

**Óbudai Egyetem
Doktori (PhD) értekezés**



**Felszíni villamos hajtású járművek és robotok (UGV)
akkumulátorparaméter eltéréseinek vizsgálata fuzzy logika és
Support Vector Machine módszerekkel**

Menyhárt József

Témavezető:
Prof. Dr. Szabolcsi Róbert
PhD, „Dr. habil.”, egyetemi tanár

Biztonságtudományi Doktori Iskola
Budapest, 2017.

Szigorlati bizottság:

Elnök: Prof. Dr. Berek Lajos egyetemi tanár, ÓE

Tagok: Dr. Kiss Sándor egyetemi docens, NKE

Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, ÓE

Nyilvános védés bizottsága:

Elnök: Prof. Dr. Pokorádi László egyetemi tanár, ÓE

Titkár: Dr. Szűcs Endre adjunktus, ÓE

Tagok: Prof. Dr. Berek Lajos egyetemi tanár, ÓE

Dr. Szilvássy László egyetemi docens, külső NKE

Dr. habil. Ruzinkó Endre egyetemi docens, ÓE

Bírálok: Dr. Békési Bertold egyetemi docens, külső NKE

Dr. Hanka László adjunktus, ÓE

Nyilvános védés időpontja:

2018. február 1.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, a kutatási téma aktualitása, motiváció	5
1.1 Az értekezés célja	6
1.2 Kutatói hipotézisek	7
1.3 A kutatás módszere.....	8
1.4 Kutatás során használt prototípus jármű bemutatása.....	9
2. A robotokról röviden.....	12
2.1 Robot szó etimológiája	12
2.2 Robotok kialakulásának története.....	13
2.3 Robot generációk.....	14
2.4 AGV és UGV rendszerek	17
2.4.1 Unmanned Ground Vehicle.....	18
2.4.2 Automated Guided Vehicle	24
2.5 A fejezet összefoglalása, következtetések	25
3. Lean és az UGV/AGV rendszerek	26
3.1 Lean története	26
3.2 Just in Time és a vevői igények.....	28
3.3 Milk Run - körjárat	29
3.4 Terhelés halmazok.....	30
3.5 Miért fontos a megfelelő karbantartás és üzemeltetés?	32
3.6 Akkumulátorok és Battery Management System	34
3.7 Villamos feszültség mérése Arduino-val.....	37
3.8 A fejezet összefoglalása, következtetések	40
4. Paraméter eltérések és a fuzzy logika	41
4.1 Paraméter eltérések.....	41
4.2 Fuzzy logika - bevezetés.....	43
4.3 A fuzzy logika története	45
4.4 Halmazelméleti ismeretek	47
4.5 Műveletek fuzzy halmazokkal.....	49
4.6 Akkumulátor paraméter vizsgálat fuzzy szabálybázissal	52
4.7 Sigmoid függvények	57
4.8 Akkumulátor paraméter eltérés vizsgálata fuzzy logikával.....	58
4.9 A fejezet összefoglalása, következtetések	65

5.	Support Vector Machine és a fuzzy logika alkalmazása	67
5.1	Support Vector Machine története.....	67
5.1.1	Support Vector Machine alkalmazása osztályozásra	67
5.1.2	Support Vector Machine – Veszteségfüggvények (regresszió)	68
5.2	Akkumulátor feszültségparaméter vizsgálata SVM módszerrel	69
5.3	Akkumulátor feszültségadatok vizsgálata fuzzy logikával	72
5.4	A fejezet összefoglalása, következtetések	77
6.	Összefoglalás	79
7.	Új tudományos eredmények	81
8.	Tudományos eredmények hasznosítása	84
	Felhasznált irodalom	85
	A jelölt értekezéssel kapcsolatos publikációi (Lezárva: 2017.09. 20.)	93
	A jelölt értekezéssel nem kapcsolatos publikációi (Lezárva: 2017.09.20.).....	94
	Rövidítésjegyzék	96
	Táblázatjegyzék.....	97
	Ábrajegyzék	98
	Mellékletek.....	100
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	124

1. Bevezetés, a kutatási téma aktualitása, motiváció

Eddigi pályafutásom során volt szerencsém különböző üzemek üzemfenntartási rendszereinek fejlesztésében részt vennem, legyen az autóipar vagy elektronikai ipar. A termelőüzemek, szemmel láthatóan igyekeznek az automatizálás felé elmozdulni, ami teljesen új karbantartási és üzemfenntartási stratégiát követel meg.

Egyetemi éveim alatt kerültem közelebb a villamos hajtású járművekhez és robotokhoz, amelyek nagy hatással voltak rám. Az elméleti ismeretek elsajátítása mellett lehetőségem volt gyakorlatban is megismerkedni a különböző villamos hajtások felépítésével és a különböző akkumulátorokkal. Ezen ismeretek segítségével több alternatív hajtású versenyen dobogós helyezést értünk el a Debreceni Egyetem Műszaki Kar színeiben. Az itt felhalmozott tudásanyag birtokában nyilvánvalóvá vált számomra, hogy a villamos hajtású járműveknek és robotoknak fontos szerepe van, és lesz az iparban.

Manapság (2017) megfigyelhető, hogy az autógyárak egyre inkább az alternatív hajtású járművek fejlesztése felé fordulnak. Új energiaforrásként a villamos áram használata a legfontosabb cél a legtöbb jármű- és robotgyártónak. Az új hajtáslánc és az energiaellátó-rendszer más szerviz feltételt követel meg, mint egy hagyományos, fosszilis energiahordozóval működő jármű.

Az új hajtásláncok üzemeltetése szigorú előírásokhoz kötött, amelyek megszegése esetlegesen gépleálláshoz vagy balesethez vezethet. Ellentétben egy hagyományos, belső égésű motorral szerelt jármű esetében a karbantartási munkák elvégzéséhez a karbantartást végzőknek megfelelő tapasztalattal is rendelkezniük kell.

A napjainkban használt „Lean” elvek érvényesülése miatt a fentebb írt tapasztalati adatokra való támaszkodás fontos egy termelőüzem életében. Előfordulhatnak olyan körülmények, amikor a vevői igények maximális kielégítésének érdekében nincs idő a járművek, robotok karbantartásának megfelelő időbeni elvégzésére. A „Just in Time” elve alapján a karbantartáshoz szükséges alkatrészek megfelelő időbeni leszállítása is késhet, így a karbantartás csúszhat, de egy olyan gyár, amely nem engedhet meg kapacitás csökkenést a karbantartás oltárán áldozhatja fel a gépet. Életszerű példa a személyautó karbantartása, ahol a megadott szerviz intervallumot különböző okok miatt nem mindig és nem mindenkinek sikerül betartania, amelyek lehet például a pénz vagy egy egyszerű időhiány. Hosszabb távon ez meghibásodáshoz is vezethet, de akár a gyártó óvatosságát is felülírhatja.

A kutatómunkám fókusza a termelőüzemekben és egyéb környezetben használandó elektromos meghajtású robotok akkumulátor paramétereinek vizsgálatára helyeződött, amelyek vizsgálatához lágyszámítási módszereket alkalmaztam.

Az új energiaforrások mellett a robotokba egyre összetettebb üzem menedzsment rendszereket telepítenek és fejlesztenek. Ezek a rendszerek az akkumulátorok állapotát figyelik és a meglévő energiával gazdálkodnak, valamint meghibásodásokat is naplózhatnak, hasonlóan, mint egy OBD-¹rendszer. Ezek a rendszerek különböző mesterséges intelligenciához kapcsolódó alkalmazást futtatnak.

Ezen ismeretek tükrében a karbantartási és üzemeltetési rendszereknek is igazodniuk kell a robotokon és járműveken használt rendszerekhez. A karbantartási stratégiák és tervek kialakítása során a már fentebb említett problémák miatt a tapasztalati adatoknak egyre fontosabb szerepe van. Ezen tapasztalatok minden esetben az emberi hozzáértésen és szakértelmen alapulnak, mint ahogy azt a Lean filozófia diktálja. A kérdés nagyon is aktuális: a mesterséges intelligencia eszközei karbantartási stratégiák kialakításához alkalmazhatóak-e? Amennyiben igen, akkor ezek milyen hatással lehetnek hosszú távon egy vállalat életére.

1.1 Az értekezés célja

Az értekezés villamos hajtású robotok és járművek lítium polimer akkumulátorainak üzemeltetési paramétereit vizsgálja, amelyek paramétereltéréssel működnek. Céljaimat az alábbi pontokban összegzem, amelyeket később az eredmények összegzésénél fejtek ki részletesebben.

1. Célom a földfelszíni robotok bemutatása a jelenlegi szakirodalom segítségével.
2. Célom a napjainkban (2017) használt és népszerű vállalatirányítási filozófia, a Lean, bemutatása és vizsgálata üzemeltetési szempontból.
3. Célom a fuzzy logika és Support Vector Machine áttekintése és bemutatása szakirodalom segítségével.
4. Célom a vizsgálatra választott lítium polimer akkumulátorok üzemeltetési paramétereinek vizsgálata fuzzy logikával és SVM² módszerrel.

¹ OBD: On Board Diagnostic

² SVM: Support Vector Machine

5. Célom, hogy laboratóriumi körülmények között olyan méréseket tudjak végezni egy prototípus járművön, amelyek segítségével új üzemeltetési paraméterek határozhatók meg.
6. Az értekezés célja, hogy a mesterséges intelligencia eszközeivel összekapcsolja a jelenleg használt üzemeltetési és karbantartási rendszereket és a gyakorlatban előforduló felhasználói tapasztalati adatokat.
7. Végezetül célom, egy olyan fejlesztési javaslat kidolgozása, amely mesterséges intelligencia segítségével hosszú távon képes az egyes üzemi berendezések karbantartási és üzemeltetési tervének átalakítására, ezzel segítve a karbantartó csoportok munkáját.

1.2 Kutatói hipotézisek

A dolgozatomban az alábbi kutatói hipotézisek teljesülését vizsgálom:

1. A villamos energia egyre fontosabb szerepet tölt be napjaink közlekedési eszközeiben és különböző robot alkalmazások esetében. Az optimális energiaszolgáltatáshoz elengedhetetlen üzem menedzsment rendszerek alkalmazása. Optimális energia felhasználása segítségével a gyárak, üzemek megfelelő kiszolgálása elengedhetetlenül fontos.
2. A villamos hajtású járművek egyik fontos eleme az akkumulátor, amelyek közül a lítium akkumulátorok hódítanak a legszélesebb körben, köszönhetően a kiváló fizikai tulajdonságaiknak. Az akkumulátorok üzemeltetési paraméterei módosíthatók vagy kiszélesíthetők mesterséges intelligencia használatával. Az így kiszélesített paraméterekkel azok teljesítménye javul.
3. A mesterséges intelligencia megfelelő módszer gépek, berendezések műszaki állapotának diagnosztikájára, állapotfelmérésére és a felhasználói szokások figyelésére.
4. Fuzzy logika segítségével lehetőség van az emberi tapasztalatok modellezésére, amely megkönnyíti a karbantartást és üzemeltetést.
5. Support Vector Machine (SVM) módszerrel lehetőség van mérési adatok osztályozására és olyan optimális hipersík meghatározására, amely segítségével az üzemeltetési paraméterek új szemszögből közelíthetők meg.
6. Support Vector Machine és fuzzy logika egyszerre alkalmazható üzemeltetési és karbantartási problémák esetében. A két módszert korábban még nem alkalmazták egyidejűleg ilyen problémakörben.

1.3 A kutatás módszere

Egy kutatási vagy fejlesztési feladattal kapcsolatosan mindig fontos az egyes módszertani lépések előkészítése. Ebből kifolyólag fontos megválaszolni és tisztázni, hogy a vizsgálat, kutatás vagy fejlesztés miért is folyik. Ezen lépések kidolgozása során megválaszolandó, hogy mit vizsgálók, mivel és hogyan vizsgálom, bizonyos esetekben a feladat időbeni lefolyása is fontos információhordozással bírhat.

Munkám során felhalmozott eredményeim segítségével célom, hogy bemutassam a napjainkban használt villamos hajtású robotok és járművek lítium polimer akkumulátorainak paraméter eltéréssel üzemeltetett lehetőségét és annak biztonságos felhasználását.

Kutatásom két részre bontható. Első lépésben ezen tapasztalati adatok különböző ipari létesítmények karbantartó csoportjaitól származnak, amelyeket nagymértékben hasznosítani tudtam munkám során. A karbantartó csoportokkal történt interjúk mellett számos szakmai kiadvány, könyv, folyóirat cikk és weboldal állt a rendelkezésemre. A kutatás során főként külföldi irodalom feldolgozására került nagyobb hangsúly, mivel a fejlesztések többsége az Észak-amerikai, nyugat európai térségben jelentős, de mind ezek mellett Japán és Korea is élen jár autonóm jármű- és robotikai fejlesztésekben. Kutatások és fejlesztések során meglehetősen kevés hangsúlyt kap a manapság népszerű vállalatirányítási filozófia, amely nem más, mint a Lean. A Lean filozófia kutatási és fejlesztési tevékenységek során ritkán vagy egyáltalán nem jelenik meg. Munkám során igyekeztem a probléma megközelítését és a fejlesztési javaslatokat eme filozófia alaptörvényeinek a segítségével meghatározni és a problémákra megoldást találni.

Második lépésben az általam vizsgált jármű akkumulátorainak mérését végeztem el és dolgoztam fel MATLAB® program segítségével, amelyben témavezetőm, Prof. Dr. habil Szabolcsi Róbert egyetemi tanár szakmai támogatása nagymértékben hozzájárult a szimulációk sikeréhez. Az általam végzett mérések laboratóriumikörülmények között történtek. Ebből kifolyólag a mérések és szimulációk során bizonyos környezeti hatásokat (pl.: hőmérsékletváltozás) és azok befolyását az akkumulátorokra nem vizsgáltam.

A mérések helyszínéül szolgáló laboratóriumot 2013 decemberében adták át a Debreceni Egyetem Műszaki Karán, amelyet az akkori ZF Lenksysteme Hungária Kft. támogatott. Napjainkban (2017) a labor Robert Bosch Automotive Steering Kft. Járműtechnikai Labor néven ismert, ennek oka, hogy a ZF Lenksysteme egri gyára beolvadt a Bosch csoportba.

A dolgozat a kutatás során felhasznált jármű bemutatásával indul. Ez a fejezet bemutatja a járművet, a meghajtásához szükséges akkumulátorokat és azok fontosabb paramétereit. A

dolgozat második fő fejezete a robot szó terminológiája és fejlődésüket foglalja össze. A fejezet részletesen kitér a földfelszíni robotok fejlődésére. A harmadik fejezet első felében a Lean vállalatirányítási filozófia és annak azon aspektusai kerülnek bemutatásra, amely napjainkban elengedhetetlenül fontosak a termelő vállalatoknak, amelyek logisztikai rendszerükben robotokat alkalmaznak. A fejezet második felében a logisztikai műveletek során elszenvedett terhelések összegzése olvasható és hogy ezek a terhelések milyen hatással vannak az adott robot energiaellátó rendszerére. A negyedik fejezet a fuzzy logika történelmi háttérét és az alapvető halmaz műveleteket foglalja össze, majd egy villamos hajtású jármű akkumulátorainak megbízhatóságát vizsgálja fuzzy logika segítségével. A fejezet a dolgozat elején bemutatott jármű akkumulátorainak paraméter eltéréseinek vizsgálatával zárul. Az ötödik fejezet a Support Vector Machine elméleti háttérét és felhasználási területeit mutatja be. A fejezet további részeiben a prototípus jármű akkumulátorainak SVM fuzzy analízise olvasható. A dolgozat további részében a Következtetések, Tézisek és a Tudományos eredmények hasznosítása című fejezet kapott helyet. Ezek a fejezetek tartalmazzák a kutatás során felhalmozott tapasztalatokat és új ismereteket, valamint irányvonalat adnak az eredmények hasznosítását illetően. A dolgozat a Felhasznált irodalom, Szerzői publikációk, Ábra-, Táblázatjegyzék, Mellékletek valamint köszönetnyilvánítás fejezetekkel zárul.

1.4 Kutatás során használt prototípus jármű bemutatása

A kísérletek során egy prototípus elektromos hajtású jármű került felhasználásra, amely az UGV³-khez és AGV⁴-khez hasonlóan lítium polimer akkumulátorokat használt áramforrásnak (1. ábra).



1. ábra: Kutatás során alkalmazott villamos hajtású autó

A jármű váza alumíniumból készült és két DC 48V-os 4 kW-os soros villanymotor hajtotta meg. A motorok vezérlésére egy 48V/350 A-es DC motorvezérlő került felhasználásra.

³ UGV: Unmanned Ground Vehicle

⁴ AGV: Automated Guided Vehicle



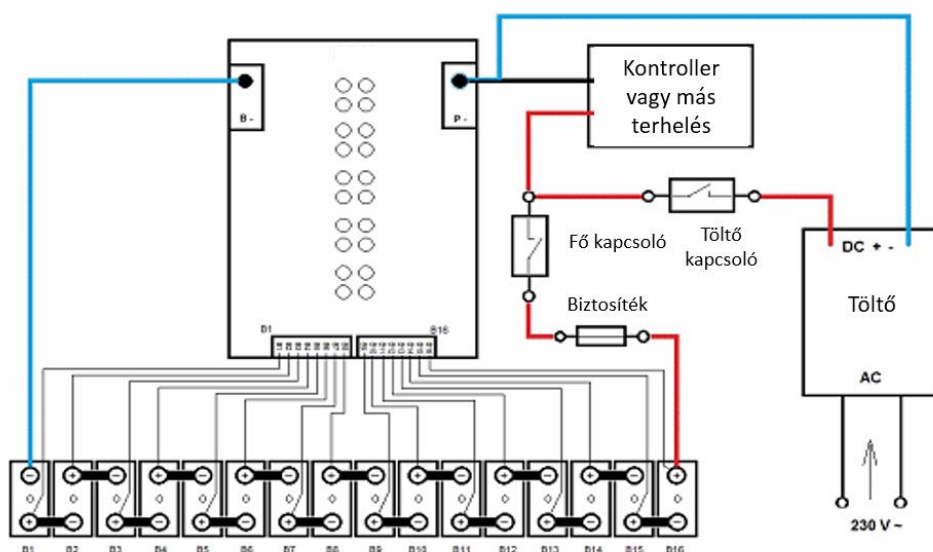
2. ábra: Az akkumulátor cellák

A meghajtáshoz 16 db akkumulátor cella (2. ábra) került felhasználásra, amelyek töltését egy 48V/30A töltő berendezés biztosította. Az akkumulátorok fő paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Akkumulátor adatok [36]

Működési feszültség	2,8-3,2 V
Névleges feszültség	3,2 V
Maximális töltési feszültség (első töltés)	4 V
Ajánlott töltési feszültség	3,8 V
Legkisebb megengedett feszültség	2,5 V
Működési hőmérséklet	-45 °C – 85 °C

A 16 db akkumulátor cella soros kapcsolás kialakításával került felhasználásra, és a hozzá kapcsolódó úgynevezett 'Battery Management System' (BMS). Ennek az egységnek a feladata az akkumulátorok energiaszintjének figyelése és szabályzása (3. ábra).



3. ábra: Battery Management System (BMS) [36]

Az akkumulátor cellák a vezetőülés mellett foglalnak helyet, oldalanként 8-8 db. A beépítés az 4. ábrán látható.



4. ábra: A beépített akkumulátor cellák

Érintésvédelmi és üzembiztonsági okokból a járműre vészleállító gomb is került, amely a jármű vezetőjének és a külső személyzetnek egyaránt könnyen elérhető pozícióba került elhelyezésre.

2. A robotokról röviden

Napjainkban egyre fontosabb szerepet kapnak a robotok, legyen az katonai vagy polgári felhasználás. Ipari körülmények között elsőként az autóipar használta őket, mint festő és hegesztő robotok, de megjelennek élelmiszeriparban, gyógyászatban, energiaszektorban és repülőgépiparban is. [13]

A különböző iparágak folyamatos költségcsökkentési módszereket és projekteket indítanak világszerte, amelynek szerves része az automatizálás és a robotok használata. Ez előre vetít több olyan lehetőséget vagy víziót, amikor a robotok az embertől átvesznek vagy átvethetnek bizonyos munkaköröket. Ezek a munkakörök elsősorban olyan tevékenységek, amely esetében az emberi tevékenység kiváltása könnyen megoldható. Ilyenek, a monoton ismétlődő tevékenységek, különböző nehéz tárgyak mozgatása olyan egyszerű útvonalakon, ahol a váratlan események valószínűsége meglehetősen kicsi. [13][47]

Az eddig leírtak alapján fontos magának a robot szónak a megértése, valamint a robotok fejlődésének megismerése.

2.1 Robot szó etimológiája

A robot és robotika szavak megmagyarázására számos kutató és író próbál meg magyarázatot adni és rengeteg tudományos és nem tudományos műben hivatkoznak rá. Magának a 'robot' szó megalkotójának Karel Čapek-et tartják, hol ott Ő maga is elismeri, hogy nem Ő, hanem testvére, Jozef Čapek találta ki a szót. A robot szót K. Čapek először a Rossum' Universal Robots (R.U.R.) című írásában írja először, ami 1920-ban jelent meg. A R.U.R. műben megalkotott robot idővel teljesen önálló lesz, és a megalkotója ellen fordul, majd rabszolgájává teszi az embert. [90][106][MJ120]

Ezután a szó használata nemzetközi szinten is elfogadottá vált. Szépirodalmi művekben a robottól, mint technikai eszköztől több elvárás van, amely elvárások kialakulásához nagymértékben hozzájárult a híres sci-fi író Isaac Asimov. Ezekben a művekben a robotok többnyire úgy jelennek meg, amik az emberhez hasonló fizikai és/vagy szellemi tevékenységet végeznek és az emberek által előállított szerkezetekről van szó.

A robotok rendszerint mozgásra képesek, több szabadságfokkal rendelkeznek. Tevékenységüket részben vagy teljes egészében önállóan végezhetik, tehát autonómok. Ebből kifolyólag a mesterséges intelligencia eszközeinek felhasználása szükséges programozhatóságuk rendkívül rugalmas. [26][106]

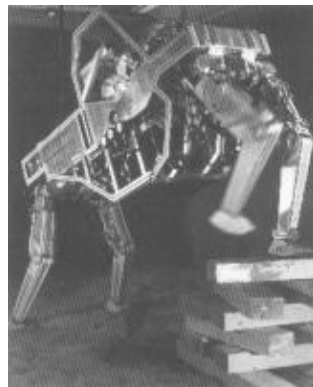
2.2 Robotok kialakulásának története

1948 és 1952 között az NC⁵ technológia óriási fejlődésnek indul az Egyesült Államokban. Azon belül az új technológia segítségével lehetőség nyílt a térbeli felületek megmunkálására egyszerre 3 irányba. 1946 és 1950 között megépítik az első távműködésű manipulátort az USA-ban. [26][103][106]

Az első robot szabadalom az angol Cyril Walter Kennward nevéhez fűződik 1954-ben. 1957-ben Joseph Engelberg és George Deol megalapította az Unimation nevezetű céget, amely kifejezetten robotok fejlesztésével és gyártásával foglalkozott. A két mérnök együttműködése során megépült az első ipari robot Unimate márkanév alatt. [17][18][26] [103][106]

A robot tervezését többnyire sci-fi elemek inspirálták. Az első „munkába állított” Unimate-et a General Motors Inland Fisher Guide gyárában használták Ewing városában New Jersey államban 1961-ben. A robot számjegyvezérléssel működött és hidraulikus hajtással szerelték. [17][44][73][106]

Az első lépegető robot McGhee & Frank nevéhez fűződik 1966-ból. A robot neve Phoney Poney. Ez a robot volt az első számítógép önjáró (lépegető) robot, amelyet számítógép vezérelt. A robotot az Egyesült Államokban tervezték és építették az University of South Carolin-án. R. Mosher vezetése alatt megalkotásra került a GE Quardruped (5. ábra) nevezetű lépegető robot. Ez a robot volt az első manuális irányítással működtetett sétáló jármű. A projekt 1968-ban zárult le. [29][106]



5. ábra: GE Quardruped [29]

1971-ben megépül az úgynevezett Stanford kar (6. ábra), amely tisztán villamos hajtást kapott és a PUMA robotok előfutárainak tekinthetők. A robotot Victor Scheinman gépészmérnök hallgató tervezte, aki a Stanford Egyetem Mesterséges Intelligencia

⁵ NC: Numerical Control

laboratóriumában dolgozott (SAIL). Az általa tervezett robotnak 6 szabadságfoka volt, és ez volt az első olyan gép, amely kifejezetten számítógépes irányításhoz készült. [103][106]



6. ábra: Stanford kar [77]

1975-ben bevezetik az Unimation PUMA robot sorozatot. 1985-ben elkezdődik az autonóm mobil robotok fejlesztése, amely napjainkig töretlen lendülettel zajlik. Az autonóm mobil robotok egyre inkább betörnek a mindennapi életünkbe, gondoljunk csak az otthonra megvásárolható robot porszívókra. Az autonóm robotok és járművek elterjedése egyre intenzívebb. Az autonóm technológia elhagyta a gyárak és laborok zárt környezetét és egyre inkább a hétköznapi járművekben is megjelenik. [106]

A következő alfejezetben a robotok generációs csoportosítása és alkalmazásuk kerül bemutatásra.

2.3 Robot generációk

A robotok I. Generációját 1960-ban fejlesztették ki. Ezeket a robotokat kifejezetten tárgyak mozgatására tervezték. Ilyen mozgatás a felemelés és a lerakás. Ezen mozgásokat termelőüzemek tudták a leginkább alkalmazni. A robotok első generációja nem rendelkezett szenzorokkal, amelyek segítségével a környezetüket tudják vizsgálni. Ezáltal a folyamataikat nem tudták megállítani vagy módosítani. [26][106]

A robotok programozhatósága meglehetősen alacsonyszintű volt. Az így megírt program a robot mozdulatait egyértelműen meghatározta. Az első ilyen robot, amely az első generációba tartozik és a robottechnológia egyik nagy úttörője a már az előző fejezetben ismertetett Unimate. 1966-ban az Unimate robotot fejlesztők piacot kerestek az Egyesült Államokon kívül. A robot licenc-ét a finn Nokia gyárnak adták, amely robotokat gyártott Skandináviában és Kelet-Európában. Európa mellett Ázsiában is folytak egyeztetések robotok gyártásáról. Engelberg 1969-ben a Kawasaky Heavy Industries-zel kötött szerződést (ma Kawasaki Robotics), hogy az ázsiai piacra gyártsanak robotokat. Az így gyártott robotok robbanásszerűen törtek be a járműiparba. [26][47][106]

Az autógyárak között egy szoros verseny alakult ki, amely végeredményben a gyárak versenyképességét javította nagymértékben. A General Motors (GM) 1969-ben építette meg gyárát Lordstown-ban Ohio államban, amely Unimate ponthegesztő robotokat használt. A termelési sebesség olyan mértékben megnövekedett, hogy a gyár képes volt 110 db autó hegesztését elvégezni egy óra alatt. Ez több mint kétszerese volt az akkori más gyárakhoz viszonyítva. A GM a robotok segítségével forradalmi újítást ért el az autógyártásban.

A II. Generációs robotokról az 1970-es évektől beszélünk. Ezek a robotok különböző érzékelőket kaptak, amelyek segítségével a környezetüket vizsgálni tudták. Az így kapott információk alapján tevékenységüket módosítani tudták, abban az esetben, ha az adott szituáció ezt megkívánta. Ezeknek a robotoknak a programozása már magas szintű programnyelven történt. Az érzékelők és a robotok robbanásszerű fejlődésének köszönhetően 1972-re 12 olyan vállalat volt, amely ipari robotokat gyártott az Egyesült Államokban. Ugyanebben az évben Kawasaki egy teljes gyártósort szerelt fel robotokkal a Nissan Motorsnál. Ez egy fontos mérföldkő a japán autógyártásban a versenyképesség megőrzésének érdekében. [26][73][106]

Svédországban kifejlesztésre került az első villamos meghajtású robot, amelyet ívhegesztésre használnak. Megjelennek az első teljesen számítógép vezérelt robotok elsősorban alapanyag megmunkálási területeken, mint fúrás, marás és bizonyos illesztési műveletek elvégzésére. A járműgyártó cégek saját robotfejlesztésbe kezdenek. A versenyképesség megőrzésének érdekében az európai gyártók is rohamtempóban kezdtek Unimate robotokat használni. Ilyen gyárak voltak a BMW, Volvo, Mercedes-Benz, British Leyland és a Fiat.

A III. Generációs robotok mesterséges intelligencia eszközeit használják. Ennek köszönhetően az érzékelőktől kapott jeleket nem csak feldolgozzák, hanem képesek a környezetről tárolt modellt önállóan módosítani, képesek információ kiválasztásra és azok párosítására. Megjelennek az önálló viselkedési algoritmusok és különböző döntési rendszerek. Ennek a generációnak jellemzője az összetett tevékenység végzése. A robotok tevékenységei bővülnek, más területeken is teret hódítanak maguknak, mint a laboratóriumok, mélytengeri vagy űrkutatások, mezőgazdaság, közlekedés és szállítás. [26][73][106]

A robotok generációs csoportosítása mellett az International Federation of Robotics (IFR) is definiál csoportosítási lehetőséget. A robotok lehetnek ipari és szerviz robotok. Az ipari robotokat mechanikai kialakításuk szerint további csoportokra bontotta az IFR [106]:

- derékszögű;
- hengerkoordinátás;

- gömbkoordinátás;
- SCARA;
- humanoid robot;

[106]-ban megfogalmazott definíció szerint a szerviz robotok olyan gépek, amelyek részben vagy teljesen autonóm módon az ember vagy más berendezés, gép számára hasznos tevékenységet végeznek. Fontos megjegyezni, hogy gyártási tevékenység nélkül. A kutatás tárgyát képező UGV és AGV-k az IFR által felállított osztályozások alapján a szerviz robotok közé és azon belül is az egyéb autonóm funkciókkal ellátott robotok közé tartoznak.

Pintér József: Robottechnika: Fejlődéstörténet, alkalmazások, robot fogalma átfogó képet fest a robotok alkalmazási területeiről. Százalékos lebontásban figyelhetjük meg a robotok alkalmazását az egyes szakterületeken (2. táblázat).

2. táblázat: Robot alkalmazások [67]

1980-as évek		1990-es évek	
ponthegeztés	28%	anyagmozgatás	25%
ívhegeztés	20%	hegeztés (pont és ív)	15%
festés	11%	festés	10%
szerelés	7%	szerelés	35%
munkadarab kezelés	24%	egyéb tevékenység	15%
kutatás, oktatás	10%		

Az 1980-as évek második felétől megindul az úgynevezett „csalódás” időszaka a termelőüzemekben, gyárakban egyszerűen elfogyott az egyszerű alkalmazások piaca, ahová egyszerűen és olcsón robotokat lehet alkalmazni. Egy komplex szerelő folyamat végrehajtására nem voltak még meg a megfelelő érzékelők és szoftverek. Ebből kifolyólag a robotgyártók termelési és értékesítési mutatószámai romlani kezdtek, tehát a robotokra való igény, kereslet csökkent. [67]

A 2. táblázatban látható, hogy az 1990-es évektől jelentős százalékban a szerelés és az anyagmozgatás jelenik meg, mint fő húzóágazat az ipari létesítményekben használt robotok területén. Fontos megjegyezni, hogy az anyagmozgatás területén nem csak a „klasszikus” robot karokról van szó, hanem fokozatosan megjelennek az AGV (Automated Guided Vehicle) és UGV (Unmanned Ground Vehicle) rendszerek. [67]

2005-ben a robotok több mint 50%-a a járműiparban volt fellelhető. Egyes elemzések szerint napjainkra a robotpiac több tíz milliárd dolláros üzletággá fejlődött és öt évente 25%-os

robotigény növekedés figyelhető meg és egyre inkább növekszik a különböző speciális alkalmazásokra történő rendelések. [67]

A következő alfejezet az AGV és UGV rendszereket mutatja be.

2.4 AGV és UGV rendszerek

Modern gyárakban egyre népszerűbbek a különböző automata anyagmozgató berendezések ezekhez egyre szélesebb körben használnak robotokat. Ilyen robotok az AGV-k (Automated Guided Vehicle). Hasonló robotok nem csak zárt környezetben fordulhatnak elő, hanem „terepen” is, ahol úgynevezett UGV-ket (Unmanned Ground Vehicle) alkalmaznak. Az AGV és UGV rendszereket először is külön kell választani. Hasonló felépítésűek és hasonló módon működnek, mégsem ugyanarról az eszközökről beszélünk.

Az „Unmanned” szó személyzet nélkülit jelent magyarra fordítva, tehát az Unmanned Ground Vehicle-t személyzet nélküli szárazföldi járműnek lehetne fordítani. Ezek a járművek olyan elektromechanikus berendezések, amelyek képesek mozgásra, helyváltoztatásra, valamint különböző érzékelőkkel vannak felszerelve és valamilyen számítógépes hardware-rel. [51]

A személyzet nélküli rendszerek képesek az előírt feladatot teljesen, vagy annak egy részét önállóan, autonóm módon végrehajtani. Az autonóm járműveknek nevezzük azokat a járműveket, amelyek képesek önállóan gyorsítani, lassítani és iránytváltani. Az ilyen járművek lehetnek táv vezéreltek vagy teljesen autonómok. Ahhoz, hogy önállóan vagy távvezérelve tudjanak feladatot ellátni szenzorokra és beavatkozókra van szükségük például.: infra, CCD stb. [41][51][63]

A mai fejlesztések körében nem csak a szárazföldi járművek népszerűek, hanem a különböző egyéb variációi is (UxV) [51][77]:

- levegő (air): UAV;
- vízi: UUV (Unmanned Underwater Vehicles), USV (Unmanned Surface Vehicles);

A fent említett járművek mindegyike tartalmazza a következő részeket [51][MJ111]:

- mechanikai elemek (hajtás, energiaellátás, alváz stb.);
- elektronika;
- rakomány/hasznos teher;
- kommunikációs rendszer;
- vezérlő;

- felhasználói interfész;

A felsorolás alapján látható, hogy a járművek vagy robotok közel ugyanazokból az elemekből épülnek fel, különbséget a feladatuk és azok ellátásának módja között lehet felfedezni.

2.4.1 Unmanned Ground Vehicle

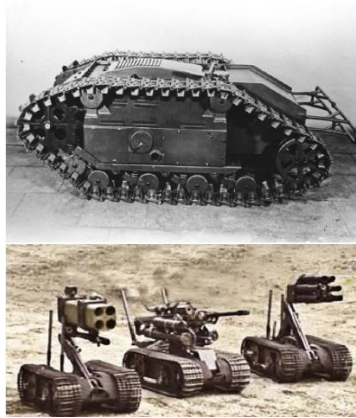
Az első UGV-knek tekinthető eszközt az 1930-as években és a korai 1940-es években építették a Szovjetunióban, ennek a neve Teletank volt. A robot megalkotása a II. Világháború miatt vált fontossá. Ez a robot távirányítású volt és a Téli Háború alatt használták 1939 és 1941 között. [70][MJ120]

Fontos megjegyezni, hogy nem csak a szovjetek használtak hasonló fegyvereket a II. Világháború folyamán. Hasonlóképpen cselekedtek a britek is. Az általuk kifejlesztett jármű rádió távirányítással működött és a prototípus a Matilda II. nevet kapta, amely a 7. ábrán látható, mindez 1941-ben történt. [108][MJ120]



7. ábra: Matilda II [108]

A szövetséges csapatok mellett Németország is fejlesztésekbe kezdett. Az általuk kifejlesztett Goliath hasonlít talán legjobban a napjainkban használt vagy értelmezett UGV-khez. [MJ120]



8. ábra: Goliath és napjaink UGV-i [6]

A 8. ábrán látható (felül) maga a Goliath robot, alatta pedig a napjainkban használatos katonai robotok. A képen kiválóan megfigyelhető a hasonlóság a régi és a modern eszközök között, persze mindez csak külsőleg mutat hasonlóságokat. A Goliath robot 60 kg robbanóanyagot volt képes magával szállítani. [41][MJ111][MJ120]

Ahogy látható, e robotokat ember irányította valamilyen módon, pl. rádiótechnika vagy egyéb, akár vezetékes távvezérlés segítségével. Napjainkban a mesterséges intelligencia folyamatosan veszi át a vezető szerepet a robotok és az autonóm járművek irányításánál. [76][MJ111]

A II. Világháború után a fejlesztések zöme az Egyesült Államokban folyt. Hamar felismerték, hogy a robotok kiválóan alkalmazhatóak az emberek számára veszélyes helyeken vagy akár zárt környezetben is. A mesterséges intelligenciának köszönhetően az 1960-as években indult meg az UGV-k rohamtempóban történő fejlesztése. Az első ilyen robot a DARPA által megalkotott SHAKEY volt (9. ábra). Ez a robot egy speciális kerekre épült, amely különböző szenzorok és kamerák segítségével tájékozódik. [23][41][87][101][102][MJ111]



9. ábra: Shakey [87]

SHAKY robotot a DARPA az 1980-as években ismét elővette egy új program kialakítása során, ennek a neve az „Autonomous Land Vehicle” volt. Ez a jármű egy standard 8 kerekű jármű alapjaira épült, amely 45 mérföld/órás (~72 km/h) sebességre egyenletes talajon (aszfalt), terepen pedig 18 mérföld/órás (~ 28,8 km/h) sebességre képes. [23][41][87][101][102]

A Ground Surveillance Robot projekt keretein belül egy 7 tonnás M-114 harckocsi került átalakításra, hogy megfelelő katonai feladatokat kiszolgálhasson. A Teleoperated Buggy volt a másik olyan jellegű átalakítás, ahol egy meglévő járművet alakítottak át.

