

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
VILLAMOSMÉRNÖKI INTÉZET
AUTOMATIZÁLÁSI TANSZÉK

**THOM KATASZTRÓFAELMÉLETÉN
ALAPULÓ SOFT COMPUTING MÓDSZER
NAGY RENDSZEREK IRÁNYÍTÁSÁRA**
(különös tekintettel egy hőerőmű irányítására)

Ph.D. tézisek

Írta: **Ormos László**
okleveles gépészmérnök

Tudományos vezető: **Prof. Ajtonyi István, C.Sc.**
A Doktori Iskola igazgatója: **Prof. Tóth Tíbor, D.Sc.**

Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola
Miskolc-Egyetemváros
2004

1. Bevezetés

Az ipar műszaki fejlődésében harmonikus kapcsolat megteremtésére kell törekedni az irányított folyamat, az irányítástechnikai rendszer és az ember között. Ennek érdekében a technológiai rendszert alkotó egységek “adottságain” alapuló biztonságos és kétirányú kommunikációs kapcsolatra van szükség.

Ez idő szerint a termelés fejlesztés célja a megfelelően biztonságos rövid technológiai időtartam megteremtése. Ennek eszköze a hatékony és pontos valós idejű irányítás. A valós idejű folyamatirányítás hagyományos eszközei a pontosság, a biztonság és a megfelelő minőség elérését célozzák meg. Ezek azonban nem tartalmazzák a szélsőségesen gyors és szélsőségesen lassú folyamatok irányításának lehetőségét.

A szélsőséges sebességű technológiai folyamatokat tartalmazó nagy technológiai rendszerek különleges felügyeletet igényelnek. E különleges tulajdonságok miatt ezek a folyamatok csökkenthetik a nagy rendszer működésének stabilitását a következők miatt:

- a szélsőségesen gyors folyamatoknak nagy sebességű adatgyűjtő és adat átalakító eljárásokra van szüksége, nagy folyamatirányítási sebességgel kell működniük rendkívül rövid valós idejű időalappal, nagy számítási teljesítménnyel és nagy memóriakapacitással,
- a különlegesen lassú folyamatok irányítása folyamatos kommunikációt igényel a folyamat finom változásainak érzékeléséhez, a folyamat véges állapotának felismeréséhez a folyamat működésének bármely pillanatában, és a folyamat során keletkező viszonylag gyors, rövid idejű események érzékelésében és kiértékelésében.

Értekezésemben a nagy rendszerek működésének Thom katasztrófaelmélete alapján történő irányításának lehetőségeit dolgoztam fel. A nagy rendszer vizsgálatának mintájaként egy hőenergia termelő rendszert választottam. A hőenergia termelés különleges feladat, amelyben szélsőségesen gyors és lassú folyamatok egyaránt vannak, ezért az irányítástechnikai rendszernek eleget kell tennie az említett követelményeknek.

Az első tézis Thom katasztrófaelméletének nagy rendszerekben történő alkalmazására vonatkozik, mely szerint a katasztrófaelmélet a soft computing módszer új eszköze. Bemutatja, hogyan lehet meghatározni a katasztrófaelmélet segítségével, vajon alkalmazható-e a fuzzy logikai irányítás egy nagy rendszer esetében, például a gőztermelés technológiai folyamatainak irányításában. Ennek keretében szemlélteti, hogyan bontható fel a nagy rendszer – a gőztermelés technológiai rendszere – Thom katasztrófaelmélete alapján egymással összefüggő elemi katasztrófaeseményekre.

A második tézis bemutatja a nagy rendszerek biztonsági szintjének (SIL) kvalitatív módszerrel történő meghatározását Thom katasztrófaelmélete speciális esetének, a feltételes katasztrófának a felhasználásával.

A harmadik tézis az elemi katasztrófákból álló nagy rendszer optimum-közeli fuzzy logikai irányításának lehetőségét mutatja be, melynek célja a nagy rendszer pillanatnyi gőzterhelésének névleges terheléssel arányos megosztása a nagy rendszerbe szervezett kazánok között.

A negyedik tézis foglalkozik az emberi idegrendszer működéséhez hasonló működésű, FPAD-alapú neurális fuzzy sejtekből felépülő mesterséges intelligencia szerkezeti felépítésével, működési jellemzőivel. Az analóg neurális hálózat működése Thom katasztrófaelméletén alapul, az analóg fuzzy sejteknek mint végesautomatáknak a működését Chomsky reguláris nyelvekre vonatkozó formális leíró módszerével írtam le.

2. A tudományos háttér

Amikor az ember életfeltételeket javító eszközöket kezdett használni, a legfontosabb emberi tevékenység az *érzékelés és tanulás* lett. Az érzékelés a környezeti változások megfigyelésére és a környezeti folyamatok működésének tanulmányozására koncentrált, a tanulás pedig arra irányult, hogyan lehet alkalmazni a folyamatok megfigyelése során megismert működési szabályokat. Ez a tudás, a *megtanult ismeretek* az alapja az eszköz-fejlesztésnek, a műszaki fejlődésnek és a társadalmi fejlődésnek.

Az intelligens számítógépes rendszerek fejlesztésének új irányzata a "soft computing" módszer. Most valósulhatott meg a bonyolult, valós környezeti problémák megoldására szolgáló, a különböző forrásokból származó tudást felhasználó intelligens rendszerek, technikák és módszerek alkalmazása. Ezek az intelligens rendszerek feltételezik az adott szakterületre vonatkozó emberi tapasztalatokat, amelyek adaptációja révén megtanulják a változó környezetben belüli hatékonyabb működést, viselkedést, és amely tapasztalatok alapján megtanulják, hogyan hozzanak döntéseket vagy hajtsanak végre valamit. Szembesülve a valódi világ informatikai problémáival, gyakran szerencsésebb több, együtt működtethető, egymás kiegészítésével intelligens hibrid rendszereket alkotó technikát használni, mint egyedi megoldásokat alkalmazni. Az ilyen intelligens rendszerek lényege a *neuro-fuzzy rendszer*, melynek részei a neurális hálózatok, amelyek érzékelt jelek alapján úgy alakítják át saját működésüket, hogy meg tudjanak felelni a környezet változásainak; a *fuzzy logikai rendszer*, amely az emberi tudást testesíti meg, következtetéseket von le, és döntéseket hoz. E két, egymást kiegészítő rendszer bizonyos levezetések nélküli optimalizálási technikákkal együtt eredményezte az újszerű *neuro-fuzzy és soft computing* elnevezésű diszciplinát.

A soft computing több informatikai paradigmát tartalmaz, olyanokat, mint a neurális hálózatok, a fuzzy halmazok elmélete, a közelítő következtetés, és a levezetés nélküli optimalizálási módszerek, mint a genetikus algoritmusok és a szimulált megközelítés. E módszerek mindegyikének meg van a saját erőssége, amint azok rövid összefoglalását az 1. táblázat tartalmazza.

