



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR
Mechatronikai és Járműtechnikai Intézet

Szív- és érrendszeri megbetegedés kockázatát becslő fuzzy modell megalkotása

TDK dolgozat

Antal Gábor

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Mechatronikai Mérnök BSc
IV. évfolyam



Konzulens: Dr. habil Laufer Edit, egyetemi docens

OE-BGK

Lezárva: 2021. 11. 11.

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	4
2.	FUZZY KÖVETKEZTETÉSI RENDSZEREK ÁTTEKINTÉSE	7
2.1	Alapfogalmak	8
2.1.1	Crisp halmazok	8
2.1.2	Fuzzy halmazok és jellemzői	10
2.1.3	Fuzzy halmazműveletek	13
2.1.4	Fuzzy következtetési rendszerek	15
3.	MÉRENDŐ TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA, JELLEMZŐINEK TANULMÁNYOZÁSA	18
3.1	Bemeneti szempontrendszer – mérendő tényezők	18
3.1.1	Nem	19
3.1.2	Életkor	19
3.1.3	BMI	20
3.1.4	Egyéb releváns alapbetegségek	22
3.1.5	Dohányzás	23
3.1.6	Edzettség	23
3.1.7	Nyugalmi pulzus	25
3.1.8	Szisztolés és Diasztolés vérnyomás	25
3.1.9	Vércukorszint	26
3.1.10	Koleszterinszint	27
4.	A SZABÁLYRENDSZER ÉS A KIÉRTÉKELÉS FOLYAMATÁNAK MEGHATÁROZÁSA	30
5.	A KÖVETKEZTETÉSI RENDSZER IMPLEMENTÁLÁSA	35
6.	MŰKÖDŐ RENDSZER VALIDÁLÁSA, ESETTANULMÁNYOK	45
7.	EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK	50
8.	FELHASZNÁLT IRODALOM	52

„A matematikában az ember a dolgokat nem megérti, hanem megszokja”

Neumann János

„Amennyiben a matematika törvényei a valóságra vonatkoznak, nem
biztosak, ha pedig biztosak, nem a valóságra vonatkoznak”

Albert Einstein

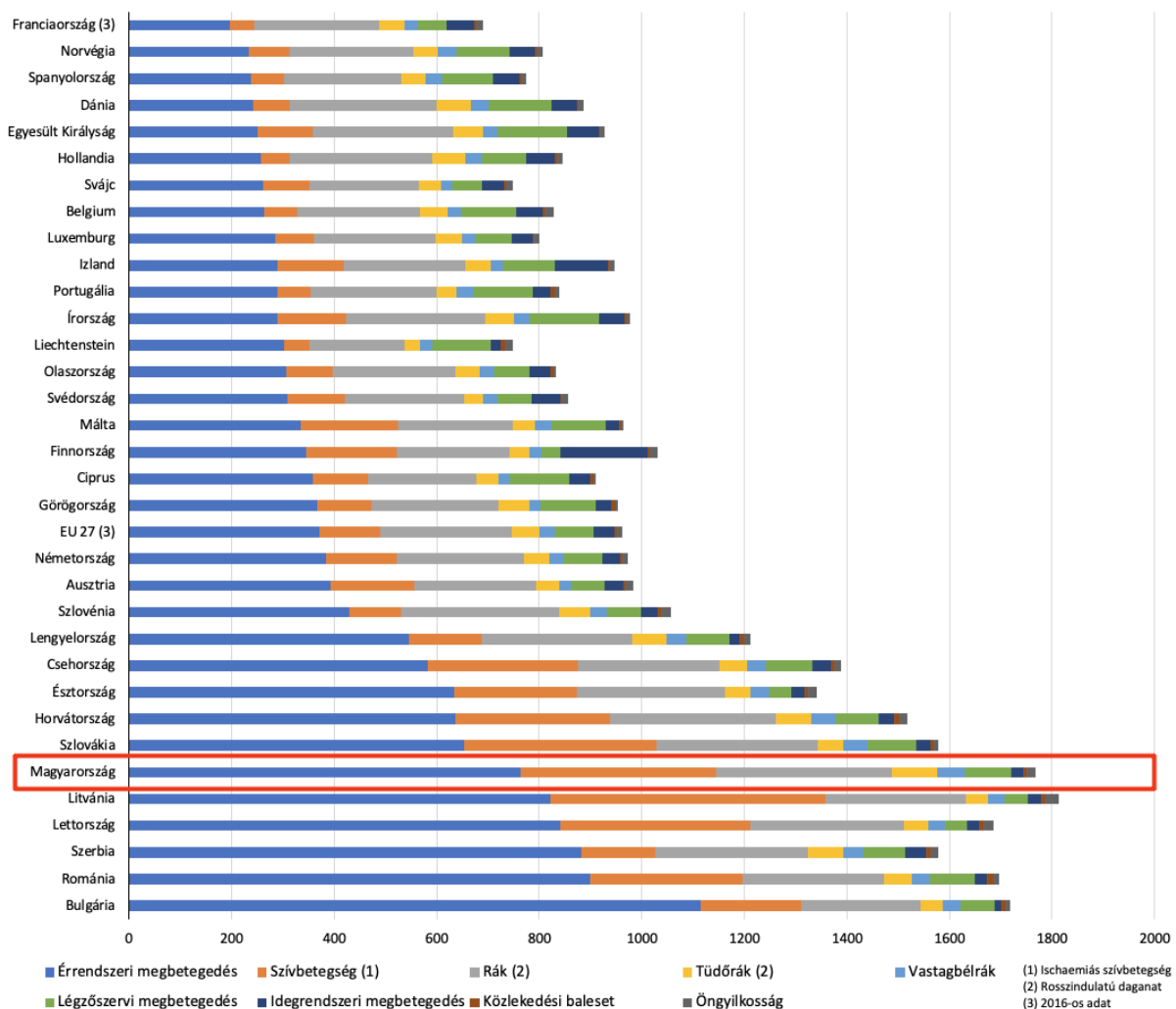
1. BEVEZETÉS

Az ember lételeme a körülötte zajló folyamatok, események, történések megismerése, annak megértése és reprodukálása. Sokáig a hit és egy magasabb értelemmel bíró intelligencia szolgált minden jelenség magyarázatának alapjául. A tudomány térhódításával, annak elméleti és gyakorlati fejlesztésével, alkalmazásával fokozatosan közelebb kerülünk az általunk ismert, valamint még felfedezésre váró világ megértéséhez egyaránt. Egyik fontos tudományterület, a digitális számítástechnika kialakulása és annak fejlődése segít a világunk pontos leírásában. Míg a 70-es években csupán pár matematikai műveletet és grafikai megjelenítést voltunk képesek előállítani a segítségével, addig 2021-re már komplett döntésmechanikai folyamatokat vezérel a pénzpiacokon, a közlekedésben, a közüzemi hálózati infrastruktúrákban, akár Mesterséges Intelligenciával vezérelve - szinte kontroll nélkül. A való életben minél bonyolultabb egy rendszer és minél pontosabb képet akarunk kapni annak működéséről, annál több matematikai számítást kell elvégeznünk a modellezéséhez. Sokszor a rendszerben résztvevő egyedek különbözősége miatt, nem is elég egy konkrét számmal, értékkel leírunk bizonyos vonatkozó paramétereket, hanem határértékekkel kell dolgoznunk. Számos esetben a határértékeken belül elhelyezkedő egyedekre az adatok egyenként változhatnak, vagy akár hiányosak, bizonytalanok is lehetnek. Annak érdekében, hogy a matematikai modellünk a valóságot tükrözze, olyan modellalkotási technikára van szükségünk, ami tudja mindezt kezelni. Ennek a leírására jelenleg az úgynevezett lágy számítási modell - a fuzzy halmazelmélet és fuzzy-logika az egyik legalkalmasabb, legjobb és ezért kap egyre nagyobb szerepet a modellalkotási folyamatokban.

Az emberi élet kezdetétől fogva másik nagyon fontos tudományterület az emberrel, emberi szervezettel foglalkozó orvostudomány. Hosszú út vezetett a jelenkori ember szervezetében működő folyamatok megértéséhez, ami még közel nem teljes a mostani ismereteink alapján. Minden ember egyedi! A szervezetünk különféle módon reagál a környezeti változásokra és küzd meg egy betegséggel. Ezért az egyik legszubjektívebb kiértékelési terület a megbetegedések kialakulása, azok eredete és sokszor a lefolyásuk is. Rengeteg adattal kell dolgoznia egy orvosnak, ahhoz, hogy megfelelő diagnózist tudjon felállítani a pácienseinek, ezért fordulhat elő orvosonként különféle diagnózis ugyanarra a tünetegyüttesre. Nemcsak az adatok számossága, hanem azok pontossága vagy akár a meghatározhatósága is sok bizonytalanságot rejt magában. Hiszen az, hogy valaki „jól érzi magát”, mást és mást jelent

páciensenként. A két tudományterület összekapcsolása számos izgalmas feladatot és sok kihívást rejt magában, egyfelől ezért is választottam témámnak.

A másik ok, amiért ezzel a témával foglalkoztam, az inkább személyes indíttatású. Az Eurostat hivatalos elhalálozási statisztikáit nézve szembetűnő a magyarországi érrendszeri megbetegedésből és szívbetegségből származó elhalálozások magas száma. A két adat összege alapján az 5. legrosszabb helyen állunk Európában. [1]



1. ábra - Elhalálozások főbb okai Európában – standardizált, 2017 (100.000 lakosra)

Sajnos a családomban is több ilyen eset is előfordult, ezért örökletes betegségnek számít nálam, amiért fokozottan figyelek az egészségi állapotomra és életvitemre.

Továbbá a jelen COVID19 / pandémiás helyzetben egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a különféle megbetegedések okait és kockázatit vizsgáló kutatások. Számos tanulmány készült arról, hogy milyen fő kockázati szempontok kerülnek előtérbe és növelik a megbetegedés esélyét

a különböző rasszok, nemek és életkorok, valamint meglévő alapbetegségek alapján. Az én kutatásom és kiértékelő-rendszerem alapját orvosi alkalmazásban használt szakirodalom és azon alapuló orvosi megfigyelések adták. Fontos volt bevonni a szakirodalomban található éles – crisp – határok megállapítása mellé, az orvosi megfigyeléseket is, melyek már a fentebb részletezett okok miatt, „alkalmazták” az elmosódott halmazok logikáját. Mivel az orvoslás sok esetben heurisztikus módon tapasztalati rendszerben, de szaktudás alapján történik, ezért a „programozói szubjektivitás” csökkentése érdekében végig konzultáltam orvosokkal, gyógyszerészekkel. Ezzel együtt a különféle „nyugati civilizációk” adatbázisából kinyert adatok adják, és reprezentálják egy-egy kiválasztott szempont – kor, nem, edzettség, vérnyomás, pulzus, vércukorszint, koleszterinszint stb.– teljes spektrumát. Első körben összeállítottam egy tanulmányozandó bemeneti paraméter listát, melyek tartalmazták a megfigyelendő tényezők jellemzőit. Miután tanulmányoztam és kialakítottam a jól illeszkedő intervallum-tartományokat, a megfelelő szakirodalmi és orvos szakértő által validált, a páciensek vizsgálata során jelenlévő bizonytalanság, szubjektivitás, pontatlanság értékeit kezelni képes fuzzy következtetési rendszer felépítése következett. [2] Az egyes kockázati tényezők egymáshoz való viszonyát – a paraméterek közötti kölcsönhatásokat – az Analytic Hierarchy Process (AHP) módszerével dolgoztam ki. Miután a rendszer 11 bemeneti paramétert tartalmaz egy egylépcsős kiértékelési folyamat irreálisan magas felépítési bonyolultságot, illetőleg magas számítási szükségletet eredményezett volna, ezért több alrendszert alakítottam ki, melyek indokoltak voltak a vizsgálandó tényezők jellemzői alapján is. Az AHP-ből kapott viszonyok szerint választottam ki az egyes paraméterekhez jól illeszkedő tagsági függvények alakját, és készült el a fuzzy következtetési rendszer működéséhez alapvetően megfelelő szabályrendszer kialakítása. A kapott rendszer segítségével a pillanatnyi egészségügyi tényezők alapján lehetővé vált a szív- és érrendszeri megbetegedés kockázati szintjének megállapítása, mely tájékoztatásul szolgál az életmódbeli változtatás szükségére.

2. FUZZY KÖVETKEZTETÉSI RENDSZEREK ÁTTEKINTÉSE

Neumann János magyar matematikus a modern számítógép megalkotója. A róla elnevezett Neumann elvek alapján létrehozott architektúra önmagában nem rendelkezett intelligenciával. Azonban lehetővé tette a bonyolultabb, összetettebb problémák megoldását algoritmusok használatával. A kezdeti algoritmusok szigorú szabályok alapján analitikus, numerikus módon dolgoztak, adott bemenetre meghatározott kimenet volt az eredmény, ezért egyáltalán nem volt képes kezelni a bizonytalanságokat. Ezek az úgynevezett kemény számítási módszerek. Ugyanakkor az emberi gondolkodás és számos természetben előforduló esemény, rendszer sokkal jobban modellezhető olyan eljárással, melynek nincsenek éles határai. Így adott esetben egy bemenetre többféle eredmény is lehetséges, melyek közül mindig a számunkra legmegfelelőbbet kell kiválasztani. Ennek következtében a pontatlanságok, bizonytalanságok is kezelhetők és megoldhatóvá válnak komplexebb feladatok, rendszerek modellezése is. Erre használhatjuk Lotfi Zadeh azerbajdzsáni matematikus által megalkotott fuzzy – (*fényképészet*) homályos, lágy körvonalú, életlen vonalú – azaz lágy számítási rendszerét. A bizonytalanságok oka számos lehet, eredhet hiányzó-, túl sok-, pontatlan-, egymásnak ellentmondó információból, kétértelműségből, minőségi megítélésből – például az, hogy valami hideg - meleg vagy jó minőségű - silány az egyénenként eltérő jelentéssel bír –, melyet a fuzzy logika és fuzzy halmazelmélet a matematika eszközeivel leír és kezel. Egyik ilyen szemléletes példa az eltérő jelentéstartalomra a homokkupac probléma: Adott egy 1 milliárd darab homokszemből álló kupac. Ha elveszünk belőle 1 darab homokszemet akkor az 999.999.999 darab homokszemből álló kupac lesz. Ha továbbra is folyamatosan egyesével vesszük el belőle a homokszemeket, akkor meddig mondhatjuk, hogy az még homokkupac? Százezer darabnál vagy ezer darabnál már nem az? Az eredmény egyénenként, sőt szituációktól függően akár egyénenként többféleképpen értelmezhető, változó megítélésű lesz. Azaz ez sem egy kétértékű logikán alapuló igen - nem eredményű algoritmus lesz, hanem a bemeneti paraméterektől függően többféle kimeneti értékkel rendelkező, a merev logikától és szélsőségektől eltérő eredményt adó.

Felhasználási területe széleskörű, jellemzően olyan összetett rendszerekben fordul elő, ahol nehéz, vagy akár lehetetlen a megfelelő rendszermodellt kialakítani, vagy amit jellemzően emberi szakértő tapasztalati úton irányít, vagy ott, ahol folyamatosak (vagy folyamatosan

változók – szabályozott rendszerek) a bemenetek és a kimenetek nem lineáris függvénnyel írhatók le.

A fuzzy rendszerek különleges jellemzője, hogy a működésüket meghatározó utasítások természetes nyelvi fogalmakkal leírhatók, az alapjuk a fuzzy halmazelmélet, ami bevezeti a részleges igazság fogalmát, ezáltal az emberi gondolkodás sokkal pontosabban megjeleníthető a működő rendszerben. Alkalmazását tekintve számos terület használja a mosógépektől, porszívóktól kezdődően egészen a gépjárműipari- (önvezető autók, adaptív tempomat - intelligens fékrendszerek) diagnosztikai- és orvosi rendszerekig. Az ipar 4.0 – ipari digitalizáció elterjedésével, annak exponenciálisan gyorsuló növekedésével sokkal komplexebb rendszerek alakulnak ki, az autonóm, de elosztott intelligenciával rendelkező összekapcsolt okos gyárakban, melyek fuzzy szabályozók által működtethetők a legmegfelelőbbben. Ez a későbbiekben magával hordozza az ipari hálózatra először lazábban (pl. vásárlói élmények, visszajelzések formájában) majd később egyre szorosabban (pl. termék/szolgáltatás működtetését befolyásoló beavatkozások, tervezési folyamatban való aktív részvétel), kapcsolódó magánszemélyek kapcsolatát is. Ez azt eredményezi, hogy a fuzzy alkalmazások egyre jelentősebbé és elterjedtebbé válnak a mindennapi alkalmazásokban is.

2.1 Alapfogalmak

Elengedhetetlen az alapok áttekintése ahhoz, hogy a fuzzy halmazok felépítését, működését és ez által egyben a megalkotott páciens monitorozó rendszert is közelebbről megismerjük.

2.1.1 Crisp halmazok

Értelemszerűen a hagyományos halmazelméletből – crisp halmazelmélet – eredeztethető a fuzzy halmazelmélet, így annak fogalmait használja. Az alaphalmazt – mely a lehetséges összes elemet tartalmazza – X -el jelöljük, az üres halmazra a $\emptyset$ jelölést használjuk. Egy crisp halmaz megadható véges elem esetén az elemek felsorolásával (pl. $A = \{1,2,4,8,16\}$) vagy tetszőleges számosságú halmaz esetén az elemeire teljesülő szabállyal (pl. $B = \{x \in X \mid x = 2^n, n \text{ egész}\}$ vagyis azon x értékek melyre teljesül a $|$ jelet követő feltétel) vagy a halmaz karakterisztikus függvényével (pl. „ A X_A karakterisztikus függvény kizárólag azon alaphalmazbeli értékekre vesz fel 1 értéket, melyek az A halmaznak elmei, azaz:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{ha } x \in A \\ 0, & \text{ha } x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

„[3]

Halmazelmélet szempontjából fontos halmazfogalmak még a:

- *Részhalmaz*: pl. $A \subset B$ vagy $A \subseteq B$, ha A halmaz minden eleme B halmaznak is eleme akkor A a B részhalmaza,
- *Valódi részhalmaz*: $A \subsetneq B$, ha a B halmaznak létezik legalább egy eleme, ami nem eleme A halmaznak,
- *Hatványhalmaz*: $P(A)$, egy A halmaz összes részalmazának halmaza, A hatványhalmaza,
- *Halmaz elemeinek száma*: $|A|$ jelöli,

és fontos még a három alapvető halmazművelet:

- *Halmaz komplemente (negáció)*: $\bar{A}$, az A alaphalmazban nem szereplő elmeit tartalmazza,
- *Halmazok uniója (egyesítés, diszjunkció)*: $A \cup B$, az unió minden eleme vagy A halmaznak vagy B halmaznak vagy mindkettőnek az eleme. Formálisan felírva:

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ vagy } x \in B\} \quad (2.2)$$

Tetszőleges számú argumentumra általánosítva:

$\bigcup_{i \in I} A_i = \{x \mid x \in A_i \text{ valamely } i \in I - \text{re}\}$, ahol $\{A_i \mid i \in I\}$ egy halmazcsalád, I pedig egy tetszőleges indexhalmaz,

- *Halmazok metszete (konjunkció)*: $A \cap B$, a metszet minden eleme tagja az A és a B halmaznak is. Formálisan felírva:

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ és } x \in B\} \quad (2.3)$$

Tetszőleges számú argumentumra általánosítva:

$\bigcap_{i \in I} A_i = \{x \mid x \in A_i \text{ minden } i \in I - \text{re}\}$, ahol $\{A_i \mid i \in I\}$ egy halmazcsalád, I pedig egy tetszőleges indexhalmaz,

Diszjunkt halmaz, ha A és B halmazoknak nincs közös elemük: $A \cap B = \emptyset$

A halmazműveletek és azok komplementessel való kapcsolatára vonatkozó alaptulajdonságát az alábbi táblázat ismerteti:

1. táblázat: Halmazműveletek tulajdonságai [3]

Involúció (kettős negáció):	$\bar{\bar{A}} = A$
Kommutativitás:	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$
Asszociativitás:	$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$
Disztributivitás:	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
Idempotencia:	$A \cup A = A$ $A \cap A = A$
Elnyelési törvények I:	$A \cup (A \cap B) = A$ $A \cap (A \cup B) = A$
Elnyelési törvények II:	$A \cup X = X$ $A \cap \emptyset = \emptyset$
Identitás:	$A \cup \emptyset = A$ $A \cap X = A$
Ellentmondás törvénye:	$A \cap \bar{A} = \emptyset$
A kizárt harmadik törvénye:	$A \cup \bar{A} = X$
De Morgan azonosságok:	$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$ $\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$

Látható, hogy a művelet tulajdonságai páronként szerepelnek és tagjai egymással felcserélhetők, így egymásba alakíthatók, ezen tulajdonságukat nevezzük dualitásnak.

