

PROCEDEE ȘI ALGORITMI DE CONTROL AUTOMATIZAT ALE PROCESULUI DE EPURARE A APELOR UZATE

*Natalia Ciobanu, drd, Nicolae Secrieru, conf. univ., dr. în științe tehnice
Universitatea Tehnică a Moldovei*

1. INTRODUCERE

La etapa actuală, când problemele de mediu sunt tratate cu multă responsabilitate atât pe plan mondial, cât și regional, epurarea apelor uzate este un subiect de actualitate și de mare interes, prin care trebuie asigurate condițiile de calitate pentru apele evacuate în mediile acvatice.

Stațiile de epurare reprezintă ansamblul de construcții și instalații, în care apele uzate sunt supuse proceselor tehnologice de epurare, care le modifică în așa mod calitățile, încât să îndeplinească condițiile prescrise, de deversare în emisar [1, 2, 3].

Tradițional, schemele tehnologice ale stațiilor de epurare a apelor uzate orășenești, provenite din localitățile dotate cu sisteme centralizate de canalizare, conțin două fluxuri distincte: fluxul apelor uzate și fluxul nămolurilor formate în procesele de epurare a apelor uzate. Epurarea apelor uzate se efectuează în mai multe trepte, urmărindu-se eliminarea în fiecare din ele a unui anumit tip de poluanți. De fapt, stațiile de epurare existente sunt menite pentru eliminarea sau reducerea concentrațiilor a două categorii de substanțe poluante:

a) insolubile de proveniență minerală și organică, exprimate printr-un indicator al gradului de poluare numit "*materii în suspensie - MS*", și

b) organice majoritar solubile, care sunt caracterizate printr-un indicator global (echivalentul în oxigen consumat pentru oxidarea acestor substanțe) - consum chimic de oxigen - CCO, sau consum biochimic de oxigen - CBO, acesta reprezentând cea parte a substanțelor organice poluante, care pot fi eliminate din apele uzate pe cale biologică.

2. CARACTERISTICA GENERALĂ A PROCESELOR DE EPURAREA A APELOR UZATE

Epurarea biologică este procesul tehnologic care se bazează pe folosirea capacității microorganismelor

de a asimila și mineraliza substanțele organice dizolvate în apele uzate, care au trecut prima treaptă de epurare - epurarea mecanică.

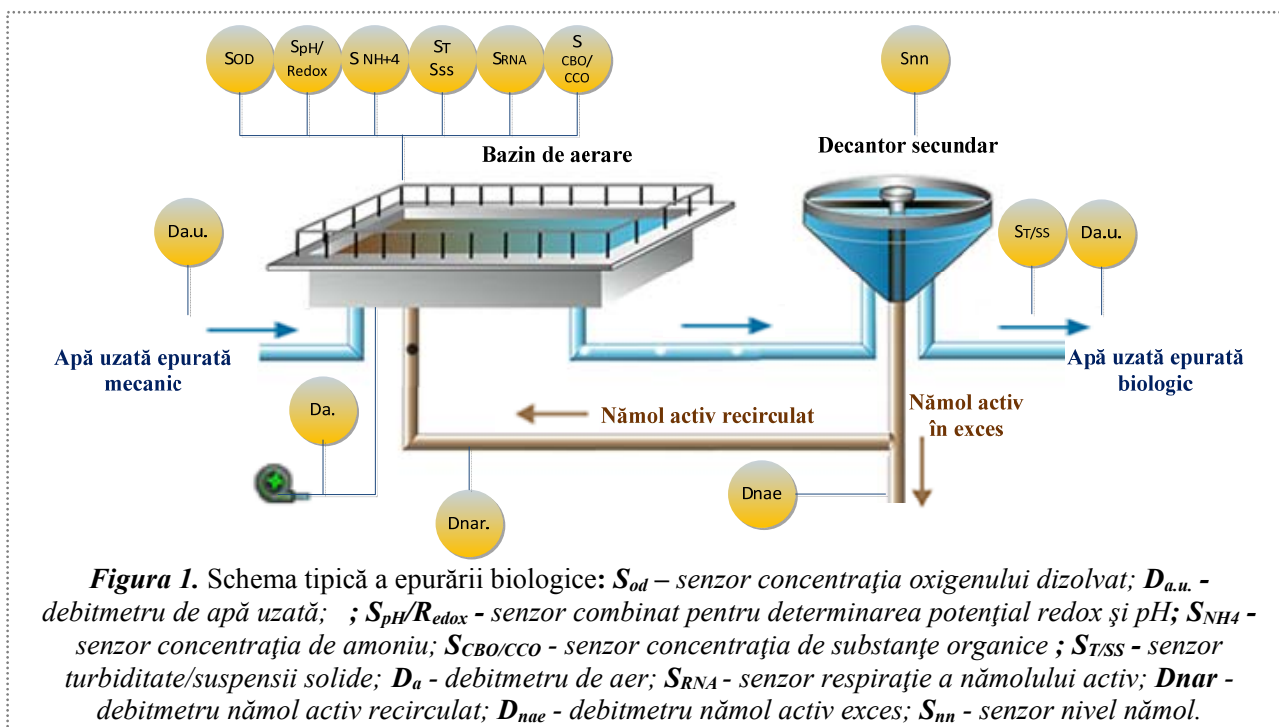
În funcție de bacteriile participante la tratarea biologică a apei se deosebesc procese aerobe care se realizează în prezența oxigenului, folosit de bacteriile aerobe pentru oxidarea substanțelor organice cu producere de CO_2 și H_2O și procese anaerobe care se desfășoară în absența oxigenului și au la bază reducerea substanțelor organice cu eliminarea de produși intermediari (acizi) și gaze (CH_4 , H_2S , H_2 , N_2 , CO_2).

