

Edyta BURDZIK-NIEMIEC¹ i Mariusz DUDZIAK¹

BADANIA PORÓWNAWCZE ROZKŁADU WYBRANYCH ESTROGENÓW I KSENOESTROGENÓW W PROCESIE FOTOKATALIZY

COMPARATIVE STUDIES ON DECOMPOSITION OF SELECTED ESTROGENS AND XENOESTROGENS BY PHOTOCATALYSIS PROCESSES

Abstrakt: W pracy podjęto badania nad oceną efektywności rozkładu trzech różnych związków należących do grupy substancji zakłócających procesy hormonalne (*Endocrine Disrupters Compounds* EDCs), tj. 17 β -estradiolu (E2), 17 α -etynyloestradiolu (EE2) oraz bisfenolu A (BPA) w procesie fotokatalizy (UV/TiO₂). Przedmiotem badań były modelowe odpływy z oczyszczalni ścieków bytowych, zawierające substancje nieorganiczne i opcjonalnie organiczne, do których dodawano badanych mikrozanieczyszczeń w stężeniu 500 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$. Uzyskane wyniki badań porównano pod kątem skuteczności rozkładu wybranych związków dla wody zdejonizowanej. Wykazano, że na skuteczność procesu fotokatalizy istotny wpływ ma zarówno rodzaj matrycy środowiskowej, jak i właściwości fizykochemicznych usuwanych związków. Najwyższe stopnie rozkładu uzyskano podczas oczyszczania odpływu modelowego zawierającego wyłącznie substancje nieorganiczne. Rozkład bisfenolu A oraz 17 α -etynyloestradiolu przekraczał wówczas 90% (po 60-minutowym czasie naświetlania), a 17 β -estradiol został rozłożony całkowicie. Zaobserwowane zjawisko można wytłumaczyć obecnością w ściekach modelowych chemicznych substancji nieorganicznych umożliwiających przebieg tzw. fotokatalizy sensybilizowanej. W przypadku odpływu modelowego zawierającego zarówno substancje organiczne, jak i nieorganiczne tego zjawiska nie obserwowano, a efektywność rozkładu mikrozanieczyszczeń była mniejsza. Powyższe obserwacje potwierdzają również uzyskane wyniki rozkładu związków dla wody zdejonizowanej.

Słowa kluczowe: fotokataliza, rozkład mikrozanieczyszczeń, bisfenol A, 17 β -estradiol, 17 α -etynyloestradiol

Wprowadzenie

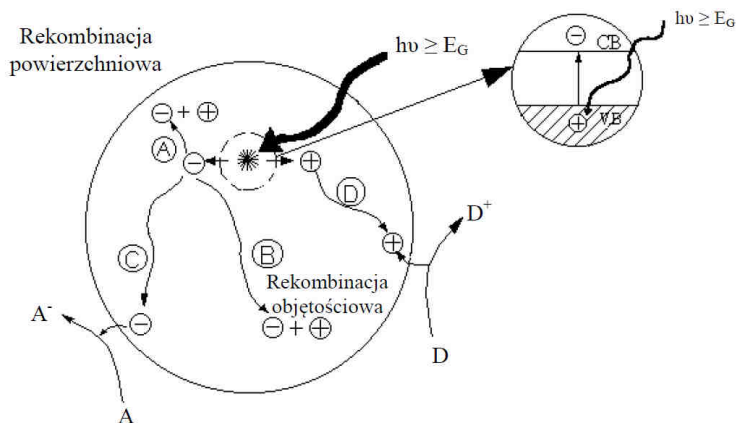
Wzrost świadomości społecznej odnośnie do nasilenia problemu występowania zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych i tym samym wzrost zagrożeń bezpośrednio związanych z tym zjawiskiem wpłynął na znaczące zwiększenie zainteresowania nowymi rozwiązaniami technologicznymi mającymi na celu skuteczne oczyszczanie i ochronę zasobów wodnych Ziemi. Jednocześnie zwraca się uwagę, aby wykorzystywane technologie były stosunkowo wydajne, tanie i spełniały szereg zasad zielonej chemii. Przykładem takiego rozwiązania jest fotokataliza heterogeniczna realizowana z wykorzystaniem ditlenku tytanu jako katalizatora tego procesu (UV/TiO₂). Wymieniony proces fotochemiczny jest zaliczany do procesów zaawansowanego utleniania (*Advanced Oxidation Processes* AOPs), w wyniku którego zanieczyszczenia organiczne zawarte w oczyszczanej wodzie ulegają rozkładowi do związków o prostszej budowie, a w efekcie zazwyczaj ma miejsce ich całkowita mineralizacja do CO₂ i H₂O [1-5].

