



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**INTELLIGENS ON-LINE
VEZÉRLŐRENDSZER
GYÓGYSZERGYÁRI SZENNYVÍZ
IRÁNYÍTÁSÁRA**

Szerző:

Ivanics Péter

mérnök informatikus szak, III. évf.

Konzulensek:

Nagyné Dr. Hajnal Éva

egyetemi docens

Dr. Lakner József

egyetemi docens

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	A feladat ismertetése	4
3.	A matematikai modell	6
3.1.	A mérés alapelve	6
3.2.	Mérési eredmények	6
3.3.	A KOI és az on-line adatok közötti összefüggés meghatározása...	7
3.3.1.	Összefüggések keresése	7
3.3.2.	A logisztikus modell kidolgozása	8
3.3.3.	A tartályba befolyó szennyvíz KOI értékének meghatározása.	16
3.3.4.	A matematikai modell tesztelése	18
3.4.	A modell értékelése	20
4.	A vezérlőmodul.....	22
4.1.	A váltott üzemmódú rendszer tesztelése.....	22
4.2.	A közvetlen vezérlésű rendszer	23
4.2.1.	Általános szabályok	23
4.2.2.	A közvetlen vezérlésű rendszer (DCM) működése	24
4.2.3.	A DCM rendszer tesztelése	24
4.3.	A DCM rendszer működésének általánosítása (ICM)	25
4.3.1.	Fuzzy logika	26
4.3.2.	Mesterséges neurális háló.....	26
4.3.3.	Genetikus algoritmus	26
5.	Értékelés	30
6.	Irodalomjegyzék	32
7.	Függelék	34

1. Bevezetés

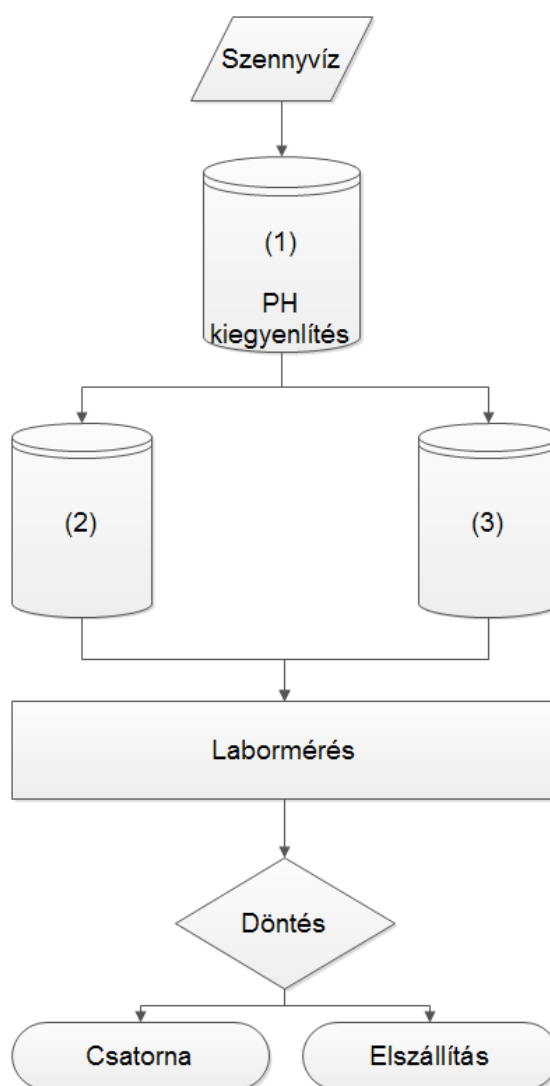
Manapság a környezetvédelem nagyon fontos szempont az ipari tevékenységet végző vállalatok és gyárak életében. Sok helyen foglalkoznak ezzel a témával különböző területeken többek között a szennyvízkezelésben is [1, 2, 3, 4]. Magyarországon szigorú jogszabályok vonatkoznak a közcatornára engedhető kommunális szennyvíz paramétereire, melyet többek között az KvVM 2004/28 rendelete szabályoz [5]. Ezen rendelet meghatározza a kiengedhető szennyvíz pH-ját, maximális kémiai oxigénigényét (továbbiakban KOI), szárazanyagtartalmát, biokémiai oxigénigényét, nitrogéntartalmát stb., ami a csatornába bocsátható.

Dolgozatom célja egy olyan szoftver kifejlesztése, amely egy mérőműszer rendszer adatait felhasználva egy matematikai modell alapján kiszámítja a szennyvízre jellemző paramétereket, valamint a fent említett rendelet szabályait figyelembe véve vezérli a szennyvizet, megakadályozva, hogy határérték feletti szennyvíz kerüljön a közcatornába.

2. A feladat ismertetése

A szennyvíz egy magyar gyógyszergyár által a gyógyszerek felületére gyártott cukorbevonat gyártási folyamatai, valamint a felhasznált műszerek mosása során keletkezik. A gyógyszergyári szennyvíz javarészt (mintegy 90%) cukrot tartalmaz, de emellett megtalálhatók más oldott és szuszpendált adalékanyagok is (pl. citromsav, és sói, színezőanyagok, talkum).

A jelenlegi vezérlőrendszer (1. ábra) kiegyenlíti a gyárból érkező szennyvíz pH-ját egy tartály segítségével, majd az így keletkező vizet két további tartályba gyűjti. Amint az egyik tartály megtelik, tartalmából mintát vesznek, melynek paramétereit (KOI [$\frac{mg}{l}$], pH, vezetőképesség [μS], hőmérséklet [$^{\circ}C$] stb.) laboratóriumi mérések során határozzák meg. Ez több percet is igénybe vesz, és nagy pontossággal megmutatja a mért paraméterek értékét. Amennyiben a paraméterek megfelelőek, a tartály tartalmát kiengedik a csatornába, viszont ha megszegik a korlátozásokat, ezt nem lehet megtenni. Ebben az esetben a szennyvizet el kell szállítani további feldolgozásra. Mialatt az egyik tartály leeresztés alatt van, a másik tartályba gyűjthető a szennyvíz. A tartályok űrtartalma $24 m^3$.



1. ábra: A jelenlegi rendszer működési vázlata

A legnagyobb problémát a szennyvíz KOI értéke jelenti, amelynek csatornába engedéshez 1000 mg/l alatt kell lenni. A pH soha nem lépi át a megengedett határértéket, ezért az 1-es tartályt fel lehet használni egyéb célokra.

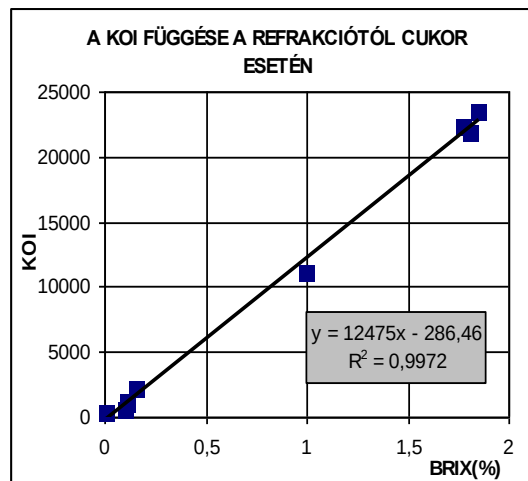
A kémiai oxigénigény (KOI) egységnyi mennyiségű vízben található szerves anyagok oxidálásához szükséges oxigén mennyiségéről nyújt tájékoztatást. Az oxidációt leggyakrabban kálium-permanganátos oldattal végzik kénsav jelenlétében (Kubel módszer), de a mérés lehetséges kálium-bikromátos módszer alkalmazásával is [6]. Mértékegysége: $\frac{mg}{l}$.

Első feladatunk, hogy kidolgozzunk egy olyan matematikai modellt, amely más – a labormérések adataitól eltérő – a szennyvízre jellemző mérhető adatok alapján képes a szennyvíz KOI értékét nagy precizitással számítani.

3. A matematikai modell

3.1. A mérés alapelve

A szennyvíz szerves anyag tartalmának refrakció méréssel történő meghatározása azon az elven alapul, hogy a törésmutató egyenesen arányos a víz cukortartalmával, így a mérés valójában cukoregyenértéket (BRIX [%]) mér. A KOI szintén arányos a szennyvíz szerves anyag tartalmával. Tiszta cukoroldat esetén



2. ábra: A KOI függése a cukoregyenértéktől (BRIX) tiszta cukoroldat esetén.

a KOI és a BRIX között direkt kapcsolat van (2. ábra) meglehetősen

magas korrelációval ($R=0,9986$), ezért gondoljuk azt, hogy a szennyvíz KOI értékét is számíthatjuk a BRIX alapján, viszont a szennyvízben található adalékanyagok törésmutatót módosító hatásaik miatt a korreláció visszaesését eredményezhetik (sztochasztikus kapcsolat).

3.2. Mérési eredmények

Nagy mennyiségű on-line mérés során meghatároztuk az adott mintához adott időpontban tartozó cukoregyenérték (BRIX [%]), vezetőképesség (VK), pH és hőmérséklet (TEMP [°C]) értékeket, továbbá a tartályok aktuális szintjeit (LTM1 [%], LTM2 [%]) és a mosások időpontjait (Függelék 1. táblázat).

A mérőműszer optikáját időnként tisztítani kell, ezt a folyamatot mosásnak hívjuk. A mosás során a BRIX érték beáll 0.3-0.5% közé az eredeti értéktől függetlenül, ami valószínűleg a felkavarodás által keletkező légbuborékok eredménye. Ilyenkor a pH érték is felmegy jellemzően 7.2 körüli értékre. Ez az állapot 1 perc után megszűnik és visszaáll az eredeti, normális működés.

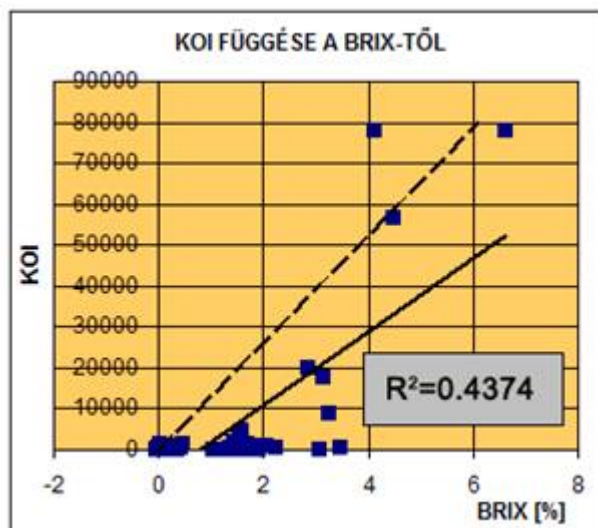
Ebből kifolyólag törölni kell az adatsorból a mosási adatokat és az azokat követő két mérést. A mosás időtartamára egy átlagos szárazanyag tartalmat kell definiálni és ezekkel számolni a mosás ideje alatt.

3.3. A KOI és az on-line adatok közötti összefüggés meghatározása

A kémiai oxigén igény (KOI) és a cukoregyenérték (BRIX) közötti összefüggések meghatározásához adott mintáknál laboratóriumi körülmények között meghatároztuk a hozzájuk tartozó KOI értékeket, amelyeket a Függelék 2. táblázata tartalmaz (128 mérés). A táblázatból látható hogy néhány adat (négy) erősen kilógott a sorból, valószínűleg nem egy időben (helyen) történt a mintavétel a refrakcióhoz és a KOI-hoz, ezért ezeket az adatpárokat töröltük. Mivel a továbbiakban lényeges feltételként szerepel a minták függetlensége, ezért törlésre kerültek az egynél többször előforduló adatpárok is. Az így generált (tisztított) adatokat a 3. táblázat tartalmazza.

