



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Közlekedésmérnöki Kar  
**Közlekedésüzemi Tanszék**

# **Készletszabályozó rendszer megvalósítása Neuro-Fuzzy logika alkalmazásával**

TDK dolgozat



Készítette: Cimer Mónika, Közlekedésmérnöki BSc  
Konzulens: Dr. Bóna Krisztián, adjunktus  
Lénárt Balázs, PhD hallgató  
2010. október

# Tartalomjegyzék

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés .....                                               | 4  |
| 2. Készletgazdálkodás.....                                       | 5  |
| 2.1 A készletek csoportosítása.....                              | 5  |
| 2.2 A készletezési folyamat költségei .....                      | 6  |
| 2.2.1 Készlet-utánpótlási költségek.....                         | 7  |
| 2.2.2 Készlettartási költségek.....                              | 7  |
| 2.2.3 Hiányköltségek.....                                        | 8  |
| 2.3 A készletezési rendszer .....                                | 9  |
| 2.3.1 A készletezési rendszer működése .....                     | 11 |
| 3. Mesterséges intelligencia.....                                | 16 |
| 3.1 Neurális hálózat .....                                       | 16 |
| 3.1.1 A neuron.....                                              | 16 |
| 3.1.2 A neurális hálózatok topológiája.....                      | 19 |
| 3.1.3 A neurális hálózat tanulása.....                           | 22 |
| 3.2 Fuzzy rendszerek.....                                        | 23 |
| 3.2.1 Fuzzy halmazok.....                                        | 24 |
| 3.2.2 Fuzzy műveletek .....                                      | 27 |
| 3.2.3 Fuzzy szabályok és relációk.....                           | 29 |
| 3.2.4 Nyelvi változók .....                                      | 30 |
| 3.3 Neuro-Fuzzy rendszerek.....                                  | 31 |
| 3.3.1 ANFIS .....                                                | 33 |
| 4. A készletszabályozó rendszer .....                            | 36 |
| 4.1 A készletnagyságot befolyásoló tényezők.....                 | 35 |
| 4.1.1 Beszállítói oldal készletszintre való hatása .....         | 37 |
| 4.1.2 Vevői oldal készletszintre való hatása .....               | 39 |
| 4.1.3 Termelő/kereskedő vállalat készletszintre való hatása..... | 40 |
| 4.2 A bemenő paraméterek meghatározása.....                      | 44 |
| 4.3 A készletszabályozó rendszer felépítése .....                | 46 |
| 4.3.1 A szabályozó .....                                         | 48 |
| 4.4 Az alaprendszer létrehozása .....                            | 49 |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 4.4.1 ANFIS .....                              | 50 |
| 4.4.2 Az alap-készletszabályozó rendszer ..... | 52 |
| 4.4.3 Az alaprendszer tesztelése.....          | 53 |
| 5. Összefoglalás .....                         | 55 |
| Irodalom.....                                  | 56 |
| 1. Melléklet .....                             | 57 |
| 2. Melléklet .....                             | 58 |

# 1. Bevezetés

Napjainkban a termékek előállítása és felhasználása térben és időben különbözhet, ezért az anyagáramlási folyamatban zavarok léphetnek fel. Ahhoz, hogy biztosítani lehessen a folyamatok zavartalan működését, készletek tartása szükséges.

A készlet értékkel és költségvonzattal rendelkezik, ezért a vállalati célok szempontjából fontos az optimális nagyságának meghatározása. Azonban legtöbbször a folyamatok sztochasztikus jellegéből adódóan, illetve a folyamatok közötti kapcsolatok komplexitása miatt az optimalizálása nehézségekbe ütközik.

Ezért egy olyan készletszabályozó rendszer megvalósítása a cél, amelynek szabályozó algoritmusát Neuro-Fuzzy logikán (mesterséges intelligencia módszereken) alapul, vagyis a bemenő paraméterek közötti kapcsolatrendszer matematikai modellezése nélkül kerül meghatározásra az optimális készletnagyság a költségek és a készlethiány minimalizálása mellett. A rendszer ennek megfelelően javaslatot adna az adott termékkel kapcsolatos rendelésütemezési paraméterekre, ezáltal támogatható az operatív döntéshozó munkája, és növelhetővé válik a logisztikai folyamatok hatékonysága.

A dolgozatban egyrészt ennek a készletszabályozónak megvalósításához szükséges elméleti alapok kerülnek lefektetésre. Másrészt egy olyan alrendszer létrehozása történik meg, melyen keresztül bizonyítható Neuro-Fuzzy logika alkalmazhatósága készletezési problémák megoldására, illetve melynek folyamatos továbbfejlesztésével elérhető a kívánt készletszabályozó rendszer.

## 2. Készletgazdálkodás

Az előállítás és a felhasználás eltérő időbeli és térbeli ütemezése miatt az anyagáramlási folyamatban úgynevezett szakadási pontok jönnek létre. Ezeken a pontokon ideiglenesen nem áramló anyagok, készletek keletkeznek. A készlet nem más, mint az adott vállalat által felhalmozott anyagi javak (alapanyagok, félkész-, késztermékek) összessége, amely a termelési és elosztási folyamatban fellépő jövőbeni szükségletek kielégítésére szolgál.

### 2.1 Készletek csoportosítása

A készleteket csoportosíthatjuk a vagyonmérleghez kapcsolódóan, illetve a folyamatok során betöltött szerepük szerint.

A készlet számvitel szerinti csoportosítása [15]:

- vásárolt készletek: külső partnertől beszerzett készletek
  - anyagok: olyan készletek, amelyek a termelési folyamatban elvesztik tárgyi jellegüket, és értéküket átadják az előállított új terméknek/szolgáltatásnak
    - alap- és nyersanyagok,
    - segédanyagok,
    - fűtő- és üzemanyagok,
    - egyéb anyagok,
    - anyagi eszközök (berendezési, felszerelési tárgyak, szerszámok, gyártóeszközök),
    - elfekvő anyagok;
  - áruk: olyan készletek, amelyet a vállalat eladási, értékesítési szándékkal szerez be, vagyis a termelési folyamatban nem vesznek részt, állapotuk változatlan marad
    - kereskedelmi áruk (vendéglátó ipari, bolti készletek),
    - göngyölegek;
- saját termelésű készletek: a vállalat által előállított készletek

- késztermék: olyan termék, amely valamennyi megmunkálási folyamaton keresztül ment, minőségileg megfelel az előírásoknak, raktárra vehető és értékesíthető,
- félkész termék: olyan termék, amely egy teljes megmunkálási folyamaton keresztül ment, és így vették raktárra, de még további megmunkálására kerül sor,
- befejezetlen termelés: olyan termék, amely a vizsgált időpontban megmunkálás alatt áll, de legalább egy munkafolyamatot elvégeztek rajta,
- növendék-, hízó és egyéb állatok: sajátos gazdasági készletek.

A készlet funkcionális csoportosítása [8]:

- tervezett készlet: az előre sejthető, input és output folyamatokban előforduló mennyiségi és időbeli ingadozások (pl.: üzemszünetek, eladási csúcsidezőszakok) fedezésére szolgál;
- gyártási sorozat (ciklus) készlet: egy előre meghatározott időszakra vonatkozóan biztosítja a gyártási rendszer működésének folyamatosságát;
- fluktuációs (biztonsági) készlet: előre nem látható, az input és output folyamatokban előforduló mennyiségi és időbeli ingadozások (pl.: utánpótlási folyamat zavarai, átlagosnál nagyobb kereslet) fedezésére szolgál;
- szállítási (mozgó) készlet: a vállalatok közötti ellátási-elosztási csatornáknak a térbeli távolságok miatt tartandó készletek összessége;
- tartalék alkatrész készlet: a vállalatnál működő vagy az általa gyártott berendezések, termékek alkatrészeinek pótlására, cseréjére fenntartott készletek.

## **2.2 A készletezési folyamat költségei**

Az ellátási láncban a készletek költségnövelő szereppel rendelkeznek, azaz a vállalatok számára készletezés költségekkel jár. Ezeknek a költségeknek három csoportját különböztetjük meg:

- a készlet-utánpótlási,
- a készlettartási, valamint
- a hiányköltséget.

### **2.2.1 Készlet-utánpótlási költségek**

Készlet-utánpótlási költség azokat az állandó és változó költségeket jelenti, amelyek az árukészlet beszerzésével, megrendelésével, illetve a készáru-készleteknél vagy a saját előállítású félkész termékeknél a termék előállításával kapcsolatban felmerülnek. Ezek a költségek mindig valamilyen termelési és/vagy kereskedelmi megrendelésből adódnak. Azaz a megjelenési formáját, tartalmát döntően a készletezési rendszer funkcionális szerepe (termelési/kereskedelmi készlet) határozza meg.

Ennek megfelelően termelési megrendelések esetén az utánpótlási költségek legjellemzőbb megjelenési formái a következők lehetnek:

- a termék előállítási költsége,
- a termelési specifikációkból származó költségek,
- a termelő berendezések átállításából, beállításából származó költségek,
- a sorozatbeindításból származó költségek,
- a termelésszervezési apparátus fenntartási költségei;

a kereskedelmi megrendelések esetén pedig:

- a termék beszerzési ára,
- a megrendelés előkészítésének költsége,
- a megrendelés lebonyolításának költsége,
- a megrendelés követéséből származó költségek,
- a megrendelés átvételéből származó költségek,
- a beszerzési apparátus fenntartásának költsége.

A fenti költségek egy része függhet a beszerzendő mennyiségtől, míg a másik része attól független.

### **2.2.2 Készlettartási költségek**

A készlettartási költségek a készletek fenntartásával kapcsolatos ráfordításokat jelentik, amelyen belül megkülönböztethetünk a termék fizikai jellegéhez és érték jellegéhez kapcsolódó költségeket.

A termék fizikai jellegéhez kapcsolódó költségek a tárolással, kezeléssel összefüggő tevékenységhez fűződő ráfordítások, például:

- raktározási, tárolási létesítmények fenntartási, üzemeltetési, karbantartási és amortizációs költségei,
- anyagmozgatás költségei,
- különleges tárolási, kezelési költségek,
- tárolási veszteségek költségei,
- raktári személyzet bérköltsége.

A termék érték jellegéhez kapcsolódó költségek a készletbe, mint passzív forrásba történő tőkebefektetésből adódó veszteségeket jelentik, úgymint:

- a készletekbe fektetett tőke jövedelmezőségi normája,
- a készletezési rendszer tárgyi eszközeivel lekötött tőke jövedelmezőségi normája,
- a készletek értékcsökkenési vesztesége,
- a biztosítási költségek.

### 2.2.3 Hiányköltségek

A hiányköltségek a készlethiányból eredő veszteségek költségei, melyek a következők lehetnek:

- a rendelkezésre álló kapacitások kihasználatlanságából adódó költségek,
- a soron kívüli rendelésekből származó költségek,
- az elmaradó vagy a jövőbeli értékesítések veszteségei,
- a vevői rendelés fenntartásának költségei,
- a goodwill veszteségek.

A készletezési folyamattal kapcsolatos költségek pontos meghatározása azonban a gyakorlatban nehézségekbe ütközik. Egyrészt a költségek elkülönült módon kerülnek tárolásra, másrészt az egyes költségnemek és –helyek nehezen definiálhatók. Ezért a fajlagos költségek előállítása csak a nyilvántartott adatok korrekciós becslésével lehetséges. A készletmodellezés során általában a következő fajlagos költségtényezőkkel számolunk [8]:

- $c_b$  [Ft/db]: a beszerzendő mennyiséggel arányos (változó) költség,
- $c_1$  [Ft/megrendelés]: a beszerzés tényéhez kapcsolódó fix költség,
- $c_2$  [Ft/db\*nap]: a tárolás mennyiségétől és idejétől függő tárolási költség,



- $c_w$  [Ft/Ft\*nap]: időegységre és a raktárkészlet egységnyi értékére eső raktározási költség,
- $c_u$  [Ft/db]: mennyiségegységre eső fajlagos veszteségérték, amely a raktári rendszerben a szükségesnél több termék tárolásából adódik,
- $c_3$  [Ft/db\*nap]: a hiányzó készlet mennyiségétől és az időtől függő hiányköltség,
- $c_h$  [Ft/db]: mennyiségegységre eső fajlagos veszteségérték, amely a raktári rendszerben a szükségesnél kevesebb termék tárolásából adódik.

### 2.3 A készletezési rendszer

Az értékalkotási láncban a készlet kettős jelleggel rendelkezik. Egyrészt a folyamatban fellépő térbeli és időbeli különbségek áthidalása során, az anyagáramlás tényleges lebonyolításakor természetes jellege kerül előtérbe. Ugyanakkor a láncban az áru- és pénzviszonyok keretein belül elkülönült gazdasági érdekekkel rendelkező vállalatok kapcsolódnak össze, amelyek célja a piachoz való rugalmas alkalmazkodás versenyképességük megőrzése érdekében. Ennek lehetséges módjai a váratlan beszerzési vagy értékesítési problémák kivédése, az előnyös üzleti lehetőségek kihasználása a készlet tartás által. Ebben az esetben a készlet értékjellegének jut kiemelkedő szerepe.

A fentiek eredményeként elmondható, hogy a készlet tartás szükségességét a készlet kettős jellegéből adódóan fizikai és gazdasági kényszer egyaránt indokolja. Azonban minden esetben a végső cél ellátási-termelési-elosztási folyamatok stabilitásának biztosítása, és ezáltal az egész értékalkotó lánc optimális működésének elérése. A végső cél felbontható részcélokra, melyek három csoportját különböztethetjük meg [11]:

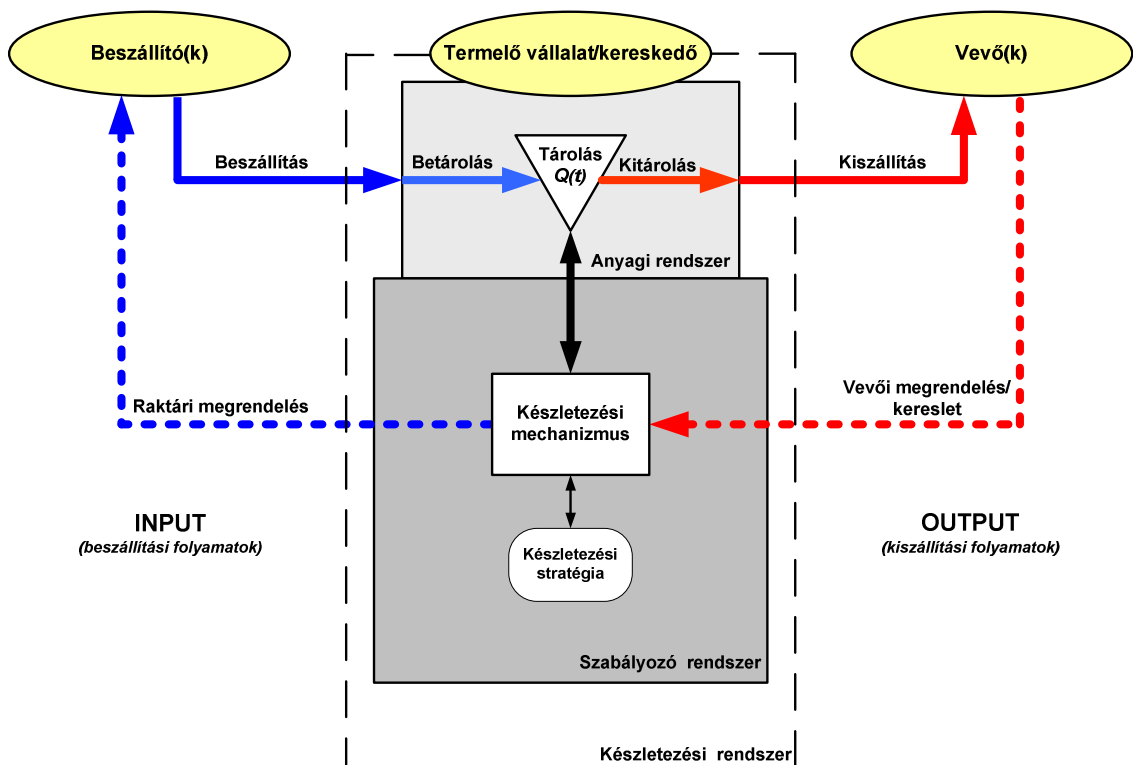
- a keresleti és utánpótlási folyamatban mutatkozó, normálisnak tekinthető ingadozások, ütemkülönbségek kiegyenlítése,
- váratlan problémák esetén manőverezési lehetőségek biztosítása,
- üzleti lehetőségek kihasználása.

