

Kutatási Jelentés

Téma azonosítója: JKL-P7-T3

Téma megnevezése: Mesterséges intelligencia alapú technológiák alkalmazása a logisztikai rendszerek tervezésében és operatív irányításában jelentkező feladatok támogatására

2. munkaszakasz (lezárva: 2011.03.25.): Mintarendszer modelljének megalkotása a készletszabályozás területén:

- 1.1.** A vizsgált modellezendő készletezési rendszer és folyamat alkalmazott be-, kimeneti paramétereinek, összefüggés rendszerének feltárása.
- 1.2.** A tervezett modell működésének logikai tervezése, lehatárolása és a hozzájuk kapcsolódó matematikai módszertanok vizsgálata, helyettesítési lehetőségei soft computing technikákkal.
- 1.3.** Egy mesterséges intelligencián alapuló szabályozót tartalmazó készletszabályozó mintarendszer koncepciójának, illetve rendszertervének kidolgozása.

Az összefoglalót készítette: Lénárt Balázs, PhD hallgató

BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék

Témavezető: Dr. Bóna Krisztián PhD, adjunktus

BME Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésüzemi Tanszék

1.1. A tervezett készletszabályozási rendszer működési logikája

A raktározási infrastruktúra, mint anyagi rendszer feladata a készletezésnek, mint anyagi folyamatnak a megvalósítása. Ennek megfelelően három részfolyamatot különböztethetünk meg:

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

Az input és output folyamatok mennyiségi és időbeli tulajdonságai közvetlen hatást gyakorolnak a készletnagyság 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 készletnagyság, ugyanakkor beszállításkor készlet feltöltésére kerül sor. Ezáltal az anyagáramlásban a készlet összeköti a mindenkori keresletet a kínálattal. Azonban a tárolt készletnek minden esetben biztosítania 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 készlettartás 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. A szabályozó rendszer 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 készletnagyságokra, ezáltal a teljes készletezési folyamat maximális működési hatékonyságára törekedve.

A készletezési rendszert elsődlegesen a környezetből érkező kereslet hozza működésbe. A fellépő keresletre vonatkozó információk készletezési mechanizmushoz érkezik. A készletezési mechanizmus működteti a készletezési stratégiát, illetve a rendszerrel szemben megfogalmazott célkitűzéseket, követelményeket teljesíti. Az adott igény kielégítését követően a készletszintben, mint szabályozott jellemzőben változás következik be. Ahhoz, hogy a szabályozott jellemző értékét egy meghatározott szinten tartsuk, mérhetőnek kell lennie. A mérés történhet közvetlenül a készletszint változásnak 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 beavatkozó tényező szerepét. Azaz a készletezési 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 készletszint minimális érték (s) alá csökkenése esetén;
- a rendelés mennyiségére vonatkozóan:
 - a rendelési tétel nagyság (q) rögzített, vagy

- o a rendelés egy olyan volumenre szól, mely beérkezése után a készlet szint egy előre rögzített maximális értéket (S) ér el.

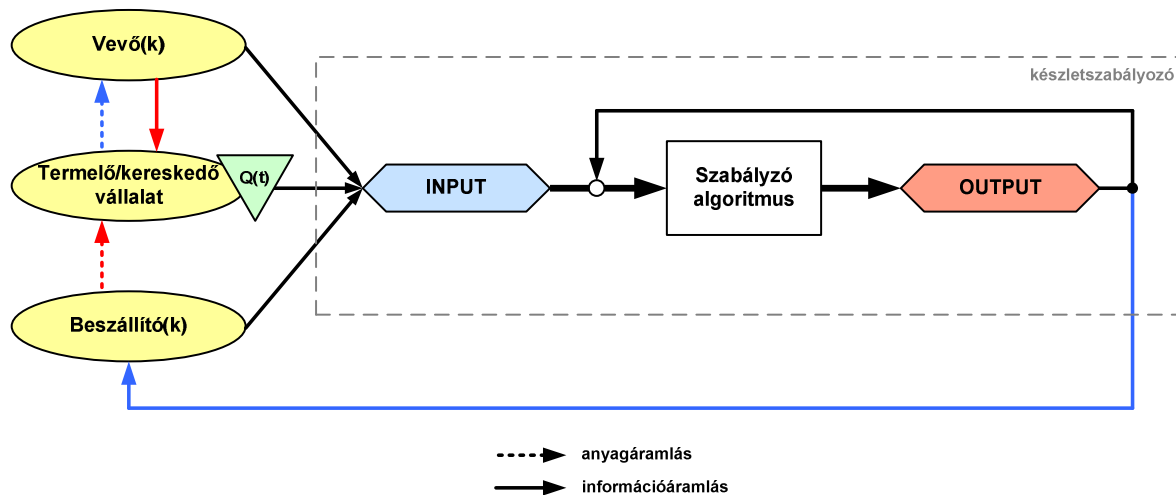
A fentiek függvényében beszélhetünk $[t,q]$, $[t,S]$, $[s,q]$ és $[s,S]$ stratégiákról.