Módszertan	Erősség
Neurális hálózat	Tanulás és adaptációs készség
Fuzzy halmazok elmélete	Tudásreprezentáció fuzzy IF-THEN szabályokkal
Genetikus algoritmus és szimulált megközelítés	Szisztematikus véletlenszerű keresés
Hagyományos MI	Jelképes manipuláció

1. táblázat. Soft computing összetevők (az első három tétel) és a hagyományos mesterséges intelligencia (MI) (Jang et al., 1997, p.2)

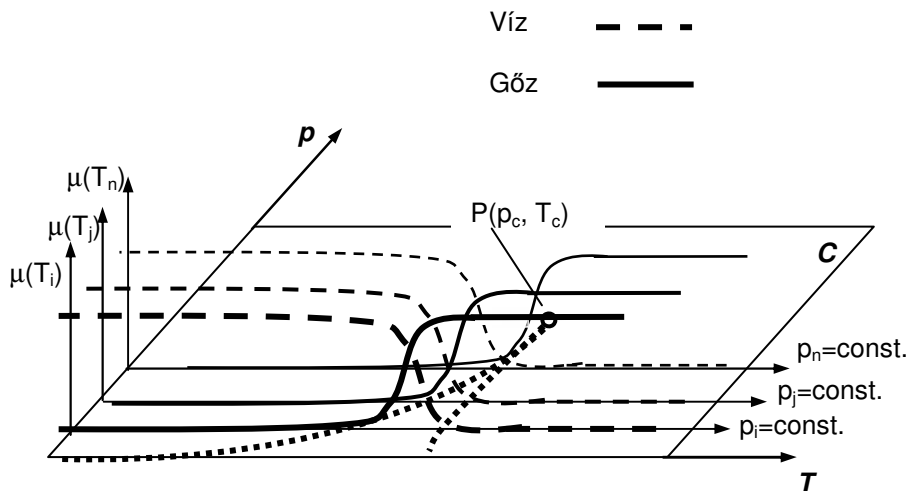
Ezeknek a módszertani egységeknek az integrációja alkotja a soft computing lényegét: lehetővé teszi a soft computing hatékony összekapcsolását az emberi tudással, kezeli a pontatlanságot és bizonytalanságot, és megtanulja az ismeretlen vagy változó környezethez való alkalmazkodást a jobb teljesítmény elérése érdekében. A tanuláshoz és az alkalmazkodáshoz a soft computing módszer nagy mennyiségű számítási feladat végrehajtását igényli. Ebben az értelemben a soft computing ugyanazokkal a jellemzőkkel rendelkezik, mint a számítógépes intelligencia.

A soft computing nagy rendszerekben történő alkalmazása új megközelítést tesz szükségessé, amikor a rendszerfelügyeletet és a technológia működését egységes rendszerbe kell foglalni. Ez azt jelenti, hogy a technológia és az irányítástechnikai rendszer együttesen alkotják "a rendszert". A komplex rendszer új módszereket igényel a folyamatirányító rendszerek fejlesztésében: a technológiai folyamat a folyamat irányítása a folyamat szélsőséges jellemzőinek figyelembe vételével történik. A komplex technológiai rendszer működése leírásának eszköze Thom katasztrófaelmélete.

Thom katasztrófaelmélete a kritikus pontok osztályozásának módszerén alapszik. Az osztályozás leírása Morse lemmája alapján történt. A Morse-lemma a függvények kritikus pontjainak – az inflexiós pontoknak, a szélsőértékeknek, - leírására használatos. Ezek a Morse-féle kritikus pontok stabilitással rendelkeznek, amely azt jelenti, hogy a zavarások nem okozzák e pontok típusának megváltozását. Thom hét osztályba sorolta a katasztrófákat: az áthajláskatasztrófa, a csúcskatasztrófa, a fecskefarok-katasztrófa, a pillangókatasztrófa, az elliptikus umbilikus katasztrófa, a hiperbolikus umbilikus katasztrófa, és a parabolikus umbilikus katasztrófa osztályába.

A Thom katasztrófaelméletén alapuló soft computing módszer irányítástechnikai alkalmazását egy hőerőmű komplex irányításának kidolgozásán keresztül mutatom be. A gőztermelés technológiai folyamatait is Thom katasztrófaelméletének felhasználásával írtam le, de a leírás nem foglalkoztam a technológiai folyamatok fizikájának jellemzőivel.

A gőztermelés általános leírására a van der Waals-féle függvény használható. A p - V görbék jellemzői a T hőmérséklet függvényében változnak, a görbék által alkotott felület pedig katasztrófa-felület. Ez a katasztrófa csúcskatasztrófa, amelyben a bifurkációs zóna három állapot-szektorra osztja az állapotokat. A szektorok a víz-gőz keverék összetevőinek hőmérséklettől függő arányával és az egyes összetevők sűrűségével jellemezhetők. A keverék összetevőinek aránya klaszterekbe sorolható az 1. ábra szerinti tagsági függvények alapján. A klasztereket a bifurkációs zóna határvonalai választják el egymástól. Látható, hogy a homogén összetevőket – vagy csak vizet, vagy csak gőzt – tartalmazó szektorok a bifurkációs zónán kívül helyezkednek el. A bifurkációs zónán belül forró víz és gőz keverék található. A keverék összetétele a $\mu(T)$, $T=T_1, \dots, T_i, \dots, T_j, \dots, T_n$ tagsági függvénnyel fejezhető ki, amikor is Maxwell törvénye szerint a nyomás állandónak tekinthető. Ez az elmélet az alapja a



1. ábra: Tagsági függvények a katasztrófafelület fölött

gőztermelő rendszer felügyeletére kidolgozott új irányítási módszernek, a Thom katasztrófaelméletén alapuló soft computing irányításnak.

Munkám a nagy rendszerek – jelen esetben a példaként feldolgozott gőztermelés,– irányítástechnikai rendszerének soft computing módszer alkalmazásával történő megvalósítására irányul. A soft computing módszer alkalmazhatósága egy hőerőmű komplex rendszerének és a komplex technológia folyamatainak a vezérelhetőségétől függ. A fő probléma az, hogy a van der Waals függvény nem analitikus függvény, hanem a sűrűség változás néhány kritikus pontja alapján megrajzolt kísérleti eredmény. Ezért a gőztermelés komplex technológiájának alrendszerekre történő felbontásával meg kellett vizsgálni, hogy az egyes részfolyamatok katasztrófaesemények-e, mert ha az alrendszerek leírhatók mint

katasztrófaesemények, akkor irányításuk megvalósítható a Thom katasztrófaelméletét felhasználó soft computing módszerrel.

Az egyes alrendszerek irányításához átfogó felügyeleti rendszerre van szükség, amely állandó minőségi jellemzőkkel rendelkező gőzt biztosít, és a gőzterhelés egyes kazánok közötti arányos, optimum-közeli megosztását eredményezi.

A Miskolci Egyetem Automatizálási Tanszéke *Dr. Ajtonyi István* vezetésével foglalkozik a soft computing módszer szélsőségesen lassú és szélsőségesen gyors folyamatok irányításában történő alkalmazásának kutatásával így az általam végzett kutatás kapcsolódik ehhez.

A Tanszék elnyert és sikeresen befejezett számos TEMPUS, OTKA, MKM, FKFP és több más projektet. Az FKFP projekt tudományos munkáiban én is részt vettem, és új, analóg áramkörökkel megépített funkcionális fuzzy elemek kifejlesztésével és működésük vizsgálatával foglalkoztam.