Összefoglalva a vállalati célok teljesítéséhez és a vállalat működési stabilitása érdekében készletek egy megadott szinten tartása szükséges. A vállalat tevékenységi rendszerén belül a készletgazdálkodás feladata, hogy a termelési és a fogyasztási folyamatok zavartalan működéséhez szükséges anyagok és termékek a megfelelő

helyen, mennyiségben, összetételben, valamint időben rendelkezésre álljanak gazdaságossági szempontokat figyelembe véve. Ezek alapján a készletgazdálkodás során a következő kérdéseket kell tudni megválaszolni:

- Milyen termékből legyen készlet?
- Az igények (kereslet) kielégítéséhez mekkora készlet szükséges?
- A megfelelő készletszintet milyen döntési-szabályozási folyamatokkal lehet elérni?
- Mekkora a készlettartás költségvonzata, hogyan finanszírozható, és milyen mértékű megtérülésre számíthatunk?

A fenti döntések meghozatalához szükséges szabályokat és eljárásokat hangolja össze a készletezési rendszer. Vagyis a készletezési rendszer (1. ábra) gondoskodik a készletek fenntartásához és szabályozásához szükséges szervezeti rendszerről és működési politikáról. Ennek megfelelően két részét különíthetjük el: egy anyagi és egy szabályozó rendszert.



1. ábra. A készletezési rendszer

### 2.3.1 A készletezési rendszer működése

Az anyagi rendszer alatt a láncban található raktárak értendők a bennük zajló folyamatokkal együtt. Az anyagi rendszer feladata a készletezésnek, mint anyagi folyamatnak a megvalósítása. Ennek megfelelően három részfolyamatot különböztethetünk meg:

- beszállítási (raktári megrendelés, beszállítás, betárolás),
- tárolási,
- kiszállítási (kereslet, kitárolás, kiszállítás) folyamatot.

Az input és output folyamatok mennyiségi és időbeli tulajdonságai közvetlen hatást gyakorolnak a készlet nagyság időbeli alakulására. Ezek a folyamatjellemzők attól függően, hogy statisztikai szempontból egy előre meghatározható értékkel leírhatók vagy véletlen jelleget öltenek, lehetnek determinisztikusak vagy sztochasztikusak.

A kiszállítás következtében csökken a készlet nagyság, ugyanakkor beszállításkor készlet feltöltésére kerül sor. Ezáltal az anyagáramlásban a készlet összeköti a mindenkor keresletet a kínálattal. Azonban a tárolt készletnek minden esetben biztosítani kell:

- a termékek iránti időben és mennyiségben változó kereslet kielégítését,
- az értékalkotási láncban az egyes tevékenységek függetlenségének fenntartását,
- a termelésütemezés rugalmasságát,
- a folyamatok sztochasztikus jellegéből fakadó bizonytalanságok fedezését,
- a felmerülő piaci lehetőségek, előnyök kihasználását.

Az előzőekben felsoroltak a készlet nagyságának növelésével érhetőek el. Azonban a készlet tartás költségvonzattal rendelkezik, mely miatt a készletszint minimalizálására kell törekedni. Ezért a vállalatok által kitűzött gyakorlati cél az adott körülmények szempontjából optimális készletszint meghatározása. Ezt az optimalizálási folyamatot valósíthatja meg egy korszerű módszereken és eljárásokon alapuló szabályozó rendszer.

Egy készletszabályozó rendszer feladata az adott (termelési, fogyasztási stb.) folyamatrendszer anyagszükségleteinek kielégítése, készletezési stratégia/stratégiák működtetése, gazdasági és/vagy megbízhatósági szempontok alapján optimalizált készletszint meghatározása és annak dinamikus szinten tartása. Ennek megfelelően a

szabályozó rendszerben részfolyamatként jelenik meg a készletfigyelés, a készletezési stratégia működtetése és a rendelésfeladás. [8]

A szabályozó közvetlenül az anyagi rendszerhez kapcsolódik, melynek folyamatait feladatköréből adódóan térben és időben szabályozza. Pontosabban a rendelésfeladásokon keresztül hatást gyakorol az ellátási lánc egyes pontjain képződő készletmennyiségekre, ezáltal a teljes készletezési folyamat maximális működési hatékonyságára törekedve.

A készletezési rendszer működésének ismertetése előtt szükséges a szabályozáshoz kapcsolódó jellemzők definiálása, melyek a következők [8]:

- szabályozott jellemző: az a készletmennyiség, amelyet a döntéshozóknak a vezető jellemző útján közölt szándékai szerint tartania kell;
- eltérítő jellemző: mindazokat a hatásokat jelenti, amelyek a készletmennyiséget a norma szerinti értéktől eltéríthetik (pl.: a tényleges kereslet, az utánpótlás zavara, egyéb a rendszert érő külső zavaró hatás);
- beavatkozó jellemző: a döntéshozó által feladott rendelés időpontja és mennyisége, amelyek a szabályozott jellemző értékére hatással vannak;
- vezető jellemző: a döntéshozó szándékai, amelyek tükrözik a rendszer tényezőit, illetve azok változásait, és melyek a készletezési mechanizmus paramétereiben, változásaiban jelennek meg.

A készletezési rendszert elsődlegesen a környezetből érkező kereslet hozza működésbe. A fellépő keresletre vonatkozó információk készletezési mechanizmushoz érkeznek. A készletezési mechanizmus egy szabályozó elem, mely működteti a készletezési stratégiát, illetve a rendszerrel szemben megfogalmazott célkitűzéseket, követelményeket teljesíti.

Az adott igény kielégítését követően a készletmennyiségben, mint szabályozott jellemzőben változás következik be. Ahhoz, hogy a szabályozott jellemző értékét egy meghatározott szinten tartsuk, mérhetőnek kell lennie. A mérés történhet közvetlenül a készletmennyiség változásának figyelésével, illetve közvetetten, a szabályozott jellemzővel egyértelműen kapcsolatban lévő jellemzők mérésével. Ez jelentheti a kereslet és kielégítésének vagy az input-output folyamatok mérését is.

Következő lépésként a rendszer összehasonlítja a szabályozott jellemző mért, aktuális értékét a vezető jellemzők által meghatározott készletértékkel. Az így képzett

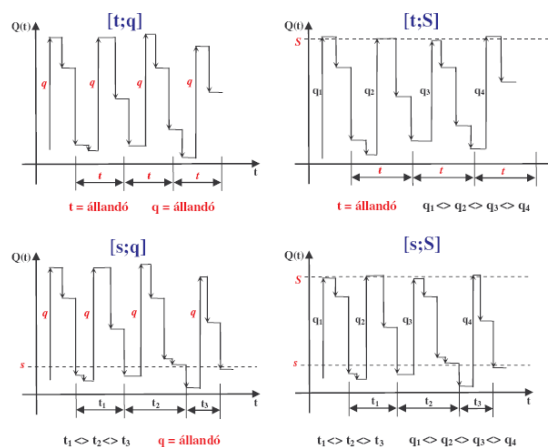
különbség függvényében a zavaró hatások mérséklése érdekében döntenie kell a döntéshozónak, mikor és mennyit rendeljen, mivel a rendelés tölti be a szabályozó szerepét. Azaz rendszerbe való tényleges beavatkozás a készlet helyreállítását célzó rendelésen és az ez által generált beszállítási folyamatokon keresztül valósul meg

A szabályozás végeredményeként olyan választ kapunk a „mikor és mennyit rendeljünk” kérdésekre, melynek függvényében az anyagi rendszer az adott körülményekhez képest leghatékonyabban működik, vagyis a készletezési folyamat hatékonysága megközelíti a maximumot.

A kérdésekre adott egyértelmű válaszhoz a készletezési stratégián keresztül juthatunk. A feladat során alkalmazott stratégia tulajdonképpen azt a módot fogja jelenteni, mely által a döntéshozó céljait el kívánja érni, illetve a rendszer működésével szemben támasztott követelményeket teljesíteni. A „klasszikus” kétparaméteres készletezési stratégiák a mikor és mennyit kérdésekre adható válaszok kombinációját jelentik, mely válaszok a következők lehetnek:

- a rendelés időpontjára vonatkozóan a rendelés feladható:
  - rögzített időközönként ( $t$ ), vagy
  - a készlet szint minimális érték ( $s$ ) alá csökkenése esetén;
- a rendelés mennyiségére vonatkozóan:
  - a rendelési tétel nagyság ( $q$ ) rögzített, vagy
  - a rendelés egy olyan volumenre szól, mely beérkezése után a készlet szint egy előre rögzített maximális értéket ( $S$ ) ér el.

A fentiek függvényében beszélhetünk  $[t,q]$ ,  $[t,S]$ ,  $[s,q]$  és  $[s,S]$  stratégiákról (2. ábra).



2. ábra. Készletezési stratégiák [8]

Az optimális készletszint meghatározása a gyakorlatban általában operatív munkavégzés során a készletezési rendszer működése révén szerzett tapasztalatokat felhasználva, illetve készletezési modellek alkalmazásával történik. Az első esetben a döntéshozó szubjektivitása miatt előfordulhat, hogy az általa meghatározott készletszint jelentős mértékben eltér az adott körülmények szempontjából optimálisnak tekinthető készletnagyságtól, azaz készlethiány vagy túlkészletezés jön létre.

A készletmodellek, melyek a bemeneti és kimeneti paraméterek közötti kapcsolatok – ezáltal a teljes készletezési folyamat - matematikai modellezését valósítják meg, ellenben csak meghatározott szabály- és feltételrendszer esetén alkalmazhatóak. Ezért sokszor a készletezési probléma megoldását nehezíti a megfelelő készletmodell kiválasztása, vagy éppen az alkalmazandó modell bonyolultsága, és az általa megkívánt számítási kapacitás nagysága.

A következőkben a cél egy olyan készletszabályozó rendszer megvalósíthatóságának bizonyítása, mely a folyamat jellegétől függetlenül, a folyamatot alkotó elemek közötti matematikai összefüggések ismerete nélkül, költségminimalizáló és megbízhatósági szempontokat figyelembe véve képes a készletnagyság folyamatos optimalizálására. A rendszer javaslatot adna az adott termékkel kapcsolatos rendelésütemezési paraméterekre, ezáltal támogathatóvá válna az operatív döntéshozó munkája, illetve növelhetővé a logisztikai folyamatok hatékonysága.

A fentiekben definiált célok elérésének a legalkalmasabb módját a mesterséges intelligencia (MI) módszereinek alkalmazása jelentené. Ugyanis a MI módszerek az emberi gondolkodási folyamatra épülő döntéshozatalt, problémamegoldást, valamint tanulást automatizálják. Pontosabban az ember azon tulajdonságának számítógépes környezetbe való átültetését jelentik, mely által a múltbeli események ismeretére alapozva képes a jelen és a jövőbeni helyzetek kezelésére, és az ehhez kapcsolódóan fellépő kérdésekre minden vonatkozásban kimerítőbb, biztonságosabb és kompetensebb módon reagálni, ezáltal a rendelkezésre álló alternatívák közül a számára legjobbat kiválasztani [6].

A következő fejezetben azoknak a MI módszereknek a részletes bemutatására térnék ki, amelyek az adott készletezési probléma megoldása során felhasználásra kerültek - neurális hálózatok, fuzzy rendszerek, illetve a kombinációjukat jelentő

Neuro-Fuzzy rendszerek,- ezzel biztosítva a szabályozó megvalósításához, működésének megértéséhez szükséges háttér információk megismerését.

### 3. Mesterséges intelligencia

A mesterséges intelligencia (MI) az egyik legújabb tudományos terület, mely a természetben lezajló biológiai folyamatokra épül. Alapgondolatát a közelítő, ugyanakkor rendkívül hatásos, gyors és rugalmas emberi gondolkodáshoz való visszatérés képezi. Az emberi gondolkodási, következtetési folyamat modellezése és matematizálása révén a MI módszerek képesek racionális döntéseket hozni a környezet bizonytalansága és pontatlansága ellenére is. Ezáltal lehetőséget biztosítva a nemlineáris, komplex rendszerek vizsgálatára, illetve a pontatlansággal és a bizonytalansággal szembeni toleranciát kihasználva a vizsgált rendszer jobban közelítő, egyszerűbb, robosztusabb modelljének kifejlesztésére alacsonyabban áron a kommunikáció és a számítási idő rövidítésével. [1] [2]

A mesterséges intelligencia módszerek, vagy más néven soft computing (lágy számítás) módszerek közé tartoznak:

- *a neurális hálózatok,*
- *a fuzzy rendszerek,*
- a genetikus algoritmusok.

#### 3.1 Neurális hálózat

A neurális hálózat egy speciális információ-feldolgozó rendszer (3. ábra). Pontosabban az agysejtek rendkívül leegyszerűsített modelljét képező mesterséges neuronokból, csomópontokból álló, súlyozott összekötésekkel erőteljesen kapcsolódó párhuzamos hálózat, amely bemeneti és kimeneti minták közötti bonyolult, nemlineáris leképezéseket képes megtanulni. Három alapvető jellemzővel rendelkezik:

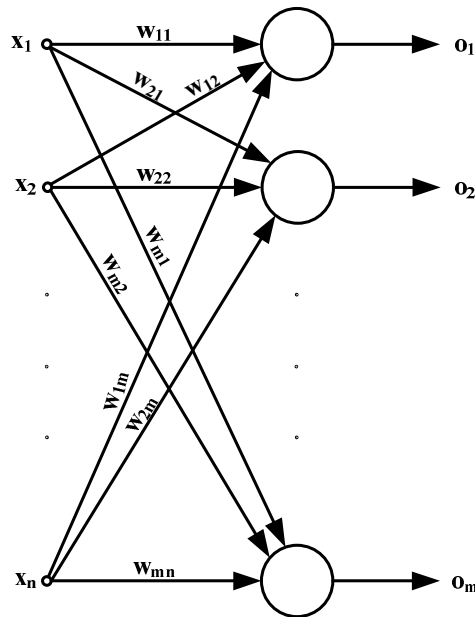
- neuron,
- topológia,
- tanulási szabály.

##### 3.1.1 A neuron

A neurális hálózat feldolgozó eleme a neuron, amely több bemenetű ( $x_1, x_2 \dots x_n$ ) egy kimenetű ( $o$ ) eszközként jellemezhető. A neuronok a hálózaton belül rétegekbe rendeződnek. Így az adott neuronhoz az előző réteg neuronjaitól különböző súlyozott



kapcsolatokon keresztül bemeneti információk érkezik. A súly ( $w_1, w_2 \dots w_n$ ) jellemzi az összekötésben lévő elemek kapcsolatának erősségét.

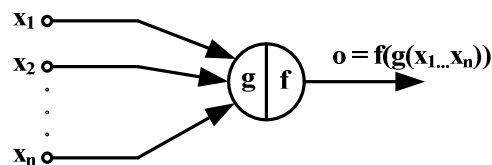


3. ábra. A neurális hálózat

A kapott információt a neuron (4. ábra) függvények segítségével feldolgozza, egyetlen kimeneti értékévé vonja össze, és ezt követően továbbítja a következő réteg neuronjainak.

A bemenetek (ingerek) egyetlen kimeneti értékévé (válasz) történő redukálása miatt a neuronnak két funkcionális részét különböztetjük meg:

- az összegző (integráló) függvényt ( $g$ ), és
- az aktivizációs (kimeneti) függvényt ( $f$ ).



4. ábra. A neuron modell

Az összegző függvény feladata, hogy az  $n$  számú bemeneti változót egyetlen értékévé vonja össze. Ezt legtöbbször a bemenetek és a hozzájuk tartozó súlyok szorzatösszegének előállításával valósítja meg:

$$g = \sum_{i=1}^n w_i x_i = \mathbf{w}^T \mathbf{x}$$

ahol  $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_n]$  a súlyvektor,

$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n]$  a bemeneti vektor.