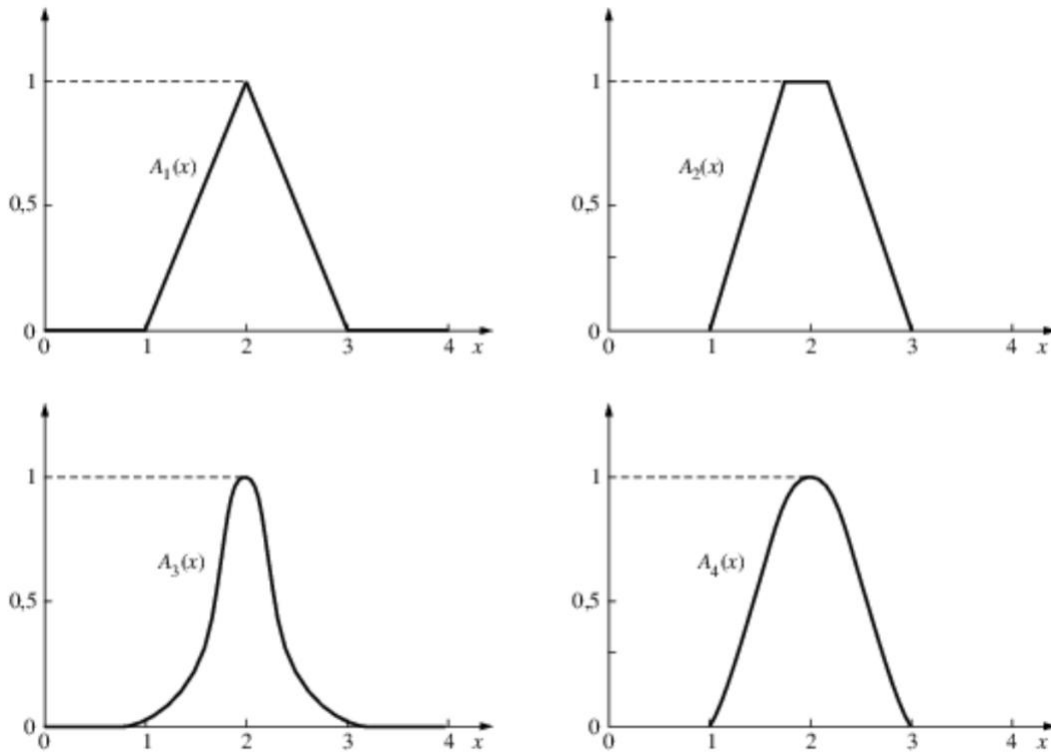
2.1.2 Fuzzy halmazok és jellemzői

A fuzzy halmazok felírása során a karakterisztikus függvényt általánosítjuk, az alaphalmaz minden eleméhez, az úgynevezett univerzumhoz, egy szabadon választott rögzített tartományból – általában $[0,1]$ – értéket rendelünk, ami az adott halmazhoz való tartozást mutatja. Ez az értéknagyság a halmazbéli értékkel arányos, minél kisebb/nagyobb a halmazhoz való tartozás mértéke annál kisebb/nagyobb az elemre vonatkozó függvény tagsági értéke.

Ezáltal a halmaz a tagsági függvénnyel egyértelműen meghatározható, így a tagsági függvény egyenértékű lesz a halmazzal:

$$\text{Tagsági függvény: } \mu_A: X \rightarrow [0,1] = \text{Fuzzy halmaz: } A: X \rightarrow [0,1] \quad [3]$$

Egy nyelvi változó leírását több, jelentősen különböző alakkal rendelkező tagsági függvénnyel is megtehetjük kontextus függvényében. Általában a modellünktől függ, hogy melyik fuzzy halmaz alakja a legmegfelelőbb, az alkalmazások az alakra nem túl érzékenyek, de egyszerűségük miatt leggyakrabban a háromszög vagy trapéz alakúakat, vagy ezekhez hasonlóan szakaszonként lineáris alakú tagsági függvényeket használunk.



2. ábra – A „körülbelül 2” fogalmat reprezentáló különböző alakú fuzzy halmazok [3]

Egy háromszög alakú tagsági függvény általános felírása:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq a_i \\ \frac{x-a_i}{b_i-a_i} & \text{ha } a_i \leq x \leq b_i \\ \frac{c_i-x}{c_i-b_i} & \text{ha } b_i \leq x \leq c_i \\ 0 & \text{ha } c_i \leq x \end{cases} \quad (2.4)$$

ahol a_i, b_i és c_i a tagsági függvény paraméterei, melyek a háromszög baloldali végpontja, középső pontja és jobb oldali végpontja; feltesszük, hogy ha $a \neq b$ és $b \neq c$. [2]

Egy trapéz alakú tagsági függvény általános felírása:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq a_i \\ \frac{x-a_i}{b_i-a_i} & \text{ha } a_i \leq x \leq b_i \\ 1 & \text{ha } b_i \leq x \leq c_i \\ \frac{d_i-x}{d_i-c_i} & \text{ha } c_i \leq x \leq d_i \\ 0 & \text{ha } d_i \leq x \end{cases} \quad (2.5)$$

ahol a_i, b_i, c_i és d_i a tagsági függvény paraméterei, melyek a háromszög baloldali végpontja, baloldali középső pontja, jobb oldali középső pontja és jobb oldali végpontja; feltesszük, hogy ha $a \neq b, b \neq c$ és $c \neq d$.

Az előzőleg felírt háromszög, trapéz vagy más szakaszonként lineáris tagsági függvények esetén, azon $\forall \alpha = [0,1]$ értékeket, ahol a tagsági függvénynek töréspontja van lényeges α -vágatnak nevezzük: $A_\alpha = \{x \mid A(x) \geq \alpha\}$, ha nem engedünk meg egyenlőséget, azaz $\alpha > 0$ akkor $A_\alpha = \{x \mid A(x) > \alpha\}$ ezt szigorú vágatnak nevezzük ($A_{\alpha+}$). A fuzzy halmazok további fontos jellemzői a:

- *Halmaz tartója (support)*: X univerzumon értelmezett A fuzzy halmaz 0-nál nagyobb tagsági értékű pontjainak összessége:

$$\text{supp}(A) = \{x \mid A(x) > 0\} \quad (2.6)$$

- *Halmaz magja (core)*: X univerzumon értelmezett A fuzzy halmaz 1 tagsági értékű pontjainak összessége:

$$\text{core}(A) = \{x \mid A(x) = 1\} \quad (2.7)$$

- *Halmaz magassága (maximum)*: X univerzumon értelmezett A fuzzy halmazt leíró tagsági függvény legmagasabb értékű pontja:

$$h(A) = \max_{x \in X} A(x) \quad (2.8)$$

Abban az esetben, ha ez az érték 1, normális fuzzy halmazról beszélhetünk, ellenkező esetben, ha ez nem áll fent, akkor a halmaz szubnormális. [2]

- *Halmaz konvexitása:* A hagyományos halmazon értelmezett konvexitás általánosítása, ha minden $\lambda \in [0,1]$ és minden $x_1, x_2 \in X$ esetén teljesül az alábbi:

$$\mu_A(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) [4] \quad (2.9)$$

2.1.3 Fuzzy halmazműveletek

A crisp halmazoknál részletezett három alpművelet – komplementum képzés (negáció), metszet (konjunkció), egyesítés (diszjunkció, unió) – a fuzzy halmazokra többféle módon, akár végtelensokféleképpen általánosíthatjuk. A szakirodalomban a fuzzy metszetet t-normának a fuzzy uniót pedig konormának nevezik. A gyakorlati alkalmazásokban legelterjedtebb a Zadeh-féle (standard) fuzzy halmazműveletek. A fuzzifikálás során ezeket alkalmazzuk a $\{0,1\}$ halmazon, azzal a megkötéssel, hogy különböző problémák esetén más és más függvények lehetnek a legalkalmasabbak, és sokszor az egyes alpműveletek meghatározása nagyban függhet az adott feladattól.

Fuzzy komplement az a $c: [0,1] \rightarrow [0,1]$ függvény, mely minden A_x tagságfüggvény-értékhez tetszőleges A fuzzy halmaz esetén a $c(A(x))$ értéket rendeli, úgy, hogy közben teljesüljenek a peremfeltételek és a monotonitás axiómái kiegészülve azzal, hogy a függvény folytonos és involutív.

A fuzzy metszetek (t-normák) során egy adott $t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ függvénynek hordoznia kell a peremfeltétel, monotonitás, kommutativitás és asszociativitás tulajdonságait kiegészítve azzal, hogy a függvény folytonos, szubidempotens vagy idempotens illetve szigorúan monoton. A t-norma a logikai ÉS tulajdonságaival feleltethető meg, amit a következtetési rendszer szabályalkotása során az egyes feltételek összekapcsolására használunk, a Mamdani típusú következtetési szabály alkalmazásakor. Az általános következtetési rendszerek HA-AKKOR típusú szabályokkal adják meg a feltétel és a következmény közötti kapcsolatot. Egy bemenetes, egy kimenetes rendszer esetén a következtetési rendszer a következő szabállyal írható le:

$$HA \ x = A_i \ AKKOR \ y = B_i, \text{ ahol } x \in X, \ y \in Y, \text{ és } i = 1, 2, \dots, n, \ n \text{ a szabályok száma} \quad (2.10)$$

Ennek megfelelően a t-norma során, ha több bemeneti paraméter: $x_1, x_2, \dots, x_n$, rendre az $X_1, X_2, \dots, X_n$ univerzumból valók, a kimeneti paraméter pedig $y \in Y$, akkor a következtetési rendszer a következő szabállyal írható le:

$$HA \ x_1 = A_{1,i_1} \text{ és } \dots \text{ és } x_n = A_{n,i_n} \text{ AKKOR } y = B_{i_1, \dots, i_n} \quad (2.11)$$

ahol A_{j,i_j} a j-edik bemenethez tartozó i_j -edik bemeneti fuzzy halmaz, $i_j = 1 \dots n_j$, ahol n_j a j-edik bemenethez tartozó fuzzy halmazok száma.

A leggyakrabban alkalmazott fuzzy metszetek operátorai, melyek a Matlab Fuzzy Logic Toolboxban is megtalálhatók a minimum (min): $t(a, b) = \min(a, b)$ és az algebrai szorzat (prod): $t(a, b) = ab$ operátorok.

A fuzzy uniók (t-konormák, s-normák) során egy adott $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ függvénynek is hordoznia kell a peremfeltétel, monotonitás, kommutativitás és asszociativitás tulajdonságait kiegészítve azzal a praktikussággal, hogy a függvény folytonos, szubidempotens vagy idempotens illetve szigorúan monoton. A t-konorma a logikai VAGY tulajdonságaival feleltethető meg, amit a következtetési rendszer szabályalkotása során az egyes feltételek összekapcsolására használunk, illetve aggregációs operátorként a szabálykimenetek számításakor. A következtetési rendszerben a t-konorma alkalmazásával, ha több bemeneti paraméter: $x_1, x_2, \dots, x_n$, rendre az $X_1, X_2, \dots, X_n$ univerzumból valók, a kimeneti paraméter pedig $y \in Y$, akkor a következtetési rendszer a következő szabállyal írható le:

$$HA \ x_1 = A_{1,i_1} \text{ vagy } \dots \text{ vagy } x_n = A_{n,i_n} \text{ AKKOR } y = B_{i_1, \dots, i_n} \quad (2.12)$$

ahol A_{j,i_j} a j-edik bemenethez tartozó i_j -edik bemeneti fuzzy halmaz, $i_j = 1 \dots n_j$, ahol n_j a j-edik bemenethez tartozó fuzzy halmazok száma.

A leggyakrabban alkalmazott fuzzy metszetek operátorai, melyek a Matlab Fuzzy Logic Toolboxban is megtalálhatók a maximum (max): $s(a, b) = \max(a, b)$ és az algebrai összeg (probor): $s(a, b) = a + b - ab$ operátorok.

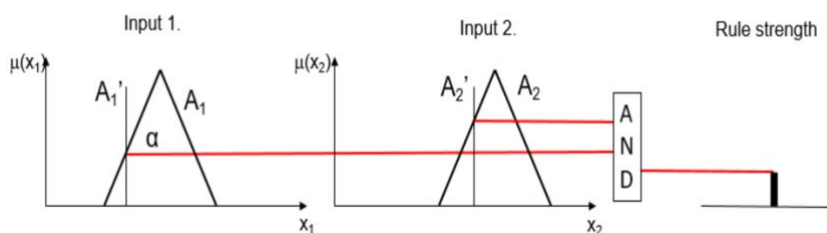
2.1.4 Fuzzy következtetési rendszerek

Két különböző következtetési módszer közül választhatunk, mindig az adott feladatunkhoz legjobban illeszkedően. Az egyik a Mamdani-típusú következtetés, mely során a kimenet is fuzzy halmaz lesz, a másik a Takagi-Sugeno-típusú rendszer, ahol a konzekvensek már eleve defuzzifikált formában jelennek meg. Bár a Mamdani következtetésnek a számítási igénye magasabb és a szabálykimentek aggregációjának eredménye általában bonyolult alakú tagsági függvény, amit esetenként defuzzifikálni kell, mégis ez áll közelebb az emberi gondolkodáshoz jobban. Illetve egyre többször fordul elő, hogy a kapott eredmény más fuzzy rendszer bemeneti paramétere lesz, ilyenkor előnyös, hogy nem defuzzifikált a kapott formánk. Mindkét rendszer a korábban ismertetett: *HA feltétel AKKOR következmény* típusú. Mivel a modellalkotásom során cél volt, hogy a lehető legjobban közelítsek az emberi gondolkodáshoz, ezért a továbbiakban a Mamdani típusú következtetést ismertetem, amit gyakorlatban is használtam. A következtetés felépítésének sorrendje a tanulmányozás és megfigyelés, előzmények illesztése, amit követ az illetékességi szint meghatározása, az implikáció, majd az aggregáció és végül a defuzzifikáció. Azaz:

1. Meghatározzuk a következtetési rendszer bemeneti paramétereinek illeszkedési mértékét (fuzzifikálás), azaz, hogy milyen mértékben tartoznak az őket jellemző fuzzy halmazba. Tagsági függvények általános felírása, ahogy azt leírtam a (2.4) és (2.5) szerint a 2. ábra alapján szakaszosan lineáris függvényekre.
2. Az illetékességi szint meghatározása, a szabályok antecedens részét összekapcsoljuk ÉS (t-norma) / VAGY (t-konorma) fuzzy operátorral, és meghatározzuk a tüzelési szintet a szabályra jellemzően:

$$w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_{kj}}(x) \quad (2.13)$$

ahol m : a szabályok száma és $\mu_{A_{kj}}(x)$: a j -edik bemenet k -edik tagsági függvénye.

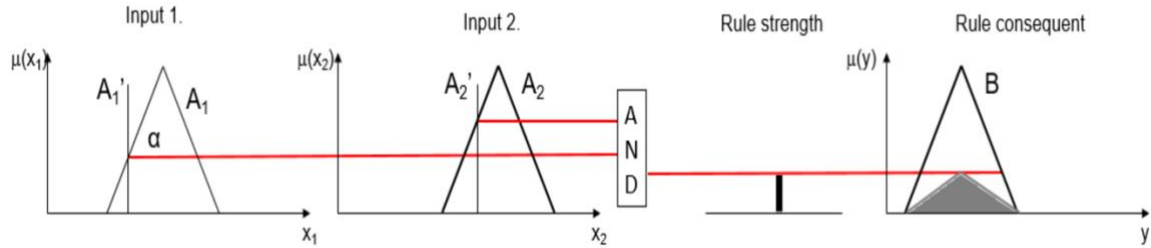


3. ábra: Tüzelési szint meghatározása [5]

3. Szabály premissza és a szabálykövetkezmény implikációs kapcsolatát meghatározzuk:

$$y_{B_i} = w_i \mu_{B_i} \quad (2.14)$$

ahol w_i : az i -edik szabály tüzelési szintje és μ_{B_i} : az i -edik szabály kimeneti fuzzy halmaza.



4. ábra: Implikáció [5]

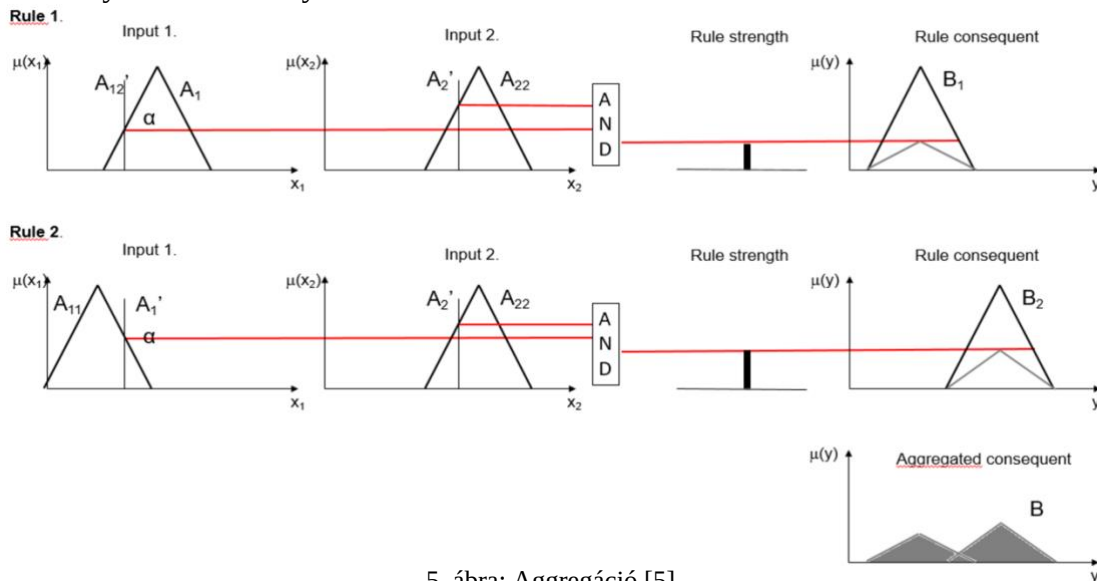
5. Egyetlen közös fuzzy halmaz létrehozása – aggregáció – a kiértékelő szabályokra különböző műveletek segítségével. A leggyakrabban használt aggregációs módszerek:

- A fuzzy halmazok uniója – max.: $s(a, b) = \max(a, b)$
- A fuzzy halmazok korlátos összege: $s(a, b) = \min(1, a + b)$
- A fuzzy halmazok algebrai összege: $s(a, b) = a + b - ab$ (probabilisztikus)

Az aggregáció általános felírása a:

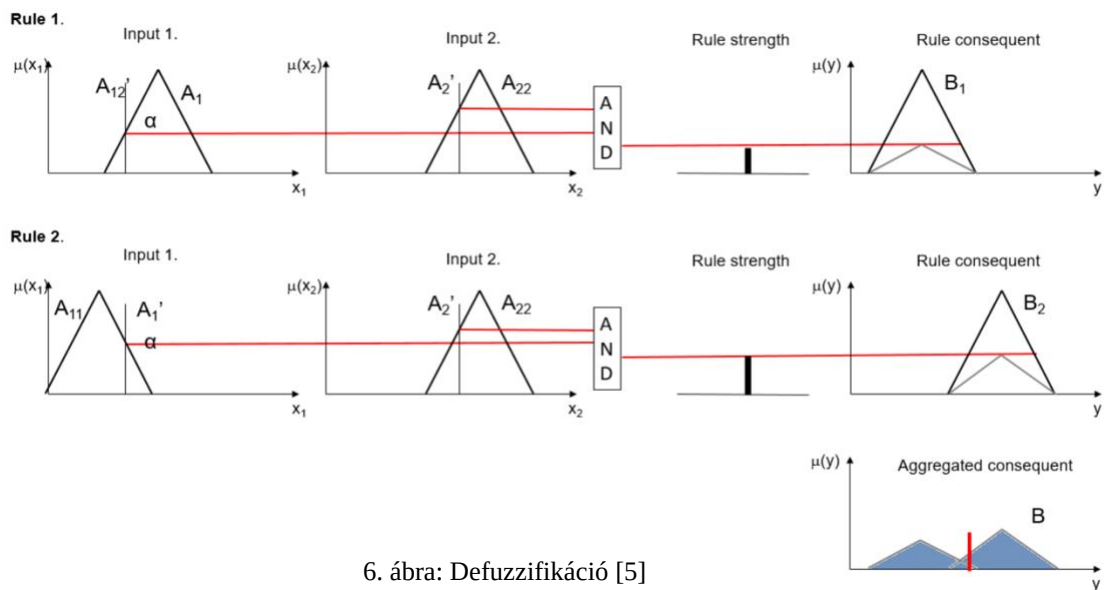
$$y = \sum_{i=1}^n w_i y_{B_i} \quad (2.15)$$

ahol w_i : az i -edik szabály tüzelési szintje, μ_{B_i} : az i -edik szabályra az implikáció eredménye és n a szabályok száma.



