

Jerzy KUŹNIK
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska

O MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA EKSTREMÓW I NIEMINIMALNOFAZOWOŚCI
W CHARAKTERYSTYKACH BIOLOGICZNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Streszczenie. Przedstawiono charakterystyki statyczne modelu oczyszczalni ścieków posiadające ekstremum. Opisano badanie przyczyn występowania ekstremów. Przedstawiono możliwość wystąpienia nieminimalnofazowości w charakterystykach dynamicznych modelu oczyszczalni i jej przyczynę.

1. WSTĘP

W [1] [2] przedstawiono złożony model matematyczny biologicznej oczyszczalni ścieków z osadem czynnym. Model ten uwzględnia dwie komory napowietrzania, dwa składniki substratu i trzy składniki osadu czynnego, a stężenie osadu w recyklu jest uzależnione od zasobu osadu w osadniku wtórnym. Już wstępne obliczenia dla tego modelu przeprowadzone na maszynie cyfrowej wykazały, że w charakterystykach statycznych modelu występują ekstrema, a w przebiegach czasowych wielkości wyjściowych po skokowych zmianach wielkości wejściowych występuje zmiana kierunku oddziaływania /dla układów liniowych jest to efekt nieminimalnofazowości/ [2]. Ponieważ tego rodzaju zjawiska mogą mieć bardzo istotny wpływ na możliwość i sposób sterowania oczyszczalnią, postanowiono je bliżej zbadać [3].

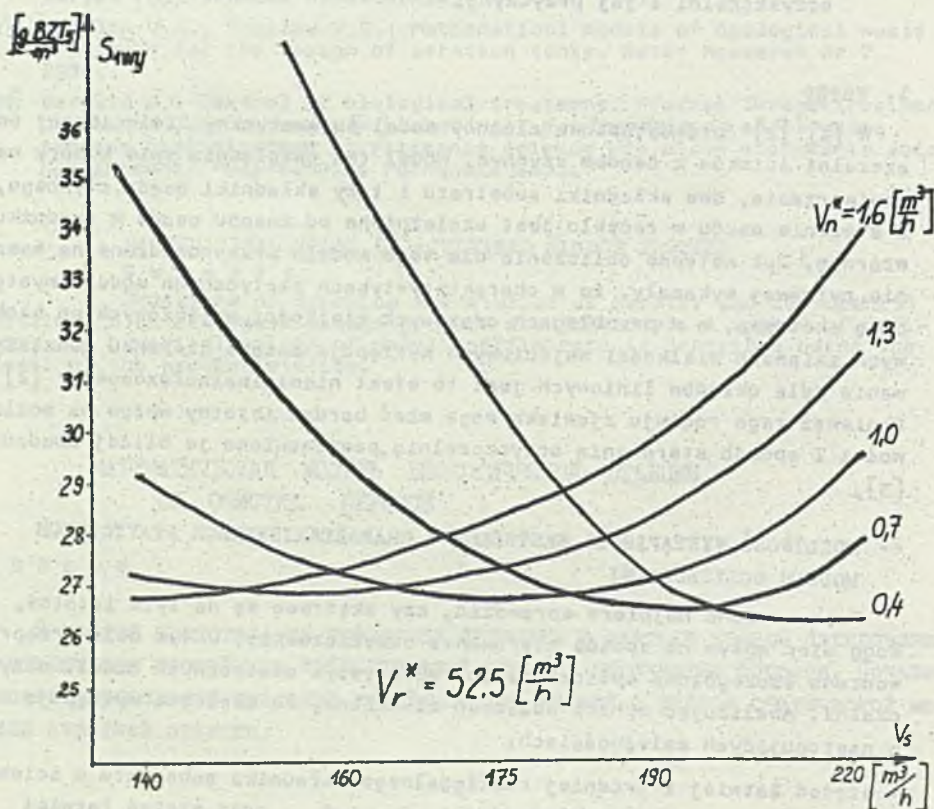
2. MOŻLIWOŚĆ WYSTĄPIENIA EKSTREMÓW W CHARAKTERYSTYKACH STATYCZNYCH MODELU OCZYSZCZALNI