Tratarea biologică a apelor uzate mai este cunoscută sub numele de epurare secundară/biologică. Ea mai poate fi urmată și de o epurare terțiară biologică, atunci când condițiile de evacuare a apelor tratate în emisar impun un grad de epurare mai avansat decât cel posibil la o epurare mecano-biologică clasică sau atunci când se impune și eliminarea compușilor de azot și fosfor.

Schema tipică a epurării biologice aerobe cu nămol activ este prezentată în figura 1, unde este arătat un bazin de aerare cu nămol activ, care consumă impuritățile degradabile biologic din apa uzată, după care se separă apoi gravitațional de nămolul activ în decantorul secundar.

Epurarea biologică realizează eficiențe de 90÷95% în ceea ce privește reducerea concentrației de substanțe în suspensie și de sub 70% în ceea ce privește reducerea concentrației în substanțe organice exprimate în CBO_5 .

În exploatarea stației de epurare pot apărea evenimente nedorite, ca rezultat al unei succesiuni de disfuncții obținute datorită multitudinii de parametri de natură diferită ce apar în proces. Procesele de epurare sunt deosebite față de alte procese industriale atât în ceea ce privește caracteristicile, cât și obiectivele operationale. Principiile de bază ale controlului proceselor industriale se pot aplica și în stațiile de epurare a apelor uzate, însă caracteristicile stațiilor de epurare impun considerații specifice în proiectarea sistemelor de control [4,10]. Datorită complexității



proceselor fizico-chimico-biologice, în care interacționează o multitudine de parametri de natura diferită și a numărului limitat de parametri ce pot fi manipulați, este dificil de condus optim o tehnologie de epurare ca sumă de procese unitare ce interacționează reciproc.

Este necesară o artă adevărată pentru controlul proceselor biologice de epurare, ținând cont de proprietățile nămolului activ: doza, vârsta, indicele de nămol, morfologie, etc. Sunt în jur de 18 indicatori și parametri care influențează eficiența epurării în complexul BANA (bazin de aerare cu nămol activ) și decantare secundare. Deci, specificul acestor procese constă în variația continuă sezoniera, diurnă și orară a debitului de apă uzată și a caracteristicilor acesteia, exprimate prin valorile parametrilor caracteristici poluării, dimensiunile reactoarelor chimice și biologice, precum și interacțiunea apă uzată - proces unitar - echipament sunt elemente care subliniază gradul de dificultate al problemei epurării și controlului automat al procesului.

3. CONTROLUL PROCESELOR DE EPURARE A APELOR UZATE

Procesele de epurare a apelor uzate se prezintă ca procese bio-chimic complexe, care în comparație cu alte procese industriale similare, au câteva elemente

distincte atât în privința caracteristicilor lor, cât și obiectivele operaționale. Necesitatea automatizării acestor procese provine de la incapacitatea lor de a-și menține starea de echilibru dinamic în prezența perturbațiilor, care pot avea un caracter temporar, ciclic sau periodic și deseori fiind aleatorii. Acțiunea directă sau indirectă a perturbațiilor asupra proceselor de epurare justifică implementarea sistemelor de comandă automata, care tind să mențină procesele în echilibru, ceea ce e foarte complicat sau imposibil pentru operatorul uman.

Din punct de vedere a teoriei de comandă automata, o unitate de epurare (biologică) a apelor uzate se poate prezenta ca o "cutie neagră" cu următoarele seturi de intrări și ieșiri (fig. 2) [4]:

1. Variabilele de intrare:

- debitul de apă uzată – Q ;
- nivelul de poluarea influentului – x_e ;
- reactivi chimici folosiți în proces – r ;
- energie termică/electrică pentru menținerea procesului.

2. Variabilele de ieșire:

3. Perturbațiile – factori care acționează asupra variabilelor de intrare (variația debitului de apă uzată, nivelului de poluare a ei, temperatura, prezența compușilor toxici) forțează abaterea proceselor de la starea de echilibru.

- nivelul poluării reziduale – x ;
- concentrațiile de azot și fosfor;

