



Badania wpływu wybranych parametrów układu hydrokawitacyjnego na stopień degradacji antracenu i fenantrenu w środowisku kawitującej cieczy

*Joanna Szulżyk-Cieplak, Janusz Ozonek
Politechnika Lubelska*

1. Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji i przemysłu wytwarzane są coraz większe ilości nowych i złożonych związków chemicznych, które wraz ze ściekami, odpadami komunalnymi i przemysłowymi trafiają do środowiska naturalnego. Substancje te nie pozostają obojętne dla organizmów żywych, w tym człowieka i niestety w większości przypadków pozostawiają trwałe ślady w przyrodzie. Istnieje więc silna potrzeba intensyfikacji działań zmierzających do uruchomienia bardziej efektywnych metod oczyszczania ścieków. Cel ten można osiągnąć poprzez rozwój i wdrażanie do praktyki przemysłowej wysokoefektywnych technologii oczyszczania ścieków. W ostatnich latach obserwuje się na świecie znaczący wzrost zainteresowania nowymi, charakteryzującymi się wysoką wydajnością, metodami oczyszczania wody i ścieków, do których należą metody zaawansowanego utleniania AOP (*Advanced Oxidation Processes*). Metody AOP opierają się na reakcjach z udziałem bardzo reaktywnych rodników hydroksylowych, zdolnych o utleniania praktycznie każdego związku organicznego. Szybkie tempo rozkładu zanieczyszczeń, uniwersalność oraz wysoka efektywność sprawiają, że metody AOP są obecnie coraz częściej uważane za obiecujące i alternatywne w stosunku do konwencjonalnych metod oczyszczania ścieków [9, 10].

Pomimo wielu zalet, zastosowanie praktyczne technologicznych procesów pogłębionego utleniania w oczyszczaniu ścieków w Polsce jest bardzo ograniczone. Związane jest to głównie ze stosunkowo wysokimi kosztami tego typu procesów oraz brakiem uwarunkowań o charakterze ekonomicznym do ich wprowadzania. Rozwiązanie problemu może stanowić zastosowanie technologii wykorzystujących zjawisko kawitacji hydrodynamicznej [16]. Zjawisko kawitacji powoduje wiele istotnych skutków fizyczno-chemicznych, które mogą być wykorzystane do utlenienia i/lub rozkładu zanieczyszczeń występujących w wodzie i ściekach. Duże znaczenie odgrywają towarzyszące zjawisku kawitacji procesy sonochemiczne [8]. Pęcherzyki kawitacyjne generowane w trakcie pulsacji ciśnienia wewnątrz pełnią funkcję „małych reaktorów”, osiągając w bardzo krótkim czasie ekstremalne wartości temperatury i ciśnienia oraz generując rodniki hydroksylowe, które są jednymi z najsilniejszych utleniaczy oraz doskonałymi inicjatorami reakcji łańcuchowych.

Badaniom nad wykorzystaniem zjawiska kawitacji, zarówno akustycznej (ultradźwiękowej) jak i hydrodynamicznej w procesach zaawansowanego utleniania, poświęca się w ostatnich latach coraz więcej uwagi. Wyniki prowadzonych badań wskazują na jej wysoką efektywność w procesach uzdatniania i dezynfekcji wody [1, 7], w procesach oczyszczania ścieków [2, 13, 14] oraz przeróbce osadów ściekowych [4, 6].

Opierając się na danych literaturowych [1, 7, 5, 11, 12, 14, 18] można stwierdzić, że problematyka wykorzystania procesów z zastosowaniem kawitacji hydrodynamicznej związana jest z potrzebą rozwiązania wielu problemów technicznych. Niezwykle ważnym aspektem jest dobór odpowiedniej konfiguracji reaktora kawitacyjnego w celu maksymalizacji efektów technologicznych przy jednoczesnym zapewnieniu jak najniższej energochłonności procesu technologicznego.

Istotą podjętych prac badawczych była analiza i ocena istotności wpływu wybranych parametrów procesu kawitacji na przebieg oraz efektywność degradacji związków organicznych w środowisku wodnym w warunkach kawitacji hydrodynamicznej, na przykładzie modelowych związków – antracenu i fenantrenu. W ramach badań zaprojektowano i wykonano reaktor hydrokawitacyjny z możliwością wymiany wzbudnika kawitacji. W warunkach laboratoryjnych zbadano wpływ zmian wybranych parametrów procesowych (ciśnienie wejściowe oraz geometria elementu generującego zjawisko kawitacji) na stopień degradacji antra-

