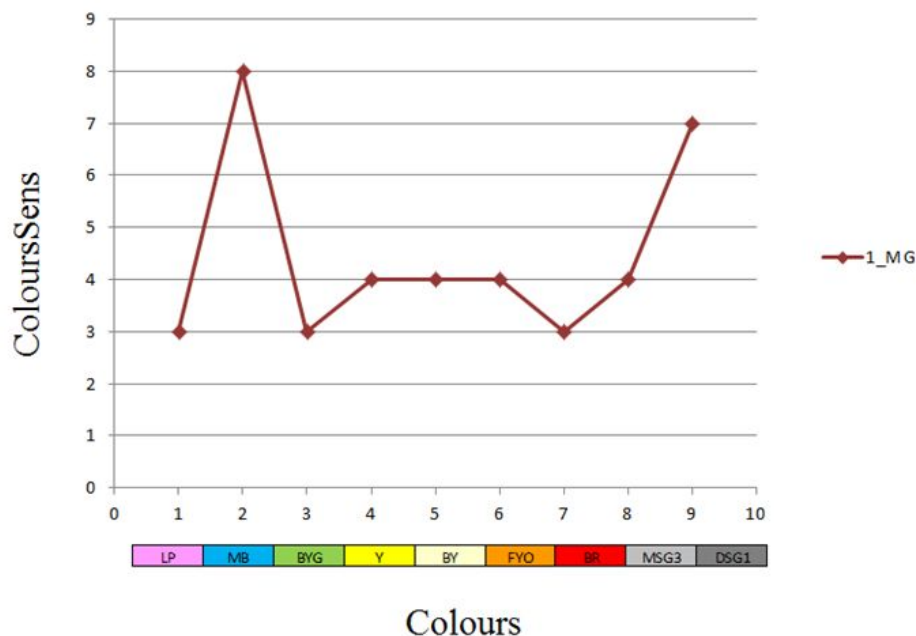
Ezekből a függvényekből (*ColourSens*, *Error*, hibaérzékelő függvény) képezzük majd a kidolgozás után a fuzzy tagsági függvényeket, vagyis a megfelelő szabályokat, amely alapján egy fuzzy kiértékelő rendszer működhet. A program beolvassa a *ColourSens* és az *Error* értékeket, valamint a hibaérzékelő függvényt, majd ezek segítségével a megadott feltételek szerint működő véletlen szám generátorral létrehozza a generált értékeket. A generált értékek a humán adatok alá kerülnek majd be, így könnyen össze lehet hasonlítani a becslés során mondott értékekkel. A kidolgozott programmal kiértékeltek az összes adatot, vagyis mind a hét személy becslését és létrehoztuk az összes *ColourSens*, *Error* értékeket és a hibaérzékelő függvényt, mivel szeretnénk volna látni, hogy a kitalált módszer működik és viszonylag pontosan le tudjuk generálni az értékelő személyek által mondott értékeket. Ezt követően a képelemző szoftver eredményeinek kiértékelése következett. A szoftver esetén a *ColourSens* értéke minden szín esetén 1, mivel a szoftvert nem befolyásolja, hogy milyen színről van szó. A hibaérzékelő függvényt lineárisnak választottunk, mivel a szoftver szubjektív módon nem módosítja a hibaértékeket. A futtatások után megállapítottuk, hogy viszonylag jól sikerült modellezni a képelemző szoftver eredményeit is. Az eredményekből látható volt, hogy nem a szoftveres eredményekhez lett optimalizálva az *Error* érték, emiatt volt több eltérés. A következőkben arra voltunk kíváncsiak, hogy ha az *Error* értékeket a képelemző szoftver eredményeihez állítjuk be, és a személyek *ColourSens* és hibaérzékelő függvényét meghagyjuk az eddig meghatározottnak, hogyan változik a generált adatok és a valós becslés közti eltérés. A képelemző szoftverhez kalibrált *Error* értékek (14. ábra) esetén a piros és a halványszürke színek kapták a legalacsonyabb értéket, így ezek a színek nem függnek a gépbeállítástól. Legmagasabb értékeket a narancssárga, a zöld és a lila színek kapták, ezek függnek legjobban a technológiai paraméterektől. Az általunk beállított *Error* értékekkel így azokat az eredményeket kaptuk, amelyeket a BME Polimertechnika Tanszékén meghatároztak a technológia beállítások hatásának.

A meghatározott *Error* értékekkel minden kiértékelő személy eredményét újra létrehoztuk. Az eredményekből látható volt, hogy ezek az *Error* értékek jól illeszkednek minden személyhez. Az eredmények így kiegyensúlyozottabbak lettek, kevesebb a nagy eltérés a generált és a valódi értékek között.



14. ábra: Error függvények

Ezzel a kiértékeléssel validáltuk a módszerük eredményeit, mivel látható, hogy a képelemző szoftver eredményeit le tudjuk generálni úgy, hogy az csak az *Error* értéktől függ. Ez az *Error* érték a humán becsléshez is jól illeszkedik, mivel segítségével jó közelítéssel visszkapjuk azokat az értékeket, melyeket az emberek becsültek meg. Mivel a kiértékelést az 1_MG azonosítóval jelzett kiértékelő személlyel kezdtük és hozzá illeszkedtek legjobban a generált adatok, így a kutatás végén próbaképpen elkészítettük az ő humán profilját (15. ábra), ahol a színeket spektrum szerint rendeztünk, mivel az a feltevésünk, hogy ha egy szín (amit nem értékelték) két értékelt szín közé esik, akkor várhatóan a *ColourSens* értéke is a két értékelt szín *ColourSens* értéke közé fog esni. Így a humán profil minden színre értelmezhető lesz.



15. ábra: 1_MG értékelő személy humán profilja

Emberi érzelmek és a geometria kapcsolata

A formatervezők számára egyre fontosabbá válik a fogyasztói igények kielégítése, tekintettel arra, hogy a globális trend az egyedi termékek iránti kereslet növekedése irányába tolódik el. A technológiai fejlődés mind a mérnöki, mind a szoftveres oldalon lehetőséget kínálhat e célok elérésére. A felületmodellezés automatizálása az egyik megoldás, amellyel alapvetően jelentős volumenű formákat, formákat tudunk automatikusan gyorsan generálni, ami széles választékot eredményez, így a végfelhasználó kiválaszthatja a megfelelő terméket. A tervezők azonban kevésbé figyeltek arra, hogy az általuk tervezett formáik vagy mintáik milyen érzelmeket okozhatnak. Új megközelítést jelentene a tervezési folyamatban, ha tudatosan tudnánk manipulálni a felületet – ez azt jelenti, hogy tudni fogjuk, milyen érzelmeket fognak érezni a fogyasztók a formációnk láttán. Ez azonban nagyon összetett feladat, mert a hagyományos értelemben vett tervezői ismereteket a pszichológia és a szociológia oldalával is ki kell bővíteni. A technikai kérdések mellett fel kell mérnünk a fogyasztói igényeket, vágyakat, az esztétikai és szimbolikus jelek hatásait. Így az integrált termékfejlesztés tág értelemben vett mérnöki munkává vált. Ez a mérnöki tevékenység szoros együttműködést igényel más tudományágakkal. Az emberi viselkedés mérése és kezelése speciális részfeladatot jelent a pszichológusok, matematikusok és művészek számára. Ezen túlmenően a projekt megvalósításához fejlett informatikai háttérre van szükség képzett szakemberekkel.

A színekkel és formákkal, valamint azok emberre gyakorolt hatásával kapcsolatos kísérletek már régóta folynak. Az embereket befolyásolja a termékek és márkák fizikai megjelenése; másrészt ott van az egyéni "tényező" is, amely magában foglalja az egyéni tapasztalatokat, motivációkat. A feldolgozott információ nagy része vizuális. Először is, miért hatnak a színek az emberre? A látórendszer három részből áll: a szem optikai képalkotásáért felelős optikai rendszere, a szemből az agyba terjedő ideghálózat, ahol a fiziológiai folyamatok és a „matematikai” műveletek zajlanak, végül a cortex, amely elemzi, felismeri és társítja a képeket. Ezeket a folyamatokat követve, eredményeiket tovább feldolgozva a felismert színek és formák az érzelmeket és az érzékszerveket egyaránt lenyűgözik és befolyásolják. A színek különböző módon hatnak idegrendszerünkre, de ezt csak akkor veheted észre, amikor az érzéked jobb vagy rosszabb irányba változik. Vannak meleg színek (piros, narancs és sárga) és hideg színek (kék, zöld és lila). A meleg színeket a tér tágítására és a nyugalom elérésére alkalmazzák. A hideg színeket hidegebb, tömzsibb termékeken használják (például: fagyasztott és vizes termékek). A színekhez hasonlóan a formák is hatással vannak érzelmeinkre.

A művészek és a tervezők a geometriai elemeket a grafikai kifejezések kezdetétől fogva használták a hangulat kommunikálására, a geometriai elemeket emberi érzelmekkel korrelálva. Az ilyen típusú geometriai elemeket a „hangulatvonalak” kifejezés foglalja össze. Az ismételt használat során bizonyos minták és vonalak általánosan elismert jelentést nyertek. A formák és formák nagy hatással vannak tudatalattinkra. A tervezők ezeket a hatásokat használják fel a megfelelő üzenetek és hangulatok közvetítésére. Rikard Rodin tervező a hangulatvonalak hatásával foglalkozott munkájában [22]. A művészek és a tervezők a hangulatvonalakat használják az érzelmek közvetítésére, és ez akkor kezdődött, amikor megjelentek az első barlangfestmények. A 16. ábra 48-féle hangulatvonalat mutat be.

ACTIVE	PASSIVE	STRUCTURAL SOLID, STRONG	NONSTRUCTURAL FLUID, SOFT	IN MOTION	MEANDERING, CASUAL RELAXED, INTERESTING HUMAN	ERRATIC, BUMBLING CHAOTIC, CONFUSED	LOGICAL PLANNED, ORDERLY
STABLE	UNSTABLE	STABLE	UNSTABLE	FLOWING, ROLLING	FORMAL, PRIESTLY IMPERIOUS, DOGMATIC	RISE, OPTIMISTIC SUCCESSFUL, HAPPY	FALLING, PESSIMISTIC DEFEATED, DEPRESSED
POSITIVE BOLD, FORCEFUL	TENUOUS UNCERTAIN, WAVERING	THE VERTICAL, NOBLE, DRAMATIC, INSPIRATIONAL, ASPIRING	THE HORIZONTAL EARTHLY, CALM, MUNDANE, SATISFIED	INDECISIVE, WEAK	PROGRESSIVE	DEGRESSIVE	RISE ATTAINMENT WITH EFFORT IMPROVEMENT
PRIMITIVE SIMPLE, BOLD	EFFUSIVE	FLAMBOYANT	REFINED	INDIRECT, FLOODING	CONCENTRATING, ASSEMBLING	DISPERSING, FLEEING	BROKEN INTERRUPTED, SEVERED
JAGGED, BRUTAL HARD, VIGOROUS MASCULINE, PICTURESQUE	CURVILINEAR, TENDER SOFT, PLEASANT FEMININE, BEAUTIFUL	ROUGH, RASPING GRATING	SMOOTH SWELLING, SLIDING	DIRECT, SURE FORCEFUL, WITH PURPOSE	OPPOSING	CONNECTING CROSSING	PARALLEL OPPOSING WITH HARMONY
DECREASING CONTRACTING	INCREASING EXPANDING	DYNAMIC	STATIC FOCAL, FIXED	EXCITED, NERVOUS JITTERY	OPPOSING WITH FRICTION	DIVERGING DIVIDING	GROWING DEVELOPING

16. ábra: Hangulatvonalak hatásai

Néhány példa a különböző hangulatokra, amelyeket ezek a vonalak közvetítenek: A vízszintes hangulatvonalak a béke, a nyugalom és az ellazulás érzését közvetítik, míg a függőleges hangulatvonalak férfias jellemzőket hordoznak, például dinamikus és feltörekvő; ráadásul stabilitást és tartósságot sugallnak, így az erőt és az egyszerűséget is társíthatja. Az átlós vagy elfogult hangulatvonalak viszont dinamikusabbnak és izgalmasabbnak tűnnek számunkra, mert mozgást, aktivitást sugallnak, vagy bizonytalanságot okozhatnak. Míg egyes hangulatvonalak férfias természetűek, és kapcsolatban állnak az akaraterővel és mentalitással, addig az ívelt hangulatvonalak nőiességet, lágyiséget, könnyedséget, boldogságot mutatnak, és hatással vannak érzelmeinkre.

A kutatás fő következtetése, hogy a legtöbb esetben az alapgeometria jellemzői és hangulatai sem – vagy nem teljesen – kerülnek át a kiértékelt mintákba. Tehát ugyanazt a bázist használva nagyon eltérő eredményeket érhetünk el, ha az ismétlést különböző irányban (például vízszintes helyett ferdén) alkalmazzuk. Sokkal bonyolultabbá teszi a tervezési folyamatot, hiszen nemcsak az alap, hanem a mintafejlesztési módszerek és azok egyedi hatásai is áttekintésre, jellemzésre várnak a jövőben. Ezzel szemben az optikai illúziók hasznosítása igazán hatékonynak bizonyult, és pozitív érzéseket keltett a felhasználókban. Végül, de nem utolsósorban az aszimmetria kérdései is érdekes információkkal szolgáltak. Ez egyértelműen pozitív hatást gyakorolt a felhasználókra, szemben a háttérkutatás során megállapított állításokkal.

Az eredmények bizonytalanságának a csökkentése teljes megoldástér lefedésével

Voronoi elvű belső támasztó szerkezet készítése additív gyártáshoz

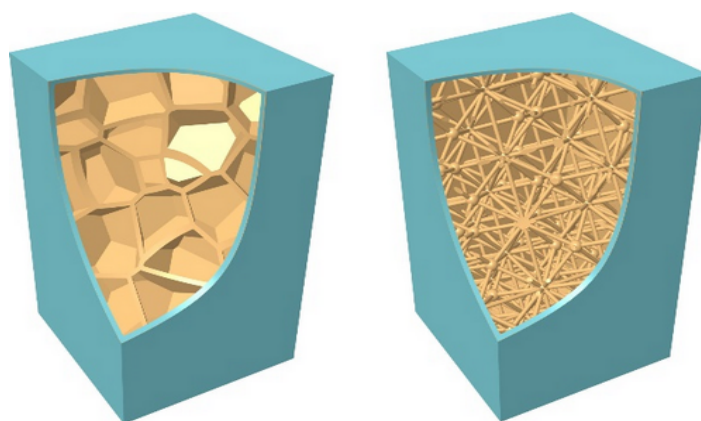
Napjainkban a terméktervezőknek lehetőségük van összetett geometriák tervezésére, hiszen például az additív gyártásnál kevesebb technológiai korlát van, mint korábban. Geometriai szabadságuk mellett azonban elengedhetetlen figyelmet fordítani a mérnöki szempontokra is, mint például a takarékos anyaghasználat, masszívság stb.

