

Maria Włodarczyk-Makuła, Marta Janosz-Rajczyk, Ewa Wiśniowska, Agata Zarębska, Agnieszka Zgrzebna

## Badania zawartości WWA w osadach ściekowych

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) są mikrozanieczyszczeniami występującymi powszechnie w środowisku naturalnym. Ich obecność została również wielokrotnie udokumentowana w osadach ściekowych [1–8]. Ze względu na swoje właściwości fizyczno-chemiczne WWA uważane są za związki adsorbowane na powierzchni cząstek stałych, tj. na zawieszinach i koloidach, w wodzie są natomiast rozpuszczalne w minimalnym stopniu [1,2,4,9]. Prace dotyczące zawartości i przemian WWA w osadach ściekowych skupiają się zatem głównie na określeniu stężenia tych mikrozanieczyszczeń w odniesieniu do jednostkowej masy osadu lub – w wypadku osadu charakteryzującego się dużym uwodnieniem – w przeliczeniu na jednostkę objętości osadu [1–8]. Takie podejście do analizy WWA uniemożliwia określenie wpływu procesów sorpcji i desorpcji na zawartość tych mikrozanieczyszczeń w fazach stałej i ciekłej. Zmiany stężeń WWA interpretowane są jako wynikające wyłącznie z aktywności mikroorganizmów lub degradacji fotochemicznej. Badania zmian stężeń WWA w wodach nadosadowych są zwykle pomijane, co może być powodem pewnej niedokładności w interpretacji wyników prowadzonych badań. Należy podkreślić, że – mimo niskiej rozpuszczalności WWA w wodzie – obecność różnego rodzaju substancji organicznych (kwasy humusowe, detergenty) może zwiększać ich udział w fazie wodnej, a więc procesy sorpcji i desorpcji WWA do i z cieczy mogą wpływać na wyniki uzyskiwane w badaniach.

Celem niniejszej pracy było określenie zawartości WWA w wybranych osadach ściekowych i cieczach nadosadowych wydzielonych z tych osadów. Badaniami objęto zarówno osad surowy, jak i ustabilizowany w procesie dwustopniowej fermentacji metanowej. Dodatkowym efektem badań może być próba wyjaśnienia procesu przemieszczania się tych mikrozanieczyszczeń podczas biochemicznej stabilizacji osadów.

### Materiał i metodyka badań

W badaniach określono zawartość wybranych 2-, 3- i 4-pierścieniowych WWA, ponieważ węglowodory te charakteryzują się wyższą – w porównaniu z innymi – rozpuszczalnością w wodzie, która mieści się w zakresie od  $73 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  dla antracenu do  $31700 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  dla naftalenu. Zakres pracy obejmował oznaczenia WWA w następujących próbkach:

– osad surowy, będący mieszaniną osadu wstępnego i nadmiernego osadu czynnego,

– osad przefermentowany, pobrany z pierwszego stopnia fermentacji prowadzonej w zamkniętej komorze fermentacyjnej,

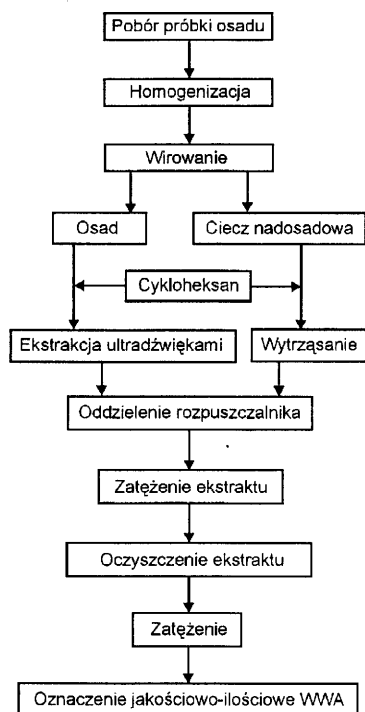
– osad przefermentowany, pobrany z drugiego stopnia fermentacji prowadzonej w otwartej wydzielonej komorze fermentacyjnej,

– ciecz nadosadowa, uzyskana po odwirowaniu wyżej wymienionych osadów.