3. A kutatás célja

A fuzzy logikai irányítás technológiai folyamatok felügyeletében való alkalmazásához szükség van a technológiai folyamatok Thom katasztrófaelmélete alapján történő vizsgálatára, és arra, hogyan lehet fuzzy logikai rendszerrel hierarchikus irányítási rendszert létrehozni. A feladatok a következők:

- vizsgálni kell a technológiát mint alrendszerekből álló nagy rendszert,
- meg kell vizsgálni, vajon a technológiai folyamatok Thom katasztrófaelmélete szerinti katasztrófaesemények-e,
- meg kell vizsgálni, hogy a komplex technológia dekompozíció módszerével történő felbontása után az egyes alrendszerek irányíthatók-e szabály-bázisú fuzzy logikai rendszerrel,
- elemezni kell, hogyan lehet a fuzzy szabályok számát csökkenteni a fuzzy logikai rendszerben, akár szélsőségesen lassúak, akár szélsőségesen gyorsak a folyamatok,
- ki kell dolgozni a technológiai rendszer biztonsági jellemzőinek meghatározására alkalmas soft computing módszert,
- ki kell fejleszteni a hierarchikus irányítási rendszerben használt fuzzy neuronokat,
- ki kell fejleszteni egy új fuzzy logikai felügyeleti rendszert a nagy rendszerek irányítására.

4. A kutatás tárgya

A soft computing a technikai környezethez és a műszaki követelményekhez való alkalmazkodás képességével rendelkező mesterséges objektumok létrehozásának eszköze. A disszertáció a következő témakörökkel foglalkozik, melyek

- a technológiai folyamatok leírása Thom katasztrófaelméletének felhasználásával,
- a nagy rendszer leírása Thom katasztrófaelmélete alapján, és felosztása alrendszerekre a dekompozíció módszerének alkalmazásával,
- a hierarchikus irányítási rendszer optimum-közeli működésének megvalósítása Thom katasztrófaelméletének és Prof. Tóth Tibor költségoptimalizálási eljárásának felhasználásával,
- kvalitatív módszer nagy rendszerek biztonsági szintjének meghatározására Thom katasztrófaelmélete alapján,

- analóg fuzzy neurális rendszert alkotó, analóg áramkörökkel megvalósított fuzzy neuronok kidolgozása és működésük vizsgálata.

5. A kutatás módszerei

Ismeretes, hogy a tudományos eredmények alkalmazása elméleti szempontból két módon történhet:

- a megoldandó probléma nézőpontjából, amely szerint a problémákat legfontosabb jellemzőik alapján csoportosítani kell, és az alkalmazható módszereket a problémákra kell áthelyezni,
- a módszer nézőpontjából, a választott módszereknek meg kell felelnie a megoldás eszközeinek, és a problémákat mint példákat kell kezelni a megfelelő módszerekhez.

Mindkét módszert és ezek kombinációját egyaránt alkalmaztam téziseim kidolgozásában.

A probléma nézőpontjából általános módszerként a következőket alkalmaztam:

- az analízist, amely a probléma felismerésére és megismerésére irányult,
- a szintézist, amely a probléma megoldására irányult,
- a legjobb megoldás elérésére irányuló optimalizálást, melyet az adott korlátok és érvényes szabályok határoztak meg,
- a műszaki leírást és modellezést.

Módszertani szempontból eszközként Thom katasztrófaelméletét és Chomsky reguláris nyelvek formális leírására irányuló módszerét, valamint a MATLAB-eszközöket alkalmaztam.

Kombinált megoldást alkalmaztam a 4. tézis kidolgozása során, ahol a modellezés, az optimalizálás és az integrálás feladatát a komplex rendszer valamennyi tervezési szintjén összekapcsoltam.

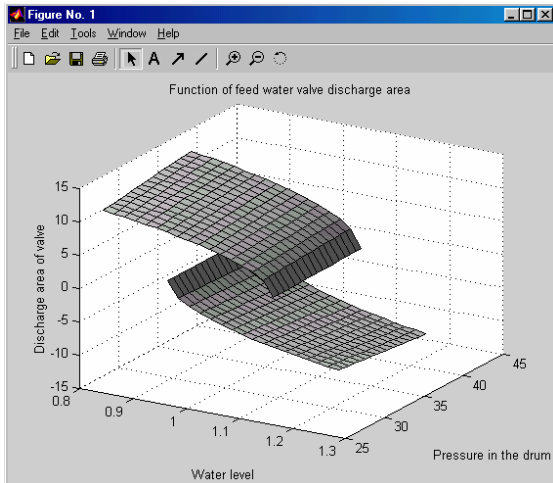
6. Az új tudományos eredmények – tézisek

A soft computing módszer alkalmazása a folyamatirányítás egyszerűbbé tételét eredményezheti. Az egyszerűsítés azt jelenti, hogy a hagyományos irányítási eszközök rendszere szabály-gyűjteménybe foglalt szabályok szerint működtethető. A szabály-gyűjtemény az emberi tapasztalatok eredményeit tartalmazza, ezért az irányítástechnikai rendszer működése hasonlít az emberi problémamegoldás folyamatára.

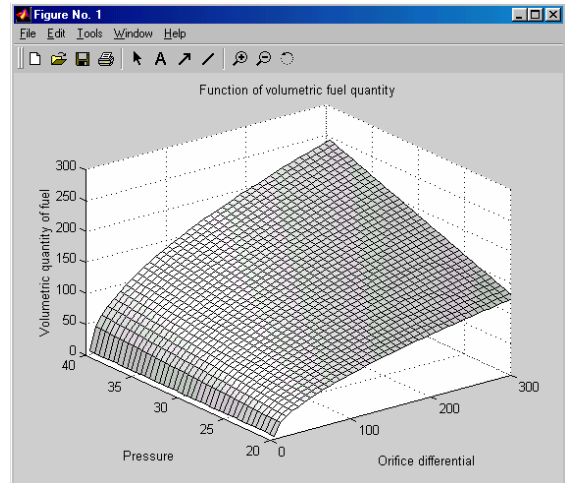
1. tézis: Thom katasztrófaelméletének felhasználásával új eljárást dolgoztam ki nagy rendszerek irányítástechnikai rendszerének soft computing módszer alkalmazásával történő megvalósításához.

A módszert a hőerőmű gőztermelési technológiájának irányítási rendszerében történő alkalmazás kidolgozásán keresztül mutattam be. A gőz termelés alapja van der Waals függvénye, amely kísérleti eredményeken alapszik. A gőztermelés irányítástechnikai rendszerének jellemzői és működésének hatékonysága Thom katasztrófaelméletének alkalmazásával javítható.

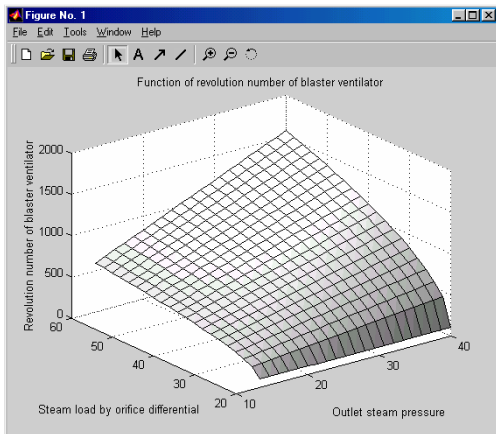
Megvizsgáltam a dolgozat 2. fejezetében bemutatott, jelenleg is működő technológiai folyamatok jellemzőit, a 3. fejezetben pedig kidolgoztam a folyamatokat leíró függvényeket, amelyek mindegyike *katasztrófafüggvénynek* bizonyult. A katasztrófafüggvények a 2.1.-2.5. ábrákon láthatók. A technológiai folyamatokat leíró elemi katasztrófák mindegyike alacsony rendű katasztrófa: áthajláskatasztrófa és csúcskatasztrófa.



