

CAPITOLUL 4

Analiza identificarii structurale si identificarea practica (experimentală) a parametrilor procesului de epurare a apelor reziduale din industria alimentara (din industria laptelui si a berii) – Obiectivul V

Activitatea V.2:

Identificarea practica a unor modele pentru procesele de epurare a apelor uzate provenite din industria laptelui si a berii.

4.1 Consideratii generale privind alegerea structurii modelului

Avand în vedere rezultatele obținute prin simulare numerică în etapele anterioare, s-a optat pentru un model matematic relativ simplu, model propus în (Nejjari *et al.*, 1991). Acest model, valabil pentru reducerea substantelor organice, este derivat din modelul ASM1 (*Activated Sludge Model 1* – a se vedea raportul stiintific al etapei II) și are la bază următoarele ipoteze suplimentare:

sistemul se consideră a fi în regim staționar: $F_{in} = F_{out} = F$;

fluxul de recirculare a nămolului activ în bioreactor se consideră a fi proporțional cu fluxul din proces (F): $F_r = r \cdot F$, unde: r – rata de nămol recirculat;

fluxul de eliminare nămol excedentar din bioreactor se consideră a fi proporțional cu fluxul din proces (F): $F_\beta = \beta \cdot F$, unde β – rata de nămol excedentar (eliminat);

se consideră că nu există substrat sau oxigen dizolvat în fluxul de recirculare a nămolului activ în bioreactor;

fluxul la ieșirea bioreactorului aerat se consideră a fi egal cu suma dintre fluxul de ieșire din bioreactor și fluxul de recirculare a nămolului activ în bioreactor.

Aceste ipoteze sunt exemplificate în figura 4.1. Ținând cont că volumul V este constant, în prezentarea modelului s-a preferat mărimii flux utilizarea vitezei de diluție D ($D = \frac{F}{V}$).

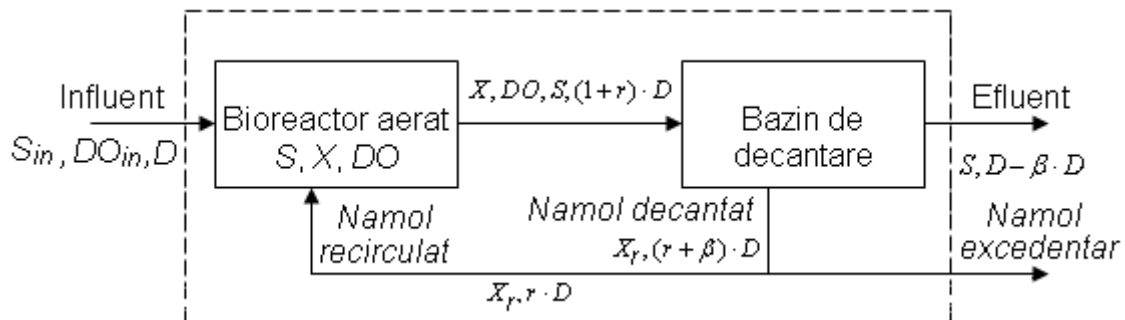


Fig. 4.1: Reprezentare schematică a instalației de reducere a materiei organice din apa uzată prin tratare cu nămol activ

În aceste condiții, modelul procesului considerat este dat de următoarele ecuații:

$$\frac{dX}{dt} = \mu(t) X(t) - D(t)(1+r) X(t) + rD(t) X_r(t) \quad (4.1)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu(t)}{Y} X(t) - D(t)(1+r) S(t) + D(t) S_{in} \quad (4.2)$$

$$\frac{dDO}{dt} = -\frac{K_o\mu(t) X(t)}{Y} - D(t)(1+r) DO(t) + \alpha W (DO_{max} - DO(t)) + D(t) DO_{in} \quad (4.3)$$

$$\frac{dX_r}{dt} = D(t)(1+r) X(t) - D(t)(\beta + r) X_r(t) \quad (4.4)$$

$$\mu(t) = \mu_{max} \frac{S(t)}{K_s + S(t)} \frac{DO(t)}{K_{DO} + DO(t)} \quad (4.5)$$

În continuare, sunt prezentate mărimile de intrare și de ieșire ale procesului:

mărimi de intrare: viteza de aerare W [m^3/h^{-1}], viteza de diluție D [h^{-1}] și rata de nămol recirculat r ;

mărimi de ieșire (mărimi considerate măsurabile): concentrația substratului organic din efluent S [mg/l] și concentrația oxigenului dizolvat din bazinul aerat DO [mg/l].

În modelul dat de ecuațiile (4.1) – (4.5) au fost facute următoarele notații: $X(t)$ – concentrația de biomasa (namolul), $S(t)$ – concentrația de substrat organic care trebuie redusă, $DO(t)$ – concentrația de oxigen dizolvat, $X_r(t)$ – concentrația de namol recirculat, $\mu(t)$ – viteza specifică de creștere a biomasei. Din ecuația (4.5) se observă că viteza specifică de creștere a biomasei este dată de o dublă parametrizare Monod, în funcție de concentrația de substrat organic și de cea a oxigenului dizolvat. Parametrii procesului, care trebuie identificați, sunt următorii: μ_{max} – viteza maximă de creștere a biomasei, Y – coeficient de producție, K_o – coeficient care exprimă fracțiunea din cantitatea de oxigen dizolvat consumată de biomasa pentru creștere, α – coeficient care exprimă randamentul de dizolvare a oxigenului în mediu, β – coeficient care exprimă fracțiunea de namol eliminată periodic, K_s și K_{DO} – coeficienți specifici parametrizării de tip Monod.

Mărimea de calitate este concentrația substratului organic din efluent. Scopul structurii de control este obținerea unui efluent având concentrația substratului sub limita standard impusă prin lege pentru deversarea apelor uzate în apele de suprafață. În figura 4.2 se prezintă schema sistemică a procesului de epurare biologică, a cărui model este dat de ecuațiile (4.1) – (4.5).

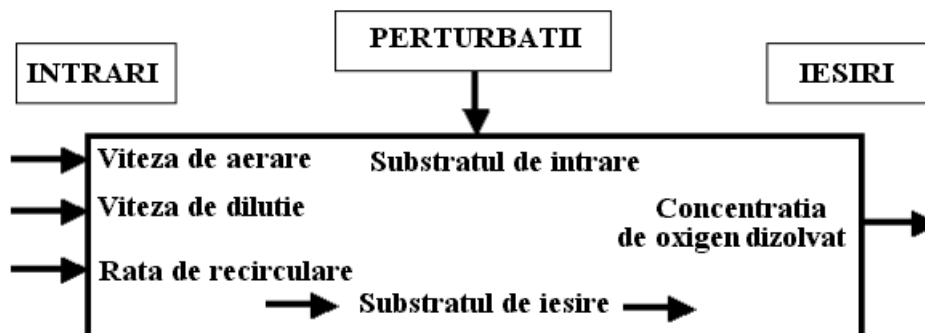


Fig. 4.2: Schema sistemică a procesului de epurare biologică

Trebuie mentionat faptul ca analiza identificarii structurale a modelului Nejjari, realizata in cadrul activitatii AV.1, realizata in etapa II a proiectului, a aratat ca parametrii acestui model pot fi identificati, deci, din punct de vedere structural, modelul Nejjari poate fi utilizat pentru modelarea procesului de epurare biologică.

4.2 Identificarea practica a unor modele de epurare a apelor uzate provenite din industria laptelui si cea a berii

In cele ce urmeaza, se prezinta identificarea practica a modelului matematic dat de ecuatiile (4.1) – (4.5), precum si variante ale acestuia, folosind date experimentale obtinute cu ajutorul statiei pilot. Au fost utilizate doua metode de identificare: prima metoda se bazeaza pe determinarea parametrilor modelului utilizand un criteriu de tip distanta euclidiana intre iesirile modelului si datele experimentale obtinute pe statia pilot, iar a doua metoda se bazeaza pe calculul sensibilitatilor variabilelor modelului in raport cu parametrii care trebuie identificati.

4.2.1 Identificarea proceselor de epurare utilizand un criteriu de tip distanta euclidiana intre iesirile modelului si datele experimentale masurate pe statia pilot

a) Aspecte teoretice

Fie θ vectorul parametrilor care trebuie identificati pe baza datelor experimentale obtinute cu ajutorul statiei pilot de epurare biologică a apelor uzate

$$\theta = [\mu_{\max} k_o k_{do} k_s Y \alpha \beta]^T \quad (4.6)$$

Pentru identificarea vectorului θ a fost definit criteriul

$$E = \sum_{k=1}^N [\xi_1[k] - \hat{\xi}_1[k]]^2 \quad (4.7)$$

unde prin N s-a notat numarul de date experimentale din cadrul unui experiment, $\xi_1[k]$ reprezinta vectorul variabilelor masurabile in procesul de epurare biologică iar prin $\hat{\xi}_1[k]$ s-a notat vectorul marimilor de stare al procesului de epurare, corespunzatoare variabilelor masurabile. Se poate scrie ca:

$$\hat{\xi}_1 = L \cdot \xi \quad (4.8)$$

L fiind o matrice care partitioneaza vectorul de stare ξ in doua: partitia marimilor masurabile, respectiv a celor nemasurabile. In cazul modelului Nejari vectorul ξ contine 4 marimi de stare, dupa cum urmeaza:

$$\xi = [X \ S \ DO \ X_r]^T \quad (4.9)$$

Primele 3 marimi pot fi masurate astfel: biomasa (namolul) poate fi masurat prin intermediul tarductorului de turbiditate, concentratia de oxigen dizolvat se masoara direct, iar substratul (substanta organica), prin intermediul corelatiei potentialului redox cu consumul chimic de oxigen (CCO) si cu concentratia de oxigen dizolvat (DO).