Próbki osadów do badań pobrano z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków z 30% udziałem ścieków przemysłowych. Technologia mechanicznego oczyszczania ścieków na tej oczyszczalni obejmowała cedzenie oraz usuwanie piasku i zawieszin łatwoopadających. W części biologicznej zachodziły procesy denitryfikacji wstępnej, nitrifikacji i utleniania związków organicznych. W celu usunięcia fosforu zastosowano chemiczne symultaniczne strącanie solami żelaza (III). Do przeróbki w części osadowej oczyszczalni skierowano osad surowy z osadnika wstępnego oraz osad nadmierny z osadników wtórnych. W skład sektora przeróbki osadów wchodził zagęszczacz grawitacyjny oraz komory fermentacji (zamknięte wydzielone komory fermentacji oraz otwarte wydzielone komory fermentacji). Przeróbka osadów prowadzona była w warunkach beztlenowych w procesie dwustopniowym.

Badania zawartości WWA wykonano w dwóch seriach, przy czym dla każdego rodzaju osadu oraz cieczy nadosadowej analizie poddano po dwie próbki. Analityka WWA opierała się na wyodrębnieniu tych związków z próbek osadu i cieczy nadosadowej przez ekstrakcję, a następnie na chromatograficznym rozdzieleniu składników oraz ich oznaczeniu ilościowym i jakościowym metodą chromatografii gazowej ze spektrometrem masowym (GC-MS). Stężenia WWA w osadach zostały odniesione do ich suchej masy. Sposób przygotowania próbek osadów i wód nadosadowych do analizy WWA przedstawiono na rysunku 1.

Analizowano osiem związków z grupy WWA, tj. naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten i piren. Pobrano trzy (wyjątkowo dwie) próbki, dla których prowadzono odrębnie proces ekstrakcyjnego wydzielenia analitów. Po wyliczeniu wartości średniej dla każdego z badanych WWA obliczono odchylenie standardowe pojedynczego wyniku. Przyjęto taki sposób oceny wyników, gdyż nie udało się we wcześniejszych badaniach technologicznych (prowadzonych dla osadów ściekowych w obecności wzorca) otrzymać odpowiednio wysokiego odzysku wprowadzonej substancji. Należy zwrócić uwagę, że wyliczone odchylenie standardowe dla tych samych WWA i osadów pochodzących z tego samego bioreaktora przyjmowało znacznie różniące się między sobą wartości (tab.1), co mogło mieć związek z różnymi właściwościami sorpcyjnymi tak niejednorodnego



Rys. 1. Procedura przygotowania próbek osadów do oznaczeń WWA

(pod względem fizycznym, chemicznym i biochemicznym) materiału, jakim były osady ściekowe.