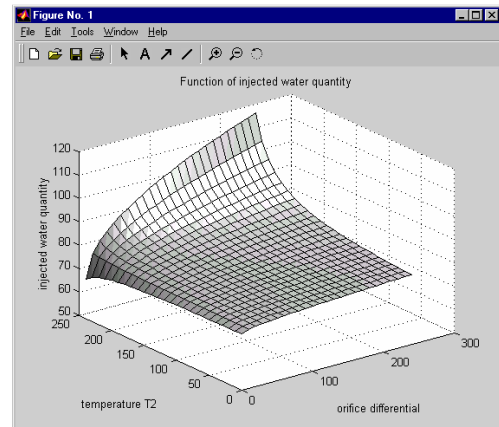
2.1. ábra: A tápvíz szelep vezérlése



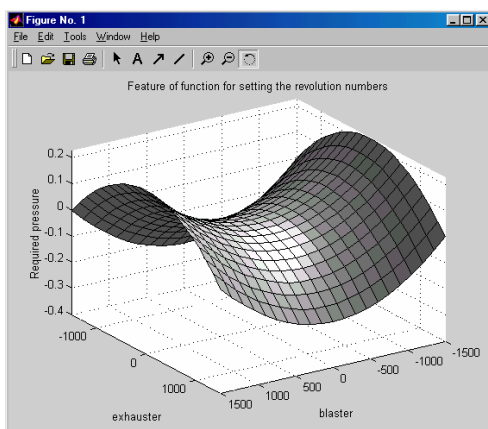
2.2. ábra: A tüzelőanyag mennyiség vezérlése



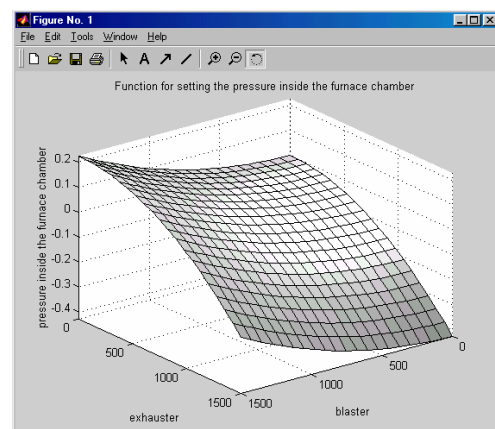
2.3. ábra: A légbefúvó ventilátor fordulatszámának vezérlése



2.4. ábra: A befecskendezett víz mennyiségének szabályozása



a)



b)

2.5. ábra: A tüztér nyomásának szabályozása a befúvó ventilátor és a lefúvó ventilátor fordulatszámának szabályozásával: a) a lehetséges munkapontok mértani helye; b) a felhasznált tartomány

Mivel a vizsgált nagy rendszerben, a hőerőműben a gőztermelés folyamatai katasztrófaesemények, és a folyamatok állapota a katasztrófa felület fölé rajzolt tagsági függvényekkel is leírható az 1. ábrán látható módon, a gőztermelés a következő fuzzy szabályokkal jellemezhető:

- ha a (p,t) pont a bifurkációs zónán kívül van, és t nagyobb, mint T_c , akkor telítetlen gőz van jelen,
- ha a (p,t) pont a bifurkációs zónán belül van, és akkor forró víz és telített gőz van jelen,
- ha a (p,t) pont a bifurkációs zónán kívül van, és t kisebb, mint T_c , akkor forró víz van jelen,

ahol (p,t) a munkapont koordinátái, (p_c,T_c) pedig a kritikus pont koordinátái, melyek a katasztrófa csúcsát határozzák meg.

A p nyomás Maxwell törvénye szerint állandónak tekinthető a gőztermelő rendszerben, ezért a rendszert leíró lingvisztikus szabályok egyszerűsíthetők, így a fuzzy szabályok nyelvi leírása állandó p nyomás esetén a következők szerinti:

- ha t kisebb, mint T_c , és a munkapont a bifurkációs zónán kívül van, akkor forró víz van jelen a rendszerben, gőz nincs;
- ha t kisebb, mint T_c , és a munkapont a bifurkációs zónában van, akkor forró víz és telített gőz van a rendszerben;
- ha t nagyobb, mint T_c , akkor csak telítetlen gőz van a rendszerben.

A kazán működését a második szabály szerint kell irányítani, vagyis a technológiai folyamat munkapontját a bifurkációs zónában kell tartani. Az energiahordozó közeg állapotát jól jellemzi az összetevők megoszlását szemléltető tagsági függvény, amint az 1. ábrán is látható. A technológia irányítástechnikai rendszere csak akkor avatkozik be a technológiai folyamatba, ha a munkapont a bifurkációs zóna határaihoz közelít, vagyis a tagsági függvény értéke 1-hez közelít.

A katasztrófaelmélet szerint az elemi katasztrófák a Morse-lemma értelmében függvényeik alapján strukturálisan stabilak, és minthogy az alrendszerek működését leíró függvények katasztrófafüggvények, tehát strukturálisan stabilak, az alrendszerek alkotta nagy rendszer is strukturálisan stabil. A technológiai folyamatokat le lehetett írni katasztrófafüggvényekkel csúcskatasztrófaként és áthajláskatasztrófaként, melyek strukturálisan stabilak.

A továbbiakban úgy kellett csökkenteni a fuzzy szabályok számát, hogy az irányítástechnikai rendszer ciklusideje rövidebb legyen, de emiatt a stabilitás ne romoljon. Ennek érdekében a technológiai rendszert a dekompozíció módszerével alrendszerekre bontottam. A dekompozícióra azért volt szükség, mert a technológiai folyamatokat, mint katasztrófákat alacsonyabb rendű katasztrófaeseményként leírva a fuzzy szabályok száma csökkent az alrendszerek irányítástechnikai rendszerében.

Az egyes alrendszerek közötti kapcsolatot a technológiai paraméterek tartják fenn, így a kimeneti paraméterek változásai – a hibajelek – az egyes technológia alrendszerek paramétereinek változásán keresztül váltják ki más alrendszerek irányítástechnikai rendszereinek működését, és kapcsolják össze őket egységes, nagy rendszerré.

A leírtak alapján megállapítottam, hogy a katasztrófaeseményként jellemezhető folyamatok irányítására alkalmazható a fuzzy logika, mert

- a) a katasztrófaesemény állapotának változása a katasztrófa felület fölé rajzolt tagsági függvényvel írható le,
- b) a katasztrófaeseményként leírt nagy rendszer felbontható olyan kisebb alrendszerekre, amelyek külön-külön is katasztrófaesemények,
- c) az alrendszerek mint katasztrófaesemények strukturálisan stabilak, és a nagy rendszer is strukturálisan stabil a Morse-lemma értelmében,
- d) a fuzzy logikai irányítási rendszerhez szükséges lingvisztikus fuzzy szabályok száma a katasztrófafüggvény rendjétől függ,
- e) a kimeneti paraméterek változása a technológiai alrendszereken keresztül váltja ki az egyes irányítástechnikai alrendszerek működését, és eredményezi a technológia és az irányítás egységes nagy rendszerré történő összekapcsolódását.

Az 5. fejezet tartalmazza a fuzzy irányítástechnikai rendszer működését leíró tagsági függvényeket és a kimeneti eszközök beállításait meghatározó függvényeket, amelyek katasztrófafüggvények.

A nagy rendszerek irányítástechnikai rendszerének eleget kell tennie az IEC 61508 szabványban rögzített biztonságtechnikai követelményeknek. Egy adott rendszer biztonságosságának mérőszáma a technológiai rendszerre jellemző *biztonsági szint* (SIL – Safety Integrity Level). A biztonsági szint meghatározásának két módszere van: a *kvantitatív eljárás* és a *kvalitatív eljárás*.