W procesie fotokatalizy w wyniku naświetlania katalizatora o właściwościach półprzewodnika (w tym przypadku TiO₂) promieniowaniem o energii co najmniej równej

¹ Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 16 98, fax 32 237 10 47, email: edyta.burdzik-niemiec@polsl.pl, mariusz.dudziak@polsl.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

energii „przejścia” półprzewodnika (*band gap energy* E_G), zaabsorbowany foton ($h\nu$) powoduje przeniesienia elektronu (e^-) z pasma walencyjnego (*valence band* VB) do pasma przewodnictwa (*conduction band* CB) z wytworzeniem luki elektronowej (h^+), która stanowi nieobsadzony poziom energetyczny. Powstała w ten sposób luka elektronowa zachowuje się jak dodatni nośnik ładunku elektrycznego [6-8]. Proces fotowzbudzenia półprzewodnika został schematycznie przedstawiony na rysunku 1 [9, 10].



Rys. 1. Schemat fotowzbudzenia TiO_2 : A - rekombinacja powierzchniowa ładunków, B - rekombinacja objętościowa ładunków, C - redukcja akceptora, D - utlenianie donora [9]

Fig. 1. TiO_2 photo excitation scheme: A - surface recombination freight, B - recombination volume of cargo, C - reduction of acceptor, D - oxidation of donor [9]

Występujące elektrony na powierzchni półprzewodnika przyczyniają się do redukcji grupy akceptorowej (etap C), a dodatnio naładowana dziura elektronowa h^+ jest odpowiedzialna za proces utleniania grupy donorowej (etap D). W ten sposób wygenerowane nośniki ładunków (e^-h^+) mogą ulegać również rekombinacji. W cząsteczce półprzewodnika można wyróżnić dwa rodzaje rekombinacji: objętościową (etap B) oraz powierzchniową (etap A). Sam proces rekombinacji współzawodniczy z transferem ładunków do związków, które zostały zaabsorbowane na powierzchni półprzewodnika [9-11]. Należy tutaj zaznaczyć, że jeżeli proces fotokatalitycznego rozkładu zanieczyszczeń organicznych zachodzi w roztworze wodnym, to dodatkowo towarzyszą mu inne reakcje chemiczne, które odgrywają znaczącą rolę w samym procesie fotokatalizy. Dzieje się tak, ponieważ wytworzone luki elektronowe reagują z cząsteczkami wody, generując rodniki hydroksylowe o bardzo wysokim potencjale redox (+2,76 V) [12].

Aktualnie, proces fotokatalizy realizowany w konfiguracji UV i TiO_2 jest bardzo często wykorzystywany w celu usuwania trudno biodegradowalnych mikrozanieczyszczeń, dla których konwencjonalne metody oczyszczania wód i ścieków nie są do końca skuteczne. Według prac wielu autorów [13-18] zastosowanie procesu fotokatalizy z wykorzystaniem TiO_2 umożliwia usunięcie mikrozanieczyszczeń na poziomie od ok. 70 do ok. 98%. Dla przykładu, z badań Coleman i in. [16] wynika, że stężenie 17β -estradiolu (naturalnego estrogenu) w procesie fotokatalizy prowadzonym przy użyciu unieruchomionego TiO_2 na

stopie Ti-6Al-4V (obciążenie katalizatora na poziomie $1,5 \text{ mg/cm}^2$) po 3,5-godzinnym czasie naświetlania obniżyło się o około 98%. Natomiast, jak donoszą Cardoso da Silva i in. [17], w przypadku bisfenolu A (ksenoestrogenu) zastosowanie procesu UV/TiO₂ (dawka TiO₂ 120 mg/dm^3) umożliwiło usunięcie badanego związku na poziomie 77% po 2-godzinnym czasie naświetlania. Wyniki tych eksperymentów wskazują, że efektywność procesu fotokatalizy z wykorzystaniem TiO₂ zależy zarówno od czasu naświetlania, jak i od właściwości usuwanego związku.