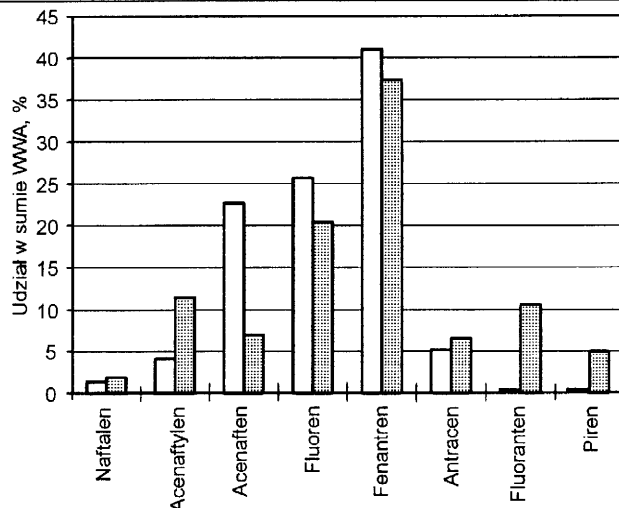
## Dyskusja wyników

Średnie sumaryczne stężenia WWA w osadzie surowym wynosiły w pierwszej serii 36,61  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , natomiast w drugiej serii – 14,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (tab.1). Należy zaznaczyć, że były to stężenia niskie, np. w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla osadu pochodzącego z tej samej oczyszczalni ścieków z okresu zimowego, kiedy to stężenia tych samych sześciu WWA dochodziły do kilkuset  $\mu\text{g}/\text{kg}$  [6]. Badania prowadzone dla osadu surowego na innych oczyszczalniach ścieków wykazały, że stężenia WWA wahały się w szerokim zakresie, przy czym sumaryczne stężenie szesnastu WWA osiągnęło wartość 125  $\text{mg}/\text{kg}$  [1–5,8].

Porównując stężenia poszczególnych węglowodorów do sumarycznej zawartości WWA w osadach surowych zaobserwowano, że w obu seriach badań dominującą frakcją WWA były związki trójpierścieniowe (rys.2). Związki zaliczone do tej grupy występowały w kilkakrotnie wyższych stężeniach niż związki należące do pozostałych frakcji. W obydwu seriach badań najsilniej zaznaczyły swoją obecność fenantren

Tabela 1. Stężenia sześciu WWA w suchej masie osadu surowego

WWA	Liczba pierścieni	I seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	0,50	0,43	0,26	0,01
Acenaftylen	3	1,51	0,09	1,62	1,19
Acenaften	3	8,30	3,59	0,99	0,25
Fluoren	3	9,40	2,62	2,89	1,40
Fenantren	3	15,01	0,39	5,29	1,06
Antracenen	3	1,89	0,01	0,93	0,25
Fluoranten	4	nw.	–	1,48	2,08
Piren	4	nw.	–	0,70	0,99
$\Sigma\text{WWA}$	–	36,61	–	14,16	–



Rys. 2. Udział poszczególnych WWA w osadzie surowym (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)

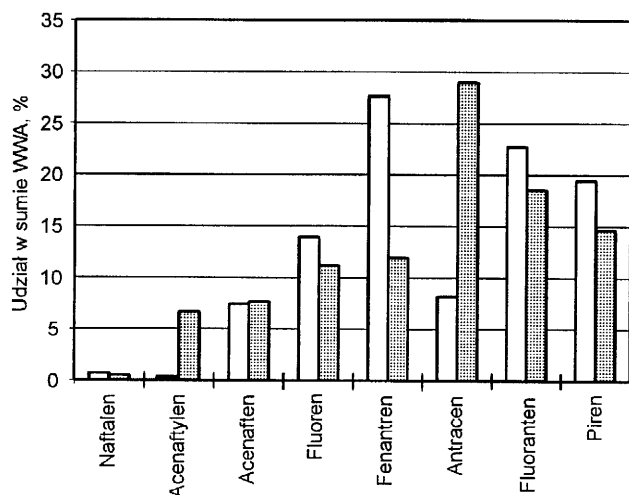
i fluoren. Prowadzone wcześniejsze badania nie wykazały również tak dużych dysproporcji pomiędzy stężeniami związków 2-, 3- i 4-pierścieniowych w osadzie surowym, aczkolwiek fenantren stanowił w nich również jeden z dominujących związków. Spostrzeżenie o dominacji było zgodne z doniesieniami literaturowymi, które wskazują na ten związek jako jeden z bardziej opornych na przemiany biochemiczne.

Następne pomiary wykazały, że osad pobrany po pierwszym stopniu fermentacji metanowej w obu seriach wykazał zróżnicowane, lecz wyższe stężenia WWA niż osad surowy (tab.2).