Az optimális készlet szint 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 készlet szint jelentős mértékben eltér az adott körülmények szempontjából optimálisnak tekinthető készlet nagyságtól, azaz készlet hiány vagy túlkészletelés jön létre. A készlet modellek, 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 készlet modell 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 készlet nagyság 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 döntéshozatal, 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. 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. A megvalósítandó készlet szabályozónak 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.



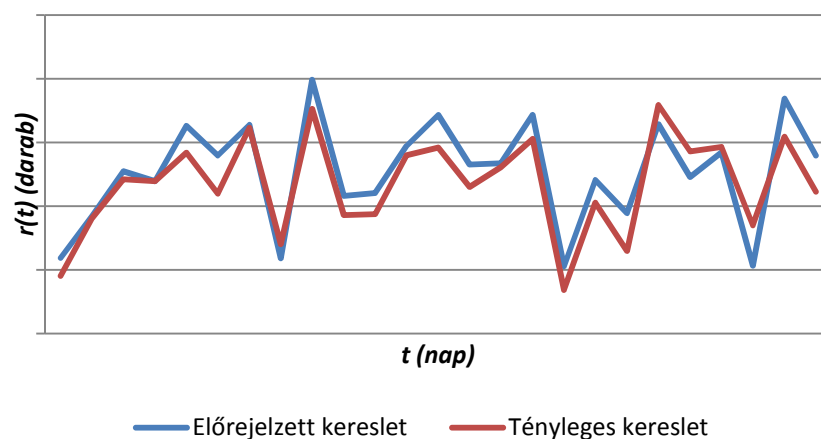
1. ábra: A szabályzó rendszer működésének elve

1.2. A vizsgált modellezendő készletezési rendszer és folyamat alkalmazott be-, kimeneti paramétereinek, összefüggés rendszerének feltárása

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. 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 szabályozási folyamat 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 bemenetei 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 σ_{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 σ_r rendelkezik.

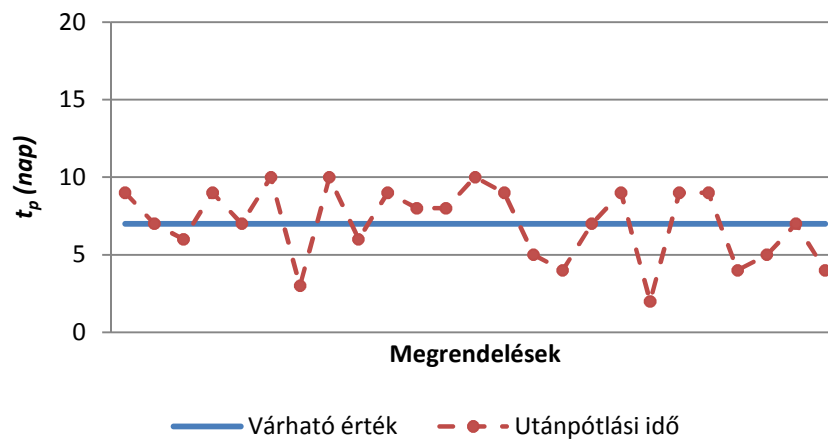


Termelő vállalati vagy kereskedői oldalon:

- 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: az alaprendszerben egy 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 időszaki utánpótlási idő:
 - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
 - időegységre vonatkoztatott várható értékkel: $M(t_{p0})$ [nap]
 - szórással σ_{tp0} rendelkezik.
- prognosztizált utánpótlási idő:
 - statisztikai úton meghatározható valószínűségi eloszlással (pl.: normál eloszlás, Weibull-eloszlás)
 - időegységre vonatkoztatott várható értékkel: $M(t_p)$ [nap]
 - szórással σ_{tp} rendelkezik.