3.3.1. Összefüggések keresése

A laboratóriumban mért adatok alapján elkezdtünk összefüggéseket keresni az egyes paraméterek és a KOI között. Kijelenthetjük, hogy a vezetőképesség és a KOI között nincs ($R=-0.0634$), valamint a pH és a KOI között sincs ($R=-0.0262$) korrelációs kapcsolat. Ennek oka valószínűleg a szennyvízbe kerülő adalékanyagok nagy mennyisége lehet. A vezetőképesség és a pH változása a vízbe kerülő lúgok és savak jó vezetőképességével magyarázható, míg a KOI változását a szennyvíz cukortartalma magyarázza. Tapasztalataink alapján a hőmérséklet befolyásolja a vezetőképesség változását, viszont a KOI szempontjából elhanyagolható, nincs különösebb szerepe.



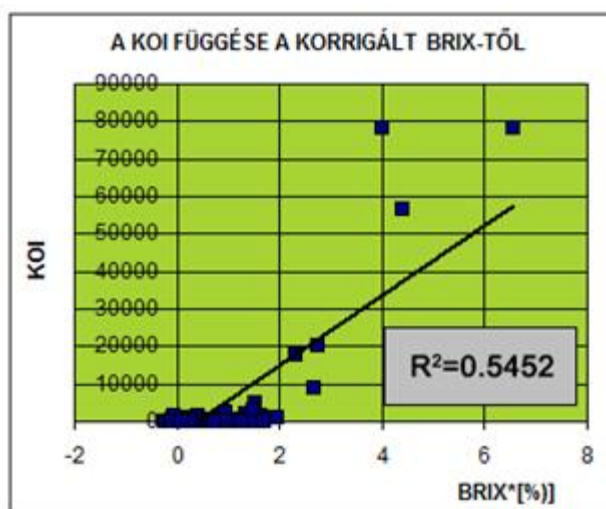
3. ábra: A kémiai oxigénigény (KOI) függése a cukoregyenértéktől (BRIX) a 2. táblázat adatai alapján. A vonal az illesztett egyenes, a szaggatott vonal a cukoroldatra vonatkozó összefüggés.

A cukoregyenérték (BRIX) és a kémiai oxigénigény (KOI) között elfogadható korrelációs együtthatót tapasztalunk ($R=0.6614$, 3. ábra), ezzel érdemes tovább dolgozni.

Az így kapott korreláció még nem garantál kellő biztonságot a számítások pontosságához, ezért bevettük a vezetőképességet (VK) is a kalkulációba és képeztük a

$$BRIX^* = BRIX - \lambda * VK \quad (1)$$

korrigált refrakciót. Ezáltal a korrelációs együttható értéke nő, maximumát ($R=0.7384$) pedig $\lambda = -0.1$ -nél éri el. Ezt a többletforgatást és a megnövekedett vezetőképességet valószínűleg a citromsav sói okozzák, melyek a KOI-ra közvetlenül nincsenek hatással. A 2. táblázatból kiszűrt adatok felhasználásával (melyek a 3.



4. ábra: A kémiai oxigénigény (KOI) függése a korrigált cukoregyenértéktől (BRIX*) a 2. táblázat adatai alapján.

táblázatban találhatók) a korrelációs együttható tovább nő ($R=0.7954$), ami ugyan

jobb illesztést ad az előzőnél, de a 4. ábrán jól látható, hogy a lineáris helyett egy szigmoid (vagy más néven logisztikus) görbe használatával tovább növelhető a korreláció.

3.3.2. A logisztikus modell kidolgozása

A KOI várható értékére (K) az említett közelítés az alábbi lesz (n-ed rendű tagig sorba fejtve)

$$\ln \frac{K}{K_{MAX} - K} = g_K(BRIX) = \sum_{i=1}^n a_i(BRIX^*), \quad (2)$$

ahol a_i a sorfejtés együtthatói, K_{MAX} pedig a KOI várható telítési értéke.

A mérési eredmények szórása (σ), a labormérések (x) négyzetes eltérése a KOI várható értéktől, K -tól, mint a $BRIX^*$ függvénye

$$\sigma^2 = (x - K)^2 \quad (3)$$

és az illeszthető görbe (2)-höz hasonlóan az alábbi lesz

$$\ln \frac{\sigma}{\sigma_{MAX} - \sigma} = g_{\sigma}(BRIX) = \sum_{i=1}^n b_i(BRIX^*) \quad (4)$$

ahol b_i a sorfejtés együtthatói, σ_{MAX} pedig a szórás várható telítési értéke.

Az illesztés paramétervariálással (k_{MAX}, σ_{MAX}), polinom regresszióval történt. A regressziós együttható $n=1$ $R=0.9021$, $n=2$ $R=0.9737$. Magasabb n értékeknél az R tovább nőtt, a σ_{MAX} viszont tartott a 0-hoz, melynek oka az, hogy nagy értékekre kevés volt a mérés, ezért a sorfejtésben $n=2$ -nél meg kellett állni.

A fenti illesztésnél az $R=0.9737$, tehát a logisztikus közelítés minden eddigi illesztésnél lényegesen jobb lett. Problémát jelentett, hogy míg kis $BRIX$ értékekre jó volt az illeszkedés, nagyobbakra már kevésbé. Ennek oka, hogy kevés kiemelkedően nagy adatot mért a műszer, így a kis értékek „elhúzták” a görbét.

3.3.2.1 A kalibrációs görbe

Ezt a problémát (részben) úgy oldottuk fel, hogy nagyjából azonos $BRIX^*$ tartományokra csoportokat képeztünk (3. táblázat) és a csoportokon belül meghatároztuk az átlagos $BRIX^*$ értékeket és a hozzájuk tartozó átlagos KOI mért értékeket és azok szórását az alábbi módon (m -edik tartományban).

Képeztük minden intervallumban (m-edik intervallum) az alábbi értékeket az átlagérték és a szórás képzési szabályainak megfelelően

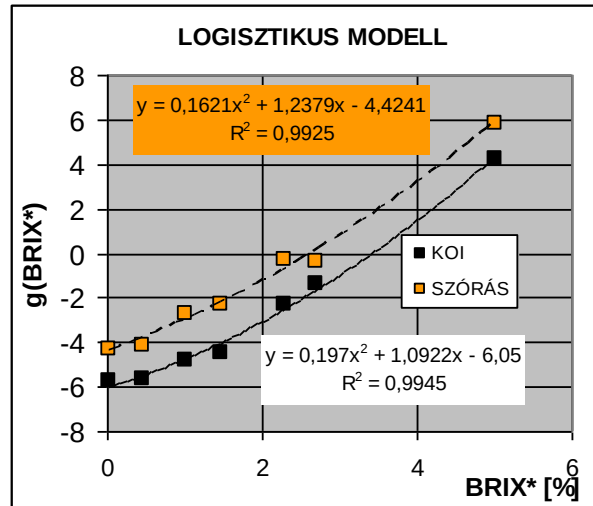
$$BRIX_m^* = \frac{1}{n_m} * \sum_m BRIX_i^*, \quad (5)$$

$$x_m = \frac{1}{n_m} * \sum_m x_i, \quad (6)$$

$$s_m = \sqrt{\frac{\sum_m (x_i - x_m)^2}{n_m - 1}}, \quad (7)$$

ahol az összegezést az m-edik intervallumban lévő (i) mintára kell elvégezni és az n_m az adott intervallumba eső minták száma.

Ezen utóbbiból kiszámítottuk a (2) és (4) logisztikus értékeket, majd ábrázoltuk azokat a BRIX* függvényében (5. ábra). Ezekhez illesztettük a (2) és (4) összefüggés alapján függvényeket paraméter-variálással (K_{MAX} illetve σ_{MAX}), majd másodfokú polinom illesztéssel (MATLAB szoftver és szakirodalom segítségével [7, 8]). A kapott paraméterek leolvashatók a 6. ábráról, nevezetesen a KOI várható értékére vonatkozóan: $a_0 = -6,05$, $a_1 = 1,09$, $a_2 = 0,2$; továbbá $K_{MAX} = 72000$; a szórásra vonatkozó értékek pedig a következők: $b_0 = -4,42$, $b_1 = 1,38$, $b_2 = 0,16$, végül $\sigma_{MAX} = 12500$.



5. ábra: A (2) és (4) logisztikus görbék másodrendű közelítésben a KOI-ra és a szórásra vonatkozóan.

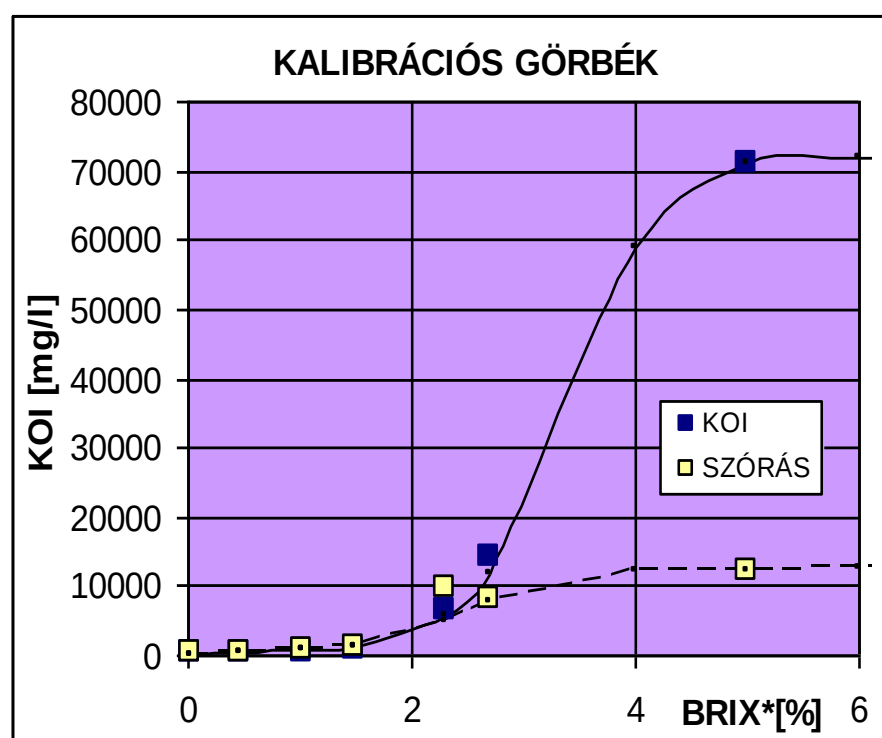
A (2) és (4) átrendezésével valamint a fent említett konstansok felhasználásával megkapható a KOI és a hozzátartozó szórás várható pillanatnyi értéke:

$$K_{PILLANATNYI} = \frac{e^{a+b*B^*+c*B^{*2}} * K_{MAX}}{1 + e^{a+b*B^*+c*B^{*2}}}, \quad (8)$$

ahol $a=-6.05$, $b=1.09$, $c=0.2$ és $K_{max}=71000$ és B^* a korrigált cukoregységérték (BRIX^{*}) értéke;