Determinarea parametrilor continuti in vectorul θ s-a realizat din conditia ca criteriul (4.7) sa fie minim in raport cu θ . Pentru minimizarea criteriului E , s-a utilizat o metoda de cautare unidimensionala (de tip relaxare a fiecarei coordonate – un parametru al modelului).

b) Identificarea parametrilor modelului Nejari, folosind ape reziduale din industria laptelui

Pentru identificare s-au folosit date din experimentul 5 (a se vedea capitolul 2 al raportului stiintific). Trebuie facuta mentiunea ca datele masurate on-line, de la statia pilot sunt foarte zgomotoase, zgomotul datorandu-se, in general, compozitiei mediului, turbulentele acestuia cauzate de aerarea intensa si de agitare etc. De aceea, a fost necesara o filtrare a datelor experimentale, operatie care, in cadrul proiectului, s-a realizat prin mai multe metode. In cazul de fata, s-a utilizat o filtrare prin mediere, cu orizont de memorare de 32 de esantioane, relatia de filtrare fiind urmatoarea:

$$\xi_f[k] = \xi_f[k-1] + \frac{1}{32}(\xi[k] - \xi[k-1]) \quad (4.10)$$

In relatia (4.10) s-a notat prin $\xi_f[k]$ marimea de stare filtrata la pasul k , ξ fiind succesiv X , S si DO . Axa orizontala este gradata in esantioane, distanta dintre doua esantioane consecutive (pentru afisare grafica) fiind de 1 minut. Au fost obtinute urmatoarele rezultate (figurile 4.3 – 4.5):

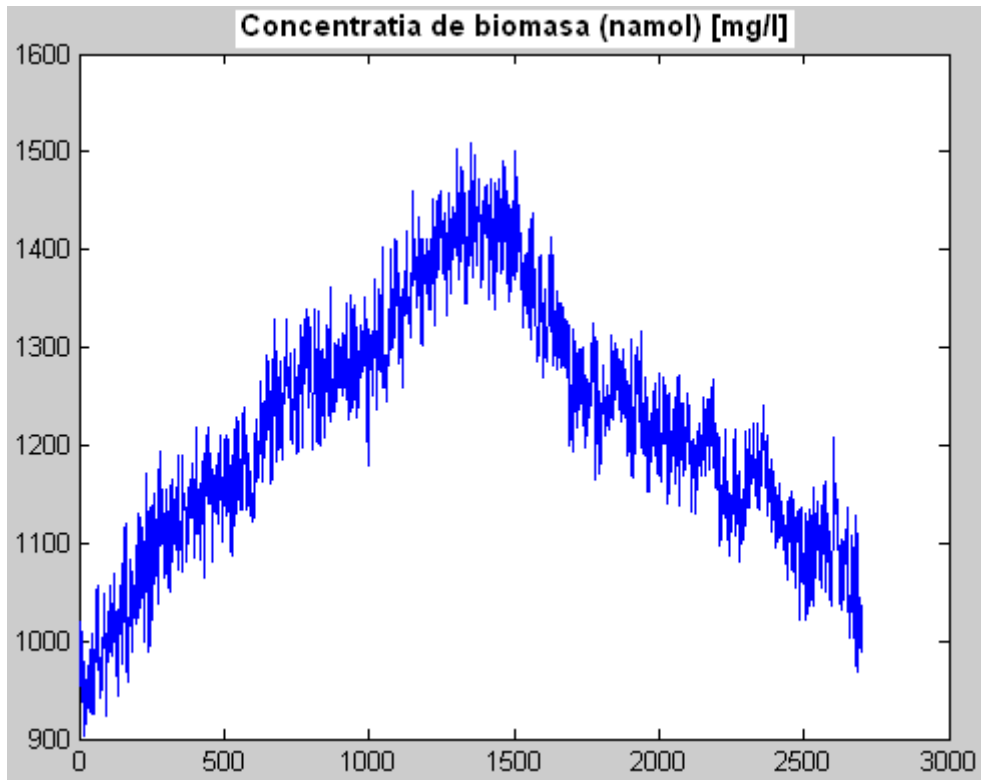


Fig. 4.3: Evolutia biomasei (experimentul 5)

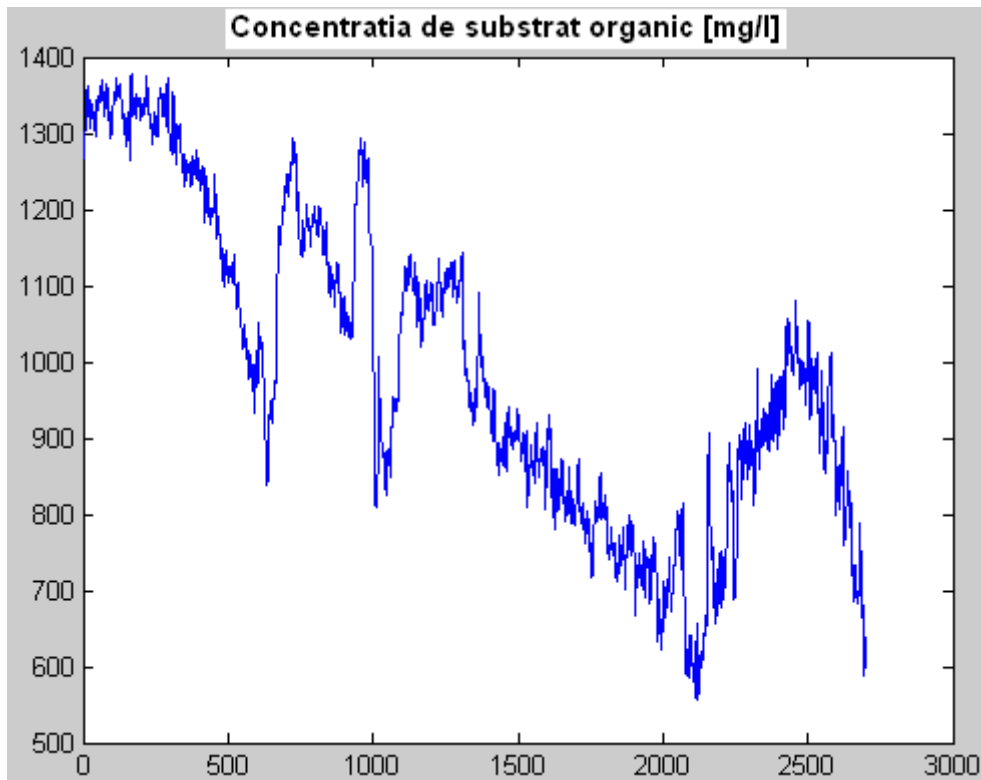


Fig. 4.4: Evolutia substratului organic (experimentul 5)

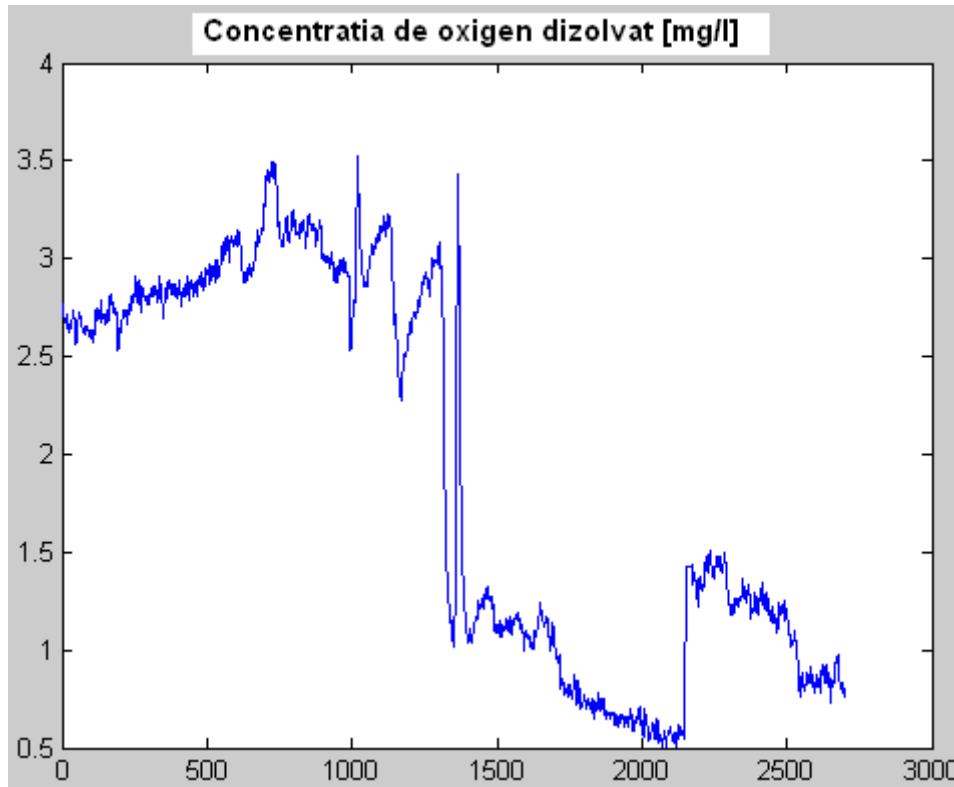


Fig. 4.5: Evolutia concentratiei de oxigen dizolvat (experimentul 5)

In figurile 4.3 – 4.5 se observa ca nivelul de zgomot este inca destul de mare, ceea ce, in continuare, a facut necesara utilizarea altor tipuri de filtre, mai eficiente.

Pentru identificare s-a utilizat un tronson de date experimentale cuprins intre esantioanele 1500 si 2000, in care cele trei marimi masurate on-line se coreleaza cel mai bine, neexistand fenomene perturbatoare externe, de genul terminarii apei de epurat din bazinul de alimentare, acest lucru necesitand oprirea procesului pentru o realimentare etc.

In primul caz s-a incercat identificarea a primilor 6 parametrii din vectorul θ , relatia (4.6), parametrul β fiind considerat zero, deoarece nu s-a eliminat namol in timpul experimentului. S-a pornit procesul de cautare a parametrilor din punctul $\mu_{max} = 0.15$, $k_o = 0.5$, $k_{do} = 2$, $k_s = 100$, $Y = 1.5$ si $\alpha = 0.018$. Au fost determinate urmatoarele valori numerice pentru parametrii modelului Nejjari: $\mu_{max} = 0.7275$, $k_o = 0.125$, $k_{do} = 13.975$, $k_s = 68.75$, $Y = 1.4375$ si $\alpha = 0.0055$. In urma identificarii s-au obtinut rezultatele prezentate in figurile 2.6 -2.8. In figurile 2.6 si 2.7 se observa ca iesirile modelului aproximeaza destul de bine datele experimentale (biomasa si substratul organic), fapt ce nu este valabil in cazul concentratiei de oxigen dizolvat. In figura 2.8 se vede in mod clar ca modelul Nejjari nu reuseste sa „prinda” dinamica oxigenului dizolvat, ceea ce duce la concluzia ca modelul Nejjari poate fi partitionat in doua, si anume: un subsistem dat de dinamicile bioamsei si substratului organic si al doilea subsistem, dat de dinamica oxigenului dizolvat. Pentru a argumenta acest punct de vedere s-a realizat o analiza a dinamicii sistemului. Astfel, sistemul a fost liniarizat in jurul a trei puncte de functionare si au fost determinate valorile proprii corespunzatoare fiecarui sistem liniar.

Rezultatele obtinute sunt prezentate in Tabelul 4.1.

Tabel 4.1

Punct de functionare in jurul caruia se face liniarizarea	Spectrul procesului liniar
$W = 100, D = 0.1$	-2.1867 -0.0075 -0.2389 + 0.0372i -0.2389 -0.0372i
$W = 50, D = 0.05$	-1.2773 -0.2826 -0.0058 -0.1149
$W = 10, D = 0.01$	-0.5748 -0.1617 -0.0014 -0.0226

Din datele prezentate in tabel se observa ca una dintre dinamicile procesului este mult mai rapida decat celelalte. Aceasta dinamica a fost determinata ca fiind cea a oxigenului dizolvat. In aceste conditii se justifica alegerea de a considera doua subsisteme: unul rapid, care este cel al oxigenului dizolvat si celalalt, lent, al procesului biotehnologic propriu-zis.

In consecinta, s-a considerat al doilea caz, in care s-a separat ecuatia de oxigen dizolvat, deci modelul procesului de epurare ramane cu trei ecuatii (biomasa, substrat organic si biomasa recirculata), iar valorile concentratiei de oxigen dizolvat au fost considerate ca fiind cele masurate in proces (ecuatia concentratiei de oxigen dizolvat a fost identificata separat). Practic, in acest al doilea caz, au ramas de identificat parametrii μ_{max} , k_{do} , k_s si Y , obtinandu-se valorile: $\mu_{max} = 0.0462$, $k_{do} = 1.8625$, $k_s = 103.75$ si $Y = 1.1125$ (figurile 4.9 – 4.10).