A kvantitatív eljárás a technológiai rendszer működése során gyűjtött mennyiségi adatok, a *működéstörténeti adatok* alapján, – meghibásodási gyakoriság, környezeti károsodás mértéke, az érzékelők és aktuátorok meghibásodásának száma, – az IEC 61508 szabványban rögzített algoritmus szerint teszi lehetővé a SIL értékének kiszámítását.

A kvalitatív módszer a szakértői tapasztalatok, a nagy rendszerre vonatkozó *szakértői információk alapján* – milyen veszélyes meghibásodások keletkeztek, veszélyeztettek-e ember életet, milyen biztonsági rendszert alkalmaztak, hány független védelmi rétegből áll a felügyeleti rendszer – teszi lehetővé a SIL értékének meghatározását. A szabvány csak ajánlásokat tartalmaz a kvalitatív módszerre vonatkozóan. Dolgozatomban a kvalitatív módszer alkalmazására dolgoztam ki soft computing módszeren alapuló eljárást. A feladat megoldásához a *veszélyességi mátrixot* használtam fel, amelynek megvalósításához Thom *feltételes katasztrófákra* vonatkozó elméletét alkalmaztam.

2. tézis: Thom katasztrófaelméletének felhasználásával kidolgoztam az IEC 61508 szabvány ajánlása alapján alkalmazható kvalitatív módszert a rendszer biztonsági szint (SIL) meghatározására.

A SIL rendszer biztonsági szint a folyamat technológiai berendezéseinek működési biztonságát jellemző mérőszám, amely az egységnyi idő alatti meghibásodások számától függ. Az IEC 61508 szabvány ajánlása szerinti SIL értékek valamint a betervezett meghibásodások számának átlagos értéke közötti összefüggéseket a 2. táblázat tartalmazza.

SIL	A betervezett meghibásodások előfordulásának átlagos értéke
4	$\geq 10^{-5}$ to 10^{-4} [1/év]
3	$\geq 10^{-4}$ to 10^{-3} [1/év]
2	$\geq 10^{-3}$ to 10^{-2} [1/év]
1	$\geq 10^{-2}$ to 10^{-1} [1/év]

2. táblázat: SIL értékek az IEC61508 szerint

Kvantitatív módszerrel, a szabvány szerinti összefüggések felhasználásával kiszámítottam a gőztermelés technológiai alrendszereinek SIL értékeit:

a) tüzeléstechnikai rendszer

Az égők kialvásának gyakorisága: $Ft=2/\text{év}$.

Egy robbanás bekövetkezésének valószínűsége nem nagyobb egy esemény bekövetkeztekor, mint $1/4$: $Pe=1/4=0.25$.

A robbanás gyakorisága: $Pc \leq 5000$ évenként 1 .

Nem megengedett gyakoriság

$$Fnp = Ft Pe = 2 \cdot 0.25 = 0.5 [1/\text{év}].$$

Megengedett gyakoriság

$$Fp = \frac{1}{Pc} = \frac{1}{5000} = 0.0002 [1/\text{év}].$$

Kockázat csökkentési tényező

$$RRF = \frac{Fnp}{Fp} = \frac{0.5}{0.0002} = 2500.$$

Elérhető biztonság

$$SA = \frac{RRF-1}{RRF} 100[\%] = \frac{2500-1}{2500} 100 = 99.9 [\%].$$

Tervezett meghibásodási valószínűség

$$PFD_{avg} = \frac{1}{RRF} = \frac{1}{2500} = 4 \cdot 10^{-4}.$$

A tüzeléstechnikai rendszer biztonsági szintje a 2. táblázat alapján: SIL=3.

b) gőzdob (szintszabályozás)

A várt vízszint hiba (minimum) gyakorisága: $Ft=1/\text{év}$.

A dob meghibásodása miatti robbanás valószínűsége nem nagyobb, mint évente $1/6$: $Pe=1/6=0.167$.

A hiba gyakorisága: $Pc \leq 5000$ évenként 1 .

Nem megengedett gyakoriság

$$Fnp = Ft Pe = 1 \cdot 0.167 = 0.167 [1/\text{év}].$$

Megengedett gyakoriság

$$Fp = \frac{1}{Pc} = \frac{1}{5000} = 0.0002 [1/\text{év}].$$

Kockázat csökkentési tényező

$$RRF = \frac{Fnp}{Fp} = \frac{0.167}{0.0002} = 835.$$

Elérhető biztonság

$$SA = \frac{RRF-1}{RRF} 100[\%] = \frac{835-1}{835} 100 = 99.8 [\%].$$

Tervezett meghibásodási valószínűség

$$PFD_{avg} = \frac{1}{RRF} = \frac{1}{835} = 1.19 \cdot 10^{-3}.$$

A gőzdob biztonsági szintje a 2. táblázat alapján: SIL=2.

c) a befecskendező rendszer (kimeneti gőz hőmérsékletszabályozás)

A befecskendező rendszer várt hibájának gyakorisága: $F_t=1/\text{év}$.

A befecskendező rendszer meghibásodásának valószínűsége nem nagyobb, mint évente 1/10: $P_e=1/10=0.1$.

A hiba gyakorisága: $P_c \leq 5000$ évenként 1.

Nem megengedett gyakoriság:

$$F_{np} = F_t P_e = 1 \cdot 0.1 = 0.1 [1/\text{év}].$$

Megengedett gyakoriság:

$$F_p = \frac{1}{P_c} = \frac{1}{5000} = 0.0002 [1/\text{év}].$$

Kockázat csökkentési tényező

$$RRF = \frac{F_{np}}{F_p} = \frac{0.1}{0.0002} = 500.$$

Elérhető biztonság

$$SA = \frac{RRF-1}{RRF} 100 [\%] = \frac{500-1}{500} 100 = 99.8 [\%].$$

Tervezett meghibásodási valószínűség

$$PFD_{avg} = \frac{1}{RRF} = \frac{1}{500} = 2 \cdot 10^{-3}.$$

A befecskendező rendszer biztonsági szintje a 2. táblázat alapján: $SIL=2$.

A SIL meghatározására szolgáló fuzzy rendszert soft computing módszerrel a veszélyességi mátrix és a feltételes katasztrófa alkalmazásával dolgoztam ki. A feltételes katasztrófa a kapcsolókatasztrófa speciális esete, amikor az esemény változása valamilyen környezeti feltételtől függ, amint azt a 4.11. fejezetben ismertettem.

A biztonsági szint meghatározásakor a feltétel az *esemény valószínűség* változója, amelynek három lingviztikus értéke van. A soft computing módszer alapján meghatározott SIL értékeket a 3. táblázatban foglaltam össze.

Alrendszer	Veszélyesség	Védelmi réteg	Esemény valószínűség	SIL
Tüzeléstechnika	kiterjedt	egyszeres	közepes	3
Gőzdob	nagy	egyszeres	magas	2
Víz befecskendezés	kicsi	egyszeres	közepes	1

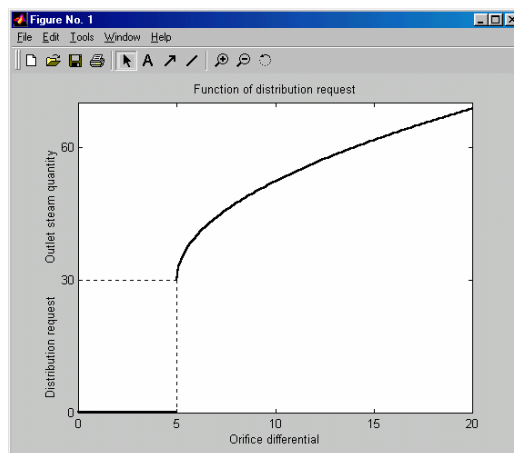
3. táblázat: Fuzzy logikával meghatározott SIL értékek

Összehasonlítva a kvantitatív eljárással és a soft computing módszerrel meghatározott SIL értékeket megállapítható, hogy a víz befecskendező rendszer biztonsági szintje más a kvantitatív eljárás szerint, és más a soft computing módszer szerint. Az eltérés abból adódik, hogy a tapasztalatok szerint a gőz hőmérsékletét beállító befecskendező rendszer meghibásodásának veszélyessége a kazán egészére nézve alacsony, ezt a kvantitatív eljárás nem tudja figyelembe venni, mert ez a jellemző nem számszerűsíthető.