Itt debütált az úgynevezett „Advanced Teleoperator Technology”. A technológia sikere arra ösztönözte az amerikai politikát, hogy újabb programokat és kutatásokat indítsanak robotika területén. 1985-ben egy földi és levegő TeleRobot (Ground/Air TeleRobotic Systems, GATERS) rendszer került elindításra az amerikai haditengerészet vezetése által. [23][41][101][102]

A GATERS program célja, olyan járművek kifejlesztése (TeleOperated Vehicle, TOV), amelyek támogatják a különböző UGV rendszerek fejlesztését és azok katonai célú felhasználását. Az első ilyen jármű egy HMMWV (Humvee, 10. ábra) volt, amely a Teleoperated Buggy építése és fejlesztése során felhalmozott tapasztalatokból épült fel. Az így épített járművek különböző érzékelőkkel és kamerákkal lettek felszerelve, amelyet úgynevezett RSTA⁶ csomagnak neveznek. Az így kialakított rendszer 1988 májusában került bemutatásra az amerikai Camp Pendleton-ban. A HMMWV-k mindegyike fegyverzettel volt ellátva, amelyet távirányítással lehetett aktiválni és használni. A távirányítás 15 km-es távolságból működött, ami fontos különböző vegyi támadások vagy feladatok esetében. Ez a sikeres program hívta életre az úgynevezett 'Teleoperated Mobile Anti-Armor Platform'-ot (TMAP). Ezt a prototípus rendszert 1987 és 1988 között gyártották. Ezek már egy vegyes dízel elektromos hibrid rendszerek voltak. [23][84][85][101][102]

⁶ RSTA: Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition



10. ábra: Teleoperated HMMWV [84]

Az 1990-es évektől a személyzetnélküli járművek fejlesztése egy kézbe összpontosult az Egyesült Államokban, ez a 'Unmanned Ground Vehicles Joint Program Office' volt. Az első projekt a 'Tactical Unmanned Ground Vehicle' volt, majd ez a program folytatódott az úgynevezett 'Surrogate Teleoperated Vehicle' fejlesztésével, ahol a hadsereg és a haditengerészet igényei találkoztak. Ez a jármű méreteit tekintve elég kicsi volt ahhoz, hogy könnyedén lehessen helikopteren szállítani vagy egyéb más szárazföldi járművel, mint például a HMMWV. Felépítését tekintve egy 6 kerekű alvázra épült. A járművet az operátor távirányítással működtette, amelyhez kamerákon kívül még GPS is a segítségére volt. Nappali időszakban színes, míg éjszakai irányításhoz fekete fehér kijelzőket használtak, emellett még egyéb más lézeres optikai érzékelők és szenzorok működtek a járművön (11. ábra). [23][41][84][85][101][102]



11. ábra: Surrogate Teleoperated Vehicle [85]

A 'Surveillance and Reconnaissance Ground Equipment (SARGE) egy forgó rácsos szerkezetet használt, amelyen két összesen 4 kamera kapott helyet. A jármű egy 4 kerekű platformra épült.

Az eddigi járművek minden esetben távirányítással működtek, úgy, hogy egy operátor vagy pilóta irányította azokat valós időben. A GECKO programban ez megváltozott. Egy új irányítási rendszer került bevezetésre, amelynek a neve 'Feedback Limited Control System'

(FELICS) volt. Az operátor egy kijelzőn előre definiálta a jármű útját és a jármű azon automatikusan végig ment. A jármű maximális sebessége több mint 20 mérföld/óra (~ 32 km/h) volt. [23][102]

A következő mérföldkövet az ARPA DEMO programjai jelentették. Megjelentek azok a fejlesztések, amelyeknek köszönhetően a járművek kooperatív munkát tudtak végezni a feladataik ellátása közben. Bemutatásra került az „Autonomous Land Vehicle in a Neural Network” (ALVINN), amely egy útkövető számítógépes algoritmus volt. 1995 júliusában a járművek egy közös misszió vettek részt. A felderítés során a járművek megtalálták a célpontjukat, adatokat küldtek az operátornak és egy Apache helikoptertől támadást kértek. Az operátor a parancsot természetesen felülbírálja és a támadást is ő hagyja jóvá. [23][102]

Harcászati szempontból másik probléma az elaknásított harcterület, erre külön fejlesztések irányulnak, hogy az aknamentesítést valamilyen jármű vagy robot végezze, és adott esetben lehetőleg ne kerüljön emberéletbe egy ilyen helyszínen történő feladat végrehajtása. [23][32][41][102]



12. ábra: Mini-Flail [32]

Az ilyen jellegű járművek fejlesztése a dél-szláv, boszniai háború idején kapott nagy lendületet. Ahogy a 12. ábrán is látható a jármű egy tengelyre felszerelt láncokat forgat, amely a taposóaknákat és robbanószerkeket működésbe hozza így hatástalanítva azokat. A különböző műszaki problémák miatt a programot leállították. [23][32][102]

1999-ben jelentek meg a 'Remote Ordnance Neutralization' (RON) robotok, amelyek a vezetónélküli járművek fontos részét képezik. Több száz ilyen rendszerű robot készült. Ezek a robotok villamos hajtással rendelkeznek. [23][33][102][MJ111]

Napjainkban egyre inkább előtérbe kerülnek az úgynevezett Man-Portable Robotic Systems rendszerek (MPRS). Ennek a programnak a keretében olyan könnyű, hordozható robotok kifejlesztése a cél, amelyek könnyen szállíthatók, épületen belül, kívül, csatornában és barlangokban egyaránt könnyen használhatók (13. ábra). [23][102][MJ111]



13. ábra: MPRS URBOT Field Robot [20]

A 13. ábrán is látható, hogy ezek a robotok kisebb mérettel rendelkeznek, mint az eddigi társaik. Meghajtásukhoz szükséges villamos áramot akkumulátorokból nyerik. Felderítésen kívül veszélyes (biológiai, vegyi vagy radioaktív) anyagok kezelésére is használhatnak ilyen robotokat. Az ilyen tevékenységre használt robotokat úgynevezett robot karral szokták ellátni és távirányítással működtetik őket. Erre mutat példát a 14. ábra. [23][63][102][MJ111]



14. ábra: MATILDA robot [62]

Egyre inkább elterjedőben vannak az úgynevezett URBOT-ok. Ezek a robotok távirányításúak, teljesen vízállók és több kamerával rendelkeznek. Az operátor távirányítással működteti a robotokat. A robotok újratölthető akkumulátorokkal működnek, amelyek 4-5 óra üzemidőt tesznek lehetővé. Kiváló manőverezhetőségüknek köszönhetően rendkívül jól használhatók csatornában vagy városi hadszíntereken. [62][63][102][MJ111]

Napjainkban nem csak harcászati célokra használnak UGV-ket, hanem kutatómunkára és közlekedési eszközként is. Űrkutatási célokra először a NASA alkalmazott UGV-ket. Napjaink közlekedési rendszereiben is egyre inkább előtérbe kerülnek a vezető nélküli járművek, gondoljunk itt a már vezető nélkül működő metró szerelvényekre vagy a TESLA autógyár által gyártott járművekre, amelyek egyre több önvezető funkciót tartalmaznak. [63][102][MJ111]

2.4.2 Automated Guided Vehicle

Az Automatic/Automated Guided Vehicle (AGV) felépítését és működését tekintve rendkívül hasonló az UGV-hez. Számítógép vezéreltek, kezelő nélküliek, elektromos meghajtásúak és többnyire anyagmozgatásra használják őket. Ezek a robotok valamilyen jelölést követnek a padlón, vagy optikai navigációt használnak, esetleg valamilyen mágneses anyagot alkalmaznak a navigáció sikeres végrehajtásához. Az esetek többségében ipari környezetben használják őket. Az első AGV-t 1953-ban készítette a Barrett Electronics of Northbrook Illinois-ban az Egyesült Államokban. 1973-ban a Volvo a svédországi Kalmar üzemében több mint 280 AGV-t kezdett el használni. 1976-ban megjelent az első egységrakomány szállítására alkalmas AGV. [1][9][82][MJ111]

Használatuk elterjedésének több oka van. Monoton, ismétlődő munkákat végeznek, nehéz anyagokat mozgatnak sokkal, nagyobb pontossággal, mint a humán munkaerő. Fontos megjegyezni, hogy több műszakban is üzemeltethetők, így hosszabb távon jelentős költségeket spórolhat meg az üzemeltetőjének. A rendszer felépítését tekintve az könnyen bővíthető, illetve a robotok útvonala könnyen módosítható. Az UGV-kel ellentétben nem távirányítással működnek, hanem előre meghatározott úgynevezett körjáratokon végeznek feladatokat. Ezáltal működésük kiszámíthatóbb, karbantartásuk könnyebben tervezhető. Termelő vállalatoknak ez nagyon fontos, és a napjainkban népszerű Lean termelési filozófia keretein belül kiemelten fontos a kiszámíthatóság, amíg egy ember adott esetben eléggé bizonytalan tud lenni. [1][9][82][89][MJ111]

AGV-nek több típusát különböztetjük meg:

- villás;
- vontató;
- egységrakományos;
- egyéb;

A 15. ábrán látható AGV egy egységrakományt szállít. Megfigyelhetők a padlón lévő jelölések, amelyeket mozgása során követ. [1][9][30][90][82][MJ111]

Az előre meghatározott útvonaluk számítógép segítségével készül el. Négy különböző módon közlekedhetnek üzemben belül:

- optikai: színes jelölők;

- huzal: beágyazva a padlóba;
- inercia: giroszkóp, mágnesek segítségével;
- lézer;



15. ábra: Automated Guided Vehicle [9]

A termelőüzemek nagy része zárt vagy részben nyitott, ebből kifolyólag az AGV-k meghajtására nem lehet belső égésű motort vagy hibrid rendszereket használni. Az AGV működtetéséhez villamos energiára van szükség, amelyet akkumulátoraiban tárol. AGV-ket manapság már nemcsak az autóipar használ, hanem egyéb más területeken is megfigyelhetők, mint kutatásfejlesztés, egészségügy vagy a repülőterek. [1][9][30][82][MJ111]

2.5 A fejezet összefoglalása, következtetések

A második fejezetben ismertettem a robot szó eredetét és történeti háttérét, majd a robotok fejlődés történetét és generációs csoportosítását. Részletesen kitértem a felszíni pilóta nélküli járművekre és robotokra. A fejezetben bemutattam katonai célokra használt UGV-ket és az ipari vagy polgári felhasználásra kifejlesztett AGV-ket.

Megállapítottam, hogy a Második Világháború adott nagy lendületet a katonai robotok fejlődésének. A harcoló felek már működő harckocsit alakítottak át, és használtak fel fegyverként. Az 1960-as évektől, amikor a mesterséges intelligencia rohamos fejlődésnek indult megjelentek a kisebb méretű villamos meghajtású robotok. Elterjedésük főként az autóiparban történt robbanásszerűen, ahol nagymértékű kapacitásnövekedést okoztak.

Bemutattam, hogy a robotokat eleinte összeszerelési, hegesztési és egyéb egyszerűbb műveletekhez használták. Napjainkra ez teljesen megváltozott. Mind katonai és polgári felhasználási körökben egyre fontosabb szerepet kapnak az önjáró vezető nélküli robotok. A kezdeti fejlesztések során meglévő járművek kerültek átépítésre, amelyek valamilyen távirányítási technológiával működtek és belső égésű motorok hajtották őket.

3. Lean és az UGV/AGV rendszerek

Ahogy az előző fejezetben olvasható volt a robotok egyre nagyobb teret hódítanak ipari létesítményekben. Ennek számos oka van. A robotok megbízható működésének eredményeképpen a termékek minősége hosszú távon javul. A minőség béli javulás eredményeképpen a vállalat minőségügyi reklamációhoz kapcsolódó költségei csökkennek és a vevői elégedettség megnő. A vevő elégedettség növekedésével új vevők is megjelenhetnek a vállalat életében.

Fontos megjegyezni, hogy a karbantartási, üzem gépeire és folyamataira irányuló fejlesztések túlnyomó része szinte minden esetben a vevői igények növelését vagy javítását célozza meg. Az ilyenfajta fejlesztéseket különböző minőségbiztosítási rendszerek és a napjainkban népszerű Lean vállalatirányítási filozófia is előírja.

3.1 Lean története

A Lean egy vállalatirányítási rendszer vagy inkább filozófia, amelynek fő célja, hogy az adott vállalat minél gazdaságosabban állítsa elő a termékeit és/vagy szolgáltatásait, és azt minél jobb minőségben. Ez a filozófia napjainkban kezd egyre népszerűbbé válni a nyugati termelőüzemeknél és egyre inkább a szolgáltató szektorokban is. A Lean nem egy új keletű dolog, eredetileg Japánból ered, amikor az ország a Második Világháború után igyekezett gazdasági versenyképességét növelni. Célja, hogy különböző módszerek felhasználásával a folyamatokban lévő veszteségeket megszüntesse. [21][50][55][66][107]

A Lean legfontosabb képviselője Taiichi Ohno (1912-1990), aki 1932-től a Toyotánál dolgozott, mint termelési igazgató. Eiiji Toyodával tanulmányozni kezdték a Ford és a General Motors termelését és azt a következtetést vonták le, hogy az említett két cég termelése alkalmatlan a kisszériás gyártásokra. Új ötletekkel álltak elő, amelyek segítségével a folyamatokat tökéletesíteni tudták. Őket tekintjük a 'Just in Time' (JIT) és a Toyota Production System (TPS) megalkotóinak. A Toyota sikerein felbuzdulva egyre több japán, európai és amerikai vállalat kezdte alkalmazni a Lean és a TPS eszközrendszerét. [55][66][107]

1978-ban megjelent Taiichi Ohno-tól japán és angol nyelven a Toyota termelési rendszerről szóló könyv Toyota Production System – TPS címmel. A könyvet 1988-ban angol nyelven is megjelentették és szinte a világ minden pontján elérhetővé tették. Nyugati vonatkoztatásban James P. Womack-re és társaira óriási hatással volt a könyv, amelynek köszönhetően több tanulmányutat tettek Japánban. A tanulmányutak eredményeképpen 1996-ban került kiadásra a mai napig töretlen sikernek örvendő 'Lean Thinking' című könyv James P. Womack és Daniel

T. Jones szerzőpárostól. Munkájukban megfogalmazták a Lean 5 alappillérét [21][50][55][66][107][123]:

- „minden munkafázisnak, folyamatnak meg kell határozni az értékteremtő részét, tehát rögzíteni kell, hogy mi az, amiért a vevő fizet és mi az, amiért nem, mi az érték a vevő számára „[107][123]
- „azokat a folyamatokat, amelyek értékteremtők át kell alakítani, hogy egy folyamatos értékárammá váljanak, magyarul a folyamatlépéseket össze kell kapcsolni, hogy egy értékfolyamatot alkossanak” [107][123]
- „az értékáramon belül fontos, hogy az anyag, erőforrás, információ megfelelő módon áramoljon a rendszerbe annak megfelelően, hogy a vevői igények hogyan alakulnak „[107][123]
- „a gyártást minden esetben a vevői igényekhez igazítva kell kialakítani, fontos figyelembe venni, hogy a vevő milyen gyakran változtatja az igényeit, termékeit, milyen termék spektrumból, milyen átfutási idővel igényel az adott termelő vállalatától, ebben a pillérben megjelenik a húzóelv” [107][123]
- „a kész folyamatokat minden esetben tökéletesíteni kell, fő cél a veszteségek eliminálása a folyamatokból, tökéletes folyamat nincs, a folyamatos fejlődést kell szem előtt tartani, ezért fontos a folyamatok állandó felülvizsgálata” [107][123]

Egyéb megközelítésből a Lean nem más, mint a Toyota Production System nyugati szemmel. A Lean fő feladata a vevő szemszögéből az érték meghatározása. Az, hogy külső vagy belső vevőről van szó lényegtelen. Külső vevő lehet egy viszonteladó vagy másik vállalat, míg belső vevőre kiváló példa a gyáron belül egymáshoz kapcsolódó gyártási folyamatok. Milyen tevékenység az értékteremtő tevékenység? [21][50][107][123]

- az a tevékenység, amiért a vevő fizet és hajlandó fizetni;
- olyan tevékenység, vagy folyamat, amely a termék tulajdonságait úgy befolyásolja vagy változtatja meg, hogy az közelebb kerül a vevő elvárásaihoz.

Mik vagy kik lehetnek egy UGV-knek vagy AGV-knek a vevői? Harcászati célok esetén nyilván az általa támogatott katonai alakulat, míg egy ipari alkalmazás esetén maguk a termelési folyamatok. Ahogy az előző fejezetben olvashattuk egyre több olyan ipari létesítmény található, amelyek valamilyen robotot használnak logisztikai célra. Egy olyan modern vállalat, amely Lean elvek szerint van felépítve és a szerint működteti folyamatait, annak kulcsfontosságú egy

megfelelő pontossággal működő robot. Gondoljunk itt a meglévő Milk Run és körjárat rendszerű logisztikai szállító eszközökre. Ahhoz, hogy egy megfelelően ütemezett szállítmányozási rendszert működtessünk fontos ismerni a Just in Time és a vevői igény fogalmát.

3.2 Just in Time és a vevői igények

A 'Just in Time' (JIT) egy Lean eszköz. Ennek a Lean eszköznek a birtokában lehetőség van a költségek és a veszteségek csökkentésére, de egy rendkívül sérülékeny vagy törékeny eszközről van szó. Ezt az eszközt az 1970-es években kezdték alkalmazni elsőként a Toyota üzemeiben. Legnagyobb létjogosultsága az 1973-as olajembargó után lett. [2][12][66][100]

Ezzel az eszközzel lehetőség nyílik arra, hogy a vevőnek (legyen az külső vagy belső) a termék megfelelő időben, megfelelő mennyiségben leszállításra kerüljön. Ez nem csak azt jelenti, hogy a terméknek készen kell állni, hanem azt, hogy pontosan abban a pillanatban kell késznek lennie, amikor a vevőnek arra szüksége van. Minden csúszás vagy hiba a rendszer bukását vagy csúszását idézheti elő. [2][12][66][100]

Egyszerűen gondolkozva feltételezhetnénk, hogy nagy készletet kell tartani, és akkor nem lesz probléma. Napjainkban, amikor a legfontosabb a költséghatékonyság, ez nem engedhető meg. A raktározás sem a Lean elveknek sem pedig gazdasági elveknek nem megfelelő, mivel a raktárkészletekben hatalmas mennyiségű pénz áll. Ebből kifolyólag nem megengedhető, hogy a termék szükség előtt rendelkezésre álljon. Ez nem csak a termelőfolyamatokban jelentkezik, hanem egyéb külső beszállítótól is elvárható, hogy JIT rendszerben dolgozzon. Ilyen lehet a megrendelt karbantartáshoz szükséges eszközök rendelési ciklusa és azok megérkezése. A 'Just in Time' szó szerinti fordítása is az előzőben leírtakat jelenti, mégpedig: éppen időben. A német szakirodalom 5R-nek is nevezi, az 'R' a német 'richtig' szóból ered. [2][12][66][100]

Ahogy az előzőekben olvasható volt ez az egyszerű fogalom egy rendkívül összetett rendszert takar. Ha a rendszer bármelyik részében hiba keletkezik, akkor az egész vállalat működését is veszélybe sodorhatja, elég egy logisztikai eszköz váratlan műszaki meghibásodására gondolni, amelyhez nem áll rendelkezésre a megfelelő alkatrész a javításhoz. Máris késik a vevőhöz kiszállítandó termék, amely a folyamat végén elégedetlen vevőkhöz és bevételcsökkenéshez vezethet. [2][12][66][100]

A legtöbb cég napjainkban kifejezetten megrendelésre gyártanak szűkebb értelemben nézve. A nem megfelelő szállítás vagy rossz minőség komoly vevői reklamációkhoz vezethet.

Fontos a vevői igények ismerete ahhoz, hogy egy jól működő JIT rendszert lehessen kiépíteni. [66]

Termelő üzemeken belül az egyik legfontosabb JIT eszköz az úgynevezett Milk Run vagy kisvonatos körjárat. Ezek segítségével történik a termelő egységek alapanyaggal való ellátása vagy két gyártó egység közötti szállítás. Ennek egyik legdinamikusabban fejlődő ága az UGV/AGV-k segítségével történő megvalósítás.

3.3 Milk Run - körjárat

A Milk Run vagy más néven Körjárat robotok feladata, hogy a gyártásához szükséges alapanyagokat, kellékeket és szerszámokat szállítson a munkaállomások és raktárok között. A Milk Run szállítmányozási vagy ellátási rendszert két csoportját különböztethetjük meg, ez lehet külső és belső rendszer. A belső rendszer az, amikor egy létesítményen belül (például: gyár vagy üzem) történik a szállítás. Ennek segítségével lehetőség nyílik a szállítás standardizálására és a veszteségek csökkentésére. Jó szállítási rendszernek köszönhetően a költségek akár 30%-kal is csökkenthetők. A rendszer célja a megfelelő időben történő megfelelő mennyiségű anyag szállítása a lehető legnagyobb hatékonysággal. A gyártósoroknak a vevői igényekhez maximálisan igazodni kell, a gyártásközi készleteket nem lehet növelni, ezért a JIT rendszer bevezetése volt szükséges a gyártósorok vagy gyártócellák közé. A külső rendszer, amikor a gyárak között történik az anyagszállítás, ez lehet egy városon vagy akár egy országon belül is. A 16. ábra egy Milk Run AGV-t mutat. [22][35][98]



16. ábra: Milk Run [MJ120]

A Milk Run rendszerek működhetnek húzó rendszer (Pull System) vagy Kanban kártyák segítségével. Amikor a gyártás elindul, csak akkor visznek alapanyagot a helyszínre, amikor az valóban szükséges és csak annyit, amennyire a gyártócellának szüksége van. Itt visszaköszönnek az előző fejezetben bemutatott 'Just in Time' elvek. A szükséges alkatrészigényt összeszámolják és annak megfelelő mennyiséget szállítanak ki. Ez általában nem csak egy alkatrészt jelent, hanem többet. Ennek a számíthatóságnak köszönhetően a Milk Run-ok ütemideje és költsége tervezhetővé és számíthatóvá válik. Abban az esetben, ha a Milk

Run körjáratokhoz robotokat használnak, akkor azok útvonalát számítógép segítségével rögzítik, amik bármikor újra programozhatók. [22][35][98]

Fontos tisztázni olyan alapvező fogalmakat, mint az üzemeltetés, üzemfenntartás és karbantartás. Mind a két tevékenység kihat egy vállalat termelésére és annak berendezéseire. *„Az üzemeltetés egy eszköz üzemeltetése az eszközzel, vagy annak valamely rendszerével, berendezésével a gyártás és a kiselejtezés között történtek összessége.”* Gömöri munkájában az üzemfenntartásnak a következő definíciót rögzíti: *„Üzemfenntartás az a műszaki tevékenység, amellyel valamilyen vég tárgyi eszközeinek állandó, rendeltetésszerű használatát bizonyítják, elvégzik az ezzel kapcsolatok szervezési, korszerűsítési, oktatási, nyilvántartási és ügykezelési feladatokat, üzembehelyezik az új berendezéseket, az elavultakat selejtezik, tanácsot adnak az új berendezések beszerzésére.”* Az üzemfenntartáshoz szorosan kapcsolódik a karbantartás, amelyet szűkebb és tágabb értelemben is megközelít Gömöri: *„A karbantartás szűkebb értelemben: amikor különösebb segédeszközök nélkül végzünk valamilyen tárgyi eszközön olyan műveleteket, amelyek a tárgyi eszközök üzemképes állapotát biztosítják. Tágabb értelemben: mindaz, amit el kell végezni egy tárgyi eszköz jó működése érdekében az üzembehelyezéstől a kiselejtezésig.”* [34][69]

3.4 Terhelés halmazok

Amióta az első ember szerszámokat és eszközöket kezdett használni rájött, hogy azokat egyre jobb minőségben és egyre jobb megbízhatósággal kell azokat elkészítenie és használnia. Ezek tükrében az eszközök élettartama megnövekedett. Az eszközök használata közben és után az emberek elkezdtek az eszközöket ellenőrizni, javítani, ez a tevékenység, már az ókorban megjelent. Az akkori „mérnökök” és felhasználók felismerték a karbantartás fontosságát és azt a tényt, hogy több változata lehet a karbantartásnak. A kenési karbantartások jelentősége megnőtt az ókori Egyiptomban, a kor mérnökei pedig elkezdtek a kenési ciklusok ütemezését. A görög és római kultúrában a kutatók feljegyzéseket találtak, amelyek technikai beavatkozásokról és rekonstrukciókról szóltak. Alapjaiban vizsgálva ezek a feljegyzések a katonai vagy harcászati eszközökre vonatkoztak. Leonardo da Vinci nevéhez számos gép kötődik. Rengeteg kutatást és feljegyzést végzett, miközben a felhasznált alapanyagokat és a konstrukciós modelleket és azok javítási lehetőségét vizsgálta. Ezek a feljegyzések vagy nevezhetjük kutatásoknak is a gépek jobb üzembiztonságát eredményezték.

Az Ipari Forradalom idején a londoni mérnökök szintén realizálták a karbantartás fontosságát. Munkájuk során alapvető karbantartási lépéseket fogalmaztak meg és úgynevezett

gép állapotfelméréseket végeztek. A gyárszintű karbantartási tervek ez idő tájt kezdtek szélesebb körben elterjedni. A XIX. század végén már különböző karbantartási stratégiák jelennek meg. Fontos megjegyezni, hogy ezek a stratégiák elsősorban katonai felhasználási körben jelentek meg. Ezek a korai stratégiák egy folyamatos fejlesztésre sarkalták az ipart. A legfontosabb dolog, amit a XIX. századi karbantartási stratégiák felismertek az a vevői igény és elégedettség volt. A XXI. században a karbantartás a minőségbiztosítási rendszer részét képezi. A karbantartás és a megfelelő üzemeltetés az AGV-k és UGV-k esetében is elengedhetetlenül fontos. A nem megfelelő karbantartás és üzemeltetés a gépek kiesését eredményezheti. [13][MJ120]

A robotokat felhasználási terület alapján 4 fő csoportba tudjuk besorolni [13][MJ120]:

- felderítő robot;
- elhárító robot;
- logisztikai robot;
- támadó robot;

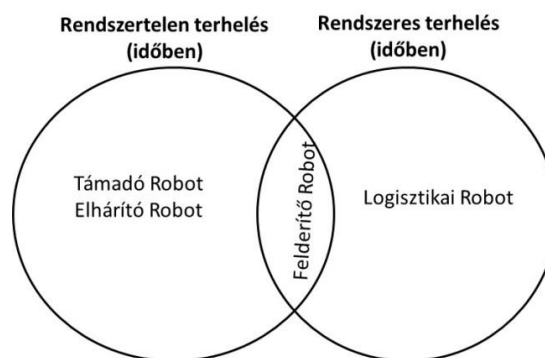
Ez a 4 csoport kiválóan szemlélteti a robotok felhasználási területét, de nem teszi lehetővé, hogy karbantartás és üzemeltetés szempontjából megfelelően csoportosítani tudjuk őket. Egy UGV esetében a karbantartási lépések hasonlóak, mint bármely más gépnél. Viszont a széles felhasználás lehetővé teszi, hogy egyre összetettebb feladatokat kapjanak a robotok, amelyek különböző és egyre összetettebb terheléseket jelentenek. Gondoljunk itt egy alapanyagot szállító robotra egy gyárban és egy, a fukushimai atomerőmű romjai között munkát végző robotra. Ez az alapvető ok, ami miatt bizonytalanság fedezhető fel a karbantartási és üzemeltetési stratégiák között. Üzem közben több különböző terhelések és hatások érhetik a robotokat. Ezek közül a leginkább előfordulók [13][56][68][MJ120]:

- hőterhelések;
- mechanikai terhelések;
- páratartalom változás;
- hasznos/haszontalan terhek;
- tehetetlen tömegek;
- időjárás;
- extra terhelések (ütések, sérülések);
- egyéb mechanikai és elektronikai sérülések;

- talaj minőség, domborzat;
- útfelület minőség;
- szerelési és gyártási pontatlanságok;

A magas hőmérséklet az elektronikai és mechanikai alkatrészekben akár visszafordíthatatlan károsodásokat tud eredményezni. Elég egy túlmelegedett nyomtatott áramkörre vagy egy a dilatáció miatt megrepedő fém alkatrészre gondolni. A különböző időjárás- és páratartalom változás szintén megváltoztathatja a villamos berendezések működését. A talaj minősége szintén kihatással lehet a robotok mozgására. A kerekek vagy lánc(járó) talpak megcsúszása miatt többlet energiafelhasználásra lehet szükség, amely a hatótávolságot csökkentheti. [57][60][MJ120]

Ezeket a terheléseket úgynevezett külső terheléseknek nevezzük. Ezeknek egy része akkor is jelentkezhet, amikor a robot használaton kívül van. Ezek a terhelések a robotok akkumulátoraira vonatkozva a 17. ábrán látható halmazokba sorolhatók. [57][68][MJ120]



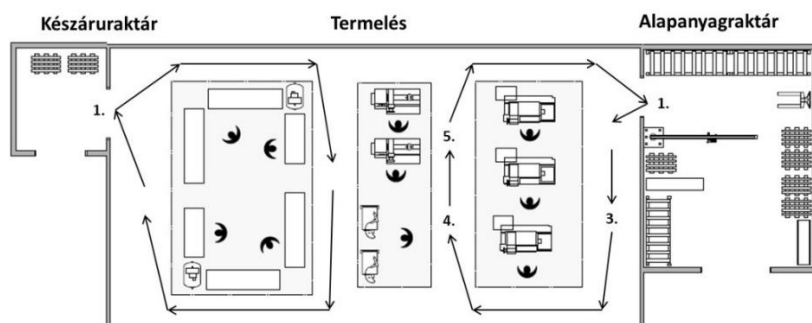
17. ábra: Terhelés halmazok [MJ120]

A logisztikai robot többnyire ugyanabban a környezetben kerül felhasználásra és ismétlődő műveleteket végez, amelynek következtében a meghibásodások és szerviz igény számítható. A támadó és az elhárító robotok változó környezetben használatosak és az esetek többségében más és más feladatot kapnak küldetésenként. A felderítő robotok a halmazok metszésébe kerültek elhelyezésre. Ennek oka, hogy felhasználási szokástól tekintve a terheléseik lehetnek rendszertelenek vagy rendszeresek, például: létesítmény őrzés esetén a terhelések időben meghatározott módon és nagyságban történnek. Az ismert terhelések és igénybevételek mindegyike kihat a robotok akkumulátorainak állapotára és hatékonyságára. [57][68][MJ120]

3.5 Miért fontos a megfelelő karbantartás és üzemeltetés?

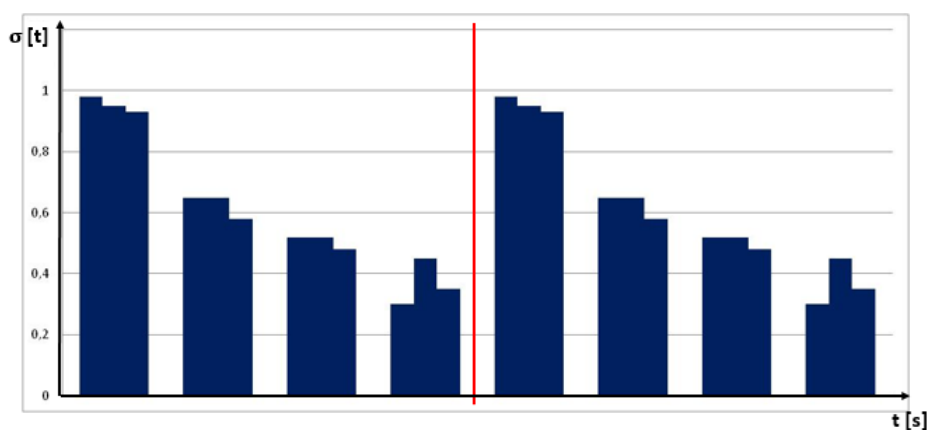
Ahogy az előző fejezetekben ismertettük, az UGV-k és az AGV-k rengeteg ipari és nem ipari feladatok ellátása alkalmasak, valamint két fajta terhelés érheti őket: a rendszeres és a

rendszeretlen terhelés. Karbantartás szempontjából az ismétlődő terheléseket elszenvedő robot karbantartási tervének a kidolgozása az egyszerűbb feladat. A legegyszerűbb példa erre a logisztikai robotok. A 18. ábra egy Milk Run robot napi „rutinját” szemlélteti. [19][57][MJ120][MJ21]



18. ábra: Milk Run robot útvonal [MJ121]

A termelőüzemek többnyire ugyanazzal a termékspektrummal dolgoznak egész évben, amelyhez hozzá igazítják a körjáratok számát, ütemidejét és a szállítandó anyagok mennyiségét. Ebből kifolyólag a logisztikai vagy termelési alkalmazottak ugyanazokat a terheket helyezik el a robotokon, ugyanazon a sebességen haladnak és ugyanazokon az állomásokon állnak meg. Nyilvánvalóan ezen a folyamatos fejlesztés jegyében történő 'layout' (alaprajz) módosítások változtathatnak. A terhelések időbeni változására mutat példát a 19. ábra. [19][57][68][MJ120][MJ121]

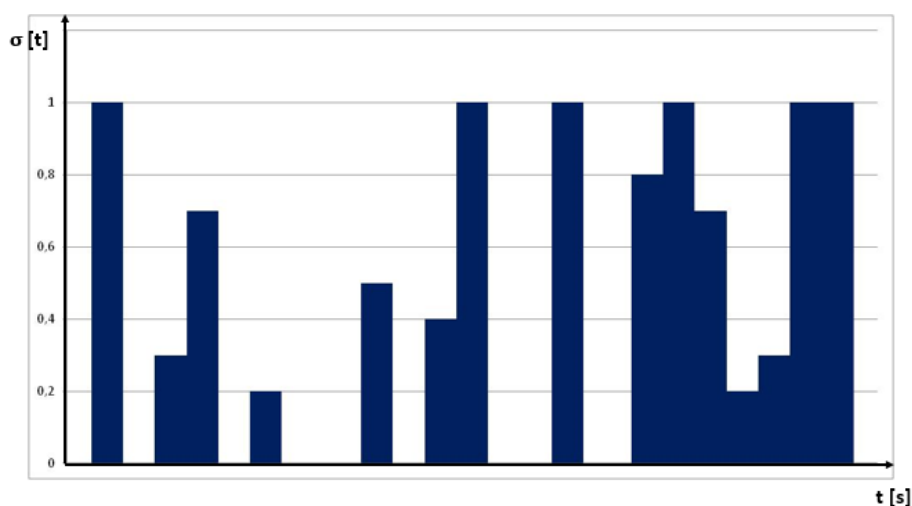


19. ábra: Időben rendszeres, ciklikus terhelés [MJ121]

Ahogy a 19. ábrán látható a robot terhelése egy műszakon belül többször változik, de minden egyes körjárat megtétele után ugyanaz a terhelési jelleg ismétlődik periodikusan. A piros függőleges csík reprezentálja egy műszak vagy ciklus végét. A robotokat ugyanabban a

környezetben használják, tehát jelentős hőmérsékleti vagy időjárás által okozott változásnak nincsenek kitéve.

Az előző fejezetekben ismertettem, hogy vannak olyan robotok, amelyeket nem állandó környezetben használnak és különböző terheléseknek teszik ki őket használatuk során. A használatukba nem lehet felfedezni visszatérő mozgásokat (sebesség, megtett út stb.), valamint a robotokat, mint mechanikai mind pedig egyéb külső környezeti hatás érheti, amely kihatással lehet a robot működőképességére. Terhelésüket a 20. ábra mutatja.