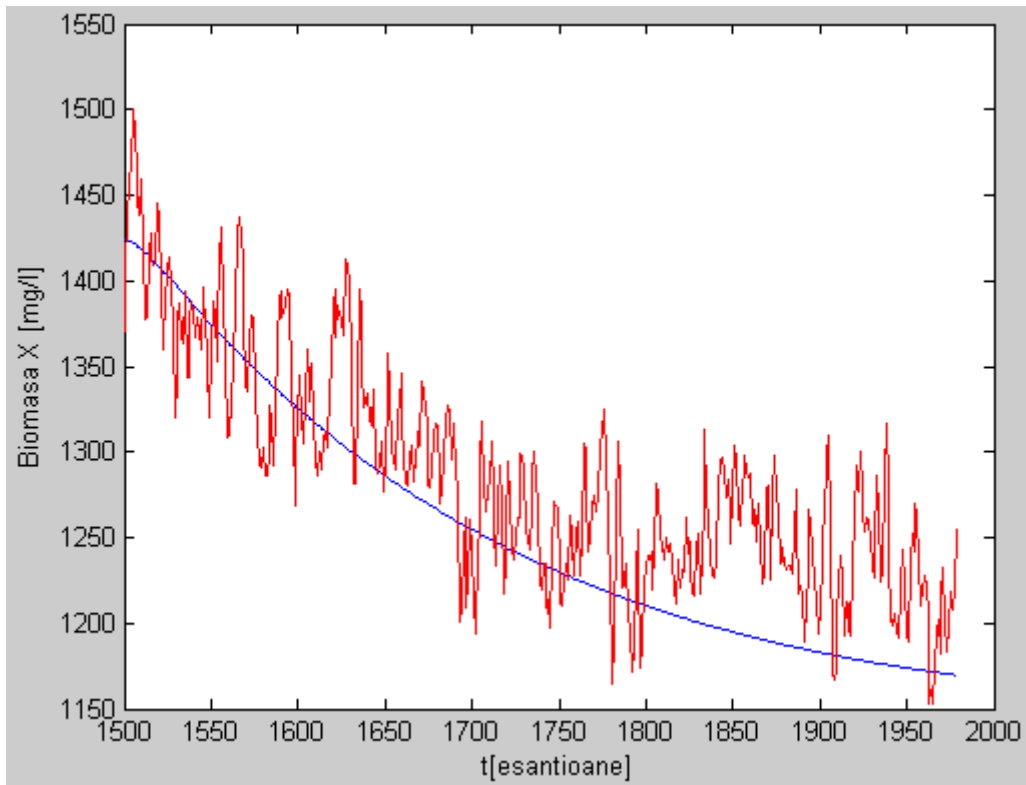


Fig. 4.6: Evolutia biomasei (rosu – date experimentale, albastru model)

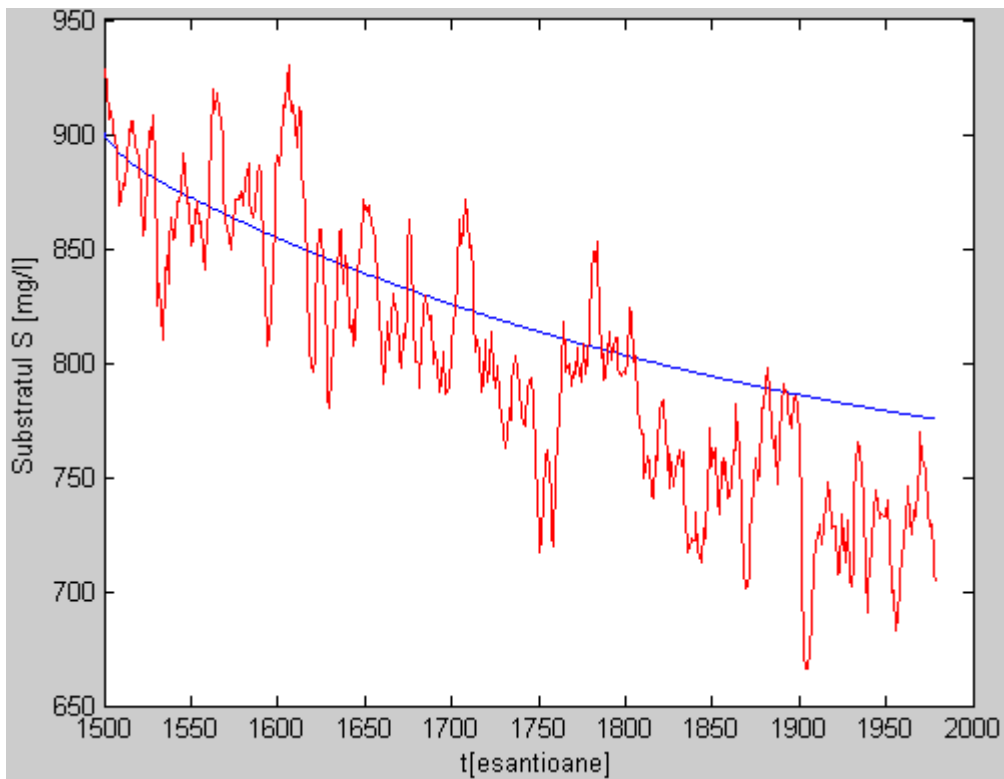


Fig. 4.7: Evolutia substratului (rosu – date experimentale, albastru model)

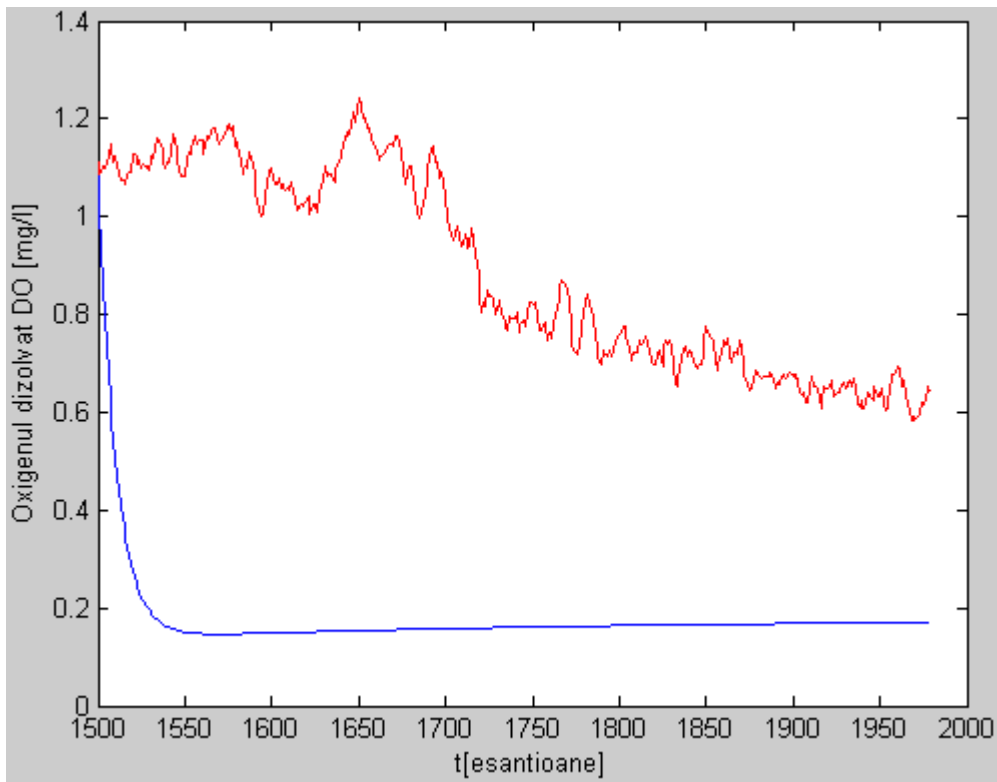


Fig. 4.8: Evolutia concentratiei de oxigen dizolvat (rosu – date experimentale, albastru model)

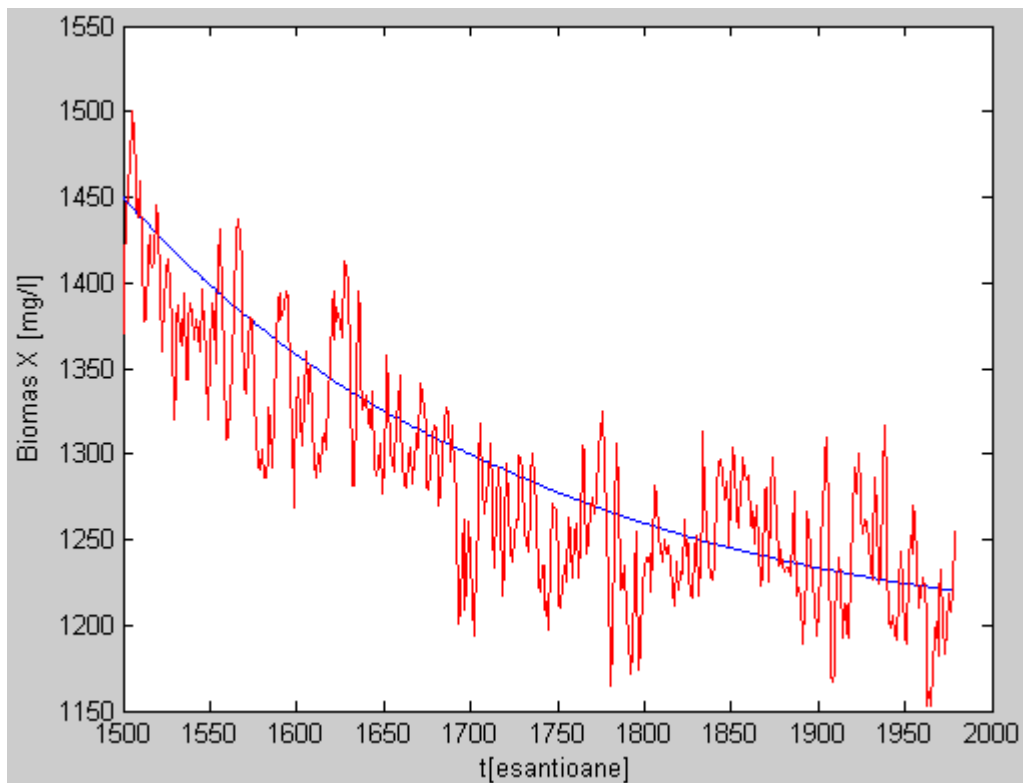


Fig. 4.9: Evolutia biomasei (rosu – date experimentale, albastru model)