Az összegző kimenetének lineáris vagy nem lineáris leképezését az aktivizációs függvény valósítja meg, mely előállítja a tényleges kimeneti értéket:

$$o = f(g) = f(\mathbf{w}^T \mathbf{x})$$

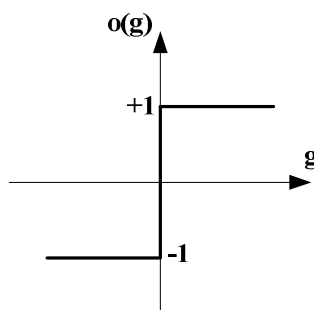
Lineáris leképezés során az integráló és aktivizációs függvény kimenete megegyezik:

$$o = g = \mathbf{w}^T \mathbf{x}$$

A nemlineáris aktivizációs függvény küszöbfüggvény típusú leképezést jelent, melynek értelmezési tartománya általában a valós számok halmaza, értékészlete pedig a valós számok egy korlátos részhalmaza. Tulajdonképpen a kimenet értékét két aszimptota közé korlátozza, ezáltal szabályozhatóvá téve a neuron választát.

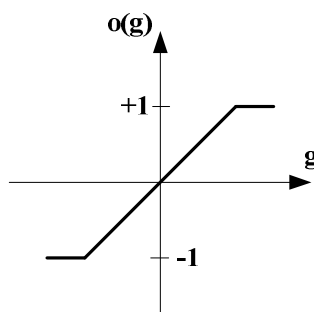
A leggyakrabban alkalmazott aktivizációs függvények:

- lépcsőfüggvény:



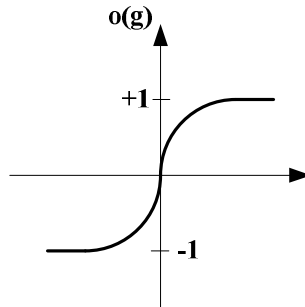
$$o = \begin{cases} +1, & g > 0 \\ -1, & g \leq 0 \end{cases}$$

- telítéssel lineáris függvény:



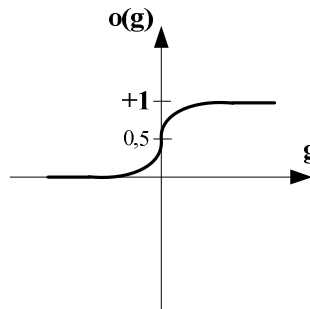
$$o = \begin{cases} +1, & g > 1 \\ g, & -1 \leq g \leq 1 \\ -1, & g < -1 \end{cases}$$

- tangens hiperbolikus függvény:



$$o = \frac{1 - e^{-Kg}}{1 + e^{-Kg}}; K > 0$$

- logisztikus függvény:



$$o = \frac{1}{1 + e^{-Kg}}; K > 0$$

### 3.1.2 A neurális hálózatok topológiája

A neurális hálózatok topológiáján a neuronok összekapcsolási rendszere és a hálózat bemeneteinek, kimeneteinek helye értendő. A topológia pontosan meghatározza a neuronok számát, valamint azok összeköttetését, mely az összeköttetési vagy súlymátrixszal jellemezhető:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & \dots & & w_{mn} \end{bmatrix}$$

A  $W$  súlymátrix egy  $m \times n$ -es, ahol a súly ( $w_{ij}$ ) első indexe ( $i = 1, 2 \dots m$ ) jelöli a célneuronot, a második ( $j = 1, 2 \dots n$ ) a forrásneuronot.

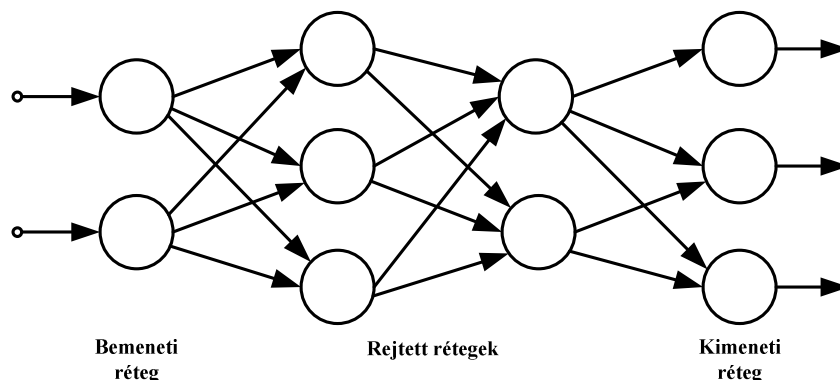
A hálózat topológiáját irányított gráffal reprezentálhatjuk, melyek csomópontjait képezik a neuronok, illetve az éleihez értelemszerűen hozzárendelhetők a súlytényezők.

A neurális hálózaton belül háromféle neuron típust tudunk megkülönböztetni:

- bemeneti neuron: bemenete egyben a hálózat bemenetét is jelenti, kimenete pedig más neuronok bemenetét szolgáltatják,
- kimeneti neuron: kimenete a környezet felé irányítja a kívánt információt,
- rejtett neuron: mind bemenetével, mind kimenetével más neuronokhoz kapcsolódik.

Az azonos típusú neuronok rétegeket alkotnak, ezért a fentiek függvényében beszélhetünk:

- bemeneti rétegről (bemeneti neuronok alkotják),
- kimeneti rétegről (kimeneti neuronok alkotják),
- rejtett rétegről (rejtett neuronok alkotják).

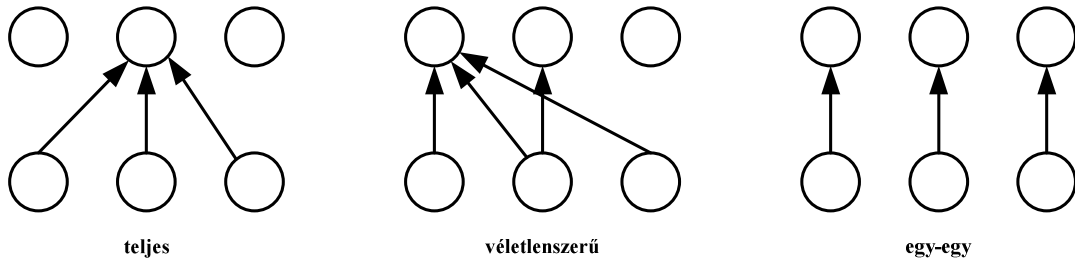


5. ábra. A neurális hálózat topológiája

A bemeneti réteg információfeldolgozást nem végez, feladata csupán a háló bemeneteinek a következő réteg bemeneteihez való eljuttatása. Ennek megfelelően a hálózatnak legalább két réteggel, egy bementi és egy kimeneti réteggel kell rendelkezni. A két réteg között viszont tetszőleges számú közvetítő szerepet betöltő rejtett réteg helyezkedhet el.

A rétegek közötti kapcsolat (6. ábra) kialakítására többféle megoldás alkalmazható:

- teljes kapcsolat: a két réteg minden elemét összekötjük egymással,
- véletlenszerű kapcsolat: két réteg elemei között véletlenszerűen alakítunk ki kapcsolatokat, ekkor csak az elemek egy részhalmaza kerül kapcsolatba a két rétegben,
- egy-egy kapcsolat: az egyik réteg minden eleméhez a másik rétegnek csak egy elemét kapcsoljuk.



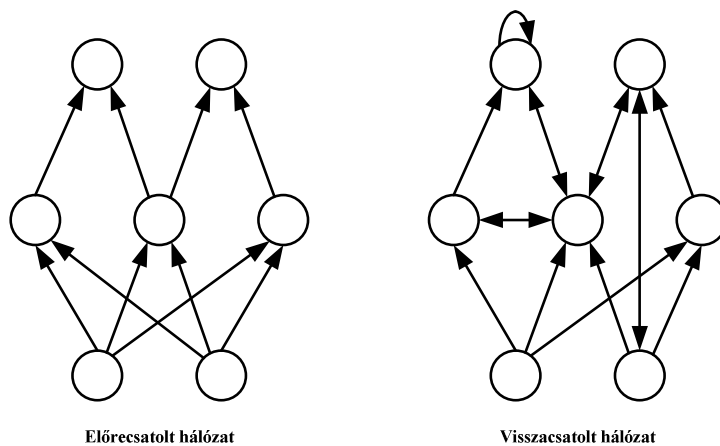
6. ábra. A rétegek közötti kapcsolatok

Fontos megemlíteni a rétegekben belül kialakítható kapcsolatokat is, melynek két típusát alkalmazhatjuk:

- recurrent: a réteg elemei részben vagy teljesen össze vannak kötve egymással,
- on-center/off-surround: a réteg elemei saját magukkal és a szomszédjaikkal is összeköttetésben állnak, illetve távolabbi elemekkel is össze lehetnek kapcsolva.

Az információ átadás iránya szerint a neurális hálózatoknak kétféle topológiáját különböztetjük meg:

- előrecsatolt, és
- visszacsatolt topológiákat.



7. ábra. Előrecsatolt és visszacsatolt neurális hálózat

Az előrecsatolt hálózatoknál az információ csak egy irányba halad: a bemeneti réteg felől a kimeneti réteg felé. Ekkor a hálózatot jellemző súlymátrix egy háromszög mátrix, mely főátlóbeli elemei nullaértékűek.

A visszacsatoltnak tekinthető az a hálózat, melynek topológiáját reprezentáló irányított gráf hurkot tartalmaz, vagyis a továbbított információ közvetlenül vagy közvetve visszakerülhet a küldő elemhez. Beszélhetünk globális és lokális visszacsatolásról. Globális visszacsatolásnál a hálózat kimenetét csatoljuk vissza a bemenetére. A lokális visszacsatolásnak pedig három lehetséges módja ismert:

- elemi visszacsatolás: a réteg egy neuronjának kimenete közvetlenül saját bemenetére van visszacsatolva;
- laterális visszacsatolás: a réteget alkotó neuronok között valósul meg a visszacsatolás;
- rétegek közötti visszacsatolás: a réteg kimenetét nála alacsonyabb sorszámú réteg bemenetével kapcsoljuk össze.

### 3.1.3 A neurális hálózat tanulása

A neurális hálózat egyik legfőbb tulajdonsága az adaptációs, tanulási képesség. A tanulása alatt olyan folyamat értendő, amely arra kényszeríti a hálózatot, hogy súlyait és/vagy felépítését úgy változtassa, és ezáltal a rendszer viselkedését, hogy

- az adott bemenetekre a kívánt válaszokat adja, vagy
- a válaszok ismerete nélkül képes legyen a rendszer a bemenetekben valamilyen szabályosságot (hasonlóságot, különbözőséget) feltárni, vagy
- alkalmazkodni tudjon a változó körülményekhez.

A neurális hálózatokban a tanulás alábbi formáival találkozhatunk:

- felügyelt (ellenőrzött) tanulás,
- nem felügyelt (nem ellenőrzött) tanulás,
- megerősítő tanulás.

A felügyelt vagy tanítóval történő tanuláskor rendelkezésünkre állnak a bemeneti minták és a hozzájuk tartozó helyes kimeneti értékek. Vagyis adottak a helyes vagy kívánt  $(x, d)$  input-output mintapárok. A hálózat által szolgáltatott kimenet  $o$  és a cél kimenet  $d$  összehasonlításából képezhetünk egy hibajeleket. Ezt a hibajeleket a súlytényezők állításával szeretnénk minimalizálni, mely egy szélsőérték kereső feladatot eredményez.

A felhasznált szélsőérték kereső eljárás sokféle lehet. Azonban mindegyik esetében elmondható, hogy a tanulás minden lépésében ellenőrizhető a kapott eredmény helyessége, hibája. A felügyelt tanulás célja, hogy a tanítandó rendszer felépítését olyan módon válasszuk meg, alakítsuk ki, hogy a megtanított rendszer működése minél inkább megfeleljen a vizsgált rendszer működésének.

Nem ellenőrzött tanulás esetén nem ismerjük a bemenetekhez tartozó helyes válaszokat. Ezért tanulás során magának a hálózatnak kell az  $x$  bemenetek és a hozzájuk tartozó aktuális  $o$  kimenetek alapján valamilyen viselkedést kialakítani. A környezetből azonban nem kapunk visszajelzést a válaszok helyességére vonatkozóan. Ezért a hálózat a tanulás során a bemenetek esetleges szabályszerűségeit vizsgálja: hasonlóságok keresése, az input adatok osztályokba sorolása, kategorizálása.

Megerősítő tanulásnál továbbra sem állnak rendelkezésre a bemeneti értékekhez tartozó helyes válaszok, azonban információval rendelkezünk arra vonatkozólag, hogy a tanulás során a hálózat állapota javult vagy romlott. Vagyis ha a kimenet jó irányú változást mutat, megjutalmazzuk a hálózatot, ellenkező esetben pedig megbüntetjük. Ezek alapján eldönthetjük, hogy szükséges-e a hálózat további módosítása vagy sem. [2]

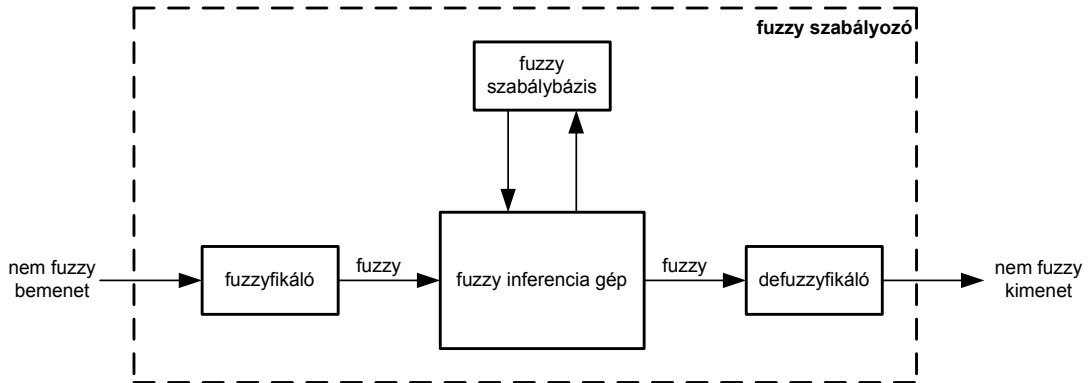
### **3.2 Fuzzy rendszerek**

A hétköznapi életben az emberek számára legtöbbször bizonytalan adatok állnak rendelkezésre döntéseik meghozatalához, csak következtetni tudnak a helyes megoldásra. Ezt a közelítő következtetést, a megoldáshoz vezető gondolkodást transzformálja matematikai alakba a fuzzy logika. Tehát a fuzzy logika alapját az képezi, ahogyan az ember pontatlan információkra alapozva következtet a szavak segítségével, melyeken keresztül az emberi tudás reprezentálódik.

A fuzzy logika képes egyesíteni a szakértői tudást mérési információkkal, ezáltal irányíthatóvá válnak olyan folyamatok, amelyek a klasszikus számítási eljárásokkal nem vagy csak igen körülményesen lennének kezelhetők.

A fuzzy rendszer egy tudás-bázisú vagy szabály-bázisú rendszer, mely bizonytalan jellegű adatokat felhasználva közelítő következtetéssel modellezi a vizsgált folyamatot. Egy több bemenetes – egy kimenetes (MISO) emberi tudás transzformálásából származó nemlineáris leképezést valósít meg. A működésének

alapját a szakértelemről nyert szabályok megfelelően kialakított készlete alkotja. A rendszer a „HA-AKKOR” típusú szabályok segítségével következtetéseket végez, majd azok eredményeit összegzi. Vagyis nincs szükség a bemeneti és kimeneti paraméterek közötti matematikai összefüggések felírására. Mivel a szabályok szavak összességéként értelmezhető, ezért tulajdonképpen a fuzzy rendszerekben a szavakkal végzünk számítást.