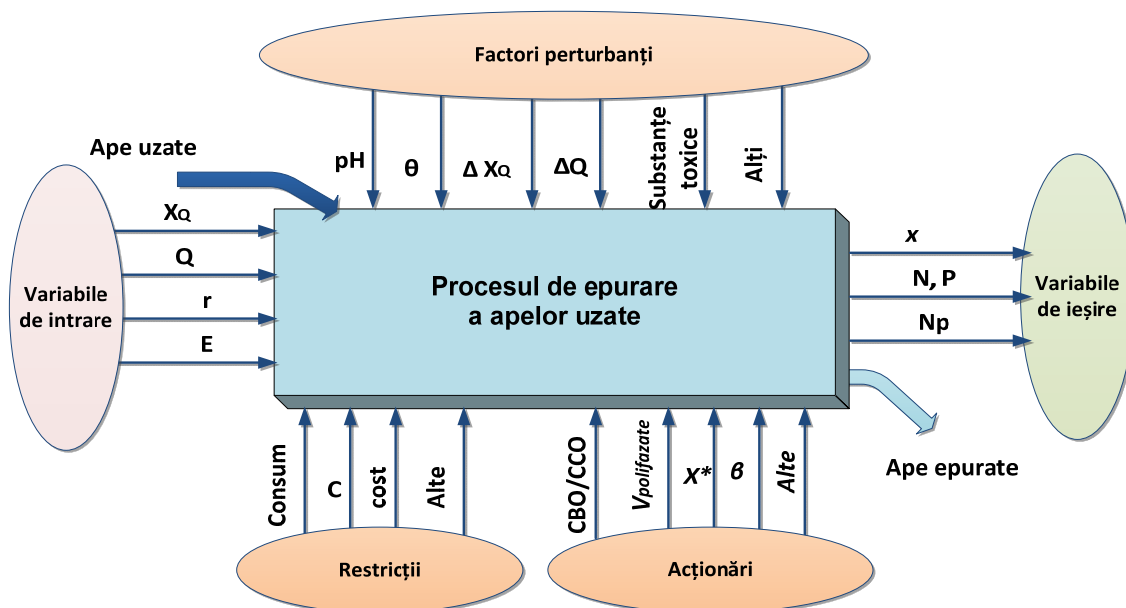


Figura 2. Schema dinamică a controlului stației de epurare biologică a apelor uzate.

4. cantitatea de nămol în exces – $Q_{n\text{ ex}}$. Variabilele de acționare sunt acele cu care se poate menține procesele în echilibru în pofida perturbațiilor. În majoritatea cazurilor, variabila de acționare este cantitatea de nămol recirculat – b , viteza de circulație a mediilor polifazate, concentrația de substanțe organice și alte.

Restricțiile prezintă în cazul epurării biologice concentrația limită de oxigen din bazinul de aerare, concentrațiile de azot și fosfor, precum și consumul de alte reactive.

În aplicațiile actuale de control și automatizare a menținerii proceselor în echilibru este des realizată în baza reguletoarelor cu acțiune proporțională – integrală - diferențială (PID) clasice (fig. 3), în primul rând pentru că prezintă o soluție eficientă și ușor de

implementat. Fiind inițial conceput pentru sistemele liniare, invariante în timp, controlerul/algoritmul PID a evoluat, permițând inginerilor să controleze și sisteme cu o dinamică complexă. Algoritmii PID sunt realizați în formă discretă pe microcontrolere și pot ține sub control procese destul de rapide cu timp de reacție mai mici de sute de secunde. Pe altă parte, în realitate, toate sistemele dispun de componente neliniare, care prezintă reale provocări în utilizarea controlului clasic PID. În primul rând, modelul de reglare trebuie să corespundă întocmai procesului și trebuie să fie periodic ajustat în cazul variației în timp al sistemului. Această procedură de ajustare PID este sofisticată și necesită o abordare adecvată [5,6,7].

Apariția teoriei mulțimilor fuzzy și dezvoltarea sistemelor electronice au deschis calea spre aplicarea

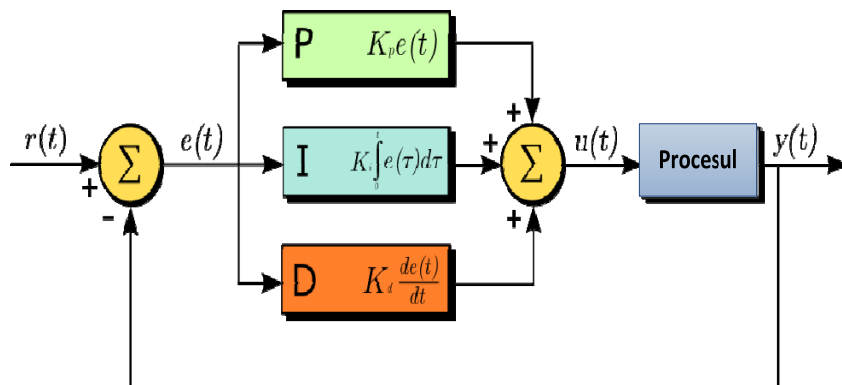


Figura 3. Structura controlerului PID clasic.