5. ábra: Aggregáció [5]

6. Végezetül amennyiben szükséges, akkor az aggregáció eredményét kifejezhetjük egy crisp értékkel is, ez lesz a defuzzifikáció. Nagyon fontos kiemelni, hogy a fuzzifikáció és a defuzzifikáció nem származtatható egymásból, azok nem inverz műveletei egymásnak. Általában, ha az eredmény értelmezését emberi kezelő látja el, akkor elvégezzük ezt a műveletet is. A rendszer eredményét a feladattól függően azt a lehető legjobban jellemző műveleti módszerrel kapjuk meg.



6. ábra: Defuzzifikáció [5]

A rendszer eredményét - a feladattól függően - a lehető legjobban jellemző műveleti módszerrel kaphatjuk meg. Ezt nem lehet általánosságban meghatározni. A leggyakrabban használt defuzzifikációs módszerek a:

- **Súlyponti (COG):** Az egyik leggyakrabban használt művelet, mely az aggregáció eredményeként kapott tagsági függvény görbéje alatti területnek a közepe.
- **Bisector (BOA):** Egy függőleges vonallal az aggregáció eredményeként kapott tagsági függvény görbéje alatti területet két egyenlő területű részre osztja.
- **Maximumok közepe (MOM):** Általában, ha az univerzumunk véges számú elemmel rendelkezik, akkor használjuk, a nevéből eredően a kapott tagsági függvény maximumának közepét határozza meg.

Használatos még a LOM, mely a kapott tagsági függvény maximumának legnagyobb és a SOM, ami a kapott tagsági függvény maximumának legkisebb értéket adja.

3. MÉRENDŐ TÉNYEZŐK MEGHATÁROZÁSA, JELLEMZŐINEK TANULMÁNYOZÁSA

Rokonságban lévő doktornővel értekezve első körben a brainstorming és mind gapping technikákkal számos lehetséges vizsgálandó feltételt – azaz bemeneti paramétert – több szempont alapján felsoroltunk, részben értelmeztük jelentőségüket és működésüket, amit követően csoportosítottunk. Ezek között volt a nem, életkor, body mass index (BMI), rassz, pulzus, vérnyomás, testzsírtömeg, vércukor-, koleszterin- és húgysav szint, dohányzás, alkohol- kávé- és tea fogyasztás, felszívódási zavarok (intoleranciák, allergiák), szülőknél előforduló örökletes és nem örökletes betegségek, csonttörések száma, meglévő ízületi-, autoimmun- és daganatos betegségek, vitaminszint, külső tényezők – életkörülmények, életvitel – stb. Annak érdekében, hogy minél pontosabban működő rendszert alkossak meg, annál több bemeneti paramétert kellett figyelembe venni, azonban ügyelve arra, hogy nagy számú paraméter egymás közötti kölcsönhatása, a kölcsönhatások feltérképezése reális idő alatt megoldható maradjon. A kockázatkértékelő rendszer működéséhez szükséges, hogy minden bemeneti paraméterhez adatbázisok, tapasztalati megfigyelések, szakirodalom kapcsolódjon, ami referenciaérték gyanánt szolgál. Ezért a bővített listát tematizáltam és a célnak megfelelően redukáltam egy olyan szűkített szempontrendszerre, ahol többnyire minden referenciainformáció rendelkezésre állt, illetve pácines-specifikusan, egyszerű diagnosztikai eszközökkel, minél kevesebb összetett, nem valós idejű és külső vizsgálat nélkül elérhető volt. A dolgozat elkészítése és a rendszer összeállítása során számos szakirodalmat áttekintettem és tanulmányoztam, hogy a különböző paraméterek alap tulajdonságait, hatásmechanizmusait, értéktartományait megértem és megfelelően alkalmazni tudjam a modellhez.

3.1 Bemeneti szempontrendszer – mérendő tényezők

A páciensek vizsgálata során a megbetegedést befolyásoló tényezők kölcsönhatásai kulcsfontosságúak. Mikor belépünk egy rendelőbe, az orvosunk fejében abban a pillanatban megkezdődik ezen kölcsönhatások felmérése. Hogyan léptünk be, volt-e a mozgásunkban zavar, milyen a testbeszédünk, kedélyállapotunk, hogy állunk vagy ülünk a széken, ha közelebbi az ismeretség és beszélgetünk a családról, akkor mik azok az elsődleges információk, amit fontosnak tartunk megosztani vele, ez pozitív vagy negatív töltetű? Ehhez hasonló és

számos más apró és jelentős benyomás és metakommunikációs eszköz árulkodik az egészségünket befolyásoló állapotunkról. Összességében a pszichés hatások: az idegállapotunk, hangulatunk, a minket érő stressz, jelentős hatással vannak szervezetünkre és a különböző bemeneti paraméterek kapott értékeire. Ezek az információk egy alap modellalkotási folyamatban ilyen részletességgel nem szerepelnek. A modellünk észszerű komplexitását, futási idejét figyelembe véve szükségszerű racionalizálni és egyszerűsíteni. A számos információ és lehetséges vizsgálándó tényező közül a következő bemeneti paraméterekkel – mérendő tényezőkkel - dolgoztam tovább.

3.1.1 Nem

Élettani és orvosi szempontból két biológiai alap nemet határoztam meg, mint nő és férfi. Számos diagnosztikai esetben jelentős befolyással bír a páciens érzelmi állapota. Ha nemi identitása nem egyezik meg a biológiai nemével és ezt bizonyos társadalmakban hátrányos megkülönböztetés, pszichológiai teher kíséri, akkor fennállhat a negatív érzelmi befolyásolás a szervezetre, ami rendellenes működést, megbetegedést idézhet elő. Ezért a nemi identitással való független rendelkezés és annak elismerése jelentősen javítja az életszínvonalat. Ehhez fontos mérföldkő volt a 2006-ban elfogadott Yogyakarta alapelvek. [6] Azonban a témában egyelőre nem áll rendelkezésre a biológiai nemtől eltérő nemi identitással rendelkező páciensekre is kiterjedő szakirodalmi, tapasztalati vagy adatbázis alapú információ, ezért a modellalkotást a két biológiai alapnem figyelembevételével végeztem el.

3.1.2 Életkor

Azt tapasztaltam az életkorok meghatározása során, hogy a vizsgált bemeneti paraméterre vonatkozó határértékek számos esetben különböző életszakasz meghatározásokkal operálnak, sokszor szerzőktől és/vagy kultúráktól függően is más és más besorolást használnak. Ezért az életkorok meghatározása során magyar orvostani életkorfelosztás alapján orvos szakértővel konzultálva együtt határoztuk meg az intervallumokat. A kutatás nem terjedt ki a csecsemő és kisgyermekkorban lévőkre csak a 14. életévüket betöltöttekre, mert ők már korlátozottan cselekvőképesek, ezért tehetnek olyan jognyilatkozatot, ami személyes jellegű és amivel

kizárólagos előnyt szereznek. Így akár szülői hozzájárulás nélkül is részt vehet a kockázat kiértékelési folyamatban. Valamint a 14 év alatti gyermekeknél teljesen más élettani funkciók játszódnak le, a fellépő szív- és érrendszeri megbetegedések lefolyása és kiváltó oka is különböző eredetű lehet, a megbetegedés kockázatát más faktorok jelentik, mint fiatal és felnőtt korban. Ezért az első intervallumba a 18 év alatti fiatalok kerültek, mert a referencia értékeik a többi bemeneti paraméter vizsgálata során közel azonos értéket mutattak. A többi korcsoport meghatározás során is ez volt az elsődleges szempont, továbbá a korábban részletezett rendszerben lévő kölcsönhatások vizsgálata miatt, a következő korcsoport intervallum meghatározásokat alakítottam ki: 19-24 év – fiatal kor; 25-35 év – még fiatal kor; 36-50 év – középkor; 51-75 év – időskor és 76-120 év – öregkor. A korhatár meghatározásokkor és a további paraméteknél is a skálázási tartomány határai a későbbi fuzzy tagsági függvények metszéspontjait adják meg. Ezért a tényleges intervallumok és így az adott intervallumhoz való tartozás mértéke, - ami az adott halmazhoz való tartozást mutatja - változó mértékben eltér, a függvény alakjától, emelkedésétől függően.

3.1.3 BMI

Testtömeg-index, a testalkatunkat jellemző súlyfelesleg egyik legegyszerűbb, matematikailag meghatározható módszere. Az egyszerűsége okán rejt számos hiányosságot, a kapott értékek nem reálisak a 16 év alatti lányok és a 18 év alatti fiúk, valamint az erős testalkatú személyek esetén. „A különböző testmagasságú és testtömegű személyek értékeit az egy négyzetméternyi testfelületre eső testsúly kiszámításával próbálja összehasonlíthatóvá tenni.”

[7] Kiszámítása a testsúly / magasság a négyzeten - $\frac{kg}{m^2}$ - módon történik. Például egy 92 kg-os személy, 178 cm magasság esetén: $\frac{92}{1,78^2} = 29,0$ BMI értéket ad. Az alap értékhatár meghatározásokat a szakirodalom nyolc osztályba sorolja. Ezek az osztályok a súlyos soványság, mérsékelt soványság, enyhe soványság, normális testsúly, túlsúlyos, I; II. és III. fokú elhízás:

2. táblázat: BMI osztályok

BMI	Testsúly osztály
16 alatt	súlyos soványság
16,00 - 16,99	mérsékelt soványság
17,00 - 18,49	enyhe soványság
18,50 - 24,99	normális testsúly
25,00 - 29,99	túlsúlyos
30,00 - 34,99	I. fokú elhízás
35,00 - 39,99	II. fokú elhízás
40,00 felett	III. fokú (súlyos) elhízás

A testsúly osztályhoz kapcsolódó testalkati jellemző pontosabb képet ad az adott BMI értékkel rendelkező személyről. Aki súlyosan vagy mérsékelten sovány, az általában fizikailag rosszabbul teljesít, gyengébb, sok esetben fáradékonyabb, a szíve és a keringési rendszere nagyobb terhelésnek van kitéve már enyhébb mozgásforma – Pl.: sétálás – végzése során is. Természetesen, mint minden testsúly osztályban, itt is vannak kivételek, jellemzően olyan sportoló személyek esetén, akik alacsony testtömeg indexet-, vagy állandó fizikai aktivitás igénylő sportot végeznek, általában versenyszerűen. (pl. ritmikus sportgimnasztika, hosszútávfutók) Az enyhe soványság és a túlsúlyos osztályba tartozók megfelelő étkezéssel, illetve fizikai aktivitással könnyen a normális testsúly osztályba tudnak tartozni. A megbetegedést befolyásoló kockázatuk alacsony. Azonban a szívet és érrendszert veszélyeztető lerakódó zsírosodás miatt, a túlsúlyos osztályba tartozók kockázata magasabb besorolású lesz, mint a soványaké. Az első- és másodfokú elhízás a vizsgált betegség kapcsán egy osztályba sorolhatók, betegség kialakító kockázatuk nem tér el jelentősen egymástól. A harmadfokú elhízás pedig már annyira súlyos, hogy a teljes egészségi állapotot veszélyezteti, és nem csak a szív- és érrendszert, hanem a mozgásszervrendszert, mentális egészséget és számos más is. Ennek pedig eredménye, hogy állandó vagy rendszeres orvosi felügyelet, konzultáció szükséges a pácienssel, ezért nem vizsgáltam a megbetegedés kockázati szintjét. A fentieknek megfelelően ezért az alábbi változásokkal alakítottam át a megalkotott rendszerben a BMI értékeket:

3. táblázat: Szív- és Érendszeri megbetegedés kockázatát befolyásoló (SzÉR) BMI osztályok

SzÉR BMI	Testsúly osztály
18,5 alatt	soványság
18,51 - 25,00	normális testsúly
25,01 - 30,00	túlsúlyos
30,01 - 40,00	elhízás

3.1.4 Egyéb releváns alapbetegségek

Megbetegedések során számos esetben előfordulhat, hogy egy tünet vagy tünetegyüttes több betegséget is jelez. Hatásmechanizmusát tekintve felerősíthetik egymás lefolyását, együttesen hatványozottan ronthatják az egészségi állapotot. Egyik ilyen jelentős példa erre a jelenségre a metabolikus szindrómát jelző „halálos négyes” (valójában ötös) tünetegyüttes. Ha a magas koleszterinszint (HDL-koleszterin és a triglicerid is magas), a magas vérnyomás, az alma típusú (hasi) elhízás vagy magas vércukorszint tünetei közül akár az egyik is fennáll, akkor érdemes orvoshoz fordulni, mert könnyen előfordulhat, hogy a többi tünet is jelen van csak még nem olyan súlyos mértékben, vagy nincs tudomásunk róla. Abban az esetben, ha legalább három tényező fennáll, akkor egyértelműen megállapítható a diagnózis. Előfordulnak olyan esetek is, amikor nem konkrét tünet, hanem már kialakult megbetegedés lesz kiváltó oka egy következő betegségnek. Ezért ebbe a bemeneti paraméterbe vontam össze az összes olyan betegséget, ami a modellalkotási folyamat során felmerült:

- felszívódási zavarok,
- szülőknél előforduló örökletes betegségek,
- ízületi-, autoimmun- és daganatos betegségek,
- mentális eredetű betegségek.

Sajnos a dolgozatra szánt idő nem tette lehetővé, hogy külön-külön elmélyedjek az egyes betegségek szív- és érrendszerre gyakorolt kölcsönhatásaiban. Ezért itt a felmérésben részt vevő páciensre bízom, hogy mi az, amit Ő, vagy a különböző vizsgálatok során a vele kapcsolatba került orvosok fontosnak találtak megemlíteni, mint rizikófaktor, kockázatot a vizsgált megbetegedésre. Fontos, hogy a dolgozatom tárgyában a szív- és érrendszeri

megbetegedésekkel kapcsolatos alapbetegségek a relevánsak csak. Más alapbetegség, mely nincs befolyással a vizsgálat tárgyára nem vett részt az értékelésben.

3.1.5 Dohányzás

A dohányzás, mint az egyik kritikus vizsgálati paraméter jelentősen befolyásolja a megbetegedés kockázatát. Számos tanulmány készült már a dohányzás káros hatásairól a szív- és érrendszeri megbetegedésekkel összefüggésben. A paraméter tulajdonságainak, hatásainak tanulmányozása során megállapítást nyert, hogy nem csak az aktív, hanem a passzív dohányzás is jelentősen - 30 %-kal – növeli a megbetegedés kockázatát a nemdohányzókhoz képest. Az Amerikai Egyesült Államokban végzett - The Atherosclerosis Risk In Communities (ARIC) nagy mintás tanulmány 11.000 fő bevonásával három éven át vizsgálta az akaratlan cigarettafüst belélegzés és az érlemezés közötti káros kapcsolatot. [8] Hasonló értéket mutattak ki a dohány rágása során is. A passzív dohányzás megítélése, annak eldöntése, hogy milyen behatási időtartamot vagy távolságot minősítünk passzív dohányzásnak az nem pontosan körülhatárolt, ezért ebbe a paraméterbe nem vontuk be a passzív dohányzást annak ellenére, hogy orvosi szempontból indokolt lehetne. Ezért és a dohányzás okozat rengeteg káros hatás miatt, nem vizsgáltuk a dohányzás mértékét csak a meglétét, annak eldöntése, hogy valaki dohányzik-e vagy sem, szubjektív megítélés alapján történt. A működő rendszer tesztelése során, mikor az esettanulmányt állítottam össze, sokszor merült fel kérdésként, hogy ha valaki elszív pár szál cigarettát havonta, vagy aki csak alkalmi dohányos, jellemzően társaságban, bulik és programok során gyújt rá, az vajon a dohányzó csoportba számít-e? Sajnos a dohányzásnál az alkohollal ellentétben, nem létezik olyan minimális szervezetbe juttatott mennyiség, ami ne lenne egészségkárosító hatású. A fentiekre tekintettel, ebben a kérdésben, a havi egy szál vagy annál több cigaretta elszívását, illetőleg az alkalmi dohányzást is dohányzásnak minősítettem.

3.1.6 Edzettség

Meghatározását tekintve sportbéli teljesítőképességet vagy terhelés hatására létrejövő fizikai állapotot jelöl. Ezt többféleképpen kifejezhetjük, de általánosságban véve egy

meghatározott tevékenység – edzés – alapján mérjük. Az edzés kifejezés egyénenként más és más teljesítőképességbéli jelentéssel bír. Egy mozgás vagy tevékenység folytatása során, általában az elméleti maximális pulzusszámhoz képesti 50%-ot meghaladó terhelés felett beszélhetünk edzésről. 50% alatt hatástalan a terhelés, ezt csupán rehabilitáció során szokták javasolni, ennek felel meg például a könnyű egészségügyi séta. 50-60% közötti intenzitás a könnyű edzés úgynevezett regeneráló zónára, 60-70% között intenzitásnál közepes – zsírégető zónára –, 70-80% között enyhén magas - aerob zónára – és 80-95% között nagyon magas intenzitású – anaerob zónára – lehet felbontani. [7] Magának az elméleti maximális pulzusszámnak tényleges és egzaktan meghatározható definíciója többféle van. Legegyszerűbben a HR_{max} módszerrel tudjuk kiszámítani, ami a $220 - \text{életkor}$ képlet segítségével lehetséges. Ez viszont egy elég nagyzóló számítás, sok esetben nem felel meg aktuális állapotunknak. Egy fokkal jobb meghatározást ad a HRR módszer, amely már számol a nyugalmi pulzussal és az elméleti maximális pulzusszámból levonva azt, képez egy tartalékpulzust. Ehhez a tartalék pulzust szorozza meg az edzésintenzitás mértékével és adja hozzá a nyugalmi pulzust. A kapott eredmény sokkal pontosabb és szűkebb intervallum tartományú lesz, mint a HR_{max} esetén. Legpontosabban az edzéscéljainknak, életkorunknak és pillanatnyi fizikai és pszichés állapotunknak megfelelő pulzussal tudjuk kifejezni az edzésünk intenzitásának értékét, erre egyedi szabadalmaztatott rendszerek léteznek. Az én szempontomból, orvosilag megközelítve már azzal is sokat teszünk az egészségünkért és csökkenthetjük a megbetegedések kialakulásának kockázatát, ha a legenyhébb edzés intenzitású mozgásformát végezzük rendszeresen. Ezért mindent edzésnek vettem, ami az elméleti maximális pulzusszám 50%-ánál magasabb értéken történik. Fontos kérdés volt még az edzés hossza és rendszeressége. Mert hiába végzünk „edzést”, ha azt csak tíz percig és havonta egy-két alkalommal tesszük. A modellben a heti rendszerességgel elvégzett legalább 30 perces mozgások darabszámát vettem alapul. Öt tartományt határoztam meg, az alapján, hogy heti rendszerességgel a páciens hány darab legalább fél órás „intenzív” testmozgást végez, edzés jellegű céllal. 0-1 db kevés, 2 normál, 3-4 ideális, 5-6 aktív és 7 vagy több verseny értékek szerint osztottam fel.