8. ábra. Fuzzy szabályozó felépítése

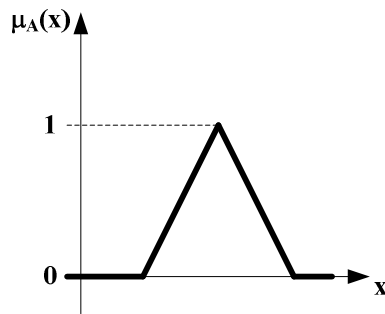
A leggyakrabban alkalmazott fuzzy szabályozók a Mamdani, a Takagi-Sugeno és a Tsukamoto inferencia módszerek. Mindegyik esetben a fuzzy szabályozó (8. ábra) központi részét egy inferencia gép képezi, mely feladata a bemenő paraméterek és a hozzákapcsolódó szabálybázis alapján következtetni a kimenő paraméterek értékére. Azonban az inferencia gép számára a bemenő numerikus adatokat fuzzyvá kell alakítani, ez a fuzzyfikálás folyamata. Ezzel ellentétben az előállított kimenő fuzzy eredményt numerikus értéké kell konvertálni, vagyis defuzzyfikálni szükséges. [1] [2]

### 3.2.1 Fuzzy halmazok

A bizonytalan és pontatlan adatok kezelésére, illetve a hozzájuk kapcsolódó következtetések elvégezhetősége érdekében be kell vezetni a fuzzy halmaz fogalmát, mely alatt a klasszikus kétértékű halmazelmélet kiterjesztéseként létrejövő speciális halmaz értendő. Az értelmezési tartomány elemeinek az adott fuzzy vagy élelten halmazhoz tartozása  $[0,1]$  intervallumba eső értékkel jellemezhető. A fuzzy halmazhoz való hozzátartozás mértéke kifejezhető egy folytonosan változó tagsági függvény segítségével, mely az  $X$  alaphalmaz elemeit egy  $[0,1]$  intervallumba képezi le:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1], \quad x \in X$$





9. ábra. Fuzzy tagsági függvény

A leggyakrabban alkalmazott tagsági függvények:

- háromszög függvény,
- trapéz függvény,
- Gauss görbe,
- haranggörbe,
- szigmoid függvény.

Az alaphalmaz minden eleméhez tartozni fog egy tagsági érték. Az így keletkező rendezett számpárok  $(x, \mu_A(x))$  összességét nevezzük az alaphalmazon értelmezett fuzzy halmaznak:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, \mu_A(x) \in R\}$$

A fuzzy halmaz további lehetséges írásmódjai:

- ha  $x$  folytonos:

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x}$$

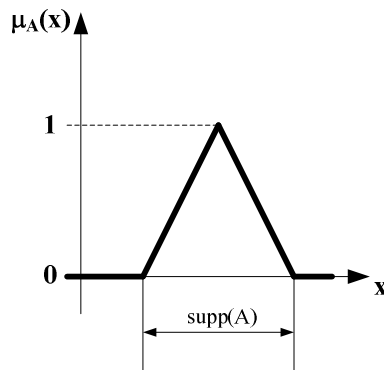
- ha  $x$  diszkrét:

$$A = \sum_{x \in X} \frac{\mu_A(x)}{x}$$

Fontos megemlíteni néhány, a fuzzy halmazok szempontjából fontos jellemzőt, úgymint:

- szupport: egy  $A$  fuzzy halmaz szupportja olyan éles halmaz, amely az  $X$  minden olyan elemét tartalmazza, amelynek nem zérus a tagsági függvénye

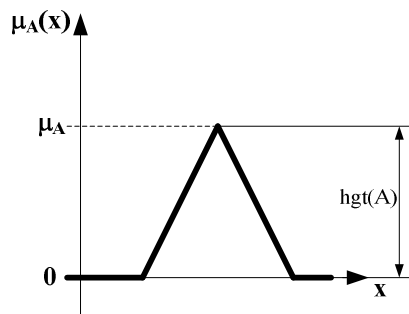
$$\text{supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$



10. ábra. A fuzzy halmaz szupportja

- singleton: olyan fuzzy halmaz, amelynek szupportja egyetlen pont  $X$ -ben, (a numerikus éles bemenetek singleton fuzzy halmazként értelmezhetők);
- magasság: a legnagyobb tagsági függvényérték

$$hgt(A) = \{x \in X \mid \max(\mu_A(x))\}$$



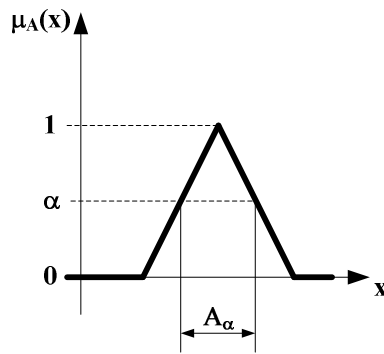
11. ábra. A fuzzy halmaz magassága

- normalizált fuzzy halmaz: olyan fuzzy halmaz, amely tartalmaz legalább egy olyan  $x \in X$  elemet, amelynek tagsági függvényértéke  $\mu_A(x) = 1$ , vagyis

$$hgt(A) = 1$$

- $\alpha$ -vágat: egy fuzzy halmaz  $\alpha$ -vágata egy olyan  $A_\alpha$  éles halmaz, amely  $X$  mindazon elemét tartalmazza, amelyekhez  $A$ -nak  $\alpha$ -nál nagyobb vagy azzal egyenlő tagsági függvényértéke tartozik

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}$$



12. ábra. A fuzzy halmaz  $\alpha$ -vágata

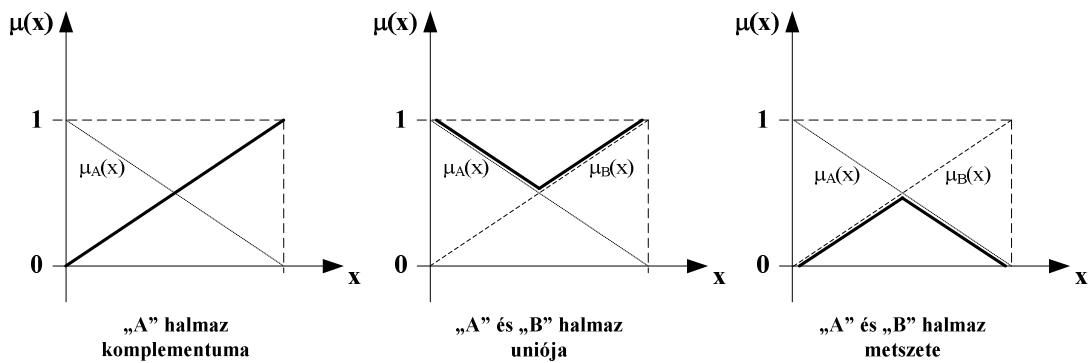
- konvex fuzzy halmaz: egy fuzzy halmazt konvexnek nevezünk akkor, és csakis akkor, ha annak  $A_\alpha$   $\alpha$ -vágatai a  $[0,1]$  intervallumban minden  $\alpha$ -ra konvex;
- fuzzy szám: egy konvex, normalizált  $A$  fuzzy halmazt az  $R$  valós számok halmazán fuzzy számnak nevezük, ha
  - legalább egy  $x$  érték létezik  $\mu_A(x)=1$  értékkel, és
  - $\mu_A(x)$  legalább szakaszosan folytonos.

A fuzzy számok a fuzzy halmazok aritmetikai számításokra alkalmasabb típusai, a numerikus adatok határozatlanságát, bizonytalanságát reprezentálják, (a „majdnem”, „körülbelül” címkék jellemzésére alkalmasak).

### 3.2.2 Fuzzy műveletek

A különböző fuzzy halmazok módosítása és összekapcsolása fuzzy műveletek segítségével valósítható meg. A műveletek célja, hogy a halmazok egyedi értékeléséből egy eredő értékelést nyerjünk. A fuzzy halmazok esetén három alapműveletet (13. ábra) különböztetünk meg:

- a komplement-, ( $\bar{A}: \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ );
- az unió-, ( $A \cup B: \mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)]$ );
- a metszetképzést, ( $A \cap B: \mu_{A \cap B}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)]$ ).



13. ábra. Fuzzy műveletek

Ezeket sztenderd műveleteknek is szokták nevezni. Napjainkra számos változatukat (pl.: rendezett, axiómákra épülő műveleteiket) dolgozták ki, annak érdekében, hogy a gyakorlatban minél jobban alkalmazható alkalmazásokat hozhassanak létre, mivel a sztenderd műveletek nem minden esetben felelnek meg a követelményeknek.

Komplementum általában egy függvénynek tekinthető, aminek minden értéke egy olyan fuzzy halmazhoz való tartozás mértékét fejezi ki, ami az eredeti halmaz ( $A$ ) negáltjának felel meg, és  $c: [0,1] \rightarrow [0,1]$  leképezést valósít meg:

$$c[\mu_A(x)] = \mu_{\bar{A}}(x)$$

A  $c$  függvény csak akkor tekinthető komplementumnak, ha következő két követelményt kielégíti:

1. Határfeltételek:  $c(0) = 1$  és  $c(1) = 0$
2. Monotonitás:  $a < b \Rightarrow c(a) \geq c(b)$ ;  $\forall a, b \in [0,1]$

Az unióképzésnek az  $s$ -normának feleltethető meg. A  $s$ -norma egy olyan  $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  leképezés, amely az  $A$  és  $B$  fuzzy halmazok tagsági függvényeit  $A$  és  $B$  uniójává transzformálja:

$$s[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cup B}(x)$$

Ahhoz, hogy egy függvény  $s$ -normának legyen minősíthető, négy feltételt kell teljesítenie:

1. Határfeltételek:  $s(1,1) = 1$ ;  $s(0, a) = s(a, 0) = a$
2. Kommutativitás:  $s(a, b) = s(b, a)$
3. Monotonitás:  $a \leq a'$  és  $b \leq b' \Rightarrow s(a, b) \leq s(a', b')$

4. Asszociativitás:  $s(s(a, b)c) = s(a, s(b, c))$

Az  $A$  és  $B$  fuzzy halmaz tagsági függvényeit  $A$  és  $B$  metszetévé transzformáló  $t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  leképezést valósítja meg a t-norma:

$$t[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_{A \cap B}(x)$$

A  $t$  függvény, akkor minősül metszetnek, ha következő követelményeket teljesíti:

1. Határfeltételek:  $t(0,0) = 0$ ;  $t(1, a) = t(a, 1) = a$
2. Kommutativitás:  $t(a, b) = t(b, a)$
3. Monotonitás:  $a \leq a'$  és  $b \leq b' \Rightarrow t(a, b) \leq t(a', b')$
4. Asszociativitás:  $t(t(a, b)c) = t(a, t(b, c))$

### 3.2.3 Fuzzy szabályok és relációk

A fuzzy szabályok az emberi következtetést leíró feltételes állítások, amelyek leírják egy (vagy több) nyelvi változó (következmény) függőségét egy vagy több nyelvi változótól (feltételtől). A „HA-AKKOR” szabály általánosan a következő formában írható fel:

*HA <fuzzy propozíció(k)> (feltétel) AKKOR <fuzzy propozíció> (következmény).*

A fuzzy propozíció (állítás, kijelentés) alatt a nyelvi változó speciális értékelése értendő.

A fuzzy szabályok feltétel és következmény részei eltérő alaphalmazokon vannak definiálva. Ezért szükséges a különböző halmazok elemei közötti kapcsolatok, asszociációk létének vizsgálata, melyekről információt a fuzzy relációk adnak. A fuzzy relációkban elemek rendezett párojai kerülnek vizsgálatra, amelyek egy bizonyos mértékben viszonyulnak, kapcsolódnak egymáshoz.

A fuzzy reláció a fuzzy halmazok kartézianus szorzatán kerül értelmezésre. A kartézianus szorzat  $X_1, X_2, \dots, X_n$  halmazok elemeinek valamennyi kombinációjából összeállított elem  $n$ -eseket jelent. Ennek értelmében a fuzzy reláció általános jelölése:

$$R = \{(x_1, \dots, x_n), \mu_R(x_1, \dots, x_n) | x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n\}$$

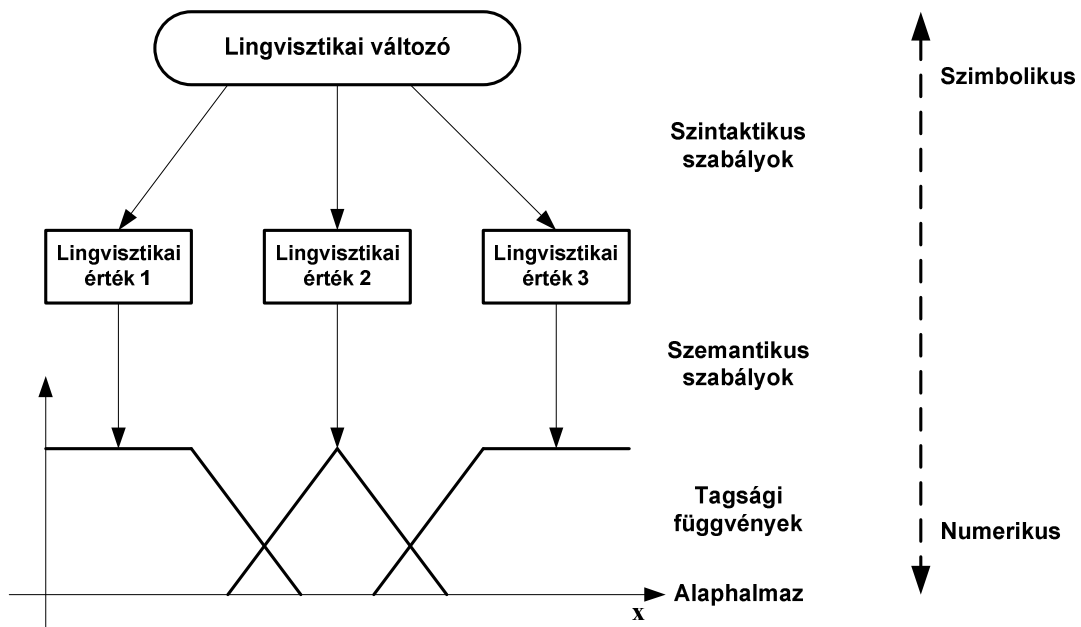
ahol  $\mu_R(x, y) \in [0,1]$  mutatja meg a fuzzy kapcsolat, reláció kielégítésének mértékét.

A fuzzy relációk nyelvi, lingvisztikai álrühába való öltöztetése révén jutunk el a fuzzy szabályokhoz, más néven a fuzzy algoritmushoz.

### 3.2.4 Nyelvi változók

Mint ahogy a korábbiakban említésre került a fuzzy rendszerek esetében a számítás szavakkal történik, ezért az aritmetikai változók helyébe nyelvi változók lépnek. A nyelvi (lingvisztikai) változónak akkor nevezhetünk egy változót, ha az értéként természetes nyelvbeli szavakat vesz fel, és ahol a szavak fuzzy halmazzal jellemezhetők a változó által definiált alaphalmazon. A nyelvi változót (14. ábra) egy ötössel adhatunk meg:  $\{LV, G, T, M, X\}$ , ahol

- LV: a nyelvi változó neve (pl.: sebesség);
- G: szintaktikus szabály, amellyel meghatározható a nyelvi változó értékei, azok száma és tulajdonságai;
- T: a nyelvi változó értékeihez tartozó elnevezések halmaza, más néven a nyelvi értékek vagy terminusok (pl.: lassú, közepes, gyors);
- M: szemantikus szabály segítségével a terminusok mindegyikéhez tagsági függvényt rendelhető, ezáltal az alaphalmazon értelmezett fuzzy halmazokká alakíthatók, tulajdonképpen  $M(L): T(LV) \rightarrow F(X)$  leképezést valósítja meg;
- X: az alaphalmaz.



14. ábra. A nyelvi változó

A lingvisztikai változók duális természetűek. A magasabb szinteken szimbolikus nyelvi alakokat látunk, az alacsonyabbakon pedig numerikus alakokat, tagsági

függvényeket. Ezáltal alkalmassá válik mind szimbolikus, mind numerikus számítások elvégzésére.

A nyelvi változók alkalmazásának további oka a granuláció vagy szemcsézés, mely az információ tömörítését (pl.: nagy mennyiségű adat fuzzy halmazzal való lefedése) jelenti, ezáltal biztosítva a rosszul definiált vagy túlságosan bonyolult jelenségek közelítését.

### 3.3 Neuro-Fuzzy rendszerek

A neurális hálózatok és a fuzzy rendszerek egyaránt képesek bemenet-kimenet párok leképezésére a matematikai leírásuk ismerete nélkül. Vagyis mindkét rendszer ugyanazt a problémát képes megközelíteni eltérő módon és szinten. A tulajdonságaik összehasonlítására a következő táblázatban kerül sor.