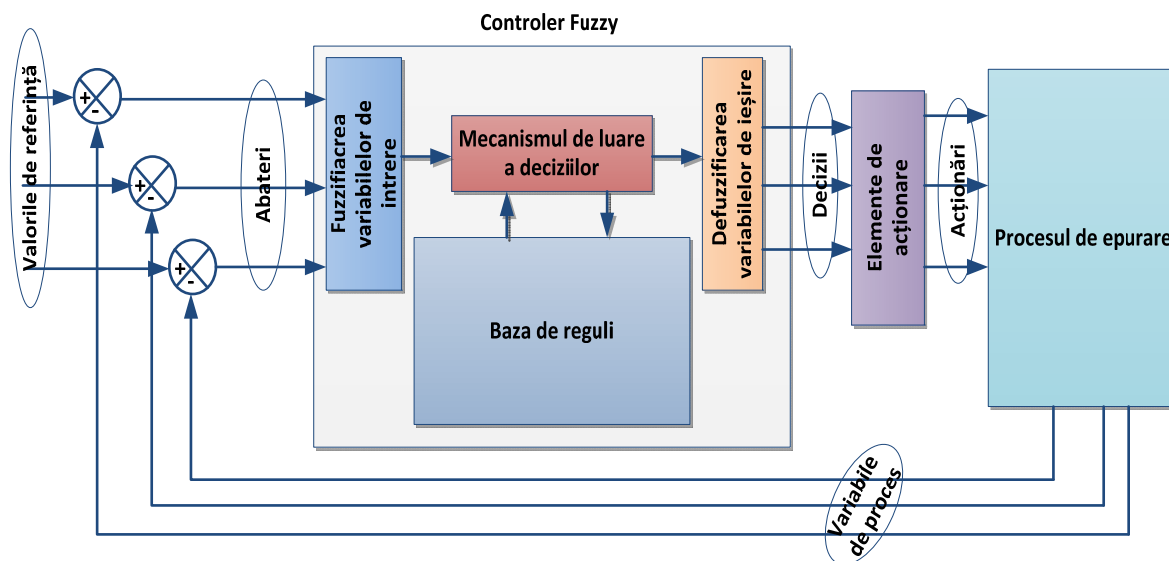


Figura 4. Structura controlului Fuzzy direct al proceselor de epurare.

în sistemele de reglare automată. În acest caz, algoritmi de reglare PID clasic sunt înlocuiți printr-o serie de reguli de tip *IF (premisă) THEN (concluzie/acțiune)*. Prin urmare se obține un algoritm euristic, care poate să ia în considerație experiența operatorului uman în conducerea proceselor, ceea ce este foarte important în cazul proceselor complexe.

Aplicarea teoriei fuzzy în sistemele de reglare automată poate fi în mai multe moduri, dintre care cele mai răspândite sunt [4]:

- controlul fuzzy direct al procesului;
- supervizarea fuzzy a reguletoarelor PID clasice;
- adaptarea fuzzy a parametrilor reguletoarelor PID clasice.

În rezultatul analizei mai multor surse [4, 9], inclusiv a experienței proprii, ne-am propus aplicarea controlului fuzzy direct al proceselor, care sunt mai ușor de proiectat, implementând experiența operatorului uman și pe altă parte – permite o deschidere de îmbinare cu celelalte abordări.

Propunem următoarea structură a controlului fuzzy direct prezentat în fig. 3, fiind format din următoarele componente.

- **Modulul de fuzificare** a variabilelor de intrare, a variabilelor procesului. Variabilele de intrare au valori reale, care trebuie transformate în valori fuzzy, adică acestora trebuie să li se atribuie valori fuzzy, care devin ca premise. Ca urmare, această premisă va determina care regulă trebuie activată împreună cu gradul de apartenență obținut de la fiecare regulă. Acest grad depinde cât de mult valoarea de intrare și premisele regulilor corespund una alteia.

- **Baza de reguli.** Această componentă este formată din tot setul de reguli de tipul "*IF (premisă) THEN (concluzie/acțiune)*". În premise sunt introduse valorile variabilelor de intrare, astfel ca să se poată decide, care regulă poate fi activată și care nu, mai apoi în ce mod să fie utilizată. Rezultatul/ieșirile regulilor activate sunt fuzionate și transmise spre interfața de defuzificare. De regulă, această bază este creată de experți în problemele de conducere a proceselor respective, ținând cont de experiența operatorului uman.

- **Modulul de luare a deciziilor/inferență** realizează pe baza datelor fuzificate evaluarea bazei de reguli în sensul obținerii deciziei/concluziei fuzzy.

Modulul de defuzificare. Decizia fuzzy obținută de modulul de inferență are o formă complexă, datorită faptului că reflectă o combinație de mulțimi fuzzy cu grade de apartenență limitate. Destinația acestui modul este de forma o singură valoare reală, care să cuprindă mulțimea fuzzy de la ieșire.

4. PROIECTAREA CONTROLULUI FUZZY PENTRU EPURAREA APELOR

Proiectarea controlului fuzzy constă în realizarea unui algoritm euristic de conducere a procesului, care poate să ia în considerație experiența operatorului uman în conducerea acestor procese. Proiectarea include o serie de etape de dezvoltare, dintre care cele mai importante sunt următoarele [4, 9]:

- cercetarea structurală și funcțională a procesului de reglare pentru determinarea comportării lui la diverse variabile de intrare și perturbații;

- alegerea schemei de reglare, a numărului și tipurilor de regulatoare fuzzy;
- selectarea variabilelor de intrare și celor de ieșire, respectiv și domeniile de variație a acestora;
- definirea variabilelor lingvistice asociate mărimilor variabilelor de intrare și ieșire, precum definirea funcțiilor de apartenență corespunzătoare;
- crearea bazei de reguli, care realizează conectarea premiselor de decizie/concluzii, în concordanță cu descrierea lingvistică a comportării regulatorului;
- simularea pe calculator al întregului sistem de reglare automată și ajustarea regulatorului în scopul optimizării funcționării lui.