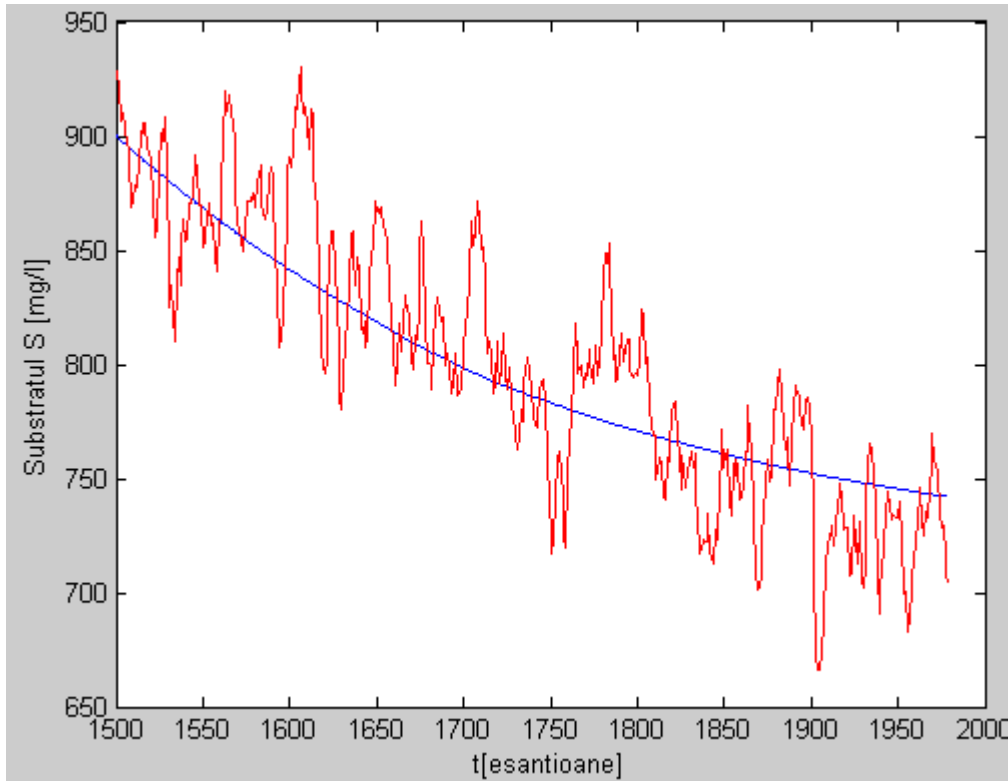


Fig. 4.10: Evolutia substratului (rosu – date experimentale, albastru model)

4.2.2 Identificarea proceselor de epurare utilizand metoda sensibilitatilor

a) Aspecte teoretice

Analiza teoretică a procesului, deducerea unor ecuații de bilanț energetic și de material permit stabilirea unui *model analitic* al procesului. Ajustarea parametrilor modelului analitic astfel încât acesta să aproximeze cât mai precis comportarea procesului, chiar și în condițiile schimbării unor caracteristici ale acestuia, constituie esența metodei de identificare a proceselor utilizând *modele ajustabile*. Ajustarea parametrilor modelului se poate face manual sau prin dispozitive automate. Dacă modelul conține dispozitive automate de ajustare a parametrilor, el se numește *model adaptiv*, deoarece se adaptează la modificările caracteristicilor procesului. Scopul urmărit în procesul de adaptare a parametrilor modelului este aproximarea optimă, din punct de vedere al unui criteriu de performanță impus, a caracteristicilor procesului, prin caracteristicile modelului adaptiv. Pentru modelele adaptive este esențială asigurarea unei viteze de convergență cât mai mare a procesului de adaptare.

Timpul de identificare a procesului trebuie să fie suficient de mic, pentru a se putea considera neglijabile modificările caracteristicilor procesului în intervalul de identificare.

Schema de principiu care ilustrează metoda de ajustare on-line a parametrilor modelului este prezentată în Figura 4.11 [Pen71]. Dispozitivul de ajustare urmărește extremizarea unui criteriu de performanță astfel încât ieșirea măsurabilă a procesului (x_p) să fie aproximată cât mai bine de ieșirea modelului (x_m), în condițiile aplicării aceluiași semnal de intrare (u).

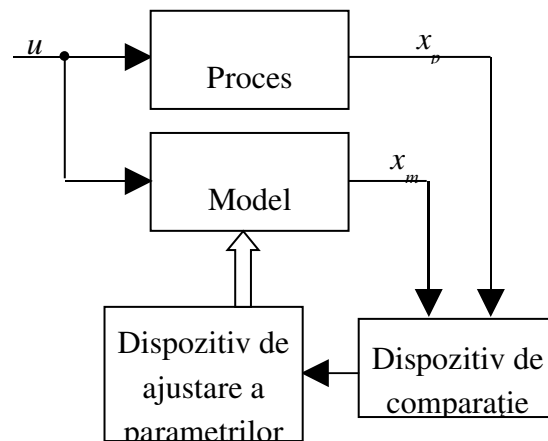


Fig. 4.11: Schema de principiu pentru ajustarea on-line a parametrilor modelului

Modele adaptive folosind funcțiile de sensibilitate ale parametrilor

Metodele de ajustare a parametrilor modelului se deosebesc prin criteriul de apreciere a concordanței între caracteristicile procesului și ale modelului, precum și prin metodele de extremizare a criteriului adoptat. Una din posibilitățile utilizate de extremizare a funcției criteriu constă în aplicarea algoritmului gradientului. Astfel, atunci când structura modelului este cunoscută, algoritmul gradientului permite rezolvarea problemei identificării parametrilor modelului prin utilizarea funcțiilor de sensibilitate ale parametrilor.

Fie un proces descris de ecuația diferențială:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{f}(\underline{x}, t); \quad \underline{x}(0) = \underline{x}_0 \quad (4.11)$$

unde \underline{x} este vectorul n -dimensional al procesului, $\underline{f}(\cdot)$ este o funcție vectorială n -dimensională, iar \underline{x}_0 este vectorul de stare la momentul inițial al intervalului de identificare $(0, T)$.

Modelul procesului, considerat cunoscut ca structură, dar ai cărui parametri trebuie

identificați, este descris de ecuația vectorială:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{f}(\underline{x}, \underline{p}, t); \quad \underline{x}(0) = \underline{x}_0 \quad (4.12)$$

unde \underline{x} este vectorul n -dimensional al modelului, iar \underline{p} - vectorul m -dimensional al parametrilor necunoscuți.

Pentru ajustarea parametrilor modelului se va considera un criteriu de eroare pătratică între ieșirea măsurabilă a procesului și ieșirea modelului:

$$I = \int_0^T \underline{e}^2(t) dt \quad (4.13)$$

unde $\underline{e} = \underline{x} - \hat{\underline{x}}$, considerând că toate mărimile de stare ale procesului sunt măsurabile.

Formularea unui criteriu de performanță privind concordanța modelului cu procesul $I(p_1, p_2, \dots, p_m)$, în care p_1, p_2, \dots, p_m sunt parametrii modelului ce trebuie ajustați, duce la aplicarea metodelor de căutare a extremului unei funcții de mai multe variabile.

Dacă $\frac{\partial I}{\partial p_j}, j = \overline{1, m}$ poate fi calculată, atunci se poate utiliza un model instruibil ai cărui parametri se ajustează în funcție de valorile componentelor gradientului funcției $I(\underline{p})$. Determinarea minimului funcției $I(\underline{p})$ se poate face cu ajutorul algoritmului gradientului, sub formă continuă:

$$\frac{d\underline{p}}{dt} = -h \nabla_{\underline{p}} I \quad (4.14)$$

sau sub formă discretă:

$$\underline{p}(k) = \underline{p}(k-1) - h \nabla_{\underline{p}} I \quad (4.15)$$

unde h este lungimea pasului de căutare, el putând fi constant sau să depindă de valoarea gradientului, iar k este pasul curent de eșantionare.

Pe baza criteriului adoptat, prezentat în ecuația (4.13), componentele gradientului acestei funcții sunt date de relațiile:

$$\frac{\partial I}{\partial p_j} = 2 \int_0^T \underline{e}(t) \frac{\partial \underline{e}(t)}{\partial p_j} dt; \quad j = \overline{1, m} \quad (4.16)$$

sau:

$$\frac{\partial I}{\partial p_j} = 2 \int_0^T \sum_{i=1}^n e_i(t) \frac{\partial e_i(t)}{\partial p_j} dt; \quad j = \overline{1, m} \quad (4.17)$$

Funcția de sensibilitate a mărimii \hat{x}_i a modelului în raport cu parametrul p_j se definește ca fiind:

$$\frac{\partial \hat{x}_i}{\partial p_j} = s_{ij}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m} \quad (4.18)$$

Ținând cont de modul de definire al erorii și de relația (4.18), rezultă:

$$\frac{e(t)}{p_j} = \frac{(x_i(t) - \hat{x}_i(t))}{p_j} = -\frac{\hat{x}_i(t)}{p_j} = -s_{ij}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m} \quad (4.19)$$

În aceste condiții algoritmul gradientului sub formă discretă se scrie astfel [Pen71]:

$$p_j(k) = p_j(k-1) + 2h \int_0^T \sum_{i=1}^n e_i(t) s_{ij}(t) dt; j = \overline{1, m} \quad (4.20)$$

b) Identificarea unor modele matematice specifice proceselor de tratare a apelor uzate din industria laptelui

Tinand cont de aspectele mentionate in paragrafele anterioare se considera ca proces ce trebuie identificat procesul de eliminare a substratului organic prin cresterea biomasei, datele de oxigen dizolvat fiind preluate din proces. Se considera urmatorul model, model derivat din cel Nejjari:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - D(1+r) X + rDX_r \quad (4.21)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu}{Y} X - D(1+r) S + DS_{in} \quad (4.22)$$

$$\frac{dX_r}{dt} = D(1+r)X - rDX_r \quad (4.23)$$

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S} \frac{DO}{K_{DO} + DO} \quad (4.24)$$

Pentru identificare s-au folosit date din experimentul 9 (a se vedea capitolul 2 al raportului stiintific). Tinand cont ca datele achizitionate on-line in primele experimente au fost foarte zgomotoase, a fost necesara introducerea unor filtre. Astfel, s-au utilizat filtre liniare pentru datele de substrat organic, biomasa si oxigen dizolvat. Filtrele liniare au functia de transfer:

$$H(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\zeta Ts + 1} \quad (4.25)$$

unde: $T = 300$; $\zeta = 0.7$ pentru datele de biomasa si substrat si $T = 20$; $\zeta = 0.7$ pentru datele de oxigen dizolvat. S-au utilizat filtre diferite datorita dinamicilor diferite ale respectivelor marimi.

In Figurile 4.12 – 4.14 se prezinta datele ce vor fi utilizate la identificarea procesului. Din figurile prezentate se observa o buna comportare a filtrelor utilizate. Pentru identificare s-a utilizat un tronson de date experimentale cuprins intre esantioanele 370 si 1150, ceea ce inseamna 13 ore de functionare a statiei de tratare. Dupa acest moment exista fenomene perturbatoare externe, de genul: modificarea valorii de oxigen dizolvat, terminarii apei de epurat din bazinul de alimentare, acest lucru necesitand oprirea procesului pentru o realimentare etc., ce impiedica folosirea datelor.