Ez a kutatás a belső tartószerkezetekkel foglalkozik, és bemutat egy új belső támasztó szerkezetet, a Lightweight Voronoi Scaffold-ot (LVS). A kutatás célja ennek az új szerkezetnek a tesztelése volt komplex geometria esetén többtengelyes terhelés esetén. Mivel a LVS elrendezése nem szabályos, véletlenszerű mintavételen alapuló Monte Carlo módszert alkalmaztunk a geometriai példányok generálásának megfelelő elosztása érdekében. Bár a véletlen kezdőértékek nagyszámú helytelen geometriát generáltak, a fennmaradók mindig tartalmaznak figyelemre méltó megoldásokat. A Lightweight Voronoi Scaffold-ot összehasonlítottuk néhány általánosan elterjedt normál ráccsal, és az eredmények azt mutatták, hogy a Lightweight Voronoi Scaffold minden esetben könnyebb volt, ami új lehetőségeket nyithat meg az additív gyártás területén.

Az ígéretes és innovatív technológiát képviselő additív gyártás (AM) [23] segítségével komplex geometriai elemek tervezésére is lehetőség nyílik, ezért a szabálytalan szerkezetek is alkalmazhatók. Egyrészt szabálytalan szerkezetek esztétikusabb, személyre szabott termékeket kínálnak, mint például 3D nyomtatott ruhák [24]. Másrészt a szabálytalan geometriai elrendezések javítanak néhány mechanikai tulajdonságot, például az anizotrop szilárdságot meghatározott irányított terhelésekkel szemben [25]. Egy objektum belső szerkezete lehet homogén és heterogén. A Voronoi szerkezet számos lehetőséget biztosít az anyagtulajdonságok szabályozására, így például ezzel a megközelítéssel rendkívüli rugalmasságú termékeket lehet létrehozni [26], vagy a topológia perturbációjának változtatásával a nyomótulajdonságokat platófeszültségként szabályozhatjuk [27].

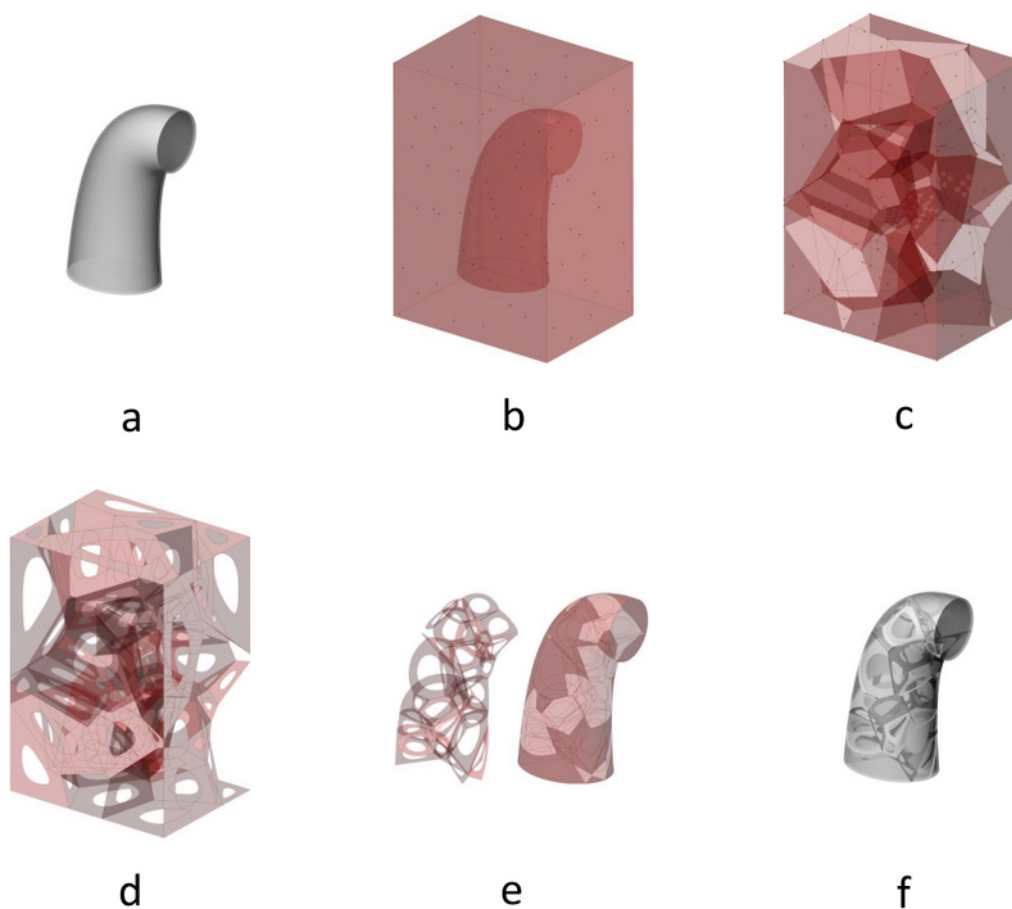
Ebben a kutatásban Voronoi struktúrát terveztünk, amely topológiaiilag hasonló a korábban említett módszerhez, de ez cella alapú, ami a CAD technológiák területén újszerű megoldás jelent. Ezt a Voronoi struktúrát egy olyan szabályos sugárrácsához hasonlítottuk a feszültségeloszlás szempontjából, amelyet általában az AM-ben alkalmaznak. Ebben a projektben a Voronoi alapú geometria térbeli vonalait cellás szerkezettel hoztuk létre, ezzel erősítve a külső héjt.. Általában a rácsos szerkezet olyan rudakból áll, amelyek geometriailag térbeli csomópontokban kapcsolódnak össze. Ezek a cella struktúrák azonban egyenes élekben kapcsolódnak egymáshoz (17. ábra).

A kutatás egyik fő célja az LVS és a szabályos rúdszerkezet (RBL) összehasonlítása azonos határgeometriával. Itt a kiválasztott általános szabad formájú geometria az ellipszis és a kör közötti átmenet, amivel összetett geometriai peremfeltételeket állítunk elő a végeselemes szimulációban.



17. ábra: Voronoi cellás és rúd alapú támasztószervezet geometriája

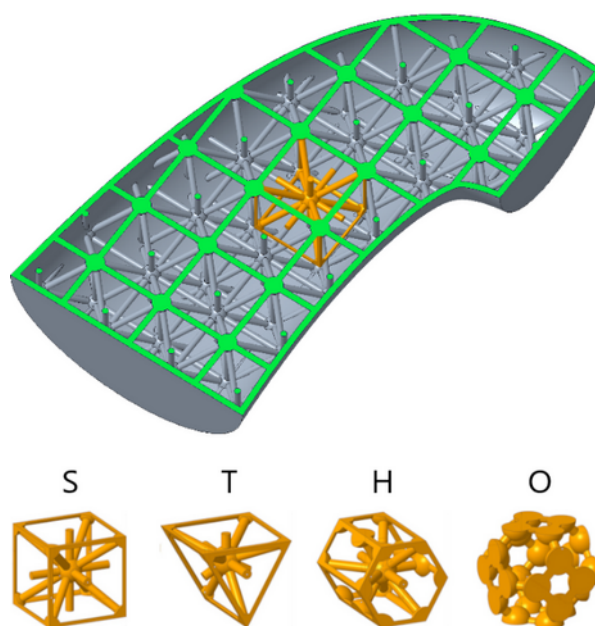
Kutatásunkban hasonló módszert alkalmaztunk, mint ami a páciens csontgeometriájának logikai metszeteit veszi figyelembe [28]. Az LVS azonban nem rúdelemeken, hanem cellás felépítésű szerkezeten alapul. A 18. ábra bemutatja azt a folyamatot, amelynek öt fő szakasza van. A geometria generálásához a Rhinoceros 5 SR14 és Grasshopper 0.9 0076 szoftververziókat használtam.



18. ábra: LVS struktúra generálása

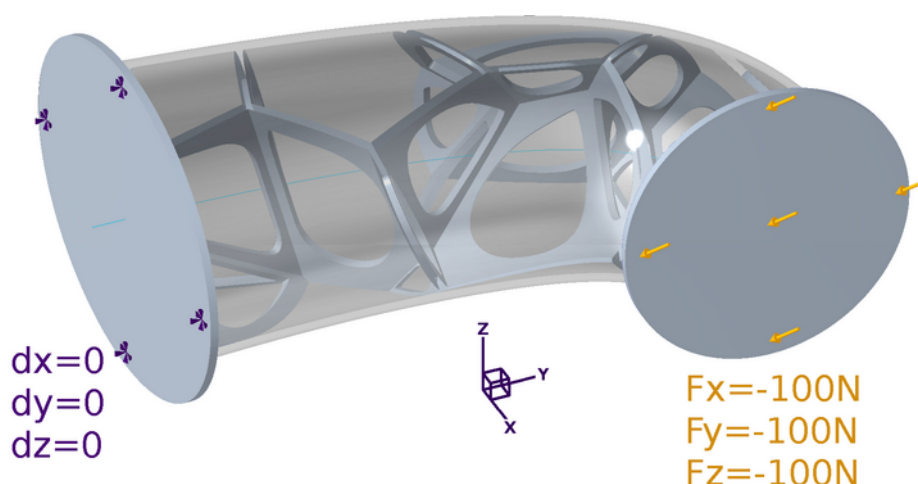
1. Lépés: Egy szabad formájú modell lebontása és importálása 3D-s felületként. A modell magassága 77,5 mm, az alapellipszis mérete 30 x 40 mm. (a)
2. Lépés: Magpontok véletlenszerű elhelyezése a határdobozban. (b) A magokat 40 magponttól 90 magpontig terjedő geometriában vittük fel.
3. lépés: Voronoi sejtek felosztása a magok szerint. Ebben a fázisban a generált sejtek egyenlő távolságra helyezkednek el a szomszédos magpontoktól. (c)
4. Lépés: A felületi vágások arányosan eltávolítják a kapott sejtfaalak középső területét NURBS-sel azonos közelítő paraméterekkel. Az azonos azt jelenti, hogy a spline csomópont hozzávetőleges távolsága azonos százalékban van a kontroll poligonon minden sejtfaalon. (d)
5. Lépés: Az eredeti geometria belső területeinek kiválasztása a határdobozból. A módszer az eredeti felületekkel határolt belső falakat választja ki a határoló dobozt tartalmazó falak közül. (e)

PTC Creo szabályos négyzet (S), háromszög (T), hatszögletű (H) és nyolcszögletű (O) típusú építőelemeket alkalmaztunk (19. ábra) a következő kezdeti paraméterekkel: rúd átmérője 1 mm, a központi gömb átmérője 3 mm, élhossz 9-20 mm (a teljes tervezési térfogat lefedéséhez). A szimulációhoz PTC Creo 4-et használtunk. A geometriához ABS típusú anyagot $\nu = 0,3$; $E = 2,4 \text{ GPa}$; $\rho = 1,06 \text{ g/cm}^3$) adtunk meg.



19. ábra: RBL struktúra generálása

A modellbe két kitöltött végfelület került. (20. ábra) Az első végfelületnél minden szabadságfokot elvontunk, a második végfelületet -100 [N]-rel terheltük x, y, z irányában a teljes felületen elosztva. A szimuláció mindkét esetben (LVS és RBL) első lépésként tömör B-REP geometriát futtatott.



20. ábra: Geometriai kényszerek és terhelések a végeselemes modellen

A celluláris-modellezési módszerek áttekintése során [29] úgy döntöttünk, hogy hibrid megoldást alkalmazunk a függvény alapú B-REP és CSG módszerek kombinálásával. Ebben a módszerben a Voronoi cellák térfogatát kivágtuk a kezdeti tömör geometriából. Ezek üreges Voronoi alátámasztott szerkezetet eredményeznek. Újdonságként a falak elhelyezése véletlenszerűen generált magpontokon alapulnak. A falak a Voronoi elv alapján osztják meg a belső térfogatot.

Az LVS geometria magjait Monte Carlo módszerrel állítottuk elő, vagyis lényegében véletlenszerű objektumok vagy folyamatok számítógépes generálásával [30]. A kutatás első lépéseként 600 geometriát generáltunk, amelyekből 178 modell érvénytelen, nem-manifold geometriát eredményezett. Bár a nem-manifold modellek megfelelő geometriai kialakítással rendelkeztek, ezek a modellek mégsem voltak alkalmasak gyártásra. Ez a probléma bizonyos falak kedvezőtlen találkozásából ered, amelyeket véletlenszerű pontmagok okoznak. Ezért csak 422 szimulációt vettünk figyelembe. Az eredmények nyomon követéséhez elengedhetetlen meggyőződni arról, hogy az eredő elmozdulás (d [mm]) és a teljes tömeg (m [g]) értékek a teljesen tömör (ES) és az üres héj geometria határai között vannak. Az eredő deformáció értéke az alapértelmezett koordináta rendszerben az elmozdulás-összetevők vektorizált összege volt.

Ugyanezt a szimulációt négy elrendezésen (négyzet, háromszög, hatszög, nyolcszög) alkalmaztuk az RBS struktúrák esetében, ahol ezeknek a geometriáknak a mérete 9 és 20 mm között változott. Ezáltal a normál rúd tartószerkezetek LVS méretű összehasonlítható változatait lefedtük. A geometriát (például a határoló felületek falvastagságát és a tartórudak átmérőjét) az LVS modellekhez igazítottuk. A jellemző méret mindkét esetben 1 mm volt (LVS és RBL szimulációk). A FEA eredményei is megerősítik ezt a törekvést. A PTC Creo szoftver P módszert használ az eredeti alkatrész geometriájának hálózására. Ebben az esetben a generált elemek nagyobbak, mint a H módszer estében, de ezek az elemek sokkal jobban lefedik a szabad formájú felületeket, mint a H elemek. A szokásos H elem lineáris tulajdonságokkal és síkbeli határoló geometriával rendelkezik. A P elem ezzel szemben magasabb rendű határoló geometriával rendelkezik, amely jól alkalmazkodik a behálózott alkatrész eredeti felületeihez. A hálóméret nemkívánatos hatásának elkerülése érdekében a szimulációk során a Single-Pass Adaptiv módszert alkalmaztuk. Ezzel a módszerrel az első szimuláció után a háló automatikusan korrigálásra kerül, hogy kiküszöbölje a

helyi szingularitásokat a feszültségeloszlásban. Ezt a korrekciót követően a második futtatás eredménye került be a kutatásba. Bár a belső támasztó geometria szabályos volt, néha szabálytalan volt a kapcsolat a külső héjjal, más esetekben pedig nem-manifold. Ezek a csatlakozási hibák lehetetlenné tették a hálózási folyamatot, ezért néhány eltolási értéket interpoláltunk a szomszédos eredményekből. Összesen 50 geometriát elemeztünk és hasonlítottunk össze a későbbiekben bemutatott LVS eredményekkel.