Postanowiono najpierw sprawdzić, czy ekstrema są na tyle istotne, że mogą mieć wpływ na sposób sterowania oczyszczalnią. W tym celu przeprowadzono szczegółowe obliczenia charakterystyk statycznych modelu oczyszczalni. Analizując wyniki obliczeń zauważono, że ekstrema występują w następujących zależnościach:

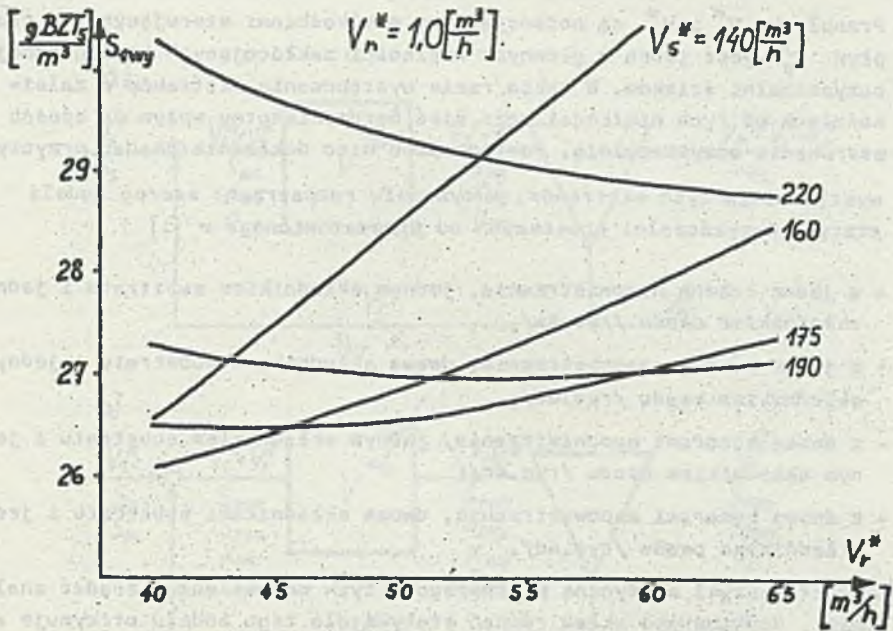
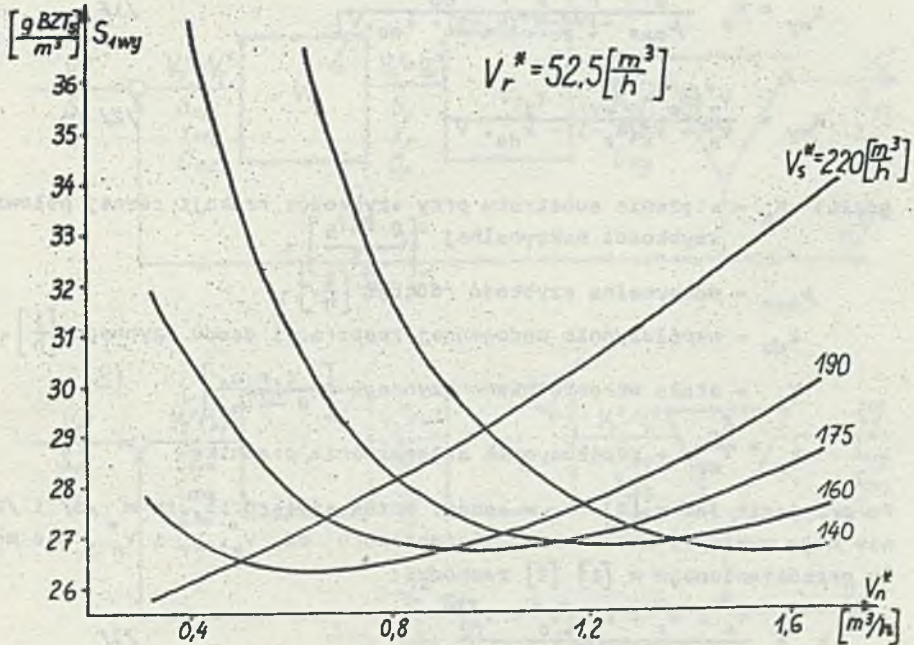
- stężeń łatwiej i trudniej rozkładalnego składnika substratu w ściekach wpływających z komory biosorpcji S_{1p} i S_{2p} oraz stężeń łatwiej i trudniej rozkładalnego składnika substratu w ściekach wpływających z komory biostabilizacji S_{1wy} i S_{2wy} od przepływu ścieków surowych V_s^* , przepływu recyklu V_r^* i przepływu osadu nadmiarowego V_n^* ,