În continuare vom exemplifica proiectarea controlului fuzzy direct pentru reglarea nivelului de nămol în procesul de epurare biologică a apelor. Control fuzzy, care utilizează în mod direct regulile fuzzy este cea mai importantă aplicație în teoria fuzzy. Utilizând un procedeu a lui Ebrahim Mamdani [9], trebuie să realizăm următoarele etape:

- fuzificarea - crearea funcțiilor de apartenență pentru a descrie variabilele de intrare n termeni fuzzy (lingvistici);
- defuzificarea - stabilirea modalității de transformare a valorilor fuzzy în rezultate reale;
- crearea bazei de reguli fuzzy, care sunt aplicate în luarea deciziilor.

Analizând resursele informaționale, cât și experiența proprie, am stabilit că în procesul de epurare biologică este foarte important menținerea în echilibru a nivelului de nămol activ în bazinul de epurare. Pentru simplitate vom antrena cei mai importanți factori a acestui proces:

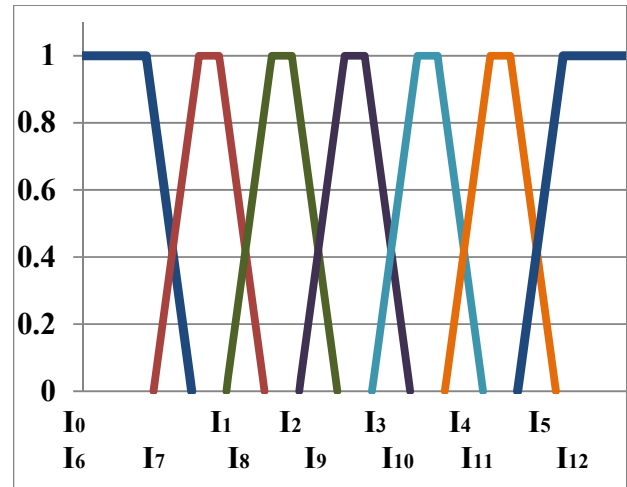
- I_n - indicele de nămol activ;
- $D_{a.u.}$ - debitul de ape uzate;
- $\Delta CBO/CCO$ - diferența de concentrație de substanțe organice la intrare și la ieșire.

Valorile acestor variabile de proces (fig. 3) sunt obținute cu ajutorul respectivilor senzori și se "confruntă" cu valorile de referință a acestor variabile, determinând abaterile de la echilibru ale procesului:

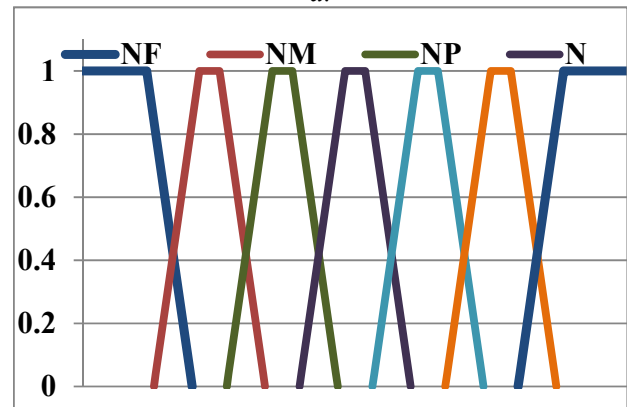
$$\varepsilon_i = I_n - I_n^*; \varepsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.}^* ;$$

$$\varepsilon_c = \Delta CBO/CCO - \Delta CBO/CCO^* .$$

De menționat, că cea mai des folosită forma funcțiilor de apartenență este cea triunghiulară, cu toate că sunt folosite trapezoidale și curbe clopot. În principiu, forma este mai puțin importantă decât numărul de curbe și plasarea acestora [9]. Am propus forma funcțiilor de apartenență trapez și cu șapte curbe/segmente pentru a acoperi adecvat intervalul



a.



b.

Figura 5. Prezentarea grafică a funcțiilor de apartenență pentru fuzificarea și defuzificarea variabilelor de proces: a). Funcțiile de apartenență la fuzificarea variabilelor de intrare: I_n - indicile de nămol activ - $\{I_0, I_1, \dots, I_{12}\}$; $D_{a.u.}$ - debitului de ape - $\{D_0, D_1, \dots, D_{12}\}$; $\Delta CBO/CCO$ - diferența de concentrație de substanțe organice - $\{C_0, C_1, \dots, C_{12}\}$; b). Funcțiile de apartenență la fuzificarea variabilei de acționare I_0 - încărcătura organică a bazinului

necesar a valorilor de intrare. În formă analitică se prezintă în modul următor:

$$\mu(x_i) = \begin{cases} (x_i - x_a) / \left(\frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right), & \text{if } x_i < \left(\frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right) \\ 1, & \text{if } \frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \leq x_i \leq \frac{x_b - x_a}{2} + \frac{x_b - x_a}{10} \\ (x_b - x_i) / \left(\frac{x_b - x_a}{2} - \frac{x_b - x_a}{10} \right), & \text{if } x_i < \left(\frac{x_b - x_a}{2} + \frac{x_b - x_a}{10} \right) \\ 0, & \text{în alte cazuri} \end{cases}$$

unde $(x_b - x_a)$ - este domeniul unei variabile lingvistice. Am aplicat șapte variabile lingvistice: N - "normală"; NP - "puțin negativ"; NM - "negativ

mediu”; **NF** – ”forte negativ”; **PP** – ”puțin pozitiv”; **PM** – ”pozitiv mediu”; **PF** – ”foarte pozitiv”.