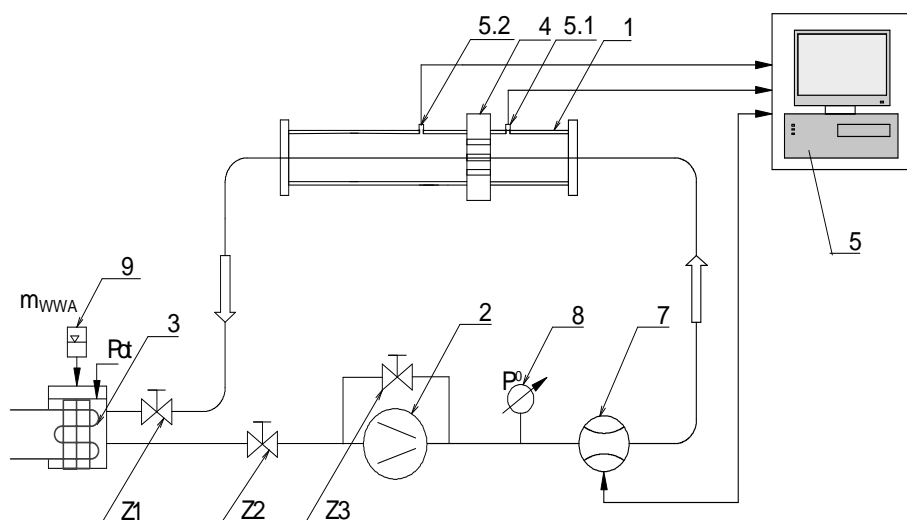
cenu i fenantrenu. Znajomość zakresów wartości tych parametrów umożliwia wywołanie kontrolowanego zjawiska kawitacji hydrodynamicznej, w warunkach najbardziej efektywnych z punktu widzenia technologii oczyszczania.

2. Charakterystyka i opis stanowiska badawczego

W skład stanowiska badawczego (rys. 1) wchodzi reaktor kawitacyjny (1), połączony przewodami ze zbiornikiem cyrkulacyjnym o pojemności 50 dm³ (3) i pompą wirową Wilo typ MVIE 208-2G/PNIG (2). Stanowisko wyposażono w układ pomiarowy, w skład którego wchodzi: manometry piezoelektryczne PR-35X firmy Keller (5.1 oraz 5.2 połączone torami pomiarowymi z komputerowym systemem zbierania i przetwarzania danych pomiarowych oraz przepływomierz elektromagnetyczny typ M1500AA firmy BadgerMeterInc połączony również torem pomiarowym z systemem komputerowym. Ponadto manometr sprężynowy (8) mierzący ciśnienia za pompą p_o . Pomiaru temperatury badanego roztworu dokonywano za pomocą czujnika PR-35X firmy Keller.

2.1. Reaktor hydrokawitacyjny

W badaniach laboratoryjnych wykorzystano zaprojektowany według własnej koncepcji reaktor kawitacyjny typu statycznego, w którym kawitacja generowana była na skutek umieszczenia na drodze przepływu specjalnego elementu tzw. wzbudnika kawitacji [15]. Wybrana technika generowania zjawiska kawitacji charakteryzuje się wieloma zaletami, do których zaliczyć należy przede wszystkim możliwość kontroli intensywności zjawiska poprzez zmianę ciśnienia początkowego w układzie badawczym oraz zmianę geometrii wzbudnika kawitacji.

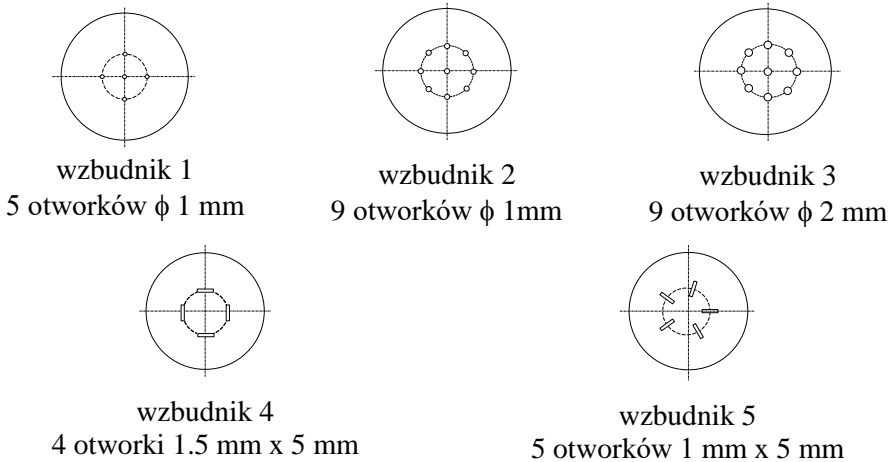


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego; 1 – reaktor kawitacyjny, 2 – pompa, 3 – zbiornik cyrkulacyjny z elementem chłodzącym, 4 – wzbudnik kawitacji, 5 – komputerowy system zbierania i przetwarzania danych pomiarowych, 5.1 i 5.2 – czujniki piezoelektryczne, 7 – przepływomierz elektromagnetyczny, Z1 – zawór regulacyjny, Z2 – zawór odcinający, Z3 – zawór przelewowy pompy, 8 – manometr sprężynowy, 9 – dozownik WWA