1. táblázat  
A fuzzy rendszerek és a neurális hálózatok tulajdonságai [2]

|                                 | Tulajdonságok              | Fuzzy rendszerek | Neurális hálózatok |
|---------------------------------|----------------------------|------------------|--------------------|
| <b>Közös tulajdonságok</b>      | Inferencia                 | közelítő         | közelítő           |
|                                 | Általánosítás              | jó               | nagyon jó          |
|                                 | Hiba tolerancia            | jó               | nagyon jó          |
|                                 | Bizonytalansági tolerancia | jó               | jó                 |
|                                 | Valós idejű működés        | jó               | nagyon jó          |
|                                 | Nonlinearitás              | jó               | jó                 |
| <b>Kiegészítő tulajdonságok</b> | Tudás reprezentálás        | jó               | rossz              |
|                                 | Tanulási képesség          | nincs            | nagyon jó          |
|                                 | Értelmezhetőség            | nagyon jó        | nincs              |
|                                 | Szakértői tudás            | nagyon jó        | nincs              |
|                                 | Numerikus adat             | gyenge           | nagyon jó          |
|                                 | Matematikai modell         | nagyon jó        | gyenge             |
|                                 | Optimalizálási képesség    | gyenge           | nagyon jó          |

A táblázatból is kiderül, bizonyos tulajdonságok esetén egyezőséget mutatnak, míg másoknál eltérnek (vagy nem rendelkeznek az adott tulajdonsággal). Annak

érdekében, hogy ezeket a hiányosságokat csökkentsük, esetleg megszüntessük, valamint előnyeiket összevonjuk, erősítsük, létrehozhatók a kombinációik. Vagyis egy olyan tanulási és általánosító képességgel rendelkező rendszerhez juthatunk, amely pontatlan, valós kijelentésekre építve következtet, gondolkodik. Így a körülmények megváltozásához igazodva új viselkedésformákat tud kialakítani, ezáltal lehetőséget biztosít a valós folyamatok pontosabb modellezésére. Összességében elmondható, hogy a neurális hálózat és a fuzzy rendszer közös vonásai lehetővé teszi a kombinálásukat, míg a kiegészítő tulajdonságaik kívánatossá, hasznossá.

A fuzzy rendszerek és neurális hálózatok kombinálása két irányban lehetséges:

- neuralizált fuzzy rendszerek,
- fuzzyfikált neurális hálózatok.

A neuralizált fuzzy rendszerek fuzzy rendszert jelent neurális hálózati köntösbe öltöztetve. Az alaprendszert tehát a fuzzy rendszer képezi, miközben a neurális háló csak kiegészítő eszköznek minősül, tanulási képességgel látja el a fuzzy rendszert. Ezáltal lehetővé válik a tagsági függvények és a szabályrendszer kialakítása, tanulása, valamint azok finom hangolása, így jelentősen csökkentve a fejlesztési időt és költségeket. A fuzzy rendszerek tervezhetővé és önadaptívvá válnak, miközben megőrzik a legfontosabb tulajdonságukat az emberi következtetést.

A fuzzyfikált neurális rendszerek alapvetően neurális hálózatok, amelyekbe beépítésre kerülnek a fuzzy elvek. Egy neurális hálózat mindenegyik része (aktivizációs függvény, bemeneti és kimeneti adatok, súlyszámok) topológiája, tanulási algoritmusai is fuzzyfikálható, ezáltal javítható az üzeme, és robosztusabb működése érhető el. A neurális hálózat fuzzy logikával való kiegészítése révén növelhetővé válik a rendszer rugalmassága, robosztussága és gyorsassága. [2]

Fontos megjegyezni, hogy a neuralizált fuzzy és a fuzzyfikált neurális rendszerek között jelentősek az átfedések, ezért éles határvonalat nem lehet köztük húzni. Az évek során számos típusukat dolgozták ki: ANFIS, NEFCON, FALCON, GARIC stb.

A következőkben a leggyakrabban alkalmazott kombinált rendszert, az ANFIS-t szeretném ismertetni, mely a későbbiekben felhasználásra kerül a készletszabályozó megvalósításánál is.



### 3.3.1 ANFIS

Az ANFIS (Adaptiv Network-based Fuzzy Inference System) neuralizált fuzzy rendszer, amelynek alaprendszerét a Takagi-Sugeno (Sugeno) fuzzy rendszer jelenti. A Sugeno rendszer fuzzy szabályai a következő alakot vehetik fel (két bemenet esetén):

HA  $x_1 = A_{1j}$  (ÉS  $x_2 = A_{2i}$ ) AKKOR  $y_i = f_i(x_1, x_2) \quad i=1,2$

A következmény részt az  $y_i = f_i(x_1, x_2)$  jelöli. A kimenet nem rögzített fuzzy halmazokkal van megadva, hanem az előre rögzített  $f_i$  függvényekkel közvetlenül a  $x_i$  bemeneti értékekből kerül meghatározásra. Pontosabban az  $f_i$  függvény a bemeneti értékek lineáris kombinációját jelenti:

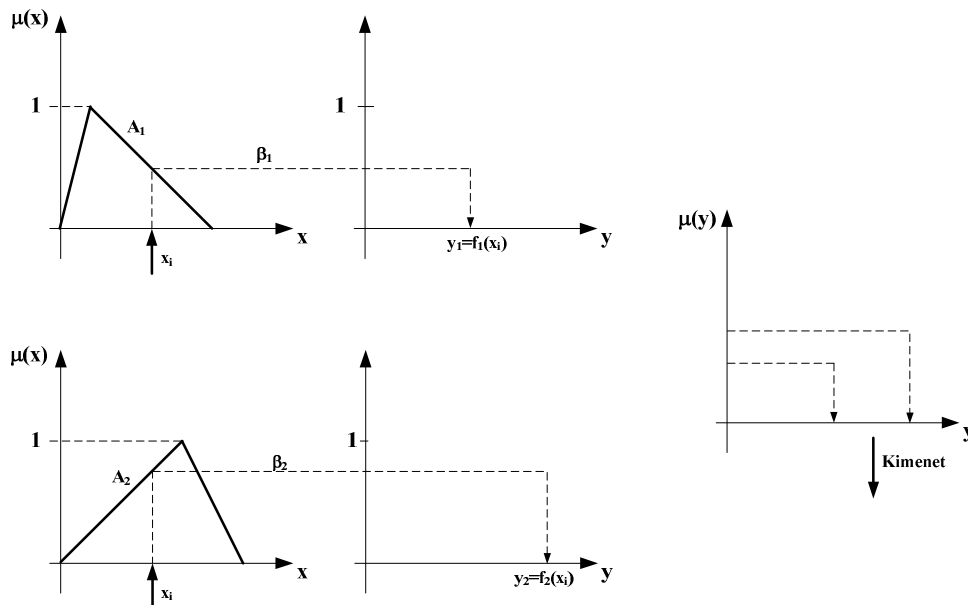
$$f_i(x_1, x_2) = a_{0i} + a_{1i}x_1 + a_{2i}x_2$$

Ekkor a Sugeno modell elsőrendű, ellenben ha az  $f$  egy állandó érték, akkor zérusrendű Sugeno modellről beszélünk.

Az eredő kimenet az egyes szabály kimeneteknek  $\beta$  értékekkel súlyozott átlagaként határozható meg:

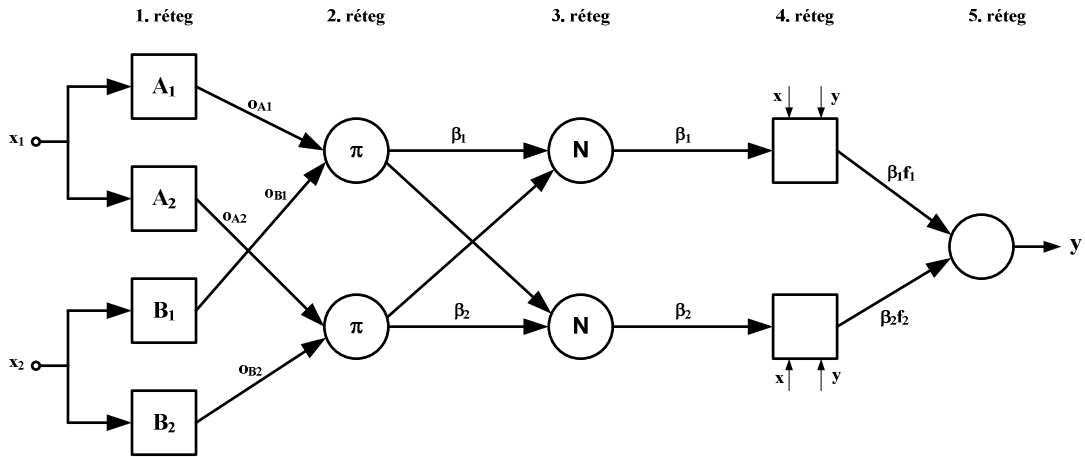
$$y(x) = \frac{\beta_1 y_1 + \beta_2 y_2}{\beta_1 + \beta_2}$$

ahol a  $\beta_i$  értékek az aktivizációs fokokat jelölik. Az aktivizációs fok két halmaz ( $A$  és  $A'$ ) metszetének szuprémumát, magasságát jelenti:  $\beta = hgt(A \cap A')$ . Ennek megfelelően a  $\beta_i$  értékét a következőképpen számíthatjuk:  $\beta_i = \min[\mu_{1i}(x_1), \mu_{2i}(x_2)]$ .



15. ábra. A Sugeno fuzzy szabályozó következtetési diagramja

Az ANFIS neurális hálózata 5 réteges előrecsatolt típusú:



16. ábra. Az ANFIS hálózat

1. réteg: adaptív neuronokból álló réteg, amelyek a feltétel tagsági függvényeket tartalmazzák, és kimeneteik a premissák tagsági függvény értékei, aktivizációs fokai.

$$o_{Ai} = \mu_{Ai}(x_1'), \quad i = 1,2, \quad \mu_{Ai}(x_1') = \beta_{i1}$$

$$o_{Bi} = \mu_{Bi}(x_2'), \quad i = 1,2, \quad \mu_{Bi}(x_2') = \beta_{i2}$$

2. réteg: rögzített neuronjai szorzással képezik a bemenetek eredő aktivizációs fokát:

$$o_{2i} = \beta_i = \beta_{i1}\beta_{i2}$$

3. réteg: rögzített neuronjai normalizált aktivizálási fokokat képeznek:

$$o_{3i} = \bar{\beta}_i = \bar{w}_i = \frac{\beta_i}{\beta_1 + \beta_2}$$

4. réteg: adaptív neuronjai a szabály kimenetekhez tartozó lineáris függvényeket számítják, megszorozva a normalizált súlyokkal:

$$o_{4i} = \bar{w}_i(a_i + b_i x_{1i} + c_i x_{2i})$$

5. réteg: egyetlen rögzített, összegző kimeneti neuron alkotja, mely az eredő kimenetet képezi:

$$o_{5i} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum \beta_i f_i}{\sum \beta_i} = y$$

Az neurális hálózat tanulása kétféle hibrid tanulás valósul meg. A követelmény paraméterek tanulása legkisebb négyzetek módszerének felhasználásával történik. A paraméterek becslése a megfigyelt és a feltételezett értékek ( $\hat{y}_i = a_0 +$

$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$ ) különbségének négyzetösszegének (hibaérték) minimalizálását jelenti:

$$e = \phi(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \Rightarrow \min$$

A feltétel paraméterek meghatározása gradiens-éjtéssel lehetséges, mely esetén a paramétereket a hibafüggvényük ( $e(w) = \sum_i \frac{1}{2} (d_i - y_i)^2$ ) negatív gradiensének valamely töredékével változtatjuk.

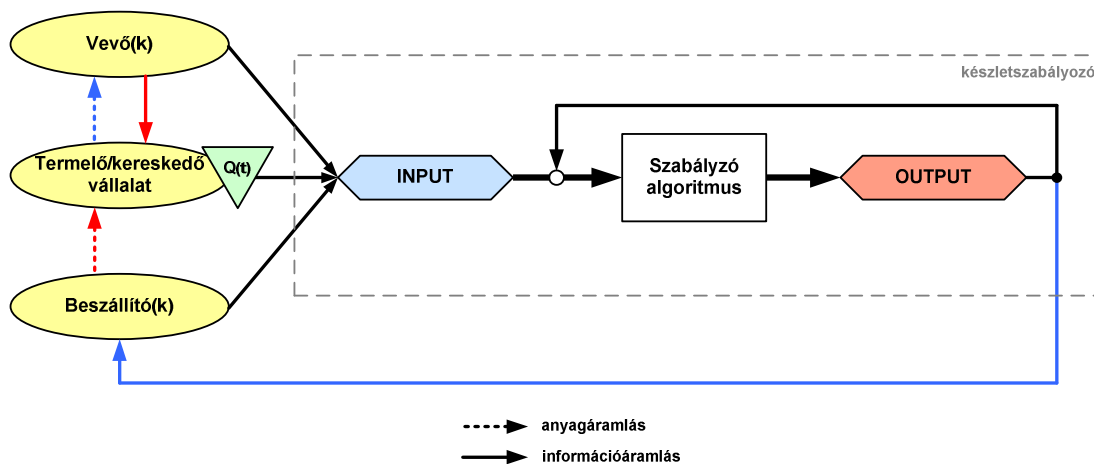
$$\Delta w = -\eta \nabla e(w) = -\eta \frac{\partial e(w)}{\partial w}$$

ahol  $\eta$  a tanulási ráta, amely a súlyváltozás léptékét határozza meg.

## 4. A készlet szabályozó rendszer

A mesterséges intelligencia módszerek legnagyobb előnyét az jelenti, hogy képesek racionális döntések meghozatalára a környezet bizonytalansága és pontatlansága ellenére. Ezt tulajdonságukat kihasználva, a sztochasztikus logisztikai folyamatok is kezelhetővé válnak. Így új távlatokat nyitva meg a logisztikai rendszerek tervezésében és üzemeltetésében használatos eljárások korszerűsítése számára. Az egyik ilyen korszerűsítési területet képezi a készlet szabályozás, mely esetében a kitűzött cél egy mesterséges intelligencián alapuló készlet szabályozó rendszer létrehozása lehet.

Ehhez elsőként tekintsük át, hogy a megvalósítandó készlet szabályozónak milyen követelményeknek kell eleget tennie. Azaz képesnek kell lennie a folyamat jellegétől függetlenül, a folyamatot alkotó elemek közötti matematikai összefüggések ismerete nélkül, költségminimalizáló és megbízhatósági szempontokat figyelembe véve a készlet nagyság folyamatos optimalizálására.



17. ábra. A készlet szabályozási folyamat

A szabályozó inputjait mindazok a készletezési rendszert és működését leíró paraméterek és peremfeltételek jelentik, amelyek ismeretében a szabályozó elvégzi az optimalizálást. Ezek az adatok a készletezési rendszerben zajló eseményeknek (pl.: raktári megrendelések, be- és kiszállítási tranzakciók stb.) az adatbázis-kezelő szoftverek, a vállalatirányítási, illetve a készletnyilvántartó rendszerek által történő folyamatos naplózásával elérhetővé válnak, vagy a tárolt adathalmazokból előállíthatók (adatkonverzió).

A bemenő adatokra támaszkodva a szabályozó a készletezési költségek és a készlethiány minimalizálására törekedik, vagyis meghatározza azoknak a szabályozó paramétereknek az optimális értékét, melyen keresztül befolyásolni tudja a készletezési folyamatot az elérni kívánt céloknak megfelelően. Ezek az optimalizált mennyiségek képezik a szabályozó outputjait. A készletszabályozás zártságának biztosítása érdekében a szabályozott paraméterek visszavezetése szükséges a készletezési folyamatba (az integrált vállalatirányítási rendszerbe) különböző adatcsomagok formájában. [9] [10]

A rendszer lehetséges be- és kimeneti paramétereinek, peremfeltételeinek meghatározása a készlet nagyságát befolyásoló tényezők vizsgálata alapján lehetséges.