- stężenie osadu czynnego aktywnego na wyjściu z komory biosorpcji X_p , na wyjściu z komory biostabilizacji X_{wy} , w recyklu X_r , w ściekach oczyszczonych X_k od przepływów V_s^* , V_r^* i V_n^* ,
- masy osadu czynnego aktywnego w osadniku wtórnym G_x od przepływów V_s^* , V_r^* i V_n^* ,
- stężenie tlenu w komorze biosorpcji O_p i w komorze biostabilizacji O_{wy} w zależności od przepływu osadu nadmiarowego V_n^* .

Stwierdzono, że ekstrema w charakterystykach dla tlenu są nieznaczne, a ekstrema w zależnościach dla stężeń substratu /minima/ występują dla tych samych wartości zmiennych niezależnych co ekstrema w zależnościach dla stężeń osadu czynnego aktywnego /maksima/. Wybrane charakterystyki statyczne przedstawione są na rys.1, rys.2 i rys.3.



Rys.1. Charakterystyki statyczne $S_{1wy} = f(V_s^*)$

Rys.2. Charakterystyki statyczne $S_{1wy} = f(V_r^*)$ Rys.3. Charakterystyki statyczne $S_{1wy} = f(V_n^*)$

Przepływy V_n^* i V_r^* są potencjalnymi wielkościami sterującymi, a przepływ V_s^* jest jedną z głównych wielkości zakłócających biologicznej oczyszczalni ścieków. W takim razie występowanie ekstremów w zależnościach od tych wielkości może mieć bardzo istotny wpływ na sposób sterowania oczyszczalnią. Postanowiono więc dokładnie zbadać przyczyny występowania tych ekstremów. W tym celu rozpatrzono szereg modeli statyki oczyszczalni prostszych od przedstawionego w [1] :

- z jedną komorą napowietrzania, jednym składnikiem substratu i jednym składnikiem osadu /rys.4a/,
- z jedną komorą napowietrzania, dwoma składnikami substratu i jednym składnikiem osadu /rys.4b/,
- z dwoma komorami napowietrzania, jednym składnikiem substratu i jednym składnikiem osadu /rys.4c/,
- z dwoma komorami napowietrzania, dwoma składnikami substratu i jednym składnikiem osadu /rys.4d/.

Charakterystyki statyczne pierwszego z tych modeli można zbadać analitycznie. Rozwiązując układ równań statyki dla tego modelu otrzymuje się [4] :

$$S_{wy} = K_s \frac{V_s^* - V_r^*(k_x - 1) + k_{do} \cdot V}{\mu_{max} - [V_s^* - V_r^*(k_x - 1) + k_{do} \cdot V]} \quad /1/$$

$$X_{wy} = \frac{V_s^*(S_s - S_{wy}) \cdot Y_1}{V_s^* - V_r^*(k_x - 1) + k_{do} \cdot V} \quad /2/$$

gdzie: K_s - stężenie substratu przy szybkości reakcji równej połowie szybkości maksymalnej $\left[\frac{g \text{ BZT}_5}{m^3} \right]$,

μ_{max} - maksymalna szybkość reakcji $\left[\frac{1}{h} \right]$,

k_{do} - współczynnik endogennej respiracji osadu czynnego $\left[\frac{1}{h} \right]$,