3.1.7 Nyugalmi pulzus

A szívfrekvencia más nevén, a pulzus mérése fonendoszkóppal vagy sztetoszkóppal történő hallgatózás módszerével történik. „A pulzusszám a szív percenkénti összehúzódásának számát adja meg.” [9] Könnyen mérhető adat, amit leggyakrabban a csukló felett vagy a nyaki ütőér felett mérnek. A pulzus referencia értéke átlagosan $70(72) \pm 10$ ütés per perc (beat per minute – BPM) a férfiaknál egy kicsit alacsonyabb, mint a nőknél és az öregedés során ez az érték csökken. Ennek oka a szívizomtömeg csökkenése, ami által a pulzustérfogat is csökken. Többfajta pulzusértéket használ a szakirodalom, nyugalmi pulzus, ébredéskori pulzus vagy alappulzus, maximális pulzus. Az egyik legegyszerűbben mérhető pulzus, a nyugalmi, amit bármikor mérhetünk a nap folyamán tizenöt perces pihenőt követően. Ezt általában minimum 15 másodperctől maximum egy percig tartó méréssel teszik meg. Értéke szoros összefüggésben van életkorunkkal, edzettségünkkel, idegrendszerünk aktuális állapotával. Egy sportoló pulzusa jóval alacsonyabb, mint az átlag emberé, nem ritka a 40-50 BPM-es érték sem. Ez az érték egy átlagembernél keringési elégtelenséget jelent és ájulást okozna. Az sportolói alacsony pulzus oka, hogy a megnövekedett kamrai térfogat egy összehúzódás során több vérmennyiség kiáramlását eredményezi. Ezért a modellalkotás során az ilyen tényezőket is figyelembe kellett venni és a rendszerbe integrálni a hatásukat. A rendszer összeállítás során mindig a nyugalmi pulzus értékét vettük fel adatként.

3.1.8 Szisztolés és Diasztolés vérnyomás

„A szív folyamatos (pacemaker) összehúzódásával (szisztolé), illetve elernyedésével(diasztolé) vérnyomáskülönbséget (vérnek az érfalra gyakorolt hidrosztatikai nyomása) tart fenn a teljes keringési rendszerben. A vérnyomás mérésekor mindig két adat olvasható le, a magasabb érték a 'szisztolés nyomás' (amit a szív összehúzódása idéz elő), az alacsonyabb érték a 'diasztolés nyomás' (a szív elernyedett állapotában mérhető nyomás). A vérnyomás értéke sok mindentől függ, egy átlagos embernél nyugalomban $120 \pm 20 / 80 \pm 10$ Hgmm.” [9] Érdekes kiszámolni, hogy ha egy ember szíve, egy összehúzódással átlagosan 80 cm³ vért képes továbbítani az erekbe, ami percenként 5 litert jelent, akkor az egy átlagos élet alatt csak a nyugalmi pulzussal értékével - 72 BPM - számolva átlagosan 15 milliárd liter vér keringtetését jelenti, folyamatos üzemben. Vajon melyik ember által alkotott szivattyú veszi fel

vele a versenyt? A vérnyomás értékéből a normális értéken túl két szélsőértéket is megállapíthatunk. Alacsony vérnyomásnak nevezzük azt, ha a szisztolés érték 100(90) Hgmm alatti, a diasztolés érték pedig 70(60) Hgmm alatti. Magas a vérnyomás, ha a szisztolés 140 Hgmm a diasztolés pedig 90 Hgmm feletti. A középérték intervallumtól való megengedett eltérés az alsó határon több lehet, mint a referencia érték, mert ennek élettani hatása kevésbé káros, mint magas vérnyomás esetén. A szisztolés és a diasztolés érték ellentétes mozgása orvosi gyakorlatban ritkán fordul elő. Általában, ha az egyik érték magas, akkor a másik érték is magas lesz, a szív- és érrendszeri megbetegedések során nagyon ritka esetben fordul elő, hogy a szisztolés és diasztolés vérnyomás eltérő értéken mozogjon. (pl.: Diasztolés magas – Szisztolés alacsony) éppen ezért a rendszerösszeállítása során a két bemeneti paramétert „összevontam”, azaz csak olyan szabály premisszákat engedtem meg melyek a két érték azonos irányba történő elmozdulását veszik figyelembe, ennek megfelelően alacsony, normál és magas értékek származzanak belőle. A döntés oka az volt, hogy más esetekben több és/vagy más megbetegedés együttes kockázata is fennállhat.

3.1.9 Vércukorszint

A szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata 250%-kal magasabb a cukorbetegéknél. Ezért a vércukorszint egyéni értéke nagy jelentőséggel bír a kockázatok között. A nemzetközi normáknak megfelelően értékének éhgyomorra 4-7 mmol/l között kell lennie, mely étkezést követően 60-90 perccel: 5,5-8 mmol/l értékre változik. [10] Ha értéke ennél magasabb, akkor diagnosztizálhatnak cukorbetegséget, ami valójában egy olyan krónikus állapot, mely során a vér glükóztartalma megemelkedik, mert a vérből a sejtekhez történő glükóz eljutása nem megfelelő. A vércukorszint, mint paraméter jelentőségéről árulkodik az, hogy ha a mért érték emelkedett szintű két-három mérés alkalmával, akkor már 99,9%-ban diagnosztizálható a kialakult betegség. A cukor megfelelő felszívódását az inzulin segíti elő; ha a szervezet nem tud inzulint termelni azt 1-es típusú cukorbetegségnek, ha a szervezet az inzulint nem megfelelően használja fel, azt 2-es típusú cukorbetegségnek nevezzük. Másik szélsőérték, bár kevesebbszer emlegetett úgy, mint probléma, ha a vércukorszint 3,9 mmol/l alá esik, ekkor alacsony vércukorszint, vagyis hipoglikémia lép fel. Ez az állapot is kialakulhat az inzulin hatására, de előfordulhat alkoholfogyasztás, hasmenéssel járó betegségek, időjárási szélsőségek

vagy forró fürdő/szauna hatására is. Azonban ebben az esetben a megfelelő diagnózis megállapításához az is hozzátartozik, hogy ezt valamilyen panasz kell, hogy kísérje (nem úgy, mint az emelkedett vércukorszint értéknél): éhségérzet, erőtlenység, izzadás, remegés, fáradtság érzet, homályos látás, stb. mely tünetek általában nagyon gyorsan alakulnak ki. Az alacsony értékű vércukorszint legtöbbször a cukorbetegség kezelésének nem kívánt mellékhatásaként alakulhat ki, de jelentősége és befolyása a szív- és érrendszeri megbetegedésekre csekély.

A kockázatértékelő rendszer összeállítása során orvosi javaslatra finomítottam a fenti határértékeket, és három lehetséges értékkel számoltam: alacsony, normál, magas; ugyan a szakirodalom a magas értéket még tovább bontja kritikus értékre is, azonban az már annyira szélső érték, ami nem releváns jelen esetben, hiszen az már egy létező megbetegedést beállítást állapítja meg.

3.1.10 Koleszterinszint

A koleszterinszint azt mutatja meg mennyi zsír van a vérben. A vérplazmában lévő zsír összetevői között találhatók a foszfolipidek, triglicerid és a koleszterin. A koleszterineken belül számos altípust különböztetünk meg, de klinikailag az LDL- és a HDL-koleszterin a legfontosabb. Az LDL-koleszterin segíti a zsírok lerakódását az érfalakban, ami hosszútávon érlemeszesedéshez vezet, míg a HDL-koleszterin ezzel ellenkezőleg; összegyűjti és a májba továbbítja a véráramban található, illetve a lerakódott koleszterineket. Az LDL-koleszterinszint megemelkedése gyakran triglicerid-emelkedéssel is együtt jár, ami már a korábban említett „metabolikus szindróma” (elhízás, magas vérnyomás, magas vércukorszint, magas koleszterin/triglicerid szint) tüneti együttesének jelenlétére is utalhat. A vérzsírszintre a referencia érték több lehet, laboroktól, különböző kockázati csoportokba tartozó egyénektől, függően, de összességében az egészséges embereknél az összkoleszterin érték alsó határa 2,0 mmol/l, felső határa 5,2 mmol/l. [11]

Ennek megfelelően, normál és emelkedett értéket használtam, mert a normál érték alatti szint statisztikailag nagyon alacsony eséllyel fordul elő. Az emelkedett értéket tovább lehetett volna még bontani, de a vércukorszintnél megállapítottak miatt (már meglévő betegség) nem tettem.

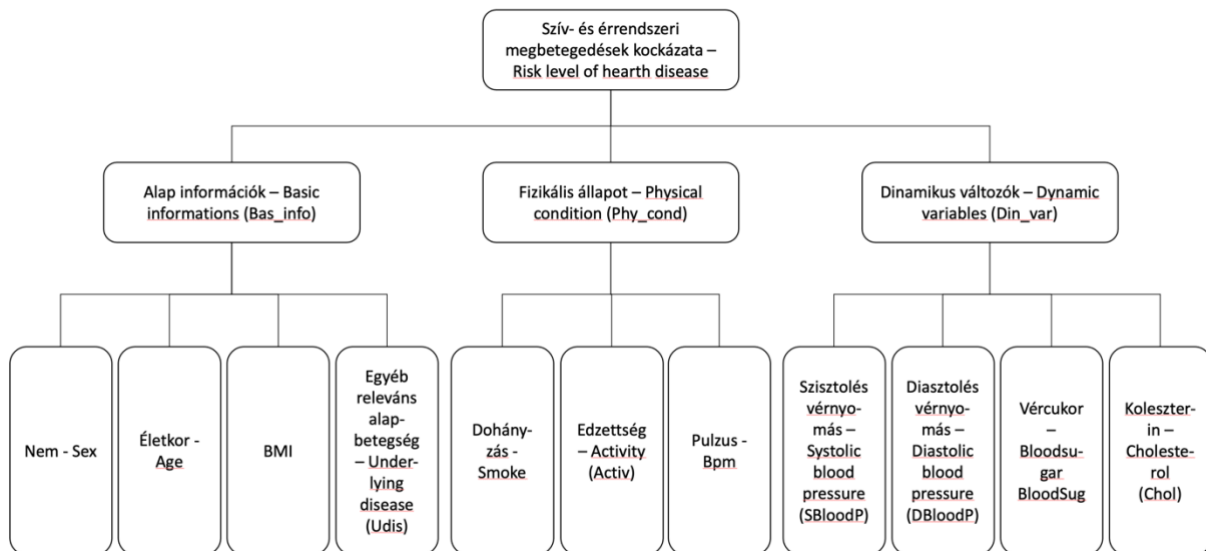
Mint fentebb olvasható volt, minden bemeneti adatot a releváns szakirodalomnak, orvosi gyakorlatnak megfelelően skáláztam. A kialakított tartományokat orvos szakértővel, tapasztalat alapján finomítottam és validáltam, így megállapítottam a lehetséges értékeit a skáláknak. Ennek megfelelően kialakult az alábbi felbontás:

4. táblázat: Bemenő paraméterek skálái és értékei

<i>Bemenő paraméterek</i>						
#	Paraméter	Mértékegység	Állandóság	Értelmezési tartomány	Skálázás	Lehetséges értékek
1.	Nem	Nő/Férfi	Konstans	{0,1}	[0,1]	nő, ffi
2.	Életkor	Év	Kvázi-konstans	0-120	[0-18, 19-24, 25-35, 36-50, 51-75, 76-120]	nagyon fiatal, fiatal, még fiatal, közép, idős, öreg
3.	BMI	Kg/m ²	Kvázi-konstans	15-40	[0-18,5; 18,51-25,00; 25,01-30,00; 30,01-40,00]	sovány, normál, túlsúly, elhízás
4.	Egyéb releváns alapbetegségek	Igen/Nem	Kvázi-konstans	0-1	[0,1]	igen, nem
5.	Dohányzás	Igen/Nem	Kvázi-konstans	0-1	[0,1]	igen, nem
6.	Edzettség	db	Változó	0-10	[0-1; 2; 3-4; 5-6; 7-]	kevés, normál, ideális, aktív, verseny,
7.	Nyugalmi pulzus	bpm	Változó	40-240	[40-60, 61-120, 121-240]	alacsony, normál, szapora
8.	Szisztolés vérnyomás	mmHg	Változó	40-280	[60-89, 90-139, 140-280]	alacsony, normál, magas
9.	Diasztolés vérnyomás	mmHg	Változó	40-180	[30-59, 60-89, 90-180]	alacsony, normál, magas
10.	Vércukor	mmol/l	Változó	2-20	[2-3,8; 3,9-5,8; 5,9-20]	alacsony, normál, magas,
11.	Koleszterin	mmol/l	Változó	2-8	[2-5,2; 5,3-8]	normál, emelkedett

A mérendő tényezőket ezt követően csoportosítottam és létrehoztam egy hierarchikus felépítésű rendszert. Ha csak egy szintet alakítottam volna ki, akkor a szabályok száma a bemeneti paraméterek számával exponenciálisan nőtt volna, ami indokolatlan számítási kapacitást, azzal együtt futási idő növekedést eredményezett volna. [2] A strukturált modell biztosítja, a részproblémákra bontást, így a szabályok száma lineáris növekedésű, ezáltal redukálható a hozzárendelt szabálybázis, ami gyorsabb döntéshozatalt biztosított a rendszer számára. Továbbá az emberi gondolkodást is jobban leképezi, mert egy orvos a vizsgálata során a diagnózist is úgy állítja fel, hogy részproblémáról részproblémára ugorva zárja ki a lehetséges megbetegedés okait / tüneteit. Az alrendszerek felállítása során figyelembe kellett vennem a paraméterek állandóságát is. Ez azért volt fontos, mert ha egy alrendszeren belül megtalálható egy konstans és egy változó állandóságú paraméter is, akkor a szabályrendszer következetlenséget indukálhat, mert a paraméterek egymáshoz való viszonya, kölcsönhatása torzul az egyik dominanciája miatt. Azaz ebben az esetben nehéz eldönteni, vagy egyáltalán

nem lehet, hogy melyik paramétert fontosságát tekintem elsődlegesnek. Felépítése az alábbi ábra szerint történt:



7. ábra: Modell felépítése

A szív- és érrendszeri megbetegedés kockázatát befolyásoló bemeneti paramétereket három alrendszerhez csoportosítottam, annak megfelelően, hogy az adott paraméter milyen tulajdonságokkal rendelkezik. A három alrendszer:

1. Alap információk
2. Fizikális állapot
3. Dinamikus változók

Az Alap információk közé azok a paraméterek kerültek, melyek konstansok vagy kvázi-konstansok, de a szakirodalom a paramétereken belül megfelelő csoportra osztásokkal rendelkezik és az értékük nem, vagy csak nagyon hosszú idő alatt változik. A Fizikális állapot alrendszerbe a kondíciót jelentősen befolyásoló tényezők kerültek, melyek értékei már középtávon változtathatók. Az utolsó alrendszerbe olyan paramétereket csoportosítottam, melyek értékei rövid távon változhatnak és hatásai jelentősek, azaz a jelzett értékük már kritikus megítélésű lesz. Mindegyik alcsoport szintén skálázásra került [0,1] intervallum tartományon, ahol a lehetséges értékek minden alcsoportnál: nagyon rossz, rossz, közepes, jó és kiváló típusú lett. Erre azért volt szükség, mert az alcsoportok egyfelől kimentí paraméterek az alap 11 egészségügyi bemeneti paraméter számára, másfelől bemeneti paraméterek a teljes – megbetegedés kockázata - rendszer szempontjából.

4. A SZABÁLYRENDSZER ÉS A KIÉRTÉKEELÉS FOLYAMATÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Annak megállapítására, hogy minél pontosabb szabályrendszert tudjak kialakítani, az egyes alcsoportokon belül vizsgálnom kellett a kockázati tényezők viszony szintjeit egymással párban. Erre a bevezetőben is említett R. W. Saaty által megalkotott AHP módszert alkalmaztam. [12], [13], [14] A három alrendszerbe csoportosított bemeneti paramétereket ($X_1, X_2, \dots, X_n$) alrendszerenként külön-külön vizsgáltam. Először megállapítottam egymáshoz való fontosságuk mértékét, melyet a Saaty-skála 1-9 terjedő értéke alapján megadtam.

- 1 volt az értéke, ha egymáshoz képest egyenlő fontosságúak,
- 3 ha közepesen előnyben részesített,
- 5 ha erősen-,
- 7 ha nagyon erősen- és
- 9 ha extrém erősen előnyben részesített az egyik tulajdonság a másikhoz képest.

(A páros értékeket - 2,4,6,8 - nem használtam, azok középértékek két mérték között, de a módszer kidolgozója javaslata alapján, csak nagyon indokolt esetben használatosak.)

Ezt egy $A_n \times n$ összehasonlító mátrixba foglaltam. Ha X_1 paraméter tulajdonsága fontosabb volt X_2 tulajdonságnál akkor a táblázatban X_1 kapott egy fontossági értéket. Amikor ismét összehasonlításra került a két tulajdonság, X_2 tulajdonság X_1 tulajdonsággal akkor ott X_2 tulajdonság megkapta az előző érték reciprokát. Így kialakult egy olyan összehasonlító négyzetes mátrix, ahol a főátló elemeinek értéke 1, mert ilyenkor önmagával volt összehasonlítva a tulajdonság. Ebből a mátrixból kiszámítható mindegyik bemeneti paraméter „sajátvektora”, ami az alcsoporton belüli súlyát adja meg. Ezt a kritikus műveletet is orvos szakértő bevonásával végeztem el. Mert a kapott súlynak tükröznie kellett, orvosi szempontból adott tulajdonság alcsoporton belüli fontossági elhelyezkedését. A kapott eredmény lett az összeállított szabályrendszerben a kimeneteket jelentősen befolyásoló tényező.