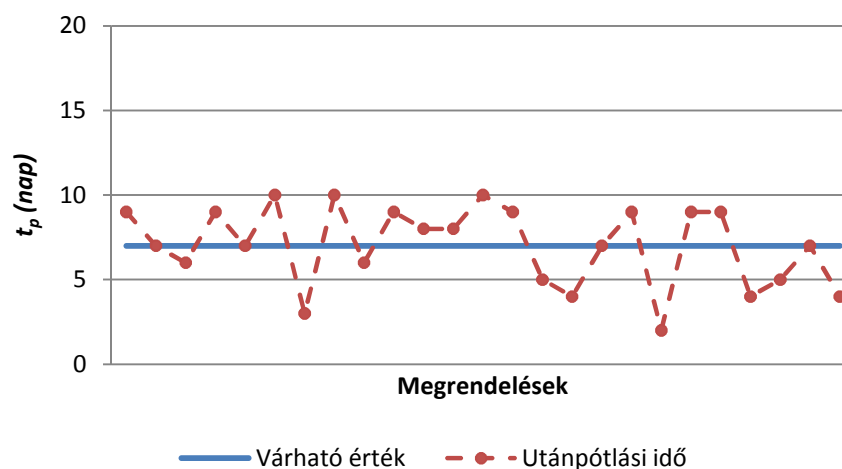
## 4.1 A készletnagyságot befolyásoló tényezők

Az ellátási lánc egyes pontjain számos tényező lehet hatással a készlet pillanatnyi nagyságára. Ezeket a tényezőket csoportosíthatjuk aszerint, hogy az adott anyagáramlási folyamat mely szereplőjéhez köthető. Így beszélhetünk a beszállító, a termelő/kereskedő vállalat és a vevők által generált tényezőkről.

### 4.1.1 Beszállítói oldal készletszintre való hatása

1) Utánpótlási idő:

- a rendelés feladástól a rendelt mennyiség leszállításáig eltelt időt jelenti,
- valószínűségi változó: statisztikai úton vizsgálható valószínűség eloszlással, (várható értéke:  $M(t_p)$ , szórása:  $\sigma_{tp}$ ),



18. ábra. Az utánpótlási idő változása a megrendelések függvényében

- nagysága függhet:
  - a rendelés feladás időpontjától (az év adott időszaka, a hét adott napja stb.),
  - a rendelt mennyiségtől,
  - a kialakított partnerkapcsolattól (pl.: stratégiai partner),
  - a beszállító előállítási folyamataitól (beszállítói késztermék = termelő vállalati alapanyag  $\Rightarrow$  a beszállító működési zavara hatással van a termelő vállalat anyagellátására),
  - a beszállítás ütemezésétől:
    - beszállítás egy tételben: a rendelt mennyiség egy tételben érkezik a raktárba általában a vizsgált időszak elején,
    - beszállítás több tételben: a rendelt mennyiség szállítása a vizsgált időszak során több azonos/eltérő nagyságú tételben előre meghatározott azonos/eltérő hosszúságú időközoként történik.

2) Az egyszerre rendelhető mennyiséget meghatározó tényezők:

- a beszállító meghatározhat egy minimális mennyiséget ( $q_a$ ), melynél kevesebb mennyiség rendelése nem lehetséges,
- ugyanakkor maximális rendelhető mennyiségét ( $q_b$ ) is meghatározhat a beszállító,
- ezek alapján a rendelhető mennyiség:  $0 \leq q_a \leq q_r \leq q_b \leq +\infty$ ,
- a rendelési tétel nagyságot befolyásolhatja a rendelés összetételének homogenitása/inhomogenitása is.

3) Készlet-utánpótlási (rendelési) költség változó költségösszetevője:

- a készlet-utánpótlási folyamathoz kapcsolható költségek a beszerzendő mennyiségtől függő költségtényezője:

$$C_b(q_r) = q_r * c_b [Ft]$$

ahol  $q_r$  – a rendelt mennyiség [db]

$c_b$  – a beszerzendő mennyiséggel arányos fajlagos költség [Ft/db]

#### 4) Kedvezmények:

- kedvező rendelési (időbeli és mennyiségi) paraméterek teljesülése esetén kapható, a beszállítók által adott kedvezmények (ide sorolhatók pl. a logisztikai diszkontok: „ha-akkor”, vagy „annyiszor”, vagy „úgy” rendel a vállalat, ahogy a beszállítónak kedvező)

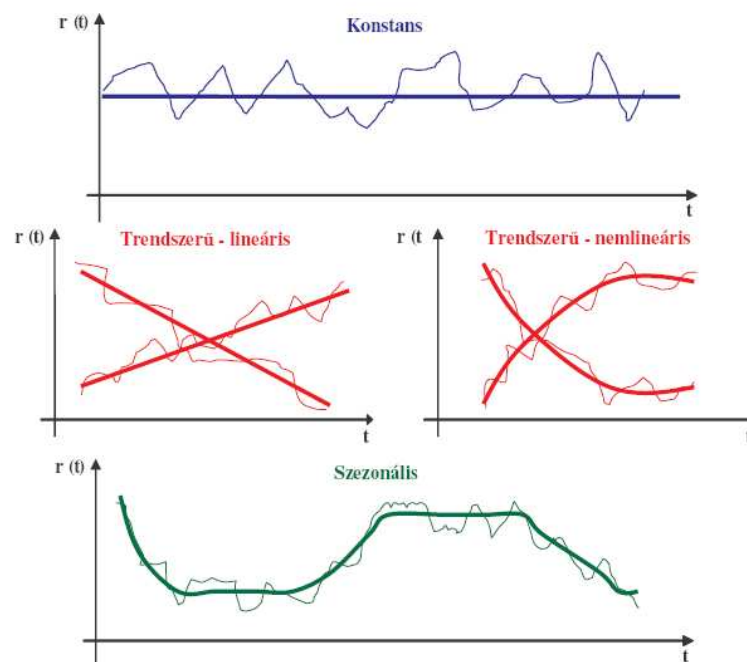
#### 5) Egyéb utánpótlási zavarok:

- pl.: időjárási és forgalmi viszonyok okozta zavarok

### 4.1.2 Vevői oldal készletnagyságra való hatása

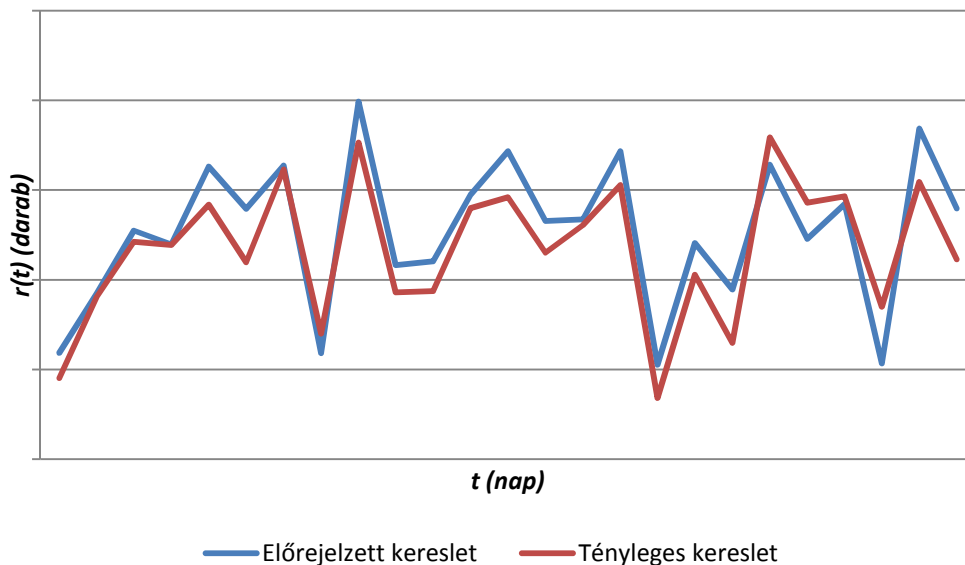
#### 1) Kereslet:

- egy adott időpillanatban jelentkező, meghatározott nagyságú vevői igény ( $r(t)$ ),
- valószínűségi változó, statisztikai úton vizsgálható valószínűség eloszlással (várható értéke:  $M(r)$ , szórása:  $\sigma_r$ ),
- időbeli alakulása lehet:
  - konstans értékkel jellemezhető,
  - trendszerű (lineáris, nemlineáris),
  - szezonális,



19. ábra. A kereslet időbeli alakulása [8]

- megkülönböztetünk:
  - a) prognosztizált kereslet:
    - előrejelzési modell segítségével meghatározott, jövőbeni, várható kereslet,
    - az előrejelzés becslési hibával rendelkezik, ezért a pontossága alapvetően meghatározza a készletezési rendszerek működési hatékonyságát,
  - b) elmúlt időszaki (tényleges) kereslet:
    - a már feladott és kielégítésre került vevői igények összességét jelenti,
- $\exists$  előrejelzett kereslet  $\neq$  tényleges kereslet.



20. ábra. A kereslet változása az idő függvényében

#### 4.1.3 Termelő/kereskedő vállalat készletszintre való hatása

##### 1) Készletezési stratégia:

- meghatározza azokat a döntési változókat, amelyeken keresztül hatást gyakorolhatunk az utánpótlási folyamatra (ezek a készletszabályozó rendszerekben tulajdonképpen szabályozó paraméterekként alkalmazhatók);
- megkülönböztetünk:
  - idővezérelt készletezési stratégiát:



- a vizsgált időszakban előre meghatározott optimális időközönként kerül feladásra a rendelés,
- pl.: [t;S], [t,q] stratégia,
- volumen vezérelt készletezési stratégiát:
  - a vizsgált időszakban egy előre meghatározott optimális, (minimális) készlet szint elérésekor kerül feladásra a rendelés,
  - pl.: [s;q], [s;S] stratégia.

## 2) Maximális készlet nagyság:

- az adott termékből a raktárban tárolható maximális mennyiség ( $Q_{max}$ );
- a felülről korlátos rendszerműködési sajátossága;
- lehet:
  - állandó érték (egy termék, speciális tárolást igénylő termék stb. esetén),
  - dinamikus: változó érték (több termék esetén a termékek változó készlet nagysága miatt  $\Rightarrow$  termék átcsoportosítás)

## 3) Készlet tartási (raktározási) költség:

- a készlet tárolása során jelentkező költség,
- megállapítása általában nem könnyű, mivel ehhez a tároláshoz kapcsolódó költségek egyértelmű elkülönítése nem lehetséges,
- nagy része a készletben lekötött tőke költségéből ered, kisebb részben az infrastruktúra üzemeltetéséből származó fix és változó költségek alkotják,
- tárolási időtől és a tárolási mennyiségtől függő érték:

$$C_2 = \left( \int_0^T Q(t) dt \right) * c_2 [Ft]$$

ahol  $t$  [nap] – a tárolási idő,  $t \in [0, T]$

$Q(t)$  – a tárolt mennyiség,  $Q(t) \geq 0$

$c_2$  [Ft/db\*nap] – idő- és mennyiségegységre eső, (fajlagos) raktározási költség

4) A készlet-utánpótlási (rendelési) költség fix költségösszetevője:

- a beszerzés tényéhez kapcsolódó fix költségtényező,
- nagysága független a rendelési mennyiség nagyságától, azonban függ a rendelés feladások számától:

$$C_1 = n * c_1 [Ft]$$

ahol  $n$  – a megrendelések száma,

$c_1$  [Ft/megrendelés] – a megrendelésnek a beszerzett mennyiségtől független, fajlagos fix költsége.

5) Készlethiány:

- készlet hiány léphet fel, amennyiben adott időpontban a rendelkezésre álló készlet nem elegendő a felmerült vevői igények kielégítésére;
- készletmodellezés során két esetet különböztethetünk meg:
  - a készlethiány nem megengedett,
  - a készlethiány megengedett (ebben az esetben a készlethiány mértéke maximális értékkel rendelkezhet),
- készlethiány hiányköltséget generál, ezáltal az összköltségre is hatást gyakorol;
- a költségek közül a hiányköltség megállapítása talán a leginkább problémás, mivel általában az elvesztett üzleti lehetőségekkel van összefüggésben, s ezek az adatok sok esetben nem, vagy nem teljes körűen naplózottak a vállalatoknál,
- a hiányköltség mértéke a hiányzó mennyiséggel ( $Q_h$ ) és az eltelt idővel ( $t_h$ ) arányos:

$$C_3 = \left( \int_0^T Q_h(t) dt \right) * c_3 [Ft]$$

ahol  $t$  [nap] – a tárolási idő,  $t \in [0, T]$

$Q_h(t)$  – a hiányzó mennyiség,

$c_3$  [Ft/db\*nap] – idő- és mennyiségegységre eső, (fajlagos) hiányköltség

6) Anyagigény:

- termelő vállalatok esetében a termelési folyamat szempontjából az egyes alap-, segédanyagok, alkatrészek, illetve félkész termékek iránt fellépő kereslet;
- tulajdonképpen a vevői kereslet lefordítását jelenti a termelés felé, illetve a termelésen keresztül az input oldal felé.

7) Kiszállítás ütemezése:

- egy tételben történő kiszállítás: a vevő(k) által rendelt mennyiség kiszállítása a rendelés megérkezését követően egy tételben történik,
- több tételben történő kiszállítás: a rendelt mennyiség kiszállítása a vizsgált időszak során több azonos/eltérő nagyságú tételben előre meghatározott azonos/eltérő hosszúságú időközökben történik.

8) Az elérni kívánt célok jellege és mérhetősége:

- az optimalizálási feladat megvalósításához, azaz az elérni kívánt állapot matematikai formában történő leírásához szükséges egy célfüggvény felépítése,
- a célfüggvény a lehetséges döntési megoldásokat általában egzakt módon értékeli a probléma független változóinak függvényében, egy keresési felületet reprezentálva,
- legtöbbször azonban nem lehetséges a célfüggvény (vagy célfüggvények) egzakt meghatározása, mivel a vizsgált folyamat és a környezet meglehetősen sok bizonytalansági tényezővel terhelt, illetve az egzakt összefüggések nem, vagy csak nehezen meghatározhatók,
- tartalma szerint lehet:

a) költségminimalizáló jellegű:

- cél: a készletezési folyamathoz során felmerülő költségek ( $C_0$ ) minimalizálása

$$C_0 = C_b + C_1 + C_2 + C_3 \Rightarrow \min$$

b) megbízhatósági típusú:

- cél: egy adott megbízhatósági szintet tartva a vizsgált időszakban felmerülő összes vevői igény kielégítése (a vevői

- igények adott valószínűséggel kielégíthetők), azaz a készlethiány minimalizálása,
- kockázati tényező ( $\varepsilon$ ): megmutatja, hogy időszakonként átlagosan hány esetben engedhetjük meg, hogy készlethiány lépjen fel,
  - megbízhatósági szint ( $1-\varepsilon$ ): megmutatja, hány esetben, vagy milyen hosszú időszakban nem lesz termelés- vagy értékesítés-kiesés a készlethiány miatt,
- c) költségminimalizáló és megbízhatósági típusú:
- cél: a költségek minimalizálása mellett az előre meghatározott megbízhatósági szint tartása.

## 4.2 A bemenő paraméterek meghatározása

A szabályozó inputjainak és outputjainak meghatározásához a készlet pillanatnyi nagyságát befolyásoló peremfeltételek, egzakt módon vagy valószínűségi változóként leírható paraméterek definiálása szükséges, melyek a későbbiekben a szabályozás során integrálásra kerülnek. A vizsgált tényezőket minden esetben a feladat jellege, illetve a szabályozó rendszer működtetésével elérni kívánt célok, továbbá az ez által meghatározott bonyolultsági szint határozhatja meg. Ennek függvényében a tervezendő rendszer bemeneti a következők:

- Vevői oldalon:
  - elmúlt időszaki (a vizsgált időszakot megelőző időszaki) kereslet:  $r_0(t)$ 
    - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
    - időegységre vonatkoztatott várható értékkel:  $M(r_0)$  [db/nap]
    - szórással  $\sigma_{r_0}$  rendelkezik.
  - prognosztizált (a vizsgált időszakra vonatkozó) kereslet:  $r(t)$ 
    - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
    - időegységre vonatkoztatott várható értékkel:  $M(r)$  [db/nap]
    - szórással  $\sigma_r$  rendelkezik.