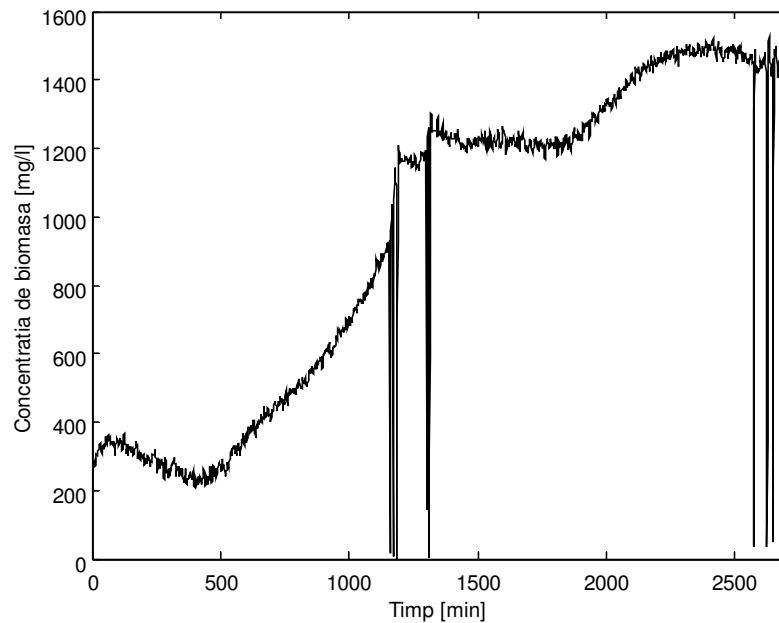


Fig. 4.12: Evolutia concentratiei de biomasa (experimentul 9)

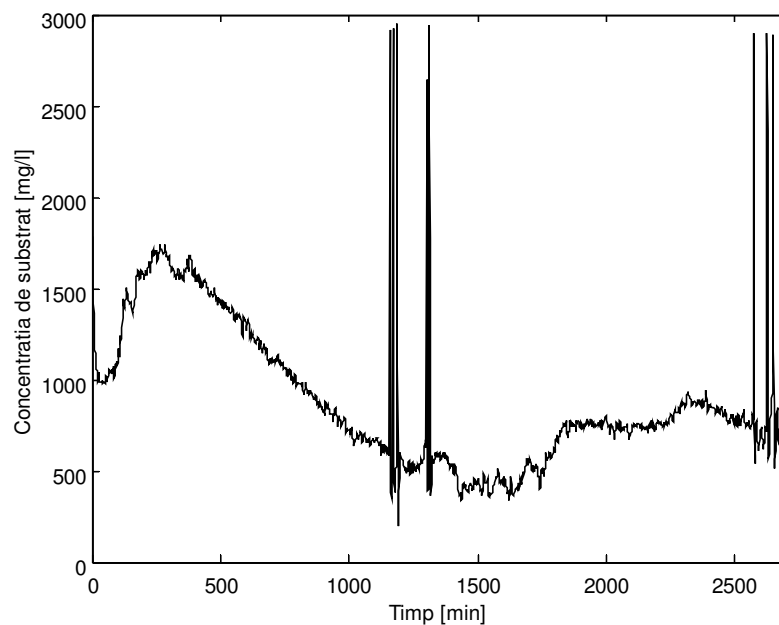


Fig. 4.13: Evolutia concentratiei de substrat organic (experimentul 9)

In modelul prezentat in ecuatiile (4.21) – (4.24) se considera ca parametri ce trebuie identificati: μ_{\max} si Y . Ceilalti doi parametri ce apar in model, K_S si K_{DO} , se considera ca avand valori fixe, valorile lor fiind constante pentru toate tipurile de ape uzate. S-a pornit procesul de adaptare a parametrilor din punctul $\mu_{\max} = 0.15$ si $Y = 0.65$. Programul a fost rulat pentru un numar de 5000 de iteratii, considerand ca marimi masurabile biomasa si substratul organic, fiind determinate urmatoarele valori numerice pentru parametri: $\mu_{\max} = 0.4042$ si $Y = 0.7962$. In urma identificarii s-au obtinut rezultatele prezentate in figurile 4.15 – 4.16. Din figurile prezentate se observa ca modelul identificat ofera o foarte

buna aproximare a datelor experimentale. In figura 4.17 este prezentata evolutia concentratiei de biomasa din decantor obtinuta in urma identificarii modelului de mai sus.

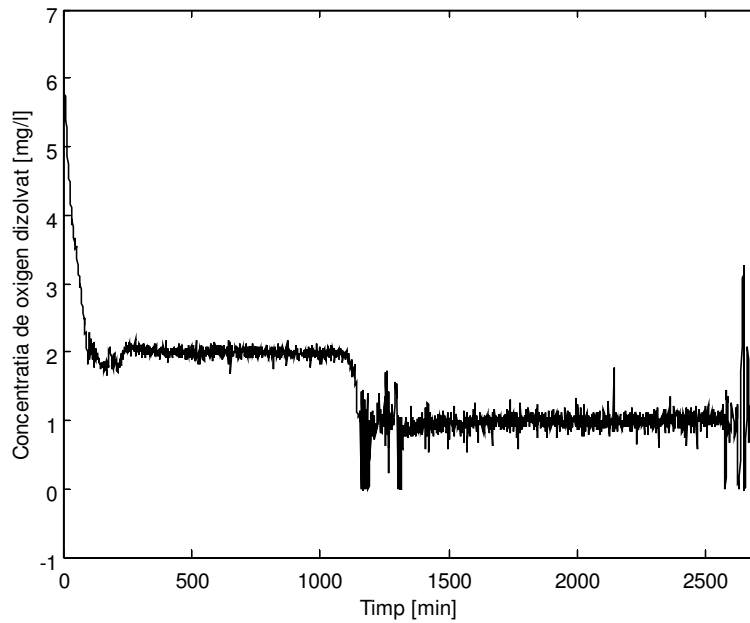


Fig. 4.14: Evolutia concentratiei de oxigen dizolvat (experimentul 9)

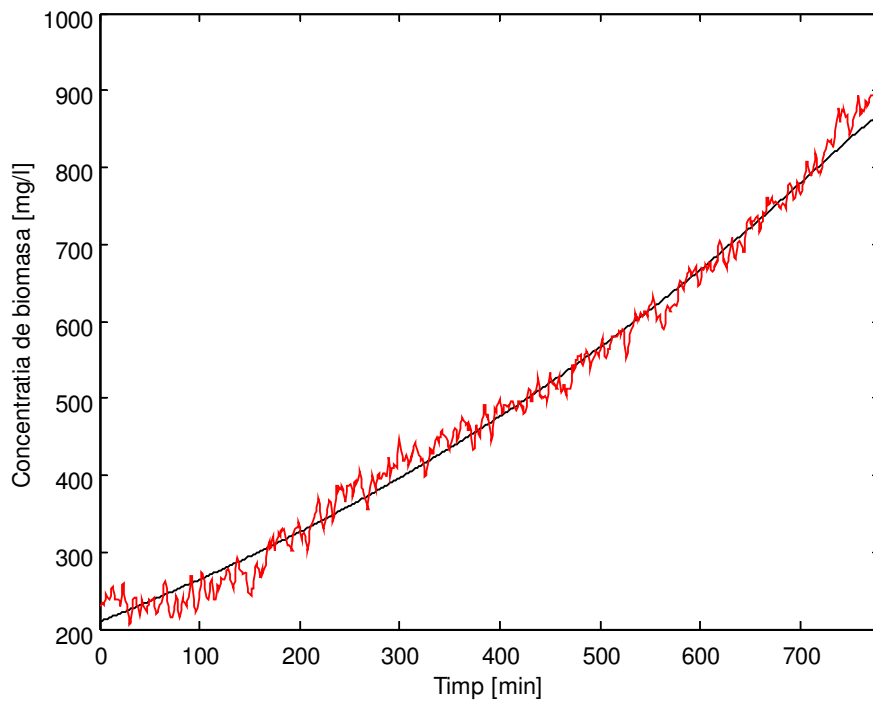


Fig. 4.15: Evolutia biomasei (rosu – date experimentale, negru – model identificat)

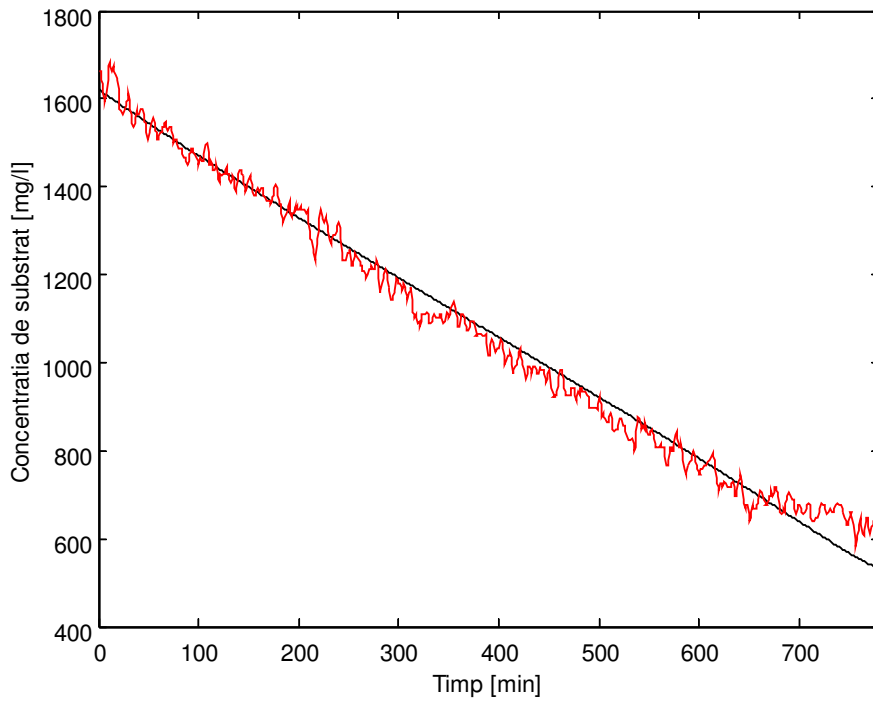


Fig. 4.16: Evolutia substratului (rosu – date experimentale, negru – model identificat)

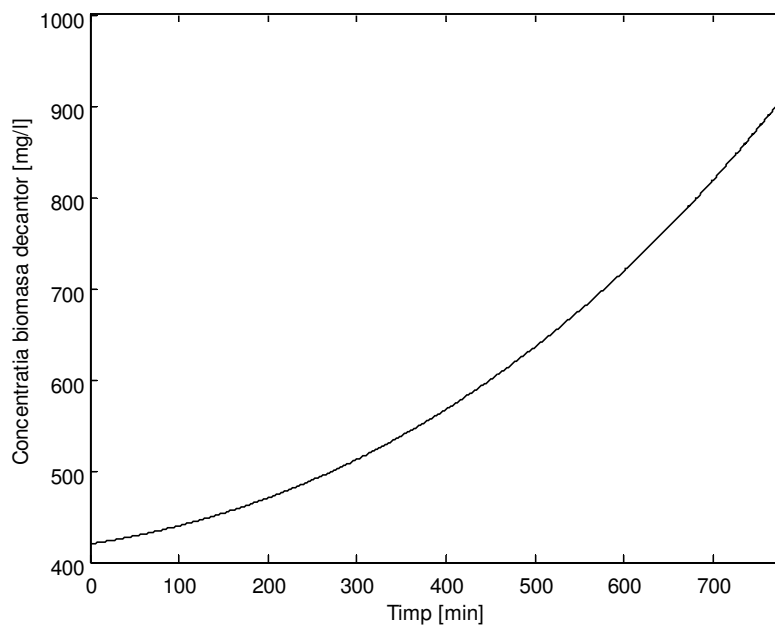


Fig. 4.17: Evolutia concentratiei de biomasa din decantor

c) **Identificarea unor modele matematice specifice proceselor de tratare a apelor uzate din industria berii**

Pentru identificare s-au folosit date din experimentul 11 (a se vedea capitolul 2 al

raportului stiintific), iar modelul ce se doreste a fi identificat este cel prezentat in ecuatiile (4.21) – (4.24). In Figurile 4.18 – 4.20 se prezinta datele ce vor fi utilizate la identificarea procesului, date filtrate on-line cu ajutorul filtrului liniar descris in ecuatia (4.25).