Az RBL és LVS összehasonlításához normalizálni kellett a tömeg és az elmozdulás értékeit. A határoló geometria esetében az üres héj tömege (m_{min}) a minimális (0%), míg az ES geometria tömege (m_{max}) a maximális tömeg (100%). Ezen a tartományon normalizáltuk az összes tömeg (m) értéket (m_n).

$$m_n = \frac{m - m_{min}}{m_{max} - m_{min}}$$

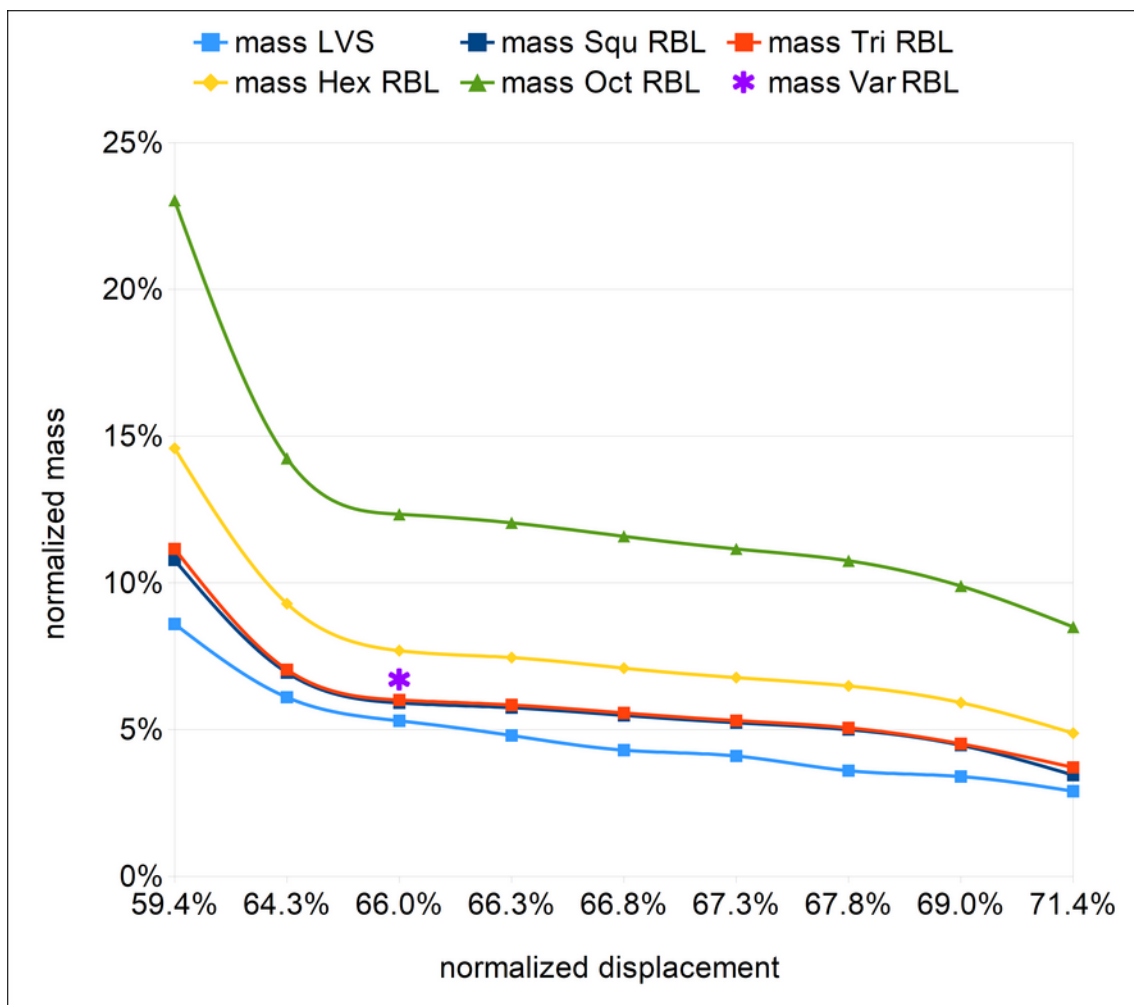
Az elmozdulásokat illetően határoló geometria esetében az ES geometria elmozdulása (d_{min}) volt a minimális érték (0%), míg az üres héj elmozdulása (d_{max}) volt a maximális érték (100%). Ezen a tartományon normalizáltuk az összes elmozdulás (d) értéket (d_n).

$$d_n = \frac{d - d_{min}}{d_{max} - d_{min}}$$

A Monte Carlo módszer miatt nagyszámú geometriát elemeztünk, de összehasonlítás céljából a legkönnyebbeket választottuk ki azonos elmozdulási nagyságértékek közül. A 21. ábra mutatja a kiválasztott normalizált eltolási értékeket a normalizált tömeg függvényében. Az LVS tömegét összehasonlították az RBL tömegével (háromszög, négyzet, hatszögletű, nyolcszögletű típusok), és kiderült, hogy minden esetben az LVS a legkönnyebb szerkezetű. Bár ehhez a kutatáshoz csak a Monte Carlo módszert alkalmaztuk, amely a sejtek véletlenszerű elrendezését eredményezte, az össztömeg trendje egyértelműen azt mutatja, hogy az LVS legalább néhány százalékkal könnyebb felépítésű, mint a többi.

Az elért eredmény jónak mondható, hiszen manapság a súlycsökkentés elemzése számos területen elengedhetetlen, úgymint a légi közlekedésben vagy az autóiparban. Példaként említhető, hogy az utasoknak súlyuk szerint kell fizetni, ha bizonyos légitársaságokkal utaznak, mivel a tanulmányok kimutatták, hogy a súlycsökkenés minden 1%-a körülbelül 0,75%-kal csökkenti az üzemanyag-fogyasztást.

Tekintettel a jövőbeni kutatásokra, több paraméter, például falvastagság és kivágási méretek változtatása jobb értékeket eredményezne. A rúd alapú támasztószerkezet természetesen tovább fejleszthető. Ez a cikk csak a teljesen szabályos támasztószerkezet tárgyalja. A geometria egyes paramétereinek változtatásával a támasztás szilárdsága is megváltozik. Lehetséges olyan belső rúdszerkezetet generálni, ahol a rudak eloszlásának a sűrűsége változó. További kutatások tárgya lesz ennek a cellás LVS-nek az összehasonlítása a fejlett változó geometriájú támasztó rúdszerkezetekkel.



21. ábra: Normalizált elmozdulások a normalizált tömeg függvényében

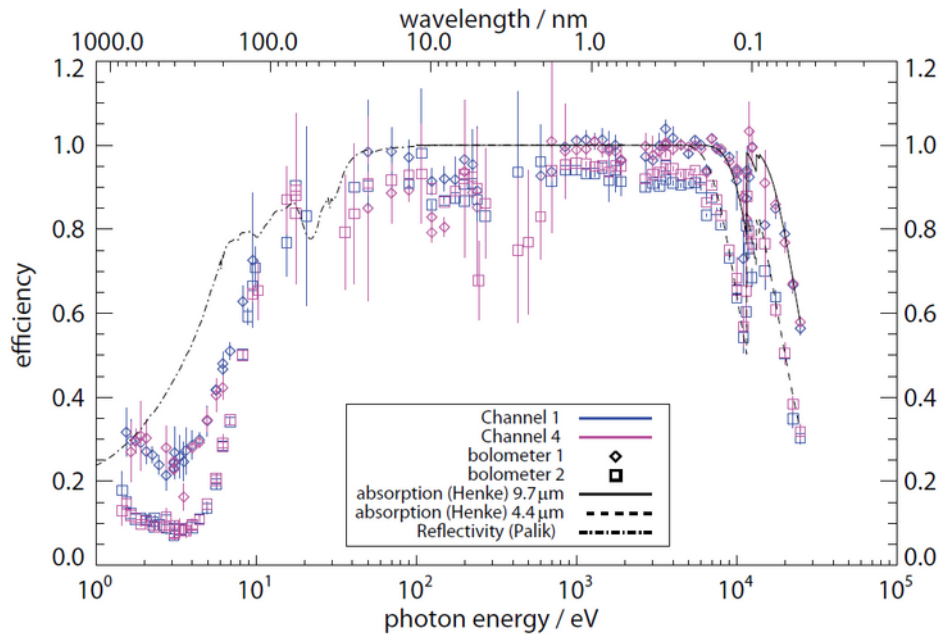
Jelentősen eltérő műszaki paraméterek kezelése

Plazma vezérlése fuzzy alapú digitális-iker elven

Az Ipar 4.0-ban számos új módszert vezettek be a valós és a digitális világ közelítésére. A digitális ikrek valós objektumot képviselnek adataikkal és funkcióikkal együtt a digitális világban. A digitális ikerkutatás legújabb fejlesztései a következő területeken bővítik ki az alkalmazást, mint a szimuláció alapú rendszertervezés, a szimuláció alapú optimalizálás és a szimuláció alapú vezérlés. A digitális iker plazmasugárzás-detektálásban történő alkalmazása új lehetőséget ad a detektálási eljárás modellezésére és a lehetséges hibák feltárására.

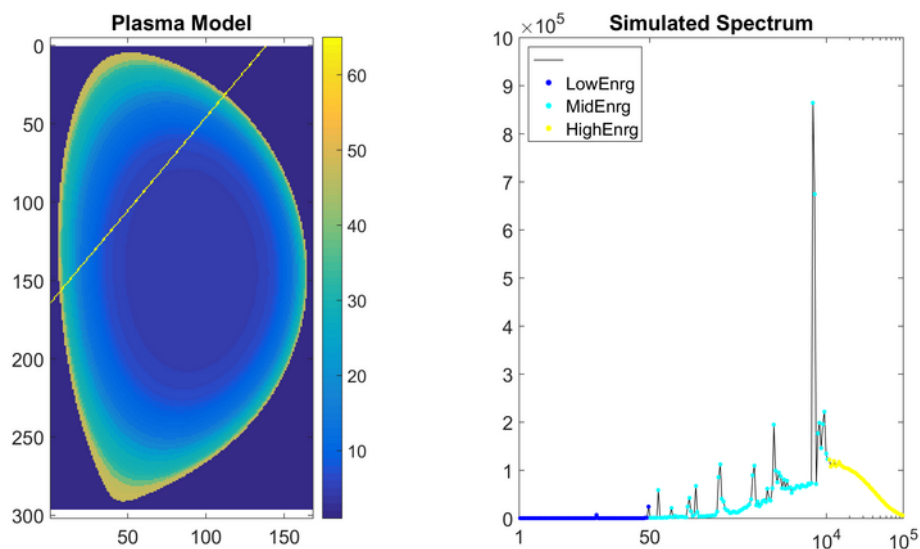
Komplex rendszerek vezérlése is sikeresen alkalmazza a szimulációs alapú digitális ikreket [31]. A szenzoradatok kiberfizikai integrációja [32] és a plazma szimuláció új lehetőséget kínál a plazmavezérlésre a fúziós alapú energiatermelés területén. Az 1. ábra a digitális iker módszer újszerű alkalmazását mutatja be a plazmavezérlésben. Az összekapcsolt valós idejű szenzoradatok az előzmények nyomon követésével és a tükrözött virtuális modellel kombinálva olyan jövőbeli előrejelzést tesznek lehetővé, amely hatékonyan segíti a plazmavezérlési eljárást. Ez az összetett munkafolyamat számos hibaforrást tartalmaz. E hibák becslésének egyik lehetséges módja a statisztikai módszerek alkalmazása [33]. Azokban az esetekben, amikor a megszerzett adatokat nehezen meghatározható hibák befolyásolják, a fuzzy logika matematikailag új megoldást kínál.

A MATLAB szoftverrel matematikai modellt hoztunk létre, amely tesztkörnyezetet biztosít a plazma detektálási eljárás szimulálásához fémelnyelő fémellenállás-bolométerekkel. Ez a modell lehetővé teszi a különböző független tényezők által befolyásolt észlelési hibák és bizonytalanságok becslését. Ezek a tényezők a modell jelenlegi állapotában a kisugárzott teljesítmény becslésének bizonytalanságai és az egyes energiatarományok határai (ablakok), a kamera geometriai felépítése és a fémes réteg jellemzői a bolométer kamerában. Természetesen ehhez a négyhez további tényezőket is hozzá lehet adni egy részletesebb szimuláció során. Ez a matematikai modell két részre osztható. Az első rész a plazmamodellt tartalmazza, a második pedig a detektálási eljárást kezeli. A plazmamodell a „15MA standard forgatókönyv kis teljesítményű D292EK v1 0.h5” adatfájlra alapul. Ez az adatkészlet egy 3 dimenziós mátrix struktúrában van tárolva, hogy lehetővé tegye a dátum ablakozását különböző energiatarományokban. A további számításokban ez az adatkészlet három energiaszintre oszlik. A LOW-val jelölt plazmamátrix első tartománya 1,0250 eV-nál kezdődik és 48,3812 eV-nál ér véget. A középső régió (MID) 51 eV-tól 10,363 keV-ig terjed. A HIGH-val jelölt legmagasabb tartomány 10,881 keV és 97,770 keV között található. Bár ezek a tartományok közötti határok megegyeznek a fém abszorber réteg jellemzőivel (22. ábra), de ezeknek a határoknak is vannak bizonytalanságai.



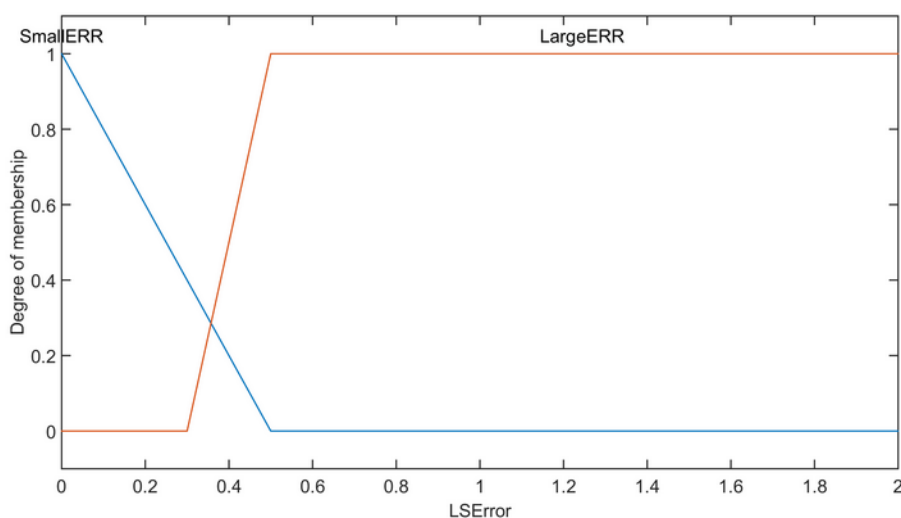
22. ábra: Elnyelési görbe PT réteg esetén

A matematikai modell második része a plazmasugárzás detektálási folyamatot szimulálja. A modell bolométer kamerát a térbeli helyzetével és a látóvonalával (LOS) ábrázolja. További számításokhoz a plazma mátrixot a kamera koordináta-rendszerébe transzformáljuk, ahol az első tengely a LOS vektor. Az észlelt energia egy integrált érték a LOS mentén a három energiaszintű ablakban. Ezzel a módszerrel tetszőleges LOS szögeknél spektrumvágásokat tudunk szimulálni (23. ábra).