- Termelő vállalati/kereskedői oldalon:
  - készletnagyság: a készletfigyelés során mért, a raktárban tényleges tárolt készlet mennyiséget jelenti,  $Q_{tény}(t) [db]$
  - maximális készletnagyság:
 
$$Q_{max} = const [db]$$
  - készleteltérés maximális értéke:
 
$$max\{Q_{tény}(t) - Q_{terv}(t)\} = const$$
  - készletezési stratégia: idővezérelt  $[t, q]$  készletezési stratégia, azaz rögzített időközönként kerül feladásra rögzített mennyiségről szóló rendelés,
  - megbízhatósági szint:  $1 - \varepsilon$
  - raktározási költség fajlagosa:
 
$$c_2 = const [Ft/db * nap]$$
  - fajlagos rendelési fix költség:
 
$$c_1 = const [Ft/megrendelés]$$
- Beszállítói oldalon:
  - elmúlt időszak utánpótlási idő:
    - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
    - időegységre vonatkoztatott várható értékkel:  $M(t_{p0}) [nap]$
    - szórással  $\sigma_{p0}$  rendelkezik.
  - prognosztizált utánpótlási idő:
    - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
    - időegységre vonatkoztatott várható értékkel:  $M(t_p) [nap]$
    - szórással  $\sigma_{tp}$  rendelkezik.
  - rendelési változó költség fajlagosa:
 
$$c_b = const [Ft/db]$$

### 4.3 A készlet szabályozó rendszer felépítése

A bemeneti paraméterek, peremfeltételek meghatározását követően elkészíthető a készlet szabályozási folyamat koncepciója, melynek lehetséges felépítését az 1. mellékletben található.

A készlet szabályozási folyamatot három fő részre bonthatjuk fel:

- INPUT oldalra,
- a szabályozóra,
- OUTPUT oldalra.

Az INPUT oldal tartalmazza mindazokat a bemenő paramétereket és peremfeltételeket, amelyek a készlet nagyságát befolyásolhatják. Ezzel szemben az OUTPUT oldalt azok a paraméterek alkotják, amelyek a szabályozó által kerülnek a meghatározásra a mindenkori optimalizálási célokat szem előtt tartva. Ezek alapján a kimeneti paraméterek:

- rendelési időpont:  $t_r$  [nap]
- rendelési mennyiség:  $q_r$  [db]
- tervezett készlet nagyság:  $Q_{terv}(t)$  [db]
- biztonsági készlet szint:  $Q_b$  [db]

azt a tartalékolt árumennyiséget jelenti, amely a kereslet véletlen ingadozása mellett is kellő biztonságú kereslet-kielégítést tesz lehetővé,

- jelentésköteles készlet szint:  $Q_j$  [db]

a megrendelés feladás időpontjától a rendelt mennyiség leszállításáig eltelt idő alatt jelentkező szükséglet fedezésére szolgáló készletet jelenti.

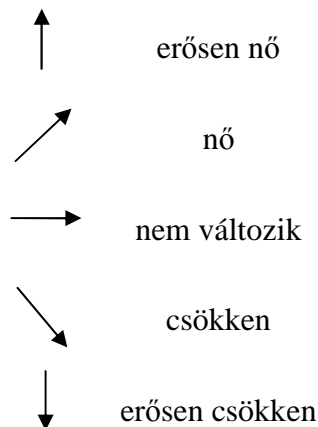
A kimenő paraméterek közül a legfontosabb a rendelési tétel nagyság és a rendelési időpont. Ugyanis a későbbiekben értékeinek megfelelően történik a rendeléssel, melyen keresztül a szabályozó hatást tud gyakorolni a készlet időbeli alakulására.

A kimeneti paramétereket vissza kell csatolni a szabályozó bemeneti oldalára. A visszacsatolás oka a készlet dinamikus szinten tartásában rejlik, vagyis nem elegendő a szabályozónak a rendelési idő elteltével működésbe lépnie, hanem a megbízhatóság szint tartása érdekében a jelentésköteles készlet szint elérésekor, továbbá ha a tervezett készlet szint a készletfigyelés során mért készlet nagyságtól egy előre meghatározott

maximális értéket meghalad. A szabályozó negyedik aktiválási pontjának meghatározása összetettebb feladat, mivel ehhez az utánpótlási idő és a kereslet eltérésének együttes vizsgálata szükséges.

Rendelkezésünkre áll az elmúlt időszakra vonatkozó tényleges és előrejelzett kereslet/utánpótlási idő. Az előrejelzett értékek becslési hibával rendelkeznek, ezért eltéréseket mutathatnak a tényleges értékéhez képest. Ennek az eltérésnek a nagyságát és irányát egyszerű különbségképzéssel meg tudjuk határozni minden egyes időpontban.

Az eltérésnek nagysága és iránya szerint öt csoportját különböztetjük meg:



Az eltérés dinamikája alapján következtetni tudunk, hogy a prognosztizált kereslettől/utánpótlási időtől a vizsgált időszakra vonatkozó tényleges kereslet/utánpótlási idő várhatóan milyen mértékben fog eltérni, ezzel részben kompenzálhatóvá válik az előrejelzés becsléséből származó hibaérték.

Azonban szükséges a kereslet és az utánpótlási idő eltérésének együttes vizsgálata is. Ezt a következőkben egy példával szeretném illusztrálni. A kereslet és az utánpótlási idő eltérése egyaránt erősen növekvő tendenciát mutat, azaz várhatóan a prognosztizálthoz képest jelentősen nagyobb értéket fog felvenni a valós kereslet és utánpótlási idő, ezért a szabályozónak a folyamat stabilitásának fenntarthatóságának érdekében újraoptimalizálást kell végezni.

Fontos megjegyezni, hogy az eltérések bizonyos kombináció esetén nem szükséges a szabályozónak működésbe lépnie. Ahhoz, hogy eldöntsük, a szabályozónak újraoptimalizálást kell végrehajtania (1) vagy sem (0), egy mátrix létrehozása szükséges (2. táblázat).

Az utánpótlási idő és a kereslet együttes hatását leíró mátrix

|                           |   | Kereslet változása |   |   |   |   |
|---------------------------|---|--------------------|---|---|---|---|
|                           |   | ↑                  | ↗ | → | ↘ | ↓ |
| Utánpótlási idő változása | ↑ | 1                  | 1 | 1 | 1 | 0 |
|                           | ↗ | 1                  | 1 | 0 | 1 | 1 |
|                           | → | 1                  | 0 | 0 | 0 | 1 |
|                           | ↘ | 0                  | 0 | 0 | 1 | 1 |
|                           | ↓ | 0                  | 0 | 1 | 1 | 1 |

#### 4.3.1 A szabályozó

Az INPUT és az OUTPUT oldalt a szabályozó kapcsolja össze. A szabályozó feladata tulajdonképpen az, hogy a bemeneti információk alapján a kitűzött célok szem előtt tartásával meghatározza a kimeneti paraméterek optimális értékeit. Az optimalizálás során cél valójában a költségek minimalizálását jelenti egy előre meghatározott biztonsági szint tartása mellett. A célfüggvény felírása azonban a folyamat jellegéből adódóan, valamint a folyamatok kapcsolatrendszerének komplexitása miatt nehézségekben ütközik. Ezért a szabályozó algoritmus kialakítása a mesterséges intelligencia módszerek felhasználásával történik. Pontosabban a MI módszerek approximációs tulajdonságaira támaszkodva a folyamatot alkotó elemek közötti matematikai kapcsolatok ismerete nélkül közelítjük a célfüggvényt.

A szabályozó megvalósításához a rendelkezésre álló módszerek jellemzőit megvizsgálva a neuralizált fuzzy rendszerek alkalmazása javasolt. Ennek oka egyrészt a rendszer alapját képező fuzzy rendszerben rejlik. Ugyanis általa megoldhatóvá válnak olyan problémák, melyek hagyományos matematikai modelles megközelítése nem lehetséges vagy nehéz. Másrészt a neurális hálózat tanulási képességgel egészíti ki a fuzzy rendszert, így a tagsági függvények és szabálybázis kialakításához, finom hangolásához szükséges idő és költség jelentősen csökkenthető. A tanulási és általánosítási képességek lehetővé teszik, hogy a létrehozott szabályok és tagsági



függvények pontosabb és megbízhatóbb eredményeket, előre megadott kimeneti pontosságot nyújtsanak. Mindemellett a neuralizált fuzzy rendszer optimalizáló képességgel is rendelkezik.

#### 4.4 Az alaprendszer létrehozása

A megvalósítandó szabályozási folyamat meglehetősen összetett és bonyolult. Ezért első lépésként egy olyan alaprendszer létrehozása szükséges, melynek folyamatos bővítésével elérhető a kívánt szabályozó. Ugyanakkor az alaprendszer kialakításának további célja, hogy bizonyítást nyerjen a neuralizált fuzzy rendszer, azon belül is az ANFIS rendszer alkalmazhatósága készletezési problémák megoldására.

Ennek az alapszabályozási folyamatnak a felépítése a 2. mellékletben található. Az előzőekhez hasonlóan itt is három főrészt különíthetünk el:

- az INPUT oldalt,
- a szabályozót,
- az OUTPUT oldalt.

Azonban a bemeneti paraméterek és peremfeltételek száma a korábbiakhoz képest jelentősen lecsökkent:

- elmúlt időszaki kereslet:  $r_0(t)$ ,  $(M(r_0), \sigma_{r_0})$
- prognosztizált kereslet  $r(t)$ ,  $(M(r), \sigma_r)$
- készletezési stratégia: idővezérelt [t,q] stratégia,
- raktározási költség fajlagosa:

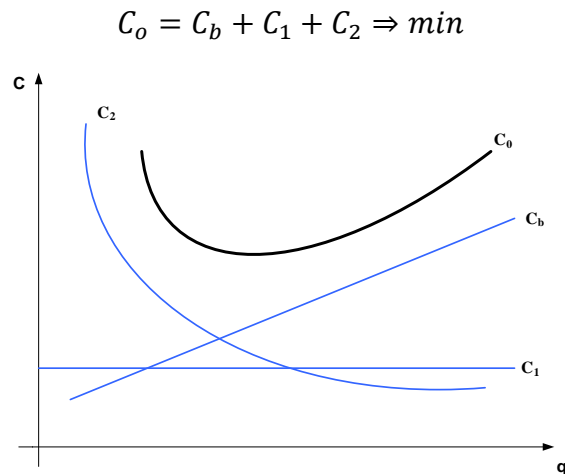
$$c_2 = \text{const} [Ft/db * \text{nap}]$$

- fajlagos rendelési fix költség:
- rendelési változó költség fajlagosa:

$$c_b = \text{const} [Ft/db]$$

A bemeneti paraméterek és peremfeltételekhez kapcsolódóan fontos, megjegyezni, hogy ebben az esetben az utánpótlási idő értéke  $t_p=0 \text{ nap}$ , azaz a rendelés feladást követően azonnal beérkezik a rendelt mennyiség.

A bemeneti információk alapján a szabályozó költségoptimalizálást hajt végre. Így a célfüggvény a következő formában adható meg:

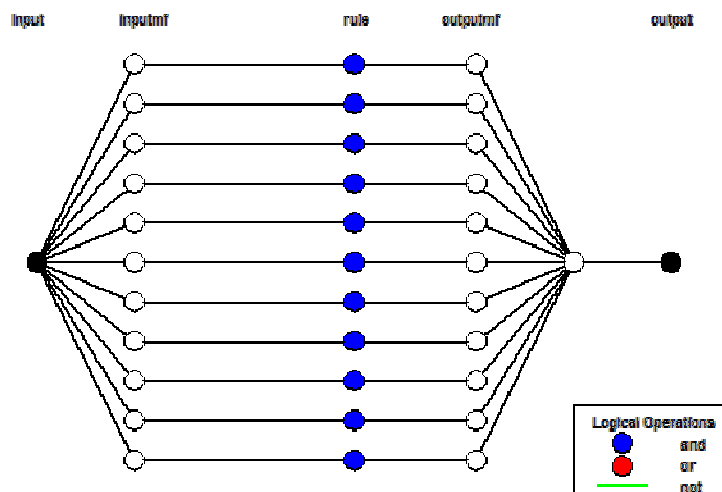


21. ábra. Az összköltség alakulása a rendelési mennyiség függvényében

Tulajdonképpen a raktározási, a rendelési fix és változó költségek összegeként előálló költségfüggvény minimum pontját keressük. Pontosabban ehhez a ponthoz tartozó rendelési mennyiség ( $q_o$ ) és rendelési időköz ( $t_o$ ) értékét szeretnénk meghatározni, melyek ismeretében a beszállító felé irányuló megrendelés feladhatóvá válik.

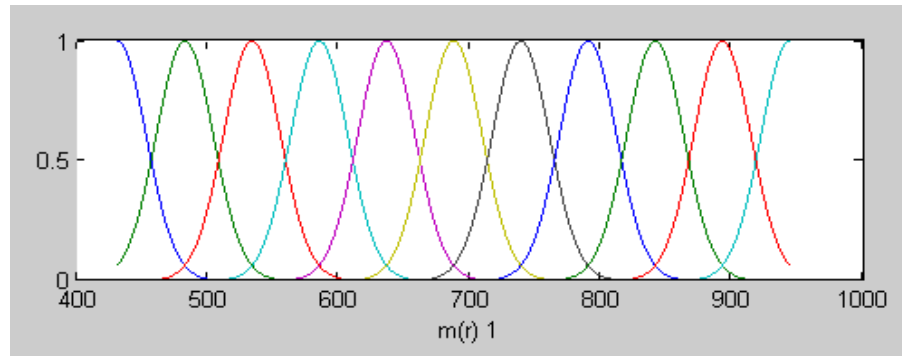
#### 4.4.1 ANFIS

Az ANFIS szabályozóban a tanulást megvalósító neurális hálózat (22. ábra) egy SISO (Single Input - Single Output) rendszer.



22. ábra. A neurális hálózat struktúrája

A hálózat bemenetét a kereslet várható értéke ( $M(r)$ ) képezi. Ezen várható értéknek, mint alaphalmaznak lefedésére 11 Gauss tagsági függvénnyel ( $\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{\sigma})^2}$ ) rendelkező fuzzy halmazt (23. ábra) hozott létre, illetve ennek megfelelően a fuzzy rendszer szabálybázisát 11 „HA-AKKOR” típusú szabály alkotja.

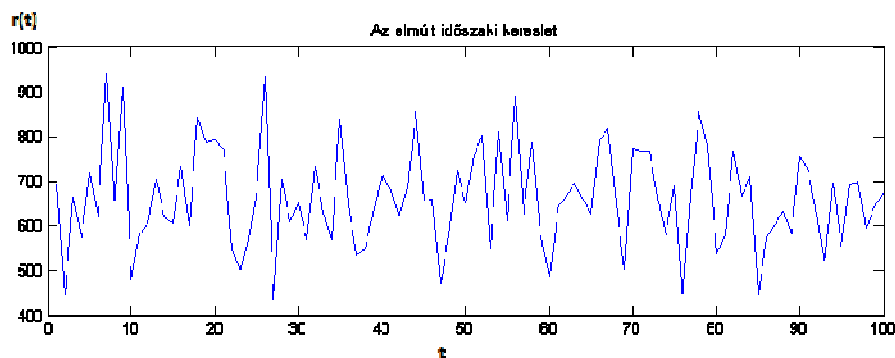


23. ábra. A kereslet várható értékét lefedő fuzzy halmazok

A fuzzy szabályok pedig a következők:

4. If (m(r) is in1mf1) then (output is out1mf1) (1)
5. If (m(r) is in1mf2) then (output is out1mf2) (1)
6. If (m(r) is in1mf3) then (output is out1mf3) (1)
7. If (m(r) is in1mf4) then (output is out1mf4) (1)
8. If (m(r) is in1mf5) then (output is out1mf5) (1)
9. If (m(r) is in1mf6) then (output is out1mf6) (1)
10. If (m(r) is in1mf7) then (output is out1mf7) (1)
11. If (m(r) is in1mf8) then (output is out1mf8) (1)
12. If (m(r) is in1mf9) then (output is out1mf9) (1)
13. If (m(r) is in1mf10) then (output is out1mf10) (1)
14. If (m(r) is in1mf11) then (output is out1mf11) (1)

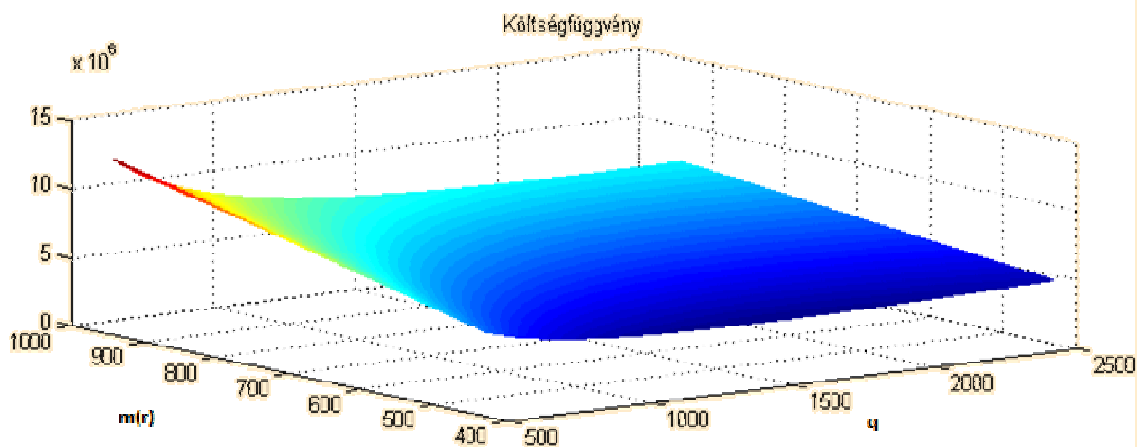
A neurális hálózat a fuzzy szabályok és a fuzzy tagsági függvények tanuláshoz az elmúlt időszak keresleti adatait ( $r_o(t)$ ) (24. ábra) használja fel. Magára a tanulási folyamatra ebben a részben nem térnek ki részletesen, mivel az korábban, a 3.3.1 fejezetben az ANFIS rendszer bemutatásakor ismertetésre került.