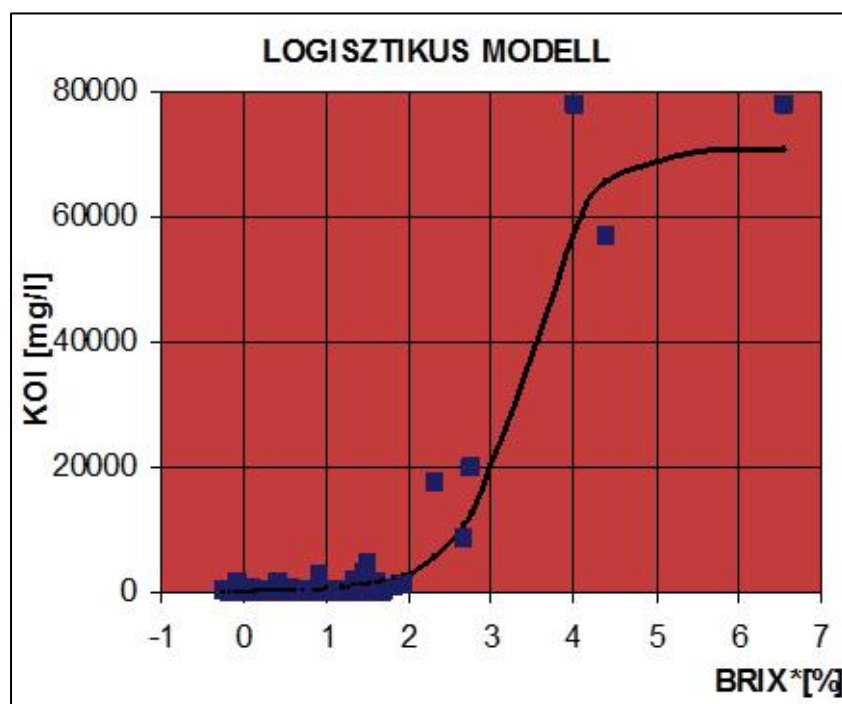
$$\sigma_{PILLANATNYI} = \frac{e^{a+b*B^*+c*B^{*2}} * \sigma_{MAX}}{1 + e^{a+b*B^*+c*B^{*2}}}, \quad (9)$$

ahol $a=-4.42$, $b=1.38$, $c=0.16$ és $\sigma_{MAX}=12500$ és B^* a korrigált cukoregységérték (BRIX^{*}) értéke.



6. ábra: A kalibrációs görbék a KOI számított értékeire és szórására az (5) és a (6) összefüggések szerint a fenti paraméterek mellett, mint a BRIX^{*} függvényei. A szimbólumok a laboratóriumban mért KOI értékek és a belőlük számított szórásértékek, a vonalak a számított KOI (7) és a számított szórásgörbék (9).

A 7. ábrán összevetettük a KOI mért és számított adatait. A korrelációs tényező a logisztikus modell esetén $R=0.9775$ minden eddiginél jobb, azaz a számított és a mért adatok között jó a korreláció.



7. ábra: A mért KOI és a (7) szerint számított adatok a BRIX* függvényében.

3.3.2.2 Megbízhatósági határ

Feltételezzük, hogy az adott BRIX* értékhez tartozó KOI értékek normális eloszlást követnek. Ebben az esetben a KOI-nak a BRIX*-hez tartozó mért értékei, x , 95%-os valószínűségi szinten, a (becsült) várható érték, körül a kétszeres szórásmezőn ($\pm 2\sigma$) belül vannak, nevezetesen $P\{K - 2\sigma \leq x \leq K + 2\sigma\}$. Legyen

$$K^+ = K + 2\sigma \text{ a felső határ,}$$

$$K^- = K - 2\sigma \text{ az alsó határ } (K^- \geq 0).$$

(10)

Ez azt jelenti, hogy a mért értékek 95%-os valószínűséggel (100 mérésből átlagban 95) ezen két érték közé esnek.

A becsült értékekre tulajdonképpen csak felső korlátot lehet megadni, K^+ -t, ugyanis az alsó korlát (az érdekes kis BRIX* tartományban) már 95%-os

valószínűségnél is $k^- \cong 0$. A felső korlát az adott valószínűségi szinthez $(1 - \epsilon)$ tartozó maximális érték, pl. $\epsilon = 0.05$, azaz $1 - \epsilon = 0.95$ azt jelenti, hogy 100 esetből 5 esetben haladhatja meg a KOI a maximális értéket. Különböző valószínűségi szintekre (féloldali valószínűség) erre a következő összefüggés írható fel

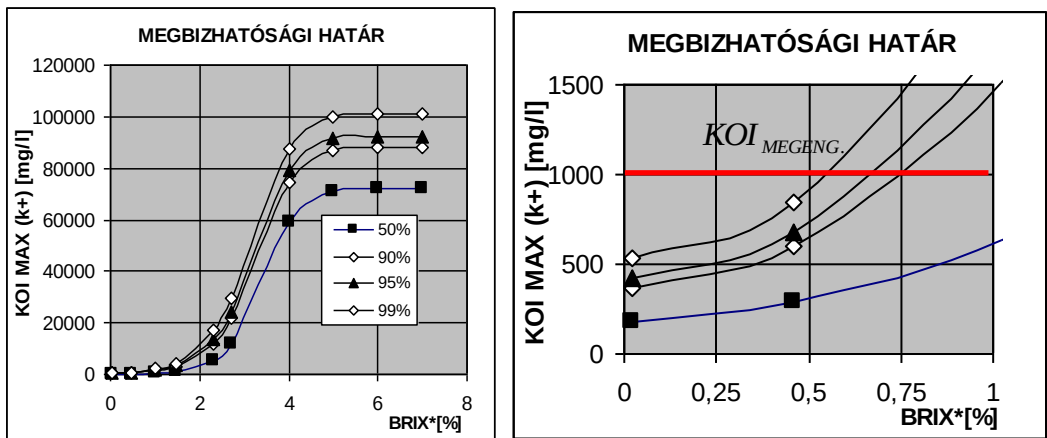
$$\phi\left(\frac{K^+ - K}{\omega}\right) = 1 - \epsilon, \quad (11)$$

ahol Φ a standardizált normális eloszlás eloszlásfüggvénye. Ebből a K^+ , azaz a számítás alapján becsült maximális érték, mint a korrigált cukoregyenérték (BRIX*) függvénye az alábbi lesz

$$K^+ = K + \sigma * \phi^{-1}(1 - \epsilon), \quad (12)$$

ahol ϕ^{-1} a standardizált eloszlásfüggvény inverze, értékei különböző valószínűségekre a standardizált normális eloszlás táblázatból megkaphatók ($\epsilon=0.05$, azaz 95%-os valószínűségnél $\phi^{-1}(0.95) = 1.64$, amit mi is használtunk a számításokhoz), amelyek felhasználásával a k^+ értéke különböző valószínűségi szintekre a (11) és a (12) alkalmazásával kiszámolható, mint a BRIX* függvénye (8. ábra).

Ezek a számítások a pillanatnyi értékekre vonatkoznak.



8. ábra: A különböző konfidencia-intervallumokhoz tartozó maximális KOI értékek a BRIX* függvényében (bal) és annak egy kisebb intervalluma (jobb).

3.3.2.3 A szórás problémája

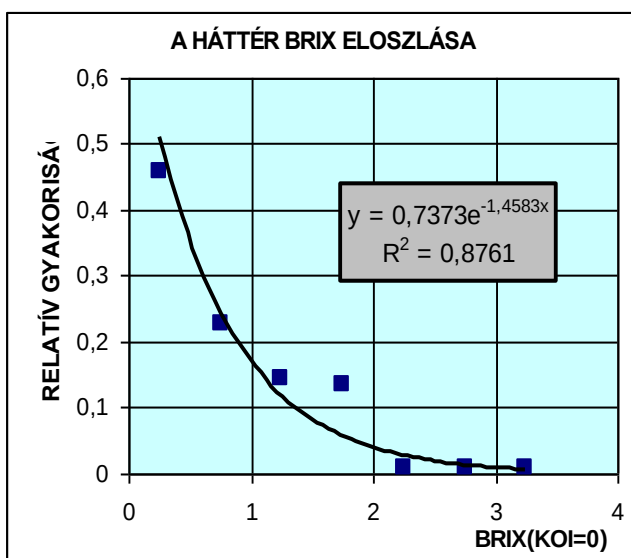
Sajnos a pillanatnyi értékek szórása meglehetősen nagy, ezt a következők okozhatják:

- a refraktométer mérési pontossága;
- a KOI-t meghatározó matematikai módszer hibája;
- mintavételi hibák – nem összetartozó adatpárok;
- a szennyvíz háttérösszetételének (cukor nélküli) változása, amely a KOI értékét nem (vagy alig), viszont a törésmutatót (BRIX-et) jelentősen befolyásolhatják.

Úgy gondoljuk, KOI mérés hibája kicsi, különösen alacsony KOI értékeknél, ahol nagy a (relatív) szórás. A refraktométernek, mint berendezés mérési pontossága is jóval nagyobb annál, hogy ekkora szórást eredményezzen, továbbá a mintavételi hibákat korrigáltuk, így a szórás jórészt az utóbbiakból eredhet.

Ezen probléma kiderítése céljából felvettünk KOI=0 értékhez tartozó (háttér) cukor-egyenérték (BRIX₀) eloszlását oly módon, hogy a BRIX értékekből levontuk a mért KOI-nak megfelelő értéket (a 2. ábrából 0.008/100 KOI) és felvettük az így kapott BRIX(KOI=0)=BRIX₀ értékek eloszlását (9. ábra). A háttér BRIX₀ értékei exponenciális (véletlen események eloszlása) eloszlást mutatnak 0.74 várható értékkel és szórással.

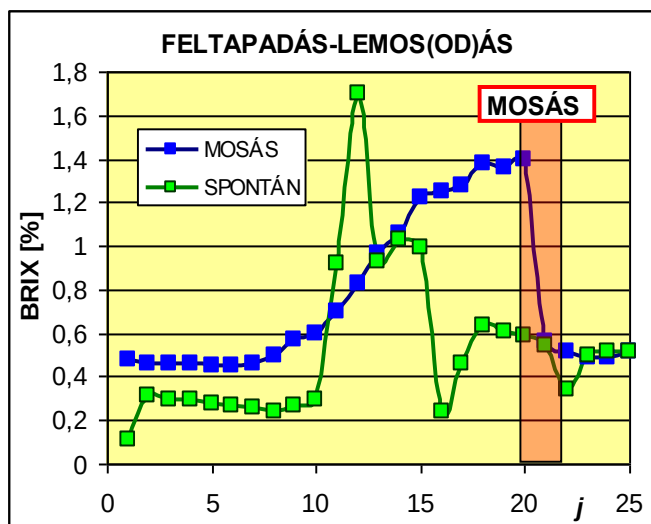
A BRIX értékek megnövekedését (BRIX₀>0) okozhatja az is, hogy a szennyvíz a cukor mellett tartalmaz a törésmutatót erősen növelő anyagokat (pl. citromsav). Ebben az esetben azonban a BRIX₀ normális eloszlású lenne, szemben a tapasztalt



9. ábra: A KOI=0-ra korrigált (háttér) BRIX₀ értékek gyakoriságának eloszlása.

exponenciális eloszlással. A másik lehetséges eset az on-line mérési módszerből származó hiba, melynek lehetséges megvalósulása az, hogy a mérőműszerben (annak üvegén) megnő a cukorkoncentráció (feltapad a cukor), így megnő a szennyvízhez képesti BRIX érték is. Ez a feltapadás véletlenszerű folyamat ezért a feltapadt mennyiség exponenciális eloszlású lesz (9. ábra).