20. ábra: Rendszertelen, sztochasztikus terhelés [MJ121]

A robotok energiafelhasználását és motorjainak állapotát nagymértékben befolyásolja a talaj minőség is. A kerekek megcsúszása esetében többlet energia szükséglet léphet fel és a „Point of no return” módosulhat. Ez a pont azt jelenti, ahonnan a robot már nem tud visszatérni a kiindulási pontjára. Mivel egy önjáró robot rendkívül drága ebből kifolyólag az elvesztése komoly anyagi problémákat okozhat. Az ilyen jellegű nem várt hatások során felmerül a kérdés, hogy van-e lehetőség arra, hogy az akkumulátorokat a megadott határaikon túl is üzemeltethessük? Ez a kérdés az akkumulátorok üzembiztonságát is felveti. [57][60][68][MJ120][MJ121]

3.6 Akkumulátorok és Battery Management System

Napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a villamos és a hibrid hajtások. Ehhez elengedhetetlenül fontos a megfelelő energiatároló kiválasztása. A megfelelő akkumulátor kiválasztásához a következő szempontok a fontosok [25][MJ112][MJ113]:

- fajlagos teljesítmény [kW/l; kW/kg];
- fajlagos energia [(kW*h) /l]; [(kW*h) /kg];

- kisütési/töltési ciklusok száma;
- hatásfok (%);
- önkisülés mértéke (%/nap);
- környezetbarátság;
- beszerzési költség;
- előfordulás (rendelkezésre állás);

A tervezés során fontos kiemelni, hogy olyan akkumulátort kell választani, amely kellő képen könnyű az adott alkalmazáshoz. Erre azért van szükség, hogy a robot ne az energiatároló szállításához eméssze fel az energia zömét, valamint képes legyen a gyorsan változó töltési és kisütési folyamatokat elviselni. [25][MJ112][MJ113]

A fajlagos teljesítménytől a jármű dinamizmusa függ, a fajlagos energiától pedig az, hogy a jármű mekkora utat képes megtenni tisztán elektromos energiával. Ez az egyik legfontosabb kérdés a ma használt elektromos hajtású járművek esetén. A Tesla S modellje ~440 km megtételére, a Nissan Leaf 199 km megtételére alkalmas. Ezek a hatótávok nagymértékben elmaradnak a ma használatos hagyományos fosszilis tüzelőanyaggal működő társaiknál. Ez a hatótáv probléma ugyanúgy felmerül robotok alkalmazása esetén. Egy belső égésű motorral szerelt robot nagyobb távot tehet meg, mint egy pusztán villamos hajtással rendelkező. A jelenleg használatos akkumulátorok főbb adatait a 3. táblázat tartalmazza. [5][25][64][95][96][MJ112][MJ113]

3. táblázat: Akkumulátorok adatai [25]

Akkumulátor	Fajlagos energia		Fajlagos teljesítmény		Élettartam		Ár
	(W*h) /kg	(W*h) /l	W/kg	W/l	ciklusszám	év	
ólom	30-50	70-120	150-400	350-1000	500-1000	3-5	100-150
nikkel-kadmium	40-60	80-130	80-175	180-350	>2000	3-10	225-350
nikkel-fémhibrid	60-80	150-200	200-300	400-500	500-1000	5-10	225-300
nátrium-nikkelklorid	80-100	150-175	155	255	800-1000	5-10	225-300
lítium-ion	90-120	160-200	~ 300	300	1000	5-10	275
lítium-polimer	150	220	~ 300	450	<1000	-	<225
cink levegő	100-230	120-250	~ 100	120	-	-	60

Ahogy a 3. táblázatban látható fajlagos teljesítmény- és a fajlagos energia szempontjából kiemelkedők a nikkel alapú akkumulátorok. Fontos megjegyezni, hogy a kadmium nehéz fém, amely a környezetre és az egészségre egyaránt káros. [25][MJ112][MJ113]

A nátrium-nikkelklorid akkumulátorok magas hőmérsékleten is képesek működni (270-350°C). Ezek használata népszerű soros hibrid rendszerek esetében. A hő veszteségek csökkentése érdekében kettős falú termoszedényt használnak. Ahhoz, hogy az akkumulátorok elérjék az üzemi hőmérsékletüket fűtésre és hőmérséklet szabályzásra van szükség, ami nagymértékben megbonyolítja az alkalmazásukat. A lítium-ion akkumulátorok tulajdonságai kiválóak, fejlesztésük folyamatosan zajlik, ami jelenleg a legfontosabb, hogy gyártási költségük alacsonyabb legyen. Az úgynevezett cink levegő akkumulátor nem tölthető fel, lemerülés után cserélni kell. Ennek a használata tisztán elektromos hajtás esetén jöhet szóba. Az akkumulátorok cseréje, valamint azoknak feldolgozása speciális szaktudást és gépeket igényel. [5][25][MJ112][MJ113]

A modern hibrid autókba és önjáró járművekbe korszerű vezérlő egység gondoskodik az akkumulátorok állapotáról (Battery Management System – BMS). Ezeknek a rendszereknek a feladata nem csak annyi, hogy a töltési folyamatokat ellenőrzik, hogy az akkumulátor ne legyen túltöltve, és soha ne merüljön le teljesen. Az új fejlesztésű BMS rendszerek teljes állapotfelügyeletet végeznek. Ilyen körülmények között az akkumulátorok élettartama rendkívül magas is lehet. A Battery Management System egy, a belső égésű járműveknél használt OBD rendszerhez hasonlítható. A villamos energia egy energiahordozóból kerül felhasználásra az eszközökben, ami lehet, hang, mozgás vagy fény, attól függően, hogy az eszközt mire használják. Az energiaátalakítást egy úgynevezett energialánccal lehet jellemezni, amely a következő fő részekből tevődik össze.

[56][58][59][61][62][81][MJ112][MJ113][MJ114]:

- töltőberendezés;
- akkumulátor;
- DC/DC konverter és különböző terhelések, ellenállások;

Az első esetben az akkumulátorok töltését foglalja magában, amelybe beletartozik a megfelelő töltési szintek monitoringozása és a töltési frekvenciák figyelése is. A teljesítmény vagy erő menedzsment része, hogy a lehető legkisebb energiát használja fel az üzemeltetés során. Erre jó példa az új szoftver és hardverfejlesztések, amelyek egyik fő célja a minimális energiafelhasználás, elég csak a notebookokra és okos telefonokra gondolni. A szoftverek kikapcsolják a rendszer azon részeit, amelyet nem használnak vagy a működéshez szükséges

óra jelet csökkentik. Az így kikapcsolt és nem szükséges elemek lehetővé teszik a kisebb energiafelhasználást. Az energia menedzsment a végrehajtási feladatokat vagy funkciókat öleli fel. Ez biztosítja, hogy a rendszerben az energiakonverzió a lehető leghatékonyabban menjen végbe. [37][MJ112][MJ113]

A BMS alapvető feladata tehát, hogy biztosítsa az optimális energiafelhasználást, és hogy az akkumulátorokban keletkező károsodásokat minimalizálja. Ez úgy érhető el, hogy a rendszer nyomon követi az akkumulátorok töltési és kisütési ciklusait és folyamatait. [37][MJ112][MJ113]

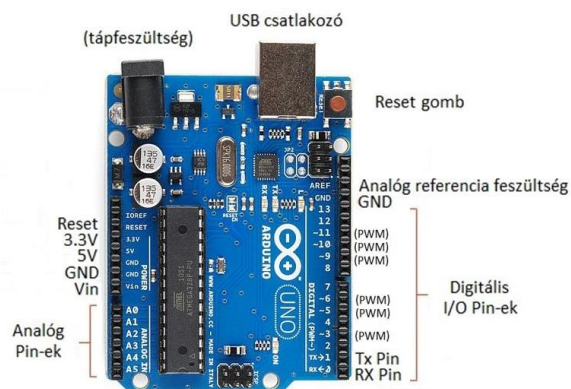
Ahogy az eddigiekből kiderült az akkumulátorok túltöltöttsége és mély kisütése egyaránt negatívan befolyásolja azok működését. Túltöltés esetén az akkumulátorok felmelegedhetnek és bizonyos típusok esetében tűz vagy robbanás keletkezhet. A túlzott mértékű, mély kisütés pedig fizikai károkat okozhat az akkumulátorokban. Az értekezés célja, hogy megvizsgálja és bizonyítsa, hogy létezik olyan módszer, módszerek, amelyeknek segítségével mind a túltöltés, mind pedig a mély kisütés nem tesz kárt az akkumulátorokban, viszont a rendelkezésre állásukat megnöveli és az üzembiztonságuk nem változik.

3.7 Villamos feszültség mérése Arduino-val

Az akkumulátorok villamos feszültségének mérésére számos eszköz található a piacon. A kutatáshoz egy Arduino UNO eszközt használtam. Az Arduino eszközök egy ATMEL AVR mikrovezérlő családra épülő speciális fejlesztőplatform. Elterjedésük annak köszönhető, hogy viszonylag olcsók és más mikrovezérlőkhöz képest könnyen programozhatók, valamint egyszerűen csatlakoztathatók más eszközökhöz. [79][MJ115]

A legelterjedtebb variációi az Arduino UNO és NANO panelek. Mindkettő ATmega328-as mikrovezérlőre épül, amely egy 28 lábú mikrovezérlő, 20 input és output lábbal rendelkezik. Ebből 6 db analóg bemenet, 6 db PWM⁷ kimenetként használható, két láb pedig külső megszakításhoz használható. A csatlakozók hüvelysoraihoz könnyen, forrasztás nélkül csatlakoztathatunk vezetékeket. A 21. ábrán egy Arduino UNO és főbb részei láthatók. [MJ115]

⁷ PWM: pulse-width modulation, impulzusszélesség-moduláció



21. ábra: Az Arduino UNO felépítése [MJ115]

A mikrovezérlő USB kábellel csatlakoztatható számítógéphez, amelyen keresztül a megfelelő tápellátást is megkapja az eszköz. [MJ115]

Az Arduino termékcsalád nem pusztán egy mikrovezérlő, hanem tartalmaz egy fejlesztőkörnyezetet is. Számítógépen keresztül lehetőség van arra, hogy a mikrovezérlőt felprogramozzuk a saját programnyelvén. A számítógépen az eszközzel megegyező nevű program elindítása után van rá lehetőség, amelyen úgynevezett 'sketch' programokat lehet létrehozni. A megírt programot pedig USB kábellel lehet az eszközre rátölteni. [MJ115]

Ez a fejlesztőkörnyezet a C++ programnyelv egy egyszerűsített változatát használja és előre elkészített könyvtárakat tartalmaz, amelyek a bonyolultabb programok elkészítésekor nyújtanak segítséget. Az eszköz nagy előnye, hogy nincs szükség a rajta lévő AVT mikrovezérlő részletes működésének ismeretére. Ennek a programozását a fejlesztőkörnyezet elfedi a felhasználó elől. A perifériák használata az esetek többségében megadható egy egyszerű paranccsal. [MJ115]

A mikrovezérlőt lehetőség van a MATLAB® matematikai programon keresztül is használni. A program használatával lehetőség nyílik interaktív fejlesztésre, jelek figyelésére és hibák kiszűrésére. További lehetőséget biztosít szervomotorok, léptetőmotorok vezérlésére, valamint egyéb perifériás eszközök kezelésére is. [8][MJ115]

A MATLAB® Simulink alapvetően nem támogatja az Arduino-t, ezért ehhez szükség van egy kiegészítő telepítésére, amelynek a neve: MATLAB® and Simulink Support for Arduino. Alternatív programozó eszközként alkalmazható (direkt programozás) még a Simulink Support for Arduino Hardware is. A Simulink lehetőséget biztosít, hogy különböző algoritmusokat hozzunk létre, és hogy azokat tesztelhessük. Az Arduino család bizonyos modelljeinek esetében lehetőség van interaktív felületen nyomon követni az adatokat (Tunne Monitor). A MATLAB®

Simulink szintén tartalmaz előre telepített könyvtár struktúrát, ami a programozáshoz nyújt segítséget. [8][MJ115]

Az akkumulátor feszültségmérésére Arduino UNO-val készült. A kontroller 0 és 5V közötti feszültséget képes elviselni. Az 5V feletti feszültségérték esetén az eszköz akár károsodást is szenvedhet, ezért a mérendő telepet ellenállásokkal kell csatlakoztatni. [7][24][80][MJ115]

Az ellenállások feszültségosztóként működnek, amelynek segítségével az eszközre kötött feszültség érték csökken. Így az ellenállások a mérendő tartományt kiszélesítik. A kontrollerbe épített ADC (Analog to Digital Converter) 1024 különböző szintet tud olvasni 0 és 5V között. A 10V-ig kiterjesztett tartományban a feszültségszintek jobban széteszlanak, ezért az eszköz kevésbé volt érzékeny a változásokra. Az ellenállások értékét növelni lehet, amelynek köszönhetően a feszültség érték csökken, ezáltal a mérési pontosság növekszik. [7][24][80][MJ115]

Az Arduino-ra egy $R_1 = 100k\Omega$ és egy $R_2 = 10k\Omega$ ellenállások csatlakoztatása után lehetővé válik a 0 és 55V közötti feszültségmérés. Ekkora méretű ellenállások segítségével 11-ed részére csökken a telep feszültsége. ($55V/11=5V$) A feszültségosztó számításához a következő képleteket használtam [MJ115]:

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \right) V_{in} \quad (1)$$

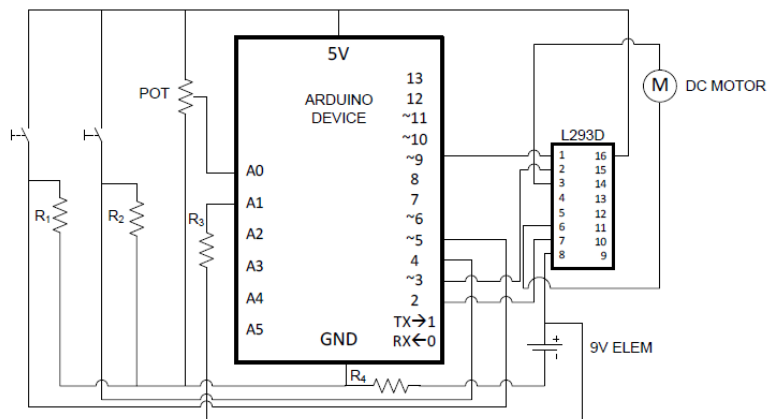
Az Arduino feszültségosztója, ha megfelelően működik és a V_{out} maximális értéke 5V, akkor a következő összefüggés eredményezi az áramkörre csatlakoztatható maximális feszültséget [MJ115]:

$$V_{max} = \frac{5}{(R_2/(R_1 + R_2))} \quad (2)$$

Az ellenállás értékeit minden esetben korrigálni kell a kész programban azért, hogy a mikrovezérlő a megfelelő feszültségértékeket mérje. A programban a következő képlet került felhasználásra, amely segítségével a valós feszültségérték került mérésre [MJ115]:

$$V_2 = \frac{V}{(r_2/(r_1 + r_2))} \quad (3)$$

A tesztmérési áramkört a 22. ábra szemlélteti. Ennek a kapcsolásnak köszönhetően lehetőség volt a mérési eredmények ellenőrzésére, anélkül, hogy a már a bevezetésben ismertetett jármű akkumulátoraiból bármilyen hibás eredmény szülessen. A kapcsolásban helyet kapott két kapcsoló, amelyek közül az egyik a motor forgási irányát változtatja, míg a másik a rendszert helyezi feszültség alá. [MJ115]



22. ábra: Arduino feszültségmérő áramkör [81][MJ115]

A motor forgási sebességét egy potenciométerrel lehet szabályozni, így lehetővé válik az áramfelvétel mérésére különböző terhelések mellett.

3.8 A fejezet összefoglalása, következtetések

A harmadik fejezetben bemutattam napjaink egyik legfontosabb termelési filozófiája a Lean. A Lean egy Japánból eredő filozófia, amely igyekszik a vállalatok versenyképességét megőrizni, termékeik minőségét javítani és a vevői elégedettséget fokozni. A Lean történeti háttere mellett ismertetésre került a 'Just in Time' elv és a Milk Run. A Just in Time egy olyan Lean eszköz, amelynek a segítségével lehetőség van akkor és csakis akkora mennyiséget szállítani, amennyit a vevő igényel. Ez a termelőüzemnek vagy szolgáltatónak költségcsökkentést eredményez. A Milk Run azon eszköze a Lean-nek és folyamatfejlesztő technikáknak, amelyet azért alkalmaznak, hogy a 'Just in Time' elv a lehető legjobban érvényesüljön. A Milk Run rendszerek előszeretettel használnak ember irányította gépek helyett AGV és UGV alkalmazásokat.

A fejezetben összefoglalom a robotokat érő terheléseket, amelyek alapján két halmazba csoportosítja az felszíni vezetől nélküli robotokat. Ez a két csoport a rendszertelen terhelések és a rendszeres (időben állandó) terhelések. Ezek a terhelések nagymértékben befolyásolják a robotok által használt akkumulátorok élettartamát. Bemutatásra kerültek a napjainkban használatos akkumulátorok és azok legfontosabb tulajdonságaik, valamint a belső égésű motoroknál használatos OBD rendszerekhez hasonló Battery Management System-ek (BMS). A fejezet a kutatás során alkalmazott Arduino UNO bemutatásával és a mérés során használt kapcsolással zárul. [MJ112][MJ113][MJ120]

4. Paraméter eltérések és a fuzzy logika

Az előző fejezetekből kiderült, hogy villamos hajtással szerelt robotok igen népszerűek és fontosak a mai modern termelőüzemekben. Ezek a robotok elengedhetetlenek bizonyos Lean elvek kivitelezéséhez is. A robotok üzemeltetésében a paraméter eltérések kulcsfontosságú szerepet játszanak. Legyen ez az eltérés tudatosan megengedett vagy véletlenszerű.

4.1 Paraméter eltérések

A gépek, berendezések és technikai rendszerek üzemeltetése nem más, mint egy sztochasztikus terheléseket létrehozó folyamat. Ezek a terhelések kihatnak közvetlen vagy közvetve az egész berendezésre. Az üzemeltetés folyamata során a terhelések folyamatosan rontják a gépek állapotát, amivel a tervezés folyamata során számolnak. Az állapotfelmérések és diagnosztikák segítségével elvégzett karbantartások pedig javítják a gépek állapotát. Ebből kifolyólag a rendszer üzemeltetése egy sztochasztikus folyamat. A legyártott állapottól a selejtezésig a gépek karbantartási és javítási munkákon esnek át, majd pedig használat során egyéb terhelések jelentkeznek rajtuk. [68]

A berendezések és azoknak az alkatrészei már a gyártás során bizonyos szóródást mutatnak. Példaként gondolhatunk itt már alapanyag eltérésekre. Gyártási szériák esetében előfordul, hogy egy szériához több sarzsot (charge, öntésszám) használnak fel. Minden egyes beérkező alapanyagot vizsgálatnak vetnek alá, az autóiparban úgynevezett 3.1-es műbizonylat ellenőrzés történik. Anyag összetételi vizsgálat esetén a vegyértékek %-os tól-ig határral szerepelnek az előírásban. A különböző öntésszámok esetén az összetétel változhat, ami kihat a végtermék megbízhatóságára és élettartamára is.

Másik példa a gyártásközi ellenőrzések folyamata, amelyet minőségbiztosítási szempontból szintén előírnak. Az itt alkalmazott leggyakoribb módszer az úgynevezett SPC (Statistical Process Control). SPC alkalmazása során az üzemekben előírtaknak megfelelően bizonyos időközönként (vagy minden munkadarabon) előre definiált méréseket végeznek. Az SPC alkalmazása során lehetőség van annak a megfigyelésre, hogy a gyártás mennyire „szór”, tehát a névleges mérettől mennyire tér el a munkadarab mérete. Ezek a méretszóródások szintén kihatással vannak a munkadarab és gép élettartamára vagy működésére. [86]

Összefoglalva a következő jellemzők befolyásolhatják az adott gép vagy gépalkatrész tulajdonságait:

- tervezési és gyártástechnológiai sajátosságok;

- alapanyag fizikai és kémiai tulajdonságai;
- üzemeltetési körülmények (műszaki, gazdasági, földrajzi, kulturális képzettségi tényezők);
- a helyszínen ténylegesen megvalósuló üzemeltetési folyamat;

A felsorolt tényezők mindegyike jelentkezik az üzemeltetés teljes ciklusán, ami történhet egyidejűleg vagy külön-külön is.

A műszaki életben paraméter eltérésnek nevezzük a rendszer szerkezeti, üzemeltetési és üzem közbeni jellemzőknek a névleges értéktől való eltérését. A névleges értéket minden esetben a gyártó definiálja és dokumentálja, amely dokumentációt a felhasználó rendelkezésére bocsát. Ezeket az eltéréseket az alkalmazott irányítási rendszer már nem tudja korrigálni, kivéve, ha az eltérés kis értékű. [68]

Szerkezeti jellemzők eltéréséről beszélünk abban az esetben, ha a vizsgált rendszer szerkezetében és annak funkcionális felépítésében észlelünk eltéréseket, ilyen lehet a méretváltozás vagy akár a deformáció. Egy ilyen kosár deformáció a görgők megszorulását eredményezheti, amely során úgynevezett hősokk keletkezhet a csapágiban, ami akár tüzet is előidézhet.

Üzemeltetési jellemzők eltérésének nevezhetjük az üzemeltetési körülmények megváltozását, például időjárás változás, valamint az üzemeltetési folyamat irányítása során fellépő eltéréseket, mint az előírt karbantartási folyamatoktól való eltérést. A korábbi fejezetekben ismertetésre került a 'Just in Time' elv, amely során egy nem megérkező alkatrész csúszást eredményezhet a karbantartás elvégzése során. Az üzemi jellemzők pedig a rendszer üzemi jellemzőinek eltérése a gyártó által meghatározott értékektől. Egy jellemző eltérése vonzatként más paraméterek eltérését eredményezi vagy eredményezheti. [68][69]

A paraméter eltérések három csoportba sorolhatók [68]:

- paraméterbizonytalanságok;
- anomáliák;
- nem megengedhető eltérések;

Paraméterbizonytalanságok esetén olyan kismértékű eltérésekről beszélünk, amelyek a rendszer tervezésekor figyelembe vehetők és kezelhetők. Az anomáliák olyan megengedhető eltérések, amelyek a rendszer optimális üzemeltetési szintjétől eltérő jellemzőket generálnak,

rendszerleállást és meghibásodást nem okoznak. Anomáliák hatása esetén az előírt szint alá nem csökken a rendszerbiztonság. A nem megengedett eltérések olyan jelenségek, amelyek túllépik a megengedett műszaki és gazdasági előírásokat és elveket. Ebben az esetben a meghibásodások olyan mértékűek, hogy a berendezés működése megszűnhet és balesetforrást is eredményezhet. [68]

Gazdasági- és üzemvezetési szempontból a leginkább fontosak az üzem közbeni anomáliák. Mekkora a megengedett anomáliák? Lehet-e az eltéréseket tudatosan felhasználni üzemeltetés során bármilyen rendszerszintű hiba megjelenése esetén?

Az eltérések bizonyos mértékig megengedettek egy technikai rendszerben. Elég csak a járművek karbantartására gondolni. Az autók esetében megtett távolság és idő intervallum van rögzítve a szervízkönyvekben. A legtöbb embernek nem sikerül pont az előírt időpontban vagy távolság után elvinni az autóját a szervízbe. Ebben az esetben az üzemeltetési paraméterektől eltérően használják a járművet, mivel az előírt karbantartás csúszik. Az autó viszont továbbra is a megfelelő hatékonysággal üzemel, itt fontos megjegyezni, hogy a karbantartás halogatása nem mehet a végtelenségig, különben az autó nagyobb károsodást szenved. A 4. és 5. fejezet részletesebben foglalkozik a paramétereltérések feldolgozásának és azok gyakorlati alkalmazásának lehetőségeivel.

4.2 Fuzzy logika - bevezetés

A fuzzy egy angol szó, amely szótári fordítás szerint homályos, életlen szavak angol megfelelője. Használatát tekintve a fuzzy nem más, mint a pontatlanság egy fajtája. Célja olyan módszerek megalkotása, melyek a túlságosan bonyolult hagyományos vizsgálati eszközök nélkül képesek kezelni az összetett problémákat. Mérnöki szempontból a fuzzy logika segítségével lehetőség van analóg folyamatokat digitálisan kezelni, ezáltal lehetőség nyílik számítógépek alkalmazására, amelyek nagymértékben megkönnyítik a számításokat. [48][65][68][69]

A fuzzy logikát más néven szokták az elmosódott halmazok logikájának nevezni. Lényegében fuzzy logika alatt egy komplett elméletcsalád rejlik. Ezt a fajta logikát legjobban egy példán keresztül lehet megérteni.

Klasszikus példaként a Szóritész paradoxont vagy más néven a kupacparadoxont lehet felhozni. A paradoxon egy homok vagy kavics kupacról szól. Ha egy kavicskupacból elveszünk egy kavicsot, attól még az a kupac, kavicskupac marad. Tehát akárhány kavicsot veszünk el a kavicskupacnak, kavicskupacnak kell lennie. A valóságban viszont ez nem lehetséges, egy

bizonyos mennyiség elvétele után már nem beszélhetünk kavicskupacról. Hasonló példa még az úgynevezett kopasz ember paradoxonja is. Egy dús hajú ember nyilvánvalóan nem kopasz. Ha egyenként kihúzzuk a hajszálait, hol lenne az a pont, ahol már kopasz emberről beszélünk? Mindkét paradoxon esetében a lényeg az, hogy a jellegzetességek fokozatosan, apránként változnak vagy tűnnek el. Ebből kifolyólag lesz olyan állítás, amely nem nevezhető igaznak, de ugyanakkor hamisnak sem, mert csak részben igazak. A fuzzy logika az az eszköz, amely megengedi a részben igaz állításokat. [48][71][92]

Az ókortól kezdve a klasszikus logikát az igaz és a hamis értékpár világába igyekeztek besorolni. Ez a jellegzetesség a görög filozófus, Arisztotelész (i.e. 384-322) esetében is megfigyelhető. Tehát a klasszikus logika értelmében egy állításnak vagy igaznak, vagy pedig hamisnak kell lennie (0, 1), valamelyiknek feltétlenül teljesülnie kell. A fenti két példa kiválóan szemlélteti, hogy a valóságban ezek nem mindig érvényesülnek. [69][92]

Az arisztotelészi logikát G. Boole (1815-1864) angol matematikus foglalta össze. Hétköznapi nevén ez a Boole algebra vagy kétértékű matematikai logika. A kétértékű logika és halmazelmélet mellett már az ókorban felmerült a többértékű logika használata. A legjelentősebb háromértékű rendszernek bizonyult, ahol az igaz és hamis értékek mellett megjelent az eldönthetetlen harmadik logikai igazságérték. A szimbólumok a következő képen alakultak [69][92]:

- igaz = 1;
- hamis = 0;
- eldönthetetlen = $\frac{1}{2}$;

Tudni kell, hogy a háromértékű logika sokféleképpen definiálható, ezáltal számos lehetősége van az alapl műveletek alkalmazására.

Az ismertetett paradoxonok problémái nem elégségesek arra, hogy a fuzzy logikához hasonló eszközök születhessenek. Az igény ott keletkezik, amikor olyan komplexitású feladatokat kell megoldani, amelyet egy ember könnyedén el tud végezni, de szeretnénk ezt a képességet automatizálni. Ehhez hasonló ambíciókkal dolgozott Kempelen Farkas (1734-1804) is, aki beszélő gépről tartott előadást és a „legenda” szerint sakkozó gépet is tervezett. [48][69][92]

Az első komoly lépést a szintén magyar származású Neumann János (1903-1957) tette meg. Az Ő nevéhez fűződik az első modern számítógép létrejötte és az Ő elvei alapján működtek, ez

volt a Neumann Architektúra. Az általa létrehozott gépek nem rendelkeztek önálló intelligenciával, Neumann a modern számítógép alapjait fektette le. A félvezető alapú számítógépek megjelenése óriási fejlődést eredményezett. Megjelentek olyan algoritmusok, amelyek az emberi intelligenciát igyekeztek lemásolni vagy utánozni. Ezeket a módszereket 'Mesterséges Intelligencia' néven elemzi a szakirodalom. [48][69][92]

Napjainkban az egyik legnépszerűbb műszaki innováció az önvezető járművek és robotok fejlesztése. A felnőtt emberek többsége könnyedén elvezet egy autót vagy motort annak ellenére, hogy rengeteg információ, inger éri és így is döntések sorozatát kell meghoznia. A járműgyárak igyekeznek stratégiai előnybe kerülni ebben a kiélezett versenyben. A versenyt az fogja nyerni, aki hamarabb alkotja meg azt a járművet, amely mindenféle korlátozás nélkül önállóan lesz képes vezetni. Ez a feladat rendkívül kényes. A részben vagy teljesen önvezető járművek használatából több baleset is keletkezett, amelyek okai egyelőre tisztázatlanok. [97]

Egy, a járművezetéshez hasonló feladat megvalósítása rendkívül összetett és bonyolult, matematikailag már-már kezelhetetlen. Ennek érdekében a modellt igyekezni kell a lehető legjobban leegyszerűsíteni és egy közelítő érték segítségével megoldani a műszaki problémát. A legújabb eredmények arra világítanak rá, hogy részleges igazságot megengedő eszközök - mint a fuzzy logika – képesek jó megoldást adni nagybonyolultságú problémák megoldására. [69][92]

4.3 A fuzzy logika története

A fuzzy logika előzményeként Lukasiewicz többértékű logikáját tekintjük. Ez volt az a logika, amelyet megszámlálhatatlan végtelen értékre is általánosítottak. A fuzzy logika és halmazelmélet alapjait L. A. Zadeh, a Berkley egyetem professzor írta le. Zadeh már az 1960-as években felvetette ötletét. Az 1965-ben megjelent 'Fuzzy Sets' című munkája egyértelműen leírta az alapgondolatokat, módszereket és definíciókat. [69][92]

A fogadtatás vegyes volt, sokan a valószínűség elmélet egy új megfogalmazásaként tekintettek rá, ebből kifolyólag megkérdőjelezték létjogosultságát. Egy másik nézet az arisztotelészi logika tulajdonságait tartotta szem előtt, a harmadik kizárása és az ellentmondás törvényének nem teljesülése miatt a fuzzy logikát értelmetlennek minősítették, ez a nézet egészen az 1990-es évekig fennállt. A sok támadás ellenére a fuzzy kutatások száma mégis folyamatosan emelkedett, ezek a kutatások egyértelműen tartalmaztak elméleti és gyakorlati alkalmazásokat is. [69][92]

1973-ban Zadehnek egy újabb kulcsfontosságú publikációja jelent meg. Ebben az írásában bebizonyította, hogy lehetséges, "ha - akkor" típusú szimbolikus szabálybázisok és a fuzzy halmazok szubszimbolikus információjának együttes alkalmazása. Ezek mellett javaslatot tett olyan szabálybázisra (CRI⁸), amely segítségével lehetőség van a fuzzy szabálybázisok és a fuzzy vagy nem fuzzy megfigyelések kombinációjával fuzzy következtetések kiszámítására. 1974-ben E. H. Mamdani professzor a Zadeh által kifejlesztett és leírt módszert egyszerűsítette és csökkentette a számítási bonyolultságot. Az általa egyszerűsített módszert kiválóan alkalmazta egy gőzgépes rendszer irányítására. Az első sikeres ipari alkalmazás Dániában született, amely egy cementmű irányítása volt. 1975-ben Budapesten tartott Alakfelismerési előadáson, Zadeh képfeldolgozási lehetőségekre is rámutatott. [69][92]

A legnagyobb áttörést kétségekívül a Mamdani módszer jelentette. 1984-ben megalakult a Nemzetközi Fuzzy Rendszer Szövetsége (International Fuzzy Systems Association - IFSA). 1987-ben a második világkongresszusán számos iskola és kutatóintézet mutatta be eredményeit, főként irányítástechnika és képfeldolgozás területén. A konferencia résztvevői megtekinthették a Sendai városban működő vezető nélküli metrót, amely fuzzy irányítással működött. A város Japánban található, amely a Mijagi prefektúra székhelye. [69][88][92]

A fuzzy logika Japánban hihetetlen nagy fejlődésnek indul, az 1987-ben nem csak az egyedi önvezető vonat működött a szigetországban, hanem szennyvíztisztítók és alagútszellőztető rendszerek is fuzzy irányítással működtek. A fejlődés olyannyira rohamos volt, hogy a nagy háztartási gépeket gyártó elektronikai cégek, mint a Sony vagy a Hitachi sorra hozta ki az olyan berendezéseit, amely fuzzy logikát használtak a működésük során. Mivel ezek a termékek a mindennapi élet részét képezik így a fuzzy logika korán betört a japán oktatásba, ahol a gyerekek már általános iskolában megismerkedtek a fuzzy logika lapjaival. [69][92]

1989-ben a Japán Nemzetközi Kereskedelmi Minisztérium 50 japán multinacionális vállalattal létrehozta a Nemzetközi Fuzzy Technológiai Laboratórium Alapítványt, amely több kutató labort finanszírozott és támogatott, majd 1990-ben a Tokiói Műszaki Egyetemen felállította a Fuzzy Elméleti Tanszéket. A fuzzy logika felhasználásával kialakított háztartási gépek más távol keleti országban is népszerűek lettek, így ezek fejlesztése, gyártása és forgalmazása megindult Kínában, Dél-Koreában és Tajvanon is. A háztartási gépek mellett a fuzzy logika betört a járműgyártás területére, ahol a Volkswagenekben megjelent az első fuzzy logikán alapuló adaptív sebességváltó. [15][69][92]

⁸ CRI: Compositional Rule of Inference

Az Egyesült Államokban hosszú ideig csak az űrkutatásban és a hadiiparban használták a fuzzy logikát. Az egyik leghíresebb alkalmazás az első iraki háború (Sivatagi Vihar) alatt bevetett Patriot rakéták voltak. A rakéták éjszakai célpont azonosító rendszere fuzzy logikán alapult, amelyet a Missouri Egyetem fejlesztett ki. [69][92]

1992-óta Európában minden évben megrendezésre kerül a Dortmundi Fuzzy Napok. Japán mintát követve megalakul az Észak-Rajna-Vesztfáliai Fuzzy Inicativa, melynek keretén belül megalakul a Dortmundi Fuzzy Demonstrációs Centrum. Európában az egyik legjelentősebb fuzzy logikával foglalkozó egyetem az aacheni Észak-Rajna Vesztfáliai Egyetem. [69][92]

A műszaki élet mellett a fuzzy logika másik jelentős területe az orvostudomány, ahol már több, napjainkban használatos eszköz is működik fuzzy logikával, mint az altatást vagy dialízist végző gépek. A pénzügyi és gazdasági életben szintén szerepet játszik a fuzzy logika. Népszerű kockázatfelmérések, kockázatelemzések és pénzügyi előrejelzések használata esetén. Fontos megjegyezni, hogy napjainkban már egyéb más szubszimbolikus mesterséges intelligencia eszközök is megjelentek, mint a neurális hálózatok vagy lágyszámítási módszerek és ezek nagyon gyakran kombinálódnak egymással, mintegy kiegészítve egymást. [69][92]

4.4 Halmazelméleti ismeretek

A halmazokat az ABC nagy betűivel jelöljük, azoknak elemeit pedig az ABC kis betűivel. Egy halmazt akkor tekintünk adottnak, ha a vizsgált „dologról” eldönthető, hogy eleme-e annak a halmaznak vagy nem. Egy dolog többszörösen nem lehet eleme egy halmaznak. [52][65][92]

Egy tetszőleges klasszikus halmaz vagy más néven 'crisp set' három különböző módon adható meg. Az első mód, a halmaz elemeinek felsorolása, pl.: $A = \{2,4,6,8\}$, a halmaz elemeit meghatározó egyértelmű szabállyal, pl.: $D = \{3 - al\ osztható, 12 - nél\ nagyobb\ számok\} = \{x|x > 12, és\ x\ osztható\ 3 - al\}$, azaz a D halmaznak azon x számok az elemei, amelyek nagyobb 12-nél és oszthatók 3-mal, vagy pedig karakterisztikus függvénnyel is definiálható. Legyen az E halmaz az X alaphalmaz egy részhalmaza. Ebben az esetben A karakterisztikus függvénynek nevezzük az X halmaz felett azt a $\chi_A = X \rightarrow \{0,1\}$ függvényt, azaz [52][65][92]

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & ha\ x \in A, \\ 0, & ha\ x \notin A. \end{cases} \quad (4)$$

Az üres halmaz olyan halmaz, amelynek nincs eleme, jele: $\emptyset$. A részhalmaza B-nek, ha $x \in A \rightarrow x \in B$, azaz az A halmaz minden eleme a B halmaznak, jele: $A \subset B$. A egyenlő B-vel, ha $A \subset B \wedge B \subset A$, $A=B$. Minden halmaz részhalmaza önmagának és az alaphalmaznak is. A

valódi részhalmaza B-nek, ha $A \subset B \wedge A \neq B$. Az A halmaz minden eleme egyben eleme a B halmaznak is, de a B halmaznak van olyan eleme, ami nem eleme A-nak. Az üres halmaz minden halmaznak részhalmazaként tekinthető. A és B diszjunkt abban az esetben, ha $A \cap B = \emptyset$. [52][65][92]

Az A és B halmazok egyesítését uniónak hívjuk. Az unió azon elemeket tartalmazza, amelyek vagy az A, vagy a B halmazban megtalálhatók, nem kizáró ok, hogy egyidejűleg egy elem mindkét halmaznak eleme legyen. Jele: $A \cup B$. A és B halmazok metszetébe azok az elemek tartoznak, amelyek megtalálhatók mind két halmazban. Jele: $A \cap B$. Az unió és a metszet művelete tetszőleges argumentumra alkalmazható. A halmazműveletek legfontosabb tulajdonságait a 4. táblázat foglalja össze. [52][65][92]

4. táblázat: Halmaz műveletek [52][92]

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

Ha egy halmaz tetszőleges részhalmazaira fennáll a fenti tulajdonságok közül bármelyik, vagyis egy halmaz hatványhalmaza úgynevezett Boole algebrát alkot a következő műveletekre nézve [52][65][92]:

- unió;
- metszet;

- komplementer.