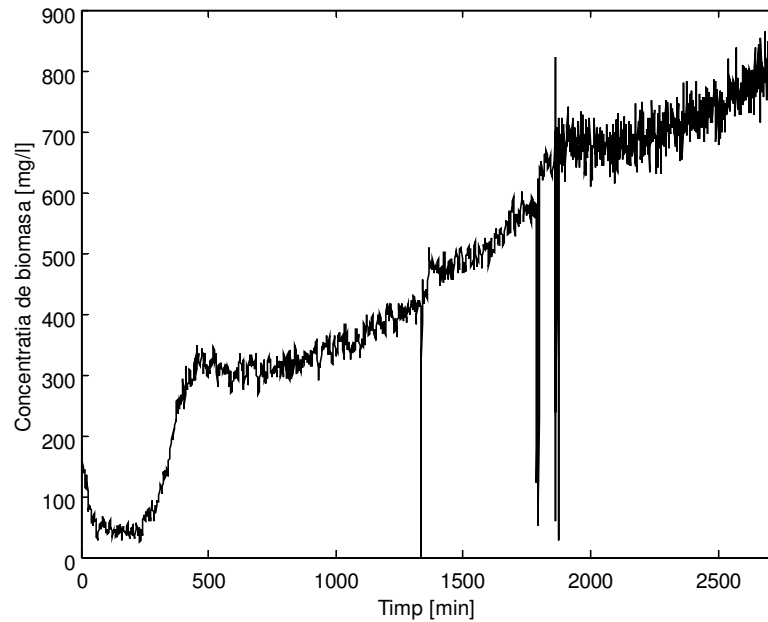


Fig. 4.18: Evolutia concentratiei de biomasa (experimentul 11)

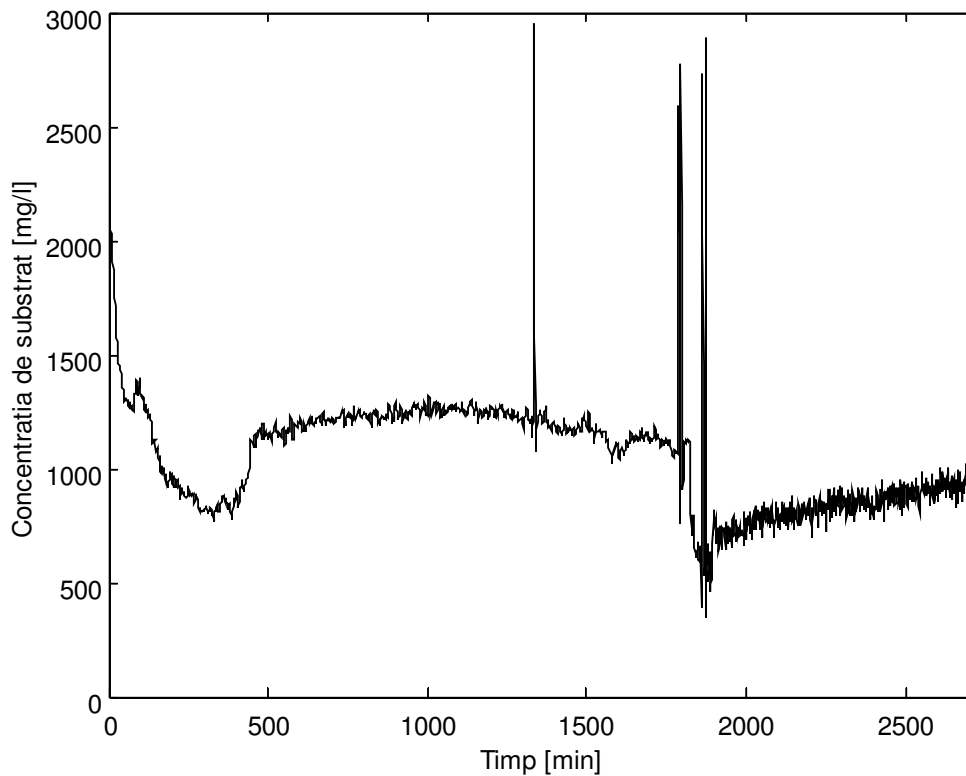


Fig. 4.19: Evolutia concentratiei de substrate biomasa (experimentul 11)

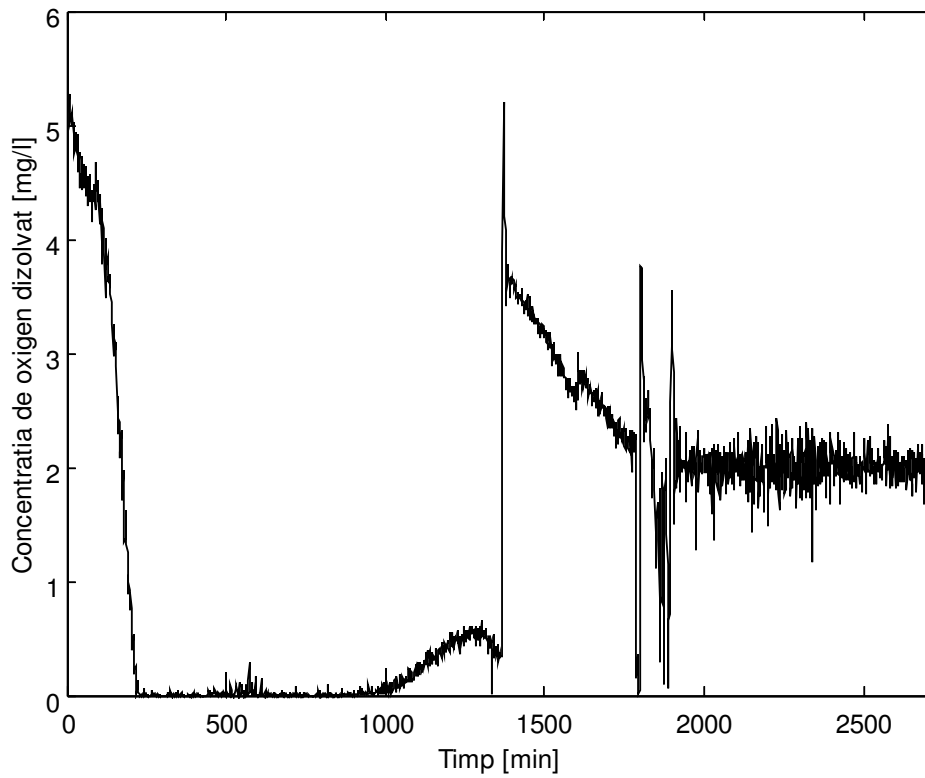


Fig. 4.20: Evolutia concentratiei de substrate biomasa (experimentul 11)

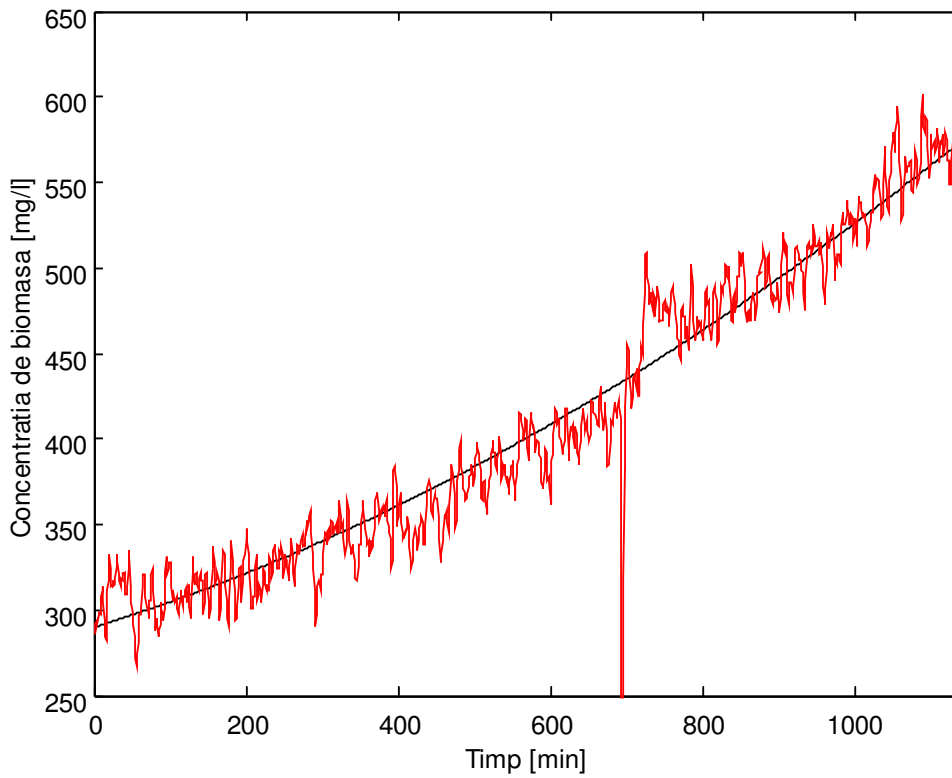


Fig. 4.21: Evolutia biomasei (rosu – date experimentale, negru – model identificat)

Din motivele prezentate in paragrafele anterioare (modificarea valorii de oxigen dizolvat, terminarii apei de epurat din bazinul de alimentare etc.), pentru identificare s-a utilizat un tronson de date experimentale cuprins intre esantioanele 641 si 1780, ceea ce insemnana 19 ore de functionare a statiei de tratare. In cazul experimentelor realizate cu ape uzate din industria berii (in care s-a folosit must de malt), datorita formarii unei pelicule pe senzorul de potential redox, pe baza caruia se determina concentratia de substrat organic, indicatia oferita de acesta are valori practic constante, singurele modificari aparand in momentul in care se facea stergerea acestei pelicule (vezi figura 4.19). In aceste conditii, la identificare s-a considerat masurabila doar concentratia de biomasa din bazinul aerat. De asemenea, in acest experiment de modelare s-a utilizat o rata de aerare constanta, ceea ce a condus la o valoare de oxigen dizolvat apropiat de zero. Astfel, parametrizarea ratei de crestere a biomasei se face numai in raport cu substratul organic si va avea urmatoarea ecuatie:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (4.26)$$

In modelul prezentat in ecuatiile (4.21) – (4.23), cu parametrizarea (4.26) se considera ca parametri ce trebuie identificati: μ_{\max} si Y . S-a pornit procesul de adaptare a parametrilor din punctul $\mu_{\max} = 0.15$ si $Y = 0.65$. Programul a fost rulat pentru un numar de 5000 de iteratii, considerand ca marime masurabila biomasa, fiind determinate urmatoarele valori numerice pentru parametri: $\mu_{\max} = 0.1235$ si $Y = 0.6549$. In urma identificarii s-au obtinut rezultatele prezentate in figura 4.21. Din figurile prezentate se observa ca biomasa data de modelul identificat ofera o foarte buna aproximare a biomasei din datele experimentale. In figurile 4.22 si 4.23 este prezentata evolutia concentratiei de substrat organic si a concentratiei de biomasa din decantor obtinuta in urma identificarii modelului de mai sus.