Ezt a folyamatot illusztrálja a 10. ábra. A MOSÁS mérésnél (2011 10.14 6.30-6.55) a BRIX 0.5-ről növekedett 1.4-ig és a mosás után értéke visszaállt az eredetire. A növekedést nyilván bizonyos mennyiségű cukor feltapadása okozta. A SPONTÁN mérésnél (2011 10.14 9.40-10.02) szintén megnő a BRIX értéke feltapadás után, de az spontán módon leválik (a hígabb oldat lemosa).



10. ábra: A cukor feltapadásának és lemosódásának hatása a BRIX értékekre két különböző mérési szakaszban.

Úgy gondoljuk, hogy a viszonylag nagy szórást elsősorban az on-line BRIX mérésből, mint módszerből eredő hibák (feltapadások) okozzák (kisebb mértékben eredményezheti a szennyvíz háttérösszetételének változása is, jóllehet annak egy részét kompenzálja az ellenállásmérés alapján a korrigált BRIX használata).

Ez a szórás csökkenthető a módszer fejlesztésével (pl. a műszer célszerűbb elhelyezésével, amely megnehezítené a feltapadások kialakulását). Egy másik megoldás a tartályban lévő átlagos KOI becslése, ugyanis ebben az esetben az átlag szórása a (független) minták számának növelésével csökken. Meg kell jegyezni, hogy az említett hibák (feltapadások) nagy része a 10. ábrán mutatottnál általában kisebb (9. ábra), de mivel kis BRIX változáshoz is nagy KOI változás tartozik (2. ábra) ezért a szórást (elsősorban kis KOI értékeknél) jelentősen növelhetik.

3.3.3. A tartályba befolyó szennyvíz KOI értékének meghatározása

3.3.3.1 Átlagos KOI

Az átlagos KOI számított értéke az átlag képzési szabályának megfelelően a t-edik időpontig (j-edik mérés), amennyiben a mérések (i) között eltelt idő konstans és t=j=0-ben a tartály üres, az alábbi lesz

$$\bar{K}_j = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j K_i$$

(13)

A mért értékre hasonlóképpen:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j x_i$$

(14)

Szórásnál a vonatkozó szabály szerint a független minták esetén a szórásnégyzetek adódnak össze:

$$\bar{\sigma}_j^2 = \frac{1}{j^2} \sum_{i=1}^j \sigma_i^2, \quad (15)$$

Abban az esetben, ha

$$\bar{K} < KOI_{MEG}, \quad (16)$$

akkor a szennyvíz a csatornába kiengedhető ($KOI_{MEG} = 1000$). Amennyiben a $\bar{K}^+ > KOI_{MEG}$ akkor egy bizonyos KOI érték (KOI_{MAX}) alatt hígítással $\bar{K}^+$ értéke KOI_{MEG} alá vihető, így a szennyvíz a csatornába szintén kiengedhető lesz. A KOI_{MAX} értéke függ a tartály telítettségétől, a maradék szabad térfogattól.

Az elmondottakat lényegesen egyszerűsíthetjük és szemléletesebbé tehetjük a kumulatív (integrált) KOI bevezetésével.

3.3.3.2 Kumulatív KOI

A tartályokban összegyűlt szennyvíz KOI értékének meghatározásához a kumulatív (integrált) KOI-kat (számított és mért értékek), továbbá a számított értékek szórását az alábbi módon definiálhatjuk a (13)-(15) felhasználásával

$$K(j) = \frac{j}{J} \bar{K}_j = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^j K_i, \quad (17)$$

$$X(j) = \frac{j}{J} \bar{x}_j = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^j x_i, \quad (18)$$

$$\sum(j) = \frac{1}{j} \bar{\sigma}_j = \frac{1}{j} \sqrt{\sum_{i=0}^j \sigma_i^2}, \quad (19)$$

ahol a J a minták száma a tartály megteléséig ($j \leq J$). Mindhármát J -re normáltuk, ugyanis ebben az esetben $K(j = J) = \bar{K}_j$, $X(j = J) = \bar{x}_j$ és $\sum(j = J) = \bar{\sigma}_j$, azaz a kumulatív értékek éppen a tele tartályhoz tartozó átlagos értékeket adják.

Továbbá a (12) analógiájára a becsült maximális érték a kumulatív KOI-ra az alábbi lesz

$$K^+(j) = K(j) + \sum(j) * \phi^{-1}(1 - \epsilon). \quad (20)$$

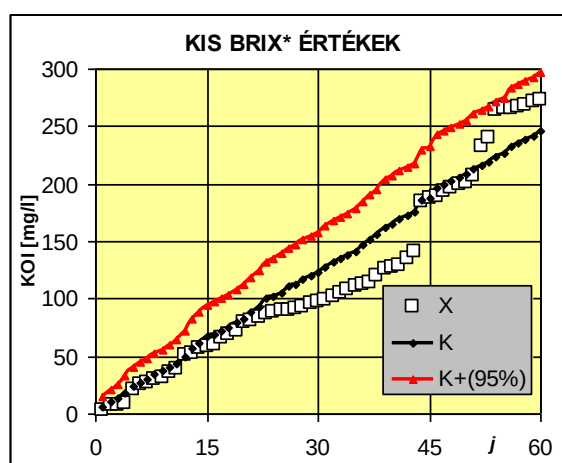
A megfelelő limit pedig az alábbi lesz

$$K_{LIMIT}(j) = \frac{j}{J} KOI_{MEG}. \quad (21)$$

Ezen képletek segítségével bármilyen időpillanatban meghatározható lesz a tartályokban lévő KOI relatív értéke, ami alapján már tudunk döntéseket hozni a szennyvíz vezérléséről.

3.3.4. A matematikai modell tesztelése

A modell helyességének igazolására a (17)-(20) összefüggések felhasználásával kiszámítottuk a 2. táblázat méréseiből egy kis (11. ábra), egy nagy (12. ábra) és véletlenszerű (13. ábra) BRIX*-ű sorozatra a $K(j)$ az $X(j)$ és a $K^+(j)$ értékeket (95%-os valószínűségi szinten), továbbá ábrázoltuk az így kapott eredményt a mérések száma, j

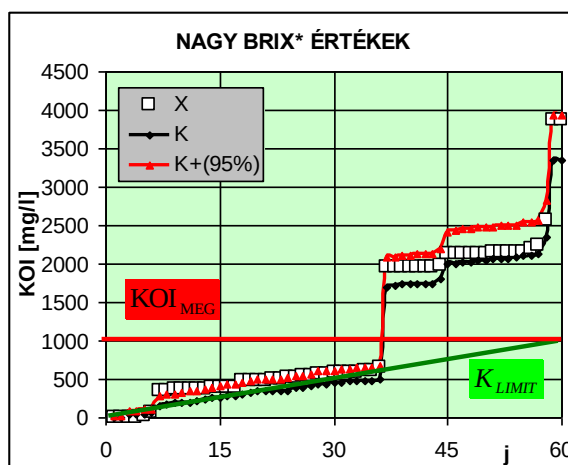


11. ábra: A laborban mért KOI (X), a számított KOI (K) és annak becsült maximális értéke (K^+) 95%-os konfidencia intervallum használatával alacsony BRIX* értékekre.

függvényében.

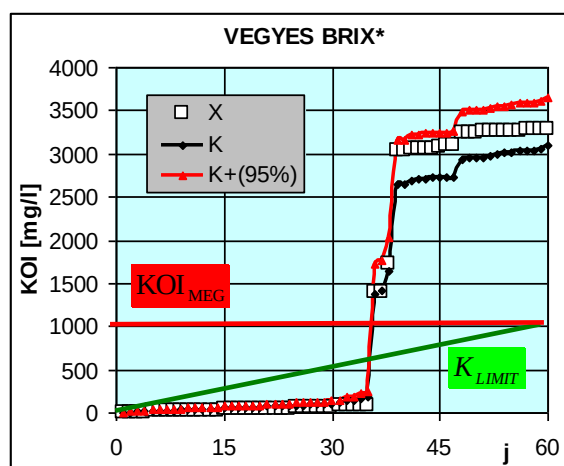
A minták kiválasztása a 2. táblázat összetartozó adatpárjaiból történt, oly módon, hogy az adatokból kiválasztottuk a 60 legkisebb, legnagyobb és 60 véletlenszerű adatot.

Mivel egy tartály átlagban 5 óra (300 perc) alatt telik meg, így ezek ötpercenkénti mintavételnek (mérésnek) felelnek meg, vagyis csináltunk három olyan virtuális tartályt, amelyekben minden 5 percben az adott mintának megfelelő összetételű szennyvíz folyik (ezeket a virtuális tartályokat számított és a mért KOI-k ismeretében a valóságban is meg lehet csinálni). A j érték $t=j \cdot 5$ [perc] időnek illetve $Z=100 \cdot j/60$ [%] tartályszintnek felel meg.



12. ábra: A laborban mért KOI (X), a számított KOI (K) és annak becsült maximális értéke (K+) 95%-os konfidencia intervallum használatával magas BRIX* értékekre.

Mindhárom ábrából látható hogy az átlagos KOI számított értékei (K) és mért értékei (X) között eltérés, ennek megfelelően a szórás, már jóval kisebb (közel egy nagyságrenddel, mint az a pillanatnyi mérések esetén volt, ami már lényegesen jobb felső érték becslésre nyújt lehetőséget. Ennek oka, hogy független minták esetén a (15) átlag szórása az egyes minták (átlagos) szórásának $\sqrt{J} = \sqrt{60} \approx 8$ -ad része.



13. ábra: A laborban mért KOI (X), a számított KOI (K) és annak becsült maximális értéke (K+) 95%-os konfidencia intervallum használatával véletlenszerű BRIX* értékekre.

Kis BRIX* értékeknél a mért kumulatív KOI értékek mindvégig K_{LIMIT} alatt maradtak (11. ábra), ami azt jelenti, hogy ebben az esetben a szennyvíz a

csatornába kiengedhető, illetve akár hígításra is felhasználható. A bemutatotthon kívül a kis BRIX* adatokból még további, nagyszámú variációt elkészítettünk, és a kapott görbék hasonlóak voltak. Egy-két esetben előfordult, hogy a mért értékek valamennyivel (nem jelentős mértékben) meghaladták a maximálist ($K^+(95\%)$), annak megfelelően, hogy ezek 95% valószínűséghez tartozó görbék.

Magas BRIX* értékeknél az első 35 mérés alatt jórészt a K_{LIMIT} -nek fölött vannak, az azt jelenti, hogy a szennyvíz csak hígítással engedhető ki. Továbbá néhány mért adat kismértékben a $K^+(95\%)$ felett van, melynek oka a fentebb említett. Lehetne ugyan egy nagyobb valószínűségi szintet is venni, de az eltérés nem olyan nagy, ami megérné, hogy lényegesen felül-becsüljük a tényleges adatokat. A 36. mérés után a kumulatív KOI meghaladja a KOI_{MEG} értéket, ezért a szennyvíz nem engedhető ki a csatornába (12. ábra).