A logikai függvényekhez úgynevezett igazságtáblázat készíthető, amely a bemeneti adatokhoz hozzárendeli a kimenő adatok igazságértékeit. Az adatok között fennállhat „és” $\wedge$; „vagy” $\vee$; és „nem” $\neg$. [52][65][92]

A és B halmaz Descartes szorzatán (vagy direkt szorzatán) azt a halmazt értjük, amelynek olyan rendezett párok az elemei, amelynek az első eleme A halmazba, második eleme B halmazba tartozik, szorzatuk pedig minden lehetséges párt tartalmaz. Tehát $x \in A$ és $y \in B$, $A \times B = \{(x, y) | x \in A, y \in B\}$. A Descartes Szorzat tetszőleges számú argumentumra felírható. [52][65][92]

4.5 Műveletek fuzzy halmazokkal

Ahogy az előző fejezetben olvasható volt, a fuzzy logika hatalmas fejlődésen ment keresztül az elmúlt években, és megjelent a mindennapi háztartási eszközökben; a rohamosan fejlődő gyártó üzemekben, ahol az automatizálás egyre nagyobb teret hódít; és a járműgyártásban, amely egyre inkább az autonóm és alternatív meghajtású járművek felé tendál. [52][65][69]

Az Arisztotelész által megalkotott klasszikus logika értelmében csak két állapot létezik, ez az igaz '1' és a hamis '0'. Fuzzy logika segítségével felvehető bármely $[0; 1]$ közötti zárt intervallumon definiált bármelyik valós értéket. Pokorádi könyve [69] egy kiváló példán keresztül mutatja be a fuzzy halmazelmélet alapjait. A példa egy B jelű paramétert vizsgál, amely értékeinek 3 és 4 között kell lennie. [52][65][69]

$$3 \leq B \leq 4 \quad (5)$$

Az egyenlet azt mutatja, hogy a B értéknek 3 és 4 között kell lennie, valamint megengedi az egyenlőséget is a két értékkel. Gyakorlati életben viszont a fenti képlet nem elégíthető ki ilyen könnyen.

Mérőműszeres mérések esetén a gyártásnál folyamatosan tapasztalunk pontatlanságokat, szórásokat, vagy a környezet befolyásolása miatt pontatlan mérések születnek. Ebben az esetben beszélünk úgynevezett elfuzzysodott eredményekről, vagyis a B érték meghatározásában pontatlanság lép fel.

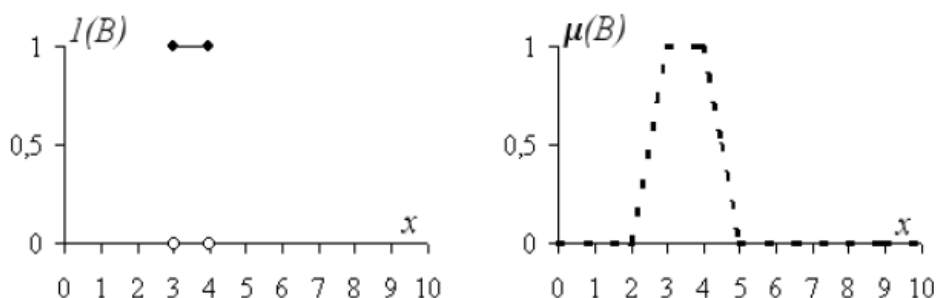
A fenti feltétel igaz voltát a $\mu(B)$ tagsági függvénnyel lehet jellemezni. A klasszikus logika értelmében a tagsági függvény csak a következő értéket veheti fel [52][66][70]

$$0 \leq \mu \leq 1 \quad (6)$$

A példára vonatkoztatva a pontatlanság a következő módon adható meg [69]:

$$\mu(B) = \begin{cases} 0 & ha & x \leq 2 \\ x - 2 & ha & 2 < x < 3 \\ 1 & ha & 3 \leq x \leq 4 \\ 5 - x & ha & 4 < x < 5 \\ 0 & ha & 5 \leq x \end{cases} \quad (7)$$

A 23. ábra szemlélteti a Boole és a fuzzy halmazok összehasonlítását.



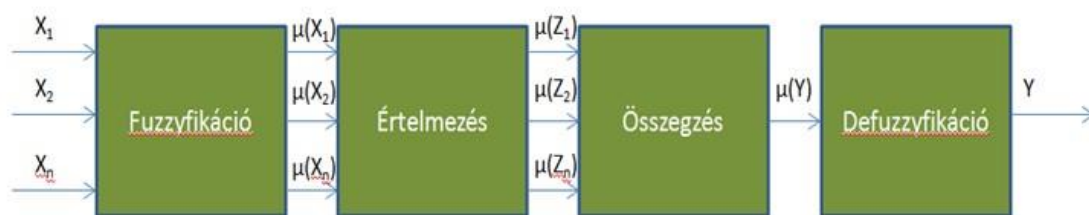
23. ábra: Bal oldalon egy Boole, jobb oldalon pedig egy fuzzy halmaz [69]

Zadeh a Boole algebrában használt műveletek esetében is változtatásokat végzett. Metszet helyett Minimum operátort, unió helyett pedig a Maximum operátort vezette be. A jelöléseket az 5. táblázat foglalja össze. [10][52][65][69]

5. táblázat: Fuzzy műveletek [69]

Boole	Fuzzy	Művelet
Metszet	Minimum	$\mu(A \cap B) = MIN(\mu(A), \mu(B))$
Unió	Maximum	$\mu(A \cup B) = MAX(\mu(A), \mu(B))$
Negáció	Negáció	$\mu(\bar{A}) = 1 - \mu(A)$

Az olyan rendszerek, amelyek fuzzy logikát használnak, azok egy időben több logikai szabályt, vagy más néven szabálybázist követnek. Ezeknek a sajátossága, hogy egy időben eltérő eredményeket produkálhatnak. A fuzzy logika ezt az ellentmondást oldja fel. Egy ilyen rendszer 4 fő lépésből épül fel, amelyet a 24. ábra mutat be részletesen. [52][65][69]



24. ábra: Fuzzy rendszer és a benne lejátszódó folyamat [MJ110]

Az ábra balról jobbra haladva kerül bemutatásra. Az első lépést fuzzyfikációnak nevezzük. A rendszer bemenő jeleihez egy-egy fuzzy tagsági érték kerül hozzárendelésre. Ekkor a már ismertetett eszközöket használjuk az adatok pontatlanságainak és bizonytalanságainak jellemzésére. Az értelmezés szakaszban a meghatározott fuzzy értékek segítségével meghatározásra kerülnek a már felállított szabályok eredményei. Fontos, hogy ezeket a szabályokat a rendszer felállításakor rögzíteni kell. [52][69][MJ110]

Az összegzés lépésben az összes olyan eredmény összefűzése megtörténik, amelyeknek az eredménye nem nulla. Az összefűzés során az 5. táblázatban lévő összefüggések kerülnek felhasználásra. Az utolsó lépés a defuzzyfikáció, amely során a kimenő jelek értékei kerülnek visszakonvertálásra valós értéké. A konvertáláshoz több módszer ismeretes, de a három legnépszerűbb [69][92][MJ110]:

- Súlypont módszer (COG);
- Geometriai középpont módszer (COA);
- Maximumok Súlyozott Átlaga módszer

A súlypont módszer a leggyakrabban használt defuzzyfikációs módszer. Nagy előnye, hogy könnyen használható trapéz-, és háromszög alakú szabályoknál. A COG általános formája [69][92][MJ110]:

$$Y_{\text{COG}} = \frac{\sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{+\infty} \mu_i(z) z dz}{\sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{+\infty} \mu_i(z) dz} \quad (8)$$

A Geometriai középpont módszer nagyon hasonló a súlypont módszerhez. Az egyedüli különbség a két módszer között a számítás menete. A súlypont módszer a több részkövetkeztetés által lefedett területeket többszörösen számolja, míg a geometriai középpont módszer csak az összegzett következményeket számolja és az így átlapolat területeket csak egyszeres súllyal veszi figyelembe. Formája [69][92][MJ110]:

$$Y_{\text{COA}} = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{\Sigma}(z) z dz}{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_{\Sigma}(z) dz} \quad (9)$$

A harmadik módszer a maximumok súlyozott átlaga. Ez a módszer a leggyakoribb módszer a gyakorlatban. A módszer a legnagyobb tagsági függvény értéket mutatja. Abban az esetben, ha eléri a legnagyobb eredményt egy adott intervallumban, akkor annak a szakasznak ki kell számolni a középértékét. Formája [69][92][MJ110]:

$$Y_{\text{WMM}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (10)$$

A fuzzy logika megjelenése alapjaiban változtatta meg a mérnöki világot és szemléletmódot. A „Smart Engine” feliratú termékekben fuzzy logikát alkalmazó részegységek dolgoznak. Ezek az eszközök folytonos be és kimenő jelet használnak. [69][92][MJ110]

Mérnöki szempontból leginkább az üzemeltetés és diagnosztika területén alkalmazható a fuzzy logika. Hibák és eltérések elemzésére számtalan eszközt használnak a műszaki életben. Ezek közül az egyik legjelentősebb a hiba-fa elemzés. Ennek a használata viszont a klasszikus logikához vezethet vissza. Ebből kifolyólag a fuzzy logika alkalmazása jobb megoldást adhat. [69][92][MJ110]

Diagnosztikai és üzemeltetési feladatok megoldása esetén a szakemberekkel folytatott egyeztetés a legfontosabb. Az emberi tudás és tapasztalat nehezen számszerűsíthető, viszont a gyakorlat azt mutatja, hogy az emberi tapasztalat felülírhatja a számított és a gyártó által előírt üzemeltetési paramétereket. Ezek az úgynevezett szakértői felmérések és riportok képezik a gyárak úgynevezett „know how” -ját, ami bizonyos esetekben ipari titoknak is minősül. Viszont ezek az adatok jelentős objektivitással bírnak, amelyek veszélyeztethetik az üzembiztonságot, vagy a termelési mutatószámokat negatív irányba befolyásolhatják. Ezen objektivitások és tapasztalati adatok feldolgozásában, és megértésében lehet nagy szerepe a fuzzy logikának. [69][92][MJ110]

4.6 Akkumulátor paraméter vizsgálat fuzzy szabálybázissal

Az elektromos hajtású járművek akkumulátorairól áttekintést nyújtanak a [11][28][54][58][61][93][97][99] irodalmak. Ezek a tanulmányok tudományos és kormányzati kutatásokat egyaránt tartalmaznak. A felsorolt munkákból kiderül, hogy politikai és gazdasági szempontból is jelentős a járművek térhódítása. A kísérlet során 10 db Lítium polimer akkumulátorral dolgoztam. A mérési adatokat az 6. táblázat szemlélteti. Az akkumulátorok mérési eredményei találhatók benne, amelynek értékeit átlagolva kerültek felhasználásra fuzzy döntés során. Az Ah-adatok a BMS szoftver működésétől függően eltérnek.

6. táblázat: Akkumulátor adatok [MJ110]

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Átlag
NOK	V	4,6046	4,602	4,65	4,603	4,61	4,689	4,6021	4,6002	4,6023	4,6005	4,61637
	Ah	48,23867	48,21143	48,71429	48,2219	48,29524	49,12286	48,21248	48,19257	48,21457	48,19571	48,36197
OK	V	4,201	4,204	4,209	4,2	4,205	4,208	4,206	4,2	4,201	4,2	4,2034
	Ah	44,01048	44,0419	44,09429	44	44,05238	44,08381	44,06286	44	44,01048	44	44,03562
	V	3,6	3,6	3,609	3,607	3,603	3,607	3,6	3,602	3,606	3,609	3,6043
	Ah	37,71429	37,71429	37,80857	37,78762	37,74571	37,78762	37,71429	37,73524	37,77714	37,80857	37,75933
NOK	V	3,2	3,201	3,208	3,207	3,202	3,2	3,209	3,203	3,2	3,201	3,2031
	Ah	33,52381	33,53429	33,60762	33,59714	33,54476	33,52381	33,6181	33,55524	33,52381	33,53429	33,55629

A táblázat első oszlopában található „OK” és „NOK” feliratok az értékek megfelelőségét mutatják, azaz azokat a tartományokat jelölik, amelyekben az akkumulátorok megfelelő hatásfokkal, biztonsággal használhatók. Azon értékek kerültek a megfelelő kategóriába, amelyek a gyártó által ajánlott értékek. A vizsgálat célja, hogy a különböző pontatlanságokból adódó anomáliák mellett hogyan használhatók az akkumulátorok. Fontos kiemelni, hogy az adatok mérnök és mérnök csoportok tapasztalataiból származnak és a vizsgált akkumulátorra vonatkoznak. [MJ110]

- NOK: Nem megfelelő érték
- OK: Megfelelő érték

Feszültség szempontjából:

- Nem megfelelő 0 - 3,2031 V között
- Megfelelő: 3,6043 – 4,2034 között
- Nem megfelelő: 4,61637 V felett

Ah (töltés) szempontjából:

- Alacsony: 0 - 33,55629 Ah között
- Megfelelő: 37,75933 – 44,03562 Ah között
- Magas: 48,36197 felett

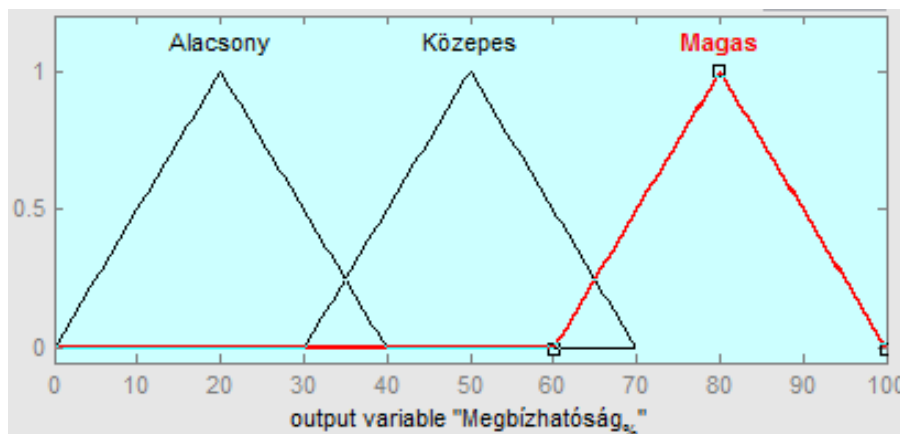
A megbízhatóság 3 fuzzy halmaza a következő (tapasztalati adatok alapján):

- az akkumulátor megbízhatóság alacsony: 0-40%
- az akkumulátor megbízhatóság közepes: 50-70%
- az akkumulátor megbízhatóság megfelelő: 60-100%.

A tagsági függvények vizsgálata MATLAB® matematikai program használatával történt, amelynek segítségével megállapíthatók azok az üzemeltetési paraméterek, amikor a jármű

akkumulátorai a lehető legnagyobb megbízhatósággal üzemeltethetők, vagyis az akkumulátorok feszültségértékei, és Ah értékei megfelelőek, és így a megfelelő megbízhatósággal üzemeltethetők az akkumulátorok, tehát a rendelkezésre állásuk a lehető legnagyobb lesz. A következőkben a tagsági függvények megállapítása történik. [MJ110]

A megfelelő tagsági függvények (25. ábra):



25. ábra: Megbízhatóság %-os eloszlása [MJ110]

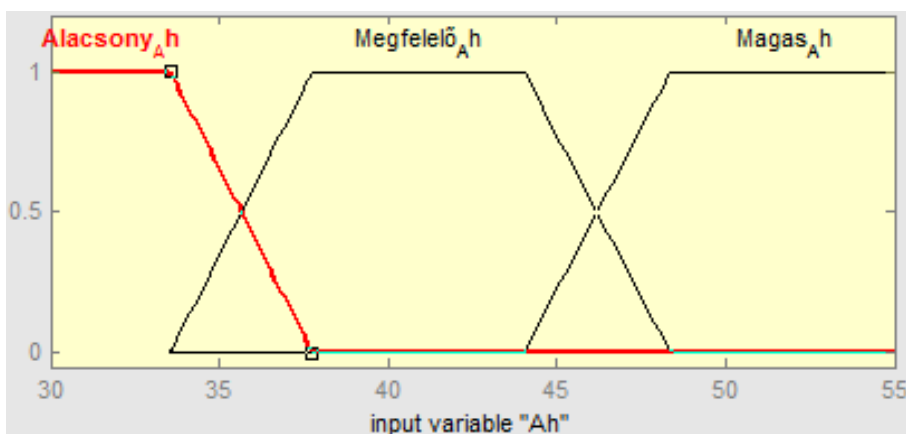
Az Ah értékek tagsági függvényei:

$$\mu(\text{alacsonyAh}) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 0 \\ 1 & \text{ha } x < 33,556 \\ 37,7593 & \text{ha } 33,556 < x < 37,7593 \end{cases} \quad \text{vagy } x > 37,7593 \quad (11)$$

$$\mu(\text{megfelelőAh}) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 33,556 \\ x - 33,556 & \text{ha } 33,556 < x < 37,7593 \\ 1 & \text{ha } 37,7593 < x < 44,0356 \\ 48,2386 - x & \text{ha } 44,0356 < x < 48,2386 \end{cases} \quad \text{vagy } x > 48,2386 \quad (12)$$

$$\mu(\text{magasAh}) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 44,0356 \\ x - 44,0356 & \text{ha } 44,0356 < x < 48,2386 \\ 1 & \text{ha } 48,2386 < x \end{cases} \quad (13)$$

A 26. ábrán az (8), (9) és (10) függvények együttes ábrázolása látható.



26. ábra: A 3 tagsági függvény ábrázolva [MJ110]

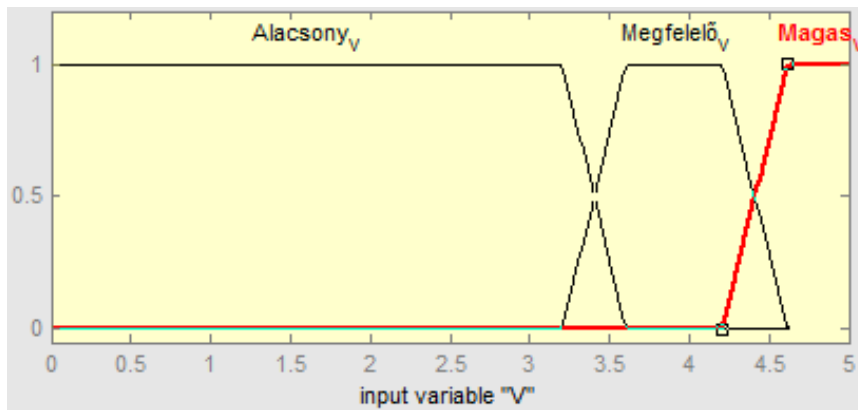
Feszültség értékek tagsági függvényei:

$$\mu(\text{alacsony}V) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 0 \\ 1 & \text{ha } 0 < x < 3,2031 \\ 3,6043 - x & \text{ha } 3,2031 < x < 3,6043 \\ 0 & \text{ha } x > 3,6043 \end{cases} \quad \text{vagy} \quad x > 3,6043 \quad (14)$$

$$\mu(\text{megfelelő}V) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 3,2031 \\ x - 3,2031 & \text{ha } 3,2031 < x < 3,6043 \\ 1 & \text{ha } 3,6043 < x < 4,2034 \\ 4,6046 - x & \text{ha } 4,2034 < x < 4,6046 \\ 0 & \text{ha } x > 4,6046 \end{cases} \quad \text{vagy} \quad x > 4,6046 \quad (15)$$

$$\mu(\text{magas}V) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 4,2034 \\ x - 4,2034 & \text{ha } 4,2034 < x < 4,6046 \\ 1 & \text{ha } 4,6046 < x \end{cases} \quad (16)$$

A 27. ábrán a (11), (12) és (13) függvények együttes ábrázolása látható.

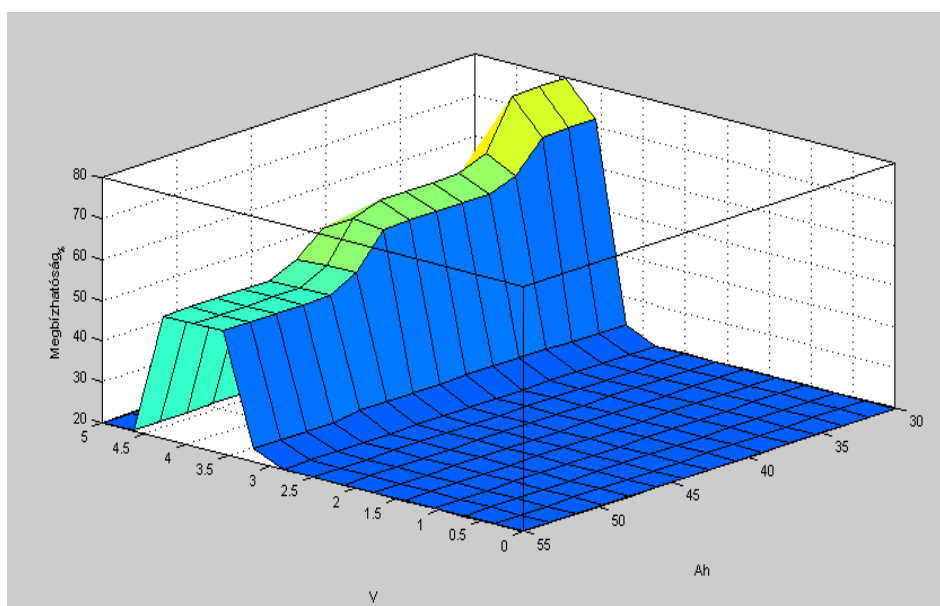


27. ábra: A 3 tagsági függvény ábrázolva [MJ110]

A szabályok felállításánál figyelembe kell venni, hogy az akkumulátorok alacsony és túl magas feszültségértékei befolyásolják annak megbízhatóságát, és az akkumulátorok fizikai tulajdonságait, és a felhasznált áramerősség befolyásolja az akkumulátorok hasznos élettartamát. A felsorolt paraméterek romlása esetén az akkumulátorok megbízhatósága csökken, aminek eredményeképpen a járművek rendelkezésre állása csökken. Ahhoz, hogy az akkumulátorok állapota a lehető legjobb legyen a következő szabályok kerültek definiálásra [MJ110]:

- HA a feszültség alacsony AKKOR a megbízhatóság alacsony;
- HA a feszültség megfelelő AKKOR a megbízhatóság magas;
- HA a feszültség magas AKKOR a megbízhatóság alacsony;
- HA a feszültség megfelelő ÉS az Ah alacsony AKKOR a megbízhatóság magas;
- HA a feszültség megfelelő ÉS az Ah magas AKKOR közepes;
- HA a feszültség megfelelő ÉS az Ah közepes AKKOR a megbízhatóság közepes.

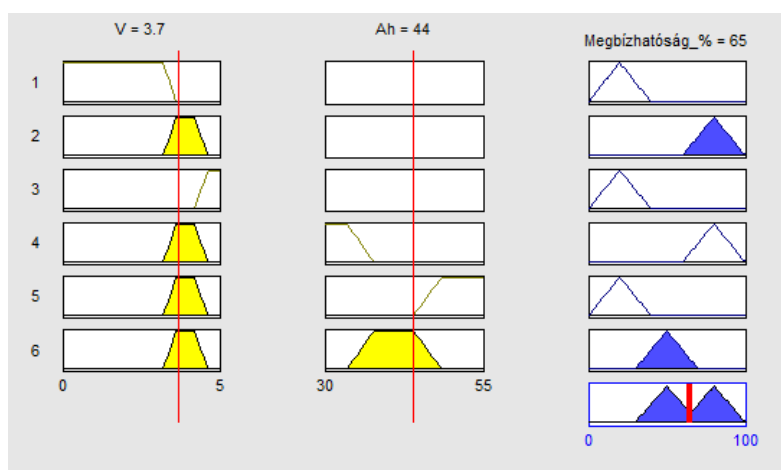
Ezen szabályok figyelembe vételével a 28. ábrán látható grafikon felületét kapjuk.



28. ábra: Függvény felülete [MJ110]

A 28. ábrán látható felület egyértelműen behatárolja azokat a paraméter intervallumokat, amelyben az akkumulátorok a legnagyobb megbízhatósággal és gazdaságossággal üzemeltethetők. Az ideális feszültségértéken, és alacsony Ah-s értéken a kísérlet során használt akkumulátorok megbízhatósága igen magas. Ennek hátulütője, hogy az akkumulátor töltéstároló képessége csökken. [MJ110]

Szakértői adatok és vélemények alapján az akkumulátorokat legtöbbször a feszültség alsó tőrés határát használják és viszonylag magas Ah-n, melynek oka, hogy a jármű menetteljesítménye megfelelő legyen. Ilyenkor az akkumulátorokat 3,7V-ig engedik kisütni és 44Ah-n használják, ebben az esetben a megbízhatóság 65%-os a megengedhető legalacsonyabb feszültségen (29. ábra). [MJ110]



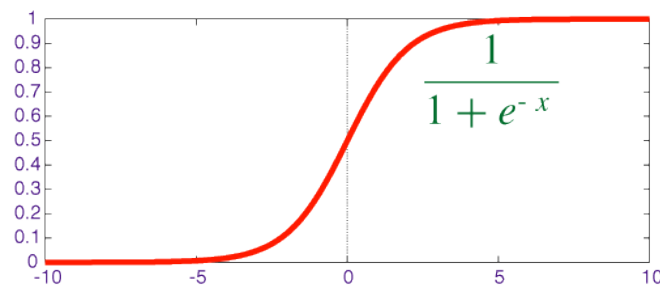
29. ábra: Szakértői adatok alapján használt akkumulátorok [MJ110]

4.7 Sigmoid függvények

A fuzzy tagsági függvények egy leképezést valósítanak meg. Ez a leképezés a vizsgált terület alaphalmazbeli (vagy univerzumbéli) értékei és a $[0, 1]$ intervallum között történik. A tagsági függvény (μ) feladata, hogy kifejezze, hogy az univerzumbéli elem milyen mértékben tartozik egy úgynevezett nyelvi értékkel leírt csoportba. Ilyen vizsgálatra és leírásra alkalmasak az úgynevezett sigmoid függvények. [31][38][39][42][46][94]

A sigmoid függvény egy gyűjtőnév, amely az 'S' alakú függvényképpel rendelkező valósértékű, folytonos függvényeket foglalja magában. Az e fajta függvények jellegzetessége, hogy szimmetriát mutatnak az induló és a megállapodó tartományban, rendelkeznek egy monoton felfutási szakasszal, egy középső lassan változó szakasszal majd egy a növekedést megközelítő konstans szakasszal.

A felsorolt 3 szakasz egy 'S' betűre hasonlít. [31][38][39][42][46]



30. ábra: Sigmoid függvény [72]

Bizonyos folyamatokról hiányozhat részletes leírás, ezeket a sigmoid függvény pótolhatja és ábrázolhatja az adott függvényt, folyamatot. Nagyon gyakran a sigmoid függvény az úgynevezett logisztikai függvényre utal. [31][38][39][42][46]

A logisztikus függvény elsősorban a XX. században örvendett nagy népszerűségnek, amikor a statisztikai ökonometria modellezés egyik fontos eszköze volt. Napjainkban inkább egy determinisztikus trendmodell alapfüggvényének hívnánk. A vizsgált folyamatokra jellemző, hogy egy bizonyos ideig nőnek, majd egy idő után eléri azt a szakaszt, amikor a növekedés korlátjai már éreztetik hatásukat, ennek következtében a növekedés mértéke csökken, a 0-hoz konvergál egy idő után. Ezt a 30. ábra kiválóan szemlélteti.

A logisztikus függvény általános alakja a következő volt [31][38][39][42][46]:

$$y_t = \frac{k}{1 + ae^{-bt}}, \quad (17)$$

$k, a, b > 0$ paraméter eloszlásokkal. Később ettől eltérő paraméterezés is használtak. A különböző paraméterek a függvény más és más tulajdonságait befolyásolják. [31][38][39][42][46]

A szigmoid függvény általános alakja, amely egyszerűen használható fuzzy függvényekhez:

$$\mu_i(x) = \frac{1}{1+e^{a_i(b_i-x)}} \quad (18)$$

4.8 Akkumulátor paraméter eltérés vizsgálata fuzzy logikával

A jármű elektromos hajtásához felhasznált akkumulátorok megfigyelt paraméterei a V feszültség [V], valamint a töltés [Ah]. Ez a két paraméter nem csak az elektromos járművek hajtását biztosító motorok teljesítménye miatt fontos, hanem biztonságtechnikai kérdések is felmerülnek velük kapcsolatban.

Ebből kifolyólag elengedhetetlenül fontos az adatok figyelése. Lítium-polimer akkumulátorok esetében a megengedett legnagyobb és legkisebb értékek felfelé, illetve lefelé történő túllépése az akkumulátorok túlmelegedéséhez vezethet. Ez a túlmelegedés az akkumulátorok rendelkezésre állását is csökkenti. A vizsgálat során a fő cél a megengedhető legnagyobb paraméter eltérés meghatározása, amely során az akkumulátorok megbízhatósága nem csökken. [MJ116][MJ117]

A lítium-polimer akkumulátorok gyakorlati használata során megfigyelhető, hogy a tapasztalati és az elméleti alsó és felső töltöttségi értékek nem egyeznek. Ezek az eltérések származhatnak a töltő berendezés pontatlanságából, vagy a tapasztalatokon alapuló tudatosan más értékeken történő üzemeltetésen. Ezek a tapasztalatok azt mutatják, az akkumulátorokat tágabb tűréshatárok között lehet használni, mint ahogy azokat laborkörülmények között meghatározták vagy, ahogy azt a gyártó előírta.

Az elméletileg meghatározott maximális, névleges értéket 100 %-nak tekintve megállapítható, hogy akár 105 % feltöltés is megengedhető. Valamint a 76 %-os elméleti lemerítettség helyett akár 61 % is megengedhető. [MJ116][MJ117]

A tapasztalati értékek főbb statisztikai adatait a 7. táblázat szemlélteti.

7. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései [MJ116][MJ117]

		Tapasztalati értékek
$V_{\max}$ [%]	Min	100%
	Max	105,67%
	Átlag	104,85%
	Medián	104,76%
$Ah_{\max}$ [%]	Min	100%
	Max	105,57%
	Átlag	104,75%
	Medián	104,67%
$V_{\min}$ [%]	Min	76,19%
	Max	61,19%
	Átlag	61,9%
	Medián	61,9%
$Ah_{\min}$ [%]	Min	76,2%
	Max	61,37%
	Átlag	61,85%
	Medián	61,85%

A fenti statisztikai adatok alapján a paraméter eltérések fuzzy tagsági értékei a következő általános szigmoid függvénnyel számítható [MJ116][MJ117]:

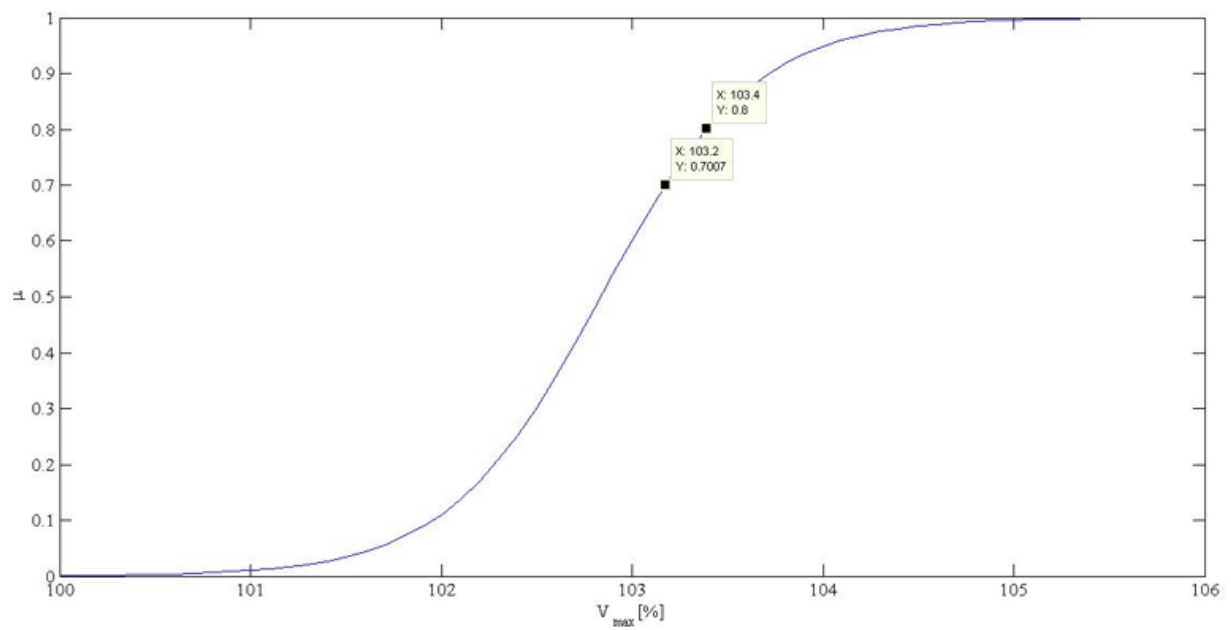
$$\mu_i(x) = \frac{1}{1+e^{a_i(b_i-x)}} \quad (19)$$

Az a_i és b_i értékek egy a (19) -es egyenletből létrehozott egyenletrendszer segítségével határozhatók meg (melléklet 1-4.), ahol az a_i paraméter határozza meg, hogy a függvény milyen meredeken emelkedik (vagyis a középponton való áthaladást, ami $p=0,5$) míg a b_i paraméter az időtartamot határozza meg, vagyis, hogy „mikor” metszi a függvény a 'p' középpontot. [MJ116][MJ117]

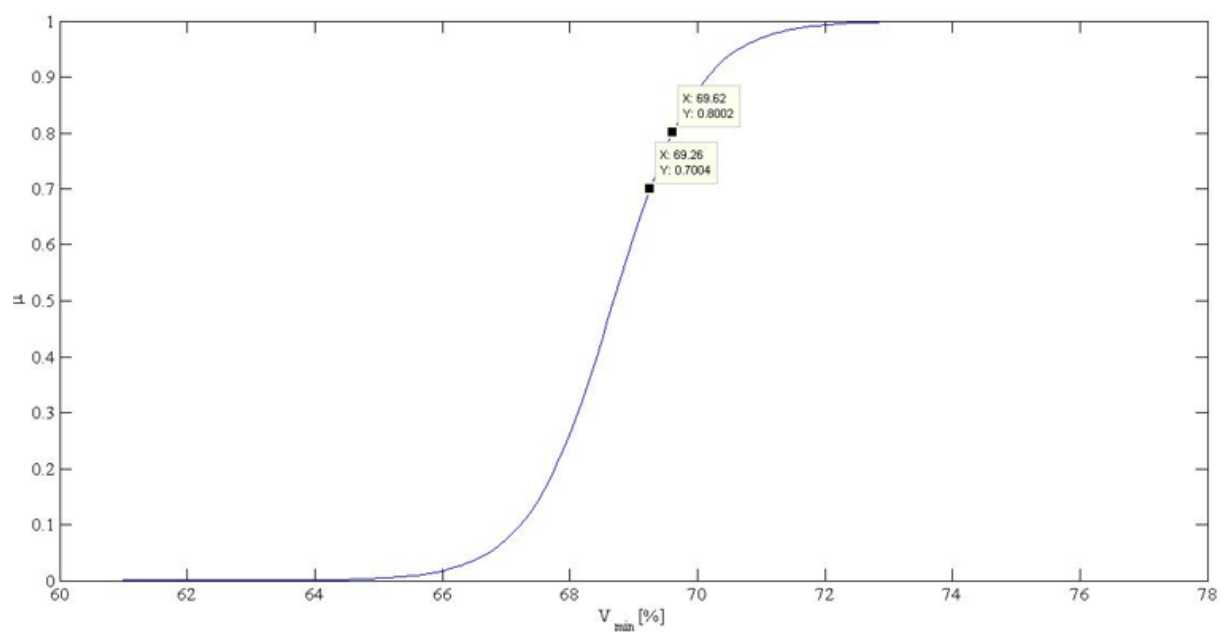
8. táblázat: A (19) egyenlet együtthatói [MJ116][MJ117]

Paraméter (i)	a_i	b_i
$V_{\max}$	2,5	102,835
$Ah_{\max}$	2,0	101,785
$V_{\min}$	1,5	68,690
$Ah_{\min}$	1,55	67,795

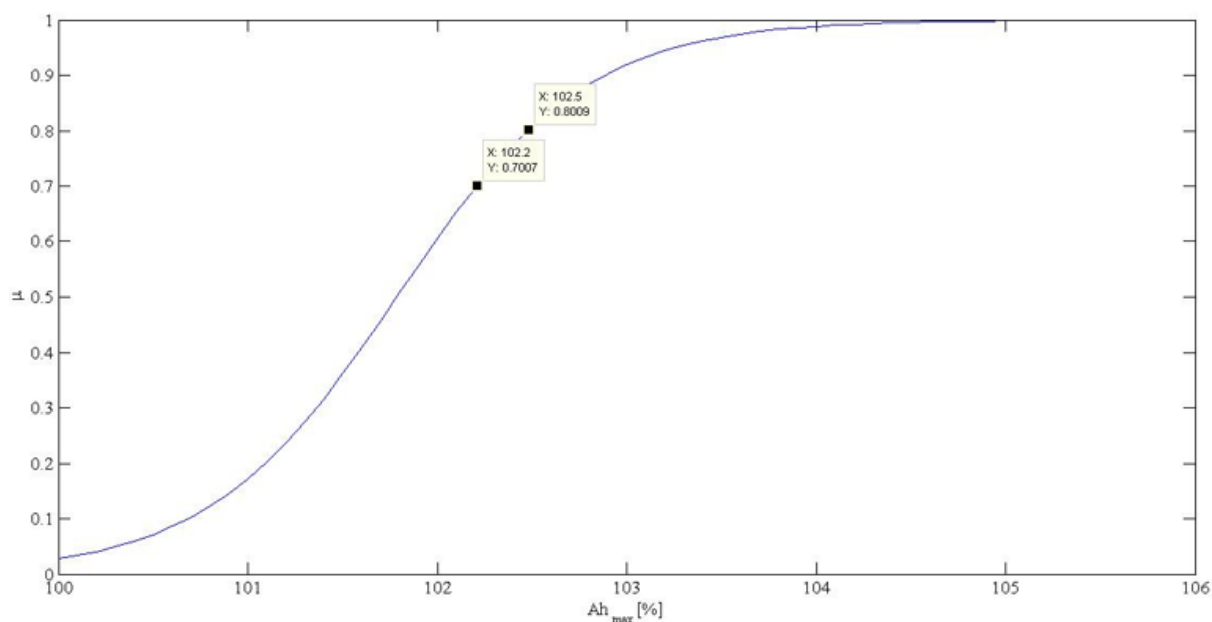
A függvények együtthatóit a 8. Táblázat tartalmazza. A tagsági függvényeket pedig a 31. – 34. ábrák szemléltetik. Az ábrázolás MATLAB® programmal történt (mellékletek 9-10.)