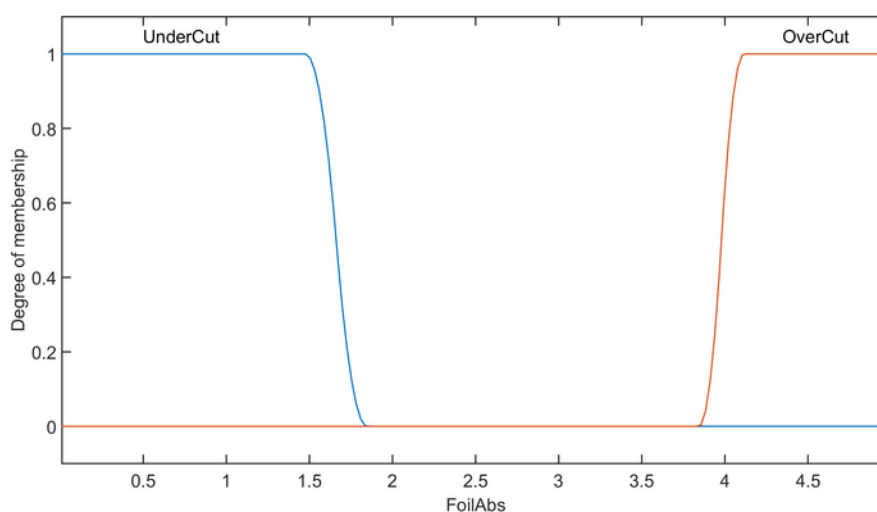
23. ábra: Szimulált energia spektrum adott látóirány (LOS) mellett

Az utólag számított plazmaintenzitás értékét számos tényező befolyásolja. A javasolt matematikai modellel szimulálhatjuk ezt a számítási láncot ezekkel a hatásokkal vagy anélkül. Ezen bizonytalanságok megfelelő kezelése lehetőséget ad a detektált értékek hibás szimulálására. A kutatás kezdeti szakaszában csak négy tényezővel foglalkozunk. Előfordulhat, hogy a bolométer kamerájának geometriai tulajdonságai hibásak. Előzetes szimulációt végeztünk egy high-end CAD rendszerben, hogy meghatározzuk a geometriai eltérés hatását a plazmajel detektálásában. A látóvonal néhány tized fokos eltérése nem kívánt eltolódásokat okozhat a megfigyelt plazma régióban. A fuzzy módszer alkalmazása széles körben elfogadott módja a technikai projektekben felmerülő bármilyen bizonytalanság kezelésének. Ebben az esetben egy fuzzy tagsági függvénnyel leírhatjuk a kamera LOS-ában előforduló kis vagy nagy szöghiba esetét (24. ábra).



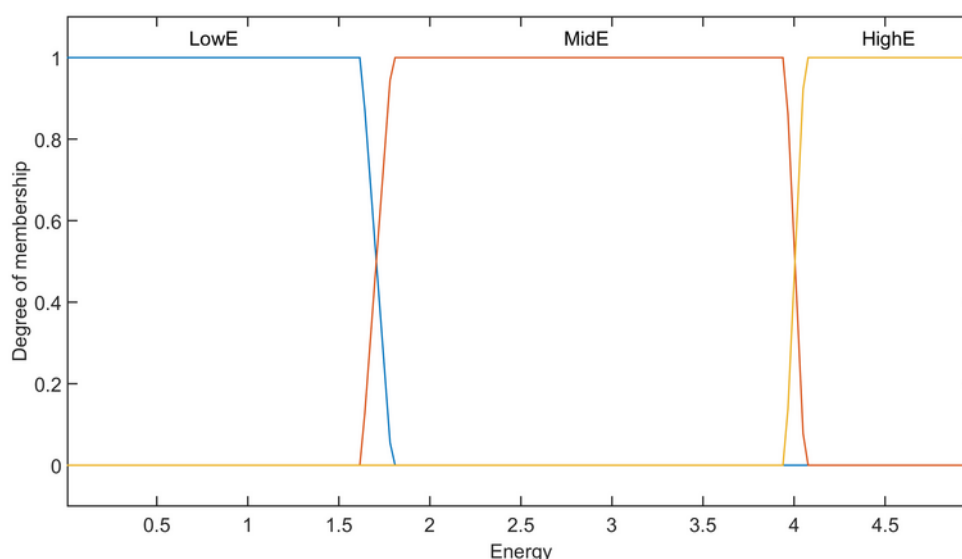
24. ábra: Kamera látószög hibájának fuzzy tagsági függvénye

A bolométerben lévő fém abszorber réteg a beérkező sugárzást a sugárzás energiájától függően eltérő hatásfokkal nyeli el. A kis- és nagyenergiájú ablakokban a sugárzás jellemzően alacsonyabb hatásfokkal érzékelhető, mint a közepes energiatartományban. A fémelnyelő réteg ezen tulajdonságai módosíthatják a sugárzás származtatott értékeit. A vonatkozó fuzzy tagsági függvény a rétegnek ezt az alul/túlmetszett jellemzőjét tükrözi (25. ábra).



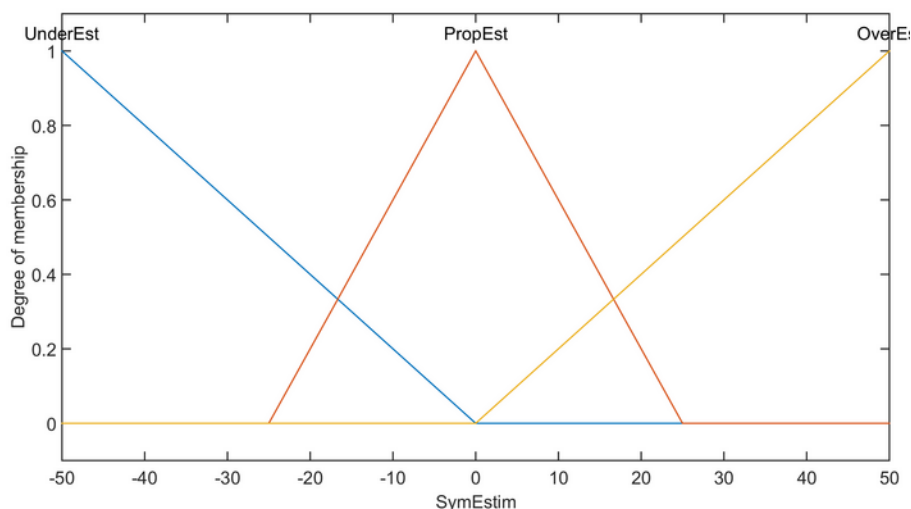
25. ábra: Bolométer érzékelőrétegének a fuzzy tagsági függvénye

Amint azt korábban leírtuk, az alacsony/közepes és a közepes/magas energiájú régiók közötti határvonalak önkényes természetéhez is kapcsolódik egy bizonytalanság. Ez a tulajdonság átfedő régiókban tükröződik az energiatartományok határain. A vonatkozó fuzzy tagsági függvényt a 26. ábra szemlélteti.



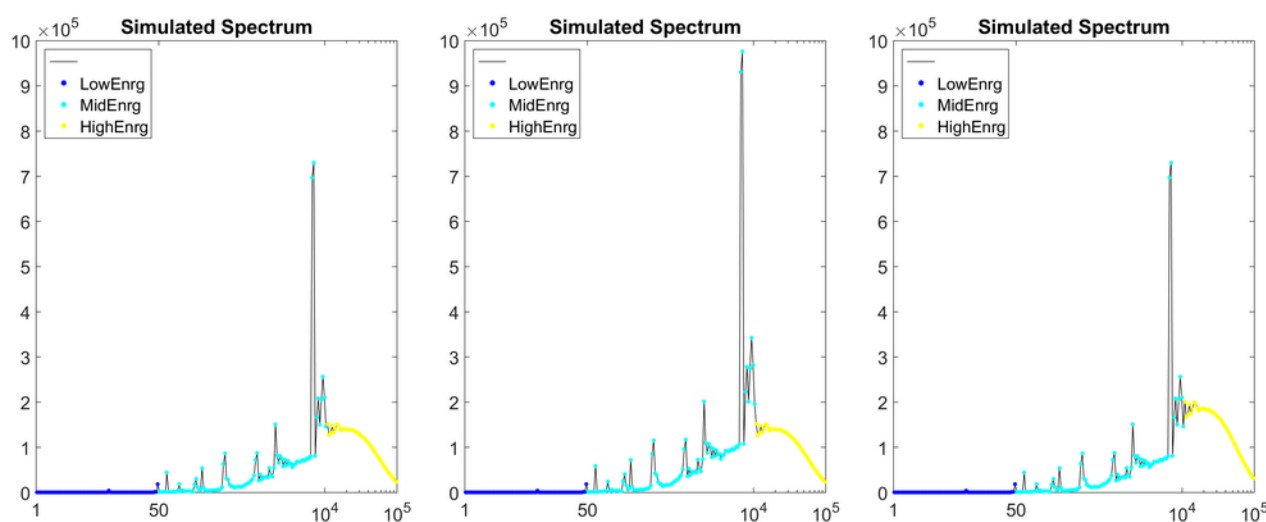
26. ábra: Energiatartományok fuzzy tagsági függvénye

Végül, az általunk használt plazma szimulációnak van némi bizonytalansága a kisugárzott teljesítmény becslésében. Ez csak valós tesztekkel mérhető, de matematikai modellünkbe is beépíthető. Túl- és alulbecslés előfordulhat a megfelelő fuzzy tagsági függvénnyel is kezelt szimulációs eredményekben (27. ábra).



27. ábra: A szimuláció pontosságának a fuzzy tagsági függvénye

A fuzzy rendszerünk nagyon különböző tényezőket képes együtt kezelni, mint például az abszorber fólia tulajdonsága és a kamera látószögének hibája. Ezek a tényezők a hibabecslés bemeneti paraméterei. Az előző részben leírt fuzzy tagsági függvények a pontos értékeket fuzzy számokká alakítják. Ezen bemeneti paraméterek fuzzyfikálása után a rendszer szabályokat alkalmaz a helyzet értékelésére. Ezek a szabályok különböző forgatókönyveket írnak elő, mint például a nagy energiájú sugárzás észlelése rosszul beállított kamerával jelentős LOS hiba esetén. Ezekben az esetekben az elfogadott sugárzási értéknek jelentősen el kell térnie a hibamentes esettől. A szimuláció kimeneti értékének szabályozására speciális korrekciót alkalmazunk. A fuzzy rendszer három korrekciós tényezőt számít ki a HIGH MID és LOW energiatartományokhoz. Ezek a tényezők módosítják a plazma szimuláció eredményét. Ezen tényezők alkalmazása a spektrumvágás három tartományában a számított értékeket a szimulált bizonytalanságokra tolja el. A detektált sugárzási érték a spektrumvágás integráljához kapcsolódik. A következő példák világosan bemutatják a bemeneti paraméterek hibáinak lehetséges hatását a szimulált észlelési eljárásra. Ezen szabályok alapján három energiakorrekciós tényezőt számítanak ki ennek a fuzzy következtetési rendszernek a kimeneti paramétereiként. Amikor a kisugárzott energiaérték a közepes/magas energiájú régiók határára esik, a fuzzy rendszer korrekciós tényezőket számol mind a közepes, mind a magas energiájú tartományra. A 28. ábra az eredeti, korrigálatlan (ZERO) spektrumot mutatja a korrigált spektrumvágásokkal összehasonlítva. Ezek a különböző hibák jelentősen módosíthatják a közepes (MID) és nagy energiaigényű (HIGH) ablakokban észlelt értékeket a várthoz képest.



28. ábra: A szimulált spektrumok ZERO, MID és HIGH korrekció esetén

Összefoglalva, elkészítettük egy fémérzékelős fémabszorber bolométer kamera fuzzy alapú digitális ikertestvérét, és szintetikus méréseket végeztünk szimulált plazmasugárzás eloszláson, hogy felmérjük a különböző tényezőkből adódó hibák és bizonytalanságok együttes nagyságát. Ez a modell azt a detektálási folyamatot követi, ahol a sugárzást egy fémréteg nyeli el, a réteg hőmérsékletének változását pedig fémellenállások mérik. Az ellenállás mért változása alapján a fémréteg által elnyelt kisugárzott teljesítmény visszaszámításra kerül. Ezzel a visszaszámított teljesítményértékkel a teljes plazmasugárzás (vagy annak térbeli eloszlása) levonható, ha a megfigyelés geometriai tulajdonságai (irány, térszög stb.) ismertek. A fuzzy modell lehetővé tette számunkra, hogy a hibákat és a bizonytalanságokat elemei, mondhatni valószínű megfontolások alapján rendeljük hozzá, és így a detektor teljesítményére vonatkozó összetett, esetenként önkényes feltételezések nélkül. Ez a fuzzy következtetési rendszer olyan teljesen független tényezőket kezel, mint a fémréteg jellemzői (vastagság, abszorpciós együttható stb.) és a kamera geometriai felépítése (a látóvonal térései, térbeli helyzet stb.). Következő lépésünk a felvázolt fuzzy modell alkalmazása szintetikus (majd később valós) sugárzásmérések tomográfiás rekonstrukciójára.

Műszaki és humán paraméterek együttes kezelése

Geometriai mintázatok érzélem függő automatikus generálása

Az érzélem-alapú mintázatgenerátor a generatív design területét képviseli. A program automatikusan generálja a mintázatokot, amely módszer a parametrikus vagy generatív tervezés (más néven algoritmikus tervezés) területhez tartozik. Ennek a tervezési iránynak nagy jövője lehet, mert használatával a vevőknek személyre szabott, egyedi darabokat tud a tervező biztosítani. A generatív tervezés lényegében matematikai összefüggések segítségével való tervezést jelenti. Az eredményt algoritmusok generálják. A hagyományos tervezéssel ellentétben itt a tervezési folyamatot lépésről lépésre vezérelhetjük, és a manipulálás következményeit rögtön láthatjuk. Az új szemléletnek köszönhetően egy termék több változatának elkészítése rendkívül gyorsan megvalósítható. Ennek oka, hogy egy paraméter megváltoztatásának hatására a teljes test átalakul.

Bár az emberek motivációi és tapasztalatai eltérhetnek egymástól, egy adott termék, forma, megjelenési minta azonban hasonló hatással van rájuk. Általánosságban elmondható, hogy a minta egy szabályos struktúra, amely általában egyszerű elemek replikációjából vagy azok matematikailag leírt módosításaiból áll. Számos területen, például repülőgépiparban, autóiparban vagy más műszaki területeken a minták javíthatnak néhány speciális műszaki tulajdonságot, például a merevséget, mint tartószerkezetet, ez a cikk azonban csak a minta esztétikai aspektusával foglalkozik, mivel mindkét oldal támogatja a termék minősége, amely kulcsfontosságú tényező a termék életciklusában.

A formák és a színek alkotják az információ vizuális aspektusát, és létfontosságú szerepet játszanak a megfelelő feldolgozásban. A látás során információ kerül az idegrendszerünkbe, és az érzelmek mellett kifejtik hatásukat szervezetünkre is. A formák és színek eltérő hatással lehetnek ránk, de bizonyos adott tulajdonságok kapcsolódhatnak hozzájuk. Az érzelmek mérése összetett feladat, hiszen nemcsak számos tényező befolyásolja véleményünket, hanem ezeknek a véleményeknek a kiszűrése is jelentős jártasságot és megfelelő módszereket igényel.