A nagy rendszer optimum-közeli működésének követelménye a minimális működési költség, mely akkor biztosítható, ha az egyes alrendszerek – kazánok – terhelése az optimumhoz közeli. A minimális működési költség megvalósítására szolgáló irányítástechnikai eljárás Prof. Tóth Tibor új költségoptimalizálási elméletén alapul. A gőztermelés időben folytonos, a költség számítás alapjául szolgáló terhelésmegosztás pedig az egyes kazánok névleges terhelhetőségének arányában történik. A nagy rendszer által termelt gőz előállításának költsége az egyes kazánokra arányosan leosztott terhelés kazánokra jellemző fajlagos költsége alapján határozható meg.

3. tézis: kidolgoztam az optimum-közeli működést biztosító felügyeleti rendszert, amely biztosítja az egyes kazánok közötti, a névleges terhelhetőséggel arányos terhelésmegosztást és ezáltal a minimális működési költséget.

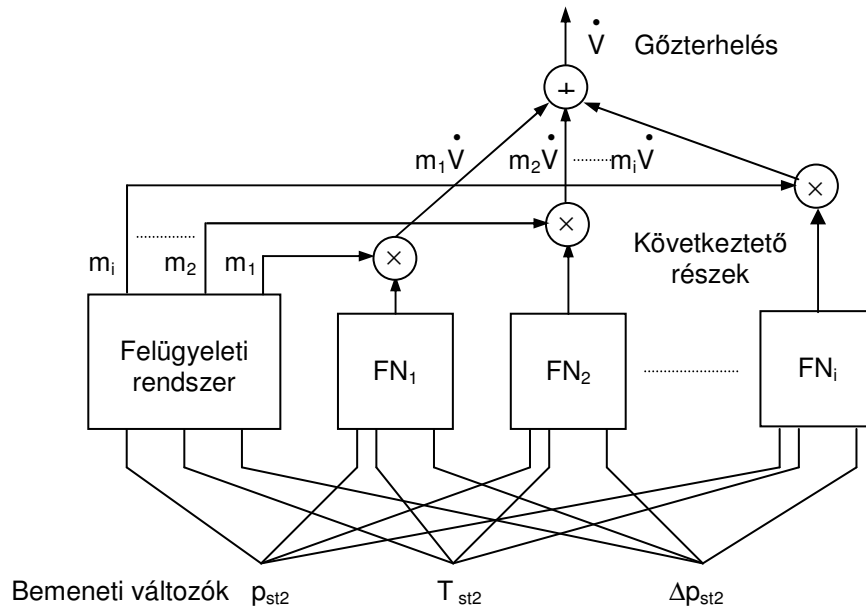
A hőerőmű felügyeleti rendszerének feladata az egyes kazánok közötti arányos terhelésmegosztás biztosítása. A terhelésmegosztás kazánok közötti aránya a hőerőmű pillanatnyi terhelésétől és az egyes kazánok pillanatnyi terhelésétől függ. A nagy rendszeren belüli terhelésmegosztás megváltoztatását a hőerőmű terhelésének változása is okozhatja, és az egyes kazánok saját irányítástechnikai rendszere is kezdeményezheti. A terhelésmegosztás megváltoztatását olyan esetben kezdeményezi a kazánok irányítástechnikai rendszere, mikor az egyes kazánokra jutó terhelés megközelíti a kazánra jellemző minimumot, a függvény kritikus pontját. A 3. ábrán látható a terhelésmegosztás kérését szemléltető függvény, mely szerint a kritikus pont elérésekor a kibocsátott gőzmennyiség nem mérhető a mérőperemmel, és ekkor küld terhelésmegosztás kérését a kazán irányítástechnikai rendszere a központi felügyelő rendszernek.



3. ábra. Terhelésmegosztás kérés a gőzterhelés függvényében

A rendszer felügyeleti struktúrája a 4. ábrán látható, ahol m_i a gőzterhelési együttható, a $\dot{V} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i$ összefüggés a nagy rendszer pillanatnyi terhelése, az i -dik kazánra jutó gőzterhelés számítására pedig a $\dot{V}_i = m_i \dot{V}$ összefüggés szolgál.

Az m_i meghatározását a felügyeleti alrendszer végzi, a terhelésmegosztás változásából adódó, az egyes kazánok irányítástechnikai alrendszereire gyakorolt hatások pedig visszafelé terjednek.



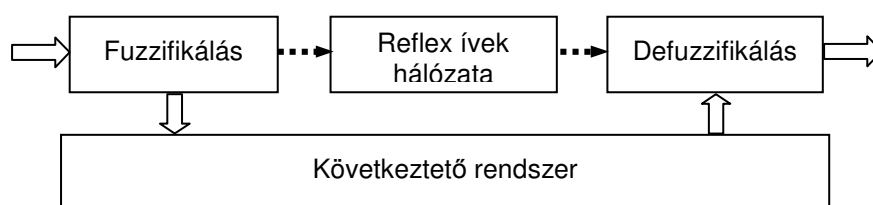
4. ábra: A hőerőmű felügyeleti rendszerének blokkdiagramja

Ezek alapján megállapítható, hogy

- a nagy rendszer működése akkor optimum-közeli, ha a pillanatnyi terhelés egyes alrendszerek közötti megosztása az alrendszerek névleges terhelésének arányában történik,
- a kazánok közötti terhelésmegosztás megváltoztatását kiváltó folyamatok áthajláskatasztrófák,
- egy nagy rendszerben, mint amilyen a hőerőmű is, a terhelésmegosztás változtatását mindig az alrendszerek kezdeményezik,
- a hőerőmű terhelésmegosztást ellátó felügyeleti rendszere neurális fuzzy rendszer.

Kifejlesztettem egy analóg neurális rendszert, amely Thom katasztrófaelméletével összhangban működik. A működési szabályokat a hálózaton belüli szinaptikus kapcsolatok valósítják meg, és a működtető jelek szinaptikus feszültségimpulzusok: gerjesztő vagy gátló hatást kiváltó impulzusok. A fuzzy neuronokból felépített neurális háló tanulási folyamatát a szinaptikus kapcsolatok létrehozása jelenti.

A fuzzy neuronokból felépített irányítástechnikai rendszer vegetatív és reflex funkciókkal rendelkezik. A vegetatív működés feladatát: a normális feltételek közötti működét az analóg neurális sejtekből – afferens, interim és moto-neuronokból – felépített fuzzy rendszer biztosítja, a reflexek működtetését pedig az 5. ábrán látható áthidaló reflex ív, a “*katasztrófa*híd” látja el.