În calitate de factor de acționare am stabilit I_o – încărcătura organică a bazinului, cantitatea de nămol activ recirculat. Am aplicat funcția de apartenență în mod similar cu variabilele de intrare. În formă grafică funcțiile de apartenență sunt prezentate în fig. 5.

După cum s-a menționat, algoritmul de reglare este un algoritm euristic, care va lua decizii în dependență de regulile activate din baza creată de experți în domeniu. Spre exemplu, să considerăm următoarele stări ale procesului și regulile de producție respective de luare a deciziilor:

a) Dacă debitul de ape uzate $D_{a.u.}$ este foarte jos, de stabilit încărcătura organică a bazinului I_o , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel foarte mic:

IF ($\epsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.*}$ is "NF") **THEN** (I_o is "NF")

b) Dacă indicele de nămol activ – I_n este mediu mai jos, de stabilit încărcătura organică a bazinului I_o , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel mediu pozitiv:

IF ($\epsilon_i = I_n - I_n*$ is "NM") **THEN** (I_o is "PM")

Aceste reguli folosesc valori de adevăr a intrărilor "debitul de ape uzate", "indicele de nămol activ", care au de o anumită valoare de adevăr "jos", pentru a genera rezultate în mulțimea fuzzy pentru "încărcătura organică" – variabilă de ieșire, care va avea o anumită valoare de "mare" sau "mic". Fiecare din aceste rezultate este utilizat cu rezultatele altor reguli pentru a genera în cele din urmă valoarea de ieșire concretă.

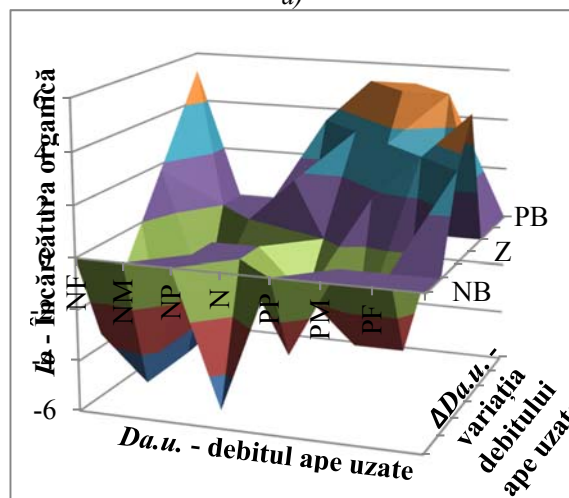
În practică, seturile de reguli fuzzy au mai multe antecedente, care sunt combinate folosind operatori fuzzy, cum ar fi AND, OR și NOT, cu toate că din nou definițiile tind să varieze: AND, într-o singură definiție ce folosește greutatea minimă a tuturor antecedente, în timp ce OR utilizează valoarea maximă. Există, de asemenea, operatorul NOT, care scade din 1 funcția de apartenență pentru a obține funcția "complementară". Deși procesele de epurare a apelor uzate se consideră procese lente, o mare importanță are variația variabilelor de proces:

- $dD_{a.u.}/dt$ – variația debitului de ape uzate;
- $d(ACBO/CCO)/dt$ – variația de concentrație de substanțe organice la intrare și la ieșire.

Din aceste considerente am propus de creat reguli de luare a deciziilor, care vor reflecta variația acestor variabile. În acest caz vom crea reguli cu premise compuse, care reflectă o situație compusă din

		$\epsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.*}$						
		NF	NM	NP	N	PP	PM	PF
$dD_{a.u.}/dt$	-5.25				NF			
	-3.5	NF			NM			
	-1.75	NF			NP	NM	NM	PM
	0	NF	NM	NP	Z	PP	PM	PF
	1.75	NM		PP	PP	PM		
	3.5				PM	PF	PF	
	5.25			PM	PF	PF		

a)



b)

Figura 6. Set de reguli pentru reglarea procesului, luând în considerare variația variabilelor de proces: a) matricea de reguli ; b) reguli de producție în formă grafică.

două variabile care acționează concomitent. Ca urmare, vom avea o premisă rezultantă a două premise simple legate prin conjuncție – AND. De exemplu: dacă debitul de ape uzate $D_{a.u.}$ este mediu jos, iar variația lui $dD_{a.u.}/dt$ este mediu pozitiv, de stabilit încărcătura organică a bazinului I_o , cantitatea de nămol activ recirculat la nivel pozitiv mic:

IF ($\epsilon_d = D_{a.u.} - D_{a.u.*}$ is "NF" and $dD_{a.u.}/dt$ is "PM") **THEN** (I_o is "PM")

În acest mod se creează matricea de reguli de producție, care este prezentată în fig. 6a și în formă grafică în fig. 6b.