Fig. 1. The experimental set-up for the generation of hydrodynamic cavitation: 1 – hydrodynamic reactor, 2 – centrifugal pump, 3 – circulation tank, 4 – orifice plates with holes (cavitation inducers), 5 – measurement and acquisition system, 5.1 and 5.2 – Keller piezoelectric pressure gauges, 7 – electromagnetic flow meter, Z1, Z2 – valves, Z3 – control valve, 8 – pressure gauge, 9 – test substance dispenser

2.2. Wzbudniki kawitacji

Parametry geometryczne wzbudnika w istotny sposób wpływają na przebieg procesu kawitacji [14]. Zastosowane w badaniach laboratoryjnych wzbudniki mają postać wielootworowych tarcz (rys. 2), różniących się pomiędzy sobą ilością, rozmieszczeniem oraz kształtem otworów kawitacyjnych.



Rys. 2. Charakterystyka geometryczna zastosowanych wzbudników kawitacji
Fig. 2. Geometrical characteristics of orifice plates used in experiment

Wartość ciśnienia implozji pęcherzyków kawitacyjnych zależna jest od powierzchni przepływu przez wzbudnik kawitacji oraz sumarycznej wartości obwodu otworów w tarczy [14]. Dla oceny wpływu wymiarów geometrycznych poszczególnych wzbudników na intensywność przebiegu procesu kawitacji wykorzystano geometryczne liczby charakteryzujące warunki hydrodynamiczne przepływu α i β , opisane zależnościami (1) oraz (2).

$$\alpha = \frac{\text{sumaryczny obwód otworów w tarczy}}{\text{sumaryczne pole przekroju otworów w tarczy}} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{\text{sumaryczne pole przekroju otworów w tarczy}}{\text{pole przekroju poprzecznego rurociągu}} \quad (2)$$

2.3. Badania przebiegu procesu kawitacji w zmiennym układzie hydrodynamicznym

Z punktu widzenia inżynierii środowiska, zastosowanie kawitacji powinno stanowić prostą i energooszczędną technologię oczyszczania ścieków. Niezwykle istotnym aspektem jest dobór optymalnej konfiguracji hydrodynamicznej reaktora kawitacyjnego w celu maksymalizacji efektów technologicznych przy jednoczesnym zapewnieniu jak najniższej energochłonności procesu technologicznego. Dlatego też, w pierw-

szym etapie prac skoncentrowano się na badaniach przebiegu procesu kawitacji. Szczególną uwagę zwrócono na ocenę intensywności procesu kawitacji, określoną przez liczbę kawitacji K :

$$K = \frac{p - p_n}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad (3)$$

gdzie:

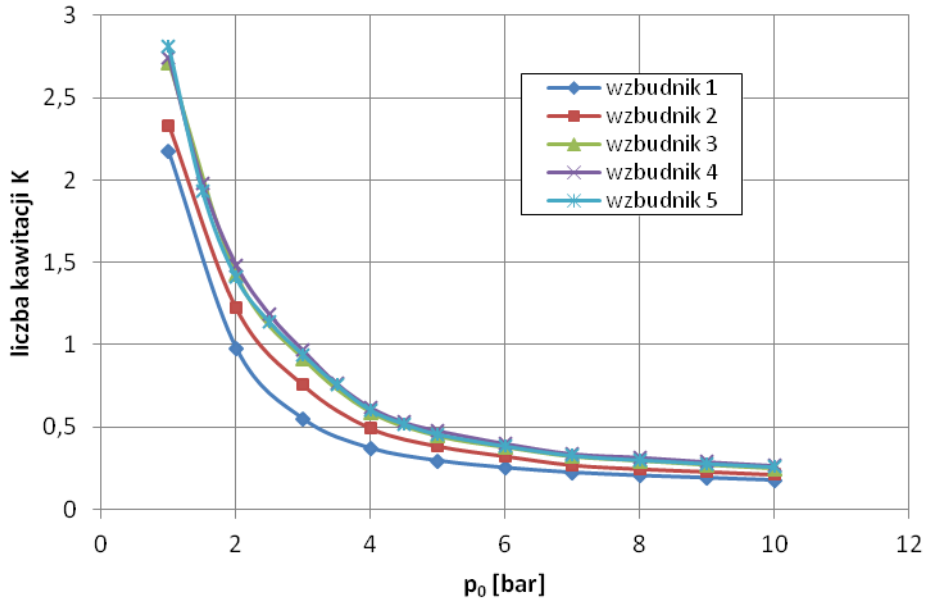
- p – ciśnienie statyczne w przepływie niezakłóconym [Pa],
- p_n – ciśnienie pary nasyconej [Pa],
- ρ – gęstość cieczy [kg/m^3],
- v – prędkość cieczy przepływającej przez wzbudnik kawitacji [m/s]