W pierwszej serii badań suma ośmiu WWA wynosiła 76,59  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , natomiast w drugiej serii – 167,71  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Spośród ośmiu oznaczonych WWA w osadzie przefermentowanym w pierwszej serii badań ponownie najwyższe stężenie odnotowano dla fenantrenu – 21,17  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , natomiast w drugiej serii największe stężenie wykazał antracenen – 48,54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Należy jednak zwrócić uwagę, że przy stosowanym sposobie oznaczania WWA występowały trudności w rozdzieleniu antracenu i fenantrenu, co było zgodne z doniesieniami literaturowymi. W omawianym osadzie odnotowano również wyższe stężenia fluorantenu i pirenu, czyli związków zawierających w cząsteczce cztery pierścienie (rys.3). Pomimo iż stwierdzone w osadzie przefermentowanym sumaryczne stężenie ośmiu WWA było znacznie niższe niż podawane w pracach innych autorów, zaobserwowano charakterystyczny wzrost stężeń WWA w osadach po procesie fermentacji. Wzrost ten wiązać można z uwalnianiem WWA z komórek mikroorganizmów i cząstek osadu na skutek rozkładu złożonych polimerów organicznych do prostych połączeń, co ma miejsce podczas pierwszej fazy fermentacji metanowej.

Tabela 2. Stężenia sześciu WWA w suchej masie osadu po pierwszym stopniu fermentacji metanowej

WWA	Liczba pierścieni	I seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	0,53	0,57	0,85	0,15
Acenaftylen	3	nw.	–	11,19	3,97
Acenaften	3	5,70	1,75	12,84	2,51
Fluoren	3	10,66	4,60	18,76	4,28
Fenantren	3	21,17	0,47	19,97	5,57
Antracenen	3	6,26	6,26	48,54	23,38
Fluoranten	4	17,39	6,35	31,03	0,37
Piren	4	14,88	3,28	24,53	13,31
$\Sigma\text{WWA}$	–	76,59	–	167,71	–



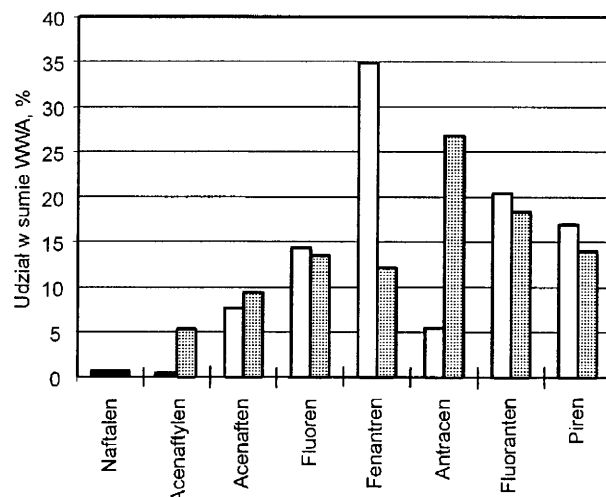
Rys. 3. Udział poszczególnych WWA w osadzie przefermentowanym po pierwszym stopniu fermentacji (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)