Azon túl, hogy ennek segítségével megkaptam a bemenő paraméterek súlyát az egyes alcsoportokon belül, az AHP segítségével minden alcsoportban vizsgáltam a viszonyok következetességi arányát és ezáltal arra a megállapításra juthattam, hogy a kialakított viszonyrendszer következetes-e. Amennyiben a következetességi arány 10% alatti, akkor a kialakított fontossági viszonyrendszer következetes. Az alábbi táblázatokban látható az AHP

alapján az egyes alcsoportokra kialakított fontossági sorrend, súly és következetesség megállapítása:

5. táblázat: AHP összehasonlítás Alap információk alcsoport

Alap információk - Bas_info						
	Nem	Életkor	BMI	Alapbetegség		
Nem	1	1/2	1/3	1/5		
Életkor	2	1	1/2	1/3		
BMI	3	2	1	1/3		
Alapbetegség	5	3	3	1		
Total (sum)	11	6,5	4,833333333	1,8667		
	Nem	Életkor	BMI	Alapbetegség	Sajátvektor	Súly
Nem	0,0909	0,0769	0,0690	0,1071	0,0860	8,60%
Életkor	0,1818	0,1538	0,1034	0,1786	0,1544	15,44%
BMI	0,2727	0,3077	0,2069	0,1786	0,2415	24,15%
Alapbetegség	0,4545	0,4615	0,6207	0,5357	0,5181	51,81%
		Max sajátvektor (λ max) :			4,0838	
		Következetességi mutató(λ max-n/n-1):			0,0279	
		Következetességi arány (CI):			3,11%	
		Következetes (CR):			IGEN	

6. táblázat: AHP összehasonlítás Fizikális állapot alcsoport

Fizikális állapot - Phy_cond					
	Dohányzás	Edzettség	Nyugalmi Pulzus		
Dohányzás	1	5	3		
Edzettség	1/5	1	1/2		
Nyugalmi Pulzus	1/3	2	1		
Total (sum)	1,5333	8	4,5		
	Dohányzás	Edzettség	Nyugalmi Pulzus	Sajátvektor	Súly
Dohányzás	0,6522	0,6250	0,6667	0,6479	64,79%
Edzettség	0,1304	0,1250	0,1111	0,1222	12,22%
Nyugalmi Pulzus	0,2174	0,2500	0,2222	0,2299	22,99%
	Max sajátvektor (λ max) :			3,0054	
	Következetességi mutató(λ max-n/n-1):			0,0027	
	Következetességi arány (CI):			0,47%	
	Következetes (CR):			IGEN	

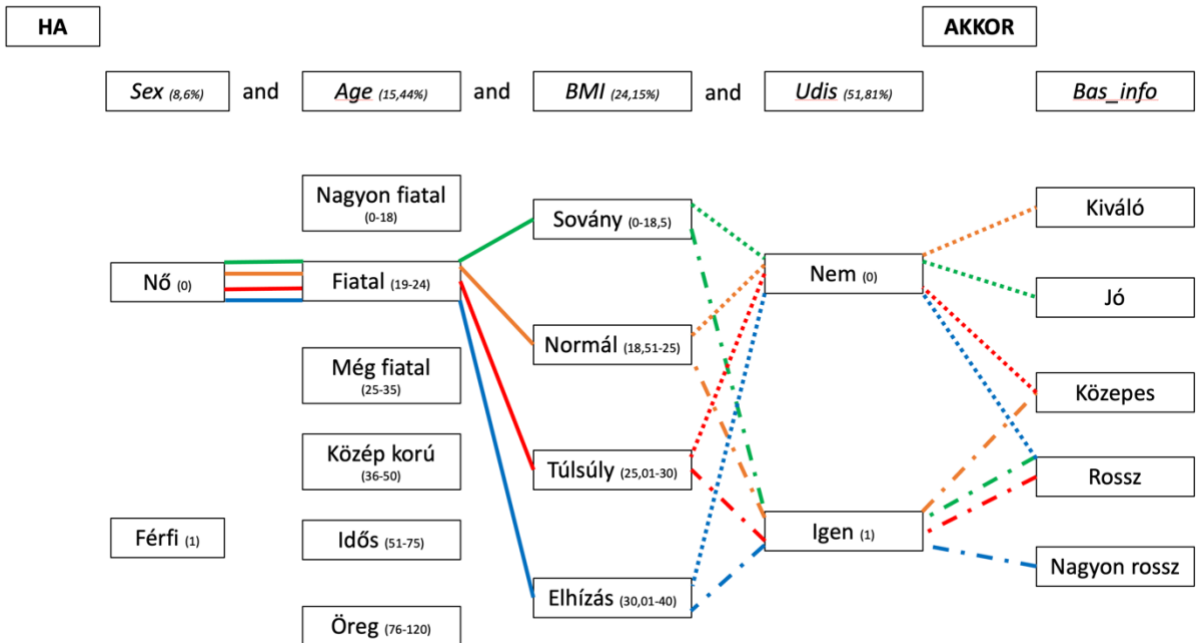
7. táblázat: AHP összehasonlítás Dinamikus változók alcsoport

Dinamikus változók - Din_var						
	Szisztolés	Diasztolés	Vércukor	Koleszterin		
Szisztolés	1	1	1/3	1/5		
Diasztolés	1	1	1/3	1/5		
Vércukor	3	3	1	1/3		
Koleszterin	5	5	3	1		
Total (sum)	10	10	4,6667	1,7333		
	Szisztolés	Diasztolés	Vércukor	Koleszterin	Sajátvektor	Súly
Szisztolés	0,1000	0,1000	0,0714	0,1154	0,0967	9,67%
Diasztolés	0,1000	0,1000	0,0714	0,1154	0,0967	9,67%
Vércukor	0,3000	0,3000	0,2143	0,1923	0,2516	25,16%
Koleszterin	0,5000	0,5000	0,6429	0,5769	0,5549	55,49%
		Max sajátvektor (λ max) :			4,0703	
		Következetességi mutató(λ max-n/n-1):			0,0234	
		Következetességi arány (CI):			2,60%	
		Következetes (CR):			IGEN	

A táblázatokból megállapítható, hogy az egyes paraméterek milyen súllyal szerepelnek az alcsoporton belül és kijelenthető, hogy mindegyik alrendszerben a tartalmazott bemeneti paraméterek tulajdonságainak egymáshoz képesti viszonya következetes. Mivel mindegyik alrendszer egyenlő súllyal (33,33%) számít a teljes rendszer szempontjából, ezért azok egymáshoz képesti viszonyát nem vizsgáltam.

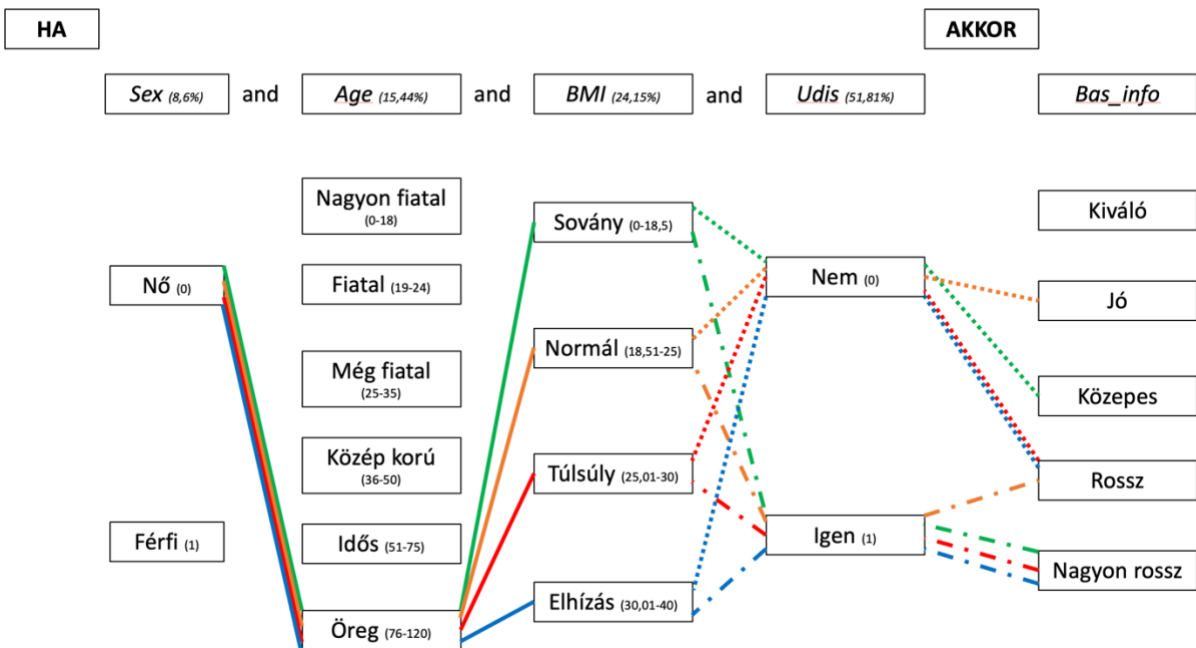
Fenti súlyponti értékeket figyelembe véve a következő lépésben az összes alcsoportban kialakítottam a szabályrendszerem. Ebben jelentős szerepet kapott az orvos szakértővel folytatott konzultáció, iránymutatás, mert a kimeneteket csakis szakértői vélemény alapján, tapasztalati úton lehet pontosan meghatározni. Ez az a pontja a rendszernek, hogy ezen információk hiányában, gyakorlatilag nem lehetett volna tovább folytatni a modellalkotást. Mert hiába írja le a szakirodalom egy-egy tünet, tulajdonság hatásait adott megbetegedésre, teljesen más az eredmény több tulajdonság együttes hatása esetén. A megfelelően működő kiértékelő rendszer kialakításához szükséges volt egyenként az összes lehetséges paraméter kombináció kimenetét eredményező szabály megalkotására. Az első alcsoport – Alap információk – esetén ez 96 különböző kimenetet eredményező szabályrendszert adott. Az alábbi képeken ebből az alrendszerből két példa látható:

2) Nő - fiatal



8. ábra: Alap információk - Fiatal nő szabályrendszer

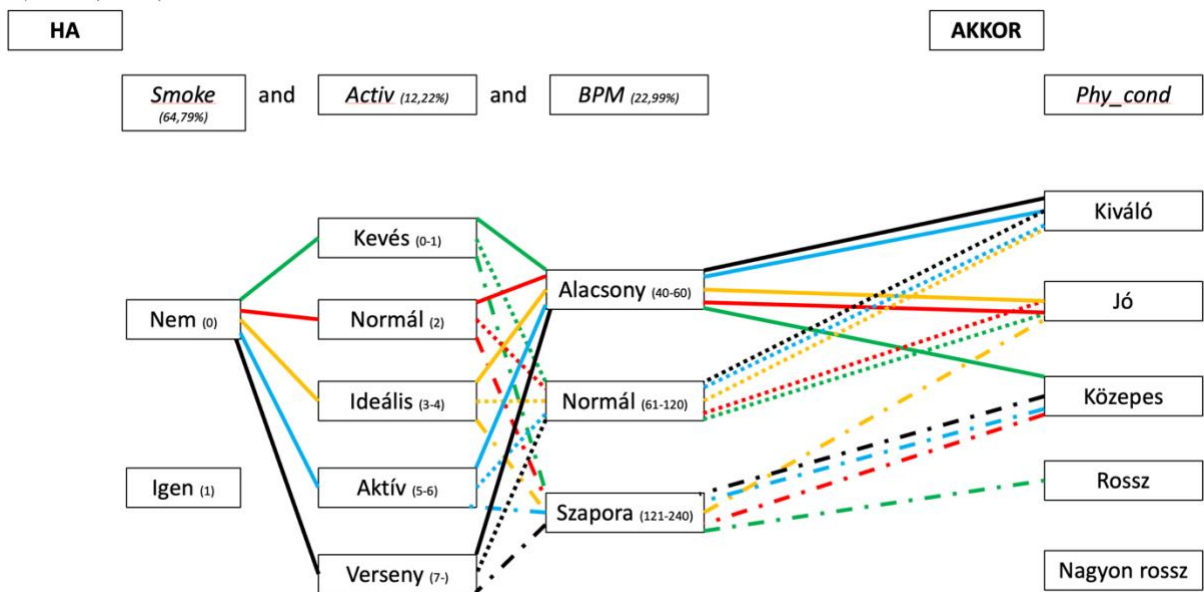
6) Nő - öreg



9. ábra: Alap információk – Öreg nő szabályrendszer

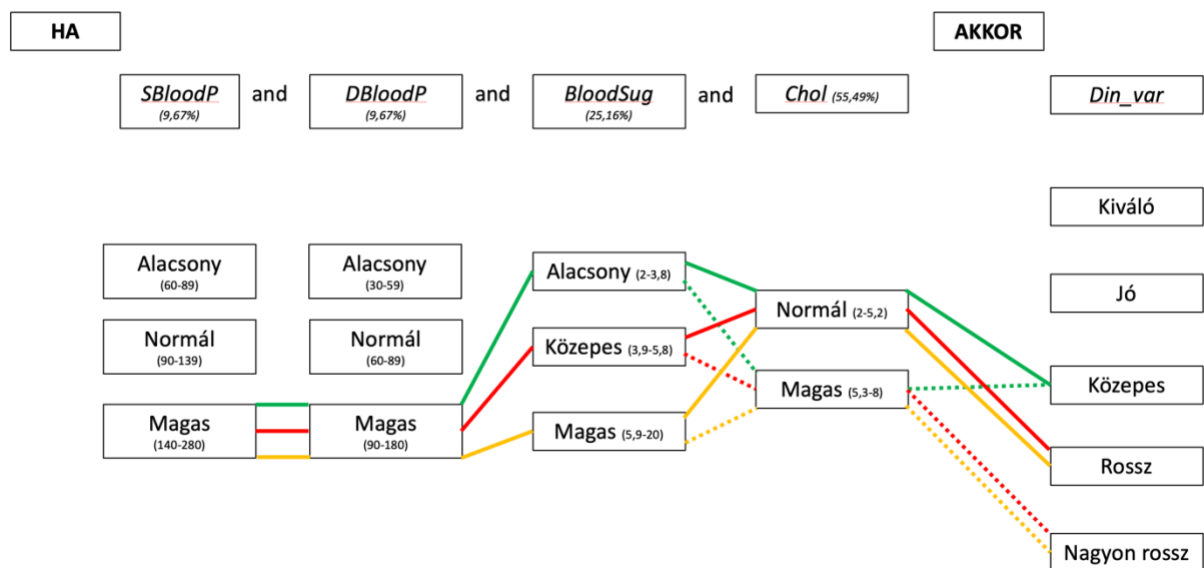
A Fizikális állapot alrendszerénél 30 szabályból álló rendszert és a Dinamikus változók alrendszerénél 18 szabályból álló rendszert állítottam össze:

1) Nem dohányzók szabályrendszere



10. ábra: Fizikális állapot – Nem dohányzók szabályrendszere

3) Magas vérnyomás szabályrendszere



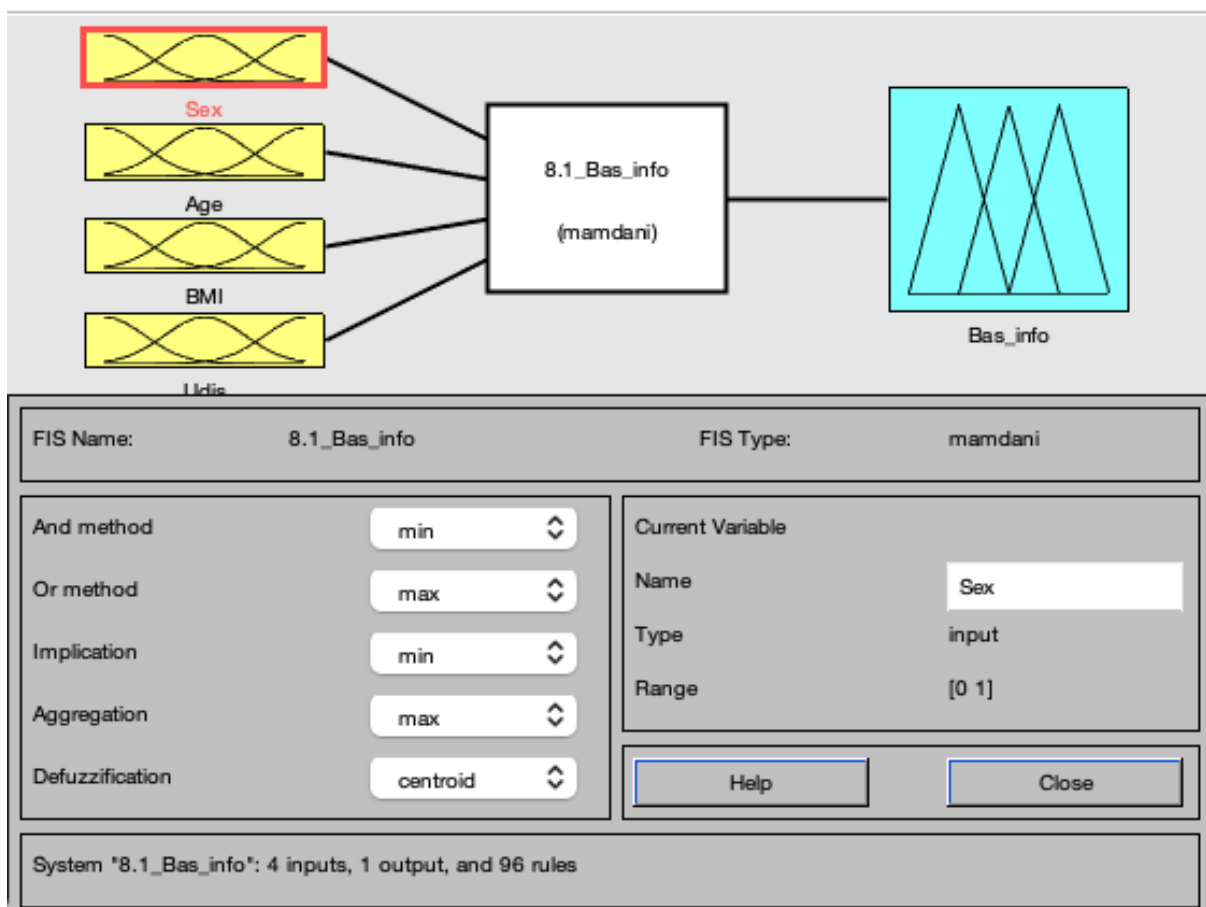
11. ábra: Dinamikus változók alrendszer – Magas vérnyomás szabályrendszere

A három alrendszer kimenetéből kialakított szabályrendszer - a teljes kockázatbecslő rendszer - további 125 szabálykombinációt adott, összességében 269 szabályból álló rendszert alkottam meg.

5. A KÖVETKEZTETÉSI RENDSZER IMPLEMENTÁLÁSA

Miután rendelkezésemre állt minden bemeneti paraméter tulajdonsága, tanulmányoztam kölcsönhatásukat és megalkottam a releváns alrendszereket, kiszámoltam a bemeneti paraméterek egymáshoz képesti viszonyát, súlyát és kialakítottam a szabályrendszeremet, majd a teljes következtetési rendszer implementálása következett. Az egyszerűbb számíthatóság, illetve a halmazokhoz való kielégítő illeszkedés okán egyszerű háromszög és trapéz tagsági függvénnyé alakítottam a halmazokat, és meghatároztam az egyes fuzzy halmazokhoz tartozás mértékét. A háromszög és a trapéz alakú függvényeket a (2.4) és (2.5) szerint dolgoztam ki. Az implementálás során segítségemre volt a MATLAB alkalmazás Fuzzy Logic Toolbox-a.