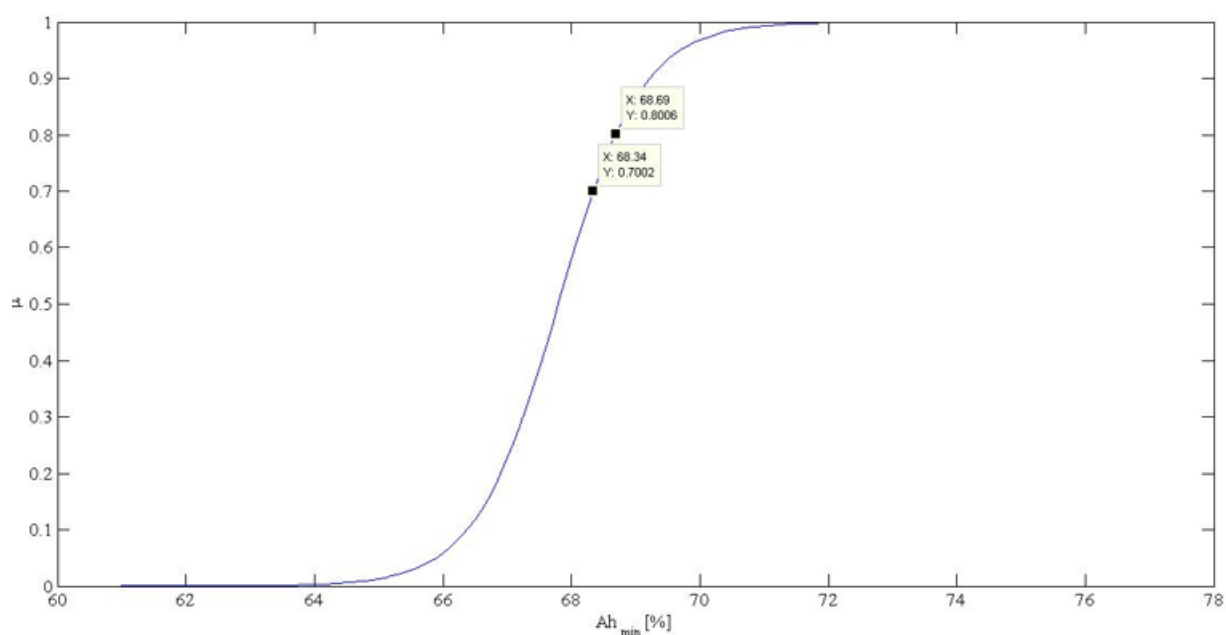
31. ábra: V_{max} tagsági függvény [MJ116][MJ117]



32. ábra: V_{min} tagsági függvény [MJ116][MJ117]



33. ábra: Ah_{max} tagsági függvény [MJ116][MJ117]



34. ábra: Ah_{min} tagsági függvény [MJ116][MJ117]

Az akkumulátoroknak két állapota van, amelyet a BMS figyel. Az egyik az úgynevezett maximális szint, amelyet töltés során az akkumulátor elérhet, és egy alsó, vagy minimális szint ameddig az akkumulátor kisüthető. Mindkét szint elérése esetén valamilyen beavatkozás szükséges. Az egyik esetben a töltést meg kell kezdeni, míg a második esetben abba kell hagyni. A megengedhető paraméter eltérések meghatározásához a következő logikai kifejezések kerültek figyelembe vételre [MJ116][MJ117].

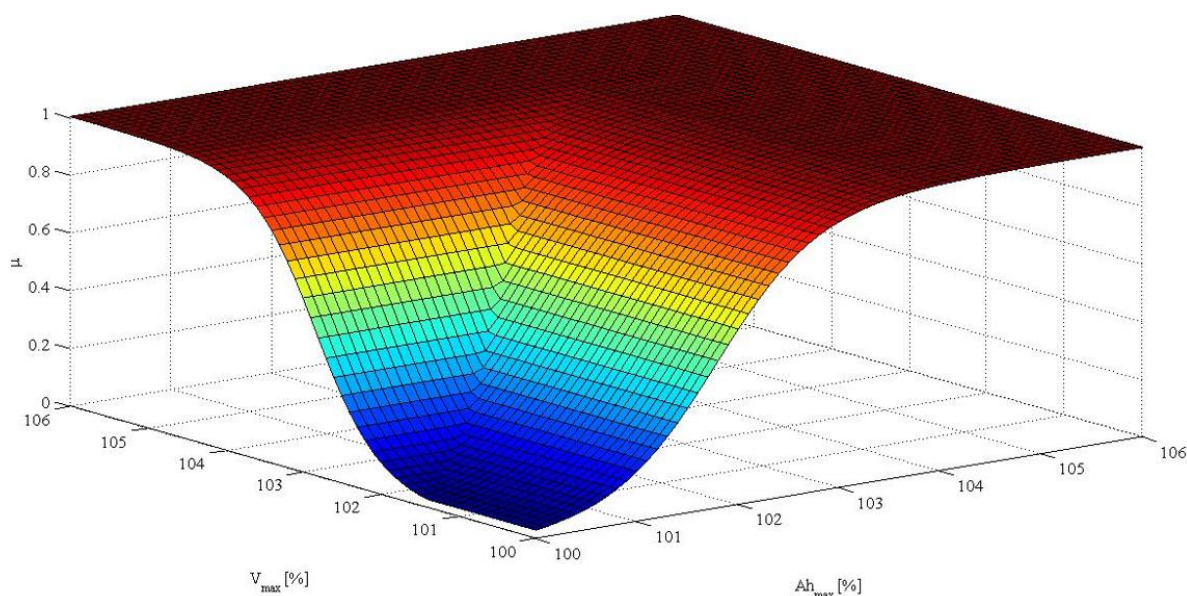
Ha az akkumulátor feltöltött, akkor a töltési folyamatot meg kell szakítanunk. Ebben az esetben a következő logikai szabály került felhasználásra [MJ116][MJ117]:

- HA a V eléri a felső $V_{\max}$ határt
- VAGY az Ah eléri a felső $Ah_{\max}$ határt
- Akkor az akkumulátor töltését meg kell szakítani

A feltételek között VAGY logikai kapcsolat áll fent, tehát legalább az egyik feltételnek teljesülnie kell, azaz a fuzzy logika alkalmazása esetén a MAXimum operátor került felhasználásra. Ezen logikai szabály igazságérték-felülete a

$$\mu(V_{\max}; Ah_{\max}) = \text{MAX} \left(\frac{1}{1+e^{a_{V_{\max}}(b_{V_{\max}}-V)}}; \frac{1}{1+e^{a_{Ah_{\max}}(b_{Ah_{\max}}-Ah)}} \right) \quad (20)$$

függvénnyel adható meg, mely az 35. ábrán látható.



35. ábra: Az akkumulátor feltöltéséhez kapcsolódó szabály igazságértékeinek felülete [MJ116][MJ117]

Ha az akkumulátor kisütött (lemerített) állapotba kerül, akkor a töltési folyamatot el kell indítanunk. Ebben az esetben a logikai szabály a következőképpen fog alakulni [MJ116][MJ117]:

- HA a V eléri az alsó $V_{\min}$ határt;
- VAGY az Ah eléri az alsó $Ah_{\min}$ határt;
- AKKOR az akkumulátor töltését meg kell kezdeni;

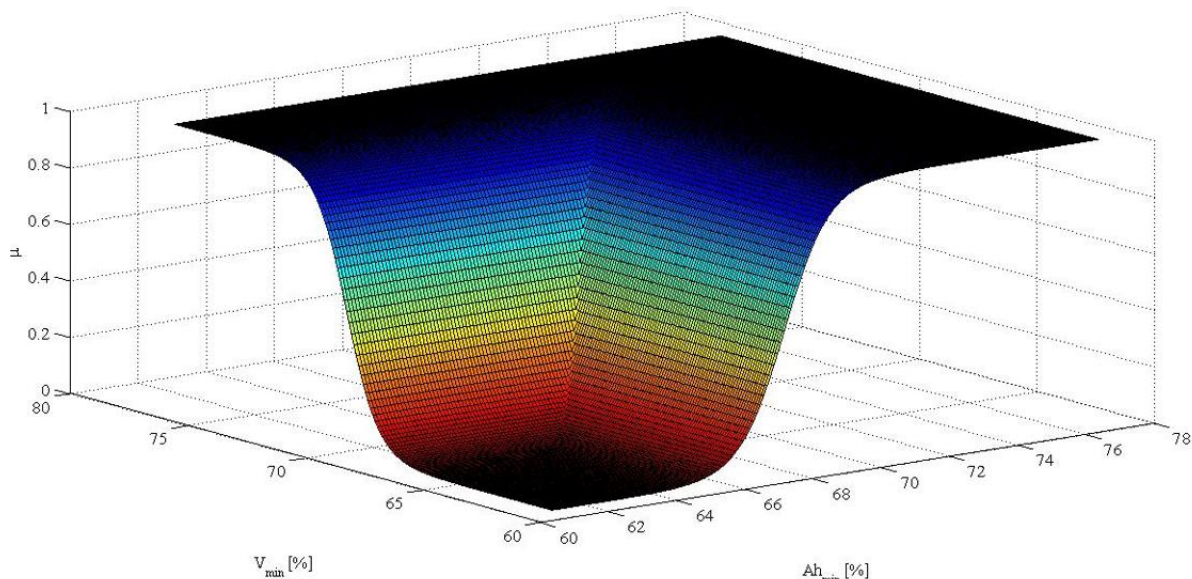
A feltételek között ebben az esetben is VAGY logikai kapcsolat áll fent, így elegendő csak az egyik feltétel teljesülése is a kifejezés igaz voltaához. Ezen logikai szabály igazságérték-felületét a

$$\mu(V_{min}; Ah_{min}) = MAX\left(\frac{1}{1+e^{a_{Vmin}(b_{Vmin}-V)}}; \frac{1}{1+e^{a_{Ahmin}(b_{Ahmin}-Ah)}}\right) \quad (21)$$

függvénnyel tudjuk megadni, melyet az 36. ábra szemléltet [MJ116][MJ117].

Az akkumulátorok megengedhető töltési és kisütési értékeinek meghatározásakor figyelembe kell venni a szabályzó rendszer és a felhasználói szokásokból eredő pontatlanságokat, melyek hatása következtében nem a megfelelő időben (paraméter esetén) történhet töltés megszakítása, illetve indítása. Ezért az ismertetett logikai szabályok és tagsági függvényeik alapján kell a töltési-kisütési folyamatot irányítani.

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy célszerű a megengedett igazságértékeket 0,7 – 0,8 között meghatározni. Ez azt jelenti, hogy 0,8-as igazságérték felett az akkumulátorok túltöltése vagy kisütöttsége veszélyessé válhat. A 9. Táblázat az akkumulátor feltöltöttségéhez, a 10. Táblázat pedig a merítéséhez kapcsolódó, 0,7 és 0,8 igazságértékekhez tartozó értékeket mutatja. [MJ116][MJ117]



36. ábra: Az akkumulátor lemerítéséhez kapcsolódó szabály [MJ116][MJ117]

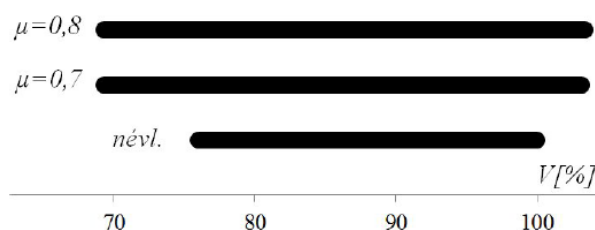
9. táblázat: A Vmax és Ahmax igazságértékeihez tartozó eredmények [MJ116][MJ117]

$\delta V_{max} [\%]$		$\delta Ah_{max} [\%]$	
$\mu=0,7$	$\mu=0,8$	$\mu=0,7$	$\mu=0,8$
103,2 %	103,4 %	102,2 %	102,5 %

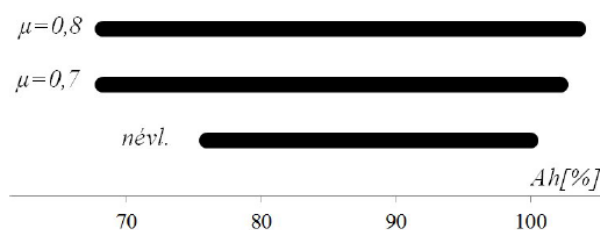
10. táblázat: A $V_{\min}$ és $Ah_{\min}$ igazságértékeihez tartozó eredmények [MJ116][MJ117]

$\delta V_{\min} [\%]$		$\delta Ah_{\min} [\%]$	
$\mu=0,7$	$\mu=0,8$	$\mu=0,7$	$\mu=0,8$
69,26 %	69,62 %	68,34 %	68,69 %

A 9. és 10. táblázatok alapján a V feszültség, illetve Ah töltöttségi intervallumokat szemlélteti az 37., illetve az 38. ábra. A két ábra alapján látható, hogy az előírt (az ábrákon *névl.*) sávhoz képest a 0,7 és 0,8-as érték nagyobb teret ad a felhasználónak. [MJ116][MJ117]



37. ábra: Feszültség intervallumok [93]



38. ábra: Ah intervallumok [MJ117]

A diagramokból és táblázatokból látható, hogy az akkumulátorok használata eltérő lehet az előírtaktól. Megfigyelhető, hogy az akkumulátorok merítési feszültsége ($\sim 0,36\%$) nagyobb tűréshatáron belül mozog, (abban az esetben, ha a μ értéke 0,7 és 0,8), mint a töltési feszültsége ($\sim 0,3\%$). A feltöltési és lemerítési kapacitás azonos tűrési intervallummal bír. A kapott százalékos értékek nem tűnhetnek soknak 1 db akkumulátor esetén, viszont egy 10, 15 akkumulátort használó jármű esetében ez a kapacitásnövekedés jelentős. [MJ116][MJ117]

A gyakorlati tapasztalatok alapján felvett igazságértékeknek köszönhetően az akkumulátorok töltési ciklusainak száma csökkenhet. Mivel az akkumulátoroknak nem csak a minimum szintjei, de a maximum értékei is változnak, ebből kifolyólag a jármű hatékonysága és rendelkezésre állása megnövekszik. Egy feltöltéssel nagyobb út megtételére lesz képes a jármű, jobb gyorsulás és nagyobb végsebesség érhető el. Hosszú távon az üzemeltetési költségek csökkenhetnek, ha a tűréshatárokat megfelelő mértékben változtatjuk meg. Az üzemeltetési költségek túlmutatnak az akkumulátor pusztta töltésén vagy azok cseréjén. A

karbantartási munkák száma csökken, ezáltal humánerőforrás szabadítható fel, ami más feladatok elvégzésére fordítható. A rendelkezésre állás kifejezetten fontos lehet veszélyes feladatokat ellátó autonóm járművek esetében vagy ipari létesítményeknél, ahol a vevő és a különböző munkaállomások kiszolgálása az egyik legfontosabb feladat. Az akkumulátorok élettartamának növekedése globális mértékben csökkenti a kiselejtezésük utáni inkurrencia költségeket, és csökkenhet a gyártás során fellépő környezetet terhelő egyéb hatások mértéke is. A fentiek alapján kijelenthető, a fuzzy szabálybázisú döntésnek komoly lehetőségei vannak energetikai kérdések megválaszolásában vagy azok leegyszerűsítésében, legyen az jármű, robot vagy épületenergetika. [MJ116][MJ117]

A fuzzy logikával végzett vizsgálat eredménye, hogy az üzemeltetési határok kitolhatók, a paramétereltérések könnyen értelmezhetők. Az így vizsgált adatok elemzése viszont lassú és majdcsak nem egyedi esetekről beszélhetünk. Ipari alkalmazás esetén nem látszik egy nagyobb kép a vizsgált rendszerről és a csak fuzzy logikával vizsgált értékek nem alapulnak statisztikán vagy hisztorikus adatokon, pusztán csak a szakértői vélemények és tapasztalatok alapján lehet eredményt kapni. A probléma kiküszöbölésének érdekében szükséges statisztikai alapon működő rendszer használatára.

4.9 A fejezet összefoglalása, következtetések

A negyedik fejezetben először a paraméter eltérés fogalmát tisztáztam és felhívtam a figyelmet ennek gyakorlati fontosságára. A fejezetben áttekinthető a fuzzy logika története és annak elméleti háttere. Az irodalmi áttekintés után megállapítottam, hogy a fuzzy logika rendkívül nagy népszerűségnek örvend világszerte, nagymértékű áttörést viszont csak az 1990-es évektől figyelhető meg. A negyedik fejezetben tisztáztam az alapvető halmazelméleti fogalmakat, amelyek segítségével a fuzzy logika könnyebben értelmezhető.

Kutatómunkám során gyakorlati tapasztalatokra támaszkodtam és fuzzy logika segítségével megállapítottam, hogy melyek azok a tartományok a vizsgálatához használt akkumulátornál, amikor még azok megfelelő hatékonysággal és üzembiztonsággal üzemeltethetők. 3D-s grafikon segítségével könnyedén megállapítottam, melyek azok a tartományok, ahol az akkumulátorok üzemeltetése kielégítő. Ennek eredményeképpen az akkumulátorok élettartama és megbízhatóságuk megnövelhető. [MJ110]

A kutatás következő fázisában az akkumulátorok paraméter eltéréseit vizsgáltam. A kapott eredményekből és diagramokból igazoltam, hogy az akkumulátorok az előírtaktól eltérő paraméterekkel üzemeltethetők. A kísérleti modellel bebizonyítottam, hogy lehetőség van a

töltési intervallumok megnövelésére így a többlet feszültséggel növelhető a maximálisan előírt villamos feszültség értéke. Hosszú távon az üzemeltetési költségek csökkenése idézhető elő, abban az esetben, ha a tűréshatárokat a megfelelő intervallumban határozzuk meg. Ebben segítség a 4.8 alfejezetben alkalmazott 3D-s felület. A csökkentett üzemi költségek és csökkentett karbantartási munkálatok miatt a karbantartó csoportok munkája átszervezhető, átcsoportosítható. [MJ116]

A kísérleti eredmények fontos előrelépést jelentenek a környezetvédelem területén is. A kibővített üzemeltetési határokkal az akkumulátorok töltése ritkulhat, az energiagazdálkodás átalakulhat, valamint lehetővé válhat, hogy jármévenként kevesebb akkumulátort építsenek be, így nem csak környezetvédelmi előnyök, hanem gazdasági előnyök is keletkezhetnek. Abban az esetben, ha kevesebb akkumulátor kerül felhasználásra, akkor az akkumulátorok gyártásából származó környezeti terhelés is csökkenhet.

5. Support Vector Machine és a fuzzy logika alkalmazása

5.1 Support Vector Machine története

A számítógépek és a különböző informatikai eszközök fejlődésének köszönhetően egyre nagyobb igény mutatkozik a valós idejű matematikai és számítógépes modellezésre. Ehhez elengedhetetlenül fontos az ismétlődő, egymásra hasonlító minták felismerése, megkülönböztetése és azok osztályozása. Napjainkban a mesterséges intelligencia leginkább fejlődő vonulata a statisztikai tanuló algoritmusok vagy más szóval a gépi tanulás. A gépi tanulás lehetővé teszi, hogy az úgynevezett tanulóhalmazokból vagy mintahalmazokból a halmazokon túlmutató következtetéseket vonjunk le, mely halmazok a valós világ megfigyeléseit tartalmazzák. A statisztikai elven működő algoritmusok egyik legnépszerűbb és leggyakrabban használt eszköze a Support Vector Machine (SVM) módszer. Magyar szakirodalomban ez az eszköz Tartó Vektor Gépként ismert. Könnyen használható magyar kifejezés nélkül az SVM kifejezést használjuk. Az SVM módszer az utóbbi 30-40 évben rohamos fejlődésen esett át, amelyet V.N. Vapnik munkásságának köszönhetünk. [3][4][14][16][27][40][43][49][75][78][83][91][104][MJ109]

Az SVM módszer egy speciális neurális hálózatként tekinthető. Szakirodalomban viszont legtöbbször a statisztikus tanulási elmélet keretében sorolják. SVM segítségével fontos eredményeket értek el képek, szövegek osztályozásában és kézzel írt számjegyek felismerésében. A Support Vector két nagy csoportját az osztályozásra és regresszióra kialakított variánsai alkotják. Sajátosságuk, hogy a statisztikai modell felállításakor nem használják fel a rendelkezésre álló tanulóhalmaz összes létező elemét. [MJ109]

5.1.1 Support Vector Machine alkalmazása osztályozásra

Osztályozás esetén az egyes osztályoknak csak azon mintavektorai használhatók, amelyek az osztályokat elválasztó hipersíkhöz a legközelebb helyezkednek el. A következő leírás [27] és [104] munkákon alapszik.

Vizsgáljuk meg a következő mintát,

$$(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n); x_i \in \mathbb{R}^d; y_i \in \{-1, 1\} \quad (22)$$

Amint látható, a minta elemei két osztályból származnak. Abban az esetben, ha $x_i \in \mathbb{R}^d$ mintaelem az A_1 osztályból származik, akkor $y_i = 1$. Ha az A_2 osztályból származik, akkor pedig $y_i = -1$. Ez a tanulóhalmaz lineárisan szeparálható, abban az esetben, ha létezik olyan hipersík, amelynek egyik oldalán vannak A_1 , a másik oldalán pedig A_2 elemei. [4][27][MJ109]

Tehát szeparálható a

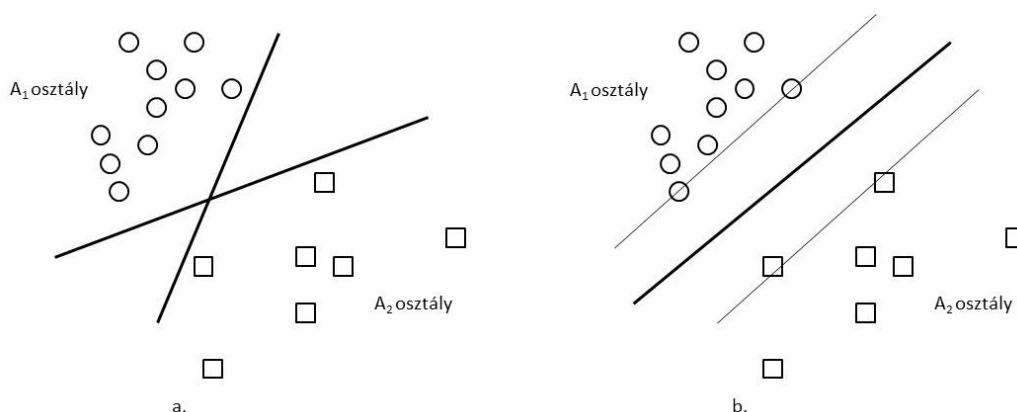
$$\langle x, \varphi \rangle = c \quad (23)$$

hipersíkkal, ha teljesül a következő:

$$\langle x_i, \varphi \rangle > c, \text{ if } y_i = 1, \quad (24)$$

$$\langle x_i, \varphi \rangle < c, \text{ if } y_i = -1, \quad (25)$$

ahol $\varphi \in \mathbb{R}^d$ egységvektor, $c \in \mathbb{R}$ és $\langle a, b \rangle$ pedig az a és b vektorok közötti belső szorzatot jelöli. Az így kapott hipersík gyakorlati szempontból kiemelkedő fontosságú. Az 39. ábra két részből tevődik össze. Az ábra 'a' részében egy nem optimális szeparálás látható, míg a 'b' részében egy SVM módszer segítségével történő szeparálás figyelhető meg. [4][27][MJ109]



39. ábra: Szeparálás [27][MJ109]

Az 39. ábra 'b' oldalán látható vékony vonalak az úgynevezett margók. A két margó között helyezkedik el a szeparáló egyenes, vagyis határsáv. A 39. 'b' ábrán jól látható, hogy a meghúzott margók a lehető legtávolabb helyezkednek el egymástól, a margókra illeszkedő pontokat (az ábrán kör és négyzet) pedig tartó vektoroknak nevezzük. [4][27][MJ109]

5.1.2 Support Vector Machine – Veszteségfüggvények (regresszió)

Elsőként a Support Vector Machine jelent meg bináris osztályozásra, majd 1997-ben a Support Vector Regresszióra (SVR). Az SVM a vizsgált tanulókészlet elemeit olyan sokdimenziós térbe transzformálja, ahol a két osztályba sorolható pontok egy hipersíkkal elválaszthatók, ezt követően pedig az osztályozás a bejövő vektor transzformációját követően a hipersík egyenletébe való behelyettesítéséből áll. Az SVM a tanulókészlet vektorjainak több dimenziójú térbe való transzformálását úgy végzi el, hogy a számítási igényt igyekszik minimalizálni. Ezt a regressziós folyamatot Vapnik először 1997-ben alkalmazta. [4][14][27][MJ109]

A regresszió feladata a megfigyelések közötti funkcionális kapcsolat felírása. A regressziót többféleképpen különböztetjük meg. Az egyik, hogy rendelkezünk-e bármilyen információval a kapcsolat jellegéről. Regresszió számítás esetén nem definiálható az osztályozásnál értelmezett margó. Ebből kifolyólag szükség van egy olyan értelmezésre, amely lehetővé teszi az SVM kiegészítő feltételének használatát. [4][14][27][MJ109]

Az osztályozó és regressziós feladatok között könnyen megteremthető a kapcsolat, mégpedig úgy, hogy a függvényapproximációs feladatoknál az átlagos négyzetes hiba helyett az úgynevezett ε -érzékenységi sávval rendelkező abszolútérték hibafüggvényt alkalmazzuk, külföldi szakirodalomban ez ε – insensitive loss function-ként ismert. Statisztikában a klasszikus regresszió analízis alakja [4][14][27][MJ109]:

$$(y - f(x, \alpha))^2 \quad (26)$$

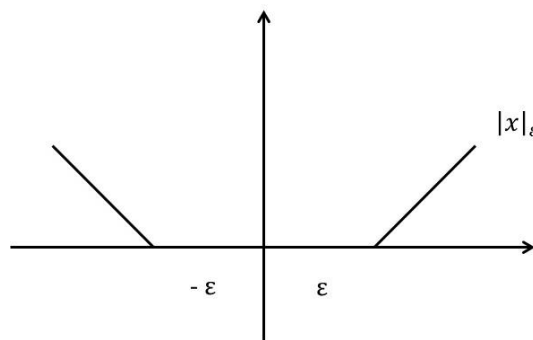
ahol x inputhoz, y outputhoz tartozik. Az ε -inszenzitív veszteségfüggvény esetében az ε -nál kisebb eltérésekre nem vagyunk érzékenyek. Az ε -nál nagyobbakra pedig nem négyzetesen, hanem lineárisan vagyunk érzékenyek. [4][14][27][MJ109]

Tehát:

$$L_\varepsilon(y - f(x, \alpha)) = |y - f(x, \alpha)|_\varepsilon \quad (27)$$

a lineáris ε -inszenzitív veszteségfüggvény, ahol (40. ábra)

$$|y - f(x, \alpha)|_\varepsilon = \begin{cases} 0, & \text{ha } |f(x, \alpha) - y| \leq \varepsilon, \\ |f(x, \alpha) - y| - \varepsilon, & \text{ha } |f(x, \alpha) - y| > \varepsilon, \end{cases} \quad (28)$$



40. ábra: ε intenzív veszteségfüggvény [27][MJ109]

5.2 Akkumulátor feszültségparaméter vizsgálata SVM módszerrel

Az SVM módszer nagyon népszerű képfeldolgozó és szövegkereső alkalmazásokban. [91] Az SVM felhasználáshoz speciális programnyelv használatára van szükség, ez a program nyelv az R programozási nyelv. [3][40][43][45][53][74][105]

A villamos jármű akkumulátor adatainak vizsgálatához [74] volt segítségemre. Villamos autonóm járművek fejlesztéseinek esetében, ahogy addig olvashattuk kiemelkedően fontos a megfelelő hatótávolság. A kutatómunka során egyértelművé vált, hogy az előírt és a használat során keletkezett úgynevezett statisztikai adatok ellentmondásban vannak egymással, tehát a járművek üzemeltetési módja eltér az előírttól.

A kísérletek során két adatcsoportot határoztam meg:

- előírt akkumulátor feszültségértékek;
- tapasztalati akkumulátor feszültség értékek.

A mérések során összegzett adatokat a 11. táblázat szemlélteti.

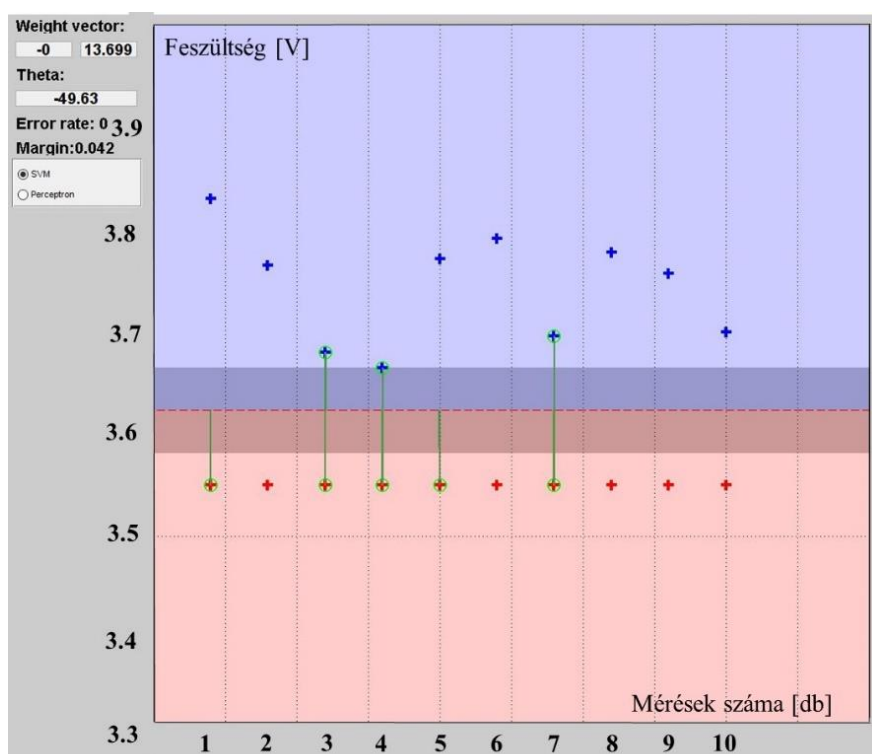
11. táblázat: Az előírt és a mért feszültségparaméterek

Mérések száma [db]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Felső feszültség értékek	3,6	3,68	3,69	3,7	3,74	3,75	3,781	3,82	3,83	3,833
Gyártó által előírt maximális feszültség	3,55									
Alsó feszültségérték	2,2	2,25	2,283	2,293	2,456	2,534	2,574	2,697	2,713	2,965
Gyártó által előírt minimum feszültségérték	3									

A táblázat tartalmazza az előírt feszültségértékeket maximum és minimum töltés esetén, valamint tartalmaz 10 olyan esetet, amelyek esetén a feszültségértékek a jármű fejlesztői és használói határoztak meg. Ezek az adatok eltéréseket mutatnak az előírtaktól, de még az akkumulátorok megfelelő üzembiztonsággal működnek ezeken az értékeken, viszont rövidebb ideig.

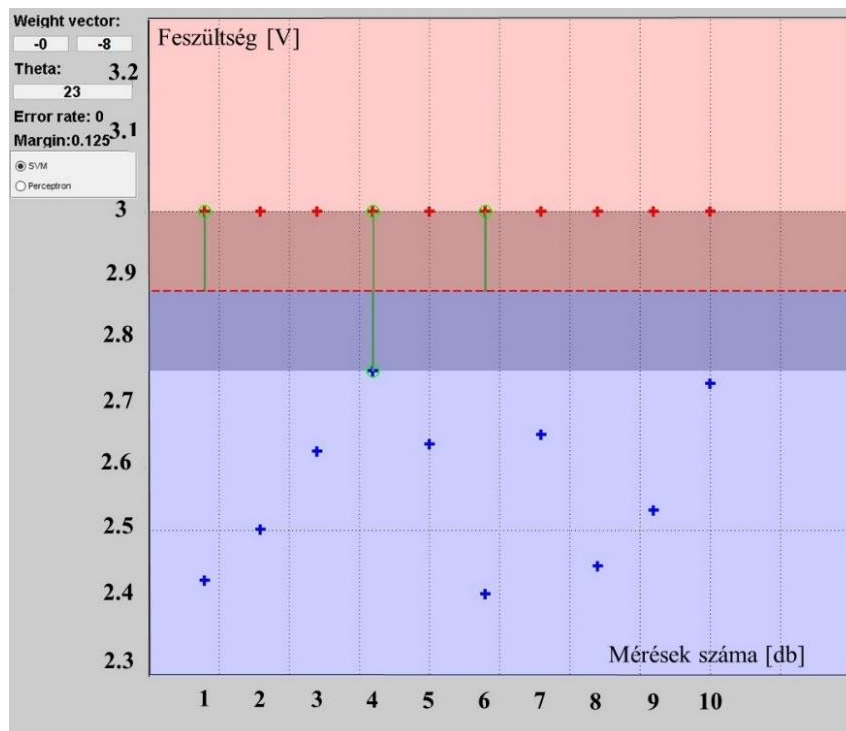
Az így kapott eredményekből számított átlag nem adott volna megfelelő értéket ahhoz, hogy az akkumulátoroknak 100%-ban pontosan megadhatóvá váljon az új feszültségértékei. Az SVM vizsgálatához egy MATLAB®-ban használt SVM alprogram került felhasználásra. A program a már fentiekben ismert margókat és hipersíkot rajzolja meg, a pontok mozgásával a margó folyamatosan változik, tehát a program automatikusan újra számol. A program a MATLAB® bioinformatika kiegészítő eszköztárát és a LibSVM kiegészítőt használja (13. és 14. melléklet).