A vegyes BRIX* értékeknél a mért értékek szintén alatta voltak a $K^+(95\%)$ értéknek (12. ábra). A 35. mérés alatt a szennyvíz a csatornába kiengedhető, fölötté nem (hígítással sem). Mindhárom esetben a mért KOI (95%-os valószínűséggel) alatta volt a becsültnek, tehát a modell a felső érték becslésre alkalmazható.

A becslés számított hibája a kimenő KOI-ra 1000 mg/l esetén mintegy 100 mg/l lehet, amely 10%-os hibát jelent. Célszerűnek látszik a szennyvizet (a biztonság kedvéért) 90%-nál kiengedni (tehát $KOI_{MEG}=900$), ami további 10%-os hibát jelent, azaz a kritikus értéknél kiengedett szennyvíz átlagos KOI-ja 800 mg/l körül lehet.

3.4. A modell értékelése

A teszteredmények alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy modellünk alkalmas a tartályba gyűjtött gyógyszergyári szennyvíz kémiai oxigénigény (KOI) értékének számítására refrakció (cukoregyenérték) mérés segítségével. Az on-line mérések segítségével a KOI pillanatnyi értékei viszonylag nagy szórással rendelkeznek, de a tartályban gyűlő szennyvíz kémiai oxigénigénye mind magas, mind alacsony KOI esetén megfelelő pontossággal meghatározható. A KOI érték becslése lényegesen növelhető a műszer célszerűbb elhelyezésével és a kalibrációs görbe pontosabb felvételével. A mérőrendszer

adatainak elemzése alapján kimondható, hogy átfolyó rendszerű vezérlőrendszer nem működtethető biztonságosan, de gyűjtő módú rendszer megfelelő biztonsággal, a környezetvédelmi előírásoknak megfelelően üzemeltethető.

A matematikai modellre támaszkodva kialakítható egy vezérlőrendszer, amely a mérőműszer által begyűjtött adatok alapján számítja a korrigált cukoregyséértéket (BRIX*), valamint a pillanatnyi és a tartályban összegyűlt (kumulált) KOI-t, majd az így kapott értékek függvényében döntést hoz a szennyvíz irányításáról.

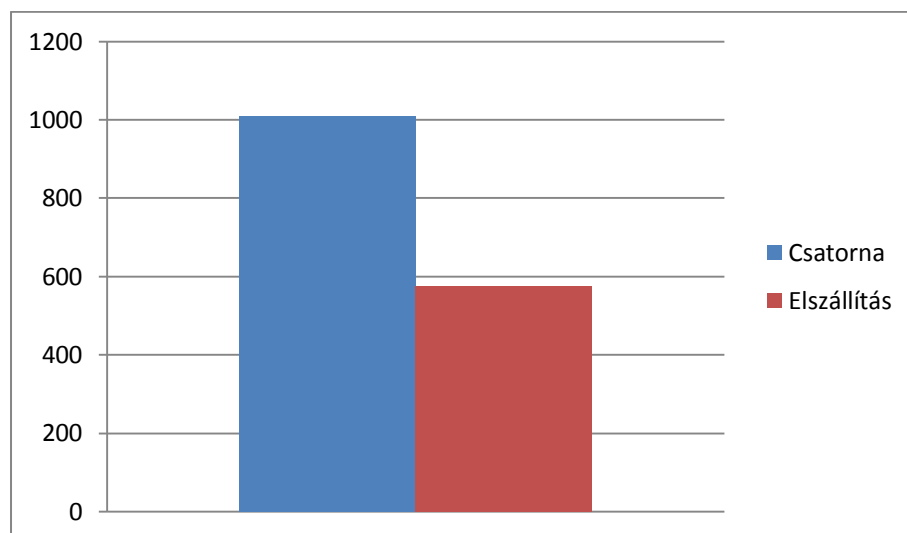
4. A vezérlőmodul

A matematikai modell (7. ábra) sikereit látva belevágtunk egy vezérlőmodul kidolgozásába, amely az érkező szennyvíz pillanatnyi on-line refraktométer által mért értékei, valamint a tartályban összegyűlt szennyvíz számított adatai alapján a dönt az érkező víz irányításáról.

4.1. A váltott üzemmódú rendszer tesztelése

A refraktométer által 45 nap alatt begyűjtött adatok és MATLAB szoftver felhasználásával szimulációkat végeztünk az eredeti rendszer (1. ábra) határfokának meghatározására. A 45 nap mérési adataiból a hibás adatokat kiszűrve 16000 mért adatunk maradt, ezeket használtuk fel a szimulációk elvégzéséhez.

A szimuláció alapján megállapítható, hogy az eredeti modell az adatok alapján 42 tartálynak megfelelő szennyvizet engedett a csatornába és 24 tartálynit kellett elszállítani a teljes mennyiségből. A szimuláció eredménye a 14. ábrán látható.



14. ábra: Az eredeti váltott üzemmódú rendszer 1010 m^3 (42 tartály) határérték alatti (csatornába engedett), 576 m^3 (24 tartály) határérték feletti (elszállított) szennyvizet generált.

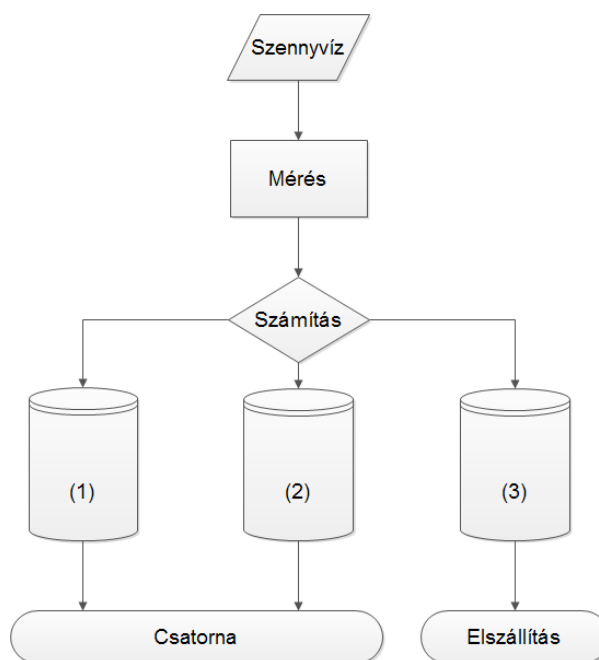
4.2. A közvetlen vezérlésű rendszer

4.2.1. Általános szabályok

Az eredeti váltott üzemmódú rendszer (1. ábra) mindhárom tartálya immár felhasználható a szennyvíz gyűjtésére, mivel a pH kiegyenlítésre nincs szükség, ugyanis a pH nem lépi át a megengedett határértéket. Egyszerre csak az egyik tartályba lehet beengedni a vizet, de ez alatt két tartályból lehet a csatornába engedni. Biztonsági okokból egyik tartályt sem töltjük fel teljesen, legfeljebb 70%-ig engedjük a vizet.

A tartályok között van átjárás (tehát egyik tartály tartalmát átönthetnénk a másikba), bár ezt nem használjuk ki.

A három tartály funkcionalitását tekintve ugyanazon célokra alkalmas, de mi mégis úgy döntöttünk, hogy az egyik tartályba csak az olyan szennyvizet gyűjtjük, amely a szabályok szerint nem engedhető ki a csatornába (ebből minden körülmények között elszállítunk). A másik két tartályba felváltva engedjük a szennyvizet, és megpróbáljuk a határértékhez alulról közelíteni az így összegyűlt szennyvíz kumulált KOI értékét (ezekből mindig a csatornába engedünk), miközben a teljes mennyiség minél kisebb töredékét küldjük elszállításra. Az új rendszer vázlata a 15. ábrán látható.



15. ábra: A vezérlőmodul működési vázlata.

4.2.2. A közvetlen vezérlésű rendszer (DCM) működése

A DCM vezérlőmodul fejlesztését és tesztelését MATLAB szoftver segítségével végeztük. A rendszer algoritmus a következő:

A refraktométer segítségével mérjük az érkező szennyvíz paramétereit, ezek alapján kiszámítjuk a korrigált cukoregyenértéket (BRIX*) és az aktuális szennyvíz pillanatnyi kémiai oxigénigényét (KOI), valamint az egyes tartályokban lévő kumulált KOI értékét az előző mérések és a tartálszintek alapján. Amennyiben az érkező szennyvíz KOI értéke az $1000 \frac{mg}{l}$ -es határérték alatt van (ez a legjobb eset), akkor az 1-es 2-es tartály közül abba engedjük, amelyikben magasabb a kumulált KOI értéke. Ha az érkező szennyvíz KOI értéke az $1000 \frac{mg}{l}$ -es határérték felett van, három lehetőség áll elő:

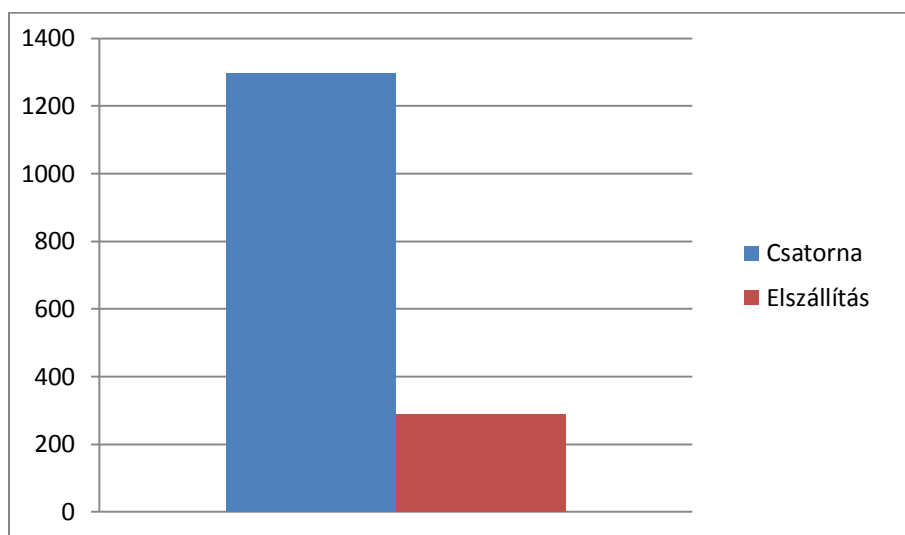
- ha extrém magas ($K \geq 10000 \frac{mg}{l}$) KOI-ú szennyvíz érkezik, akkor a 3-as tartályba engedjük
- ha az érkező szennyvíz KOI értéke extrémnél kisebb, de a limitnél magasabb, akkor
 - ha a beengedés után mindkét tartály tartalma határérték alatt maradna, akkor abba engedjük, amelyiknek magasabb lesz a kumulált KOI értéke a beengedés után
 - ha egyik tartály kumulált értéke sem tartható a határérték alatt (ez a legrosszabb eset), akkor a 3-asba engedjük.

Mialatt az egyik tartályba beengedjük a vizet, a tartalmát kiengedhetjük a csatornába (ha a 3-asba engedünk, a másik kettőt egyszerre engedjük le). Ha a 3-as tartály megtelik, a program üzenetet küld a képernyőre és automatikusan kiüríti a tartályt (elszállításra küldi annak tartalmát).