Prowadzone badania miały na celu określenie przebiegu oraz intensywności zjawiska kawitacji przy zmiennych warunkach prowadzonego procesu. Analizie poddano wpływ parametrów prowadzonego procesu – ciśnienia na wejściu do układu badawczego oraz geometrii wzbudnika kawitacji na intensywność zjawiska. W celu określenia zależności pomiędzy parametrami geometrycznymi wzbudnika, a intensywnością zjawiska kawitacji, przeprowadzono serię badań mających na celu określenie wartości parametrów prowadzonego procesu dla różnych wzbudników kawitacji. Pomiary natężenia przepływu (V), ciśnienia zasilającego (p_0) oraz ciśnienia po stronie rozprężnej reaktora (p_1), a także znajomość wymiarów geometrycznych układu, pozwoliły na obliczenie liczby kawitacji K . Ciśnienie na wejściu do układu hydrokawitacyjnego mierzono manometrem sprężynowym, natomiast rozkład ciśnień w strefie kawitacji mierzono manometrami piezoelektrycznymi firmy *Keller* typu PR-35X.

Na wykresie (rys. 3) przedstawiono zależność liczby kawitacji od ciśnienia na wejściu do układu badawczego dla poszczególnych wzbudników kawitacji.

Kawitacja pojawia się przy ciśnieniu początkowym wynoszącym w przybliżeniu $p_0 = 3$ bar (liczba kawitacji w przypadku wszystkich wzbudników przyjmuje wartość $K < 1$). Wraz ze wzrostem ciśnienia następuje spadek wartości liczby kawitacji, co świadczy o intensyfikacji przebiegu procesu. Zwiększeniu ciśnienia wlotowego towarzyszy wzrost natężenia przepływu cieczy w układzie, co z kolei przekłada się na wzrost prędkości cieczy przepływającej przez otwory we wzbudniku

kawitacji. Zmiany ciśnienia dynamicznego podczas przepływu cieczy przez wzbudnik kawitacji zależą głównie od zmian prędkości cieczy w otworach wzbudnika. Wraz z podwyższaniem prędkości cieczy następuje obniżenie wartości ciśnienia na przegrodzie (wzbudniku), a tym samym liczba kawitacji ulega zmniejszeniu. Tendencje te powodują intensyfikację zjawiska kawitacji.



Rys. 3. Wpływ ciśnienia wlotowego p_0 na wartości liczby kawitacji dla zmiennej geometrii wzbudników kawitacji

Fig. 3. Effect of inlet pressure p_0 on the cavitation number for variable geometry orifice plates

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że cechy konstrukcyjne elementu generującego kawitację wpływają na wywołanie, przebieg oraz intensywność procesu kawitacji. Poprzez zróżnicowanie geometryczne otworków we wzbudniku oraz ich różnorodne rozmieszczenie na tarczy, możliwe jest sterowanie przebiegiem zjawiska oraz wpływanie na warunki generowania strefy kawitacji o zmiennej intensywności.

3. Badania stopnia degradacji antracenu i fenantrenu w zmiennym układzie hydrokawitacyjnym

Następny etap pracy stanowiły badania stopnia degradacji antracenu oraz fenantrenu w roztworach modelowych, przy zmiennych warunkach prowadzenia procesu. Badania zmierzały do ustalenia wpływu parametrów charakteryzujących przebieg procesu kawitacji – ciśnienia zasilającego układ (p_0), stopnia cyrkulacji (L_c) oraz parametrów związanych z geometrią elementu wywołującego zjawisko kawitacji na stopień degradacji związków.

Badaniom laboratoryjnym poddano dwa związki z grupy wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych – antracenu oraz fenantrenu. W badaniach stosowano modelowe roztwory związków w wodzie destylowanej substancji wzorcowych: fenantrenu (97%, *FlukaAnalytical*) oraz antracenu (99%, *AcrosOrganics*) o stężeniu $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$.

W czasie eksperymentu, w ustalonych, zależnych od stopnia cyrkulacji roztworu odstępach czasu, pobierano po 100 ml próbki ze zbiornika cyrkulacyjnego. Dodatkowo, dla każdego ze wzbudników pobrano próbkę po czasie $\tau = 30$ min. trwania procesu. Próbkę pobrana przed rozpoczęciem procesu kawitacji była próbką wzorcową i względem niej dokonywano ilościowego porównywania substancji pozostającej w roztworze. Oznaczenie ilościowe i jakościowe próbek wykonywano za pomocą chromatografu gazowego połączonego ze spektrometrem mas GC/MS (*Finnigan MAT GCQ*).

Efektywność procesu hydrodynamicznego rozkładu badanych substancji oceniano w stosunku do zmiany stężenia antracenu i fenantrenu w odniesieniu do ich stężenia początkowego, według:

$$\zeta = \frac{C_0 - C_\tau}{C_0} \quad (4)$$

gdzie:

C_0 – stężenie początkowe roztworu [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$],

C_τ – stężenie roztworu po czasie τ trwania procesu kawitacji [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$].