A fuzzy következtetési rendszerek közül a modellem bemeneti, illetve kimeneti paramétereire az a legjobban illeszkedő **MAMDANI módszer** alkalmaztam. A módszer szabályait a (2.11) szerint írtam fel. A Mamdani módszer gyakorlati alkalmazása az Alap információk alrendszeren az alábbi ábrán látható:



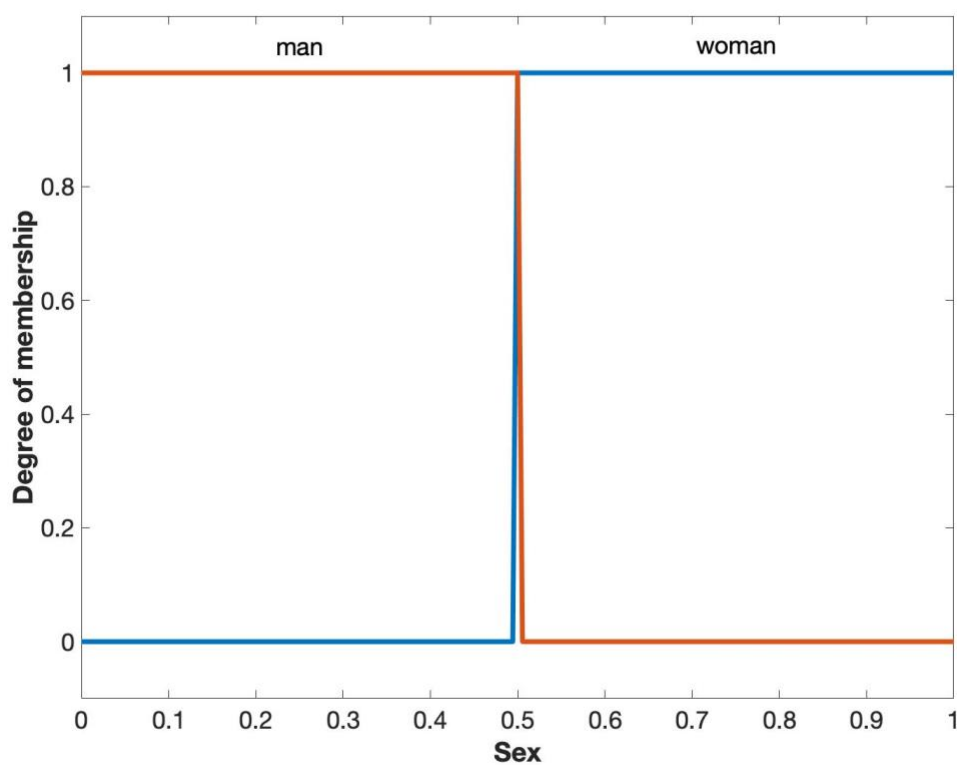
12. ábra: Alap információk alrendszeren Mamdani típusú módszer alkalmazása

A szabályrendszeremet, a szakértői tudás implementálásával **ÉS kapcsolatokkal** (t-norma operátorral (2.11) szerint) alakítottam ki. Ahhoz, hogy teljes legyen a szabályrendszerem, a szabálypremisszák előállításánál az összes lehetséges kombinációt elvégeztem, a bemenetekhez tartozó fuzzy halmazokon, minimum konjunkciós operátor segítségével.

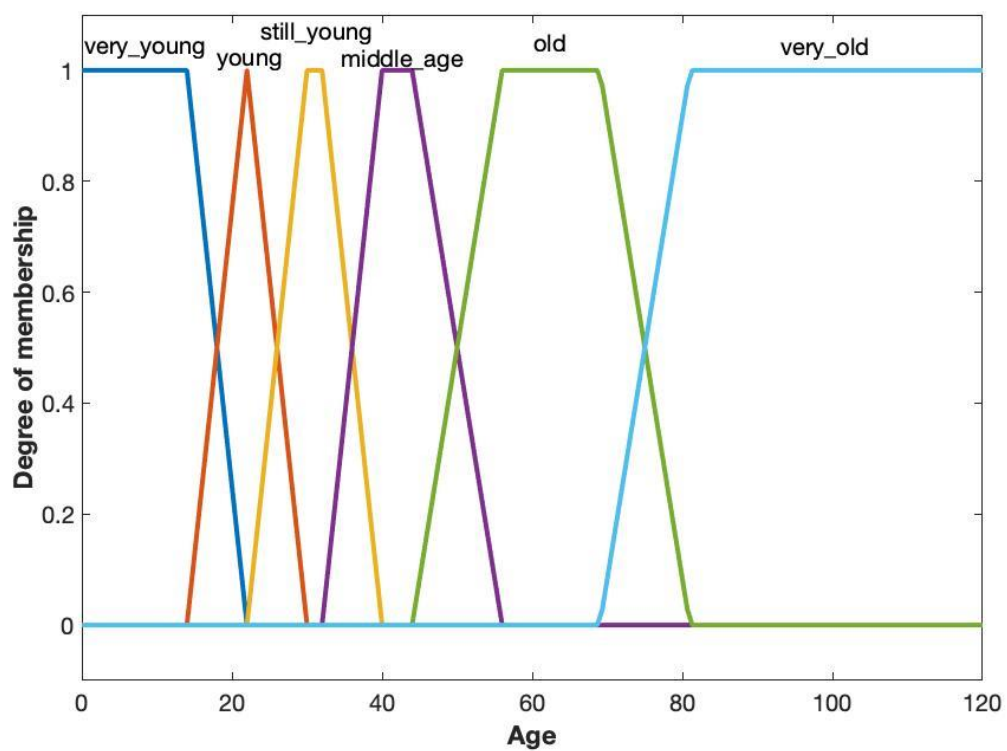
$$w_i = \min (\mu_{A_{kj}}) \quad (5.1)$$

ahol $\mu_{A_{kj}}(x)$: a j-edik bemenet k-adik tagsági függvénye.

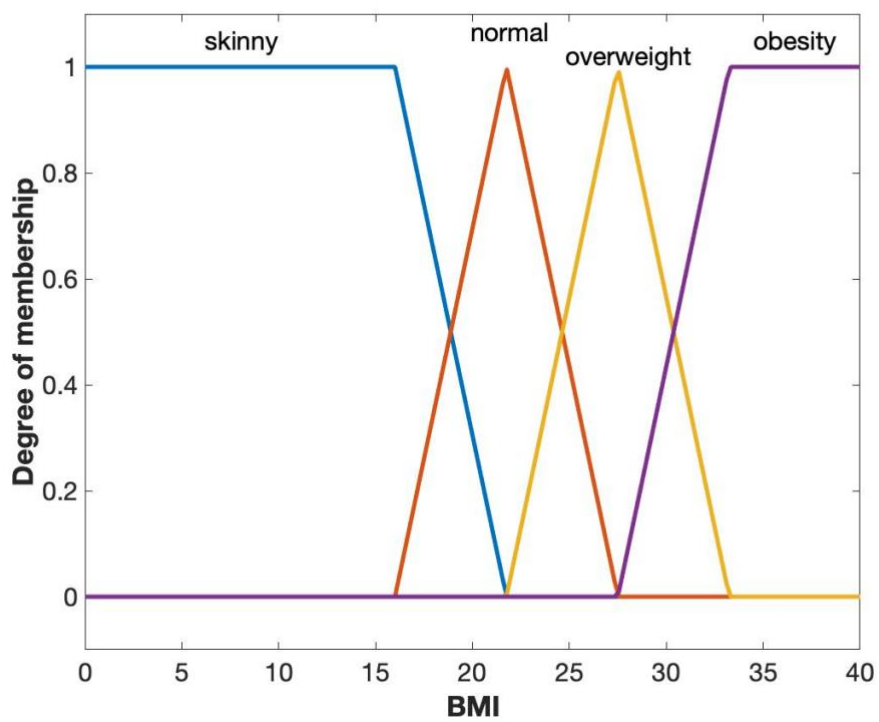
A szabályrendszeremhez a bemeneti változók tagsági függvényeinek meghatározását a (2.4) és (2.5) valamint egyedi paraméter jellemzők alapján a következően alakítottam ki:



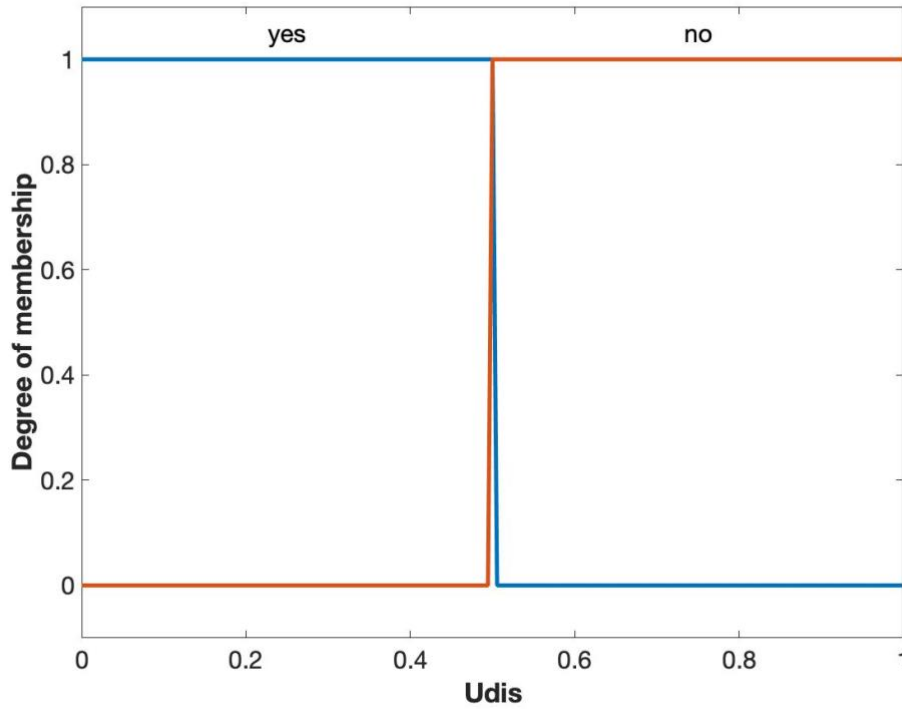
13. ábra: Biológiai nem tagsági függvénye



14. ábra: Életkor tagsági függvénye



15. ábra: BMI tagsági függvénye



16. ábra: Egyéb releváns alapbetegségek tagsági függvénye

A szabályrendszerhez tartozó tüzelési szint meghatározását követően azt is meghatároztam, hogy az adott szabályok milyen mértékben vesznek majd részt a rendszerem kimenetében, amely műveletet **minimum implikációs operátor** segítségével végeztem el.

$$y_{B_i} = \min(w_i, \mu_{B_i}) \quad (5.2)$$

ahol w_i : az i-edik szabály tüzelési szintje és μ_{B_i} : az i-edik szabály kimeneti fuzzy halmaza.

Az implikáció meghatározása után a szabályonkénti kimeneteket a fuzzy halmazokon értelmezett **max aggregációs** operátorok, azaz a Zadeh-féle halmazok uniója meghatározásával zártam:

$$s(a, b) = \max(a, b) \quad (5.3)$$

általánosan felírva:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i y_{B_i} \quad (5.4)$$

1. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is skinny) and (Udis is yes) then (Bas_info is average) (1)
 2. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is skinny) and (Udis is no) then (Bas_info is excellent) (1)
 3. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is normal) and (Udis is yes) then (Bas_info is good) (1)
 4. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is normal) and (Udis is no) then (Bas_info is excellent) (1)
 5. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is overweight) and (Udis is yes) then (Bas_info is average) (1)
 6. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is overweight) and (Udis is no) then (Bas_info is good) (1)
 7. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is obesity) and (Udis is yes) then (Bas_info is bad) (1)
 8. If (Sex is woman) and (Age is very_young) and (BMI is obesity) and (Udis is no) then (Bas_info is average) (1)
 9. If (Sex is woman) and (Age is young) and (BMI is skinny) and (Udis is yes) then (Bas_info is bad) (1)
 10. If (Sex is woman) and (Age is young) and (BMI is skinny) and (Udis is no) then (Bas_info is good) (1)
 11. If (Sex is woman) and (Age is young) and (BMI is normal) and (Udis is yes) then (Bas_info is average) (1)

If Sex is and Age is and BMI is and Udis is Then Bas_info is

woman very_young skinny yes very_bad
 man young bad
 none still_young average
 middle_age good
 old excellent
 very_old none
 none

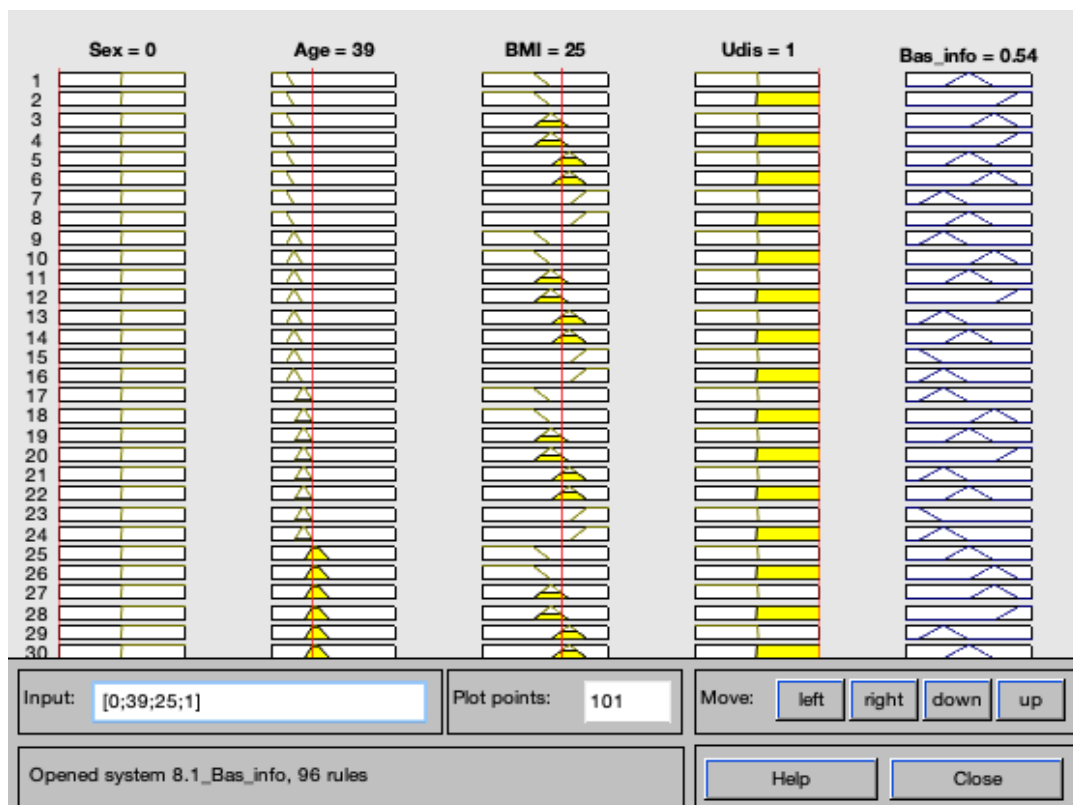
☐ not ☐ not ☐ not ☐ not ☐ not

Connection: ☐ or ☒ and Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: 8.1_Bas_info Help Close

17. ábra: Alap információk alrendszer szabályrendszere



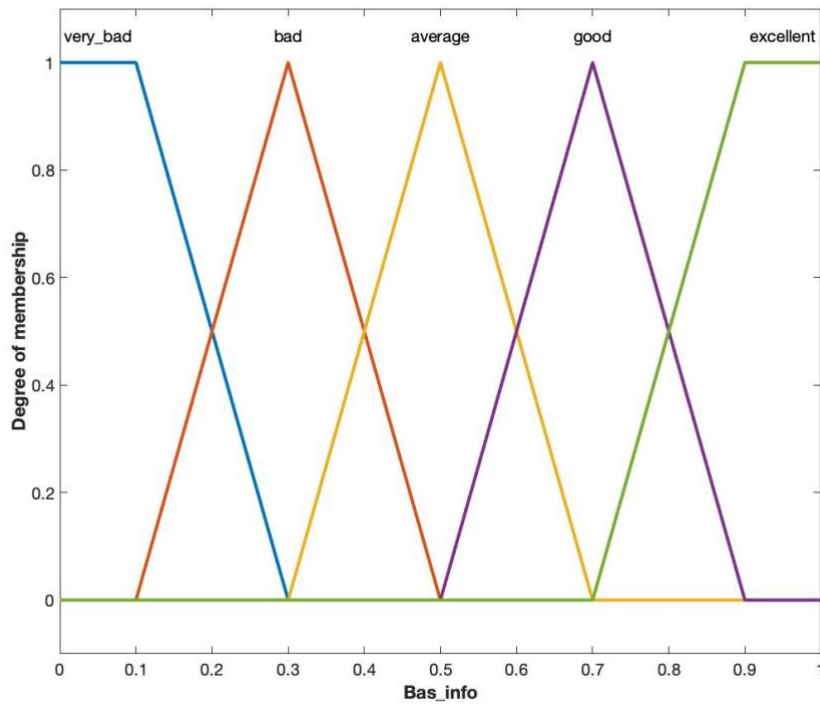
18. ábra: Alap információk alrendszer szabálykimenetei

Az aggregált halmazok ugyan többletinformációt hordoznak, mint egy konstans eredmény, de sok esetben defuzzifikálni szükséges. [15] A defuzzifikációs módszerek közül a **súlyponti – centroid / center of gravity (COG) – módszert** választottam, aminek a kiszámítása a következő:

$$y_{out_{COG}} = \frac{\int_{y \in \mu_B} \mu_B(y) y dy}{\int_{y \in \mu_B} \mu_B(y) dy} \quad (5.5)$$

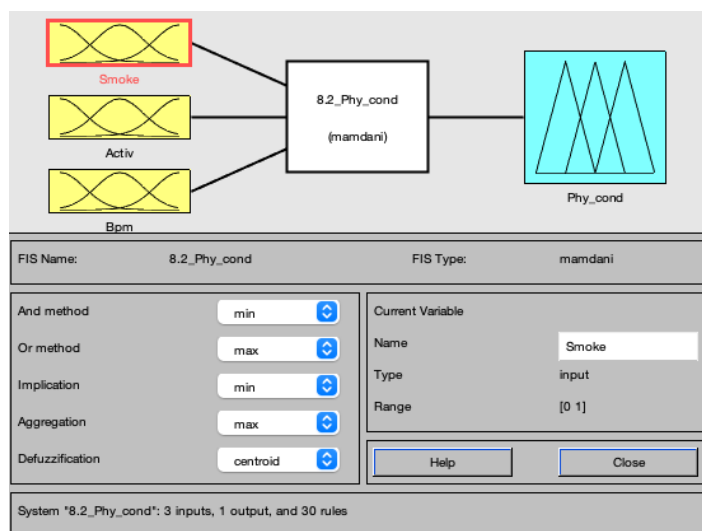
ahol $\mu_B(y)$ az aggregáció eredményeként kapott halmaz.

Ez több szempontból is előnyös, egyfelől kis értékeltéréssel reagál a crisp következményben a szabályok kis mértékű változására, ami fontos volt az alkalmazott próba-hiba módszer miatt, másfelől így volt hatása minden tüzelő szabálynak a defuzzifikált érték meghatározásában.

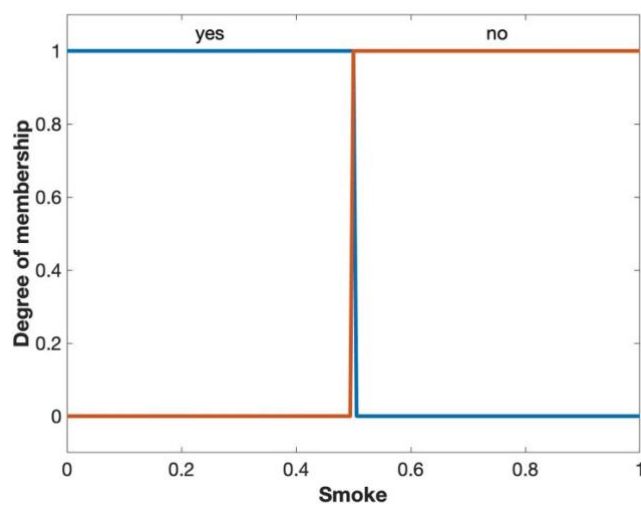


19. ábra: Alap információk alrendszer kimeneti függvénye, ami egyben a teljes rendszer bemeneti függvénye is.