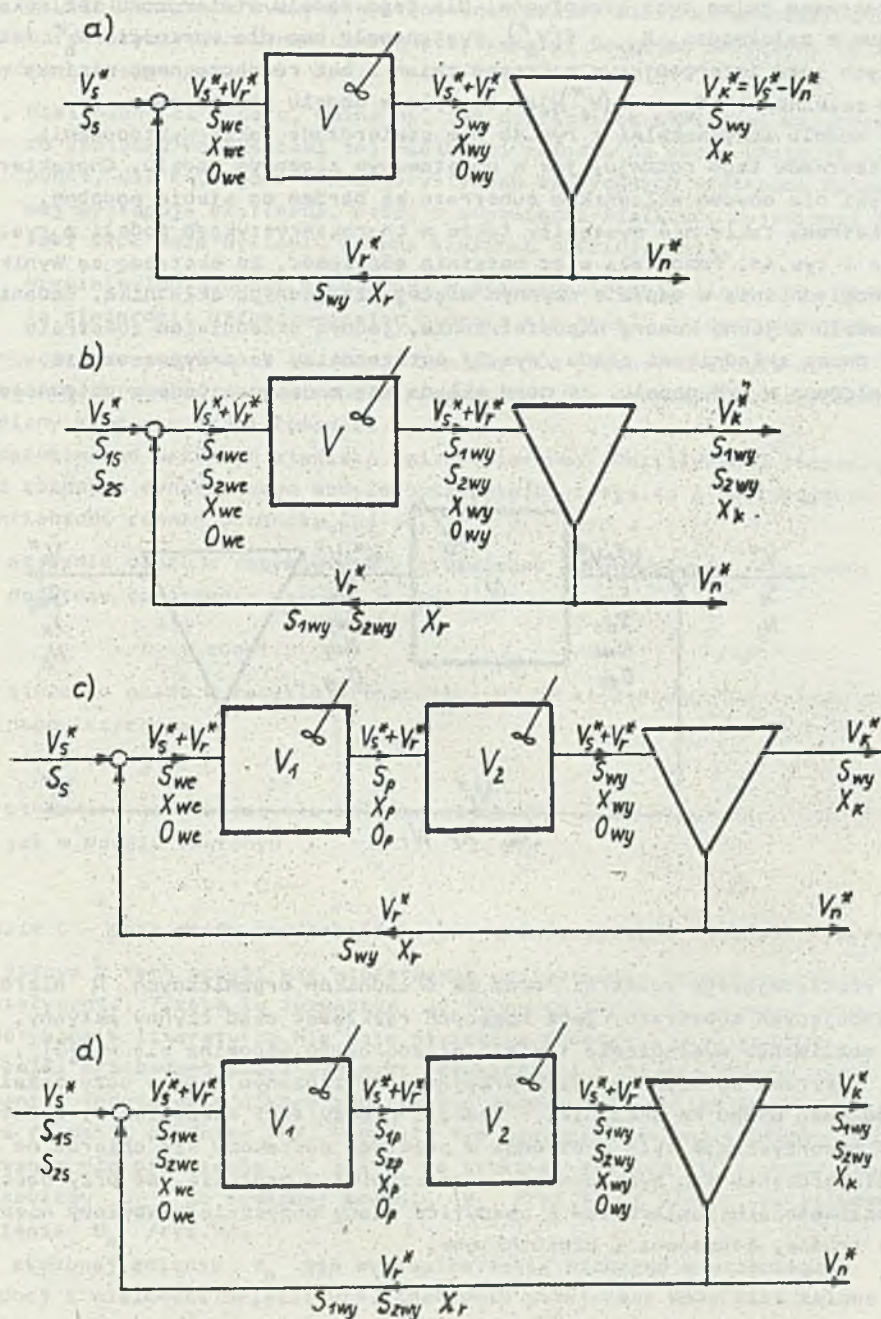
Y_1 - stała wzrostu osadu czynnego $\left[\frac{g \text{ s.m.o.}}{g \text{ BZT}_5} \right]$,

$k_x = \frac{X_r}{X_{wy}}$ - współczynnik zagęszczenia osadnika.