Efektywność procesu degradacji związków w układzie hydrokawitacyjnym zależna jest od stopnia cyrkulacji (krotności obróbki). Osiągnięcie wymaganego efektu rozkładu związków związane jest zazwyczaj

z wielokrotnym powtórzeniem przepływu badanego roztworu przez strefę kawitacyjną. Dla określenia stopnia cyrkulacji posłużono się zależnością:

$$L_c = \tau \cdot \frac{Q}{V_u} \quad (5)$$

gdzie:

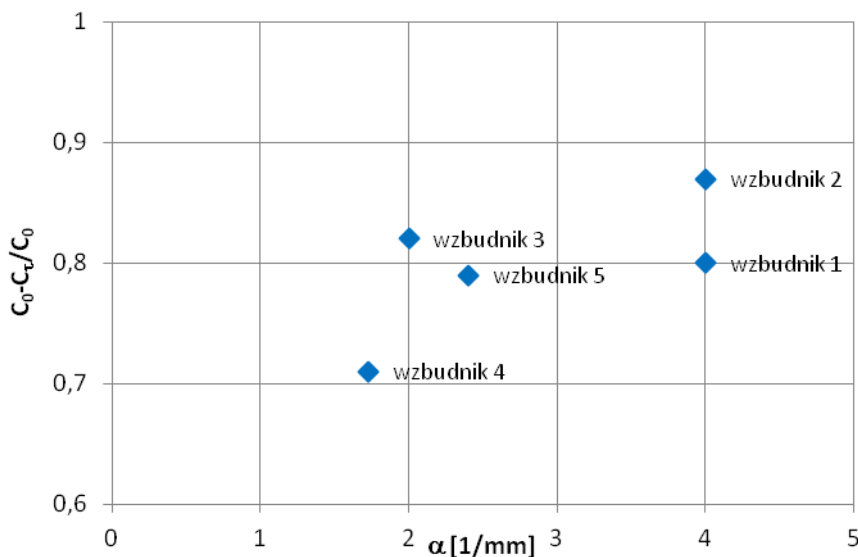
τ – czas trwania procesu [s],

Q – objętościowe natężenie przepływu [dm^3/s]

V_u – objętość układu badawczego [dm^3]

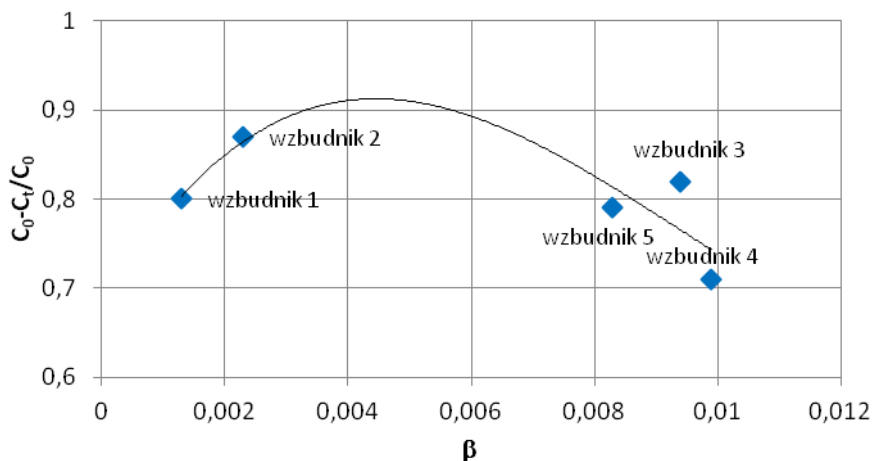
3.1. Wpływ geometrii wzbudnika na stopień degradacji antracenu i fenantrenu

Badania wykazały, że przy stałych warunkach prowadzonego procesu (ciśnienie wlotowe, krotność przejść przez strefę kawitacji, stężenie początkowe), stopień rozkładu związków zależał od zastosowanego w układzie wzbudnika kawitacji. Dokonano analizy wpływu parametrów geometrycznych α oraz β na stopień degradacji badanych związków (rys. 4, 3).