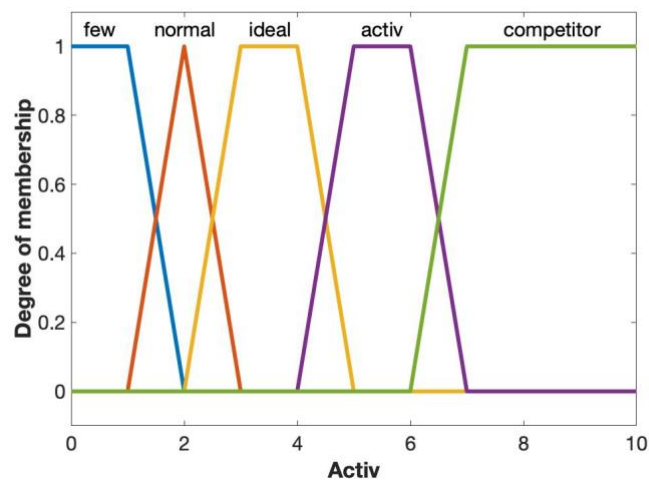
A következtetési rendszer implementálását minden alrendszerre és az alrendszerekből összeálló teljes szív- és érrendszeri megbetegedések kockázatát vizsgáló rendszerre ugyanazzal az eljárással és operátorokkal végeztem el. Ennek eredményeként lett kész az egész kockázatbecslő modellem, ami az alábbi ábrákon látható:



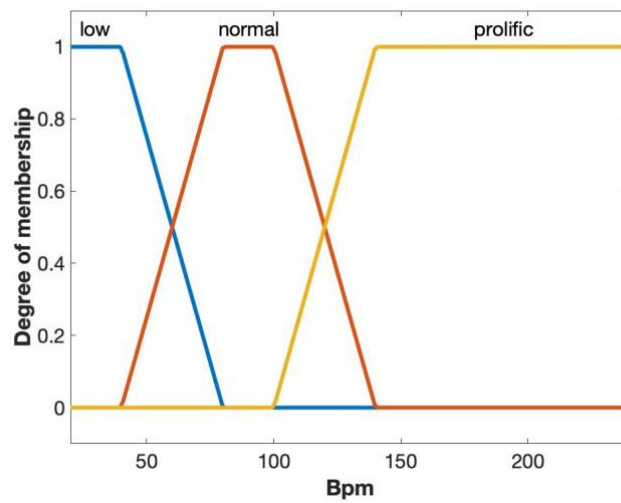
20. ábra: Fizikális állapot alrendszeren Mamdani típusú módszer alkalmazása



21. ábra: Dohányzás tagsági függvénye



22. ábra: Edzettség tagsági függvénye



23. ábra: Nyugalmi pulzus tagsági függvénye

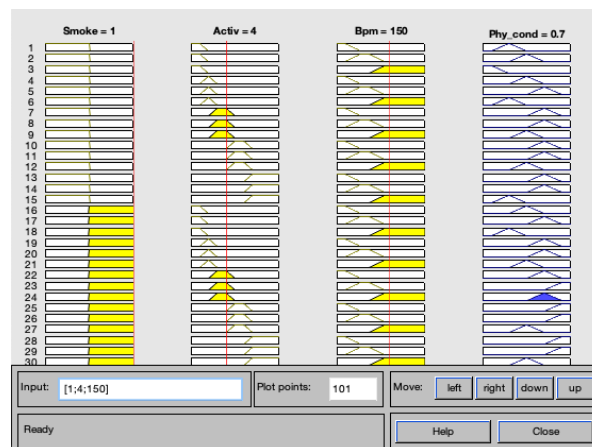
1. If (Smoke is yes) and (Activ is few) and (Bpm is low) then (Phy_cond is bad) (1)
 2. If (Smoke is yes) and (Activ is few) and (Bpm is normal) then (Phy_cond is average) (1)
 3. If (Smoke is yes) and (Activ is few) and (Bpm is prolific) then (Phy_cond is very_bad) (1)
 4. If (Smoke is yes) and (Activ is normal) and (Bpm is low) then (Phy_cond is average) (1)
 5. If (Smoke is yes) and (Activ is normal) and (Bpm is normal) then (Phy_cond is good) (1)
 6. If (Smoke is yes) and (Activ is normal) and (Bpm is prolific) then (Phy_cond is bad) (1)
 7. If (Smoke is yes) and (Activ is ideal) and (Bpm is low) then (Phy_cond is good) (1)
 8. If (Smoke is yes) and (Activ is ideal) and (Bpm is normal) then (Phy_cond is good) (1)
 9. If (Smoke is yes) and (Activ is ideal) and (Bpm is prolific) then (Phy_cond is average) (1)
 10. If (Smoke is yes) and (Activ is activ) and (Bpm is low) then (Phy_cond is good) (1)

If Smoke is and Activ is and Bpm is Then Phy_cond is
☐ not ☐ not ☐ not ☐ not

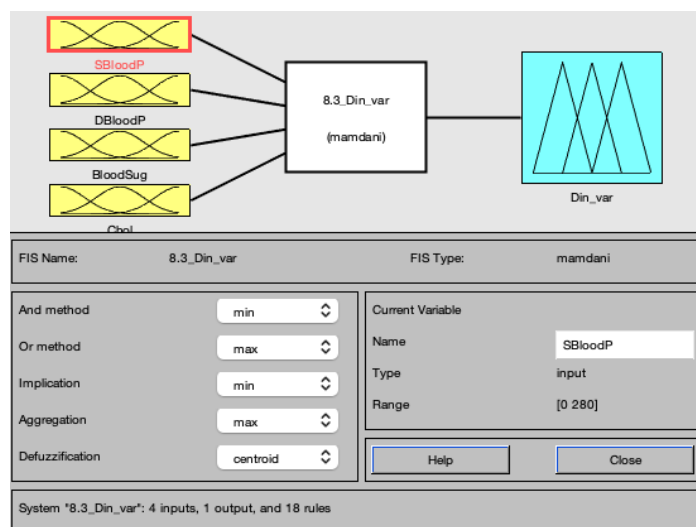
Connection: ☐ or ☒ a... Weight:

FIS Name: 8.2_Phys_cond

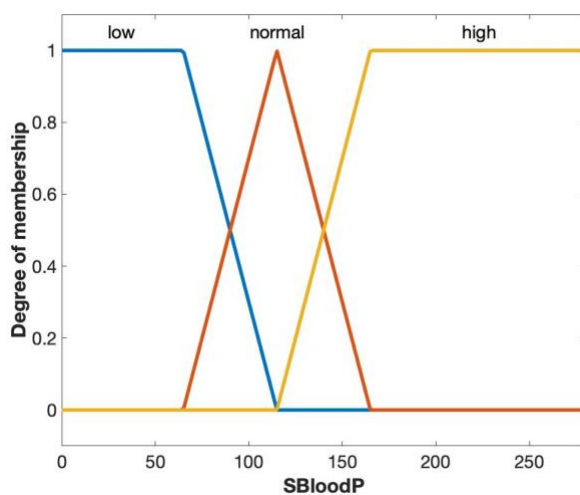
24. ábra: Fizikális állapot alrendszer szabályrendszere



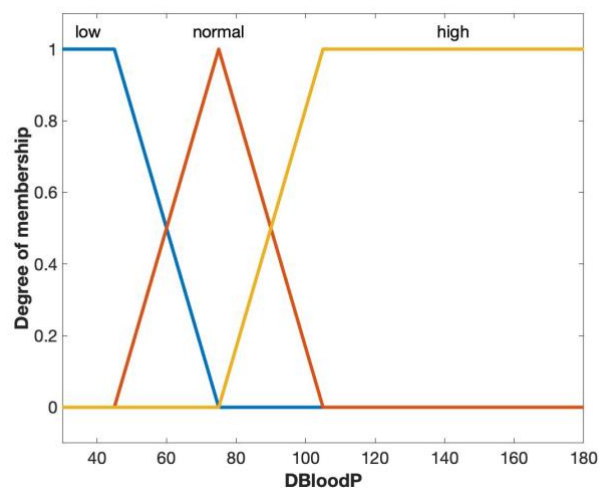
25. ábra: Fizikális állapot alrendszer szabálykimenetei



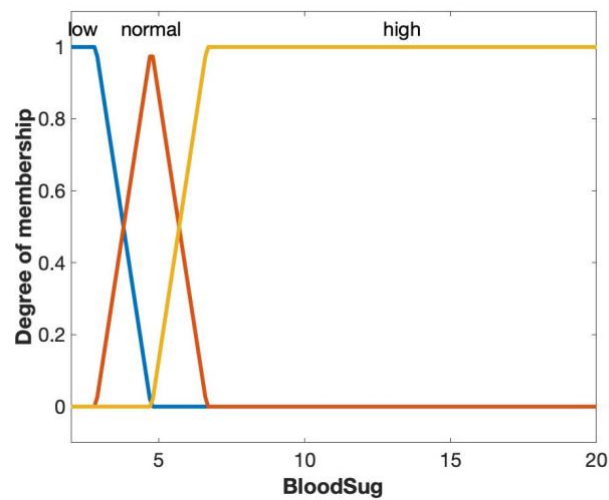
26. ábra: Dinamikus alrendszeren Mamdani típusú módszer alkalmazása



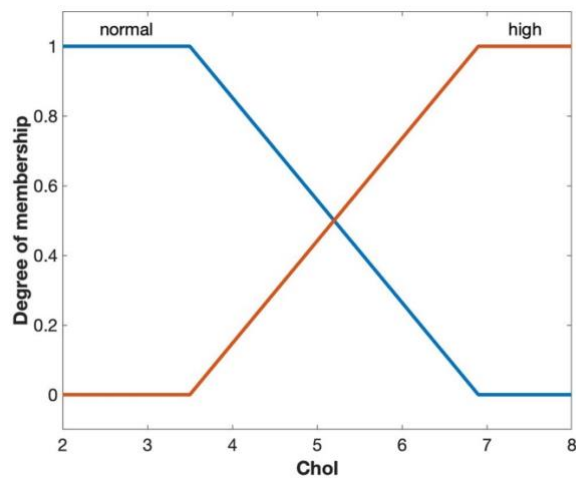
27. ábra: Szisztolés vérnyomás tagsági függvénye



28. ábra: Diasztolés vérnyomás tagsági függvénye



29. ábra: Vércukorszint tagsági függvénye



30. ábra: Koleszterinszint tagsági függvénye

1. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is low) and (Chol is normal) then (Din_var is average) (1)
 2. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is low) and (Chol is high) then (Din_var is bad) (1)
 3. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is normal) and (Chol is normal) then (Din_var is good) (1)
 4. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is normal) and (Chol is high) then (Din_var is bad) (1)
 5. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is high) and (Chol is normal) then (Din_var is bad) (1)
 6. If (SBloodP is low) and (DBloodP is low) and (BloodSug is high) and (Chol is high) then (Din_var is very_bad) (1)
 7. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is low) and (Chol is normal) then (Din_var is good) (1)
 8. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is low) and (Chol is high) then (Din_var is average) (1)
 9. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is normal) and (Chol is normal) then (Din_var is good) (1)
 10. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is normal) and (Chol is high) then (Din_var is average) (1)
 11. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is high) and (Chol is normal) then (Din_var is good) (1)
 12. If (SBloodP is normal) and (DBloodP is normal) and (BloodSug is high) and (Chol is high) then (Din_var is very_bad) (1)

If	SBloodP is	and	DBloodP is	and	BloodSug is	and	Chol is	Then	Din_var is
	low		low		low		normal		very_bad
	normal		normal		normal		high		bad
	high		high		high		none		average
	none		none		none		none		good
									excellent
									none

☐ not
 ☐ not
 ☐ not
 ☐ not
 ☐ not

Connection: ☐ or ☒ and
 Weight:

<<
>>

FIS Name: 8.3_Din_var

31. ábra: Dinamikus változók alrendszer szabályrendszere

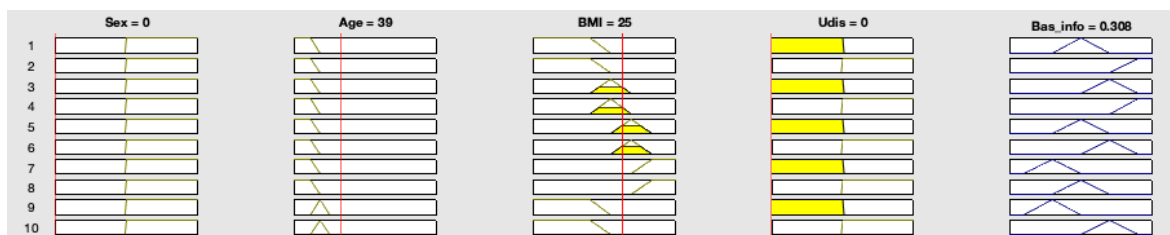
6. MŰKÖDŐ RENDSZER VALIDÁLÁSA, ESETTANULMÁNYOK

Miután elkészítettem a rendszert, meg kellett vizsgálnom, annak helyes működését. Elsőnek magamon próbáltam ki. A bemeneti paramétereim a következők:

- Alap információk: férfi, 39 éves, 25-ös BMI, van alapbetegségem;
- Fizikális állapot: nem dohányzom, heti 3 alkalommal edzek, 60-as BPM;
- Dinamikus változók: 120/90 Hgmm vérnyomás, 4,1 mmol/l vércukor, 4,5 mmol/l koleszterin

alapján kapott alrendszeri értékek [0,1] intervallumon, ahol a 0 legrosszabb, az 1 a legjobb érték:

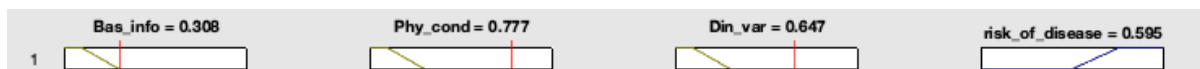
- Alap információk: 0,308
- Fizikális állapot: 0,777
- Dinamikus változók: 0,647



32. ábra: Alap információk alrendszer állítható paraméterit mutató szabályrendszer első teszt

A három alrendszert összevonva, a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata szempontjából a kapott kockázati érték [0,1] intervallumon, ahol a 0 legjobb, az 1 a legrosszabb érték:

0,595



33. ábra: Szív- és érrendszeri megbetegedés kockázata érték első teszt

Orvosi konzultációt követően, azt a visszacsatolást kaptam, a validálás szempontjából, hogy az eredmény teljes mértékben releváns. Minden megadott érték optimális (közép értékű, átlagos) tartományba esik, kivéve az enyhe túlsúlyt - ami az egyik fő rizikófaktor - és a meglévő alapbetegséget. Ezért ez a közepes / átlagos értéktől a magas irányába enyhén eltolódva megfelelően tükrözi a megbetegedés kockázatát.

Ezt követően orvosi közreműködéssel elvégeztem több átlagos és szélső értékű bemeneti paraméterekkel rendelkező páciens tesztelését. Erre két további példát mutatok be az alábbiakban:

1. Sportoló (futó) nő:

- Alap információk: nő, 18 éves, 17-es BMI, nincs alapbetegség;
- Fizikális állapot: nem dohányzik, heti 7 alkalommal edz, 40-es BPM;
- Dinamikus változók: 110/70 Hgmm vérnyomás, 3,9 mmol/l vércukor, 4,0 mmol/l koleszterin

alapján kapott alrendszeri értékek [0,1] intervallumon, ahol a 0 legrosszabb, az 1 a legjobb érték:

- Alap információk: 0,777
- Fizikális állapot: 0,894
- Dinamikus változók: 0,705

A három alrendszert összevonva, a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata:

0,375 alacsony kockázat

2. Idős hölgy:

- Alap információk: nő, 62 éves, 29-es BMI, van alapbetegség;
- Fizikális állapot: nem dohányzik, heti 0 alkalommal edz, 120-as BPM;
- Dinamikus változók: 140/100 Hgmm vérnyomás, 3,8 mmol/l vércukor, 6,0 mmol/l koleszterin

alapján kapott alrendszeri értékek [0,1] intervallumon, ahol a 0 legrosszabb, az 1 a legjobb érték:

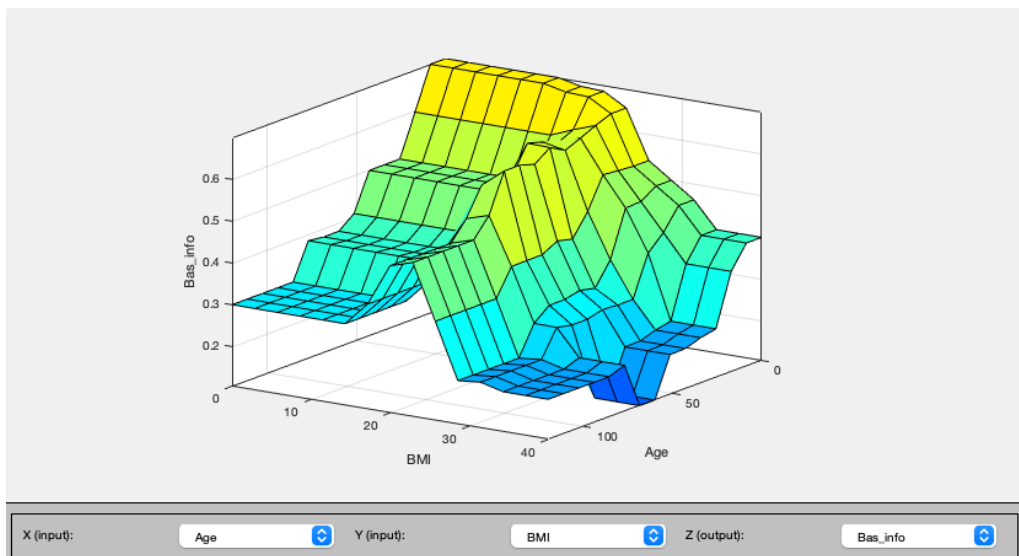
- Alap információk: 0,114
- Fizikális állapot: 0,5
- Dinamikus változók: 0,326

A három alrendszert összevonva, a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázata:

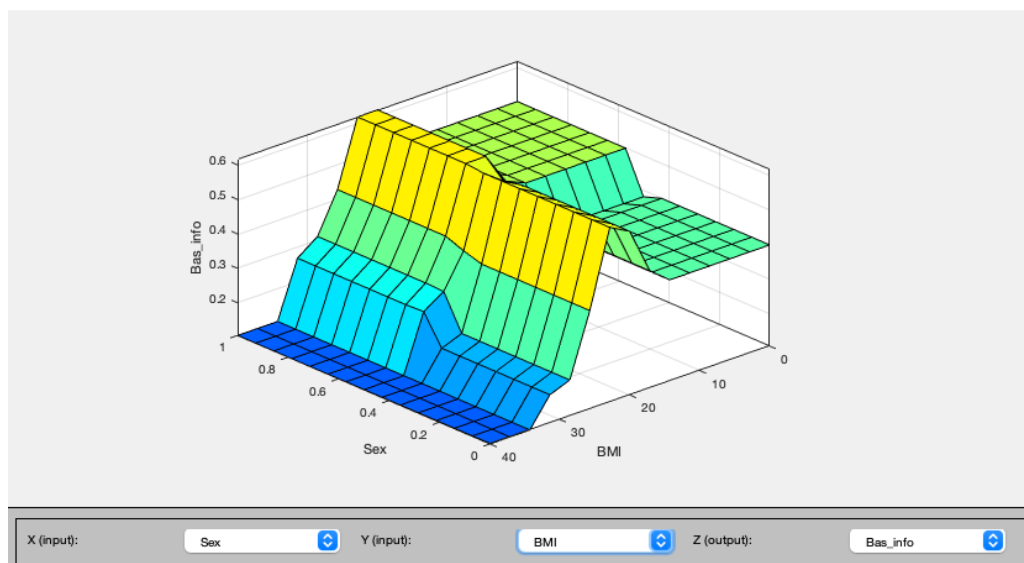
0,802 nagyon magas kockázat

Minden továbbiakban elvégzett teszt orvosilag releváns crisp értéket adott. Bármilyen szélső értékkel rendelkező bemeneti paramétert megfelelően kezelt és alkalmazott. A rendszer megbízható működésének vizsgálatakor természetesen nem csak az egyes esettípusokat kellett