- rendelési változó költség fajlagosa: $c_b = const$ [Ft/db]

1.3. Egy mesterséges intelligencián alapuló szabályozót tartalmazó készletszabályozó mintarendszer koncepciója

A bemeneti paraméterek, peremfeltételek meghatározását követően elkészíthető a készletszabályozási folyamat koncepciója, melynek tervezett felépítése az 1. mellékletben található. A készletszabályozási folyamatot három főrészsre bonthatjuk fel:

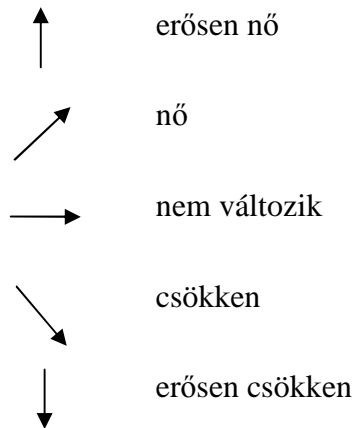
- az INPUT oldalra,
- a szabályozóra,
- az OUTPUT oldalra.

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 célokot szem előtt tartva. Ezek alapján a kimeneti paraméterek:

- rendelési időpont: t_r [nap]
- rendelési mennyiség: q_r [db]
- tervezett készletnagyság: $Q_{terv}(t)$ [db]
- biztonsági készletszint: Q_b [db]
azt a tartalékolt árumennyiséget jelenti, amely a kereslet véletlen ingadozása mellett is kellő biztonságú kereslet-kielégítést tesz lehetővé,
- jelentésköteles készletszint: 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 téteknagyság 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 készletszint elérésekor, továbbá ha a tervezett készletszint a készletfigyelés során mért készletnagyságtól 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 értékekhez 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 eltéréseinek 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-e végrehajtania (1) vagy sem (0), egy mátrix létrehozása szükséges.

1. táblázat: Az utánpótlási idő és a kereslet együttes hatását leíró mátrix

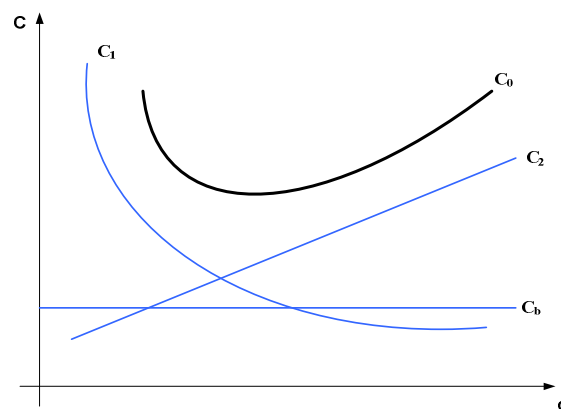
		Kereslet változása				
		↑	↗	→	↘	↓
Utánpótlási idő változása	↑	1	1	1	1	0
	↗	1	1	0	1	1
	→	1	0	0	0	1
	↘	0	0	0	1	1
	↓	0	0	1	1	1

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 folyamatelemek kapcsolatrendszerének komplexitása miatt nehézségekbe 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. A fentebb ismertetett bemeneti információk alapján a tervezett mesterséges intelligencián alapuló készletszabályozó rendszer költségoptimalizálást hajt végre. Az alkalmazott célfüggvény a következő formában adható meg:

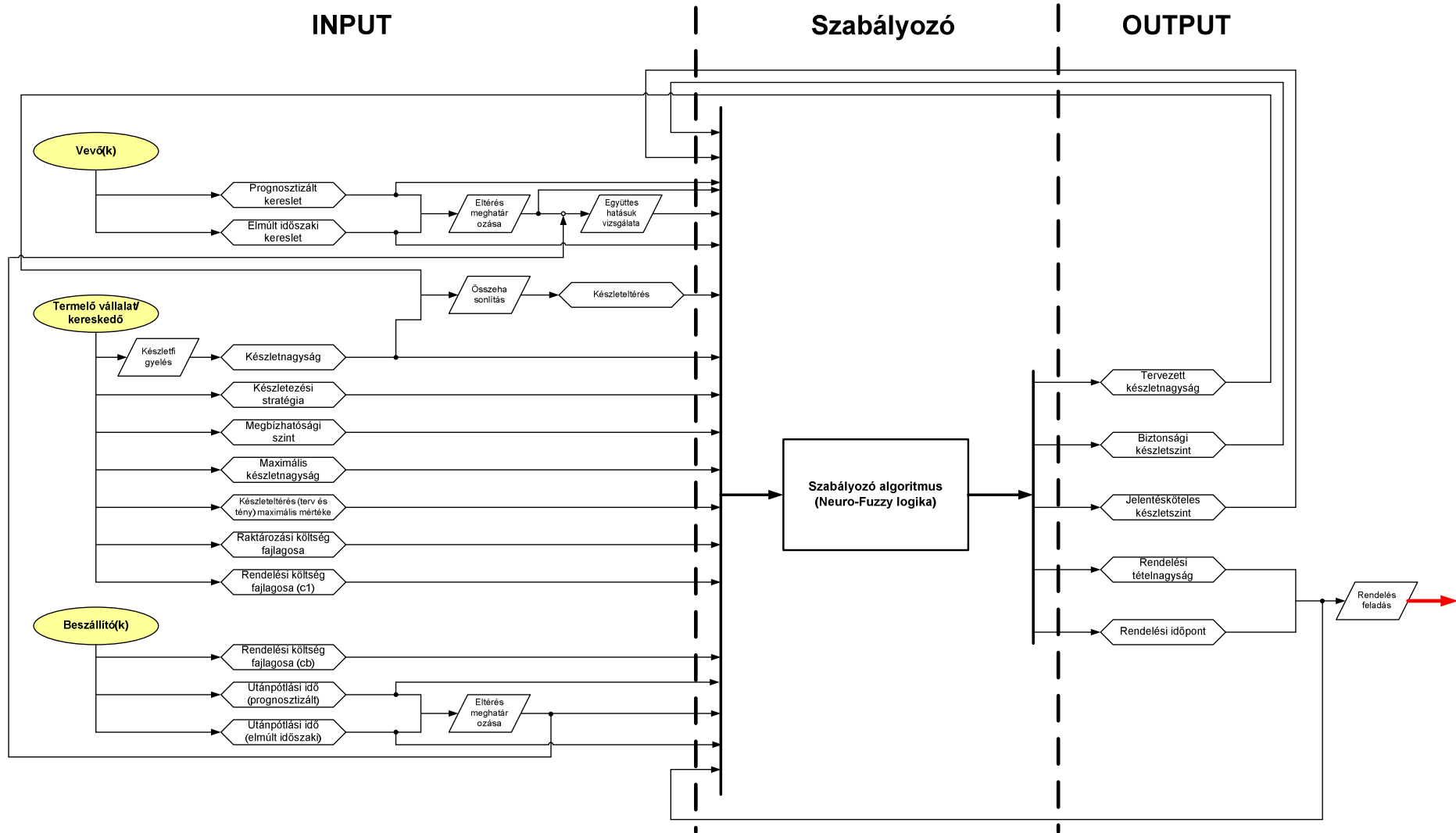
$$C_o = C_b + C_1 + C_2 \Rightarrow \min!$$

$$C_1 = n * c_1 [Ft] \quad C_2 = \left(\int_0^T Q(t) dt \right) * c_2 [Ft]$$



1. ábra: Az összköltség alakulása a rendelési mennyiség függvényében

1. Melléklet: A készlet szabályozási folyamat elvi felépítése



2. Melléklet: A tesztelni kívánt rendszer alapvető szabályozási folyamatának elvi felépítése