Az 41. ábra az új felső feszültségértéket szemlélteti, ami 3,665V. A 41. ábrán 10 db, a járműfejlesztő csapat által meghatározott érték látható, amelyet a képen kék keresztjek jelölnek. A számítás és a megjelenítés érdekében létre kellett hozni egy másik csoportot vagy osztályt. Ezt a csoportot a piros kereszt jelöli, ami nem más, mint a gyártó által meghatározott maximális feszültségérték. Az 'x' tengelyen található a mérések száma Az 'y' tengelyen pedig a feszültségértékek olvashatók le. Ahogy az előző fejezetben ismertetésre került az SVM módszer meghatározza az optimális hipersíkot és a margókat. A kék keresztjek, amelyek zöld körben találhatók az úgynevezett support vector-ok, vagy más néven tartó vektor.



41. ábra: SVM "felső" feszültségértékek [MJ118]/[MJ119]

Az 42. ábra felépítése hasonló az 41. ábráéval. A 42. ábra a kisütéshez szükséges információkat, vagy más megfogalmazásban az alsó feszültségértékeket tartalmazza. Az értékek meghatározása hasonlóképpen történt, mint az előző esetben. A színjelölések is megegyeznek. A kék az új szakértők által meghatározott érték, míg a piros az akkumulátor gyártója által meghatározott érték. A program által új alsó feszültségértékként a 2,75V került elfogadásra.



42. ábra: SVM "alsó" feszültségértékek [MJ118][MJ119]

Ahogy a vizsgálatból látható az akkumulátorok feszültség határértékei kitolhatók. A vizsgált akkumulátorok szakértők, felhasználók bevonásával kerültek megvizsgálásra és 10 db új feszültségértéket határoztak meg. SVM számítás után 3,665V és 2,75V lett az új feszültségérték, a gyártó által előírt 3,55V és 3V helyett. Az új határtételeket mindkét esetben az optimális hipersík és margói határozták meg, amit a fejlesztők elfogadtak.

A táblázatos adatok statisztikai szempontból kerültek vizsgálatra, amelyhez SVM módszert használtam. Pusztán ezzel az eszközzel az értékek nem kielégítőek, ennek oka a már korábban bemutatott egyéb pontatlanságból adódó eltérések. Ezeknek a kiszűrésére fuzzy logikát használtam.

5.3 Akkumulátor feszültségadatok vizsgálata fuzzy logikával

Korábban is ismeretes, hogy az akkumulátorok műszaki paramétereinek gyakorlati értékei mást mutatnak, mint a katalógusokban és gyártói weboldalakon megadottak. Az akkumulátorok adatainak és paraméterletéréseinek vizsgálat a 4. fejezetben bemutatott módon történt. A százalékos értékeket a 12. táblázat tartalmazza.

12. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései SVM használat után

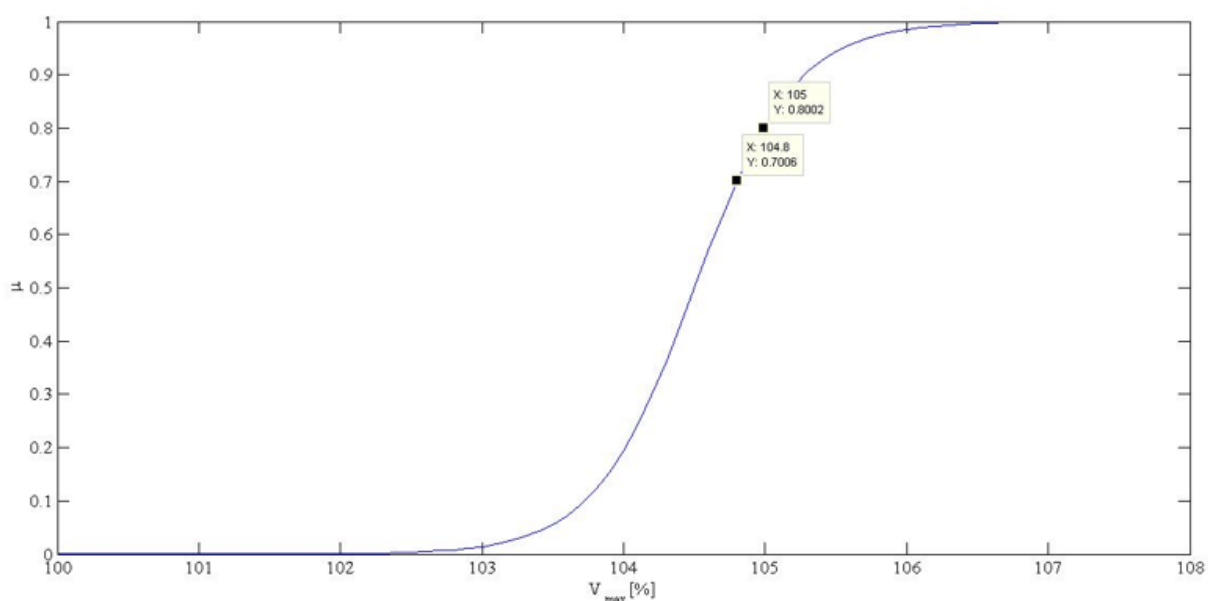
		Tapasztalati értékek
$V_{\max\text{SVM}} [\%]$	Min	100,00%
	Max	104,5%
	Átlag	102,13%
$V_{\min\text{SVM}} [\%]$	Min	75,07%
	Max	65,48%
	Átlag	68,11%
$V_{\max} [\%]$	Min	100,00%
	Max	105,41%
	Átlag	104,85%
$V_{\min} [\%]$	Min	84,05%
	Max	61,97%
	Átlag	70,32%

A tagsági függvények együtthatói a 13. táblázatban találhatók meg (mellékletek 5-8.).

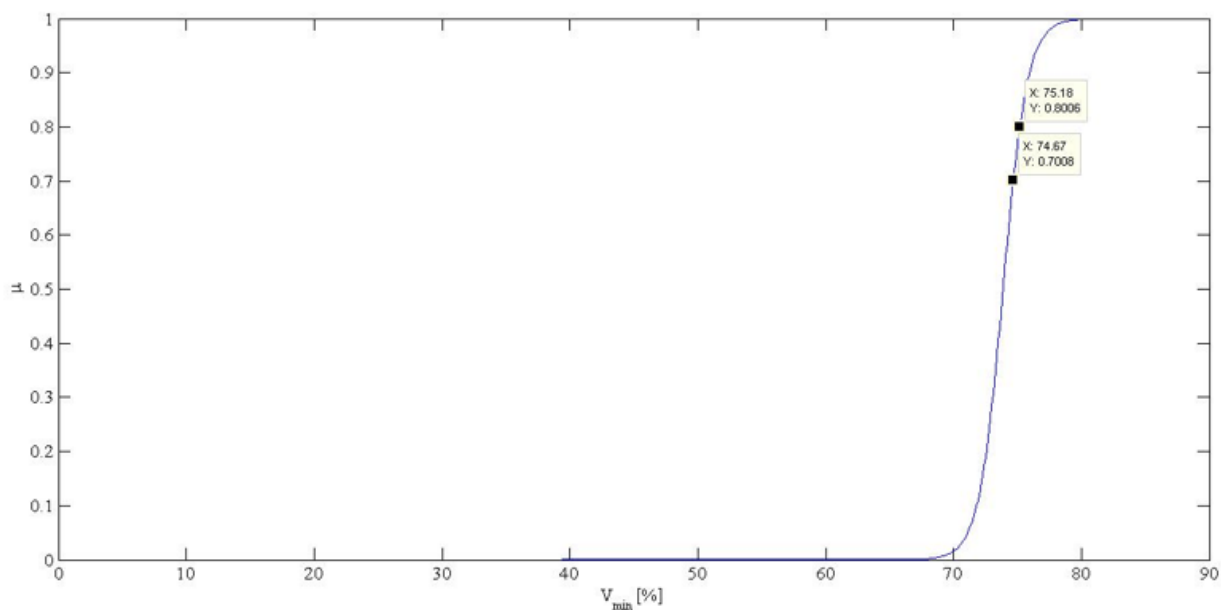
13. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései SVM használat után

Paraméter (i)	a_i	b_i
$V_{\max\text{SVM}}$	2,473	101,756
$V_{\min\text{SVM}}$	1,776	73,056
$V_{\max}$	2,831	104,501
$V_{\min}$	1,063	73,869

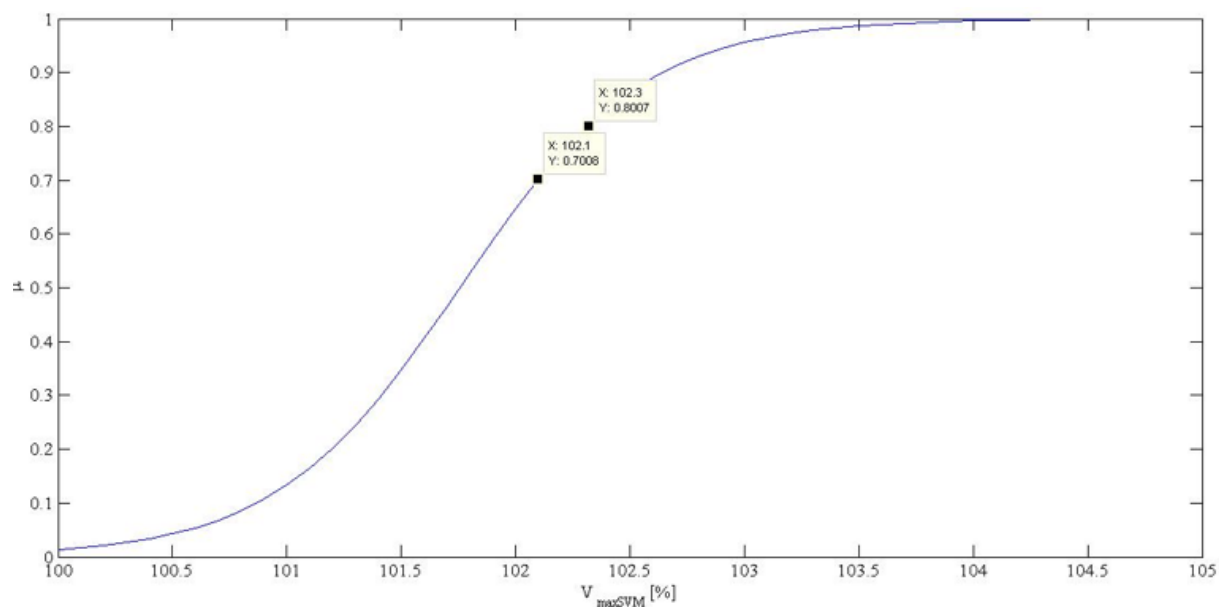
Az 43.; 44.; 45 és 46. ábra a tagsági függvényeket ábrázolja (mellékletek 11-12.).



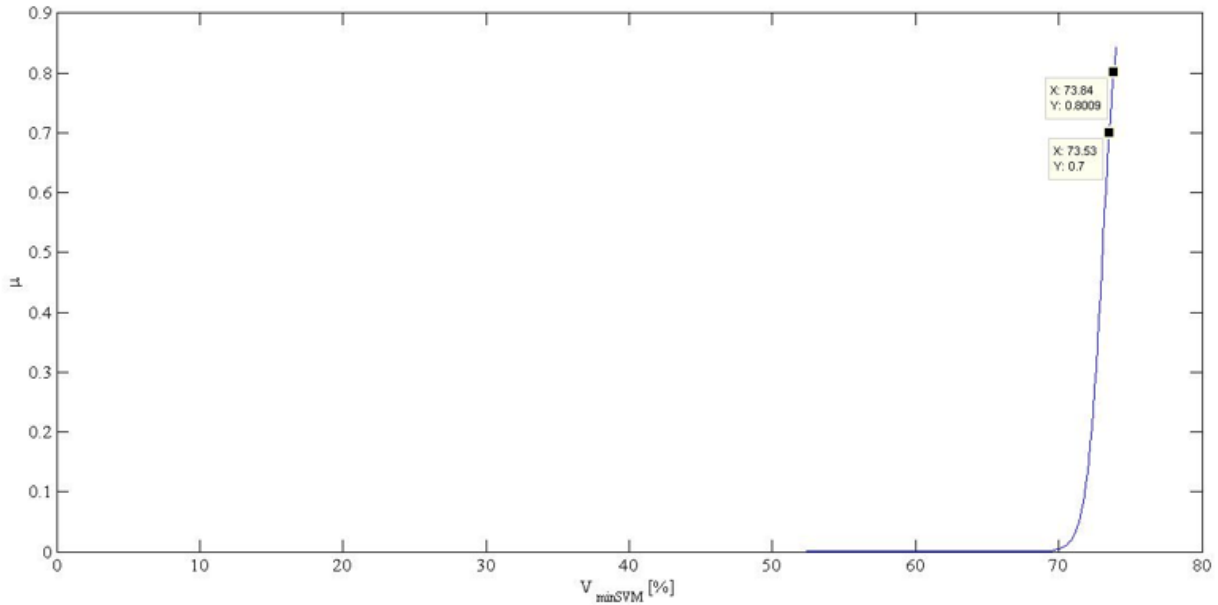
43. ábra: $V_{\max}$ tagsági függvény [MJ118][MJ119]



44. ábra: V_{min} tagásgi függvény [MJ118][MJ119]



45. ábra: V_{maxSVM} tagsági függvény [MJ118][MJ119]



46. ábra: V_{minSVM} tagsági függvény [MJ118][MJ119]

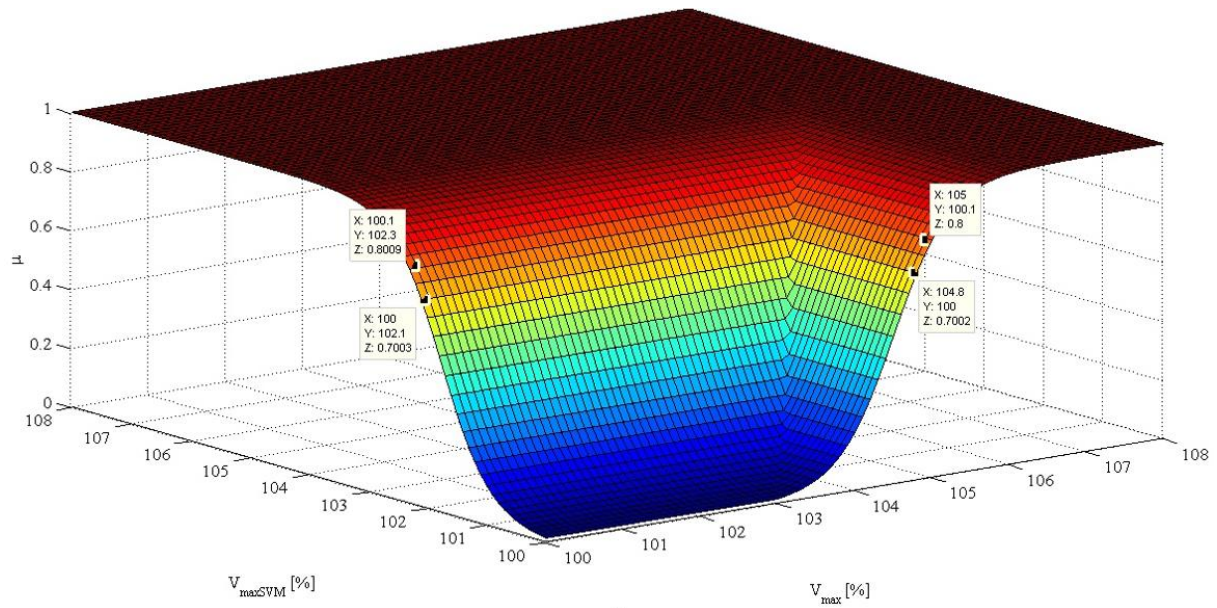
A feszültség szintek szabályozásáért a BMS (Battery Management System) egység felel. Alapesetben az akkumulátorokban többletfeszültség lép fel, amelynek értéke meghaladja a névleges vagy nominális feszültségértékét. Ezt a többletfeszültséget a szabályozó huzamosabb ideig nem képes elviselni. Szakértői vélemények és kísérletek alapján másfélszeres többlet feszültség átmenetileg kezelhető és még nem vezet leálláshoz.

Hasonlóan az előző fejezetben leírtak alapján (29) és (30) -as képletek segítségével történt meg az ábrázolás. A 3D-s ábrákban a pusztán fuzzy logikával végzett elemzés és az SVM és fuzzy logikával történt elemzés látható.

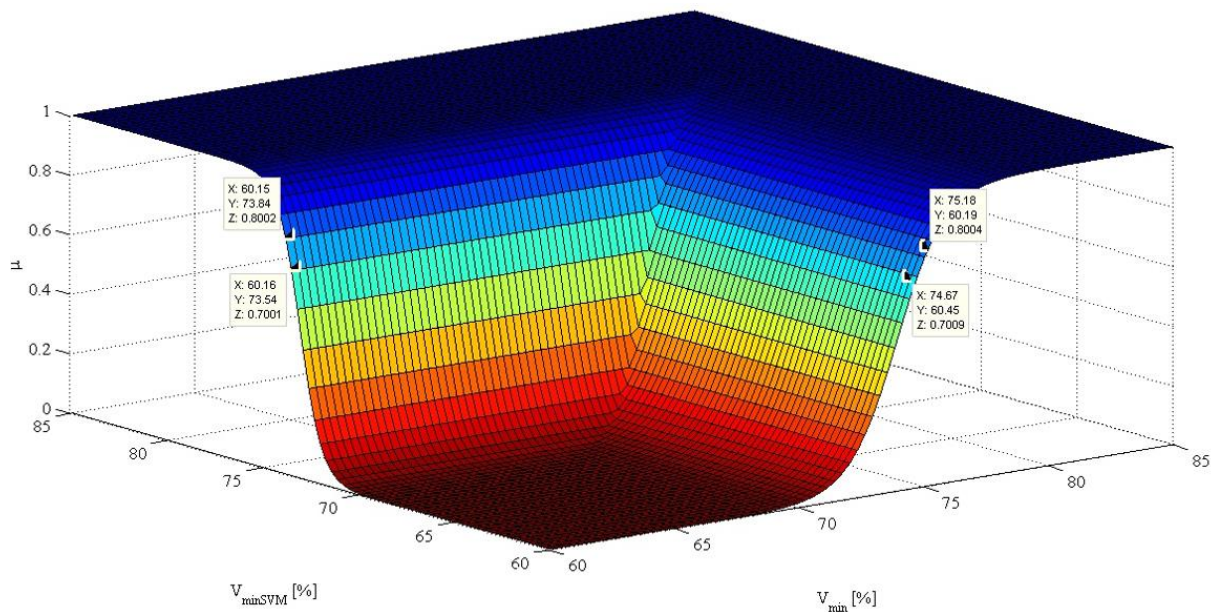
$$\mu(V_{maxSVM}; V_{max}) = \max\left(\frac{1}{1+e^{a_{V_{maxSVM}}(b_{V_{maxSVM}}-x)}}; \frac{1}{1+e^{a_{V_{max}}(b_{V_{max}}-x)}}\right) \quad (29)$$

$$\mu(V_{minSVM}; V_{min}) = \max\left(\frac{1}{1+e^{a_{V_{minSVM}}(b_{V_{minSVM}}-x)}}; \frac{1}{1+e^{a_{V_{min}}(b_{V_{min}}-x)}}\right) \quad (30)$$

A 47. és 48. ábrán 3 tengely található. A μ értéke a függőleges tengelyen, míg a két vízszintes tengelyen a maximális és minimális feszültségértékek. A bal oldalon az SVM-mel is megvizsgált, míg a jobb oldalon a csak fuzzy logikával vizsgált. Az ábrázolt 3D-s grafikonon, ahol a függvények felülete látszik színek is segítik a könnyebb megértést. Üzemeltetési szempontból a piros színnel jelölt területek jelentenek nagy kockázatot, míg a kék színnel jelölt részek nagyfokú megbízhatóságot mutatnak.



47. ábra: $V_{\max}$ és $V_{\max SVM}$ igazságértékeinek felülete [MJ118][MJ119]



48. ábra: $V_{\min}$ és $V_{\min SVM}$ igazságértékeinek felülete [MJ118][MJ119]

A 3D-s grafikonok segítségével az igazságértékek megválasztása 0,8 és 0,7-re esett, pontosan, mint az előző esetben. Ennek az eredményét a 14. és 15. táblázat tartalmazza.

14. táblázat: A felső szinthez tartozó igazságértékek értékei

$V_{\max}$	$\mu=0,7$	104,8%
		3,82V
	$\mu=0,8$	105%
		3,83V
$V_{\max\text{SVM}}$	$\mu=0,7$	102,1%
		3,62V
	$\mu=0,8$	102,3%
		3,63V

15. táblázat: Az alsó szinthez tartozó igazságértékek értékei

$V_{\min}$	$\mu=0,7$	74,67%
		2,65V
	$\mu=0,8$	75,19%
		2,68V
$V_{\min\text{SVM}}$	$\mu=0,7$	73,54%
		2,69V
	$\mu=0,8$	73,85%
		2,71V

Az eredmények jól szemléltetik, a pusztán fuzzy logikával és a fuzzy logikával kiegészített SVM módszerrel végzett számítások közötti különbségét. Az SVM módszer segítségével lehetőség van statisztikai alapon végzett számításra és elemzésre. A módszer előnye, hogy historikus adatokra épül, aminek segítségével visszamenőleg követhető a rendszerben fellépő változások és felhasználói szokások. A linerási osztályozás során az optimális hipersík segítségével megállapítható egy új üzemeltetési határ. A pontatlanságok és a mérési bizonytalanságok érdekében fontos az eredményeket további fuzzy analízissel vizsgálni és a pramatér eltéréseket ezzel meghatározni.

5.4 A fejezet összefoglalása, következtetések

Az ötödik fejezetben bemutatam a Support Vector Machine módszert és annak fontosabb felhasználási területeit. Az értekezés elején bemutatott elektromos hajtású jármű akkumulátorait használtam a mérésekhez.

A kutatás során 10-10 darab új feszültségértéket határoztam meg a jármű fejlesztését végző mérnökökkel és hallgatókkal. SVM módszer segítségével bizonyítottam, hogy ezek a feszültségértékek az akkumulátorok felső és alsó feszültségértékei helyett adnak új támpontot.

SVM módszer segítségével az adatokat osztályoztam és meghatároztam az új feszültség határokat, mint maximális és minimális feszültség értéként. [MJ109][MJ118][MJ119]

Az így statisztikailag vizsgált adatok közel nem elégségesek gyakorlati szempontból. Korábbi fejezetekben megállapítottam, hogy egyéb külső hatások és mérési pontatlanságok befolyásolják a mért eredményeket. Ennek a kiküszöbölésére az SVM módszer segítségével előállított adatokat fuzzy logika segítségével tovább vizsgáltam. [MJ109][MJ118][MJ119]

A fejezetben igazoltam, hogy a pusztán fuzzy logikával vizsgált paraméter eltérések és az SVM és fuzzy logikával végzett számítás között különbség van. Végeredményképpen bizonyítottam, hogy a csak fuzzy logika alkalmazása esetén az akkumulátorok tágabb tartományban üzemeltethetők, míg az SVM és fuzzy logika együttes alkalmazása szűkebb lehetőségeket biztosít. [MJ109][MJ118][MJ119]

Gyakorlati szempontból a szűkebb tartomány kifizetődőbb, mivel a feszültségtöbbletet a jármű villamos rendszerei nem feltétlenül képesek huzamosabb ideig elviselni, amely a jármű károsodását eredményezheti. A feszültségtöbbletből keletkező teljesítménynövekedés pedig a jármű menetdinamikájában tetszőlegesen hasznosítható. [MJ109][MJ118][MJ119]

6. Összefoglalás

A dolgozatom egy villamos hajtású jármű bemutatásával kezdődik, amelynek segítségével önjáró villamos hajtású robotok akkumulátor paraméter eltéréseinek vizsgálatát végeztem el. A jármű bemutatása után a robot szó és a robotok eredetét mutattam be.

A második fejezetben áttekintést nyújtok az AGV és UGV-k fejlődéséről és fajtáiról. A fejezetből kiderül, hogy ezen járművek egyre nagyobb teret hódítanak katonai és ipari alkalmazások esetén. Napjainkban (2017) egyre népszerűbbek a villamos meghajtással szerelt változataik, amelyeknek környezetvédelmi szempontból fontosak, politikailag támogatottak és egyéb kíváló menetdinamikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

A kutatásom fő fókusza az ipari létesítményekben használt AGV járművekről szól. Megállapítottam, hogy a villamos hajtású AGV és UGV-k terheléstől függően úgynevezett terhelés halmazokba sorolhatók be, amely halmazok segítségével az üzemeltetési körülmények és feltételek behatárolhatók.

A Lean elvek ismertetése után érthető, hogy az e fajta járművek maximális rendelkezésre állása egy termelőüzemben elengedhetetlenül fontos. Ennek oka a vevői igények kielégítése és a megfelelő minőségű termékek előállítása. Minden jármű meghibásodás és üzemből való kiesés a termelőüzem gyártási folyamatait és a felhasználást veszélyezteti. Ebből a megállapításból kiindulva a kutatásom az akkumulátorok paraméter eltéréssel való üzemeltetését vizsgálja és hangsúlyozza.

A méréseimből látható, hogy lehetőség van az akkumulátorok paraméter eltéréssel való üzemeltetésére úgy, hogy az akkumulátorok üzembiztonsága nem csökken. Ez elengedhetetlenül fontos, mivel egy ilyen jármű beszerzési költsége rendkívül magas. A kutatásom során láthatóvá vált, hogy pusztán fuzzy logikával vizsgált eredmények nem elégségesek. Az új akkumulátor feszültség határok megállapításához új módszer bevezetése szükséges, ez a módszer a Support Vector Machine, amelyet előszeretettel használnak képek osztályozására vagy szövegkeresésre.

A módszer segítségével sikerült egy, a Debreceni Egyetem fejlesztőcsapata által is elfogadott új feszültséghatárokat megállapítanom úgy maximális, mint a minimális feszültség szintek irányban is. Ennek az eredménynek a következtében lehetőség nyílik arra, hogy az akkumulátorok tágabb határok között működjenek, de az egyéb külső és belső bizonytalanságok miatt szükség van egy fuzzy logika segítségével végzett paraméter eltérés vizsgálatra.

A fuzzy vizsgálat után összehasonlítottam az SVM-fuzzy és csak fuzzy vizsgálat eredményeit. Az összehasonlításból megállapítottam, hogy a pusztán fuzzy logikával végzett vizsgálat tágabb határokat eredményez. Mivel a gyártó által előírt paraméterektől eltérő üzemeltetés történik, aminek a következménye, hogy az üzembiztonság megváltozik.

Az SVM-fuzzy vizsgálat eredményeképpen az üzembiztonságban történő változás minimalizálható és ez által a járműrendelkezésre állása növelhető. A feszültséghatárok kitolásával többlet villamos teljesítmény nyerhető. Ennek a többlet teljesítménynek a felhasználása történhet hatótávnövelésre, nagyobb végsebesség vagy jobb gyorsulás eléréséhez.

7. Új tudományos eredmények

Az értekezésemben bemutatott kutatómunka új tudományos eredményeit az alábbi tézisekben foglalom össze. Értekezésemben 6 kutatói hipotézist fogalmaztam meg.

Az első hipotézisben feltételeztem, hogy a villamos energia kulcsfontosságú szerepet tölt be az ipari környezetben és harcászatban használt robotok esetében is. Továbbá feltételeztem azt, hogy a robotokhoz szükséges valamilyen üzem-menedzsment rendszer. Kutatásom során első tézisemben sikerült igazolni ezt a hipotézist.

1. Megállapítottam, hogy a napjainkban használt, modern villamos hajtású járművek, autonóm járművek és robotok esetében alkalmazni kell energia menedzsment rendszert, valamint, hogy az energia menedzsment rendszerek feladata, több mint a meghajtáshoz szükséges energiával való gazdálkodás. A rendszereknek más üzemeltetési paraméterek monitoringozását is el kell végezni. [MJ111][MJ112][MJ113][MJ114]

Második hipotézisemben feltételeztem, hogy lítium akkumulátorok előírt üzemeltetési paraméterei megváltoztathatók, kibővíthetők, így megnövelhető a jármű hatótávja, üzemeltetési és karbantartási stratégiája módosulhat. Ennek kapcsán megvizsgáltam a ma használatos robotok felépítését és a modern vállalatirányítási filozófiákat és rendszereket, amelyek segítségével igazoltam az állításomat. Az eredményeimet a második és harmadik tézisem tartalmazza.

2. Megállapítottam, hogy a mai modern termelő rendszerek esetében az autonóm logisztikai járművek üzemeltetési paraméterei eltérhetnek az előírtaktól. Az eltérés okát okozhatják a fokozott vevői igények kielégítése miatt keletkező többlet terhelések vagy a 'Just in Time' (JIT) rendszerben fellépő bizonytalanságok és az időben nem megérkező alkatrészek. [MJ120][MJ121]
3. Meghatároztam üzemi terhelések és igénybevételek két olyan halmazát, amelyekbe a 4 földfelszíni autonóm robot járművet csoportosítottam. Megállapítottam, hogy a robotok akkumulátorainak használata eltérhet az előírttól. Megvizsgáltam és értelmeztem a terhelésekből és külső hatásokból (például: fokozott vevői igények) adódó üzemeltetési paramétereltéréseket. [MJ116][MJ120][MJ121]

Harmadik hipotézisemben feltételeztem, hogy mesterséges intelligencia eszközeivel lehetőség van műszaki állapotfelmérésre, diagnosztikára.

Negyedik hipotézisemben feltételeztem, hogy lehetőség van emberi szokások és tapasztalatok modellezésére. Kutatásom során igazoltam, hogy lehetőség van mesterséges intelligencia eszközeivel üzemeltetési paraméterek módosítására és hogy a fuzzy logika alkalmas felhasználói és üzemeltetői tapasztalatok és benyomások modellezésére és elemzésére. Eredményeimet a negyedik tézisem tartalmazza.

4. Az akkumulátor paramétereltérések vizsgálatát szakértői és felhasználói tapasztalatok segítségével végeztem. A paramétereltérések vizsgálatához fuzzy halmazelméletet használtam. A paramétereltérések vizsgálata szigmoid függvények segítségével lehetséges. Sigmoid függvények felhasználásával fuzzy tagsági függvények kiválóan meghatározhatók és a paramétereltérések értelmezhetők. A kapott eredmény üzembiztonság szempontból nem kielégítő, a módszert statisztikai adatokon alapuló eszközzel kell kiegészíteni, például Support Vector Machine módszerrel. [MJ110][MJ116][MJ117]

Ötödik hipotézisemben feltételeztem, hogy Support Vector Machine módszerrel lehetőség van adatok osztályozására, és olyan optimális hipersík meghatározására, amely nem csak az adatokat választja el egymástól, hanem új üzemeltetési határ is definiálható vele. Munkám során a feltételezést igazoltam. SVM lineáris osztályozás esetén meghatározható olyan optimális hipersík, amely segítségével új üzemeltetési határérték állapítható meg. Eredményeimet az ötödik tézisem foglalja össze.

5. Megállapítottam, hogy akkumulátorok paramétereltéréseinek vizsgálatához lehetséges Support Vector Machine osztályozást alkalmazni. Igazoltam, hogy az osztályozáshoz számított optimális hipersík és margói használhatók új üzemeltetési paraméter értéként. Megállapítottam, hogy a pontatlanságok és bizonytalanságok miatt további fuzzy logikai vizsgálat szükséges. [MJ109][MJ118][MJ119]

Hatodik és egyben utolsó hipotézisemben feltételeztem, hogy lehetőség van Support Vector Machine és fuzzy logika egyidejű alkalmazására, amelyek segítségével az üzemeltetési határ megváltoztatható és fuzzy logika segítségével a pontatlanságok és bizonytalanságok kiküszöbölhetők. Eredményemet a hatodik tézisem foglalja össze.

6. Support Vector Machine és fuzzy halmazelméletre épülő akkumulátor üzemeltetési paraméter meghatározó módszert dolgoztam ki. A módszer alkalmas olyan ideális akkumulátor üzemeltetési paraméterek meghatározására, ahol az akkumulátorok kellő biztonsággal üzemeltethetők. SVM és fuzzy logika egyidejű alkalmazása során szigorúbb határok között használhatók az akkumulátorok, mint pusztán fuzzy analízis során. Ennek köszönhetően az üzembiztonság növekszik. [MJ109][MJ118][MJ119]

8. Tudományos eredmények hasznosítása

A felsorolt tézisek és eredmények széles mérnöki körben használhatók, legyen az energetika, automatizálás, üzemfenntartás vagy karbantartás. A mesterséges intelligencia egyre szélesebb körben terjed el a mindennapokban és az ipari létesítményekben. A gyárakban egyre több nagyteljesítményű szerver működik, amelyeken különböző vállalatirányítási programok futnak, mint SAP vagy Oracle.

Ezeknek a programoknak köszönhetően a vállalatoknak lehetősége van gépjeik és berendezéseik üzemeltetési paramétereinek statisztikai elemzésére. Ezen elemzések következtében lehetőség van különböző beavatkozásokra vagy módosításokra legyen az gyártási vagy karbantartási folyamat.

Ilyen eszköz a nemzetközileg is elfogadott SPC, amely segítségével nem szükséges minden munkadarab megmérése, hanem statisztikai alapon történik meg a gyártás korrigálása vagy éppenséggel leállítása. Napjainkban az SPC-t az összes nagy autógyár használja, amelyet az IATF 16949-es minőségbiztosítási szabvány magában is rögzít.

A dolgozatban bemutatott SVM módszer segítségével lehetőség van egy vállalat gépének tetszőlegesen kiválasztott üzemeltetési paramétereinek figyelésére és azok feldolgozására. Az így feldolgozott adatok segítségével a paraméterek megváltoztathatók, amelyeknek köszönhetően a karbantartások száma csökkenhet, a karbantartási periódusok időtartama pedig nagyobb lehet.

A csökkentett karbantartások számával a karbantartási és üzemeltetési költségek hosszabb távon csökkenhetnek és a karbantartó csoport munkája is megváltozhat. A megváltozott munkának köszönhetően a periodizálási sorrend szintén változásokon mehet keresztül, ami újabb költségcsökkentést eredményezhet és/vagy a termelékenység javulását eredményezheti. Látható, hogy az dolgozatban bemutatott módszer segítségével a leírtak, tehát az új paraméterek definiálás lehetséges. A módszer használat real time körülmények között nehézkes, nagy számítási műveletet igényel. Használata célszerűbb az új ipari forradalom jegyében (Ipar 4.0) vagy más néven az Internet of Things (IoT) technológián üzemeltetni és Big Data rendszerekbe integrálni.

Felhasznált irodalom

- [1] Abbey Solomon, Joe Wilck: Introduction to Automatic Guided Vehicles, Updated by Rohith Kori, Grado Dept. of Industrial & Systems Engineering at Virginia Tech.
- [2] Akbar Javadian Kootanee, K. Nagendra Babu, Hamidreza Fooladi Talari: Just-in-Time Manufacturing System: From Introduction to Implement, International Journal of Economics, Business and Finance, Vol.1. No. 2., March 2013, pp.: 7-25. ISSN: 2327-8188
- [3] Alex J. Smola, Bernhard Schölkopf: A Tutorial on Support Vector Regression, Statistics and Computing 14: 199-222, 2004, Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, 0960-3174
- [4] Altrichter Márta, Horváth Gábor, Pataki Béla, Strausz György, Takács Gábor, Valyon József: Neurális hálózatok, 2006., Panem Könyvkiadó Kft., Budapest
- [5] Andreas Dinger, Ripley Martin, Xavier Mosquet, Maximilian Rabl, Dimitrios Rizoulls, Massimo Russo, Georg Sticher: The Boston Consulting Group: Batteris for Electric Cars, Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020, 2010. 1/10, url: www.bcg.com/publications (Letöltve: 2016.05.23.)
- [6] Andrei Kovacs, Cristian Molder: MAX-01: Multipurpose Autonomous X-plorer, Military Technical Academy, Department of Electronics and Informatics, Bucharest, Romani, url: <https://www.researchgate.net/publication/272148846> (Letöltve: 2015.04.12.)
- [7] Arduino, Analog Read Voltage, url: <http://arduino.cc/en/Tutorial/ReadAnalogVoltage> (Letöltve: 2014.03.10.)
- [8] Arduino, Arduino Uno Overview url: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (Letöltve: 2013.04.15.)
- [9] AVT Europe NV, Automation Air Cushions Transport Systems: Automated Guided Vehicles (AGV) url: <http://www.a-vt.be/en/automated-guided-vehicles.aspx> (Letöltve: 2015.08.10.)
- [10] Benesóczky Zoltán: Boole algebra, logikai függvények, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2004.
- [11] Bill Canis: Battery Manufacturing for Hybrid and Electric Vehicles: Policy Issues, Specialist in Industrial Organization and Business, April 4, 2013., Congressional Research Service, 7-5700, R41709, url: www.crs.gov (Letöltve: 2014.08.13.)
- [12] Bo Hou, Hing Kai Chan, Xiaojun Wang: A Case Study of Just-In-Time System in the Chinese Automotive Industry, Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol I., WCE 2011, July 6-8, 2011, London, U.K.