Stwierdzono, że osad po drugim stopniu fermentacji odznaczał się zróżnicowanym sumarycznym stężeniem WWA, tj. 70,62  $\mu\text{g}/\text{kg}$  i 137,32  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , w zależności od serii badań (tab.3). Były to stężenia zbliżone do tych, jakie oznaczono dla osadu fermentowanego w pierwszym stopniu (tab.2). Nie uzyskano więc satysfakcjonującej odpowiedzi na pytanie, czy po procesie dofermentowania w otwartej wydzielonej komorze fermentacyjnej malały czy też zwiększały się stężenia WWA w osadach. Można natomiast stwierdzić, że oznaczone sumaryczne stężenie ośmiu WWA było wyższe od porównywalnego stężenia dla osadu surowego. W pracy [6] zaobserwowano wyraźny spadek stężeń WWA w osadzie po procesie dofermentowania. Niestety brak prac w tym zakresie nie pozwala na określenie kierunku zmian stężeń WWA w osadach po fermentacji dwustopniowej, chociaż uważa się, że podczas procesu metanizacji substratu, prowadzącego do obniżenia stężenia suchej masy osadu, można spodziewać się również wzrostu sumarycznego stężenia WWA, jeżeli nie występuje biodegradacja beztlenowa tych związków. Wśród oznaczonych związków w osadzie po drugim stopniu fermentacji, podobnie jak dla osadu fermentowanego w wydzielonej zamkniętej komorze fermentacyjnej, w pierwszej serii badań najwyższe stężenie wykazano dla fenantrenu – 47,88  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , a w drugiej serii dla antracenu – 18,96  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (tab.3). W omawianym osadzie utrzymywał się nadal wyższy udział 4-pierścieniowych WWA (rys.4).

Badania trzech cieczy nadosadowych wykazały obecność w nich WWA, mimo niskiej rozpuszczalności tych związków w wodzie. Stężenia te były jednak mniejsze (tab. 4–6), niż

Tabela 3. Stężenia sześciu WWA w suchej masie osadu po drugim stopniu fermentacji metanowej

WWA	Liczba pierścieni	I seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $\mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	0,42	0,03	0,22	0,25
Acenaftylen	3	nw	–	3,77	1,08
Acenaften	3	10,50	3,68	6,65	1,89
Fluoren	3	19,68	7,99	9,55	1,89
Fenantren	3	47,88	4,53	8,61	1,41
Antracen	3	7,53	2,75	18,96	0,87
Fluoranten	4	28,08	7,44	12,98	1,91
Piren	4	23,23	6,75	9,88	1,31
ΣWWA	–	137,32	–	70,62	–



Rys. 4. Udział poszczególnych WWA w osadzie przefermentowanym po drugim stopniu fermentacji (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)

wynikałoby to z rozpuszczalności WWA w wodzie, co było zapewne związane z hydrofobowym charakterem WWA.

Najwyższe stężenia WWA zaobserwowano w wodzie nadosadowej pochodzącej z osadu surowego. Należy zaznaczyć, że ciecz nadosadowa wydzielona z osadu surowego w procesie wirowania mogła zawierać detergenty ułatwiające przechodzenie związków aromatycznych i innych połączeń niepolarnych do fazy wodnej. Średnie stężenie WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu surowego wynosiło  $50,90 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (tab.4). Sumaryczne stężenie ośmiu WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu przefermentowanego było mniejsze niż w wypadku osadu surowego. Była to zależność odwrotna w stosunku do stwierdzonej dla osadów. Mogło to być spowodowane biotycznym lub/i abiotycznym rozkładem WWA, a także zmianą zdolności sorpcyjnej osadów w stosunku do WWA, która mogła być następstwem przebywania cząstek osadu w środowisku redukcyjnym. Mogła także mieć miejsce sorpcja WWA uwolnionych w procesie fermentacji.

Osad po procesie fermentacji charakteryzował się mniejszą zawartością suchej masy niż osad surowy. Jeżeli więc WWA nie uległy rozkładowi w procesie fermentacji metanowej, to zwiększenie ich stężenia w przeliczeniu na suchą masę wydaje się uzasadnione. Dane literaturowe podają, że w warunkach beztlenowych w czasie 30+60 dób usuwane były WWA o wysokich masach cząsteczkowych. Równocześnie nie stwierdzono spadku zawartości WWA o niskich masach cząsteczkowych [4]. Wykazano również, że acenaften, acenaftylen, fluoren i antracen nie były degradowane podczas fermentacji [10].