5. ábra: A fuzzy katasztrófarendszer sematikus felépítése

A neurális fuzzy rendszer úgy működik, mint az emberi idegrendszerben a vegetatív idegrendszer, a reflex ívek pedig a szélsőséges hatásokra adandó gyors válaszokat állítják elő. A normális működés szabályai a következtető rendszerben vannak tárolva, a szélsőséges állapotokra vonatkozó működési szabályokat pedig a reflex ívek hálózata valósítja meg.

4. tézis: kidolgoztam egy analóg neuronokból álló neurális fuzzy hálózatot, melynek Thom katasztrófaelmélete szerinti működését a reflex ívek valósítják meg, és ezek a reflex ívek eseményvezérelt, valósidejű működésű neurális alrendszerek, az őket alkotó neurális sejtek pedig végesautomaták.

A reflex ív a vegetatív idegrendszer alapvető alrendszere, amely afferens neuront és moto-neuront tartalmaz. Emiatt rendkívül gyors működésű, mert az inger – a gerjesztő potenciál vagy a gátló potenciál – az afferens neurontól közvetlenül jut a beavatkozó szervet működtető moto-neuronhoz.

A neurális sejtek által alkotott alrendszeren belül a szomszédos sejtek között lévő szinaptikus kapcsolatok jelentik a neurális alrendszer működési szabályait. A szinaptikus kapcsolatok áramköri kapcsolatok.

Az elemi neurális sejteknek három típusát dolgoztam ki: az afferens neuront, az interim neuront és a moto-neuront. A neuronok működését a formális leírás szabályai szerint matematikai objektumokkal írtam le, a neurális sejtek áramköri kapcsolásai hasonlóak, funkciójukat a hierarchiában elfoglalt helyük határozza meg.

A neurális sejtek valamilyen környezeti esemény – inger vagy szinaptikus potenciál – által indított valósidejű ciklus alatt működnek, ekkor a keletkezett válasz, a kimeneti állapot egy adott bemeneti jelre mindig ugyanaz, és a valósidejű ciklus alatt a létrejött állapot nem változik meg, ezért a neurális sejt mint automata a valósidejű ciklus alatt *végesautomatának* tekinthető. A fentiek alapján megállapítható, hogy az afferens neuron, az interim neuron és a moto-neuron működése hasonlít az organikus neuronok működésére.

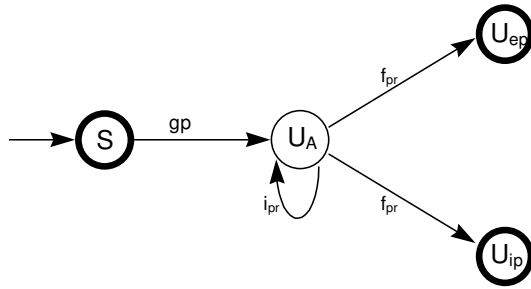
A fuzzy neuronok működését Chomsky reguláris nyelvek formális leírásának szabályai szerint írtam le. A működést szemléltető gráfok és formális leírások a 6., a 7. és a 8. ábrán láthatók.

A formális leírásban szereplő matematikai objektumok a következők: Q az automata állapotainak halmaza, Σ a bemeneti jelkészlet, δ a mozgásszabályok halmaza, F pedig az elfogadó állapotok (végesállapotok) halmaza.

Az analóg afferens neuron, interim neuron és moto-neuron működését leíró matematikai objektumok alapján megállapítottam, hogy a neuronok a következő tulajdonságokkal rendelkeznek:

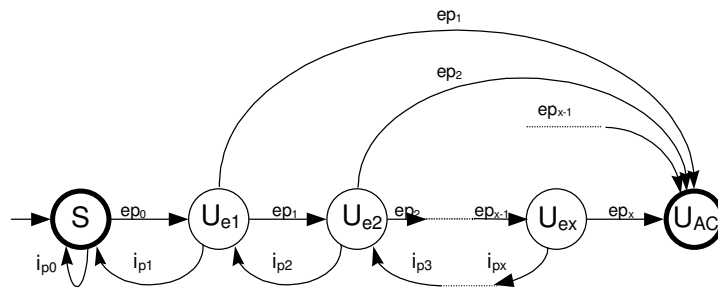
- a) az afferens neuron, az interim neuron és a moto-neuron működése hasonló az organikus neuronok működéséhez,
- b) valamennyi neuronnak meghatározott funkciója van, és csak eszerint tud működni,
- c) a neurális cella *végesautomataként* működik a valósidejű ciklus alatt,
- d) az afferens neuron nem-determinisztikus, teljesen specifikált végesautomata,
- e) az interim neuron nem-determinisztikus, nem teljesen specifikált végesautomata,
- f) a moto-neuron determinisztikus, teljesen specifikált végesautomata..

Az egyes analóg neuronok áramköri felépítését és villamos paramétereit az értekezés 2., 3. és 4. számú melléklete tartalmazza.



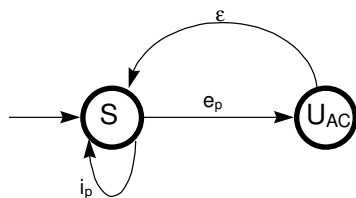
$$\begin{aligned}
 Q &= \{S, U_a, U_{ep}, U_{ip}\}, \\
 \Sigma &= \{gp, i_{pr}, f_{pr}\}, \\
 \delta &= \{(S, gp) = U_a, (U_a, i_{pr}) = U_a, (U_a, f_{pr}) = U_{ep}, (U_a, f_{pr}) = U_{ip}\}, \\
 F &= \{U_{ep}, U_{ip}\}.
 \end{aligned}$$

6. ábra: Az afferens neuron gráfja és formális leírása



$$\begin{aligned}
 Q &= \{S, U_{e1}, U_{e2}, \dots, U_{ex}, U_{AC}\}, \\
 \Sigma &= \{ep_0, ep_1, \dots, ep_x, ip_0, ip_1, \dots, ip_x\}, \\
 \delta &= \{(S, ep_0) = U_{e1}, (S, ip_0) = S, (U_{ej}, ip_1) = S, (U_{ej}, ep_j) = U_{e(j+1)}, \\
 &\quad (U_{ej}, ep_j) = U_{AC}, (U_{ex}, ep_x) = U_{AC}, (U_{ej}, ip_j) = U_{e(j-1)}\}, \\
 F &= \{U_{AC}\}.
 \end{aligned}$$

7. ábra: Az interim neuron gráfja és formális leírása



$$\begin{aligned}
 Q &= \{S, U_{AC}\}, \\
 \Sigma &= \{e_p, i_p, \epsilon\}, \\
 \delta &= \{(S, i_p) = S, (S, e_p) = U_{AC}, (U_{AC}, \epsilon) = S\}, \\
 F &= \{U_{AC}\}.
 \end{aligned}$$

8. ábra: A moto-neuron gráfja és formális leírása

7. Az új tudományos eredmények hasznosítása

A tudományos eredmények közvetlenül felhasználhatók hőerőművek működésének irányítására. A nagy rendszerek felügyeleti rendszerének fuzzy logikai irányítása fokozatosan vezethető be. Ez azt jelenti, hogy a nagy alrendszerek önállóan is működni tudnak. Emiatt a felügyeleti rendszerek minden olyan helyre beilleszthetők, ahol a több szintű rendszer hierarchiáját kommunikációs hálózat biztosítja.

A fuzzy neuronokból felépített hierarchikus irányítási rendszer kizárólag a modellezett folyamat irányítására alkalmas. A fuzzy szabályokat a neurális sejtek közötti szinaptikus kapcsolatok létrehozásával lehet betanítani. A neurális sejtek közötti szinaptikus kapcsolatok akár szoftveres úton is létrehozhatók digitális rendszerekben, de analóg áramkörüi rendszerek esetében valódi fizikai csatlakozások segítségével is megteremthetők.