Luarea deciziilor/inferență se realizează pe baza datelor fuzzificate cu evaluarea bazei de reguli în sensul obținerii deciziei/concluziei fuzzy. Există mai multe modalități de a defini rezultatul unei reguli, una dintre cele mai des aplicate și mai simple este metoda deducție "MIN-MAX", în care funcția de apartenență

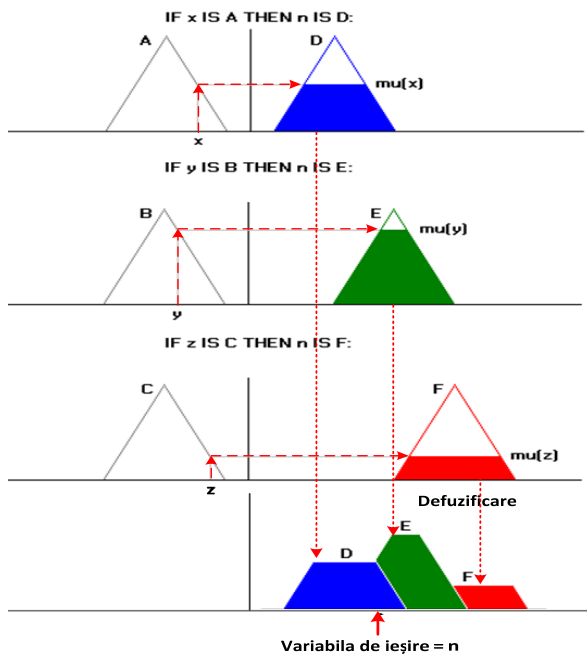


Figura 7. Procedul inferență "MIN-MAX" și defuzificare prin metoda centroidului.

a variabilei de ieșire este generată de valoarea de adevăr din premisa.

Decizia fuzzy obținută de modulul de inferență are o formă complexă, datorită faptului că reflectă o combinație de mulțimi fuzzy cu grade de apartenență limitate. Destinația acestui modul este de forma o singură valoare reală, care să cuprindă mulțimea fuzzy de la ieșire. Regulile pot fi prelucrate în paralel cu hardware-ul sau secvențial cu software-ul. Rezultatele tuturor regulilor, care au fost activate trebuie să fie "defuzificate" pentru a obține o valoare concretă. Metoda centroidului este mai multe metode de

defuzificare și foarte populară, în care "centrul de masă" a rezultatului determină valoarea concretă a variabilei de ieșire. O altă abordare este metoda "înălțime", care are valoarea cea mai mare contribuție. Metoda centroidului favorizează regula cu producția cea mai mare suprafață, în timp ce metoda înălțimii favorizează în mod evident, regula cu cea mai mare valoare de ieșire [??].

$$v_{out} = \frac{\sum_{i=1}^k \mu_i v_i}{\sum_{i=1}^k \mu_i}$$

În figura 7 se demonstrează procedul inferență "MIN-MAX" și defuzificare prin metoda centroidului pentru un caz cu variabile de intrare "x", "y", și "z" și o variabilă de ieșire "n":

5. SIMULAREA CONTROLULUI AUTOMATIZAT A EPURĂRII APELOR

În scopul verificării controlului procesului de epurare (vezi fig. 1) în bază de reglatoarele Fuzzy propuse au fost realizate modele în mediul MATLAB/Simulink, unul din ele este prezentat în fig. 8. În model dat s-au aplicat pentru procesul de epurare variabilele de intrare - debitul de apă uzată și variabilele de ieșire - cantitatea de nămol în exces. Simulările pe calculator au fost executate pentru a verifica disponibilitatea propusă controlor în punerea în practică. Reglarea nămolului recirculant s-a realizat pentru comparație atât prin metoda PID clasică, cât prin metoda fuzzy în aceleași condiții ale procesului. Preliminar, s-a efectuat ajustarea regulatorului PID clasic după metoda Ziegler-Nicols [7,8] pentru a obține o reglare cvasi-optimă, apoi s-a implementat

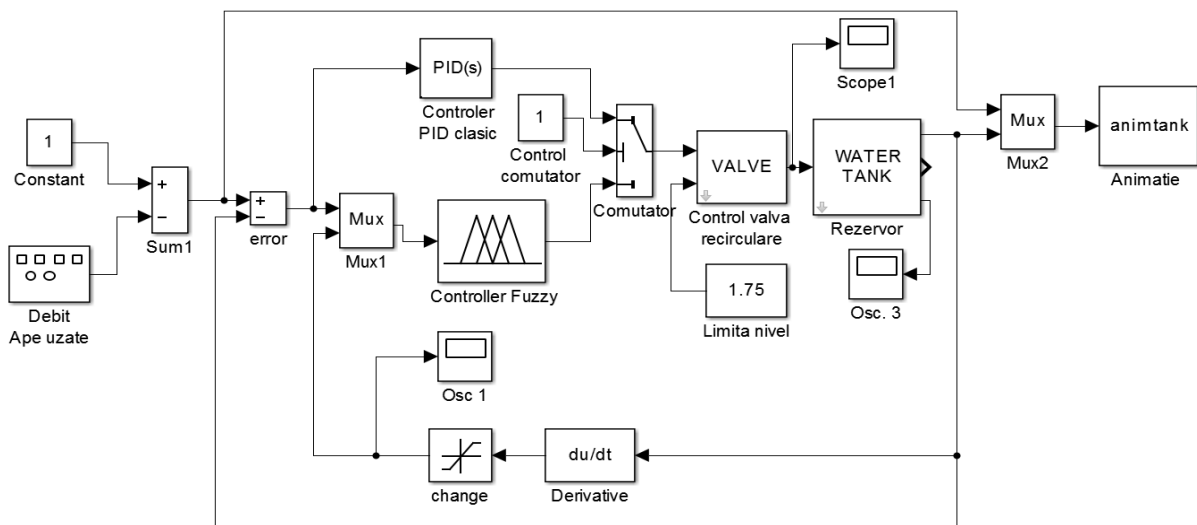
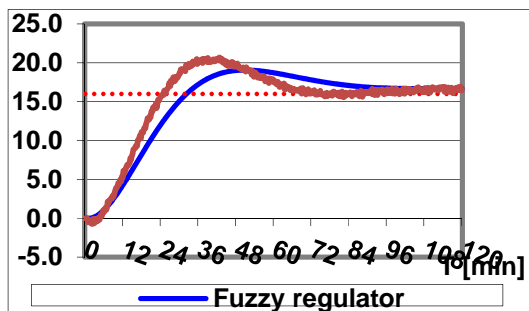
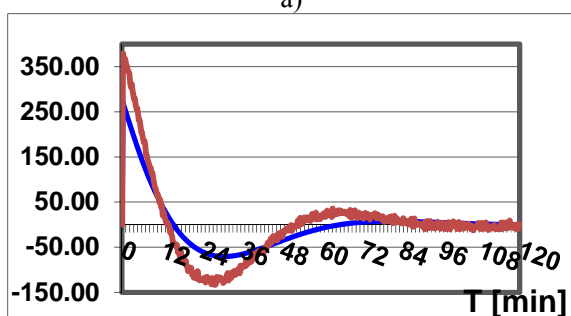