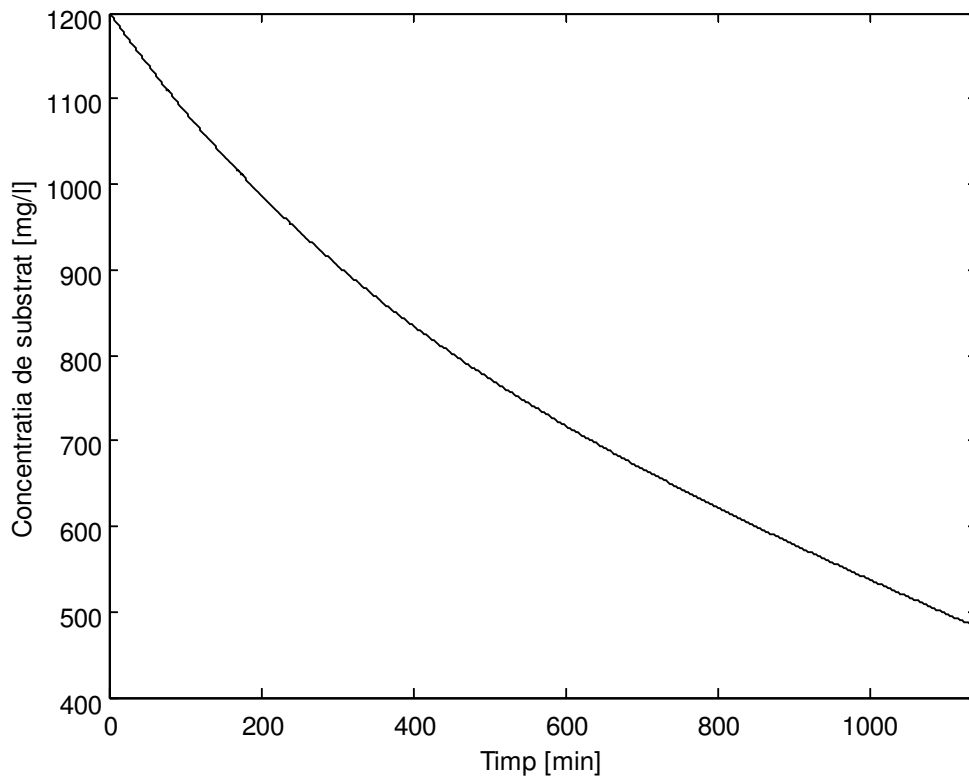


Fig. 4.22: Evolutia concentratiei de substrat organic

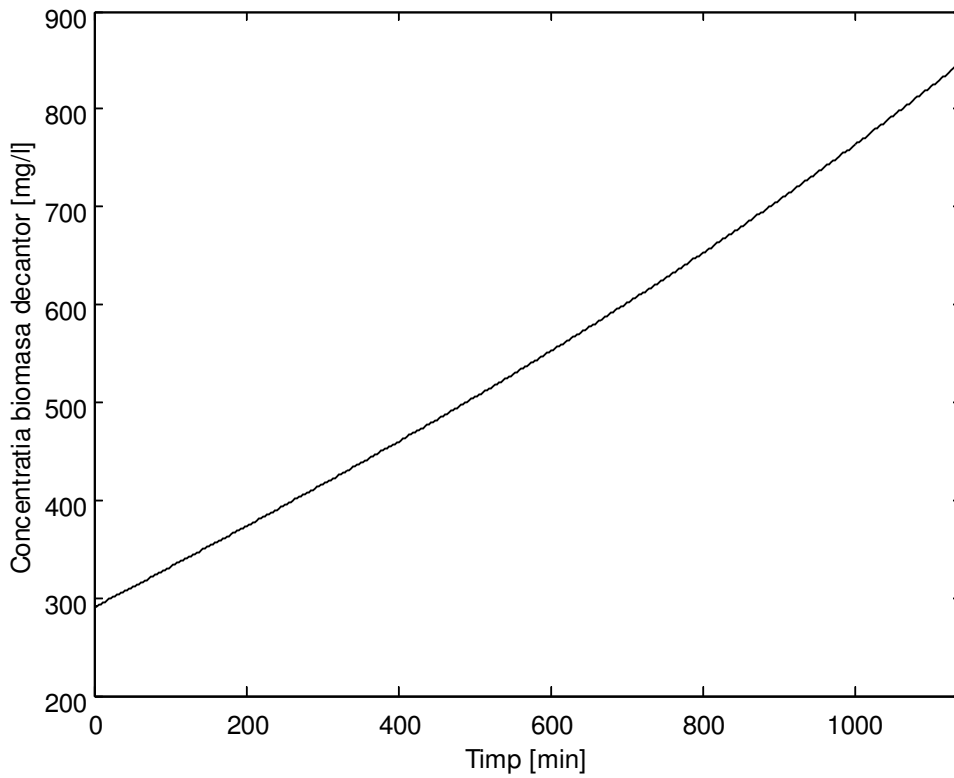


Fig. 4.23: Evolutia concentratiei de biomasa din decantor

Din analiza valorilor identificate se observa ca rata maxima de crestere a biomasei μ_{\max} si coeficientul de productie Y au valori mai mici in cazul apelor uzate din industria berii. Acest lucru conduce la o eficienta mai mica a acestui proces, aceasta putandu-se observa si din dinamica evolutiei substratului organic in cazul celor doua procese (figurile 4.16 si 4.22).

Un alt fenomen aparte ce s-a manifestat in cazul experimentelor realizate pe ape uzate din industria berii a fost ca in timp, prin stationarea apei in decantor, se produce o fermentare a apei uzate. Acest proces de fermentare duce la degajarea de dioxid de carbon, care prin ridicarea la suprafata atrage si particulele de biomasa, ceea ce determina o mortalitate ridicata a biomasei. Este cazul experimentului 13, care este prezentat in Figurile 4.24 – 4.26. Astfel, in acest experiment, dupa aproximativ 1500 minute (25 de ore) de functionare, biomasa incepe sa scada. Modelul identificat anterior nu poate surprinde o astfel de evolutie. In aceste conditii este necesara introducerea in model a unui termen de mortalitate care sa caracterizeze situatia prezentata anterior.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - b_H - D(1+r)X + rDX_r \quad (4.27)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\mu}{Y}X + b_H(1-f_p)X - D(1+r)S + DS_{in} \quad (4.28)$$

$$\frac{dX_r}{dt} = D(1+r)X - rDX_r \quad (4.29)$$

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S} \frac{DO}{K_{DO} + DO} \quad (4.30)$$

unde b_H este coeficient de mortalitate al biomasei, iar f_p se numeste fractiune de substante inerte si reprezinta partea din biomasa ce se transforma in substante inerte (restul se transforma in substrat organic).

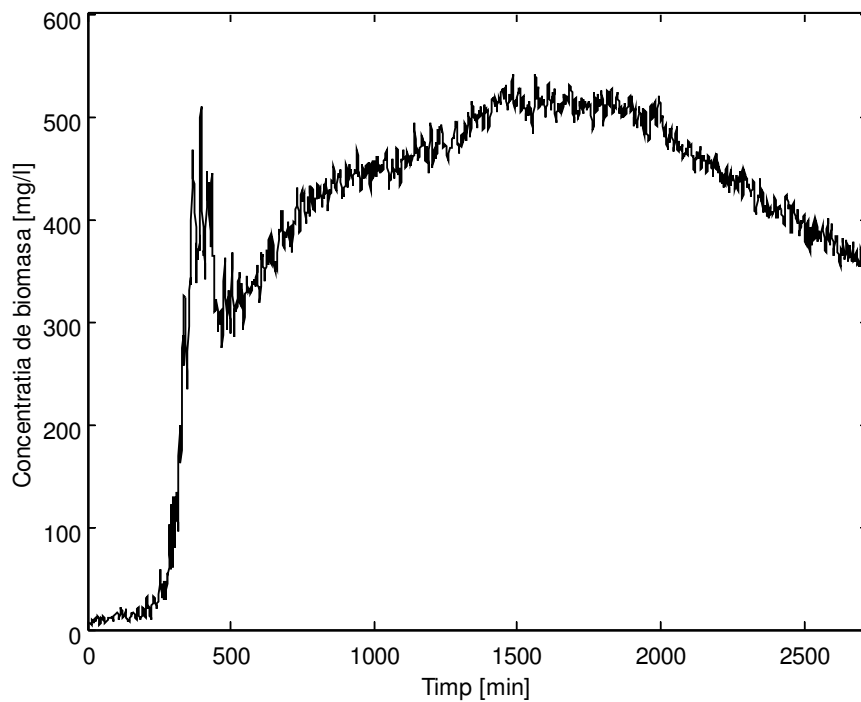


Fig. 4.27: Evolutia concentratiei de biomasa (experimentul 12)

Pentru identificare s-au folosit date din experimentul 12 (a se vedea capitolul 2 al raportului stiintific), iar modelul ce se doreste a fi identificat este cel prezentat in ecuatiile (4.27) – (4.30). In Figurile 4.24 – 4.26 se prezinta datele ce vor fi utilizate la identificarea procesului, date filtrate on-line cu ajutorul filtrului liniar descris in ecuatie (2.25), dar cu constantele $T = 200$; $\zeta = 0.7$ pentru datele de biomasa si substrat si $T = 10$; $\zeta = 0.7$ pentru datele de oxigen dizolvat. Micsorarea constantele filtrelor a avut ca efect cresterea dinamicii acestora, dar si o inrautatie a eficientei filtrelor. Se mai face observatia ca in acest experiment oxigenul dizolvat este reglat la o valoare fixa de 2 mg/l, deci se va utiliza din nou parametrizarea dubla a ratei de crestere in functie de substrat si de oxigen dizolvat (data de ecuatie (4.30)).