Hosszú távon a cél annak kiderítése, hogy a tervező által megalkotott forma vagy minta hogyan nyűgözi le a felhasználókat. A tervezési folyamat új megközelítése lenne, ha tudatosan, milyen reakciók ismeretében tudnánk manipulálni a felületet. Ezzel a megközelítéssel magasabb fogyasztói elégedettséget várunk, mert lehetőség nyílik a termékek egyedi megjelenésére, illetve a potenciális felhasználók adott preferenciáinak megfelelő személyre szabására.

A kutatás kifejezetten a fogyasztási cikkek mintázatával foglalkozik, így a pszichológiai és szociológiai vizsgálatokon túl egy új és meglepő módszert mutat be a mintaalkotás folyamatához.

Mindenekelőtt szükséges-e az új automatizált általános módszer bevezetése definíciókkal és matematikai műveletekkel. Ebben a részben algebrai és gráfábrázolásban mutatjuk be.

Algebrai ábrázolás: a G geometriai formát 2D térben adjuk meg

$$G = \{(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n) \mid x_i, y_i \in R\} \subset R^n$$

Szín (RGB) vektor definíciója:

$$\vec{c} \in C^3 \text{ ahol } C = \{0, 1, 2, \dots, 255\}$$

Forma (S) a két előző elem kombinációja:

$$S = (G, \vec{c})$$

Az összes alakzat halmaza (U):

$$U = \{(G, \vec{c})\}$$

Az alakzatok geometriai transzformációja az U halmazon értelmezett műveletek összessége:

$$\vec{t} = (t_1, t_2, \dots, t_n) \text{ ahol } T^{(i)}: U \rightarrow U$$

$$T^{(i)}((G, \vec{c})) = (G', \vec{c}) \in U$$

$$\text{ahol } G' = \{(\vec{x} + \vec{t}) \in R^n : \vec{x} \in G\}$$

Ez a módszer matematikai leírásokból és műveletekből áll, azzal a céllal, hogy a mintatervezés egy új módját mutassa be. A módszer öt fő lépésből áll:

1. alapeometria kiválasztása
2. tervezési tér definiálása
3. alapforma kiválasztása
4. az általánosított mintázatvektor (GDPV) beállítása
5. a tervezési tér transzformációja a termék-térbe

A minta egy kiválasztott geometriából áll, ebben a példában egy könnyecseppből (29. ábra).

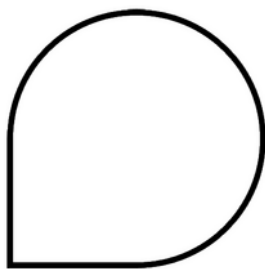
Először is meg kell határoznunk a méreteket. Egy térbeli geometriát három koordináta határoz meg, amelyeket három dimenzióban értelmezünk. Alapvetően egy dimenzió definiálható egy paraméterrel, és ennek a paraméternek a mértékének megadásával egyértelműen jellemezhető a dimenzió belüli pozíció. Ily módon a hőmérséklet dimenzió lehet, akár csak bármely termékjellemző, mint szín vagy felületi érdesség.

A minták esetében a kiválasztott méreteknél legalább egy geometriai mérete lesz, ezért szükséges koordináta-rendszer kiválasztása. A mintafejlesztési folyamat egyszerűsítése miatt tetszőlegesen választhatunk koordináta-rendszert. A koordináta-rendszer meghatározása nehéz feladat, ennek ellenére ennek az az eredménye, hogy a következő lépéseket nagyon könnyű automatizálni. A példában derékszögű koordináta-rendszert választottunk.

Természetesen a koordináta-rendszer tengelyei határozzák meg a méreteket, azonban a tervezés során érdemes egy n dimenziós térben gondolkodni. Ebben a példában két geometriai és egy színdimenziót (RGB(000) - fekete) választottunk.

Az alapforma az alapeometria és a további tulajdonságok együtt.

Az általánosított tervezési mintavektor (GDPV) elemei a transzformációs lépések függvényei, jelezve, hogy az $n+1$ elem hogyan származik az n elemből. A vektorok irányai megegyeznek a koordinátatengelyek irányával.

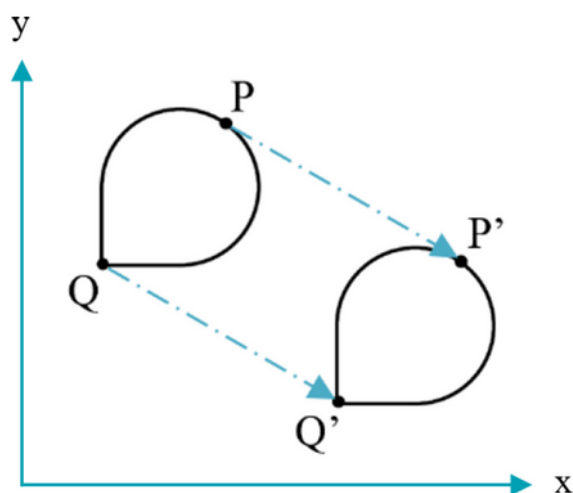


29. ábra: Alapgeometria kiválasztása

A tipikus transzformációs lépések közé sorolhatjuk az translációt, rotációt és a tükrözést.

Transzláció (párhuzamos eltolás): a műveletet egy t vektorral adjuk meg, ami definiálja az eltolás irányát és mértékét (30. ábra).

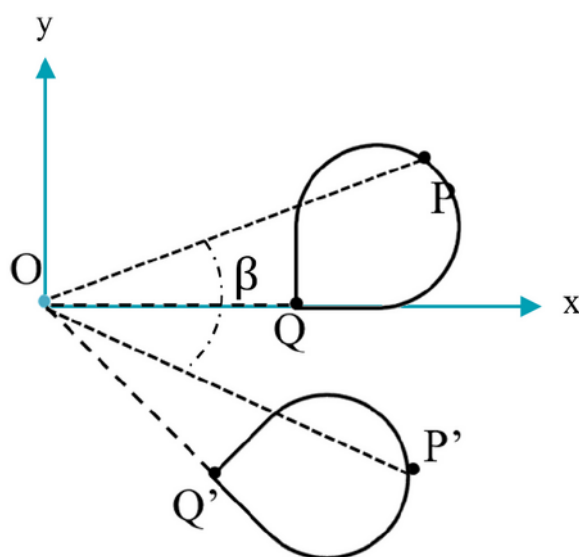
$$\overrightarrow{PP'} = \overrightarrow{QQ'} = \vec{t}$$



30. ábra: Transzláció (párhuzamos eltolás)

Rotáció (pont körüli elforgatás): a műveletet 3 paraméter határozza meg: a forgatási középpont, valamint a forgatás mértéke és iránya (31. ábra).

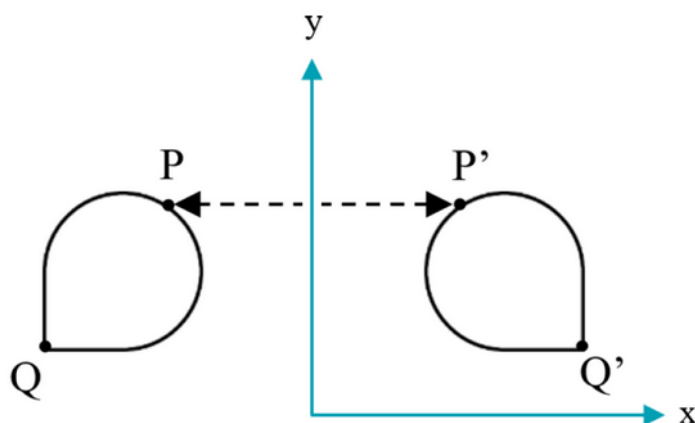
$$\angle POP' = \angle QOQ'$$



31. ábra: Rotáció (pont körüli forgatás)

Tükrözés (tengelyes tükrözés): a műveletet a tükrözés tengelye definiálja (32. ábra).

$$\overrightarrow{PP_O} = \overrightarrow{PP'}, \quad \overrightarrow{PP'} \perp \vec{i}$$



32. ábra: Tükrözés (tengelyes tükrözés)

A 33. ábra összefoglalja a Generalized Design Pattern Vector (GDPV) tipikus geometriai transzformációit, illetve tartalmazza a transzformációkhoz szükséges paramétereket is.

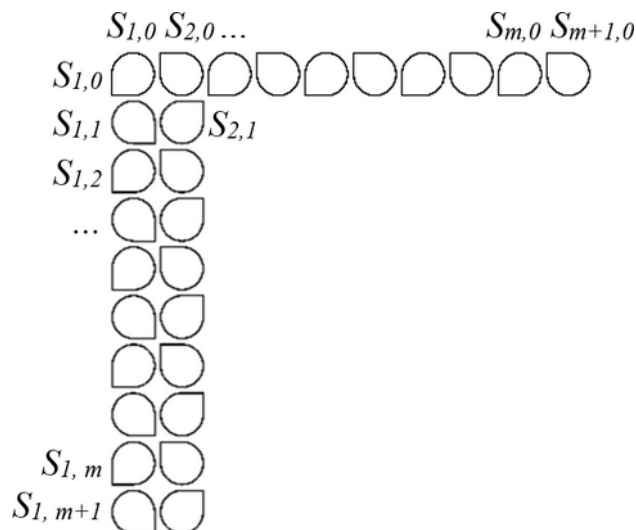
Eltolás	Elforgatás	Tükrözés egyenesre	Tükrözés pontra	Középpontos hasonlóság	Merőleges affinitás
•Eltolásvektor	•Elforgatás középpontja •Elforgatás iránya •Elforgatás szöge	•Tükrözés tengelye	•Tükrözés centruma	•Középpontos hasonlóság centruma •Hasonlóság aránya	•Merőleges affinitás tengelye •Affinitás aránya

33. ábra: GDPV tipikus geometriai transzformációi

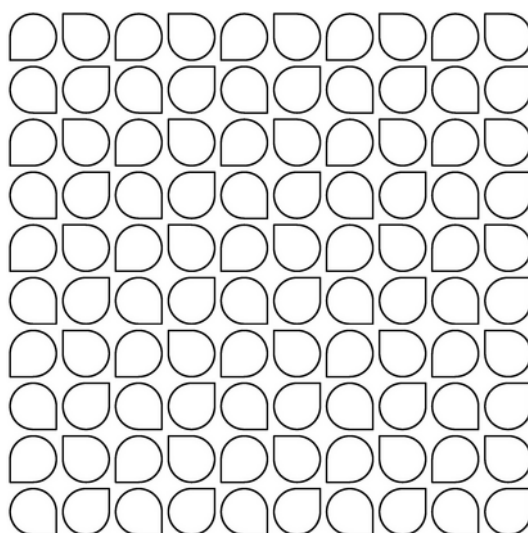
A GDPV segítségével automatikusan létrehozott mintázat elkészítésének lépéseit a 34. ábra, 35. ábra és a 36. ábra szemlélteti.



34. ábra: 1. lépés: sorminta generálása



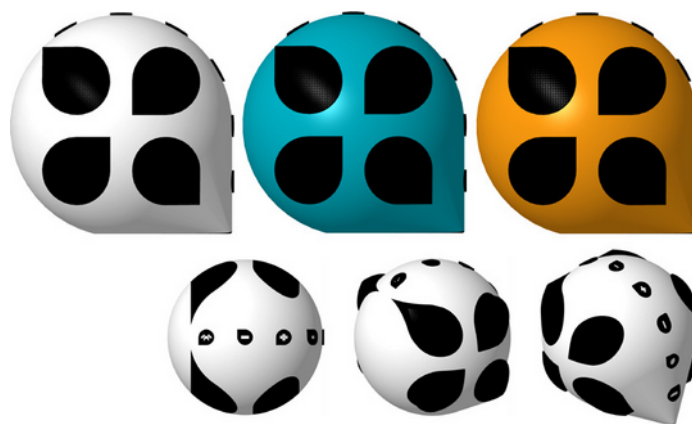
35. ábra: 2. lépés: oszlopminta generálása



36. ábra: 3. lépés: teljes mintázat generálása

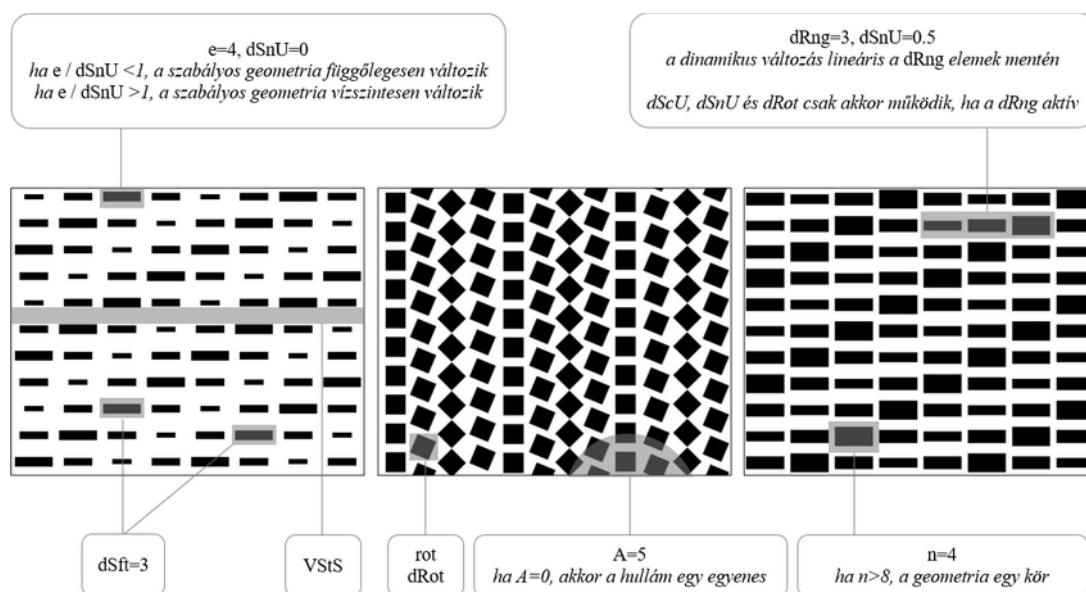
Átalakítás a tervezési területről a terméktérre. Ez az átalakítás a választott méretektől függően változhat. Geometria esetén a mintát koordináta-transzformációval alkalmazzuk a végtermékre. Azonban például a színek esetében az átalakulás színtérről színtérre történik.

A példaként szolgáló termék egy új koncepció a hordozható hangszóróhoz, mely esetben a mintát szabad formájú felületre vitték fel. Ilyen esetekben megfelelő (itt gömb alakú) vetítést kell alkalmazni, amely átalakítja a mintázatot a felületen. Ebben a termékben az alapgeometria többszintű kihasználása ismerhető fel. A könnyecsepp forma határozza meg a hangszóró testét és gombjait (37. ábra).