4.2.3. A DCM rendszer tesztelése

Az így kiépített rendszer szimulációját ugyanazon adatsoron (16000 adat) végeztük, mint a váltott üzemmódú rendszer esetén (4.1. fejezet), szintén MATLAB segítségével.

A szimuláció alapján megállapítható, hogy az eredeti modell az adatok alapján 54 tartálynak megfelelő szennyvizet engedett a csatornába és 12 tartálynit kellett elszállítani a teljes mennyiségből. A szimuláció eredménye a 16. ábrán látható.



16. ábra: Az általunk DCM rendszer 1300 m³ (54 tartály) határérték alatti (csatornába engedett), és 288 m³ (12 tartály) határérték feletti (elszállított) szennyvizet generált.

4.3. A DCM rendszer működésének általánosítása (ICM)

Látva a DCM rendszer sikereit úgy gondoltuk, hogy érdemes további lehetőségek után nézni, amellyel a rendszert még jobbra, hatékonyabbá tehetjük. Célunk továbbra is az, hogy minél kevesebb szennyvizet kelljen elszállítani, és a kiengedett szennyvíz KOI értéke minél magasabb legyen, de továbbra is határérték alatt maradjon.

A közvetlen vezérlésű rendszer egyik nagy hiányossága, hogy soha nem engedi meg, hogy az 1-2-es tartályokban határérték feletti kumulált érték legyen, pedig elképzelhető, hogy ez a később érkező szennyvíz ezt még felhígítja, így újra olyan szennyvízhez jutunk, ami kiengedhető a csatornába. Egy másik aspektus, hogy a programot általánosítva más, hasonló vezérlésű rendszerek esetén is alkalmazni tudjuk (természetesen kisebb-nagyobb módosítások után, pl. a számítási modell átalakítása).

Feladatunk egy olyan intelligens döntési rendszer felállítása, ami bizonytalan helyzetekben is képes jó döntést hozni. További követelmény, hogy más területeken is alkalmazhatóvá tegyük jelenlegi rendszerünket.

Az alábbi lehetséges mesterséges intelligenciát alkalmazó algoritmusokat megvizsgáltuk, és megkerestük az erre a problémára alkalmazható módszert.

4.3.1. Fuzzy logika

Az intelligens vezérlés megvalósításához több lehetőség állt rendelkezésre, melyek közül elsőként a fuzzy rendszerek vizsgálatára fektettünk hangsúlyt.

A fuzzy logika problémája a tagságfüggvények definiálása, jelen problémánál nem tudtunk funkcionálisan megbízható és hatékony tagságfüggvényeket definiálni, ezért ezt a lehetőséget elvetettük.

4.3.2. Mesterséges neurális háló

Bár a fuzzy rendszer nem bizonyult alkalmasnak az eddigi rendszer fejlesztésére, jó lehetőségnek gondoltuk egy mesterséges neurális háló kiépítését.

Ezen lehetőség azt a problémát hozta, hogy a háló betanítását csak nehézségek árán tudnánk megoldani, mert a rendszer előrecsatolt jellege miatt nem tudtunk megfelelő, a betanításhoz alkalmas tesztadatsort generálni.

4.3.3. Genetikus algoritmus

Harmadik lehetőségként a genetikus algoritmusokat vizsgáltuk [9, 10]. A genetikus algoritmusok az evolúció elmélete alapján kidolgozott keresőeljárások, melyek esetén mindig ismert az elérni kívánt cél. A potenciális megoldásokat (egyedek) a céltól eltérő jóságuknak (fitneszüknak) megfelelően szelektáljuk és mutáljuk a következő generáció előállításához. Az egyes generációk egyedeinek jósága konvergál az optimálishoz, amely a cél eléréséhez vezet. A probléma jellegétől függően az egyedek fitnesz értékének minimalizálása vagy maximalizálása is lehet cél.

Ezek alapján úgy gondoltuk, ez a technológia alkalmazható lehet a gyógyszergyári szennyvíz kezelésére. A genetikus algoritmusunk ugyanis fel tudja dolgozni a tanuláshoz a már rendelkezésre álló adatsort, és az algoritmus hatékonyságát is könnyen lehet minősíteni.

4.3.3.1 A genetikus algoritmus működése

Jelen esetben a fitness értékeként az elszállítandó szennyvíz mennyiségét választottuk, amit továbbra is minimalizálni szeretnénk. A legtöbb genetikus algoritmustól eltérően nem bitvektort használunk a megoldás során: a kromoszómák jelen probléma esetén a valós számot tartalmazó súlyfaktorok, az egyes populáció egyedeinek kromoszómái az ezekből összefűzött súlyvektorok.

A szennyvíz irányításában fontos szerepet játszanak a súlyfaktorok. Minden generáció esetén más és más súlyfaktorokat használunk, melyeknek értéke mindig a $[0,1]$ intervallumba esik. A futás során m darab súlyfaktorra lesz szükségünk, amelyek mindegyike egy-egy tartályra (saját értékének felhasználásával) szavaz. A kiértékelés után a legnagyobb összesített szavazattal bíró tartály nyer, ebbe engedjük a szennyvizet. Természetesen lesznek speciális esetek, melyek növelik, vagy éppen leponтоzzák (pl. ha a tartály leeresztés alatt van) az egyes tartályokra összegyűlt szavazatok értékét. A szavazást és a szennyvíz irányítását a fitnessfüggvény (4.3.3.2 fejezet) végzi.

Az első generáció esetén véletlen számokkal inicializáljuk a súlyfaktorokat és ezeket egy súlyvektorban tároljuk. Minden generáció esetén n darab súlyvektort generálunk, melyeket egy $n * m$ -es súlymátrixba fűzünk, majd ezzel futtatjuk le a szimulációt, amely kiszámítja a fitness értékét minden súlyvektorhoz tartozóan.

A fitness értéke a hármastartályba gyűlő, elszállításra kerülő szennyvíz térfogata lesz, melyeket a hozzájuk tartozó súlyvektorokkal együtt növekvő sorba rendezzük, majd a p legjobb fitnessű egyedet a következő generáció szülőiként választjuk. Ezt a p szülőt meghagyjuk a következő generációban is, majd a maradék $q = n - p$ új egyedet két véletlen szülő, véletlen számú súlyfaktorának cseréjével készítjük el (többpontos átkeresztezés), az olyan súlyfaktorok helyére, melyek nem kerültek átlagolásra véletlen számokat generálunk (mutáció).

4.3.3.2 A fitnessfüggvény

Az egyes egyedek fitnessének kiszámítását és a szennyvíz tényleges irányítását a fitnessfüggvény végzi el és az így elszállításra kerülő szennyvíz mennyisége adja meg a fitness értékét. A futás során a program először kiszámítja

az érkező szennyvíz KOI értékét ($K_{PILLANATNYI}$), majd az egyes tartályok előző kumulált ($K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT}$) értékei alapján az új kumulált értékeket ($K_{KUMULÁLT}$), ami a tartályban tárolt szennyvíz új kumulált értékét becsli meg, ha az érkező szennyvizet beleengednénk az adott tartályba.

Ezen értékek, a határérték ($K_{MEG}=1000$) és az extrém magas KOI értékének ($K_{EXTRÉM}$) felhasználásával különböző matematikai műveletek során egy viszonyszámot képzünk. Ez a szám megmutatja, hogy „mennyire” érdemes az egyes tartályokba engedni a szennyvizet, majd ezt szorozzuk meg az egyik súlyfaktorral. Fontos, hogy egy súlyfaktort ne használjunk fel többször ilyen szorzások során.

Amennyiben az egyik tartály leeresztés alatt áll, a hozzá tartozó szavazatot le kell csökkenteni, illetve ha az egyik tartály leeresztés alatt áll, és a másik megtelt, akkor mindenképp a harmadikba kell engedni az érkező szennyvizet, tehát ilyen esetben a 3-as tartályra történő szavazást erősíteni kell.

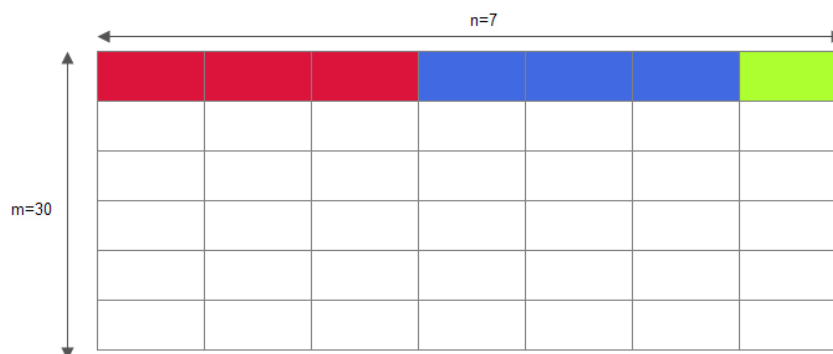
A fitnessfüggvény az adatsort minden k generáció minden n súlyvektorára feldolgozza és a fitness végső értéke a 3-as tartályból elszállított szennyvíz mennyisége lesz. A program addig fut, míg az egyedek fitnesszeinek szórása (az adott generációra vonatkozóan) vagy a legjobb fitness értéke el nem éri a nullát, továbbá megszabunk felső korlátot a generációk számára is.

4.3.3.3 A genetikusan tesztelés

A genetikusan teszteléséhez szintén a 45 napos mérési sorozat 16000 válogatott adatát használtuk fel, akárcsak a váltott üzemmódú és a DCM esetén. A tesztelés során a program 240 generáción keresztül futott, 30 egyedet 7 súlyfaktorral generálva minden generációban, melyek közül mindig a 10 legjobbat szülőként választottuk és vittük tovább, majd két véletlen szülő, véletlen számú súlyfaktorának keresztezésével készítettünk új egyedeket.

A tartályokra történő szavazás a súlyfaktorok felhasználásával történik. A súlyvektor 7 elemét csoportokra soroltuk, melyek az egyes tartályokra szavaznak. Ha az indexelést 1-től kezdjük, akkor a hét elemet tartalmazó súlyvektor első, második és harmadik eleme az 1-es tartályra, negyedik, ötödik és hatodik eleme a

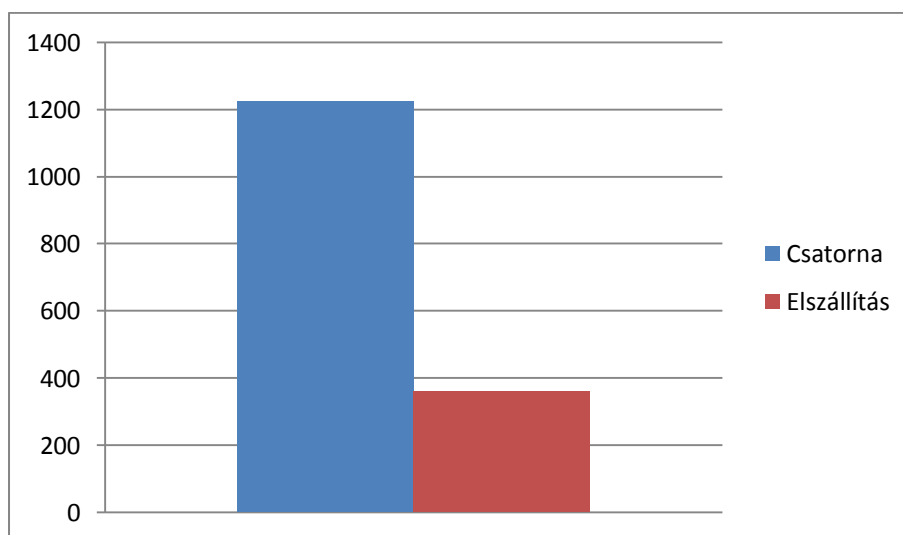
2-es, hetedik eleme pedig a 3-as tartályra szavaz. A súlymátrix szerkezete és az így kialakult csoportok a 17. ábrán láthatók.