Tabela 4. Stężenia sześciu WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu surowego

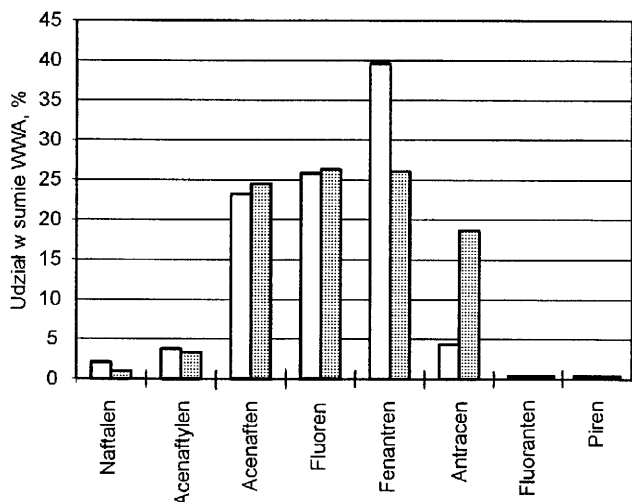
WWA	Liczba pierścieni	I seria $10^{-2} \mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2} \mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $10^{-2} \mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2} \mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	1,38	1,10	0,37	0,04
Acenaftylen	3	2,49	1,77	1,21	0,59
Acenaften	3	15,27	10,17	8,82	0,37
Fluoren	3	17,75	12,97	9,47	0,18
Fenantren	3	26,06	18,29	9,40	5,49
Antracen	3	2,86	2,26	6,72	6,79
Fluoranten	4	nw.	–	nw.	–
Piren	4	nw.	–	nw.	–
ΣWWA	–	65,81	–	35,99	–

Tabela 5. Stężenia sześciu WWA w cieczy nadosadowej po pierwszym stopniu fermentacji osadu

WWA	Liczba pierścieni	I seria $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	0,90	1,10	nw.	–
Acenaftylen	3	nw.	–	nw.	–
Acenaften	3	0,14	0,20	0,34	0,30
Fluoren	3	1,59	0,98	0,43	0,30
Fenantren	3	7,80	1,93	1,63	0,30
Antracen	3	1,59	0,02	1,46	1,58
Fluoranten	4	5,50	0,08	2,28	1,44
Piren	4	4,71	1,29	1,83	0,24
$\Sigma\text{WWA}$	–	22,23	–	7,96	–

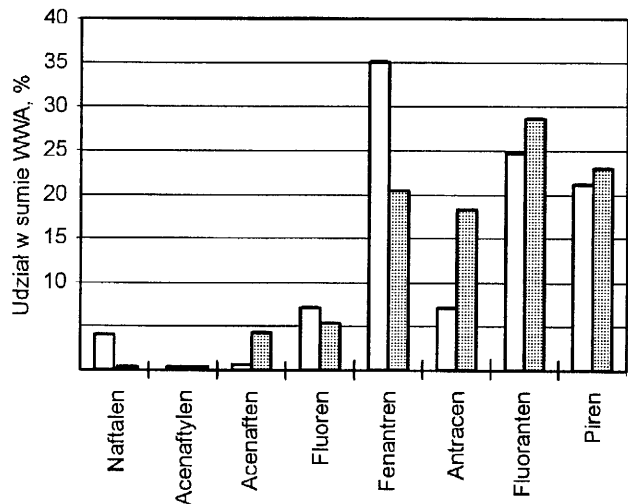
Tabela 6. Stężenia sześciu WWA w cieczy nadosadowej po drugim stopniu fermentacji osadu

WWA	Liczba pierścieni	I seria $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	II seria $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$	Odch. st. $10^{-2}$ $\mu\text{g}/\text{kg}$
Naftalen	2	0,11	1,10	2,22	2,87
Acenaftylen	3	nw.	–	0,74	1,05
Acenaften	3	nw.	–	0,06	0,08
Fluoren	3	1,00	$7,07 \cdot 10^{-3}$	0,75	0,25
Fenantren	3	7,12	1,69	2,30	2,06
Antracen	3	1,22	0,35	1,01	0,09
Fluoranten	4	7,86	3,15	2,11	1,45
Piren	4	5,74	0,05	1,68	1,10
$\Sigma\text{WWA}$	–	23,05	–	10,87	–