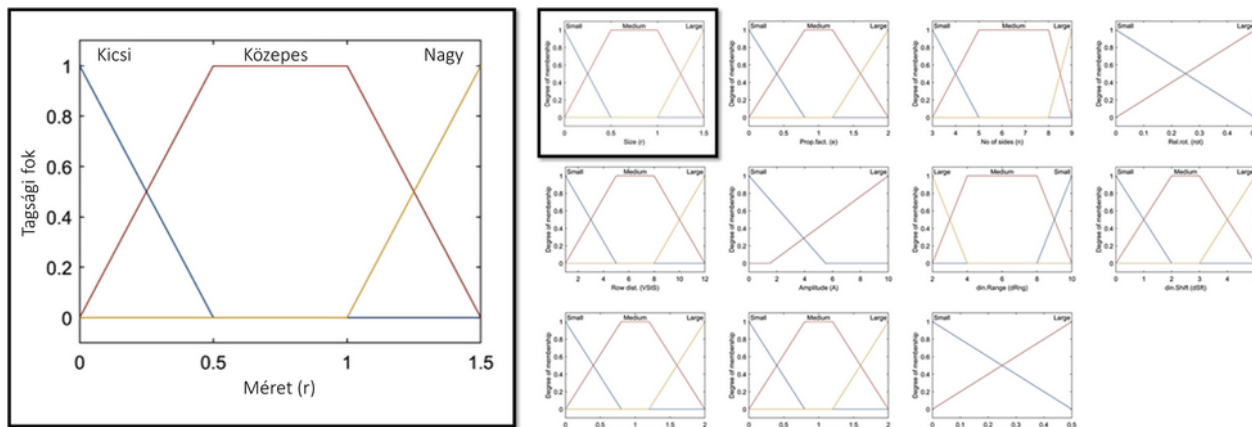
37. ábra: Az elkészült termék geometriája és a különböző színvariációk

A geometriai mintázatok összekötése az emberi érzelmekkel az érzelem alapú mintázatgeneráló rendszer (EmPatGen) segítségével történik. Az EmPatGen módszer lényege, hogy az alapforma a lehető legegyszerűbb, a mintázat terjedése pedig általánosan leírható legyen, mellyel a mintatérhez kapcsolódó vektor beállítások határozzák meg magát a végső mintát. Ily módon csökkenthető a számítási folyamat, valamint ezzel az általános algoritmussal több mintaváltozatot is el lehet érni, sőt könnyű kiváltani a dinamikus hatást is. Az EmPatGen-ben a mintázat vektora eltolt utakon (hullámokon) alapul, ami alapvetően határozza meg az alapgeometriák középpontjainak helyzetét. A mintatér vektorának egyéb elemei szabályozzák ezen alaptagok eloszlását és alakját (38. ábra).



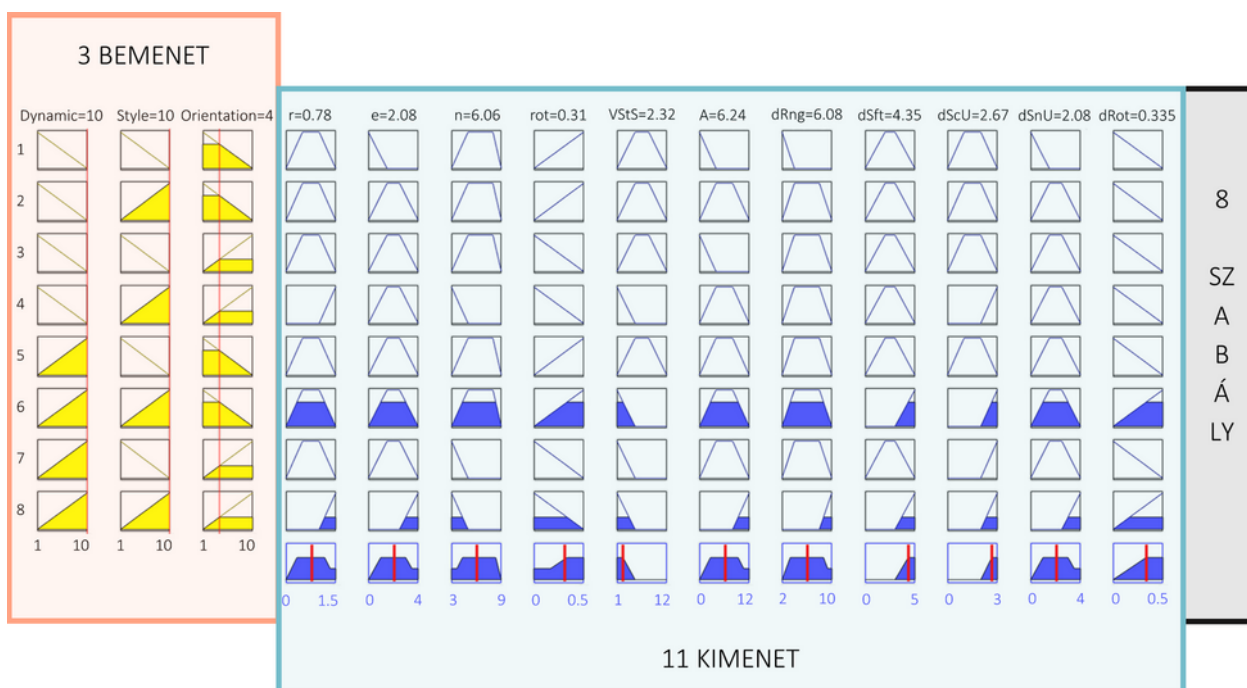
38. ábra: Alapgeometria és mintatér változatok az EmPatGen rendszerben

A geometriai mintázatok alapvetően az alapgeometria és a mintatér paraméterei határozzák meg. Ezeknek a paramétereknek a beállítását egy Mamdani alapú fuzzy következtető rendszer végzi el a nyelvi alapú bemeneti paraméterek (úgy mint fiatalos, klasszikus, nőies stb.) alapján. A FIS tagsági függvényei lineáris függvények (39. ábra).



39. ábra: Az EmPatGen kimeneti fuzzy tagsági függvényei

Az EmPatGen szabályrendszere ÉS logikai kapcsolatokra épül, azt jelenti, hogy egy szabály csak akkor fog működni, ha az összes tagsági függvényt használatba kerül. A kimenetknél a defuzzifikáció bisector alapú (40. ábra).



40. ábra: Az EmPatGen szabályrendszere és a kimenetek definiálása

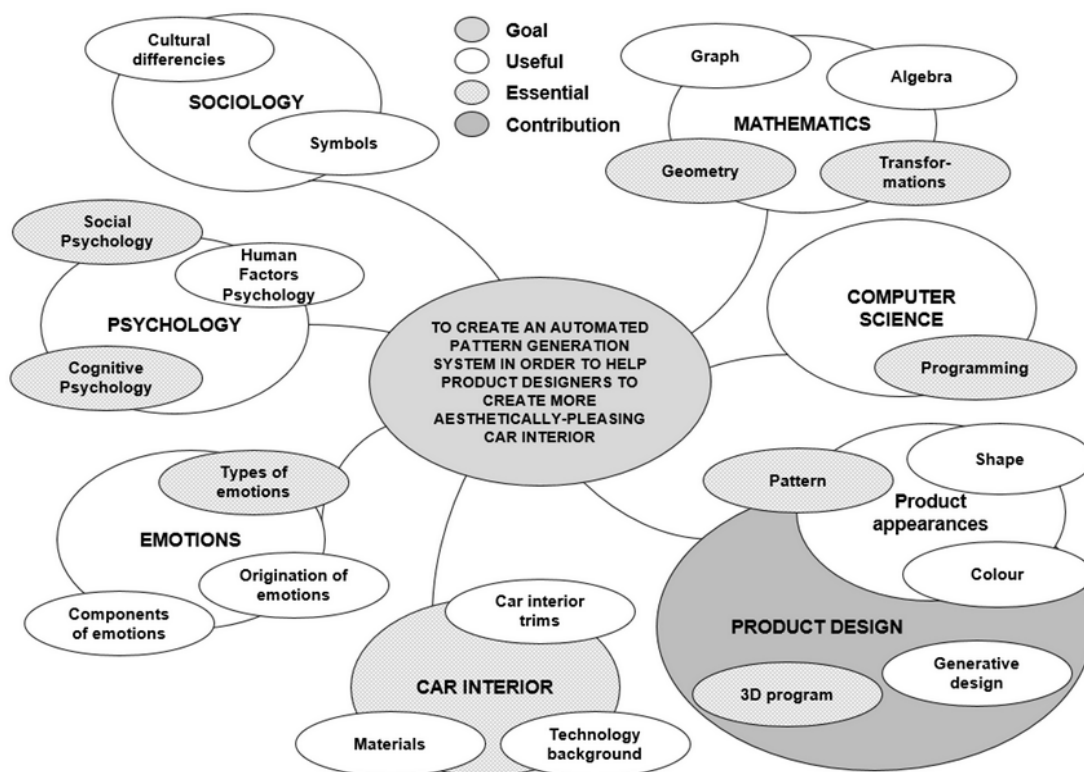
Új tudományos eredmények

1. tézis: A bizonytalansági faktorok kezelésében a fuzzy logika kiemelkedő hatékonysággal alkalmazható

A műszaki projekteket terhelő bizonytalansági tényezők esetében nagy problémát jelent a faktorok azonosítása és osztályozása. Sok esetben csak nehezen számszerűsíthető az egyes tényezők értéke, főleg akkor, ha emberi tényezőkről van szó. Mivel a matematika egyik lágy számítási módszere, a fuzzy logika, különösen alkalmas a nehezen besorolható és számszerűsíthető paraméterek kezelésére, ezért ezen módszer alkalmazása jelentősen leegyszerűsíti az ilyen jellegű faktorok azonosítását, osztályozását és kezelését a műszaki projekteket.

Kapcsolódó tudományos eredmények és publikációk:

Sok esetben a műszaki projektek bizonyos kockázatainak a beazonosítása is külön kihívást jelent a mérnököknek [34]. Erre a megállapításra lehet jó példa egy autó belső terének a tervezését befolyásoló tudományterületek komplexitását bemutató ARC (Areas of Relevance) diagram (41. ábra).



41. ábra: Személyautó belső geometriai mintázatának az ARC diagramja

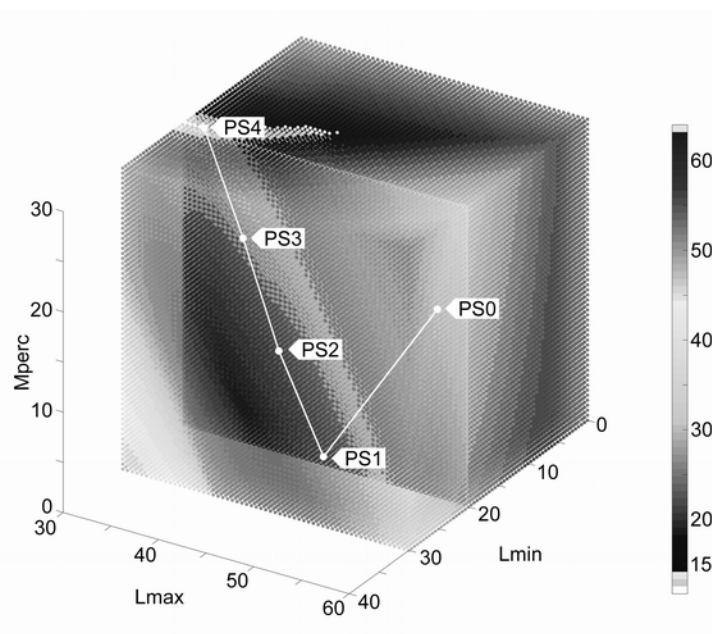
A humán tényezők egyik műszaki szempontból nehezen kezelhető csoportjába tartoznak az érzelmek [35]. Hasonlóan problematikus humán faktor a színlátás [36] és a projektek időbeli kockázatának (pl.: a lehetséges késés megbecsülésének) a felmérése is [37]. A felsorolt területekhez kapcsolódó publikációk jól szemléltetik az emberi tényezők bizonytalanságát és az itt alkalmazható fuzzy logika hatékonyságát. A fuzzy logika azért tud kiemelkedni a matematikai módszerek közül, mert az elmosódott határvonalú halmazokkal jól lehet kezelni az egyes kockázati kategóriák bizonytalanságát. Ezen módszertan komplex alkalmazását mutatja be a fúziós erőmű (ITER) tervezésekor felmerülő időbeli kockázatokat egy fuzzyfikált gráf alapon (PERT háló) a kritikus út (CPM) megkeresésével kezelő leírás [38].

2. tézis: A megoldástér teljes körű rekonstruálásával csökkenthető az optimális megoldás elvesztésének a kockázata

Amennyiben egy optimalizációs módszer hatástere korlátozott, az az optimális megoldás elvesztésének a kockázatával jár. A megoldástér kiterjesztése az alkalmazható paraméterek teljes tartományára megszünteti ezt a kockázatot. A módszer alkalmazásával járó nagy méretű megoldáshalmaz kiértékelését nagymértékben meggyorsítják a mesterséges intelligencia eljárások.

Kapcsolódó tudományos eredmények és publikációk:

A tézist igazolja az additív gyártáshoz kifejlesztett új támasztóstruktúra optimalizálása, ahol Monte Carlo módszerrel sikerült olyan jó minőségű (tömeg/merevség arányú) belső támasztó geometriákat generálni, melyek minden hasonló paraméterű támasztó rúdszerkezeteknél kedvezőbb mechanikai tulajdonságokkal bírtak [39]. A megoldástér teljes körű lefedését jó szemlélteti a 42. ábra. A szélerózió talajelhordását szimuláló matematikai modell eredményhalmazát is hatékonyan lehet fuzzy alapú kiértékeléssel elemezni, ami közelebb hozza a szimulált és mért eróziós értékeket [40].



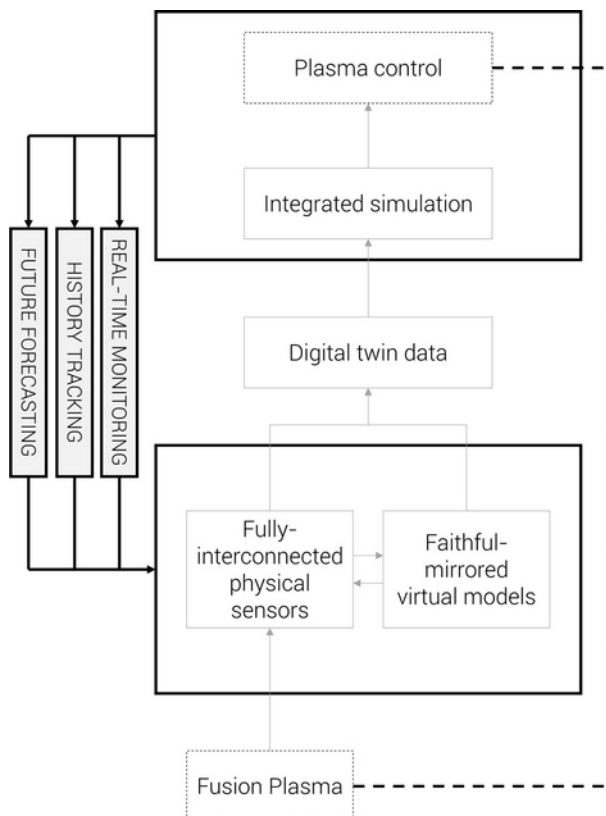
42. ábra: Szélerózió számítása a paraméter té teljes lefedésével.