Po przyjęciu jak w [4] $k_x = \text{const.}$ można stwierdzić, że w /1/ i /2/ nie mogą wystąpić ekstrema w zależnościach od V_s^* , V_r^* i V_n^* . Dla modelu przedstawionego w [1] [2] zachodzi:

$$k_x = \frac{V_s^* + V_r^* - k_1 (V_s^* - V_n^*)^2}{V_r^* + V_n^*} \quad /3/$$

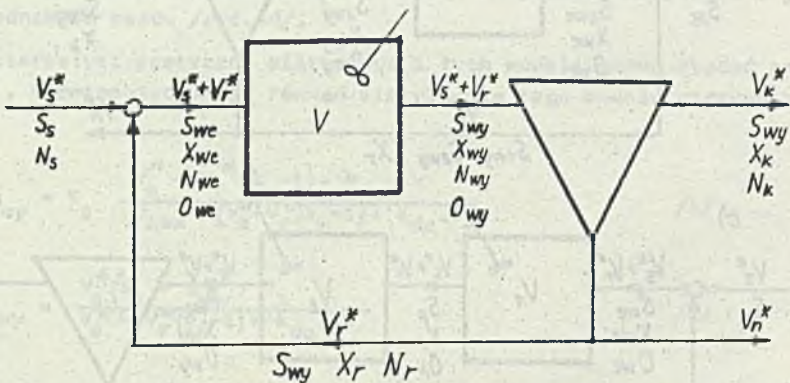
gdzie: k_1 - współczynnik określający działanie osadnika [2] .



Rys.4. Schematy modeli biologicznej oczyszczalni ścieków

W tym przypadku w zależności $S_{wy} = f(V_n^*)$ może wystąpić ekstremum, lecz dla wartości $(V_s^* + V_r^*) > \frac{1}{k_1}$, a więc leżących daleko poza dopuszczalnym zakresem zmian tych przepływów. Dla tego modelu stwierdzono też maksimum w zależności $X_{wy} = f(V_s^*)$. Występowało ono dla wartości V_s^* leżących poza interesującym zakresem zmian i bez równoczesnego minimum w zależności $S_{wy} = f(V_s^*)$, jak to było w modelu podstawowym.

W modelu oczyszczalni z rys.4b nie stwierdzono także występowania ekstremów tego rodzaju, jak w podstawowym złożonym modelu. Charakterystyki dla obydwu składników substratu są bardzo do siebie podobne. Ekstrema takie nie wystąpiły także w charakterystykach modeli z rys. 4c i rys.4d. Pozostała więc ostatnia możliwość, że ekstrema są wynikiem uwzględnienia w osadzie czynnym więcej niż jednego składnika. Badania modelu z jedną komorą napowietrzania, jednym składnikiem substratu i dwoma składnikami osadu /rys.5/ potwierdziły to przypuszczenie. Założono w tym modelu, że osad składa się z osadu czynnego aktywnego



Rys.5. Schemat oczyszczalni z dwoma składnikami osadu

x rozkładającego substrat oraz ze składników organicznych N nierozkładających substratu, lecz mogących rozkładać osad czynny aktywny. O możliwości wystąpienia takiego składu osadu wspomina się w [5].

Ekstrema są więc wynikiem przyjętego w złożonym modelu oczyszczalni podziału osadu na składniki i reakcji między tymi składnikami. Ewentualne wykorzystanie tych ekstremów w praktyce musiałyby się opierać na potwierdzeniu ich występowania w rzeczywistym procesie, co przy obecnych możliwościach pomiarowych i specyfice pracy oczyszczalni byłoby niezwykle trudne, kosztowne i czasochłonne.

3. MOŻLIWOŚĆ WYSTĄPIENIA NIEMINIMALNOFAZOWOŚCI W CHARAKTERYSTYKACH DYNAMICZNYCH MODELU OCZYSZCZALNI

Z kolei badano przyczyny występowania zmiany kierunku oddziaływania w charakterystykach dynamicznych oczyszczalni ścieków. Przyczyny te mogą być następujące:

1. Nieliniowości modelu. Można np. tak dobrać skok wielkości wejściowej, że pomiędzy wartościami tej wielkości przed i po skoku znajduje się punkt, dla którego w charakterystykach statycznych wielkości wyjściowej występuje ekstremum. Wtedy w odpowiedzi wielkości wyjściowej na taki skok może wystąpić zmiana kierunku oddziaływania.
2. Nieminimalnofazowość zachodząca w przypadku modeli liniowych. Można ją stwierdzić przeprowadzając badania dla modelu zlinearyzowanego.