- [13] Bob Struijk: Influence of the New Trends in the Economics on the Military and Industrial Robot System Design Philosophy – Doctoral Dissertation, National University of Public Service, Faculty of Military Sciences and Officers' Training, PhD Institute in Military Technology, Budapest, 2014.
- [14] Borsavölgyi Tamás, Mankovits Tamás, Kocsis Imre: SVM alkalmazása műszaki feladatok optimalizálására, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi régióban 2011: a konferencia előadásai. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Hungary, 18/05/2011 Debrecen: DAB, 2011. pp. 499-507. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 9.) ISBN:978-963-7064-25-8
- [15] Certified Transmission, „The Job Done Right...At The Right Price”: 01M Transmission, url: <http://www.certifiedtransmission.com/remanufactured/01M/> (Letöltve: 2016.10.25.)
- [16] Charlie Frogner: Support Vector Machines, MIT, 2011. url: <http://www.mit.edu/~9.520/spring11/slides/class06-svm.pdf> (Letöltve: 2016.06.12.)
- [17] Computer History Museum: Unimate at General Electric url: <http://www.computerhistory.org/revolution/artificial-intelligence-robotics/13/292/1272> (Letöltve: 2016.08.13.)
- [18] Cyberneticzoo.com a History of Cybernetic Animals and Early Robots: 1954, March- „Positioning or Manipulating Apparatus” patent by Cyril Kenward (British) url: <http://cyberneticzoo.com/early-industrial-robots/1954-march-positioning-or-manipulating-apparatus-patent-by-cyril-kenward-british/> (Letöltve: 2016.08.13.)
- [19] Daniel D. Georgescu: The Maintenance Management for Lean Organization, Economia Seria Management, Vol. 13., Nr. 2/2010.
- [20] Dave Bullock / eecue, url: <http://eecue.com/p/31822/MPRS-URBOT-Field-Robot.html> (Letöltve: 2016.08.15.)
- [21] David Harvey: A Brief History of Lean Thinking, Lean Agile, Paper for Workshop „The Software Value Stream”, OT2004, Revision: 43, January 2004, url: <http://www.davethehat.com> (Letöltve: 2016.08.15.)
- [22] Dipteshkumar Patel, M.B. Patel, Design and Development of an Internal Milk-run Material Supply System in Automotive Industry, International Journal of Application or Innovation in Engineering @ Management, Volume 2., Issue 8, August 2013, pp.:233-235, ISBN: 2319-4847
- [23] Douglas W. Gage: UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts, Special Issue on Unmanned Ground Vehicles, Unmanned Systems Magazine, pp. 1-9., volume 13, number 3, Summer 1995.

- [24] Electro Schematics, Arduino Digital Voltmeter url:
<http://www.electroschematics.com/9351/arduino-digital-voltmeter/> (Letöltve: 2014.03.10.)
- [25] Emődi István, Tölgyesi Zoltán, Zöldy Máté: Alternatív járműhajtások – Maróti Könyvkereskedés és Könyvkiadó Kft., Budapest, 2006.
- [26] Fazekas Annamária: Robotok, fizikai ágensek, 541. csoport, Babes-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Románia, 2006.01.19.
- [27] Fazekas István: Neurális hálózatok, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 2013., TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0103
- [28] freedomCAR & Vehicle Technologies Program, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy: Just the Basics – Electric Vehicles, url:
www.eere.energy.gov/vehiclesandfuels (Letöltve: 2016.09.01.)
- [29] From Trucks With Legs to Modern Walking Machines url:
http://lars.mec.ua.pt/public/LAR%20Projects/RobotActuation/2002_MarcoMelo_VascoQuinteiro/Projecto/Artigos_net/catalogo/walking_machines_katalog/node16.html (Letöltve: 2016.09.01.)
- [30] G. Ulrich: Automated Guided Vehicle Systems, Chapter 2, Modern Areas of Application, pp.:15-96, 2015., ISBN: 978-3-662-44813-7, DOI 10.1007/978-3-662-44814-4_2
- [31] GIBBS, M.N., MACKAY, D.J.C.: Variational Gaussian Process Classifiers, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 11. Issue 6, 2000., DOI: 10.1109/72.883477
- [32] GlobalSecurity.org: Mini-Flail/Robotic Combat Support System (RCSS) url:
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mini-flail.htm> (Letöltve: 2016.08.11.)
- [33] GlobalSecurity.org: Remote Ordnance Neutralization System (RONS) url:
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/rons.htm> (Letöltve: 2016.08.11.)
- [34] Gömöri Tibor: Üzemfenntartás jegyzet, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2010.
- [35] Gurinder Singh Brar, Gagan Saini: Milk Run Logistics: Literature Review and Directions, Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, Vol. I., WCE 2011, July 6-8. 2011. London, U.K., ISBN 978-988-18210-6-5, ISSN 2078-0958 (Print) ISSN 2078-0966 (Online)
- [36] GWL Power, GWL/Power WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3,2V/100Ah WIDE) url:
<http://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP100AHA-LiFeYPO4-3-2V-100Ah-WIDE.html> (Letöltve: 2017.08.13.)
- [37] H.J: Bergeld: Battery Management Systems Design by Modelling, Royal Philips Electronics N.V. 2001, Proefschrift Universiteit Twente, Enschede, The Netherlands, ISBN 90-74445-51-9

- [38] HAN, J., MORAGA, C.: The Influence of the Sigmoid Function Parameters on the Speed of Backpropagation learning, Computational Models of Neurons and Neural Nets, From Natural to Artificial Neural Computation Volume 930 of the series Lecture Notes in Computer Science pp 195-201, ISBN 978-3-540-49288-7, 2005.
- [39] HEEGER, D.: [on line] The Logistic Function, url: <http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perceptionLab/Handouts/LogisticHandout.pdf> (Letöltve: 2017.08.26.)
- [40] Horváth József: Neurális hálózatok MATLAB® programcsomagban, diplomamunka, Témavezető: Dr. Fazekas István, Debreceni Egyetem Informatika Kar, 2011.
- [41] Howstuff?: How Military Robots Work?, url: <http://science.howstuffworks.com/military-robot.htm> (Letöltve: 2015.03.11.)
- [42] Hunyadi László: A logisztikus függvény és a logisztikus eloszlás, Statisztikai Szemle, 82. évfolyam, 2004., 10-11. szám, pp. 991-1011
- [43] Ispány Márton, Jeszenszky Péter: Tartóvektorgépek, 2016. Debreceni Egyetem Informatika Kar, url: <http://www.inf.unideb.hu/valseg/dolgozok/ispány/DataMine/Alkalmazasok/svm.pdf> (Letöltve: 2017.05.26.)
- [44] Jeremy Norman 's HistoryofInformation.com: The First Industrial Robot (1954-1961) url: <http://www.historyofinformation.com/expanded.php?id=4071> (Letöltve: 2016.06.11.)
- [45] Jeszenszky Péter: Az R használata (tárgyalt R verzió: 3.1.1) Debreceni Egyetem Informatika Kar, 2014. url: <http://www.inf.unideb.hu/~jeszy/download/R/R-usage.pdf> (Letöltve: 2017.05.26.)
- [46] Johanyák Zsolt Csaba, Kovács Szilveszter: A Fuzzy tagsági függvény megválasztásáról, A GAMF közleményei, Kecskemét, XIX. évfolyam, ISSN 0230-6182, PP. 73-84., 2004.
- [47] John Mortimer, Brian Rooks: The International Robot Industry Report, ISBN 978-3-540-16353-4, DOI 10.1007/978-3-662-13174-9. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1987.
- [48] Jónás Tamás: Fuzzy elmélet a menedzsmentben, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Üzleti Tudományok Intézet, Menedzsment és Vállalatgazdaságtan Tanszék, oktatási segédanyag, Budapest, 2015.
- [49] Kan Xie: Support Vector Machine – Concept and MATLAB® build, ECE 480, Team 4, url: http://www.egr.msu.edu/classes/ece480/capstone/spring11/group04/application_Kan.pdf (Letöltve: 2017.05.26.)

- [50] Kevin H. Brockberg: Origins and Elements of Lean A Brief Review of the Literature, Oakland University, White Paper Schoollean #3, Pawley Learning Institute, url: <http://www.oakland.edu/leanschools> (Letöltve: 2016.11.05.)
- [51] Kevin L. Moore: A Tutorial Introduction to Autonomous Systems, Colorado School of Mines, 2008 IFAC World Congress, Seoul, South-Korea, 2008.
- [52] Kocsis Imre: Halmazok, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Előadás
- [53] Kristel Van Steen: Usin R for Linear Regression, url: <http://www.montefiore.ulg.ac.be/~kvansteen/GBIO0009-1/ac20092010/Class8/Using%20R%20for%20linear%20regression.pdf> (Letöltve: 2017.05.26.)
- [54] Kwo Young, Caisheng Wang, Le Yi Wang, Kai Strunz: Electric Vehicle Battery Technologies, Chapter 2, Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, Garcia-Valle, R.; Pecos Lopes, J.A. (Eds.) 2013., XI, 325p. 202 illus., 134 illus, in color., Hardcover, ISBN 978-1-4614-0133-984
- [55] Liker J.K.: A Toyota-módszer 14 vállalatirányítási alapelv, ISBN 978-963-9686-43-4, HVG Kiadó Zrt., Budapest, 2004
- [56] Mankovits Tamás: Karbantartás Menedzsment, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 2014.
- [57] Marcy Lowe, Saori Tokuoka, Tali Trigg, Gary Gereffi: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain, october 5, 2010, Contributing CGGC researcher: Ansum Abayechi, Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Duke University
- [58] Mark Bingeman, Ben Jeppesen ALtera Now Part of Intel: Improving Battery Management System Performance and Cost with Altera FPGAs, White Paper, WP-01247-1.1, Altera Corporation, May 2016
- [59] Martin Bugár, Vladimír Stanák, Viktor Ferencey: Hybrid Powertrain Conceptual Design for Unmanned Ground Vehicle, Science & Military, 1/2011, p. 13-19. 2011.
- [60] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi: Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory and Design, CRC Press, ISBN 0-8493-3154-4
- [61] Mehrdad Eshani, Yimin Gao, Ali Emadi: Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles - CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2010.
- [62] Military Robots, May 14, 2008, url: <http://xtreme-tool.blogspot.hu/> (Letöltve: 2015.07.03.)

- [63] Mubbasir T. Kapadia, Adil Lakahani, Rohit Jhangiani: Autonomous Robotics, (Under the guidance of: Professor M.V. Deshpande and Professor Kiran Bhounik), Dwarkadas J Sanghvi College Of Engineering, Vile Parle, Mumbai, pp. 1-8., 17th August 2006
- [64] Nissan: Új Nissan Leaf, url.: <http://www.nissan.hu/HU/hu/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/range.html> (Letöltve: 2016.02.01.)
- [65] Obádovics J. Gyula: Matematika, Tizenkilencedik bővített kiadás, Scolar Kiadó 2012., ISBN 978-963-244-330-0
- [66] Péczely Gy., Péczely Cs., Péczely Gy., Lean3 Termelékenységfejlesztés egységes rendszerben, ISBN 978-963-08-3163-5, A.A. Stádium Diagnosztikai és Menedzsment Kft.
- [67] Pintér József: Robottechnika: Fejlődéstörténet, alkalmazások, robot fogalma
- [68] Pokorádi László: Karbantartás elmélet, elektronikus segédlet, Debrecen, 2012.
- [69] Pokorádi László: Rendszerek és folyamatok modellezése, Campus Kiadó, Debrecen, 2008. ISBN 978-963-9822-06-1
- [70] Popular Science: Tale Of The Teletank: The Brief Rise and Long Fall of Russia's Military Robots, by Erik Sofge, March 7, 2014 url: <http://www.popsci.com/blog-network/zero-moment/tale-teletank-brief-rise-and-long-fall-russia%E2%80%99s-military-robots> (Letöltve: 2017.05.02.)
- [71] Princz Mária: Hogyan alakítja át a mesterséges intelligencia a gazdaságot a következő években? Debreceni Műszaki Közlemények, 2015/2, HU ISSN 20-60-6869
- [72] Quora: What is the sigmoid function, and what is its use in machine learning's neural networks? How about the sigmoid derivative function? url: <https://www.quora.com/What-is-the-sigmoid-function-and-what-is-its-use-in-machine-learning's-neural-networks> (Letöltve: 2017.05.26.)
- [73] ria Robotics Industries Association, Robotics Online: A Tribute to Joseph Engelberger: UNIMATE The First Industrial Robot url: <http://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm> (Letöltve: 2017.06.02.)
- [74] Richard Stapenhurst: MathWorks - File Exchange, SVM Demo, url: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/28302-svm-demo> (Letöltve: 2017.05.26.)
- [75] Robert Fullér: Neural Fuzzy Systems, (Donner Visiting professor), Abo Akademi University, Abo, 1995., ISBN 941-650-624-0, ISSN 0358-5654
- [76] Robin Murphy: Introduction to AI Robotics, MIT Press 2000, for second edition

- [77] Robots and their Arms, floor1: Mobile Robot developed at Stanford url: <http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/1-Robot.htm> (Letölve: 2016.10.28.)
- [78] Roohollah Noori, Abdulreza Karbassi, Khosro Ashrafi, Mojtaba Ardestani, Naser Mehrdadi, Gholam-Reza Nabi Bidhendi: Active and Online Prediction of BOD in River Systems Using Reduced-order Support Vector Machine, Springer, Environ Earth Sci (2012) 67:141-149, DOI 10.1007/s12665-011-1487-9, pp. 141-149.
- [79] Ruzsinszki Gábor: Mikrovezérlős Rendszerfejlesztés C/C++ nyelven I., v: 2013-08-15, Creative Commons (CC BY-SA 2.5) ISBN: 978-963-08-7260-7, p. 67-76.
- [80] Scott Fitzgerald, Michael Shiloh, Tom Igoe, Arduino Projects Book, 2013. május, Torino, Olaszország
- [81] Serth Leitman, Bob Brant: Build Your Own Electric Vehicle - The McGraw-Hill Companies Inc., New York City, USA, 2009.
- [82] Sigal Berman, Edna Schectman, Yael Edan: Evaluation of Automatic Guided Vehicle Systems, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, pp. 1-7., 2008., ISSN: 0736-5845 doi: 10.1016/j.rcim.2008.02.009
- [83] Simon Haykin: Neural Networks and Learning Machines, Third Edition, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, Pearson Pentice Hall, ISBN-13: 978-13-147139-9, ISBN-10: 0-13-147139-2
- [84] SPAWAR Systems Center PACIFIC: Surrogate Teleoperated Vehicle (STV) url: <http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/STV.aspx> (Letöltve: 2016.10.15.)
- [85] SPAWAR Systems Center PACIFIC: Teleoperated Vehicle (TOV) url: <http://www.public.navy.mil/spawar/Pacific/Robotics/Pages/TOV.aspx> (Letöltve: 2017.05.19.)
- [86] SPC Control Charts in DfRSoft, url: <https://www.dfrsoft.com/SPC%20Control%20Charts.html> (Letöltve: 2016.12.03.)
- [87] SRI International: Timeline of Innovation url: <https://www.sri.com/work/timeline-innovation/timeline.php?timeline=computing-digital#!&innovation=shakey-the-robot> (Letöltve: 2016.12.03.)
- [88] Subways.net, Sendai subway, url: <http://www.subways.net/japan/sendai.htm> 8Letöltve: 2016.12.03.)
- [89] Swisslog Member of the KUKA Group: Automated Guided Vehicle (AGV) Systems url: <http://www.swisslog.com/en/Products/WDS/Automated-Guided-Vehicles> (Letöltve: 2016.10.02)

- [90] Szabolcsi Róbert: Néhány gondolat a „robot” szó születéséről, Debreceni Műszaki Közlemények, 2013/1, HU ISSN 20-60-6869
- [91] Szilágyi Attila: Interaktív információs panel képfeldolgozó algoritmusai, diplomamunka, Témavezető: Dr. Fazekas Attila, Debreceni Egyetem Informatika Kar, 2010.
- [92] T. Kóczy László, Tikk Domonkos: Fuzzy Rendszerek, url:
<http://www.typtex.hu/download/Fuzzy/output.xml> (Letöltve: 2016.09.23.)
- [93] Tali Trigg, Paul Telleen: Global EV Outlook Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020, april 2013., Clean Energy Ministerial, Electric Vehicles Initiative, International Energy Agency, url: IEA.org/Topics/Transport/ElectricVehiclesInitiative (Letöltve: 2016.10.10.)
- [94] Taskin Kocak: Sigmoid Functions and Their Usage in Artifical Neural Networks, School of Electrical Engineering and Computer Science, presentation
- [95] Tesla Corporation Inc.: Tesla Model S Premium Electric Sedan url:
<http://files.shareholder.com/downloads/ABEA-4CW8X0/1911629400x0x562858/6fd411d9-c47d-4d29-9489-09ba283bf07b/Tesla%20Presentation%20-%20Spring%202012.pdf>
 (Letölve: 2017.01.05.)
- [96] The New York Times: Business Today, Inside the Self-Driving Tesla Fatal Accident, url:
http://www.nytimes.com/interactive/2016/07/01/business/inside-tesla-accident.html?_r=0
 (Letöltve: 2016.09.08.)
- [97] Tim Steinweg: The Electric Car Battery Sustainability in the Supply Chain, SOMO, Centre for Research on Multinational Corporations, march 2011. ISBN 978-90-71284-06-9 url: www.somo.nl (Letöltve: 2016.11.23.)
- [98] Toshinori Nemoto, Katsuhiko Hayashi, Masataka Hashimoto: Milk Run Logistics by Japanese Automobile Manufacturers in Thailand, Procedia – Social and Behavioral Sciences, Volume 2, Issue 3, pp.: 5980-5989, The Sixth International Conference on City Logistics, doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.012
- [99] United States of America, Department of Energy: One Million Electric Vehicles by 2015, February 2011 Status report
- [100] UPS: A Just-inTime Supply Chain? Achieving Just-In-Time operational objectives requires the coordination of Production Planning, Sourcing and Logistics, UPS Supply Chain Solutions White Paper, 2005.
- [101] Ványa László: Excepts from the history of unmanned ground vehicles development in the USA, AARMS, Vol. 2, No. 2 pp. 185-197., ISSN 1588-8789

- [102] Ványa László: Robotikai alkalmazások a terrorizmus elleni harcban Robothadviselés 4 c. nemzetközi tudományos konferencia kiadványa. Szerkesztő: Dr. Kovács László. Budapest, 2005. ISBN 963 7060 08 1
- [103] Vijay Kumar: Introduction to Robotics, MEAM 520, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, United States
- [104] Vladimir N. Vapnik: Statistical Learning Theory, AT&T Research Laboratories, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., 1998., ISBN 0-471-03003-1
- [105] W.J. Owen: Zjr R Guide Version 2.5, Department of Mathematics and Computer Science, University of Richmond, url:
<http://www.mathcs.richmond.edu/~wowen/TheRGuide.pdf>. (Letöltve: 2017.05.26.)
- [106] Werner Ágnes: Robotika, A mesterséges intelligencia alkalmazásának egyik legfontosabb és leglátványosabb területe, Microsoft ROBOTICS STUDIO
- [107] Womack J.P., Jones, D.T.: Lean szemlélet, ISBN 978-963-9686-83-0, HVG Kiadó Zrt., Budapest, 2009
- [108] World War Photos: British infantry tank Matilda II 1 url:
<http://www.worldwarphotos.info/gallery/uk/british-tanks/matilda-ii-a12/british-infantry-tank-matilda-ii-1/> (Letöltve: 2015.12.08.)

A jelölt értekezéssel kapcsolatos publikációi (Lezárva: 2017.09. 20.)

- [MJ109] József Menyhárt, Róbert Szabolcsi: Support Vector Machine and Fuzzy, Logic Acta Polytechnica Hungarica Vol13: (No5) pp. 205-220. (2016)
- [MJ110] Menyhárt József, Pokorádi László: Akkumulátor állapot fuzzy szabálybázisú becslése, Hadmérnök IX:(2) pp. 48-55. (2014)
- [MJ111] Menyhárt József: Concept of an UGV with Arduino Device, Hadmérnök IX: (2) pp. 140-148. (2014)
- [MJ112] Menyhárt József: Elektromos hajtású jármű akkumulátor állapot felügyelete Labview grafikus programmal, Debreceni Műszaki Közlemények 2013/1: pp. 13-24. (2013)
- [MJ113] Menyhárt József: Elektromos hajtású jármű üzem-menedzsmentje CompactRIO-val, Debreceni Műszaki Közlemények 2012/2:(2012/2) pp. 45-55. (2012)
- [MJ114] Menyhárt József: On Board Diagnostic (OBD) Systems, Szolnoki Tudományos Közlemények 17: (17) pp. 114-124. (2013)
- [MJ115] Menyhárt József: Villamos feszültségmérés arduinoval, Hadmérnök 4.: pp. 169-178. (2014)

- [MJ116] Pokorádi László, Menyhárt József: Electric Vehicles' Battery Parameter Tolerances Analysis by Fuzzy Logic, Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2016. 412 p., Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia, 2016.05.12-2016.05.14. Budapest: IEEE, 2016. pp. 361-364. (ISBN:978-1-5090-2379-0)
- [MJ117] Pokorádi László, Menyhárt József: Elektromos jármű akkumulátorok paraméter eltéréseinek fuzzy elemzése Innováció és fenntartható felszíni közlekedés, IFFK 2016. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.08.29-2016.08.31. Budapest: Magyar Mérnökakadémia (MMA), 2016. pp. 8-13. ISBN 2011-2016: Online: ISBN 978-963-88875-3-5 CD: ISBN 978-963-88875-2-8
- [MJ118] Robert Szabolcsi, József Menyhárt: Battery Voltage Limit Analysis with Support Vector Machine and Fuzzy Logic, Advances in Military Technology, Vol12:(No1) pp. 21-32. (2017)
- [MJ119] Róbert Szabolcsi, József Menyhárt: Diagnostics of the Batteries Technical Status Using SVM Method, Revista Academiei Fortelor Terestre/Land Forces Academy Review No2:(82/2016) pp. 190-197. (2016)
- [MJ120] Róbert Szabolcsi, József Menyhárt: Loads Affecting UGV's Technical Status, Review of the Air Force Academy 30/2015:(No3) pp. 15-20. (2015)
- [MJ121] Róbert Szabolcsi, József Menyhárt: The Importance of Maintenance During UGV Use Revista Academiei Fortelor Terestre/Land Forces Academy Review No4:(80/2015) pp. 486-492. (2015)

A jelölt értekezéssel nem kapcsolatos publikációi (Lezárva: 2017.09.20.)

- [122] Fazekas Lajos, Menyhárt József, Molnár András, Horváth Csaba: The connections between different types of cold flamesprayed distances on mechanical surface Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015). Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.11.19 Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 67-73. (ISBN:978-963-473-917-3)
- [123] Menyhárt József: TPM rendszer átalakítása az FAG Magyarország Ipari Kft-nél, szakdolgozat, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, (Konzulens: Dr. habil. Szűcs Edit), 2014
- [124] Menyhárt József: Wienstroth edző kemencék kockázatelemzése In: Fregan Beatrix (szerk.) Kockázatelemzés, kockázateértékelés: tanulmányok az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola kutatásaiból. 207 p. Budapest: Óbudai Egyetem, 2013. pp. 65-82. (ISBN:978-615-5018-98-5)

[125] Morauszki Kinga, Lajos Attila, Menyhárt József, Pokorádi László: Beszállítók fuzzy szabálybázisú kiválasztása Sokszínű közgazdaságtan a 21. században: Berst of KHEOPS IV. (2006-2016). 350 p. Bécs; Budapest: Kheops Automobil-Kutató Intézet, 2016. pp. 215-227. (ISBN:978-963-89779-6-0)"

[126] Morauszki Kinga, Lajos Attila, Menyhárt József: Customer satisfaction or how we can keep satisfied customer Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015). Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.11.19 Debrecen: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 135-144. (ISBN:978-963-473-917-3)

Rövidítésjegyzék

(kW*h)/l: (kiloWatt*óra)/liter

(W*h) /kg: (Watt*óra)/kilogramm

(W*h) /l: (Watt*óra)/liter

A: amper

AGV: Automated Guided Vehicle

Ah: Amperóra

ALVINN: Autonomous Land Vehicle in a Neural Network

BMS: Battery Management System

COA: Geometriai középpont módszer

COG: Súlypont módszer

CRI: Compositional Rule of Inference

db: darab

DC: Direct Current

EUR/(kW*h): Euró/(kiloWatt*óra)

FELICS: Feedback Limited Control System

GATERS: TeleRobot (Ground/Air TeleRobotic Systems)

IFR: International Federation of Robotics

IFSA: International Fuzzy Systems Association

JIT: Just in Time

kW*h/kg: kiloWatt*óra/kilogramm

kW/kg: kiloWatt/kg

kW/l: kiloWatt/liter

kW: kilo Watt

MPRS: Man-Portable Robotic Systems

NC: numeric control

OBD: On Board Diagnostic

PWM: Pulse Width Modulation

RSTA: Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition

SARGE: Surveillance and Reconnaissance Ground Equipment

SPC: Statistical Process Control

SVM: Support Vector Machine

SVR: Support Vector Regresszió

TMAP: Teleoperated Mobile Anti-Armor Platform

TOV: TeleOperated Vehicle

UAV: Unmanned Air Vehicle:

UGV: Unmanned Ground Vehicle

USV: Unmanned Surface Vehicles

UUV: Unmanned Underwater Vehicles

V: volt

W/kg: Watt/kilogramm

W/l: Watt/liter

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Akkumulátor adatok [36].....	10
2. táblázat: Robot alkalmazások [67]	16
3. táblázat: Akkumulátorok adatai [25].....	35
4. táblázat: Halmaz műveletek [52][92].....	48
5. táblázat: Fuzzy műveletek [69]	50
6. táblázat: Akkumulátor adatok [MJ110].....	53
7. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései [MJ116][MJ117]	59
8. táblázat: A (14) egyenlet együtthatói [MJ116][MJ117].....	59
9. táblázat: A V_{max} és A_{hmax} igazságértékeihez tartozó eredmények [MJ116][MJ117].....	63
10. táblázat: A V_{min} és A_{hmin} igazságértékeihez tartozó eredmények [MJ116][MJ117]	64
11. táblázat: Az előírt és a mért feszültségparaméterek	70
12. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései SVM használat után	73
13. táblázat: Az akkumulátorok relatív eltérései SVM használat után	73
14. táblázat: A felső szinthez tartozó igazságértékek értékei.....	77
15. táblázat: Az alsó szinthez tartozó igazságértékek értékei	77

Ábrajegyzék

1. ábra: Kutatás során alkalmazott villamos hajtású autó	9
2. ábra: Az akkumulátor cellák	10
3. ábra: Battery Management System (BMS) [36].....	10
4. ábra: A beépített akkumulátor cellák	11
5. ábra: GE Quardruped [29].....	13
6. ábra: Stanford kar [77]	14
7. ábra: Matilda II [108]	18
8. ábra: Goliath és napjaink UGV-i [6]	19
9. ábra: Shakey [87]	19
10. ábra: Teleoperated HMMWV [84].....	21
11. ábra: Surrogate Teleoperated Vehicle [85]	21
12. ábra: Mini-Flail [32].....	22
13. ábra: MPRS URBOT Field Robot [20]	23
14. ábra: MATILDA robot [62]	23
15. ábra: Automated Guided Vehicle [9]	25
16. ábra: Milk Run [MJ120].....	29
17. ábra: Terhelés halmazok [MJ120].....	32
18. ábra: Milk Run robot útvonal [MJ121]	33
19. ábra: Időben rendszeres, ciklikus terhelés [MJ121]	33
20. ábra: Rendszertelen, sztochasztikus terhelés [MJ121]	34
21. ábra: Az Arduino UNO felépítése [MJ115]	38
22. ábra: Arduino feszültségmérő áramkör [81][MJ115].....	40
23. ábra: Bal oldalon egy Boole, jobb oldalon pedig egy fuzzy halmaz [69]	50
24. ábra: Fuzzy rendszer és a benne lejátszódó folyamat [MJ110].....	50
25. ábra: Megbízhatóság %-os eloszlása [MJ110]	54
26. ábra: A 3 tagsági függvény ábrázolva [MJ110]	54
27. ábra: A 3 tagsági függvény ábrázolva [MJ110]	55
28. ábra: Függvény felülete [MJ110]	56
29. ábra: Szakértői adatok alapján használt akkumulátorok [MJ110]	56
30. ábra: Szigmoid függvény [72].....	57
31. ábra: Vmax tagsági függvény [MJ116][MJ117]	60
32. ábra: Vmin tagsági függvény [MJ116][MJ117].....	60

33. ábra: Ahmax tagsági függvény [MJ116][MJ117]	61
34. ábra: Ahmin tagsági függvény [MJ116][MJ117]	61
35. ábra: Az akkumulátor feltöltéséhez kapcsolódó szabály igazságértékeinek felülete [MJ116][MJ117]	62
36. ábra: Az akkumulátor lemerítéséhez kapcsolódó szabály [MJ116][MJ117]	63
37. ábra: Feszültség intervallumok [93]	64
38. ábra: Ah intervallumok [MJ117]	64
39. ábra: Szeparálás [27][MJ109]	68
40. ábra: ε intenzív veszteségfüggvény [27][MJ109]	69
41. ábra: SVM "felső" feszültségértékek [MJ118][MJ119]	71
42. ábra: SVM "alsó" feszültségértékek [MJ118][MJ119]	72
43. ábra: Vmax tagsági függvény [MJ118][MJ119]	73
44. ábra: Vmin tagsági függvény [MJ118][MJ119]	74
45. ábra: VmaxSVM tagsági függvény [MJ118][MJ119]	74
46. ábra: VminSVM tagsági függvény [MJ118][MJ119]	75
47. ábra: Vmax és VmaxSVM igazságértékeinek felülete [MJ118][MJ119]	76
48. ábra: Vmin és VminSVM igazságértékeinek felülete [MJ118][MJ119]	76

Mellékletek

1. számú melléklet: $V_{\max}$ szigmoid függvény számított paraméterei

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} 0,99916 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-105,67)}} \\ 8,34786 * 10^{-6} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-100)}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99916 + 0,99916 * e^{a(b-105,67)} &= 1 \\ 8,34786 * 10^{-4} + 8,34786 * 10^{-4} * e^{a(b-100)} &= 1 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99916 * e^{a(b-105,67)} &= 8,4 * 10^{-4} \\ 8,34786 * 10^{-4} * e^{a(b-100)} &= 0,99916 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} e^{a(b-105,67)} &= 8,40706 * 10^{-4} \\ e^{a(b-100)} &= 1196,9055 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} a(b-105,67) &= -7,08126 \\ a(b-100) &= 7,08749 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} ab-105,67a &= -70,08126 \\ ab-100a &= 7,08749 \end{aligned} \right\} \\
 & -5,67a = -14,16875 \\
 & a = 2,498 \approx 2,5 \\
 & 2,5(b-105,67) = -7,08126 \\
 & 2,5b - 264,175 = -7,08126 \\
 & 2,5b = 257,09374 \\
 & b = 102,835
 \end{aligned}$$

2. számú melléklet: $Ah_{\max}$ szigmoid függvény számított paraméterei

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} 0,99948 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-105,57)}} \\ 0,02738 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-100)}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99948 + 0,99948 * e^{a(b-105,57)} &= 1 \\ 0,02738 + 0,02738 * e^{a(b-100)} &= 1 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99948 * e^{a(b-105,57)} &= 5,2 * 10^{-4} \\ 0,02738 * e^{a(b-100)} &= 0,97262 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} e^{a(b-105,57)} &= 5,20270 * 10^{-4} \\ e^{a(b-100)} &= 35,52300 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} a(b-105,57) &= -7,56116 \\ a(b-100) &= 3,57018 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} ab-105,57a &= -7,56116 \\ ab-100a &= 3,57018 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

$$-5,57a = -11,13134$$

$$a = 1,99 \approx 2$$

$$2(b - 105,67) = -7,56116$$

$$2b - 211,14 = -7,56116$$

$$2b = 203,57884$$

$$b = 101,785$$

3. számú melléklet: $V_{\min}$ szigmoid függvény számított paraméterei

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-76,19)}} \\ 1,30071 * 10^{-5} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-61,19)}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 + 0,99999 * e^{a(b-76,19)} &= 1 \\ 1,30071 * 10^{-5} + 1,30071 * 10^{-5} * e^{a(b-61,19)} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 * e^{a(b-76,19)} &= 1 * 10^{-5} \\ 81,30071 * 10^{-5} * e^{a(b-61,19)} &= 0,99998 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} e^{a(b-76,19)} &= 1,00001 * 10^{-5} \\ e^{a(b-61,19)} &= 76879,5504 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a(b - 76,19) &= -11,51291 \\ a(b - 61,19) &= 11,2499 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} ab - 76,19a &= -70,08126 \\ ab - 61,19a &= 7,08749 \end{aligned} \right\}$$

$$-15a = -22,76281$$

$$a = 1,51752$$

$$1,51752(b - 76,19) = -11,51291$$

$$1,51752b - 115,61984 = -11,51291$$

$$1,51752b = 104,10693$$

$$b = 68,60333$$

4. számú melléklet: $Ah_{\min}$ szigmoid függvény számított paraméterei

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-76,2)}} \\ 9,66490 * 10^{-6} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-61,379)}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 + 0,99999 * e^{a(b-76,2)} &= 1 \\ 9,66490 * 10^{-6} + 9,66490 * 10^{-6} * e^{a(b-61,37)} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99999 * e^{a(b-76,2)} &= 1 * 10^{-5} \\ 9,66490 * 10^{-6} * e^{a(b-61,37)} &= 0,99999 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} e^{a(b-76,2)} &= 1,00001 * 10^{-5} \\ e^{a(b-61,37)} &= 103466,1507 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a(b-76,2) &= -11,51291 \\ a(b-61,37) &= 11,54699 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} ab-76,2a &= -11,51291 \\ ab-61,37a &= 11,54699 \end{aligned} \right\}$$

$$-14,83a = -23,0599$$

$$a = 1,55$$

$$1,8(b-76,2) = -11,51291$$

$$1,8b - 118,48642 = -11,51291$$

$$1,8b = 106,97351$$

$$b = 67,795$$

5. számú melléklet: V_{MAXSVM} szigmoid függvény számított paraméterei

$$\left. \begin{aligned} 0,99887 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-104,5)}} \\ 0,01289 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-100)}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99887 + 0,99887 * e^{a(b-104,5)} &= 1 \\ 0,01289 + 0,01289 * e^{a(b-100)} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99887 * e^{a(b-104,5)} &= 1,13 * 10^{-3} \\ 0,01289 * e^{a(b-100)} &= 0,98711 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} e^{a(b-104,5)} &= 1,13127 * 10^{-3} \\ e^{a(b-100)} &= 76,57951 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a(b-104,5) &= -6,78441 \\ a(b-100) &= 4,33832 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} ab-104,5a &= -6,78441 \\ ab-100a &= 4,33832 \end{aligned} \right\}$$

$$-4,5a = -11,2273$$

$$a = 2,47171$$

$$2,472(b-104,5) = -6,78441$$

$$2,472b - 258,4285 = -6,78441$$

$$2,472b = 265,21291$$

$$b = 101,756607$$

6. számú melléklet: V_{MINSVM} szigmoid függvény számított paraméterei

$$\left. \begin{aligned} 0,97284 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-75,07)}} \\ 1,43664 * 10^{-6} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-65,48)}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,97284 + 0,97284 * e^{a(b-75,07)} &= 1 \\ 1,43664 * 10^{-6} + 1,43664 * 10^{-6} * e^{a(b-65,48)} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,97284 * e^{a(b-75,07)} &= 0,02716 \\ 1,43664 * 10^{-6} * e^{a(b-65,48)} &= 0,99999 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} e^{a(b-75,07)} &= 0,02791 \\ e^{a(b-65,48)} &= 696061,6438 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a(b - 75,07) &= -3,57877 \\ a(b - 65,48) &= 13,45319 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} ab - 75,07a &= -3,57877 \\ ab - 65,48a &= 13,45319 \end{aligned} \right\}$$

$$-9,59a = -17,03196$$

$$a = 1,776$$

$$1,776(b - 75,07) = -3,57977$$

$$1,776b - 133,32432 = -3,57977$$

$$1,776b = 129,74852$$

$$b = 73,0565$$

7. számú melléklet: V_{MAX} szigmoid függvény számított paraméterei

$$\left. \begin{aligned} 0,99995 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-108)}} \\ 2,91033 * 10^{-6} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-100)}} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99995 + 0,99995 * e^{a(b-108)} &= 1 \\ 2,91033 * 10^{-6} + 2,91033 * 10^{-6} * e^{a(b-100)} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 0,99995 * e^{a(b-108)} &= 5,5 * 10^{-5} \\ 2,91033 * 10^{-6} * e^{a(b-100)} &= 0,99999 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} e^{a(b-108)} &= 5,00025 * 10^{-5} \\ e^{a(b-100)} &= 343600,2103 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a(b - 108) &= -9,90343 \\ a(b - 100) &= 12,74723 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} ab - 108a &= -9,90343 \\ ab - 100a &= 12,74723 \end{aligned} \right\}$$

$$-8a = -22,65068$$

$$a = 2,831$$

$$2,552(b - 108) = -9,90343$$

$$2,552b - 305,748 = -9,90343$$

$$2,552b = 295,84457$$

$$b = 104,50179$$

8. számú melléklet: V_{MIN} szigmoid függvény számított paraméterei

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned} 0,99998 &= \frac{1}{1 + e^{a(b-84,05)}} \\ 3,21609 * 10^{-6} &= \frac{1}{1 + e^{a(b-61,97)}} \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99998 + 0,99998 * e^{a(b-84,05)} &= 1 \\ 3,21609 * 10^{-6} + 3,21609 * 10^{-6} * e^{a(b-61,97)} &= 1 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} 0,99998 * e^{a(b-84,05)} &= 2 * 10^{-5} \\ 3,21609 * 10^{-6} * e^{a(b-61,97)} &= 0,99999 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} e^{a(b-84,05)} &= 2,00004 * 10^{-5} \\ e^{a(b-61,97)} &= 310933,4627 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} a(b-84,05) &= -10,81975 \\ a(b-61,97) &= 12,64733 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \begin{aligned} ab-84,05a &= -10,81975 \\ ab-61,97a &= 12,64733 \end{aligned} \right\} \\
 & -22,08a = -23,46708 \\
 & a = 1,0628 \\
 & 1,0665(b-84,05) = -10,81975 \\
 & 1,0665b - 89,32834 = -10,81975 \\
 & 1,0665b = 78,50859 \\
 & b = 73,86958
 \end{aligned}$$