3. tézis: A kvantitatív műszaki paraméterek közötti összefüggések kezelését is elősegítik a mesterséges intelligencia módszerek

Műszaki kockázatot jelent egy projekt jól számszerűsíthető, de fizikai összefüggésben nem álló paramétereinek a kezelése. Ilyenkor is jól alkalmazható az elmosódott halmazokon alapuló fuzzy logika, ami elősegíti olyan paraméterek összekapcsolását, melyek között ok-okozati összefüggés nem írható fel. A fizikailag független paraméterek összekapcsolása nemcsak a matematikai értelemben vett bizonytalanságot, hanem a projektben jelentkező kockázatokat is jelentősen csökkenti.

Kapcsolódó tudományos eredmények és publikációk:

A forgácsolt felületek mikrostruktúráját többféle hibaok is befolyásolhatja. Triviális oknak nevezhető a forgácsoló gépből kiinduló rezonancia és annak a felharmonikusai. Ezeket a hatásokat jól lehet modellezni statisztikai módszereken alapuló Fourier sorokkal [41]. Mindezek felül olyan sztochasztikus hibák is előfordulhatnak a forgácsolt felületen (pl.: a forgácsolt anyag kristályszerkezetének a hibái vagy a forgács leválásának a véletlenszerű jellege), amiket csak MI alapokon lehet kezelni. Az ipari skálájú, de még kísérleti fúziós reaktor (ITER) vezérlését is számos kvantitatív, de egymástól független paraméter bizonytalansága is nagyban befolyásolja [42]. Egy MI alapú mérésen- és valós idejű szimuláción alapuló irányítási koncepció vázlatát mutatja be a 43. ábra. Itt a különböző mért- és számított paraméter összekötését is egy megfelelően kialakított fuzzy kiértékelő rendszer biztosítja.



43. ábra: Fuzzy alapú plazma vezérlési koncepció

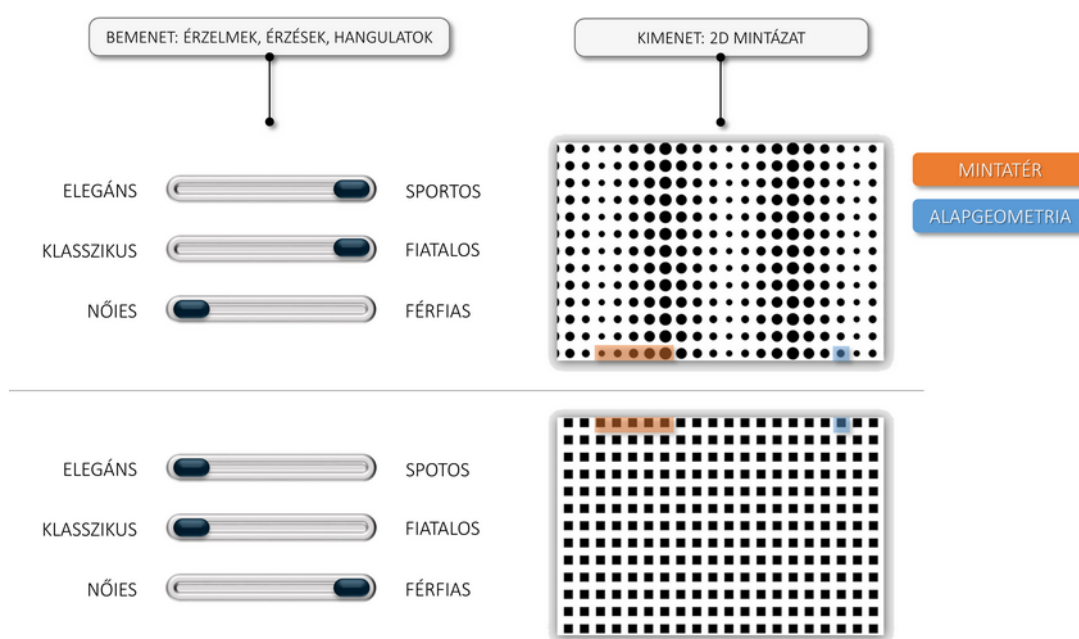
4. tézis: Az együtt fellépő műszaki és emberi bizonytalansági tényezők is jól kezelhetők fuzzy logikával

Az ipari projektekben külön kihívást jelent az együtt megjelenő műszaki és emberi tényezőkből fakadó bizonytalanságok matematikai kezelése. A hagyományos matematikai módszerekkel ellentétben a lágy számítási módszerek képesek megoldani az egymástól eltérő bizonytalansági faktorok rendszer szintű kezelését. A fuzzy logika nemcsak az emberi bizonytalanságokból származó műszaki paraméterek bizonytalanságát, hanem a műszaki paraméterek humán kiértékelésekor fellépő bizonytalanságokat is képes megfelelő módon kezelni.

Kapcsolódó tudományos eredmények és publikációk:

Az emberi tényezőket nemcsak a projektek végrehajtásakor, hanem az előtervezési fázisban is figyelembe lehet venni a megfelelő módszertan alkalmazásával [43]. A humán kiértékelés egyik speciális esete az érzékszerveken alapuló, rendkívül szubjektív kiértékelés kezelése [44]. A félkész, mélyfagyasztott sütőipari termékek készre sütése a végfelhasználónál történik. A megfelelő, ízletes végállapothoz szükséges végső sütési időt a félkész termék technológiai paraméterei határozzák meg. A pontos sütési időt fuzzy kiértékeléssel lehet a legjobban meghatározni [45].

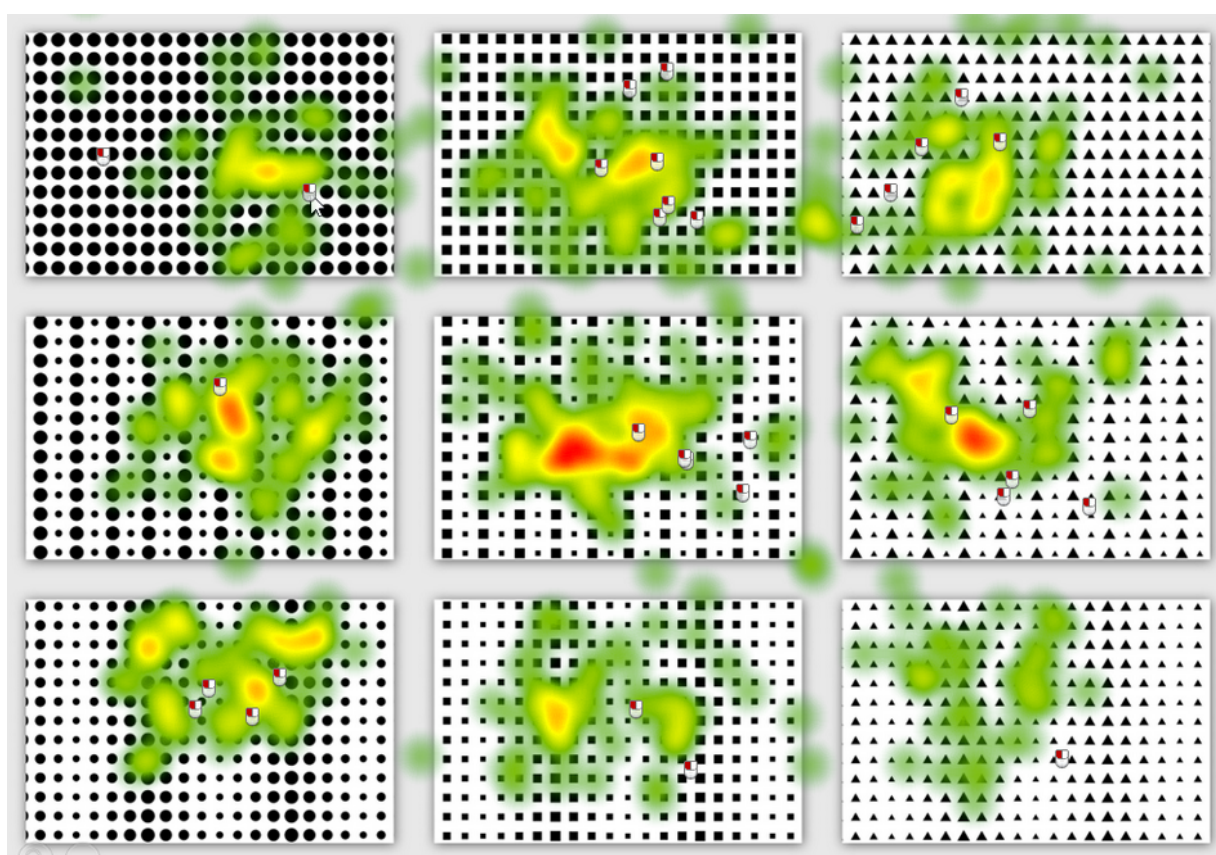
Az emberi tényezők kezelésének egyik különleges esete a geometriai mintázatok érzélem függő automatikus generálása (44. ábra). Ebben az esetben számos összefüggést kell feltárni és definiálni a mesterséges intelligencia módszerek alkalmazása előtt.



44. ábra: Emberi érzelmeken alapuló geometriai mintázatok.

A kutatásnak az első fázisában a mintázatok automatikus generálását [46] és az ehhez kapcsolódó humán tényezőket (pl.: milyen geometriai alapelemekre lehet felépíteni egy mintázatot és az alapelemekhez milyen emberi képzelettársítás kapcsolható) [47]. A kialakult mintázategyenlítő egy speciálisan eltorzított térben (domain) sokszorozza meg az alapelemeket [48]. Az algoritmikusan generált mintázatok és az emberi érzelmek összekapcsolásának a koncepciója a geometriai

alapelemekhez és az alapelem-sorozatok geometriai változásának a dinamikájához köthető emberi képzelettársításokon és a kapcsolódó érzelmeken alapul [49]. A véglegesített érzelem alapú mintázat generáló rendszer (EmPatGen - Emotional Pattern Generator) is fuzzy alapú kiértékelés segítségével oldja fel a bemenő emberi adatok (érzelem alapú bemenő értékek) által okozott bizonytalanságokat [50]. Egy ilyen érzelem alapú matematikai modell validálása is erősen terhelt bizonytalanságokkal, mivel különböző nemű, életkorú és háttérű emberek szubjektív értékeléseit kell matematikai szempontból is igazolhatóan kezelni. Ehhez egy olyan szemmozgás követő technológiát alkalmaztunk (45. ábra), amely képes volt kvantitatív módon regisztrálni az egyes teszt mintázatokra eső figyelmet. Ezen objektív értékelés alapján is igazolható volt a fuzzy logikának az eredményes alkalmazása az emberi tényezők és a műszaki paraméterek közötti kapcsolat bizonytalanságának a hatékony kezelésében [51].

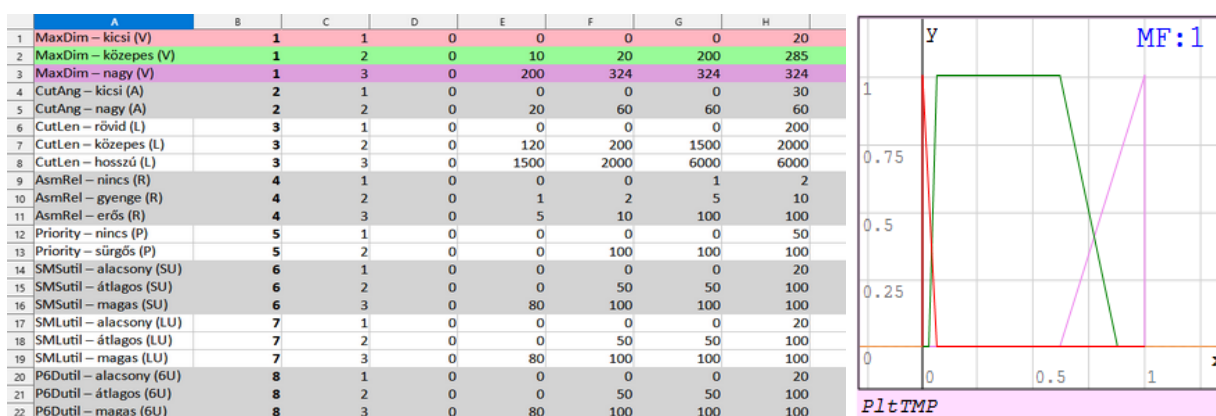


45. ábra: Figyelem megoszlása a teszt mintázatok között

Továbbfejlesztési lehetőségek

Kutatásom következő célkitűzése az egyes mesterséges intelligencia módszerek szélesebb körű elérésének a biztosítása a tágabb kutató közösségnek. Sok esetben ezeknek a modern számítási módszereknek a korlátozott elérhetősége gátolja az elterjedését. Erre jó példa egy fuzzy következtető rendszer (továbbiakban FIS: Fuzzy Inference System) elérhetősége. Amennyiben FIS-t szeretnénk alkalmazni egy MSc diplomatervben, akkor vagy rendelkezünk kell aktív MATLAB Fuzzy Toolbox licenccel vagy telepítenünk kell egy Python library-t. A MATLAB Toolbox remekül dokumentált, számtalan funkciót tartalmazó megoldás, de használatához speciális licenc és adott szintű programozási ismeretek szükségesek. A legtöbb Python library térítésmentesen használható, de jellemzően kevés a leírás a tartalmukról és magas szintű programozási ismeretek szükségesek a használatukhoz.

2022. év végén elkészítettem a CMFIS (Compact Mamdani Fuzzy Inference System) prototípusát. Ezt a fuzzy megoldót az SMath nevű, nonprofit célokra térítésmentesen használható matematikai szoftverben valósítottam meg. A megoldó beállítását és az eredmények összegyűjtését többféle módon is megtehetjük, többek között a széles körben alkalmazott Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével is (46. ábra).



46. ábra: CMFIS beállítása MS Excel segítségével

A CMFIS első alkalmazására a GINOP-2.2.1-18-2020-00030 pályázat egyik részfeladatának a megoldásában került sor. Itt egy egy CMFIS-ben megírt fuzzy algoritmus segítette darabolóüzem belső logisztikáját a munkadarabok optimális elosztásában a rendelkezésre álló megmunkáló gépek között. Az eredmények publikálása jelenleg is folyamatban van.

A téziszűzet elkészítésével párhuzamosan történik a CMFIS megoldó részletes dokumentálása és a rendszer előkészítése a nyilvános publikálásra. Reményeim szerint egy ilyen megoldó is nagyban segítheti a mesterséges intelligencia módszerek elterjedését nemcsak a tudományos kutatásokban, hanem a felsőfokú oktatásban is.