Przyczyny występowania ekstremów zostały już podane, należało więc jeszcze sprawdzić, czy w modelu procesu są inne przyczyny występowania zmiany kierunku oddziaływania.

Poszukiwanie przyczyn zjawiska zmiany kierunku oddziaływania rozpoczęt od zbadania dynamicznego modelu oczyszczalni z rys.4a z następującymi wariantami równań osadnika [6] :

- stężenie osadu w recyklu stałe niezależne od przepływów /przerwane dodatnie sprzężenie zwrotne w recyklu/

$$X_r = \text{const.} \quad /4/$$

- stężenie osadu w recyklu proporcjonalne do stężenia osadu w komorze napowietrzania

$$X_r = C \cdot X_{wy} \quad /5/$$

- stężenie osadu w recyklu zależne od zasobu osadu w osadniku wtórnym jak w modelu złożonym

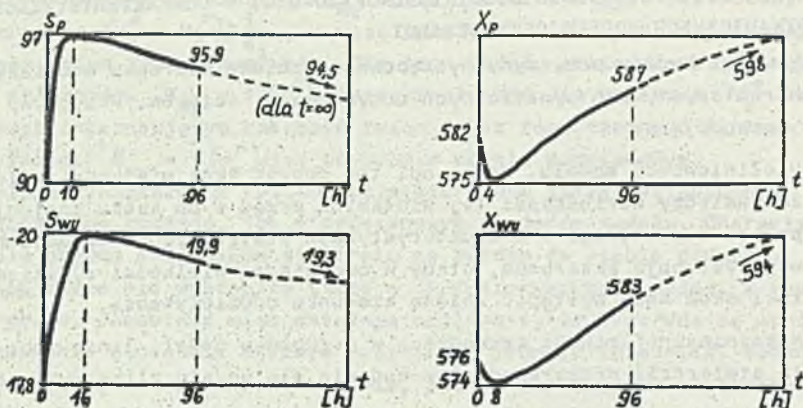
$$X_r = k \cdot C \quad /6/$$

gdzie G - masa osadu czynnego zakumulowana w osadniku.

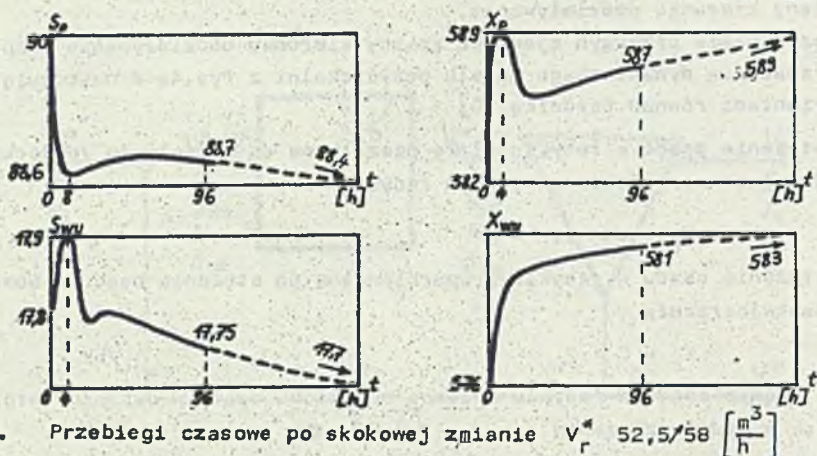
W żadnym z tych modeli nie stwierdzono występowania zmiany kierunku oddziaływania. Trzeba tu zaznaczyć, że równania /4/ i /5/ chociaż często spotykane w literaturze, nie mają większego znaczenia praktycznego.

Z kolei przebadano model dynamiki oczyszczalni z dwoma komorami napowietrzania, jednym składnikiem substratu i jednym składnikiem osadu /rys.4c/ dla równania osadnika /6/. W modelu tym występuje zmiana kierunku oddziaływania dla przebiegów X_p i X_{wy} po skokowej zmianie V_s^* /rys.6/, dla przebiegu S_{wy} po skokowej zmianie V_r^* /rys.7/ i dla S_{wy} po skokowej zmianie S_s /rys.8/.