17. ábra: A genetikus algoritmus futása során használt súlymátrix szerkezete és a szavazatok csoportosítása (piros=1-es tartály, kék=2-es tartály, zöld=3-as tartály).

A fitnessfüggvény futása során a tartályok szavazati pontjai minden esetben 0-ról indulnak, melyekhez hozzáadjuk a számított viszonyszámok és a súlyfaktorok szorzatát. A pontos számítási módszer a Függelék 4. táblázatában látható.

A tesztelés során az első generáció fitnessze 377.28 m^3 (15.72 tartály) kiengedett szennyvíz fokozatosan csökkent, minimumát a 90. generációnál érte el, 341.28 m^3 (14.22 tartály) értékkel. A szimuláció eredménye a 18. ábrán látható.



18. ábra: Az általunk kidolgozott ICM rendszer 1242.72 m^3 (51.78 tartály) határérték alatti (csatornába engedett), 341.28 m^3 (14.22 tartály) határérték feletti (elszállított) szennyvizet generált.

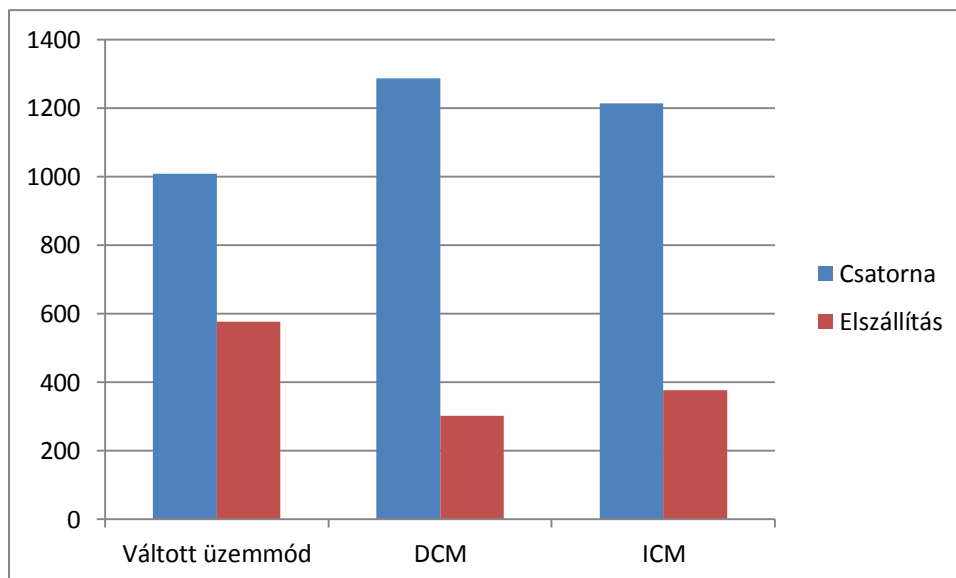
5. Értékelés

A laboratóriumi adatok (2. táblázat) felhasználásával felállítottunk egy matematikai modellt (3. fejezet), ami képes a gyógyszergyári szennyvízre jellemző kémiai oxigénigény pillanatnyi értékét számítani (melynek közvetlen mérése csak laboratóriumi mérésekkel lehetséges) a cukoregyenérték (BRIX) és vezetőképesség ismeretében, melyek mérőműszer alkalmazásával on-line mérhető paraméterek. A tartályokban felgyülemelő szennyvíz KOI értékének számítására a kumulatív (integrált) KOI-t vezettük be (3.3.3.2 fejezet), amely kellő biztonsággal becsli meg a szennyvíz KOI értékét, melyet a rendelet [5] értelmében határérték alatt kell tartani.

A matematikai modell számításaira támaszkodva szimuláltuk a váltott üzemmódú rendszert, majd kialakítottunk egy közvetlen vezérlésű modult (DCM), amely a tartályokba irányítja a szennyvizet, a határérték alatti szennyvizet a csatornába engedi, a határérték feletti szennyvizet pedig elszállításra küldi.

A DCM továbbfejlesztése céljából egy intelligens vezérlőrendszert (ICM) dolgoztunk ki, amely egy genetikus algoritmus alkalmazásával általánosítja a problémát, így ez a megoldás alkalmazható lehet más, hasonló esetekben is.

A teszteredmények összehasonlítása során megállapítottuk, hogy a DCM rendszer bizonyult a leghatásosabbnak jelen probléma esetén, valamint ezt az eredményt az ICM modul is megközelítette (19. ábra). A váltott üzemmódú rendszer működési hatékonyságát mindkét általunk fejlesztett megoldás jelentős mértékben javítani tudta.



19. ábra: A váltott üzemmódú, a DCM és az ICM rendszerek szimulációi során hozott eredmények összehasonlítása.

Sajnos az általunk fejlesztett rendszereket nem tudtuk valós környezetben kipróbálni, melynek legfőbb oka az volt, hogy a fejlesztő cég nem tudja garantálni a mérőműszerek üzembiztos működését. A tesztidő alatt is több napos szünetek fordultak elő, mert a műszer karbantartásra szorult. További céljaink között szerepel az ICM továbbfejlesztése, ugyanis nagy hiányossága, hogy nem töményíti a tartályokban felgyülemlett szennyvizet, ezáltal bizonytalan helyzetekben nem a legjobb döntést hozva meg. Úgy véljük, az ICM fejlesztésével képesek lehetünk a DCM hatásfokának túlszárnyalására is.

6. Summary

Environmental protection takes very important part of our scientific, industrial and everyday life. For companies working with industrial operations it is especially serious to protect the environment, because of the regarding orders by the Ministry of Environmental Protection meanwhile maximizing their profit. In our study a procedure was developed for waste water management system at a Hungarian pharmaceutical factory. The parameters of the waste water, which is allowed to flow into the drain, are ruled by the 24/2004 order of Ministry of Environmental Protection. On the strength of monitoring processes we think that the current system sometimes exceeded these limitations. To improve the managing system our goal was to apply an on-line measuring equipment set and develop a mathematical model which can mean the Chemical Oxygen Demand value of the water in real time, which was able only during laboratory measures before. Using the measured data a scheme of a real time control system was made, that keeps the parameters of the under the threshold-value regarding the regulations ordained by the Ministry of Environmental Protection.

The system works with three collecting tanks and controls the water into the drain or suggests it to transportation if its parameters exceeded the limit. To validate the model we used parallel laboratory and measured data. To check the efficiency of the control system we used a 45 day measurement data for the simulations. During the test period it was established, that the volume of the water transported became less by nearly 50%, while no water, the parameters of which were above the threshold value, flowed into the drain.

The developed system was much better than the traditional practice, therefore we decided to generalize our solution. We chose genetic algorithm, where the fitness value was the water which needed transportation. We tried to minimize this value by selecting the smallest fitness-value units as the parents for the next generation. Using the same 45 day data we optimized the control system to this solution. This developed system has as good result as the first one. That is why we suppose that this algorithm could be applied in many cases of similar water direction systems.

7. Irodalomjegyzék

[1] **Benkő T, Sanyi Á, Mizsey P, Fonyó Zs:** Environmental and economic comparison of wastesolvent treatment options, Cent. Eur. J. Chem., 4 (1) 92-110.,2006

[2] IPPC Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2003 - http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/cww_bref_0203.pdf, 2003. február

[3] **Mizsey P:** Waste reduction in the chemical industry - a two level problem, Journal of Hazardous Materials 37 1-13., 1994

[4] **Salgado A.M, Folly R.O.M, Valdman B:** Biomass monitoring by use of a continuous on-line optical sensor, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 75, Issues 1–2: 24-28, 2001

[5] Thresholds for water pollution 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól - http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0400028.KVV, 2012. április

[6] Felszíni vizek vizsgálata, Kémiai oxigénigény meghatározása, MSZ 12750/21-71, MSZ ISO 6060:1991 - <http://cheminst.emk.nyme.hu/vizkemia/KOI.pdf>

[7] **Stoyan Gisbert:** MATLAB, Typotex Kiadó, 2005

[8] MATLAB Documentation - <http://www.mathworks.com/help/matlab/index.html>

[9] **Álmos A, Győri S, Horváth G, Várkonyiné Kóczy A:** Genetikus Algoritmusok, Typotex Kiadó,Budapest, 2003

[10] **Futó Iván:** Mesterséges intelligencia, Aula Kiadó, 2003

8. Függelék

1. táblázat: a munka során felhasznált mért adatok. A mérés ideje (DATETIME), a vezetőképesség (VK [μS]), a pH (PH), a refrakció cukoregyenértékben (BRIX [%]), a hőmérséklet (TEMP [$^{\circ}C$]), az 1. tartály szintje (LTM1 [%]), a 2. tartály szintje (LTM2 [%]) a mosás (kék szín) és a visszaállítás (sárga szín).

DATETIME	VK	PH	BRIX	TEMP	LTM1	LTM2	MOSONY
2011.10.11. 22:45:44	13,1	7,1	0,61	30,3	38,2	76,3	0
2011.10.11. 22:46:44	13,3	7,1	0,98	30,6	38,2	76,9	0
2011.10.11. 22:47:45	13,9	7	0,56	31	38,2	77,3	0
2011.10.11. 22:48:44	18,4	7,1	0,83	31,5	38,2	77,5	0
2011.10.11. 22:49:44	0,7	6,8	0,09	31,7	38,1	77,9	1
2011.10.11. 22:50:45	0,9	6,8	0,05	31,4	38,1	78,4	1
2011.10.11. 22:51:45	20,3	7,1	0,6	31,2	38,3	78,9	0
2011.10.11. 22:52:44	8,7	7	0,57	31,5	38,1	79,4	0
2011.10.11. 22:53:44	12,8	7,1	0,5	32	38,2	79,7	0
2011.10.11. 22:54:45	15,8	7,1	0,66	32,6	38,2	80,2	0
2011.10.11. 22:55:44	13,1	7	0,68	33	38,2	80,5	0
2011.10.11. 22:56:45	10,6	7	0,62	33,2	38,2	80,8	0

2. táblázat: Az általunk felhasznált laborban mért 128 darab adat. A narancssárga adatok nem voltak megbízhatóak, valamint előfordultak duplikált adatok, ezért ezeket töröltük a szimuláció során.