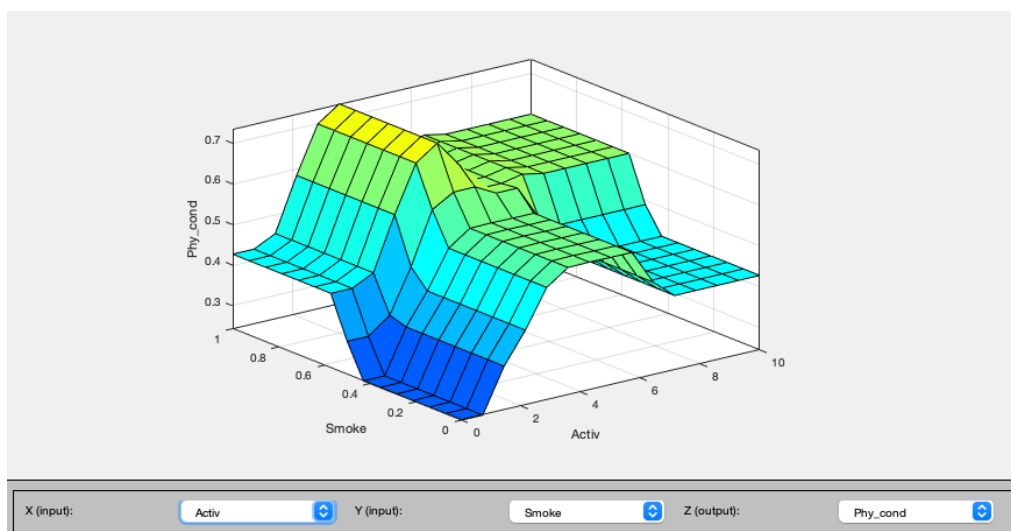
figyelembe venni, hanem a rendszer által előállított teljes kimeneti felületet is. A szakértői elemzés után arra a következtetésre jutottunk, hogy a kapott grafikus felületek is megfelelően tükrözik nem csak a különböző paraméterek, hanem az alrendszerek egymáshoz képesti viszonyát, súlyát és azok a vonatkozó szakirodalomnak megfelelőek. Értem ez alatt azt is, hogy a bemeneti paraméterek értékeinek kis mértékű változása a következtetésben és a kapott eredményben is megfelelően kis mértékű változást okozott. Azoknál a paramétereknél, ahol a súly nagyobb volt az alrendszeren belül, ott a változások is jobban befolyásolták a kapott eredmény változását. A paraméterek egymáshoz képesti viszonya – számosságuk miatt nem az összes – az alábbi ábrákon látható:



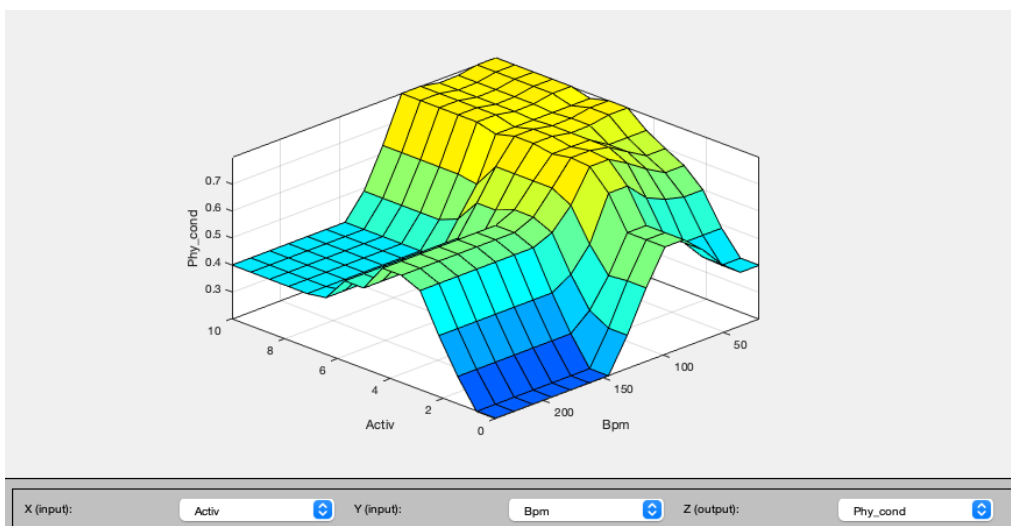
34. ábra: Életkor és BMI bemeneti paraméterek egymáshoz képesti viszonya



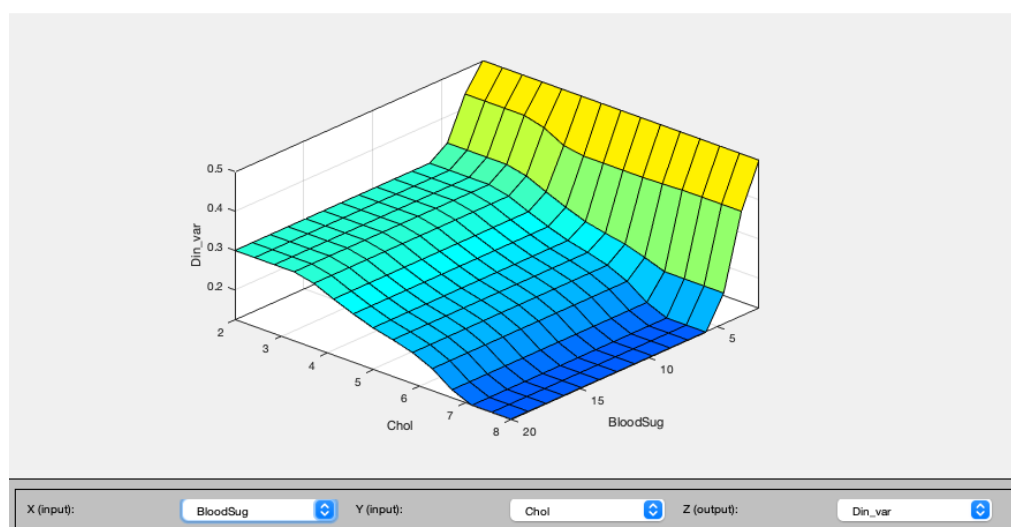
35. ábra: Biológiai nem és BMI bemeneti paraméterek egymáshoz képesti viszonya



35. ábra: Dohányzás és Edzetség bemeneti paraméter egymáshoz képesti viszonya

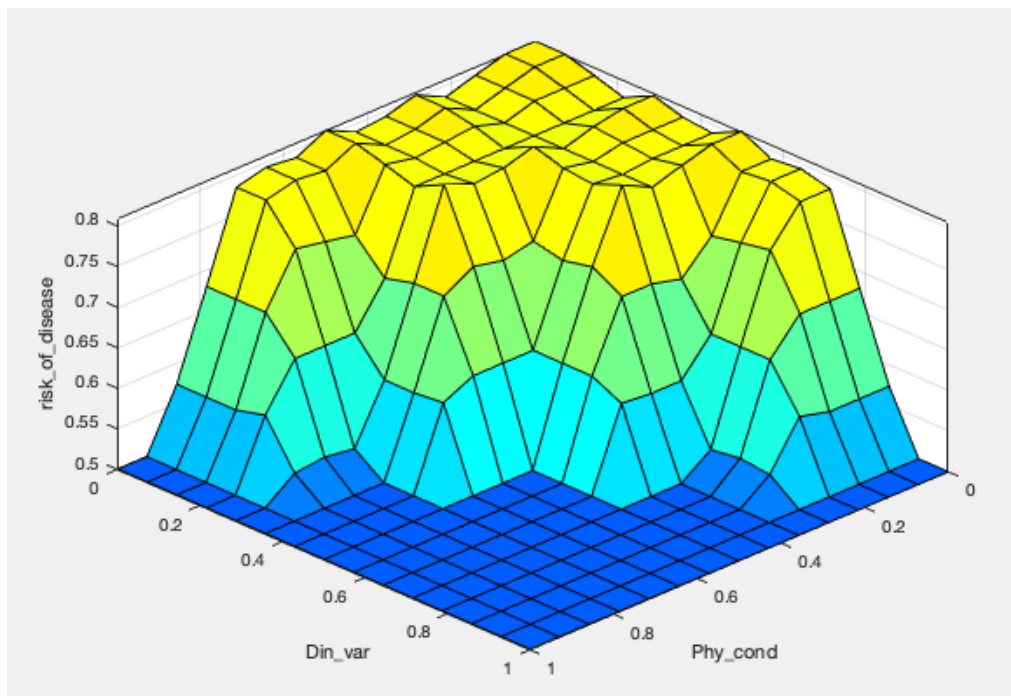


36. ábra: Edzetség és Nyugalmi pulzus bemeneti paraméter egymáshoz képesti viszonya

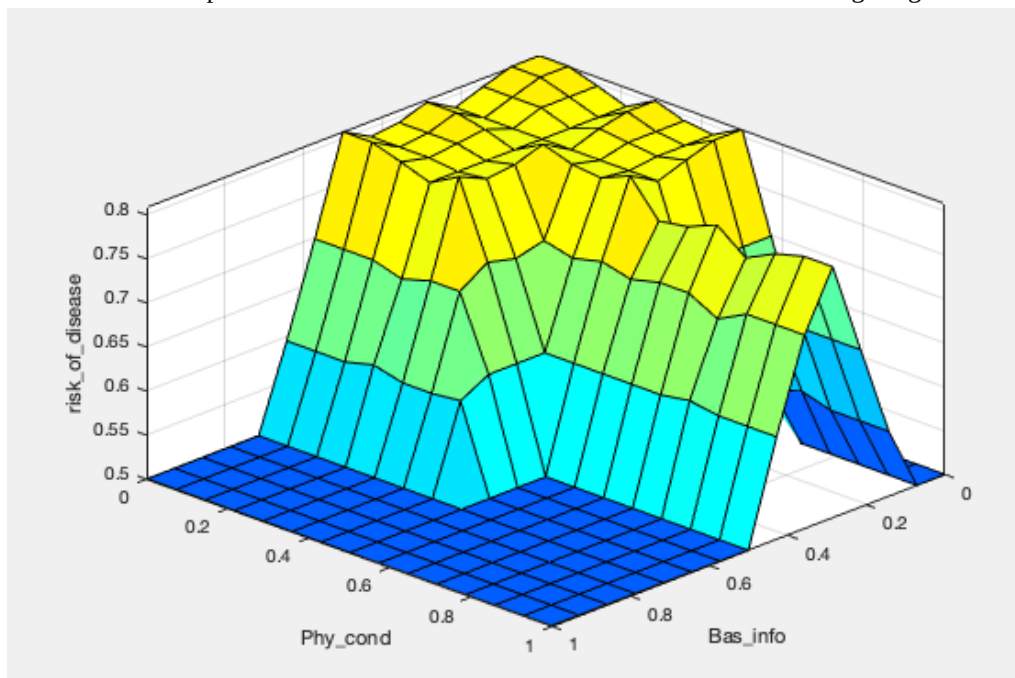


37. ábra: Vércukorszint és Koleszterinszint bemeneti paraméter egymáshoz képesti viszonya

Ez a rendszertulajdonság megjelenik az alrendszerek egymáshoz képesti viszonyában is, ahogy az alábbi ábrákon látható:



38. ábra: Fizikális állapot és a Dinamikus változók hatása a Szív- és érrendszeri megbetegedések kockázatára



39. ábra: Alap információk és Fizikális állapot hatása a Szív- és érrendszeri megbetegedések kockázatára

7. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A Covid-19 okozta tapasztalatok és különböző biostatistikai és matematikai prognózisok azt mutatják, hogy az elkövetkezendő időkben egyre több és súlyosabb pandémiás helyzettel fogunk szemben állni. Az ember mindaddig nem vesz tudomást a rá leselkedő veszélyről, amíg nem tapasztalja saját magán vagy közeli környezetén azt. Jelen helyzet ezt eredményezte, szinte mindenki veszített el közeli rokont, barátot. Ennek megfelelően a társadalom tagjainak egyéni felelősségvállalása a saját egészségének megóvására, nem csupán az egészségügyi ellátórendszer felkészültségén és szakértő beavatkozásán fog a jövőben alapulni, ahogy az évekkel ezelőtt tapasztalható volt, hanem a fokozott veszélyre való tekintettel mindenkinek saját magán. Ezért várható a különféle páciensmonitorozó rendszerek és ezekkel összefüggésben életmód, életvitel javító szolgáltatások elterjedése. Minden az alapoknál kezdődik, és megfelelően kidolgozott – fuzzy rendszerű – állapotfelmérő, kvázi egyfajta kockázat megállapító konstrukció jó kezdeti lépés lehet. A páciensek a fuzzy kiértékelő rendszer eredményére, valamint a fennálló veszélyekre való tekintettel nagyobb valószínűséggel fordulnak szakemberhez segítségért. Ha a rendszer jól van optimalizálva, akkor a panaszokkal korábban kereshetik fel a páciensek az orvost, ezzel számos későbbi krónikus betegség megelőzhetővé és/vagy lefolyása enyhébbé tehető. A fuzzy rendszerek tökéletesen illeszthetők az orvosi alkalmazásba, annak számos szubjektív és bizonytalan, de tapasztalati úton megalkotott keretrendszere miatt, melyet figyelembe tudnak venni a modellek, kockázatok megalkotása, megállapítása során. Az általam kidolgozott egyszerű kockázatmegállapító rendszer releváns eredményeket szolgáltat egy betegség kockázatát illetően. Ugyanakkor a rendszer jó alapot adhat a továbbfejlesztésre, és számos további bemeneti paraméter és alrendszer alkalmazásával kiszélesíthető a vizsgált megbetegedések és népcsoportok köre, mely végső soron kiterjeszthető akár globálisan is.

A tanulmány megalkotása előtt a magamnak kitűzött célt, eredményeket elértem, a kialakított kockázatbecslő rendszerem alkalmas arra, hogy előzetesen mért vagy megadott fiziológiás, valamint életmódbeli diszkrét értékek alapján, időben megfelelő visszajelzést adjon a páciens részére a fennálló veszélyre. A rendszer a kiértékelést önállóan elvégzi, és megfelelő képet szolgáltat ahhoz, hogy a szükséges életmódváltoztatások időben megtörténhessenek. A

fentiek alapján megállapítást nyert, hogy a létrehozott modellem megfelelően működik és használható a szív- és érrendszeri megbetegedések kockázatának becslésére.

A modell alkalmas lehet orvosi alkalmazásra, ami segítségül szolgálhat egy diagnózis megerősítésében. Sokszor tapasztalják az orvosok, hogy nehezen szembesíthetők a páciensek a betegségükkel. A megállapított orvosi diagnózist, kétségbe vonják, másod-, harmad-, sokad rendű véleményt kérnek, amíg nem az „elképzelésüknek” megfelelő kórkép alakul ki. Ez több esetben félrekezelést vagy nem a gyökér probléma megszüntetését eredményezi. Ezért az elkészített kockázatbecslő rendszer által szolgáltatott és helyben bemutatott információ azonnal alátámaszthatja a szakorvos diagnózisát, ami kiküszöbölheti a vándorlást orvostól orvosra, és ezért korábban megkezdhetik a gyógyítást. A modell további jelentős alkalmazási területe lehet az egészségbiztosítási szektor. Mind a privát mind az állami egészségbiztosítók alkalmazhatják preventív jelleggel, a páciens egészségügyi állapotának a felmérésére vagy monitorozására. A privát szektorban használnak már egészségügyi állapotfelmérést egy-egy életbiztosítás megkötése során, de a rendszerrel hatékonyabban és koncentráltabban tudják elvégezni. Az állami egészségügyi biztosítási szektorban, ha beépítésre kerülne a kockázatbecslő modellem, a társadalombiztosítási rendszerbe, az eredményezhetné azt, hogy aki kisebb kockázatú személy, az visszatérítéseket, vagy gazdasági kedvezményeket kaphatna, hiszen a kezeléseire történő ráfordítás is várhatóan kisebb lenne.

A rendszer továbbfejlesztésében és integrálásában jelentős potenciál van. Továbbfejleszthető abba az irányba is, ha több bemeneti paramétert és alrendszer alkalmazunk, valamint abba is, ha beépíthetővé tesszük úgy, hogy ezeket a bemeneti paramétereket valós időben mérő érzékelőket integrálunk ruhadarabokba, ékszerekbe, okosórákba, okostelefonokba. Ezekkel a beágyazott rendszerekkel az egészségünkről kapott visszacsatolás, akár életmentő is lehet.

Külön köszönetem szeretném kifejezni a dolgozatom elkészítésében szakértőként résztvevő:

Dr. Urbancsok Judit Ágnes reumatológus, fizioterápiás és sportszakorvosnak.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Eurostat, (2021). Causes of death statistic, ISSN 2443-8219
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/f/f2/Causes_of_death___standardised_death_rate%2C_2017_%28per_100_000_inhabitants%29_Health20.png
 [Máj. 16, 2021]
- [2] Tóthné Laufer, E. (2014). Mamdani-típusú következtetési rendszeren alapuló kockázatkiértékelő módszerek optimalizálása. *Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskola*, http://www.lib.uni-obuda.hu/sites/lib.uni-obuda.hu/files/Laufer_Edit_PhD_ertekezes.pdf [Mar. 10, 2021]
- [3] Kóczy, L. T. & Tikk, D. (2001). Fuzzy rendszerek, *Digitális Tankönyvtár*, Typotex, <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/fuzzy-rendszerek-fuzzy/ch07.html> [Dec. 20, 2020]
- [4] Borgulya, I. (1998). Neurális hálók és fuzzy rendszerek. (Dialog Campus Kiadó) ISBN 9639123277
- [5] Dombi, J, Tóth-Laufer, E (2020). Reducing the Computational Requirements in the Mamdani-type Fuzzy Control, *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 17, No. 3, pp. 25-41, 2020.
- [6] ENSZ, (2009). Yogyakarta Alapelvek. (Háttér Társaság a Melegekért Kiadó) <https://hatter.hu/kiadvanyaink/yogyakarta-alapelvek> [Szept. 21, 2021]
- [7] Dömötör, E., (2005). Pulzuskontroll, testsúlykontroll. (Carita Bt.) ISBN 9638674105
- [8] School of Public Health, (1989). The atherosclerosis risk in communities (aric) study: design and objectives. *American Journal of Epidemiology* Vol. 129, No. 4 <https://academic.oup.com/aje/article/129/4/687/87924> [Aug. 12, 2021]
- [9] Dr. Józsa, R., Dr. Atlasz, T., Tékus, É., Dr. Wilhelm, M (2015). A terheléstan alapjai I., 5. fejezet, [Online] <http://tamop-sport.ttk.pte.hu/tananyagfejlesztes/a-terheleselettan-alapjai/05> [Marc. 1, 2021]
- [10] Hypertonia, (2008). A vércukor mérése <https://diabetes.hu/cikkek/hypertonia/0802/a-vercukor-merese> [Aug. 15, 2021]

- [11] Dr. Magony, M., (2018). Hiperkoleszterinémia (magas koleszterin) tünetei és kezelése.
https://www.hazipatika.com/betegsegek_a_z/hiperkoleszterinemia_magas_koleszterinszint/393 [Aug. 18, 2021]
- [12] Tamás, A.K. & Tóth-Laufer, E., (2019). Fuzzy logika alkalmazása a páciens monitorozásban. *Bánki Közlemények*, Vol 2, No. 3, 2019, <http://bk.bgk.uni-obuda.hu/index.php/BK/article/view/127> [Apr. 10, 2021]
- [13] Saaty, R. W., (1987). The Analytic Hierarchy Process – What it is and how it is used. *ScienceDirect*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738> [Apr. 7, 2021]
- [14] Vargas, R. V. (2010). Using the analytic hierarchy process (ahp) to select and prioritize projects in portfolio. *Project Management Institute* <https://www.pmi.org/learning/library/analytic-hierarchy-process-prioritize-projects-6608> [Apr. 5, 2021]
- [15] MI. Mesterséges intelligencia - Tananyagbővítés (2005), 14.7. A Bizonytalansági következtetés egyéb módszerei fejezet, Fuzzy rendszerek mérnöki megközelítésben. *Digitális Tankönyvtár, Panem.* https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0026_mib_4_4/ch14s07.html [Dec. 20, 2020]
- [16] Takács, M. (2010). Multilevel Fuzzy Approach to the Risk and Disaster Management. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 7, No. 4, 2010, http://www.uni-obuda.hu/journal/Takacs_25.pdf [Apr. 2, 2021]
- [17] Physical Activity and Public Health (2007). Updated Recommendation for Adults. <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185649> [Marc. 23, 2021]