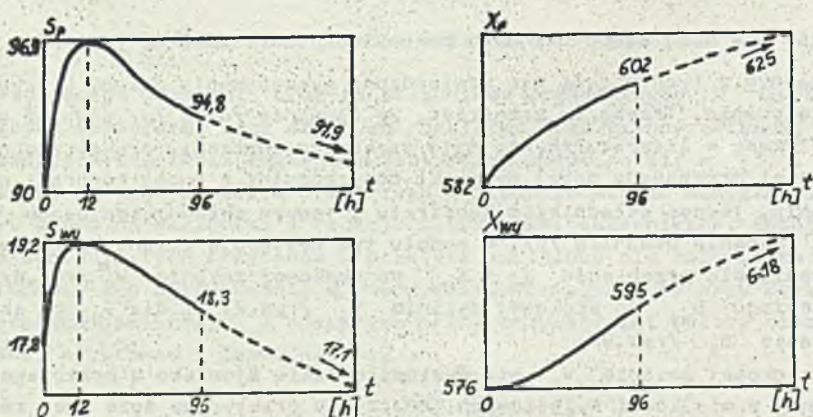
Po skokowej zmianie V_n nie wystąpiło takie zjawisko w przebiegach żadnej z wielkości wyjściowych. Znaczenie praktyczne może mieć zmiana kierunku oddziaływania występująca w przebiegu stężenia substratu na wyjściu oczyszczalni S_{wy} po skokowej zmianie stężenia substratu na



Rys. 6. Przebiegi czasowe po skokowej zmianie V_s^* 175/190 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$



Rys. 7. Przebiegi czasowe po skokowej zmianie V_r^* 52,5/58 $\left[\frac{m^3}{h}\right]$



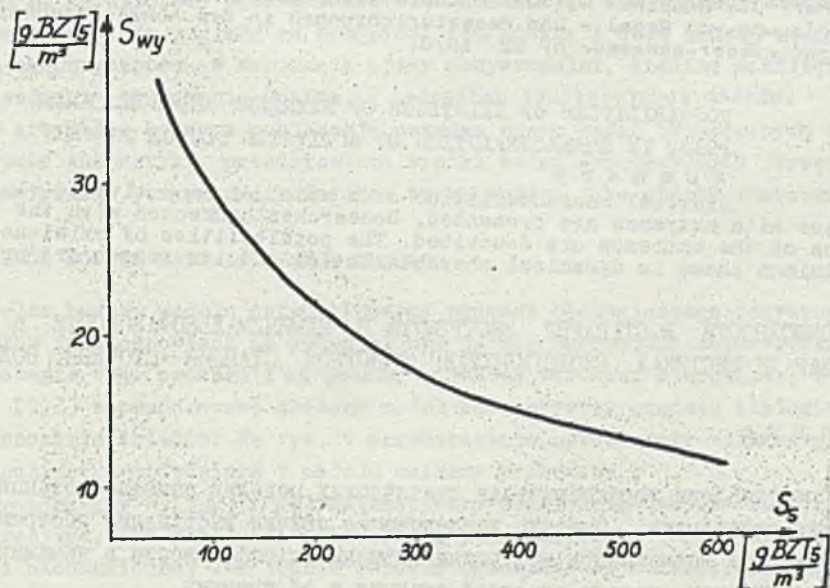
Rys. 8. Przebiegi czasowe po skokowej zmianie S_g 300/320 $\left[\frac{g}{m^3 \cdot s}\right]$

wejściu oczyszczalni S_g .

Równania modelu dynamiki oczyszczalni z rys.4c z równaniem osadnika /6/ zlinearyzowano i przeprowadzono takie same obliczenia jak dla modelu nieliniowego. Otrzymano analogiczne przebiegi wielkości wyjściowych jak w modelu nieliniowym z małymi różnicami wynikającymi z linearyzacji. W takim razie występuje tu zjawisko nieminimalnofazowości.

Następnie zbadano wpływ rodzaju równania osadnika na możliwość wystąpienia nieminimalnofazowości. Obliczono charakterystyki dynamiczne modelu oczyszczalni z rys.4c z równaniami osadnika /4/ oraz /5/.