Rys. 4. Wpływ parametru α na stopień degradacji fenantrenu, $L_c = 1$, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Fig. 4. Effect of parameter α on the degree of phenanthrene degradation, $L_c = 1$, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

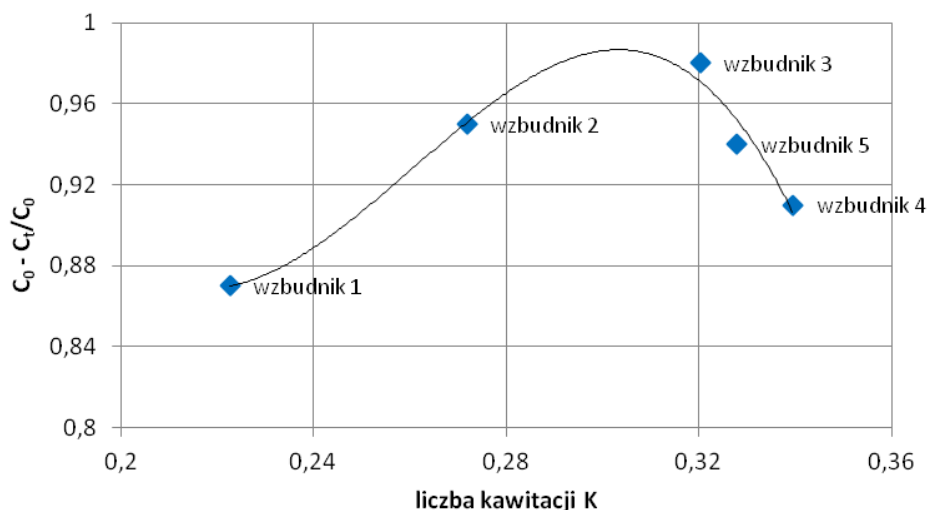


Rys. 5. Wpływ parametru β na stopień degradacji fenantrenu, $L_c = 1$, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Fig. 5. Effect of parameter β on the degree of phenanthrene degradation, $L_c = 1$, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Stwierdzono, że dla większych wartości parametru α uzyskano wyższy stopień rozkładu fenantrenu. Dla wzbudników charakteryzujących się podobnym stopniem zdławienia przepływającej cieczy – zbliżone wartości parametru β (wzbudniki 3, 4 i 5 oraz wzbudniki 1 i 2) stopień degradacji jest wyższy przy zastosowaniu wzbudników o większej ilości otworów w tarczy (odpowiednio wzbudnik 3 i wzbudnik 2), tj. charakteryzujących się większym sumarycznym obwodem otworków kawitacyjnych. Podobny trend zaobserwował w swoich badaniach Vichare, analizując wpływy geometrii elementu wywołującego zjawisko kawitacji na stopień rozkładu jodku potasu [17].

Wpływ liczby kawitacji K na stopień degradacji fenantrenu przy stałym ciśnieniu na wejściu do układu $p_0 = 7$ bar, dla różnych wzbudników kawitacji, przedstawiono na rys. 6. W początkowej fazie zwiększanie intensywności procesu (mniejsze wartości liczby K) wpływa na wzrost stopnia degradacji fenantrenu, aż do osiągnięcia maksimum (wzbudnik 3), po czym dalsze zwiększanie intensywności procesu skutkuje spadkiem stopnia degradacji badanego związku.

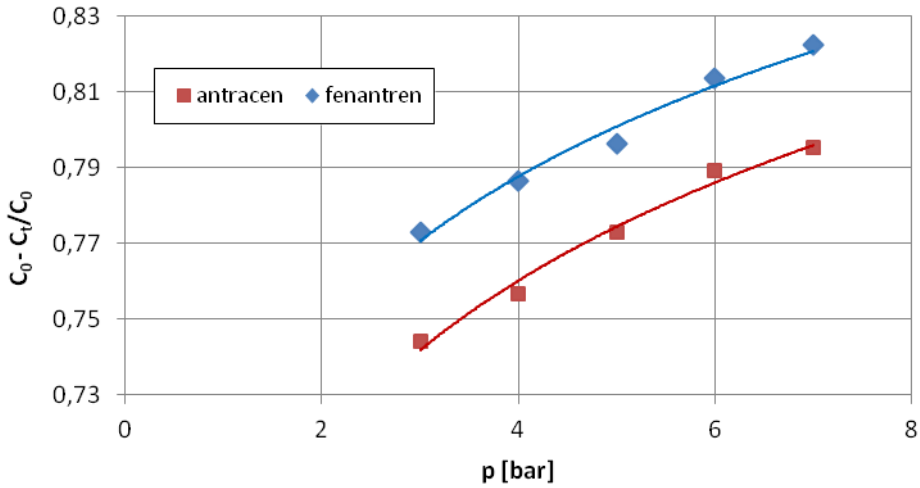


Rys. 6. Wpływ liczby kawitacji na stopień degradacji fenantrenu dla różnych wzбудników, $\tau = 30$ min, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Fig. 6. Effect of cavitation number on the degree of phenanthrene degradation for different inductors, $\tau = 30$ min, $p_0 = 7$ bar, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