Tudományos kutatási eredményeim akkor alkalmazhatók, ha

- a technológiai rendszer működése leírható Thom katasztrófaelméletével,
- a technológiai rendszer a dekompozíció módszerével olyan önálló alrendszerekre bontható, amelyek akár nagy alrendszerek is lehetnek,
- a dedikált alrendszer technológiai jellemzőit az irányítástechnikai rendszernek meg kell tanulnia, és tudnia kell használni,
- a kimeneten megjelenő hibák a felügyeleti rendszeren keresztül visszafelé terjedve gyakorolhatnak hatást az irányított alrendszerekre.

A Thom katasztrófaelméletén alapuló soft computing módszerrel működő irányítástechnikai rendszerek alkalmazási területei

- a *valós idejű folyamatirányítás*, ahol nagy alrendszerek irányítását saját felügyeleti alrendszerek végzik, és ahol a nagy alrendszereket egységes, nagy rendszerbe foglalja a hierarchikus irányítást megvalósító felügyeleti rendszer, amely meghatározza az egyes alrendszerek közötti viszonyokat és az elérendő célt vagy célokat,
- a *valós idejű rendszerdiagnosztika*, ahol a biztonság érdekében a nagy rendszerek folytonos, folyamatos, gyors hibaelemzésére van szükség,
- az olyan technológiák, amelyekben a *termelési költségek az alrendszerek működési jellemzőitől függenek*, és a nagy rendszer gazdaságos irányítása gyors beavatkozást igényel a terhelés elosztásnak az egyes nagy alrendszerek jellemzői alapján történő megváltoztatásában, mint például a több kazánnal rendelkező hőerőmű esetében, a több generátort tartalmazó villamos erőműben, a több kohóval működő kohászati technológiai rendszerekben, nukleáris erőművek reaktorainak folyamataiban,
- a *szélsőségesen lassú vagy szélsőségesen gyors folyamatok* irányítása, mint a gőztermelés technológiája, vagy a nagy sebességű repülőgépek stabilitásának biztosítása, vagy nukleáris erőművek működésének felügyelete,
- a *felügyeleti irányító rendszerek*, ahol az ember képességei már nem elegendők a nagy rendszerek működésének kellően biztonságos irányítására, mint amilyenek a hőerőművek, a kohóművek, a nukleáris erőművek, vagy a légiforgalmi irányítás.

Az értekezés témaköréből készült publikációk

1. Ormos L. [1986]. „A „zöld” robotok.” AUTOMATIZÁLÁS, 1986/8, p. 35-39, PRODINFORM, Budapest, HU ISSN 0733-1620
2. Ormos L.[1993]. „Folyamatirányító berendezések multiprogramozása.” MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testülete, Nyíregyháza, ISBN 963 8048 03 4, 62 o.
3. Ormos L.[1994] “A CAQ helye a vállalati információs rendszerben.”(jegyzet), TÜV Akadémia Hungária, Budapest.
4. **Ormos, L.-** K. Tarnay [1994]. „Formal Description of Function and Operation of Artificial Intelligence in the Natural Environment.” **COMBIO '94** The Computational Modelling in Biosciences Nyíregyháza, Proceedings p.198-210, ISBN 963 8048 07 7
5. Ormos, L.[1995]. „A Model of Neuron for Artificial Intelligence Used in the Natural Environment.” **COMBIO '95** The Computational Modelling in Biosciences, Kecskemét, Proceedings p. N.3-N.5. , KFKI-1995-14/M-H
6. Ormos, L.[1996]. „ Formal Description as a Tool for the Artificial Intelligence to Learn the Rules of Operation in the Natural Environment.” ROBOTICS IN ALPE-ADRIA-DANUBE REGION **RAAD'96**, Budapest, Proceedings p. 553-555, ISBN 963 420 482 1
7. Ormos, L.[1997]. „Neural pre-processing of data originated from the natural environment.” 3rd International Symposium on Sensors in Horticulture, Tiberias, Israel, Proceedings, p.59
8. Ormos, L.[1999]. „On-Board Neural Flight Control Network Based on the Model of Human Reflex Course.” 12. Magyar Repüléstudományi Napok, Budapest-Nyíregyháza, Kiadvány 59-65. o., ISBN 963 03 7803
9. Ormos, L.[1999]. “Environment friend fuzzy-control for greenhouse by artificial intelligence based on operation of human nervous system.” British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques towards the 3rd Millenium, Haifa, Israel
10. Ajtonyi, I.- **L. Ormos** [2000]. „Artificial intelligence for real-time control of slow process” TEMPUS INTCOM 2000, Symposium on Intelligent Systems in Control and Measuring, Veszprém, Proceedings p. 117-125.
11. Ormos L.[2000]. „FPAD-alapú neurális fuzzy-sejt áramköri kialakítása.”(kutatási megbízás, 18 o.; témaszám: FKFP 6990625), Miskolci Egyetem, 2000.
12. Ormos, L.[2001]. „Formal description as a tool to describe the development and relationship of plants to greenhouse.” 4th International Symposium on Mathematical Modeling and Simulation in Agriculture and Bio-industries, Haifa, Israel, Proceedings on CD-ROM.
13. Ormos, L.[2001]. „Longitudinal flight stability control during the sweep-back angel of wing by neural fuzzy-control.” Third Avionics Conference-Warmia 2001, Waplewo, Poland, Proceedings p. 95-101, ISSN 0209-2689

14. Ormos L.[2001]. „FPAD-alapú neurális fuzzy-sejt áramköri kialakítása.” GÉP, 2001/8, p. 24-27. ISSN 0016-8572
15. Ormos, L.[2001]. „Neural pre-processing of data originated from the natural environment.” Acta Horticulturae, ISHS, Leuven, 2001 November, Number 562. p. 269-272, ISSN 0567-7572, ISBN 90 6605 95 40
16. Ormos L.[2001]. „FPAD alapú fuzzy-sejt bemérése, FPAD alapú neurális sejt bemérése és neuro-fuzzy alkalmazás fejlesztés.” (kutatási megbízás, 25 o.; témaszám: 6 010607 FKFP 39/99), Miskolci Egyetem.
17. **Ormos, L.-** I. Ajtonyi - T. Ádám [2002]. „Thom’s catastrophe theory as tool for soft computing.” Euro-International Symposium on Computational Intelligence, E-ISCI 2002 Intelligent Solutions into Technology, Miskolc-Lillafüred, IST 2002 (Post-Conference of E-ISCI 2002)
18. Ajtonyi, I.-**L. Ormos** [2003].”Soft computing method for control of steam production in heat power station.” 4th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration, May 28-30, 2003, University of Miskolc, Proceedings p. 517-524. ISBN: 963 661 570 5
19. Ajtonyi I.(szerk.) [2003]. “Automatizálási és kommunikációs rendszerek.” **Ormos L.:** 2.5-2.6 fejezet. Miskolci Egyetemi Kiadó, p.162-174.
20. **Ormos, L.-** I. Ajtonyi [2004]. ”Thom's catastrophe theory used in soft computing as tool for real-time control of steam production.” SAMI 2004, 2nd Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, January 16-17, Herl'any, Slovakia, Proceedings p. 89-101.
21. Ajtonyi, I.-**L. Ormos** [2004].”Soft computing based qualitative method for determination of SILs.” Workshop on standard IEC 61508, SIPI61508, April 27-28, 2004, Budapest.