Figura 8. Simulare regulatorului Fuzzy în mediul MATLAB/Simulink.

regulatorul Fuzzy, în care s-au inclus în baza de reguli cu premise compuse, care reflectă o situație compusă din două variabile care acționează concomitent debitul



a)



b)

Figura 9. Rezultate ale simulării de reglare a excesului de nămol, aplicând reguletoare Fuzzy și PID clasic: a) Reacția procesului (cantitatea de nămol în exces); b) Semnalul de control al reguletoarelor.

de ape uzate $D_{a.u.}$ și variația lui $dD_{a.u.}/dt$ pentru a stabili cantitatea de nămol reciclat.

Pentru simplitate s-a aplicat forma funcțiilor de apartenență triunghi și cu șapte curbe/segmente pentru a acoperi adecvat intervalul necesar a valorilor de intrare: N – ”normală”; NP – ”puțin negativ”; NM – ”negativ mediu”; NF – ”forte negativ”; PP – ”puțin pozitiv”; PM – ”pozitiv mediu”; PF – ”foarte pozitiv”. Rezultatele simulării prezentate în figura 9 arată că regulatorul Fuzzy obține practic aceleași performanțe ca regulatorul PID clasic, fiind puțin mai inert.

CONCLUZII

Principiile de bază ale controlului proceselor industriale se pot aplica și în stațiile de epurare a apelor uzate, însă caracteristicile stațiilor de epurare impun considerații specifice în proiectarea sistemelor de control. Datorită complexității proceselor fizico-chimico-biologice, în care interacționează o multitudine de parametri de natură diferită și a numărului limitat de parametri ce pot fi manipulați, este dificil de condus optim aceste procese. S-a propus

aplicarea metodei de reglare fuzzy, avantajul căreia este realizarea unui algoritm euristic de conducere a procesului, care poate să ia în considerație experiența operatorului uman în conducerea acestor procese, având performanțele reguletoarelor PID clasic.

Monitorizarea parametrilor în procesele de epurare reprezintă o activitate esențială în stațiile de epurare a apelor uzate, ea fiind strâns legată de monitorizarea mediului în general. Scopul ei este de a urmări gradul de conformare cu legislația, prin monitorizarea parametrilor de calitate a apei la ieșirea din stația de epurare a apelor uzate și de a urmări funcționarea proceselor de epurare și eficiența acestora, prin monitorizarea parametrilor proceselor de epurare.

Bibliografie

1. Anuarul IES-2010 "Protecția mediului în Republica Moldova", Chișinău, 2011.
2. Ianculescu O., Ionescu Gh., Racovițeanu R. Epurarea apelor uzate, Matrix ROM, București 2005.
3. Roberts E., Alley P.E. Water Quality Control Handbook, McGraw-Hill, Inc, 2000
4. Robescu D., Robescu D. ș.a. Controlul automat al proceselor de epurare a apelor uzate, Editura tehnică, București 2008.
5. O'Dwyer A. PI and PID controller tuning rules for time delay processes: a summary. Part 1: PI controller tuning rules. Proceedings of the Irish Signals and Systems Conference, National University of Ireland, Galway, Ireland, June 1999.
6. Åström K. J., Hägglund T. PID Controllers – Theory, Design and Tuning, second edh, Instrument Society of America, 67 Alexander Drive, POBox 12277, Research Triangle Park, North Carolina 27709, USA. 1995.
7. Guillermo J., Silva A.D., Bhattacharyya. New results on the synthesis of PID controllers. IEEE Trans. on Aut. Cont., 47(2):241–252, Feb. 2002.
8. Panagopoulos H., Astrom K.J., Hägglund T. Design of PI controllers based on Constrained optimisation. IEE Proc. Cont. Theory and Applications, 149(1):32–40, 2002.
9. Qiao W., Mizumoto M. PID type fuzzy controller and parameters adaptive method, Fuzzy Set and Systems, nr. 78, p. 23–35, 1996.
10. Secrieru N., Caralean V. Distributed microcontrollers network for thermo – and electropower station decentralized control. Proceeding of ICMCS-2002, Chișinău, 2002.

Recomandat spre publicare: 20.04.2016.