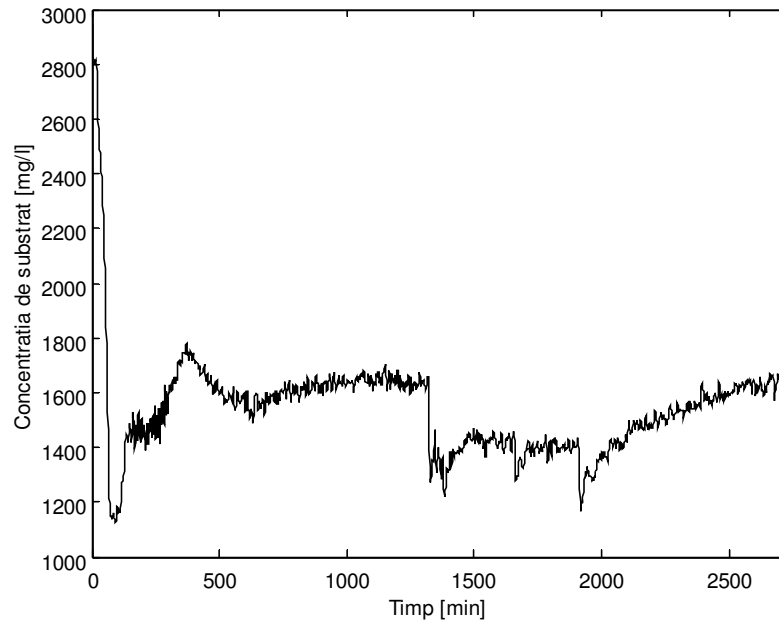


Fig. 4.28: Evolutia concentratiei de substrat organic (experimentul 12)

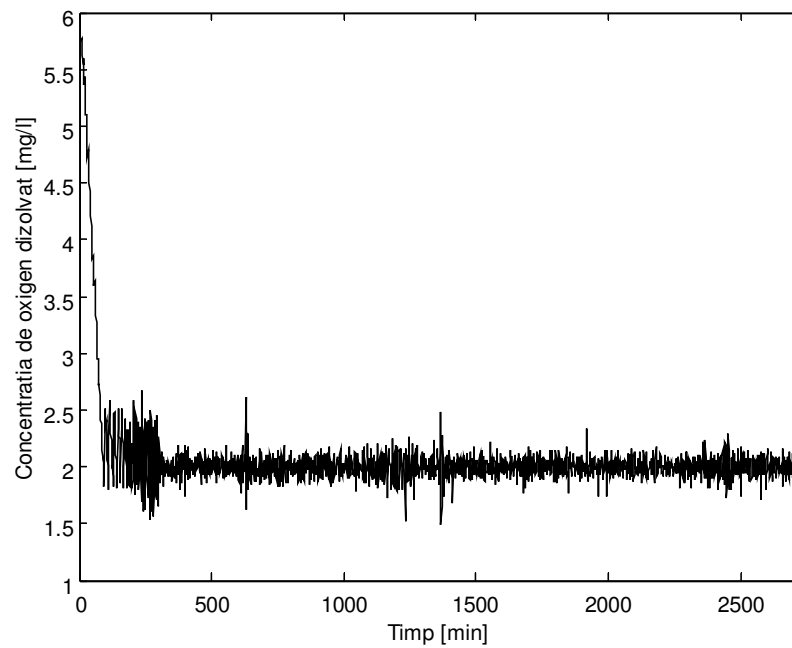


Fig. 4.29: Evolutia concentratiei de biomasa (experimentul 12)

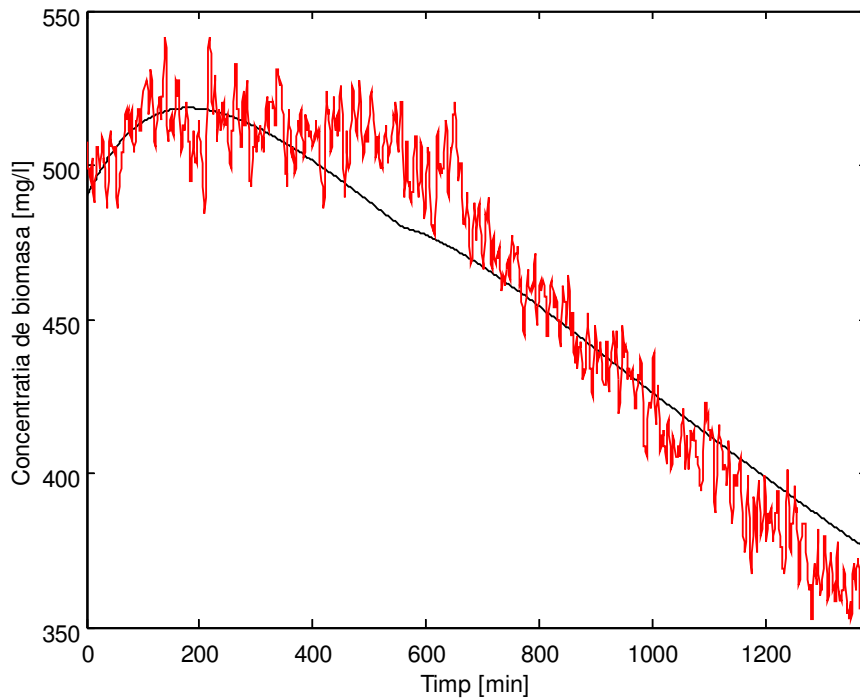


Fig. 4.30: Evolutia biomasei (rosu – date experimentale, negru – model identificat)

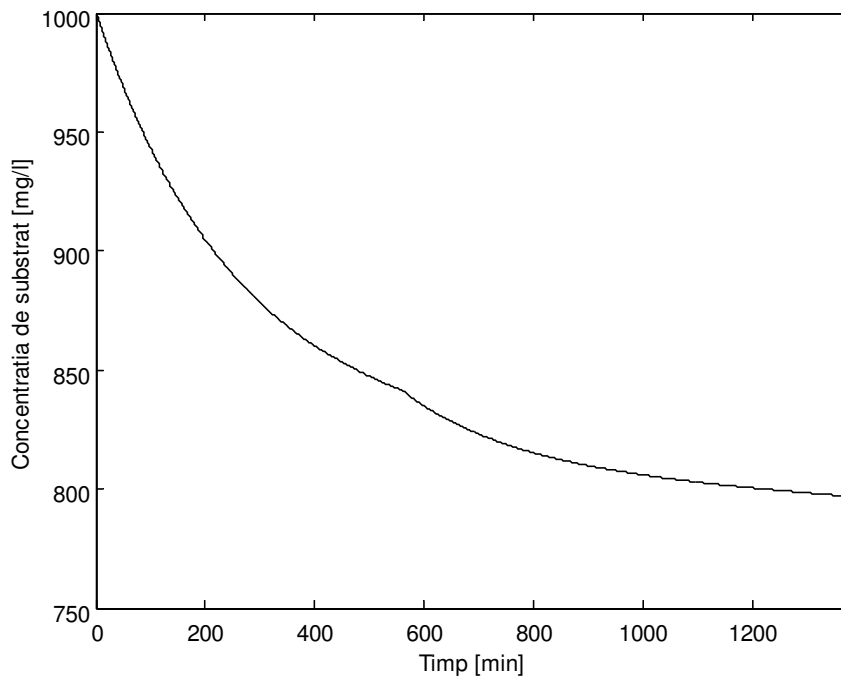


Fig. 4.31: Evolutia concentratiei de substrat organic

In modelul considerat anterior se considera ca parametri ce trebuie identificati: μ_{\max} , Y , b_H si f_p . S-a pornit procesul de adaptare a parametrilor din punctul $\mu_{\max} = 0.15$, $Y = 0.65$, $b_H = 0.0125$ si $f_p = 0.08$. Programul a fost rulat pentru un numar de 5000 de iteratii, considerand ca marime masurabila biomasa, fiind determinate urmatoarele valori numerice

pentru parametri: $\mu_{\max} = 0.106$, $Y = 0.6497$, $b_H = 0.1145$ si $f_p = 0.0801$. In urma identificarii s-au obtinut rezultatele prezentate in figura 4.30. Din figurile prezentate se observa ca biomasa data de modelul identificat ofera o foarte buna aproximare a biomasei din datele experimentale. In figurile 4.31 si 4.32 este prezentata evolutia concentratiei de substrat organic si a concentratiei de biomasa din decantor obtinuta in urma identificarii modelului de mai sus. Din figura 4.32 se observa ca modelul adoptat surprinde fenomenul de scadere a biomasei din decantor, in timp ce din figura 4.31 se observa o crestere mult mai lenta a substratului, fata de experimentul 11, fapt datorat transformarii unei parti a biomasei in substrat organic.

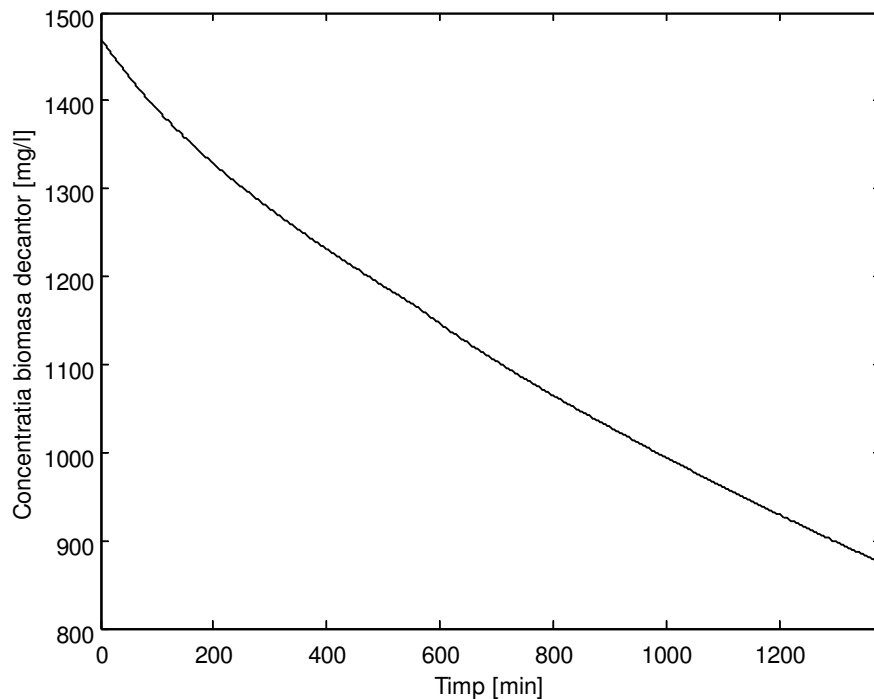


Fig. 4.32: Evolutia concentratiei de substrat organic

Bibliografie

[Bas90] Bastin, G., Dochain, D., *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*, Elsevier, 1990.

[Can94] Carstensen, J., *Identification of Wastewater Processes*, Ph.D. Thesis, IMSOR Institute, Lyngby, Technical University of Denmark, 1994.

[Car05b] Caraman, S., Belea, R., **Barbu, M.**, *The Identification of a Wastewater Process Based on Genetic Algorithms*, IEEE International Workshop on Soft Computing Applications, Szeged-Hungary & Arad-Romania, Proceedings, Pp. 79-84, ISBN 9632190017, 27 - 30 August, 2005.

[Nej99] Nejari, F., et al., *Non-linear multivariable adaptive control of an activated sludge*

wastewater treatment process, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, Vol. 13, Issue 5, Pp. 347-365, 1999.

[Pen71] Penescu, C., Ionescu, G., Tertisco, M., Ceanga, E., *Identificarea experimentală a proceselor automate*, Editura Tehnică, București, 1971.