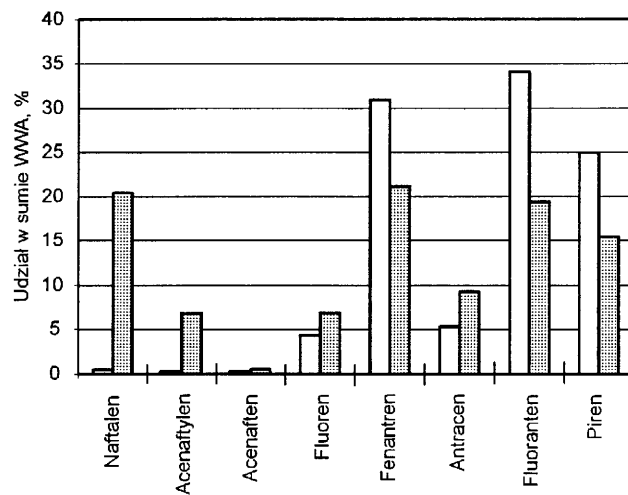


Rys. 5. Udział poszczególnych WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu surowego (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)

Średnie stężenie sumy ośmiu WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu przefermentowanego w zamkniętej wydzielonej komorze fermentacyjnej wynosiło  $15,10 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . W cieczy tej zidentyfikowano m.in. fluoranten w ilości  $5,5 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$  oraz piren w ilości  $4,71 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , tj. WWA, których obecności nie stwierdzono w cieczy znad osadu surowego. Najwyższe stężenie oznaczono i tym razem dla fenantrenu –  $7,80 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (tab.5).



Rys. 6. Udział poszczególnych WWA w cieczy nadosadowej po zamkniętej komorze fermentacyjnej (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)



Rys. 7. Udział poszczególnych WWA w cieczy nadosadowej po odwirowaniu osadu po fermentacji dwustopniowej (słupki jasne – I seria badań, słupki szare – II seria badań)

Średnie stężenie sumy ośmiu WWA w cieczy nadosadowej wydzielonej z osadu przefermentowanego w otwartej wydzielonej komorze fermentacyjnej wynosiło  $16,96 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{dm}^3$  i było porównywalne do zawartości WWA w cieczy nadosadowej znad osadu z zamkniętej wydzielonej komory fermentacyjnej. Wśród badanych WWA nie wykryto obecności acenaftyenu oraz acenaften. Największe stężenia oznaczono dla fluorantenu oraz fenantrenu.

Porównując udział procentowy poszczególnych WWA w cieczach nadosadowych w odniesieniu do sumy oznaczonych ośmiu WWA (rys.5–7) stwierdzono, że w cieczach nadosadowych wydzielonych z osadów przefermentowanych duży udział miały związki 4-pierścieniowe, nieobecne w cieczy znad osadu surowego. Warto podkreślić fakt, że również w osadach po fermentacji zaobserwowano wyższy udział związków 4-pierścieniowych. Świadczy to, że 4-pierścieniowe WWA uwolniły się z cząstek osadu podlegającego metanizacji lub/i pojawiły się w wyniku rozkładu innych WWA.

## Wnioski

♦ Sumaryczne stężenia ośmiu analizowanych WWA w poszczególnych rodzajach osadów były zróżnicowane, co było związane ze zmiennym składem ścieków dopływających do oczyszczalni.

♦ W osadach przefermentowanych stężenia WWA były wyższe, co można tłumaczyć procesem biotransformacji substratu

organicznego przez mikroorganizmy biorące udział w procesie oraz większym rozdrobnieniem osadów, co z kolei umożliwiło większą skuteczność ekstrakcji WWA.