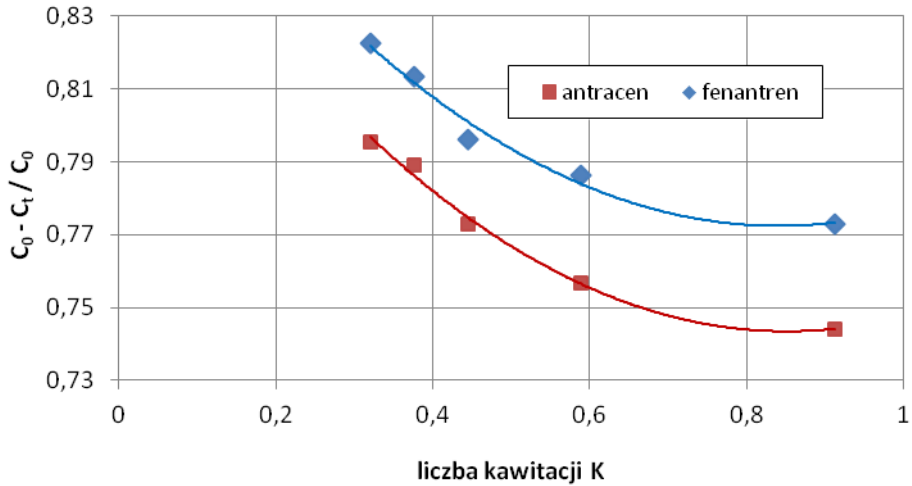
Jak wykazano w poprzednim etapie badań, intensywność kawitacji zależna jest od ciśnienia zasilającego układ. Na wykresie (rys. 7) przedstawiono przykładową zależność pomiędzy stopniem degradacji antracenu i fenantrenu o stężeniu początkowym $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ w układzie ze wzбудnikiem 3, a wartością ciśnienia p_0 . Stopień degradacji obydwu związków, w analizowanych zakresie ciśnień 3–7 bar, wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia wlotowego.

Z wartością ciśnienia wlotowego istotnie związany jest przebieg i intensywność procesu kawitacji. Wpływ wartości liczby kawitacji K na zmiany stopnia degradacji antracenu i fenantrenu dla wzбудnika kawitacji 3 przedstawiono na rys. 8. Uwzględniając fakt, że dla określonego wzбудnika kawitacji wzrost ciśnienia wlotowego wpływa na spadek wartości liczby kawitacji (większa intensywność kawitacji), więc dla mniejszych wartości liczby K otrzymuje się wyższy stopień degradacji.



Rys. 7. Wpływ ciśnienia p_0 na stopień degradacji antracenu i fenantrenu, wzбудnik 3, $L_C = 1$, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Fig. 7. Effect of inlet pressure p_0 on the degree of degradation of anthracene and phenanthrene, inductor 3, $L_C = 1$, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$



Rys. 8. Wpływ liczby kawitacji na stopień degradacji antracenu i fenantrenu, wzбудnik 3, $L_C = 1$, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

Fig. 8. Effect of the cavitation number on the degree of degradation of anthracene and phenanthrene, inductor 3, $L_C = 1$, $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$, $C_0 = 50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$

4. Podsumowanie

Analiza danych literaturowych oraz przeprowadzone badania laboratoryjne pozwalają stwierdzić, że wykorzystanie zjawiska kawitacji hydrodynamicznej umożliwi w znacznym stopniu obniżenie stężeń antracenu i fenantrenu w modelowych roztworach wodnych. Zjawisko kawitacji hydrodynamicznej wydaje się być nową, zaawansowaną technologią degradacji związków o złożonej budowie i alternatywną w stosunku do kawitacji wywoływanej ultradźwiękami. Na podstawie przeprowadzonych badań, w warunkach przyjętych dla poszczególnych doświadczeń, można sformułować następujące wnioski:

1. Wykorzystanie zjawiska kawitacji hydrodynamicznej jest efektywnym procesem pozwalającym na zmniejszenie stężeń antracenu i fenantrenu w modelowych roztworach wodnych.
2. Intensywność procesu kawitacji zależy od geometrii elementu wywołującego zjawisko kawitacji i można ją scharakteryzować przez liczbę kawitacji K oraz współczynniki geometryczne α i β , odnoszące się do wymiarów i kształtu elementu stanowiącego wzbudnik kawitacji.
3. Niezwykle ważnym aspektem jest dobór konfiguracji wzbudnika kawitacji pod kątem maksymalizacji efektów technologicznych.
4. Najkorzystniejsze efekty degradacji antracenu i fenantrenu uzyskano dla wzbudnika 3 zawierającego 9 otworków o średnicy 2 mm (80% dla antracenu i 90% dla fenantrenu).

Literatura

1. **Arrojo S., Benito Y., MartinemTaryfa A.:** *A parametrical study of disinfection with hydrodynamic cavitation.* UltrasonicsSonochemistry. Nr 15, 903–908 (2008).
2. **Franke M, Braeutigam P, Wu ZL, Ren Y, Ondruschka B.:** *Enhancement of chloroform degradation by the combination of hydrodynamic and acoustic cavitation.* UltrasonicsSonochemistry. Nr 18, 888–894 (2011).
3. **Gogate P.R.:** *Application of cavitation reactors for water disinfection: Current status and path forward.* Journal of Environmental Management. Nr 85, 801–815 (2007).
4. **Hirooka K., Asano R., Yokoyama A., Okazaki M., Sakamoto A., Nakai Y.:** *Reduction in excess sludge production in a dairy wastewater treatment plant via nozzle-cavitation treatment : Case study of on-farm wastewater treatment plant.* Bioresource Technology. Nr 100, 3161–3166 (2009).