Nieminimalnofazowość wystąpiła w drugim przypadku, a więc dla stężenia osadu w recyklu proporcjonalnego do stężenia osadu w komorze napowietrzania, dla zmiany stężenia S_{wy} po skokowej zmianie stężenia S_g . Wynika ona, podobnie jak i w poprzednim przypadku z przebiegu charakterystyki statycznej $S_{wy} = f(S_g)$ dla oczyszczalni z dwoma komorami napowietrzania. Dla oczyszczalni z jedną komorą napowietrzania i przyjmowanymi powszechnie równaniami kinetyki stężenie substratu na wyjściu oczyszczalni jest w stanie ustalonym niezależne od stężenia substratu na wejściu oczyszczalni. Widać to z zależności /1/ i wspomniano o tym m.in. w [4] [6] [7]. Natomiast dla oczyszczalni z dwoma komorami napowietrzania charakterystyka $S_{wy} = f(S_g)$ ma kształt podany na rys.9. A więc np. po skokowym wzroście stężenia substratu na wejściu oczyszczalni następuje tylko przejściowe pogorszenie jakości ścieków oczyszczonych, bo w stanie ustalonym stężenie substratu na wyjściu ulega zaniżeniu.



Rys.9. Charakterystyka $S_{wy} = f(S_g)$

Nieminimalnofazowość może więc wystąpić w oczyszczalniach z dwoma komorami napowietrzania posiadającymi dodatkowo sprzężenie zwrotne poprzez recykl. Trzeba stwierdzić, że jej wystąpienie może nie mieć większego znaczenia praktycznego dla przebiegów dynamicznych. Zmiana kierunku oddziaływania następuje po upływie dużego czasu od momentu zmiany wielkości wejściowej. W tym czasie na oczyszczalnię może zadziałać duża liczba innych zmian wielkości wejściowych, bo oczyszczalnia posiada dobowy cykl zakłóceń.

LITERATURA

- [1] Kuźnik J.: Model matematyczny biologicznej oczyszczalni ścieków. Referat na IV Konferencji "Sterowanie systemem wodno-gospodarczym" ZN Politechniki Śl. s. Automatyka nr 79 Gliwice 1985.
- [2] Kuźnik J., Metzger M.: Modele i algorytmy sterowania procesami oczyszczania ścieków. Sprawozdanie z pracy n-b /niepublikowane/ Gliwice 1983.
- [3] Kuźnik J., Metzger M.: Modele i algorytmy sterowania procesami oczyszczania ścieków. Sprawozdanie z pracy n-b /niepublikowane/ Gliwice 1984.
- [4] Wilk A.: Kinetische Modelle des Belebtschlammverfahrens. R. Oldenburg München 1976.
- [5] Gańczarczyk J.: Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego. Arkady, Warszawa 1969.
- [6] Data J.: Właściwości dynamiczne biologicznej oczyszczalni ścieków. Praca dyplomowa wykonana w Instytucie Automatyki Politechniki Śl. /niepublikowana/ Gliwice 1984.
- [7] Marr G., Hruschka H.: Das mathematische Modell als Mittel zur Planung von Regel- und Messeinrichtungen in des Abwassertechnik gwf wasser-abwasser nr 12 1978.

POSSIBILITIES OF EXISTENCE OF EXTREMES AND NONMINIMUM PHASE IN CHARACTERISTICS OF ACTIVATED SLUDGE PROCESS

S u m m a r y

Statical characteristics of a model of an activated sludge process with extremes are presented. Researches connected with the existence of the extremes are described. The possibilities of existence of nonminimum phase in dynamical characteristics and its reason are presented.

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫСТУПАНИЯ ЭКСТРЕМУМА И НЕМИНИМАЛЬНОФАЗОВОСТИ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ СТОЧНОЙ ВОДЫ

Р е з ю м е

Представлены характеристики статических моделей очистной станции, имеющие экстремума. Описано исследование причин выступления экстремумов. Представлена возможность выступления неминимальнофазовости в динамических характеристиках, модели очистной станции и её причины.