24. ábra. Az elmúlt időszaki kereslet alakulása az idő függvényében

Az egyes fuzzy szabályok eredményeinek összegzéséből állítható elő a hálózat kimenete, vagyis ebben az esetben az optimális rendelési tétel nagyság. Ez a rendelési mennyiség egy meghatározott várható értékhez tartozó költségfüggvény (25. ábra) minimális pontját jellemző paraméter. A rendelési tétel nagyságához tartozó rendelési időköz számítása a következő EOQ képlettel történik:

$$t_o = \sqrt{\frac{2 * c_1}{c_2 * M(r)}}$$

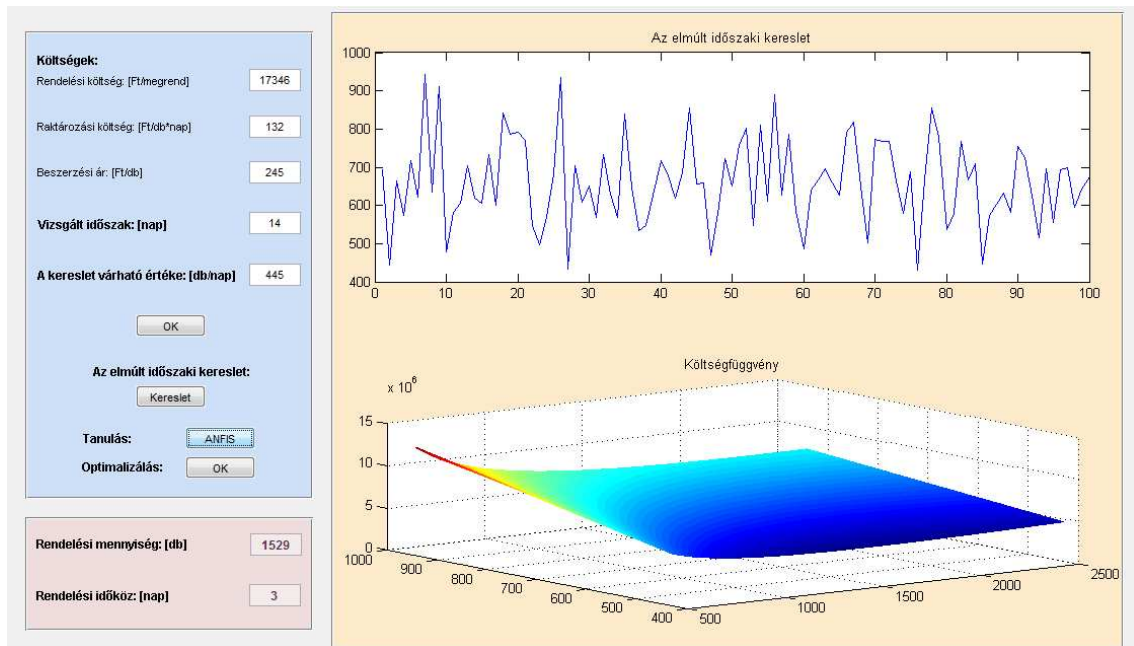


25. ábra. A költségfüggvény

#### 4.4.2 Az alap-készlet szabályozó rendszer

A készlet szabályozó megvalósításához a MATLAB (Matrix Laboratory) R2010a numerikus matematikai szoftvert használtam fel. Az említett programrendszer képes mátrix számítások elvégzésére, függvények és adatok ábrázolására, algoritmusok implementációjára és felhasználói interfészek kialakítására. Így a szabályozó

algoritmusának programozása mellett lehetőség nyílt a rendszer felhasználói felületének elkészítésére is.



26. ábra. A készlet szabályozó rendszer felhasználói felülete

A kezelő felületen (26. ábra) megadhatók az input adatok (költségek, vizsgált időszak hossza, a kereslet várható értéke), valamint az elmúlt időszakot jellemző keresleti értékek egy xlsx típusú fájlból kerülnek beolvasásra. Ezzel megteremtve annak a lehetőségét, hogy későbbiekben a készlet szabályozót csatlakoztatni lehessen az adott vállalat vállalatirányítási rendszeréhez.

Továbbá a felületen a tanulást és az optimalizálást követően megjelenik az optimális rendelési mennyiség és időköz értéke. Fontos megjegyezni, hogy a rendszer tanulási folyamatát egyszer kell elvégezni, ezt követően elegendő csak kereslet várható értékét megadni, hogy megkapjuk a rendeléssel kapcsolatos ütemezésére vonatkozó paramétereket.

#### 4.4.3 Az alaprendszer tesztelése

Az ANFIS rendszeren alapuló készlet szabályozó működőképességének bizonyításához, a rendszer tesztelése szükséges. Ehhez normál valószínűségi eloszlással jellemezhető, eltérő várható értékkel és szórással rendelkező, az elmúlt időszakra vonatkozó keresleti adatsorokat használtam fel. Valamint egyes esetekben a költségek

fajlagosai is a korábbiaktól eltérő értékeket vettek fel. A szabályozó által meghatározott eredmények, a rendelési mennyiségek helyességének ellenőrzése az optimális rendelési tétel nagyság közelítésére használt EOQ képlet segítségével történik:

$$q_o = \sqrt{\frac{2 * c_1 * M(r)}{c_2}}$$

A 3. táblázatban láthatjuk, hogy a tesztelések során a felhasznált, az elmúlt időszakra vonatkozó keresletet jellemző várható érték milyen intervallumba esett, illetve mekkora szórással rendelkezett. A táblázat harmadik oszlopa pedig a képlettel számított és a szabályozó által meghatározott mennyiségek eltérésének mértékét tartalmazza.

**3. táblázat**  
**Tesztelési eredmények**

| <b>Várható érték</b> | <b>Szórás a várható érték</b> | <b>Eltérés mértéke [%]</b> |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 200...500            | 10 %-a                        | 0,0                        |
| 500...800            | 10 %-a                        | 0,0                        |
| 500...800            | 20 %-a                        | 0,0                        |
| 800...1100           | 5 %-a                         | 0,0                        |
| 800...1100           | 10 %-a                        | 0,0                        |
| 800...1100           | 20 %-a                        | 0,0                        |
| 800...1100           | 30 %-a                        | 0,0                        |

A kapott eredmények alapján elmondható, hogy a vizsgált esetek mindegyikében a szabályozó az optimális rendelési mennyiséget szolgáltatva. Így az ANFIS rendszer alkalmasnak bizonyul egy, a fentiekben definiált készlet szabályozási feladat megoldására, amely azt vetíti előre, hogy valószínűleg komplexebb készletezési problémák esetén is sikeres lehet. Ennek bizonyítására a probléma komplexitási fokát tovább érdemes növelni, és a fentihez hasonló módon megtervezett tesztek értékelésére érdemes végrehajtani ennek igazolása céljából.

## 5. Összefoglalás

Az ellátási láncok működésében meghatározó szerepet töltenek be a készletek. Tulajdonképpen nagyságuk döntően meghatározzák a teljes logisztikai folyamat hatékonyságát. Ezért a vállalatok szempontjából fontossá válik az optimális készlet szint meghatározása. Napjainkban azonban a rendelkezésre álló, a készletszabályozás során alkalmazott módszerek nem mind esetben tudnak a megfelelő, optimális eredményt szolgáltatni a rendszer jellegéből és összetettségéből adódóan.

Az eljárások korszerűsítésének egyik lehetséges irányvonalát képezheti a mesterséges intelligencia módszereket (neurális hálózatok, fuzzy rendszerek, genetikusan algoritmus) alkalmazó készletszabályozó rendszerek kidolgozása. Ugyanis a mesterséges intelligencia módszerek az emberi gondolkodásmódot modellezve képesek a környezet bizonytalansága és pontatlansága ellenére is a helyes megoldásra következtetni. Ezáltal alkalmazkodni és reagálni tudnak az esetleges váratlan események következtében fellépő hatásokra is.

A dolgozatban egy Neuro-Fuzzy logikán alapuló szabályozó létrehozásához szükséges elméleti alapok kerültek lefektetésre. Továbbá egy alap-készletszabályozó rendszer létrehozása történt meg, mellyel bizonyítható a választott MI módszer, azaz az ANFIS rendszer alkalmazhatósága készletezési problémák megoldására. Valamint a későbbiekben az alaprendszer továbbfejlesztésével létrehozható egy olyan készletszabályozó, mely a folyamatok jellegétől és komplexitásától függetlenül meghatározná a célfüggvények (költség- és megbízhatósági függvények) optimumát jellemző rendelési tétel nagyságot és időközt, ezáltal növelve a vállalat eredményességét.

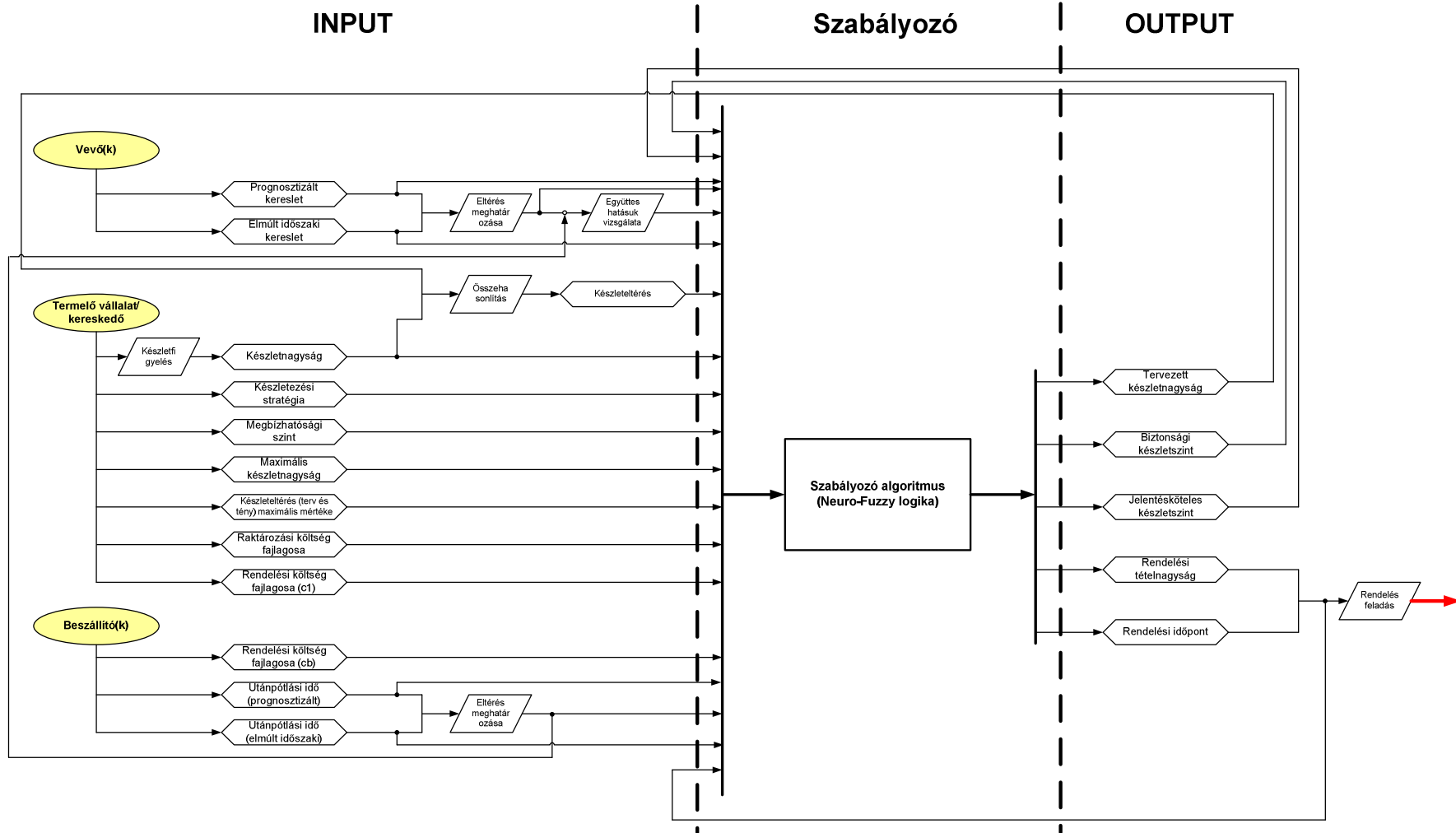
A dolgozat szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

## Irodalom

- [1] Retter Gyula: Fuzzy rendszerek - Bevezetés (2002, Invest-Marketing Bt.)
- [2] Retter Gyula: Kombinált fuzzy, neurális, genetikus rendszerek – Kombinált lágy számítások (2007, Invest-Marketing Bt.)
- [3] Johanyák Zsolt Csaba: Fuzzy logika (2004, oktatási segédlet)
- [4] Borgulya István: Neurális hálók és fuzzy-rendszerek (1998, Dialóg Campus Kiadó)
- [5] Horváth Gábor: Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásai (1998, Műegyetemi Kiadó)
- [6] Stuart J. Russell – Peter Norvig: Mesterséges intelligencia modern megközelítésben (2000, Panem Kft.)
- [7] Dr. Prezenszki József: Logisztika I. (1997)
- [8] Dr. Bóna Krisztián: Készletezési folyamatos és rendszerek, készletezés-elmélet (2005, egyetemi jegyzet)
- [9] Bóna Krisztián: Adaptív dinamikus készletszabályozó rendszerek tervezése (2004, Logisztika IX./3.)
- [10] Bóna Krisztián: A raktári készletek csökkentésének lehetőségei, a készletgazdálkodási folyamatok optimalizálhatóságának vizsgálata (2003, Logisztikai évkönyv 2003)
- [11] Dr. Chikán Attila (szerk.): Készletezési modellek (1983, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó)
- [12] Chikán Attila – Demeter Krisztina (szerk.): Az értékteremtő folyamatok menedzsmentje – Termelés, szolgáltatás, logisztika (1999, Aula Kiadó Kft.)
- [13] A. P. Rotshtein – A. B. Rakityanskaya: Inventory control as an identification problem based on fuzzy logic (2006, Cybernetics and Systems Analysis 42./3.)
- [14] Stoyan Gisbert: Matlab (2008, Typotex Kiadó)
- [15] [http://www.euro-oktaeder.hu/tananyagok/Vallalatialapok/Logisztika\\_keszletgazd..doc](http://www.euro-oktaeder.hu/tananyagok/Vallalatialapok/Logisztika_keszletgazd..doc)
- [16] [http://tanulokozosseg.mindentudo.hu/s\\_doc\\_server.php?id=2344](http://tanulokozosseg.mindentudo.hu/s_doc_server.php?id=2344)



# 1. Melléklet: A készlet szabályozási folyamat elvi felépítése



## 2. Melléklet: Az alapszabályozási folyamat elvi felépítése