♦ Pomimo słabej rozpuszczalności WWA w wodzie i ich tendencji do adsorpcji na cząstkach stałych, wykryto obecność tych związków w cieczy uzyskanej po odwirowaniu osadów ściekowych, były to jednak stężenia niższe niż wynikało to z rozpuszczalności tych związków.

♦ Można sądzić, że niskie sumaryczne stężenie WWA w cieczy z nad osadu przefermentowanego, mimo wysokiej ich zawartości w samych osadach, świadczyło o ponownej adsorpcji uwolnionych podczas fermentacji związków na cząstkach osadu.

*Niniejszą pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 3T09C-033-19, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2000-2002.*

## LITERATURA

1. B. JANOSZKA, W. BĄKOWSKI, D. BODZEK: Występowanie i oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w osadach ściekowych. *Ochrona Środowiska*, 1993, nr 1-2, ss. 39-44.
2. B. JANOSZKA, D. BODZEK, M. BODZEK: Występowanie i oznaczanie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i ich pochodnych w wybranych osadach ściekowych. *Archiwum Ochrony Środowiska*, 1997, nr 1-2, ss. 55-67.
3. M. JANOSZ-RAJCZYK, E. ZAKRZEWSKA, M. WŁODARCZYK-MAKUŁA, B. CIERPIAŁ: Analiza WWA w osadach ściekowych poddanych wstępnej obróbce termicznej przed i po procesie fermentacji metanowej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1999, t. 2, nr 3-4, ss. 367-379.
4. P. W. KIRK, J. N. LESTER: The fate of polycyclic aromatic hydrocarbons during sewage sludge digestion. *Environmental Technology*, 1990, No. 1, pp. 13-20.
5. M. WŁODARCZYK-MAKUŁA, M. JANOSZ-RAJCZYK, E. WIŚNIEWSKA, K. KOĆWIN: Przemiany WWA w osadach ściekowych poddanych sztuczemu działaniu promieniowania UV. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 1999, t. 2, nr 3-4, ss. 391-401.
6. M. WŁODARCZYK-MAKUŁA, W. SUŁKOWSKI, A. POPENDA, E. KNYSAK, B. ŚWITAŁA: Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne WWA w osadach ściekowych. *Mat. konf. „Osady ściekowe w praktyce”*, Polit. Częst., Częstochowa-Ustroń 1998, ss. 41-53.
7. A. E. McINTIRE, R. PERRY, J. N. LESTER: Analysis of polynuclear aromatic hydrocarbons in sewage sludges. *Analytical Letters*, 1981, No. 14, pp. 291-309.
8. G. GRIMMER, G. HILGE, W. NIEMITZ: Vergleich der Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe-Profile von Klärschlammproben aus 25 Kläranlagen. *Vom Wasser*, 1980, Vol. 54, pp. 255-272.
9. Fizykochemiczne metody kontroli zanieczyszczeń środowiska [red. J. NAMIEŚNIK i Z. JAMRÓGIEWICZ]. WNT, Warszawa 1998.
10. R. LEDUC: Biotic and abiotic disappearance of four PAH compounds from flooded soil under various redox conditions. *Water Science and Technology*, 1992, No. 26, pp. 1-2.

## PAH Content Variations in Some Sewage Sludges

*Investigated were PAH content variations in sewage sludge, as well as in the supernatants. Eight PAH congeners were analyzed, including naphthalene, acenaphthalene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, fluoranthene and pyrene. Total PAH concentration was found to vary from one sludge type to another, but the overall content of PAH congeners in digested sludge was*

*higher than that in the raw sludge. In spite of their non-polar properties and their proneness to adsorb on solid particles, PAHs were detected in all supernatants, but their concentrations were below the solubility limits. Supernatant concentrations of PAH congeners from centrifugation were lower for digested sludge than for raw sludge.*