5. **Jyoti K.K., Pandit A.B.:** *Effect of cavitation on chemical disinfection efficiency.* Water Research. Nr 38, 2249–2258 (2004).
6. **Mirolta K., Grubel K., Machnicka A.:** *Badania i ocena możliwości stosowania zwięzki kawitacyjnej do intensyfikacji procesu fermentacji osadów ściekowych.* Ochrona Środowiska. Nr 33, 47–52 (2011).
7. **Mishra K, Gogate P.:** *Intensification of degradation of Rhodamine B Using hydrodynamic cavitation in the presence of additives.* Separation and Purification Technology. Nr 75, 385–391 (2010).
8. **Moholkar V.S., Kumar P.S., Pandit A.:** *Hydrodynamic cavitation for sonochemical effects.* Ultrasonic Sonochemistry. Nr 6, 53–65 (1999).
9. **Munter R., Trapido M., Veressinina Y., Goi A.:** *Cost effectiveness of ozonation and AOPs for aromatic compound removal from water: A preliminary study.* Ozone: Science and Engineering. Nr 28, 287–293 (2006).
10. **Perkowski J., Sidor M.:** *Badania rozkładu niejonowych związków powierzchniowo czynnych w wybranych procesach pogłębionego utleniania.* Ochrona Środowiska. Nr 29, 19–25 (2007).
11. **Pradhan A., Gogate P.:** *Removal of p-nitrophenol Using hydrodynamic cavitation and Fenton chemistry a pilot scale operations.* Chemical Engineering Journal. Nr 156, 77–82 (2010).
12. **Sawant S., Anil A., Kirshnamurthy, Gaonkar Ch., Kolwalkar J., Khendeparker L., Desai D., Mahulkar A., Rande V., Pandit A.:** *Effect of hydrodynamic cavitation on zooplankton: A tool for disinfection.* Biochemical Engineering Journal. Nr 42, 320–328 (2008).
13. **Schmid A.:** *MTBE degradation by hydrodynamic induced cavitation.* Water Science and Technology. Nr 61.10, IWA Publishing, 2591–2594 (2010).
14. **Sivakumar M., Pandit A.:** *Wastewater treatment: a novel energy efficient hydrodynamic cavitation technique.* Ultrasonic Sonochemistry. Nr9, 123–131 (2002).
15. **Szulzyk-Cieplak J., Fijałkowski S., Ozonek J.:** *Wykorzystanie zjawiska kawitacji hydrodynamicznej w technologii oczyszczania wody i ścieków.* Materiały II Kongresu Inżynierii Środowiska, tom 1, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska. Nr 33, 279–28 (2005).
16. **Szulzyk-Cieplak J., Fijałkowski S., Ozonek J.:** *Zastosowanie kawitacji hydrodynamicznej do rozkładu antracenu i fenantrenu.* Materiały III Kongresu Inżynierii Środowiska, tom 2, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska. Nr 58, 162–169 (2009).
17. **Vichare N., Gogate P., Pandit A.:** *Optimization of hydrodynamic cavitation Using a model reaction.* Chemical Engineering & Technology. Nr 23, 683–690 (2000).
18. **Xikui W., Yong Z.:** *Degradation of alachlor in aqueous solution by Using hydrodynamic cavitation.* Journal of Hazardous Materials. Nr 69, 486–491 (2009).

Research on Impact of Selected Parameters of Hydrodynamic Cavitation System on the Anthracene and Phenanthrene Degradation Degree in the Cavitating Liquid Environment

Abstract

The essence of the undertaken research was to analyze and evaluate the impact significance of cavitation process selected parameters on the course and efficiency of organic compounds degradation in hydrodynamic cavitation conditions in the aqueous environment on the example of model compounds: anthracene and phenanthrene. As part of the research, the hydrodynamic cavitation reactor equipped with exchangeable cavitation inductor was designed and performed. In laboratory conditions, the effect of changes of chosen process parameters such as the inlet pressure and geometry of cavitation-generating component on the anthracene and phenanthrene degradation degree was examined. In terms of treatment technology, the range values knowledge of these parameters enables the induction of controlled phenomenon of hydrodynamic cavitation in the most efficient conditions. Conducted laboratory tests indicate that these of hydrodynamic cavitation is an effective process which allows to reduce the concentrations of anthracene and phenanthrene in model aqueous solutions. The selection of cavitation inductor configuration is a very important aspect while maximizing the technology effects.