9. számú melléklet: Szigmodi függvények 2D-s ábrázolásának MATLAB® kódjai (3. fejezet)

```

V_max
x=100:0.1:106;
a=2.5;
b=102.835;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

```

Ah_max
x=100:0.1:106;
a=2;
b=101.785;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

```

V_min
x=61:0.1:77;
a=1.5;
b=69.690;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));

```

```
plot(x,y)
```

```
Ahmin  
x=61:0.1:77;  
a=1.55;  
b=67.795;  
y=1./(1+exp(a*(b-x)));  
plot(x,y)
```

10. számú melléklet: Szigmoid függvények 3D-s ábrázolásának MATLAB® kódjai (3. fejezet)

```
[X,Y] = meshgrid(100:0.1:106:0.1:106);  
a = 2.5;  
b = 102.835;  
q = 2;  
w = 101.785;  
Z = zeros(size(X,1),size(X,2));  
for i = 1:min(size(X,1),size(X,2))  
try  
    for j = 1:min(size(Y,1),size(Y,2))  
        x = X(1,i);  
        y = Y(j,1);  
        mu_x = 1/(1 + exp(a * (b-x)));  
        mu_y = 1/(1 + exp(q * (w-y)));  
        Z(i,j) = max(mu_x,mu_y);  
    end  
catch ME  
    ME  
end  
end  
%Y(Y>4) = NaN;  
surf(X,Y,Z)
```

```
[X,Y] = meshgrid(61:0.1:77:0.1:77);  
a = 1.5;  
b = 69.690;  
q = 1.55;  
w = 67.795;  
Z = zeros(size(X,1),size(X,2));  
for i = 1:min(size(X,1),size(X,2))  
try  
    for j = 1:min(size(Y,1),size(Y,2))  
        x = X(1,i);  
        y = Y(j,1);  
        mu_x = 1/(1 + exp(a * (b-x)));  
        mu_y = 1/(1 + exp(q * (w-y)));  
        Z(i,j) = max(mu_x,mu_y);  
    end
```

```

catch ME
    ME
end
end
%Y(Y>4) = NaN;
surf(X,Y,Z)

```

11. számú melléklet: Szigmodi függvények 2D-s ábrázolásának MATLAB® kódjai (4. fejezet)

```

Vmax
x=100:0.1:108;
a=2.831;
b=104.501;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

```

Vmin
x=0:0.1:85;
a=1.063;
b=73.869;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

```

SVM
Vmax
x=100:0.1:105;
a=2.473;
b=101.756;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

```

Vmin
x=0:0.1:74;
a=1.776;
b=73.056;
y=1./(1+exp(a*(b-x)));
plot(x,y)

```

12. számú melléklet: Sigmoid függvények 3D-s ábrázolásának MATLAB® kódjai (4. fejezet)

```

[X,Y] = meshgrid(100:0.1:108:0.1:108);
a = 2.473;
b = 101.756;
q = 2.831;
w = 104.501;
Z = zeros(size(X,1),size(X,2));
for i = 1:min(size(X,1),size(X,2))
try

```

```

        for j = 1:min(size(Y,1),size(Y,2))
            x = X(1,i);
            y = Y(j,1);
            mu_x = 1/(1 + exp(a * (b-x)));
            mu_y = 1/(1 + exp(q * (w-y)));
            Z(i,j) = max(mu_x,mu_y);
        end
    catch ME
        ME
    end
end
end
%Y(Y>4) = NaN;
surf(X,Y,Z)

```

```

[X,Y] = meshgrid(60:0.3:85:0.3:85);
a = 1.776;
b = 73.056;
q = 1.063;
w = 73.869;
Z = zeros(size(X,1),size(X,2));
for i = 1:min(size(X,1),size(X,2))
    try
        for j = 1:min(size(Y,1),size(Y,2))
            x = X(1,i);
            y = Y(j,1);
            mu_x = 1/(1 + exp(a * (b-x)));
            mu_y = 1/(1 + exp(q * (w-y)));
            Z(i,j) = max(mu_x,mu_y);
        end
    catch ME
        ME
    end
end
end
%Y(Y>4) = NaN;
surf(X,Y,Z)

```

13. számú melléklet [117]: Support Vector Machine osztályozó program MATLAB®

kódja

```
classdef svm_demo < handle
```

```

    properties

```

```
        svm_type = 's'
```

```
        fig;
```

```
        running = true;
```

```
        plot_area;
```

```

draw_flag = true;
cont_flag = false;

lin;
weight_handle;
w_arrow = [0.9482 0.8060; 0.8068 0.9482];
w_input;
t_input;
w_arrow_angle = pi / 3;
w_arrow_size = 0.2;

inputs;
outputs;
colors;
data_drag;
errors;
error_disp;
margin_disp;
support;
data_handle;
errors_handle;
z_vector;

sv_handles;
svcircle_handle;
sv_data;

pos_x;
pos_y;
pos_z;
neg_x;
neg_y;
neg_z;
tubepos_x;
tubepos_y;
tubepos_z;
tubeneg_x;
tubeneg_y;
tubeneg_z;
pos_handle;
neg_handle;
tubepos_handle;
tubeneg_handle;

train_method = [];
do_train = false;
train_group;
svm_radio;
perc_radio;
train_but;

```

```

boundary = [-3 5; 5 -3]
boundary_handle;

grab_drag = false;
theta_drag = false;
theta_drag_point;
theta_drag_inte;

w_text;
t_text;
train_box;
rand_weights;
rand_but;
sep_but;
method_menus;
graphics_menus;

end

methods

function a = svm_demo()

    a.lin = LinearClassifier([1 1], @(a.lin_change()));
    a.train_method = a.svm_type;
    screen_size = get(0, 'ScreenSize');
    a.fig = figure('Name', 'SVM Demo', 'Position', [(screen_size(3) - 600) / 2
(screen_size(4) - 450) / 2 600 450], 'MenuBar', 'none',...
        'ResizeFcn', @(varargin)a.do_layout);

    a.plot_area =
axes('Units','Pixels','ButtonDownFcn',@(varargin)a.check_data_down());
    bgc = get(a.fig,'Color');

    a.w_text = uicontrol('Style','text','String','Weight vector:','BackgroundColor',...
        bgc,'HorizontalAlignment','left','FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.w_input(1) = uicontrol('Style','edit','String',a.lin.weights(1),...
        'Callback',@(varargin)a.winput_change(), 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.w_input(2) = uicontrol('Style','edit','String',a.lin.weights(2),...
        'Callback',@(varargin)a.winput_change(), 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.t_text = uicontrol('Style','text','String','Theta:','BackgroundColor', bgc,...
        'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.t_input = uicontrol('Style','edit','String',a.lin.theta,...
        'Callback',@(varargin)a.t_input_change(), 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.error_disp = uicontrol('Style','text','String','Error rate: 0','BackgroundColor',...
        bgc, 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.margin_disp = uicontrol('Style','text','String','Margin: 0','BackgroundColor',...
        bgc, 'HorizontalAlignment', 'left', 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold');
    a.train_group = uibuttongroup('Parent', gcf, ...

```

```

'SelectionChangeFcn', @(varargin)a.method_select(varargin{2}));
a.svm_radio = uicontrol('Style', 'RadioButton', 'String', 'SVM', 'Position', [5 30 150
20],...
    'Parent', a.train_group, 'UserData', a.svm_type);
a.perc_radio = uicontrol('Style', 'RadioButton', 'String', 'Perceptron', 'Position', ...
    [5 5 150 20], 'Parent', a.train_group, 'UserData', 'p');
set(a.train_group, 'SelectedObject', a.svm_radio);
a.train_box = uicontrol('Style', 'Checkbox', 'String', 'Continuous Training', 'Callback',
...
    @(varargin)a.cont_train());
a.train_but = uicontrol('String', 'Train', 'Callback', ...
    @(varargin)a.lin.train(a.inputs, a.outputs, a.train_method));
a.rand_weights = uicontrol('String', 'Randomize Weights', 'Callback',
@(varargin)a.set_rand_weights());
a.rand_but = uicontrol('String', 'Random Data',...
    'Callback', @(varargin)a.random_data(false));
a.sep_but = uicontrol('String', 'Seperable Data',...
    'Callback', @(varargin)a.random_data(true));

options = uimenu('Label', 'Data');
uimenu(options, 'Label', 'Load data', 'Callback', @(varargin)a.load_data());
uimenu(options, 'Label', 'Save data', 'Callback', @(varargin)a.save_data());
options = uimenu('Label', 'Graphics');
a.graphics_menus(1) = uimenu(options, 'Label', 'No line smoothing & manual alpha-
blending', ...
    'Checked', 'on', 'Callback', @(varargin)a.use_graphics(1));
a.graphics_menus(2) = uimenu(options, 'Label', 'Use line-smoothing & transparency',
...
    'Checked', 'off', 'Callback', @(varargin)a.use_graphics(2));

options = uimenu('Label', 'SVM Algorithm');
a.method_menus(1) = uimenu(options, 'Label', 'Auto', 'Checked', 'on', 'Callback', ...
    @(varargin)a.set_svm_type(1));
a.method_menus(2) = uimenu(options, 'Label', 'LibSVM', 'Checked', 'off',
'Callback', ...
    @(varargin)a.set_svm_type(2));
a.method_menus(3) = uimenu(options, 'Label', 'Bioinformatics', 'Checked', 'off',
'Callback', ...
    @(varargin)a.set_svm_type(3));
a.method_menus(4) = uimenu(options, 'Label', 'Optimization', 'Checked', 'off',
'Callback', ...
    @(varargin)a.set_svm_type(4));

hold on;
a.data_handle = scatter([], [], [], '+', 'SizeData', 100, 'XDataSource', 'a.inputs(:, 1)',...
    'YDataSource', 'a.inputs(:, 2)', 'CDataSource', 'a.colors', 'HitTest', 'off',...
    'LineWidth', 3);

a.svcircle_handle = scatter([], [], 'og', 'SizeData', 160, 'LineWidth', 2, 'HitTest', 'off');

```

```

a.sv_data = zeros(2, 2, 10);
a.sv_handles = plot(zeros(2, 10), zeros(2, 10), 'LineWidth', 2,...
    'LineSmoothing', 'off', 'Color', [0.3 0.6 0.3], 'HitTest', 'off');
a.weight_handle = plot([0 a.lin.weights(1) a.w_arrow(1, 1) a.w_arrow(1, 2)
a.lin.weights(1)], ...
    [0 a.lin.weights(2) a.w_arrow(2, 1) a.w_arrow(2, 2) a.lin.weights(2)],...
    '-b', 'MarkerSize', 10, 'LineSmoothing', 'off', 'LineWidth', 2, 'XDataSource', ...
    '[0 a.lin.weights(1) a.w_arrow(1, :) a.lin.weights(1)]', 'YDataSource', ...
    '[0 a.lin.weights(2) a.w_arrow(2, :) a.lin.weights(2)]', 'HitTest', 'off');

a.boundary_handle = plot(a.boundary(:, 1), a.boundary(:, 2), '--r', 'LineWidth', 2,...
    'LineSmoothing', 'off', 'ButtonDownFcn', @(varargin)a.boundary_down,
'XDataSource',...
    'a.boundary(:, 1)', 'YDataSource', 'a.boundary(:, 2)');

a.compute_surf();
a.pos_handle = patch(a.pos_x, a.pos_y, a.pos_z, [1 0.8 0.8], 'HitTest', 'off',...
    'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
a.neg_handle = patch(a.neg_x, a.neg_y, a.neg_z, [0.8 0.8 1], 'HitTest', 'off',...
    'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
a.tubepos_handle = patch(a.tubepos_x, a.tubepos_y, a.tubepos_z, [0.6 0.6 0.8],
'HitTest', 'off',...
    'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');
a.tubeneg_handle = patch(a.tubeneg_x, a.tubeneg_y, a.tubeneg_z, [0.8 0.6 0.6],
'HitTest', 'off',...
    'FaceAlpha', 1, 'EdgeColor', 'none');

plot([repmat(-5:0.5:5, 21, 1) repmat((-5:0.5:5)', 1, 21)], ...
    [repmat((-5:0.5:5)', 1, 21) repmat(-5:0.5:5, 21, 1)], ':k', 'HitTest', 'off');
plot([repmat([-5 0 5], 3, 1) repmat([-5 0 5]', 1, 3)], ...
    [repmat([-5 0 5]', 1, 3) repmat([-5 0 5], 3, 1)], 'k', 'HitTest', 'off');
grid off;

set(a.plot_area, 'xlim', [0 5], 'ylim', [3.3 4], 'clim', [-1 1]);

set(a.fig, 'WindowButtonMotionFcn', @(varargin)a.mouse_move,...
    'WindowButtonUpFcn', @(varargin)a.mouse_up, 'CloseRequestFcn',
@(varargin)a.close);
hold off;

while (a.running)
    a.draw_flag = true;
    drawnow;
    a.draw_flag = false;
    uiwait(gcf);
end

end

function do_layout(a)

```

```

pos = get(a.fig, 'Position');
fig_width = pos(3) - 210;
fig_height = pos(4) - 60;
fig_size = min(fig_width, fig_height);
set(a.plot_area, 'Position', [180 (pos(4) - fig_size - 30) fig_size fig_size]);
top = pos(4) - 40;
set(a.w_text, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.w_input(1), 'Position', [10 top 70 20]);
set(a.w_input(2), 'Position', [90 top 70 20]); top = top - 30;
set(a.t_text, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.t_input, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.error_disp, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.margin_disp, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 65;
set(a.train_group, 'Position', [5/pos(3) top/pos(4) 160/pos(3) 60/pos(4)]); top = top -
25;
set(a.train_box, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.train_but, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.rand_weights, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.rand_but, 'Position', [10 top 150 20]); top = top - 30;
set(a.sep_but, 'Position', [10 top 150 20]);

end

function compute_surf(a)
x = [-5 a.boundary(((a.boundary(:, 1) > -5) .* (a.boundary(:, 1) < 5)) == 1, 1)' 5];
y = [-5 a.boundary(((a.boundary(:, 2) > -5) .* (a.boundary(:, 2) < 5)) == 1, 2)' 5];
[X Y] = meshgrid(x, y);
preds = a.lin.classify([X(1: numel(X))' Y(1: numel(Y))']);

X_pos = X(preds > -1);
Y_pos = Y(preds > -1);
if (size(X_pos, 1) > 2)
    hull_pos = convhull(X_pos, Y_pos);
    a.pos_x = X_pos(hull_pos);
    a.pos_y = Y_pos(hull_pos);
    a.pos_z = -ones(numel(hull_pos), 1);
else
    a.pos_x = [0 0 0];
    a.pos_y = [0 0 0];
    a.pos_z = -[1 1 1];
end

X_neg = X(preds < 1);
Y_neg = Y(preds < 1);
if (size(X_neg, 1) > 2)
    hull_neg = convhull(X_neg, Y_neg);
    a.neg_x = X_neg(hull_neg);
    a.neg_y = Y_neg(hull_neg);
    a.neg_z = -ones(numel(hull_neg), 1);
end

```

```

else
    a.neg_x = [0 0 0];
    a.neg_y = [0 0 0];
    a.neg_z = -[1 1 1];
end

distances = sum((a.sv_data(:, 2, :) - a.sv_data(:, 1, :)).^ 2, 1);
[v i] = min(distances(distances > 0));
if v
    set(a.margin_disp, 'String', strcat('Margin: ', num2str(sqrt(v))));
    m = a.lin.boundary_grad;
    c = a.sv_data(2, 1, i) - m .* a.sv_data(1, 1, i);
    edges = [-5 (-5 * m) + c; (5 - c)./m 5; 5 (5 * m) + c; -(5 + c) ./ m -5];
    indices = sum(abs(edges), 2) <= 100;
    m = a.lin.boundary_grad;
    new = (2.* a.sv_data(:, 2, i)) - a.sv_data(:, 1, i);
    c = new(2) - m .* new(1);
    edges2 = [-5 (-5 * m) + c; (5 - c)./m 5; 5 (5 * m) + c; -(5 + c) ./ m -5];
    indices2 = sum(abs(edges2), 2) <= 100;
    b_all = [edges(indices, :); edges2(indices2, :); a.boundary];
    x = b_all(:, 1);
    y = b_all(:, 2);
    preds = a.lin.classify([x y]);
    x_pos = x(preds < 1);
    y_pos = y(preds < 1);
    if (size(x_pos, 1) > 2)
        hull_tube = convhull(x_pos, y_pos);
        a.tubepos_x = x_pos(hull_tube);
        a.tubepos_y = y_pos(hull_tube);
        a.tubepos_z = -ones(numel(hull_tube), 1)/2;
    else
        a.tubepos_x = [0 0 0];
        a.tubepos_y = [0 0 0];
        a.tubepos_z = -[1 1 1];
    end
    x_neg = x(preds > -1);
    y_neg = y(preds > -1);
    if (size(x_neg, 1) > 2)
        hull_tube = convhull(x_neg, y_neg);
        a.tubeneg_x = x_neg(hull_tube);
        a.tubeneg_y = y_neg(hull_tube);
        a.tubeneg_z = -ones(numel(hull_tube), 1)/2;
    else
        a.tubeneg_x = [0 0 0];
        a.tubeneg_y = [0 0 0];
        a.tubeneg_z = -[1 1 1];
    end
else
    a.tubepos_x = [0 0 0];
    a.tubepos_y = [0 0 0];

```

```

    a.tubepos_z = -[1 1 1];
    a.tubeneg_x = [0 0 0];
    a.tubeneg_y = [0 0 0];
    a.tubeneg_z = -[1 1 1];
end

end

function lin_change(a)
    a.w_arrow = reshape(feval(@(beta)arrayfun(@(x)(a.lin.weights(mod(x+1, 2) + 1)) - ...
        (a.w_arrow_size .* (((a.lin.weights(1) >= 0) .* 2) - 1) .* ...
        sin(a.w_arrow_angle + ((x <= 2) .* -beta) + ((x >= 3) .* ...
        (beta - pi ./ 2)) + ((mod(x, 3) ~= 1) .* pi ./ 2))), 1:4),
    atan(a.lin.weights(2)./a.lin.weights(1))), 2, 2);
    refreshdata(a.weight_handle, 'caller');
    m = a.lin.boundary_grad;
    c = a.lin.boundary_inte;
    edges = [-5 (-5 * m) + c; (5 - c)./m 5; 5 (5 * m) + c; -(5 + c) ./ m -5];
    a.boundary = edges(sum(abs(edges), 2) <= 10, :);
    refreshdata(a.boundary_handle, 'caller');

    set(a.w_input(1), 'String', round(a.lin.weights(1) .* 1000) ./ 1000);
    set(a.w_input(2), 'String', round(a.lin.weights(2) .* 1000) ./ 1000);
    set(a.t_input, 'String', round(a.lin.theta .* 1000) ./ 1000);

    a.update_classification();
    try
        a.compute_surf();
    end
    set(a.pos_handle, 'XData', a.pos_x, 'YData', a.pos_y, 'ZData', a.pos_z);
    set(a.neg_handle, 'XData', a.neg_x, 'YData', a.neg_y, 'ZData', a.neg_z);
    set(a.tubepos_handle, 'XData', a.tubepos_x, 'YData', a.tubepos_y, 'ZData',
a.tubepos_z);
    set(a.tubeneg_handle, 'XData', a.tubeneg_x, 'YData', a.tubeneg_y, 'ZData',
a.tubeneg_z);

    uiresume(gcf);

end

function data_change(a)
    a.inputs = min(max(a.inputs, -5), 5);
    a.z_vector = zeros(numel(a.outputs), 1);
    if (a.train_method == 'p')
        a.lin.train(a.inputs, a.outputs, []);
    else
        a.lin.train(a.inputs, a.outputs, a.train_method(a.do_train));
    end
    a.colors = [a.outputs == 1 a.z_vector a.outputs == -1];
    refreshdata(a.data_handle, 'caller');
end

```

```

    uiresume(gcf);

end

function update_classification(a)
    if (numel(a.inputs) ~= 0)
        [predictions sv] = a.lin.classify(a.inputs);
        a.errors = a.inputs(svm_demo.ssign(predictions) ~= a.outputs, :);

        for i=1:numel(a.sv_handles)
            if (i <= numel(sv))
                a.sv_data(:, 1, i) = a.inputs(sv(i), :);
                pm = svm_demo.threshold(-1/a.lin.boundary_grad);
                pc = a.inputs(sv(i), 2) - pm*a.inputs(sv(i), 1);
                a.sv_data(1, 2, i) = (pc - a.lin.boundary_inte) ./ (a.lin.boundary_grad - pm);
                a.sv_data(2, 2, i) = ((a.lin.boundary_grad .* pc) - (pm .* a.lin.boundary_inte)) ./ ...
                    (a.lin.boundary_grad - pm);
            else
                a.sv_data(:, :, i) = zeros(2, 2);
            end
            set(a.sv_handles(i), 'XData', a.sv_data(1, :, i));
            set(a.sv_handles(i), 'YData', a.sv_data(2, :, i));
        end
        set(a.svcircle_handle, 'XData', a.sv_data(1, 1, 1:numel(sv)));
        set(a.svcircle_handle, 'YData', a.sv_data(2, 1, 1:numel(sv)));

        error = size(a.errors, 1) ./ numel(a.outputs);
        set(a.error_disp, 'String', ['Error rate: ' num2str(error)]);
    end

end

function set_rand_weights(a)

    w1 = (rand .* 6) - 3;
    w2 = (rand .* 6) - 3;
    theta = sign(rand - 0.5) .* (w1 + w2);
    a.lin.set_weights([w1 w2], theta);
    if (a.train_method(a.do_train) ~= 'p')
        set(a.train_box, 'Value', 0);
        a.cont_train();
    end

end

function winput_change(a)
    set(a.train_box, 'Value', 0);
    a.do_train = false;
    w1 = str2double(get(a.w_input(1), 'String'));
    w2 = str2double(get(a.w_input(2), 'String'));

```

```

a.lin.set_weights([w1 w2], a.lin.theta);

end

function t_input_change(a)
    set(a.train_box, 'Value', 0);
    a.do_train = false;
    a.lin.set_weights(a.lin.weights', str2double(get(a.t_input, 'String')));
end

function close(a)
    a.running = false;
    uiresume(gcf);
    delete(gcf);

end

function grab_down(a)

    a.grab_drag = true;

end

function boundary_down(a)

    a.theta_drag = true;
    a.theta_drag_point = a.lin.theta;
    a.theta_drag_inte = a.lin.boundary_inte;

end

function check_data_down(a)

    point = get(a.plot_area, 'CurrentPoint');
    if min(max(abs(a.lin.weights' - point(1, 1:2)))) < 0.25
        a.grab_down();
    end
    if (numel(a.outputs) > 0)
        [v i] = min(max(abs(a.inputs - repmat(point(1, 1:2), size(a.inputs, 1), 1)), [], 2));
        if (v < 0.25)
            a.data_drag = i;
        end
    end

end

function mouse_move(a)
    if (~a.draw_flag)
        if (a.grab_drag)
            set(a.train_box, 'Value', 0);

```

```

    a.do_train = false;
    set(a.train_but, 'Enable', 'on');
    point = get(a.plot_area, 'CurrentPoint');
    point(1, 1:2) = min(max(point(1, 1:2), [-4.95 -4.95]), [4.95 4.95]);
    a.lin.set_weights(point(1, 1:2), a.lin.theta);
elseif (a.theta_drag)
    set(a.train_box, 'Value', 0);
    a.do_train = false;
    point = get(a.plot_area, 'CurrentPoint');
    point(1, 1:2) = min(max(point(1, 1:2), [-4.95 -4.95]), [4.95 4.95]);
    [m1 c1] = deal(a.lin.boundary_grad, a.theta_drag_inte);
    m2 = svm_demo.threshold(-1 ./ m1);
    c2 = point(1, 2) - m2 .* point(1, 1);
    x3 = (c2 - c1) ./ (m1 - m2);
    y3 = (m2 .* x3) + c2;
    dis = norm(point(1, 1:2) - [x3 y3]) .* norm(a.lin.weights);
    sig = -sign((point(1, 1:2) * a.lin.weights) + a.theta_drag_point);
    a.lin.set_weights(a.lin.weights, a.theta_drag_point + sig .* dis);
elseif (a.data_drag > 0)
    point = get(a.plot_area, 'CurrentPoint');
    a.inputs(a.data_drag, :) = point(1, 1:2);
    a.data_change();
end
end

end

function mouse_up(a)
    a.grab_drag = false;
    a.theta_drag = false;
    a.data_drag = 0;

end

function random_data(a, separable)
    if (separable)
        a.inputs = zeros(10, 2);
        a.inputs(1:5, :) = svm_demo.normrnd(2.5, 1, 5, 2);
        a.inputs(6:10, :) = svm_demo.normrnd(-2.5, 1, 5, 2);
        a.outputs = ones(10, 1);
        a.outputs(1:5) = -1;
    else
        a.inputs = (rand(10, 2) * 10) - 5;
        a.outputs = sign(rand(10, 1) - 0.5);
    end
    a.data_change();

end

function load_data(a)

```

```

[file path] = uigetfile('*.mat', 'Pick a data file');
if exist(fullfile(path,file), 'file')
    load(fullfile(path,file));
    if (exist('inputs', 'var') && exist('outputs', 'var') && size(inputs, 2) == 2 &&...
        size(inputs, 1) == numel(outputs) && size(outputs, 1) == numel(outputs))
        a.inputs = inputs;
        a.outputs = outputs;
        a.data_change();
    else
        errordlg('Data file must contain inputs: Nx2, outputs: Nx1', 'Invalid data file',
'modal');
    end
end
end
end

```

```

function save_data(a)
if (numel(a.outputs) > 0)
    [file path] = uiputfile('*.mat', 'Pick a data file');
    inputs = a.inputs;
    outputs = a.outputs;
    save(fullfile(path, file), 'inputs', 'outputs');
    msgbox(['Data saved to ' file], 'Save successful');
else
    errordlg('Cannot save empty dataset', 'No data to save', 'modal');
end
end

```

end

```

function cont_train(a)

a.do_train = ones(get(a.train_box, 'Value'));
a.lin.train(a.inputs, a.outputs, a.train_method(a.do_train));
if (numel(a.do_train))
    set(a.train_but, 'Enable', 'off');
else
    set(a.train_but, 'Enable', 'on');
end

if (~a.cont_flag)
    a.cont_flag = true;
    while (exist('a', 'var') && a.running && numel(a.do_train))
        if (a.train_method == 'p')
            a.lin.train(a.inputs, a.outputs, a.train_method(a.do_train));
        end
        pause(0.5)
    end
    if (exist('a', 'var'))
        a.cont_flag = false;
    end
end
end

```

```

end

function method_select(a, s)

    a.train_method = get(s.NewValue, 'UserData');
    a.lin.train(a.inputs, a.outputs, a.train_method(a.do_train));

end

function set_svm_type(a, type)

    for index=1:4
        set(a.method_menus(index), 'Checked', 'off');
    end
    set(a.method_menus(type), 'Checked', 'on');

    strings = 'slbo';
    type_string = strings(type);
    if (a.train_method ~= 'p')
        a.train_method = type_string;
    end
    a.svm_type = type_string;
    set(a.svm_radio, 'UserData', a.svm_type);

end

function use_graphics(a, type)

    for i=1:2
        if (i==type)
            set(a.graphics_menus(i), 'Checked', 'on');
        else
            set(a.graphics_menus(i), 'Checked', 'off');
        end
    end
    switch (type)
        case 1
            set(a.tubepos_handle, 'CData', [0.6 0.6 0.8], 'FaceAlpha', 1);
            set(a.tubeneg_handle, 'CData', [0.8 0.6 0.6], 'FaceAlpha', 1);
            set(a.sv_handles, 'LineSmoothing', 'off');
            set(a.weight_handle, 'LineSmoothing', 'off');
        case 2
            set(a.tubepos_handle, 'CData', [0 0 0], 'FaceAlpha', 0.4);
            set(a.tubeneg_handle, 'CData', [0 0 0], 'FaceAlpha', 0.4);
            set(a.sv_handles, 'LineSmoothing', 'on');
            set(a.weight_handle, 'LineSmoothing', 'on');
        end
    uiresume(gcf);
end

```

```

    end

end

properties (Constant = true)

    normrnd = @(mu, sigma, varargin)randn(varargin{:}) .* sigma + mu;

end

methods (Static = true)

    function output = lsign(input)
        output = sign(input);
        output(abs(input) < 0.001) = 0;

    end

    function output = ssign(input)
        output = ((input > 0) * 2) - 1;

    end

    function output = threshold(input)
        output = max(min(input, 100000), -100000);

    end

end

end

```

14. számú melléklet [117]: Support Vector Machine osztályozás

```
classdef LinearClassifier < handle
```

```
properties
    weights;
    theta;
    boundary_grad;
    boundary_inte;
    callback;
    sv_indices;
    trained = false;
end
```

```
methods
```

```
function a = LinearClassifier(weights, callback)
    a.weights = weights';
    a.theta = -sum(a.weights.^2);
    a.calc_boundary_grad();
    a.callback = callback;
end
```

```
function set_weights(a, weights, theta, sv_indices)
    if (nargin == 4)
        a.sv_indices = sv_indices;
        a.trained = true;
    else
        a.sv_indices = [];
        a.trained = false;
    end
    if (sum(abs(weights)) == 0)
        weights = [0.01 0.01];
    end
    if (theta == 0)
        theta = 0.00000001;
    else
        end
    a.theta = theta;
    a.weights = weights';
    a.calc_boundary_grad();
    a.callback();
end
```

```
function calc_boundary_grad(a)
    scaled_weights = -(a.theta .* a.weights) ./ (norm(a.weights)^2);
    a.boundary_grad = svm_demo.threshold(-scaled_weights(1) ./ scaled_weights(2));
    a.boundary_inte = scaled_weights(2) - (scaled_weights(1) .* a.boundary_grad);
end
```

```
function [outputs sv] = classify(a, inputs)
```

```

offset = (inputs * a.weights) + a.theta;
if (a.trained)
    sv = a.sv_indices;
else
    lt_indices = offset < 0;
    [v1 sv1] = min(offset + lt_indices .* 100000);
    [v2 sv2] = max(offset + ~lt_indices .* -100000);
    if (v1 > 50)
        sv = sv2;
    elseif (v2 < -50)
        sv = sv1;
    else
        sv = [sv1; sv2];
    end
end
outputs = -svm_demo.lsign(offset);

end

function train(a, inputs, outputs, mode)

if (size(inputs, 1) > 0)
    if (mode)
        svm_location = which('svmtrain');
        if strfind(svm_location, 'libsvm')
            if (mode == 's')
                mode = 'l';
            elseif (mode == 'b')
                error('Bioinformatics mode is selected, but LibSVM is further up the
path. Please select LibSVM or change your path.');
```

end

```

            elseif ~isempty(svm_location)
                if (mode == 's')
                    mode = 'b';
                elseif (mode == 'l')
                    error('LibSVM is selected, but the bioinformatics toolbox is further up
the path. Please select BioInformatics or change your path.');
```

end

```

            elseif exist('quadprog', 'file')
                mode = 'o';
            else
                error('Unable to find svmtrain or quadprog; make sure you have libsvm,
bioinformatics toolbox, or optimization toolbox');
```

end

```

            switch (mode)
            case 'b'
                struct = svmtrain(inputs, outputs, 'AutoScale', false, 'BoxConstraint', 50,
'Method', 'SMO');
```

w = (struct.Alpha * struct.SupportVectors);

```

                a.set_weights(w, struct.Bias, struct.SupportVectorIndices);
            end
        end
    end
end

```

```

case 'l'
    model = svmtrain(outputs, inputs, '-t 0 -c 50');
    w = (model.sv_coef' * full(model.SVs));
    sv_count = size(model.SVs, 1);
    d_count = size(inputs, 1);
    a.set_weights(w, -model.rho, ...
        mod(find(cell2mat(arrayfun(@(i, j)sum(inputs(i, :) == full(model.SVs(j, :))), ...
            repmat((1:d_count)', sv_count, 1), reshape(repmat(1:sv_count, d_count, 1),
sv_count.*d_count, 1), ...
            'UniformOutput', false))) - 1, d_count) + 1);
case 'o'
    [w fval ex op l] = quadprog([1 0 0; 0 1 0; 0 0 0], zeros(3, 1), ...
        -([inputs ones(size(inputs, 1), 1)] .* repmat(outputs, 1, 3)), ...
        -ones(size(inputs, 1), 1), [], [], [], [], [], ...
        optimset('LargeScale', 'off', 'MaxIter', 10000, 'Display', 'off'));
    a.set_weights(-w(1:2)', -w(3), find(l.ineqlin));
case 'p'
    w = a.weights';
    bias = a.theta;
    for i=1:numel(outputs)
        if (a.classify(inputs(i, :)) ~= outputs(i))
            w = w - 0.01 .* (outputs(i) .* inputs(i, :));
            bias = bias - 0.01 .* outputs(i);
        end
    end
    a.set_weights(w, bias);

end
else
    a.set_weights(a.weights', a.theta, a.sv_indices);
end
end
end
end
end
end
end
end

```

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatásaimat 2013-ban az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori iskolájában kezdtem, az itt eltöltött évek eredményét és munkásságát tartalmazza ez a dolgozat.

Mindenekelőtt őszinte köszönettel és hatalmas hálával tartozom témavezetőmnek, Prof. Dr. habil. Szabolcsi Róbert úrnak, aki tanulmányaim és kutatásom során rengeteg segítséget, hasznos tanácsot adott, valamint a legnagyobb türelemmel és hozzáértéssel irányította a munkámat.

Köszönetet mondok Prof. Dr. Rajnai Zoltánnak az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar dékánjának, valamint Pokorádi László Károlynak.

Köszönetet mondok az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori iskola minden munkatársának, akik tanácsaikkal és konzultációjukkal segítettek a kutatásaimat.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. habil. Szűcs Editnek a Debreceni Egyetem Műszaki Kar dékánjának és Komlói Istvánnak a KUKA Robobitcs Hungária Kft. fejlesztési vezetőjének.

Végül, de nem utolsósorban hálás vagyok családomnak, barátaimnak, valamint volt és jelenlegi kollégáimnak, akik az elmúlt években mellettem álltak, támogattak, segítettek, hogy a kutatómunkámat elvégezhessem.