Mintavétel dátuma	Idő	pH	VK [mS/cm]	Brix [%]	Hőmérséklet [$^{\circ}C$]	KOI [mg/l] (labor mérés)
2011.09.14		7,1	1,11	0,84	30,2	305
2011.09.14		7	0,7	0,4	30	80
2011.09.14	15:30	8,6	0,67	0	28,5	338
2011.09.14	15:40	8,6	0,66	0,11	34,9	158
2011.09.14	15:45	8,7	0,69	0,06	36,5	100
2011.09.14	15:50	8,7	0,67	0,22	37	50
2011.09.14	16:10	6,8	0,7	0,54	33,1	50
2011.09.15	8:00	6,7	0,98	0	23,2	55
2011.09.15	10:30	7	16,7	1,44	31,5	231
2011.09.15	10:35	7	11,1	1,33	31,7	104
2011.09.15	10:45	7,3	8,7	0,73	31,9	103
2011.09.15	10:47	7,1	11,9	1,25	31,7	118
2011.09.15	13:36	6,9	1,19	1,06	40,9	2600
2011.09.15	14:05	6,8	1,39	0,78	36,1	191
2011.09.15	14:38	6,9	1,11	0,63	35,9	50
2011.09.15	15:35	7,2	0,91	0,65	36,7	324
2011.09.15	15:40	6,8	1,26	0,71	37,2	726
2011.09.15	15:47	7,1	0,77	0,94	38	124
2011.09.15	15:50	6,9	0,86	0,38	36,7	130
2011.09.15	15:47	7,1	0,72	0,55	38	118

2011.09.15	16:02	6,9	0,82	0,34	41,7	369
2011.09.15	16:04	6,7	0,8	0,66	42,1	152
2011.09.15	16:18	6,5	0,95	0,63	38,9	168
2011.10.11		8,6	0,67	0	26,1	338
2011.10.11		6,7	0,98	0	27,1	55
2011.10.11		8,7	0,69	0,06	27,9	100
2011.10.11		8,6	0,66	0,11	27,7	158
2011.10.11		6,9	0,86	0,21	28,3	130
2011.10.11		8,7	0,67	0,22	29,4	50
2011.10.11		6,9	0,82	0,34	28,4	369
2011.10.11		7	0,7	0,4	28,1	80
2011.10.11		6,8	0,7	0,54	27,1	50
2011.10.11		7,1	0,72	0,55	27,5	118
2011.10.11		6,5	0,95	0,61	27,6	168
2011.10.11		6,9	1,11	0,63	27,9	50
2011.10.11		6,7	0,8	0,66	27,5	152
2011.10.11		6,8	1,26	0,71	28,1	726
2011.10.11		7,3	8,7	0,73	28,5	103
2011.10.11		6,8	1,39	0,78	28,6	191
2011.10.11		7,2	0,91	0,81	29	324
2011.10.11		7,1	1,11	0,84	28,1	305
2011.10.11		7,1	0,77	0,94	29	124
2011.10.11		6,9	1,19	1,06	29	2600
2011.10.11		7,1	11,9	1,25	29,2	118
2011.10.11		7	11,1	1,33	29,4	104
2011.10.11		7	16,7	1,44	29	231
2011.10.11		6,8	1,1	0,26	28,9	251
2011.10.11		6,8	1,3	0,22	29,1	166
2011.10.11		6,9	1	0,17	29	50
2011.10.11		6,9	1,1	0,29	28,9	226
2011.10.11		6,9	1,1	0,29	29,2	169
2011.10.11		6,9	1	0,16	29,3	50
2011.10.11		6,8	0,9	2,01	29	51000
2011.10.11		6,8	0,9	4,11	28,4	78000
2011.10.11		6,8	1,1	2,87	28,5	20000
2011.10.11		6,8	1,3	0,32	28,7	6400
2011.10.11		7,3	1	0	29	182
2011.10.11		6,7	3,8	0,34	29,1	9600
2011.10.11				0	29	100
2011.09.28	17:18	6,8	1,1	0,26	33,9	251
2011.09.28	17:33	6,8	1,3	0,22	33,6	166
2011.09.28	17:25	6,9	1	0,17	34,2	50
2011.09.28	17:17	6,9	1,1	0,29	34,1	226
2011.09.28	17:16	6,9	1,1	0,29	34,2	169
2011.09.28	17:26	6,9	1	0,16	34,3	50
2011.10.27	14:35	6,8	0,6	0	30,1	50
2011.10.12	17:27	6,6	1	0,22	32,7	964
2011.10.14	16:00	6,8	0,6	0,48	30,1	1400

2011.10.19	15:50	5,9	1,1	1,59	29,3	162
2011.10.21	15:36	6,7	1	1,61	27,9	158
2011.10.24	16:02	6,7	0,9	0	25,8	526
2011.10.25	18:50	6,8	0,4	0	24,2	46
2011.10.26	17:13	6,8	0,2	0	27	121
2011.10.25	7:22	6,9	0,7	0	24,3	66
2011.11.08	20:24	6,8	0,6	0	27	466
2011.11.10	15:26	6,8	0,4	0	20,9	46
2011.11.10	20:43	6,3	0,2	0	19,5	78
2011.11.11	11:37	7	0,6	6,61	15,7	78000
2011.11.11	11:41	7	0,7	4,47	15,6	56800
2011.11.11	11:41	6,9	0,6	0,49	15,6	20800
2011.11.11	11:48	6,6	0,9	0,02	15,6	350
2011.11.11	11:56	6,8	1,1	0,06	15,6	165
2011.11.11	12:22	7	1	0,03	15,8	1500
2011.11.11	12:48	6,8	0,9	0	17,6	45
2011.11.11	13:26	6,2	0,9	0,04	19,9	48
2011.11.11	13:28	6,8	0,9	0	19,5	38
2011.11.11	15:47	6,8	0,9	0	20,5	50
2011.11.11	14:51	7	10,5	0,96	20	100
2011.11.11	15:00	6,9	13,7	1,28	22	100
2011.11.11	15:57	7	17	1,6	18,2	100
2011.11.11	15:41	6,9	0,7	0	20,7	50
2011.11.11	16:43	6,7	0,7	0,15	18,5	100
2011.10.17	8:41	6,7	33,6	3,47	23,4	384
2011.10.17	9:57	6,8	13,9	2,04	22,7	96
2011.10.17	10:48	6,2	0,5	1,28	26	192
2011.10.17	13:13	7	8,3	3,16	31	17800
2011.10.17	15:47	6,6	0,9	1,58	31	384
2011.10.17	16:28	6,6	0,6	1,44	29,2	68
2011.10.18	8:57	7	5,6	3,25	22,2	8640
2011.10.18	10:17	6,8	0,9	1,36	25,9	259
2011.10.18	11:42	6,7	0,6	1,5	28,2	158
2011.10.18	13:11	7	21,4	3,09	29	202
2011.10.18	14:50	6,8	0,9	1,6	31,1	792
2011.10.18	16:08	6,5	0,9	1,6	31	4800
2011.10.19	8:41	6,8	18,8	2,23	22,7	250
2011.10.19	9:55	6,7	1	1,4	28,6	374
2011.10.19	11:52	6,8	0,6	1,68	25,8	1580
2011.10.19	13:50	7,3	0,9	1,62	30,4	384
2011.10.19	14:35	7	0,4	1,76	39,4	269
2011.10.19	15:57	6,4	1,1	1,62	29,5	82
2011.10.28	8:46	6,7	0,1	0,18	22,6	110
2011.10.28	9:53	6,6	0,5	0,04	32,3	139
2011.10.28	10:55	6,7	0,6	0,05	29,5	192
2011.10.28	11:57	6,5	0,6	0,35	27,8	110
2011.10.28	14:04	6,8	0,6	0,35	27,1	93
2011.10.28	15:18	6,7	0,6	0,42	28,2	288

2011.10.28	16:02	6,8	0,6	0,34	26	173
2011.10.14	15:40	6,9	0,9	1,45	21,1	1920
2011.10.14	15:58	6,7	0,9	1,5	20,7	960
2011.11.15	10:08	6,6	0,9	1,43	17	408
2011.11.15	11:43	6,7	0,6	1,73	21,5	768
2011.11.15	14:59	6,7	1	1,59	25,6	144
2011.11.15	16:20	6,8	6,3	1,92	21,6	216
2011.11.16	11:25	6,7	0,7	1,54	19,5	3070
2011.11.16	13:09	6,9	1	1,92	22,5	792
2011.11.16	14:22	7	0,9	1,73	24,5	154
2011.11.16	15:43	6,7	0,9	2,04	24,2	1150
2011.11.17	10:26	6,5	1	1,79	15,7	125

3. táblázat: a kalibrációs görbéhez felhasznált adatok. A színek a BRIX* szerinti csoportosítást jelentik.

BRIX*	KOIMÉRT	BRIX*	KOIMÉRT	BRIX*	KOIMÉRT	BRIX*	KOIMÉRT
-0,23	231	0,13	50	0,58	726	1,53	384
-0,14	103	0,15	50	0,64	191	1,62	1580
-0,14	182	0,15	251	0,72	48	1,67	768
-0,1	55	0,18	169	0,72	324	1,69	125
-0,09	45	0,18	226	0,73	305	1,72	269
-0,09	526	0,22	104	0,86	124	1,82	792
-0,07	66	0,23	104	0,94	2600	1,95	1150
-0,07	338	0,26	369	0,95	202	2,33	17800
-0,07	350	0,28	173	1	96	2,69	8640
-0,07	1500	0,29	93	1,19	259	2,76	20000
-0,06	50	0,29	110	1,23	192	4,02	78000
-0,05	165	0,29	130	1,27	48	4,4	56800
-0,04	46	0,33	80	1,29	216	6,55	78000
-0,01	100	0,34	80	1,34	408		
-0,01	139	0,35	250	1,36	1920		
0,04	158	0,36	288	1,37	67		
0,06	50	0,4	374	1,41	960		
0,06	118	0,42	1400	1,44	158		
0,07	50	0,47	50	1,48	162		
0,08	100	0,48	118	1,48	3070		
0,09	166	0,51	168	1,49	144		
0,11	384	0,52	50	1,49	384		
0,12	130	0,53	168	1,51	82		
0,12	192	0,56	324	1,51	158		
0,12	964	0,58	152	1,51	4800		

4. táblázat: Az ICM során felhasznált fitnessfüggvény működési táblázata. A tartályok szavazatainak vektora ($t(1)$, $t(2)$, $t(3)$), a súlyfaktorok szavazatainak vektora ($s(1)$, $s(2)$... $s(7)$), a KOI megengedett felső értéke (K_{MEG}), extrém magas értéke ($K_{EXTRÉM}$), számított pillanatnyi ($K_{PILLANATNYI}$), kumulált ($K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT}$) és becsült új kumulált ($K_{KUMULÁLT}$) értéke valamint a tartályokhoz tartozó pumpák (P) és tartályszintek (S).

Tartály	Feltétel	Számítás
1		$t(1) += \frac{K_{MEG} - K_{PILLANATNYI}}{K_{MEG}} * s(1)$
		$t(1) += \frac{K_{MEG} - K_{KUMULÁLT}}{K_{MEG}} * s(2)$
	ha $K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT} > K_{MEG}$ és $K_{KUMULÁLT} < K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT}$	$t(1) += s(3)$
	ha $P_1 = be$	$t(1) = -100$
2		$t(2) += \frac{K_{MEG} - K_{PILLANATNYI}}{K_{MEG}} * s(4)$
		$t(2) += \frac{K_{MEG} - K_{KUMULÁLT}}{K_{MEG}} * s(5)$
	ha $K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT} > K_{MEG}$ és $K_{KUMULÁLT} < K_{ELŐZŐ_KUMULÁLT}$	$t(2) += s(6)$
	ha $P_2 = be$	$t(2) = -100$
3		$t(3) += \frac{K_{PILLANATNYI} - K_{EXTRÉM}}{K_{EXTRÉM}} * s(7)$
	ha $P_1 = be$ és $S_2 \geq 70$ vagy $P_2 = be$ és $S_1 \geq 70$	$t(3) = 100$