Ábrajegyzék

1. ábra: A mesterséges intelligencia módszerek típusai.....	5
2. ábra: Az I-MI referencia modellje.....	6
3. ábra: Halmaztagság értelmezése a Boolean logika szerint.....	7
4. ábra: Halmaztagság értelmezése a fuzzy logika szerint.....	7
5. ábra: Különböző alakú tagsági függvények.....	8
6. ábra: Type-2 típusú tagsági függvények.....	8
7. ábra: Kifejezetten összetett Type-2 típusú tagsági függvény.....	9
8. ábra: Mamdani rendszer működése határozott (éles) bemenetekkel.....	11
9. ábra: Mamdani rendszer működése határozott (éles) és határozatlan (fuzzy) bemenettel.....	12
10. ábra: A valószínűség fuzzy tagsági függvénye.....	15
11. ábra: A súlyosság fuzzy tagsági függvénye.....	15
12. ábra: PERT háló a kritikus út jelölésével.....	17
13. ábra: Hibaérzékelő függvény.....	19
14. ábra: Error függvények.....	20
15. ábra: 1 MG értékelő személy humán profilja.....	20
16. ábra: Hangulatvonalak hatásai.....	22
17. ábra: Voronoi cellás és rúd alapú támasztószervezet geometriája.....	24
18. ábra: LVS struktúra generálása.....	24
19. ábra: RBL struktúra generálása.....	25
20. ábra: Geometriai kényszerek és terhelések a végeselemes modellen.....	26
21. ábra: Normalizált elmozdulások a normalizált tömeg függvényében.....	28
22. ábra: Elnyelési görbe PT réteg esetén.....	30
23. ábra: Szimulált energia spektrum adott látóirány (LOS) mellett.....	30
24. ábra: Kamera látószög hibájának fuzzy tagsági függvénye.....	31
25. ábra: Bolométer érzékelőrétegének a fuzzy tagsági függvénye.....	32
26. ábra: Energiatartományok fuzzy tagsági függvénye.....	32
27. ábra: A szimuláció pontosságának a fuzzy tagsági függvénye.....	33
28. ábra: A szimulált spektrumok ZERO, MID és HIGH korrekció esetén.....	34
29. ábra: Alapegeometria kiválasztása.....	37
30. ábra: Transzláció (párhuzamos eltolás).....	37
31. ábra: Rotáció (pont körüli forgatás).....	38
32. ábra: Tükrözés (tengelyes tükrözés).....	38
33. ábra: GDPV tipikus geometriai transzformációi.....	38
34. ábra: 1. lépés: sorminta generálása.....	39
35. ábra: 2. lépés: oszlopminta generálása.....	39
36. ábra: 3. lépés: teljes mintázat generálása.....	39
37. ábra: Az elkészült termék geometriája és a különböző színvariációk.....	40
38. ábra: Alapegeometria és mintatér változatok az EmPatGen rendszerben.....	40
39. ábra: Az EmPatGen kimeneti fuzzy tagsági függvényei.....	41
40. ábra: Az EmPatGen szabályrendszere és a kimenetek definiálása.....	41
41. ábra: Személyautó belső geometriai mintázatának az ARC diagramja.....	42
42. ábra: Szélerózió számítása a paraméter té teljes lefedésével.....	43
43. ábra: Fuzzy alapú plazma vezérlési koncepció.....	44
44. ábra: Emberi érzelmeken alapuló geometriai mintázatok.....	45
45. ábra: Figyelem megoszlása a teszt mintázatok között.....	46
46. ábra: CMFIS beállítása MS Excel segítségével.....	47

- 1 Iqbal H. Sarker, "AI-Based Modeling: Techniques, Applications and Research Issues Towards Automation, Intelligent and Smart Systems," *SN Computer Science* 3, no. 2 (February 10, 2022): 158, <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>.
- 2 Xianyu Zhang et al., "A Reference Framework and Overall Planning of Industrial Artificial Intelligence (I-AI) for New Application Scenarios," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 101, no. 9 (April 1, 2019): 2367–89, <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3106-3>.
- 3 Venkatesh Mundada and Suresh Kumar Reddy Narala, "Optimization of Milling Operations Using Artificial Neural Networks (ANN) and Simulated Annealing Algorithm (SAA)," *Materials Today: Proceedings*, 7th International Conference of Materials Processing and Characterization, March 17-19, 2017, 5, no. 2, Part 1 (January 1, 2018): 4971–85, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.075>.
- 4 Lotfi A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* SMC-3, no. 1 (January 1973): 28–44, <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>.
- 5 Manuel Santos, "Membership Functions," Python, September 25, 2022, <https://github.com/VManuelSM/Membership-functions>.
- 6 Arnab Kumar De, Debjani Chakraborty, and Animesh Biswas, "Literature Review on Type-2 Fuzzy Set Theory," *Soft Computing* 26, no. 18 (September 1, 2022): 9049–68, <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07304-4>.
- 7 Amir Arslan Haghras, "PyIT2FLS," Python, December 26, 2023, <https://github.com/Haghras/PyIT2FLS>.
- 8 MathWorks, "Fuzzy Logic Toolbox," accessed January 7, 2024, <https://nl.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>.
- 9 Detlef Nauck and Rudolf Kruse, "A Neuro-Fuzzy Method to Learn Fuzzy Classification Rules from Data," *Fuzzy Sets and Systems*, Application of Neuro-Fuzzy Systems, 89, no. 3 (August 1, 1997): 277–88, [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00009-2).
- 10 Francisco Herrera, "Genetic Fuzzy Systems: Taxonomy, Current Research Trends and Prospects," *Evolutionary Intelligence* 1, no. 1 (March 1, 2008): 27–46, <https://doi.org/10.1007/s12065-007-0001-5>.
- 11 Hwan-Joo Kwak, Dong-Won Kim, and Gwi-Tae Park, "A New Fuzzy Inference Technique for Singleton Type-2 Fuzzy Logic Systems," *International Journal of Advanced Robotic Systems* 9, no. 3 (September 19, 2012): 83, <https://doi.org/10.5772/51187>.
- 12 Michio Sugeno, *Industrial Applications of Fuzzy Control* (Amsterdam, New York: North-Holland ; Sole distributors for the U.S.A. and Canada, Elsevier Science Pub. Co., 1985).
- 13 Ritu Raj et al., "Two- and Three-Input Fuzzy PID Controller Structure of Takagi-Sugeno Type," in *2019 19th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2019, 1605–9, <https://doi.org/10.23919/ICCAS47443.2019.8971622>.
- 14 E. H. Mamdani and S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller," *International Journal of Man-Machine Studies* 7, no. 1 (January 1, 1975): 1–13, [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- 15 Jocelyn Fraser, Livia Mello, and Nadja C. C. Kunz, "Lost in Translation: Inadequate Non-Technical Risk Assessment within Major Project Teams in Mining," *JOURNAL OF RISK RESEARCH* 26, no. 7 (July 3, 2023): 711–24, <https://doi.org/10.1080/13669877.2023.2208121>.
- 16 László Pokorádi, "Fuzzy Logic-Based Risk Assessment," *Academic and Applied Research in Military Science* 1 (January 1, 2002).
- 17 Alin-Iulian Dolan and Florian Stefanescu, "Exhaustive Optimization Method Based on DOE and FEM Applied on a SMES Device," in *2016 19TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRICAL APPARATUS AND TECHNOLOGIES (SIELA)*, International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), New York: IEEE, 2016), <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000382936800023>.
- 18 SHIGEKAZU Ishihara et al., "20 - AFFECTIVE MEANING: THE KANSEI ENGINEERING APPROACH," in *Product Experience*, ed. Hendrik N. J. Schifferstein and Paul Hekkert (San Diego: Elsevier, 2008), 477–96, <https://doi.org/10.1016/B978-008045089-6.50023-X>.
- 19 B. Ralph Stauber et al., "Federal Statistical Activities," *The American Statistician* 13, no. 2 (1959): 9–12.
- 20 James E. Kelley, "Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis," *Operations Research* 9, no. 3 (June 1961): 296–320, <https://doi.org/10.1287/opre.9.3.296>.
- 21 L. Zsíros et al., "Development of a Novel Color Inhomogeneity Test Method for Injection Molded Parts," *Polymer Testing* 37 (August 1, 2014): 112–16, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2014.05.009>.
- 22 Rikard Rodin, "Mood Lines: Setting the Tone of Your Design," ZevenDesign, January 11, 2015, <https://zevendesign.com/mood-lines-giving-designs-attitude/>.
- 23 Barbara Motyl and Stefano Filippi, "Trends in Engineering Education for Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: A Systematic Literature Review," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*

- (IJIDeM) 15, no. 1 (March 1, 2021): 103–6, <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00733-1>.
- 24 Yunbo Zhang and Tsz Ho Kwok, “An Interactive Product Customization Framework for Freeform Shapes,” *Rapid Prototyping Journal* 23, no. 6 (January 1, 2017): 1136–45, <https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2016-0129>.
- 25 Pu Zhang, Jikai Liu, and Albert C. To, “Role of Anisotropic Properties on Topology Optimization of Additive Manufactured Load Bearing Structures,” *Scripta Materialia* 135 (July 1, 2017): 148–52, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2016.10.021>.
- 26 Jonàs Martínez, Jérémie Dumas, and Sylvain Lefebvre, “Procedural Voronoi Foams for Additive Manufacturing,” *ACM Transactions on Graphics* 35, no. 4 (July 11, 2016): 44:1–44:12, <https://doi.org/10.1145/2897824.2925922>.
- 27 M. Alkhader and M. Vural, “Effect of Microstructure in Cellular Solids: Bending vs. Stretch Dominated Topologies,” in *2007 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 2007, 136–43, <https://doi.org/10.1109/RAST.2007.4283965>.
- 28 M. Fantini, M. Curto, and F. De Crescenzo, “A Method to Design Biomimetic Scaffolds for Bone Tissue Engineering Based on Voronoi Lattices,” *Virtual and Physical Prototyping* 11, no. 2 (April 2, 2016): 77–90, <https://doi.org/10.1080/17452759.2016.1172301>.
- 29 Jiawei Feng et al., “A Review of the Design Methods of Complex Topology Structures for 3D Printing,” *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art* 1, no. 1 (September 5, 2018): 5, <https://doi.org/10.1186/s42492-018-0004-3>.
- 30 Dirk P. Kroese et al., “Why the Monte Carlo Method Is so Important Today,” *WIREs Computational Statistics* 6, no. 6 (2014): 386–92, <https://doi.org/10.1002/wics.1314>.
- 31 Sangmin Park et al., “Design and Implementation of a Smart IoT Based Building and Town Disaster Management System in Smart City Infrastructure,” *Applied Sciences* 8, no. 11 (November 2018): 2239, <https://doi.org/10.3390/app8112239>.
- 32 Ying Cheng et al., “Cyber-Physical Integration for Moving Digital Factories Forward towards Smart Manufacturing: A Survey,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 97, no. 1 (July 1, 2018): 1209–21, <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2001-2>.
- 33 F. Din-Houn Lau et al., “The Role of Statistics in Data-Centric Engineering,” *Statistics & Probability Letters*, The role of Statistics in the era of big data, 136 (May 1, 2018): 58–62, <https://doi.org/10.1016/j.spl.2018.02.035>.
- 34 Laura Trautmann, István Attila Piros, and Balázs Péter Hámornik, “Handling Human Factors in Car Interior Design,” in *Human Behaviour in Design* (Neubiberg: Institut für Technische Produktentwicklung, Universität der Bundeswehr München, 2019), 113–24, https://doi.org/10.18726/2019_2.
- 35 Laura Trautmann and István Attila Piros, “Identifying the Emotions in Order to Design the Patterns of Consumer Products,” in *Proceedings of the 11th International Workshop on Integrated Design Engineering*, ed. Vajna Sándor (Magdeburg: Otto von Guericke University Magdeburg, 2017), 61–68, <https://m2.mtmt.hu/api/publication/3316590>.
- 36 István Attila Piros and Eszter Varga, “DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR RISK ASSESSMENT FOR DESIGN PROCESSES,” in *KOD 2014: 8th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering*, ed. Kuzmanovic Sinisa and Veres Miroslav (Novi Sad: s.n., 2014), 23–28, <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2699421>.
- 37 Eszter Varga and István Attila Piros, “Humán tényezők kezelése gépészeti feladatok megoldásánál,” *GÉP* 66, no. 3–4 (2015): 44–50.
- 38 Attila Piros and Gábor Veres, “Fuzzy Based Method for Project Planning of the Infrastructure Design for the Diagnostic in ITER,” *Fusion Engineering and Design* 88, no. 6–8 (October 2013): 1183–86, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2013.01.009>.
- 39 Attila Piros and Laura Trautmann, “Creating Interior Support Structures with Lightweight Voronoi Scaffold,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 17, no. 1 (February 1, 2023): 93–101, <https://doi.org/10.1007/s12008-022-01182-8>.
- 40 Károly Tatárvári and Attila Piros, “Fuzzy Logika Az Agrár- És Környezetkutatásokban,” *Agrokémia És Talajtan* 66, no. 1 (June 1, 2017): 201–22, <https://doi.org/10.1556/0088.2017.66.1.12>.
- 41 Stefan Thielen, Balázs Magyar, and Attila Piros, “Reconstruction of Three-Dimensional Turned Shaft Surfaces with Fractal Functions,” *Tribology International* 95 (March 1, 2016): 349–57, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.028>.
- 42 Attila Piros, Laura Trautmann, and Ernő Baka, “Error Handling Method for Digital Twin-Based Plasma Radiation Detection,” *Fusion Engineering and Design* 156 (July 1, 2020): 111592, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2020.111592>.
- 43 István Attila Piros and Balázs Vidovics, “Novel Method to Assist Human Creativity in the Early Phases of the Design Process,” in *Proceedings of the Tenth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2014)*, ed. Imre Horvath and Rusák Z. (Delft: Delft University of Technology, 2014), 439–50, <https://m2.mtmt.hu/api/publication/2699085>.

- 44 Laura Trautmann et al., “A New Method for Production Development,” *DESIGN OF MACHINES AND STRUCTURES : A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC* 10, no. 2 (2020): 165–72.
- 45 Laura Trautmann et al., “Mathematical Background of the Development of Bakery Product Production,” *GÉP* 70, no. 4 (2019): 57–60.
- 46 Laura Trautmann, Dóra Sáska, and István Attila Piros, “Automatizálási lehetőségek a mintatervezésben,” *GÉP* 67, no. 7–8 (2016): 125–28.
- 47 Laura Trautmann and István Attila Piros, “Emberi tényezők integrálása a mintázatkészítés folyamatába,” *GÉP* 68, no. 4 (2017): 81–84.
- 48 Laura Trautmann and Attila Piros, “A New Mathematical Method for Pattern Development,” *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 63, no. 1 (2019): 44–51, <https://doi.org/10.3311/PPme.12648>.
- 49 Laura Trautmann and Attila Piros, “The Concept of EmPatGen (Emotional Pattern Generator),” *SN Applied Sciences* 2, no. 5 (April 28, 2020): 982, <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2765-5>.
- 50 Laura Trautmann, Attila Piros, and János Botzheim, “Application of the Fuzzy System for an Emotional Pattern Generator,” *Applied Sciences* 10, no. 19 (January 2020): 6930, <https://doi.org/10.3390/app10196930>.
- 51 Laura Trautmann, István Attila Piros, and Bálint Szabó, “Validation of an Emotional Pattern Generator with an Eye-Tracking Research Experiment,” *ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA* 19, no. 11 (2022): 229–47, <https://doi.org/10.12700/APH.19.11.2022.11.12>.