Na podstawie powyższych informacji w niniejszej pracy podjęto badania nad oceną efektywności rozkładu trzech różnych związków należących do grupy substancji zakłócających procesy hormonalne organizmów żywych (*Endocrine Disrupters Compounds* EDCs), tj. 17 β -estradiolu (E2), 17 α -etynyloestradiolu (EE2) oraz bisfenolu A (BPA) z modelowego odpływu z oczyszczalni ścieków komunalnych w procesie UV/TiO₂. Badane związki różniły się przede wszystkim pochodzeniem oraz rozpuszczalnością w roztworze wodnym. Przedmiotem badań były modelowe odpływy z oczyszczalni ścieków bytowych zawierające substancje nieorganiczne i opcjonalnie organiczne, do których dodawano badanych mikrozanieczyszczeń w stężeniu $500 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$. Uzyskane wyniki porównano pod kątem skuteczności rozkładu wybranych związków dla wody zdejonizowanej.

Materiały i metodyka badań

Wzorce badanych związków (17 β -estradiol, 17 α -etynyloestradiol i bisfenol A) pochodziły z firmy Sigma-Aldrich (Poznań, Polska). Jako katalizator zastosowano komercyjny ditlenek tytanu firmy Degussa oznaczony symbolem P25. Dawka ditlenku tytanu wynosiła $100 \text{ mg TiO}_2/\text{dm}^3$. W badaniach wykorzystano metanol o czystości > 99,8% i acetonitryl o czystości > 99,5% firmy Avantor (Gliwice, Polska). Do ekstrakcji do fazy stałej SPE stosowano kolumnienki Supelclean™ ENVI-18 o objętości 6 cm^3 (1,0 g) firmy Supelco (Poznań, Polska) i komorę ciśnieniową SPE tej samej firmy.

Oczyszczaniu w procesie fotokatalizy poddano roztwory sporządzone na bazie wody zdejonizowanej, odpływ modelowy zawierający substancje organiczne i nieorganiczne oraz odpływ modelowy zawierający wyłącznie substancje nieorganiczne z dodatkiem wzorców badanych związków w stałym stężeniu $500 \text{ }\mu\text{g/dm}^3$. Charakterystyka fizykochemiczna badanych roztworów została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1
Charakterystyka fizyczno-chemiczna badanych roztworów zawierających EDCs

Table 1
The physical and chemical characteristics of the investigated solutions including EDCs

Oczyszczany roztwór	pH*	Przewodność właściwa [$\mu\text{S/cm}$]	Absorbancja (UV ₂₅₄) [1/cm]
Woda zdejonizowana	7,0	5,180	0,000
Odpływ modelowy zawierający substancje nieorganiczne		0,522	0,005
Odpływ modelowy zawierający substancje organiczne i nieorganiczne		0,793	0,055

* korygowano roztworem kwasu solnego HCl o stężeniu $0,1 \text{ mol/dm}^3$ lub roztworem wodorotlenku sodowego NaOH $0,1 \text{ mol/dm}^3$

Odptyw modelowy zawierający substancje organiczne i nieorganiczne sporządzono na bazie bulionu suchego odżywczego, peptonu kazeinowego, NH_4Cl , NaCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2HPO_4 oraz KH_2PO_4 . Z kolei drugi z badanych odptywów został sporządzony bez dodatku substancji organicznych. Do pomiarów pH oraz przewodności właściwej stosowano laboratoryjny miernik wieloparametrowy inoLab[®] 740 wyprodukowany przez WTW, Pomiarowy i Analityczny Sprzęt Techniczny (Wrocław, Polska). Absorbancję mierzono przy długości fali 254 nm z użyciem UV VIS Cecil 1000 firmy Analytik Jena AG (Poznań, Polska).

Proces fotokatalizy prowadzono w temperaturze 20°C w reaktorze porcjowym firmy Heraeus (Warszawa, Polska) o objętości ok. 600 cm³ ze średniociśnieniową lampą zanurzeniową o mocy 150 W. Fotokatalizę prowadzono w sposób ciągły przez 60 minut.

W celu umożliwienia oznaczenia chromatograficznego HPLC z detekcją UV badanych EDCs z roztworów o objętości 100 cm³ (pH = 7) wydzielano badane związki z użyciem ekstrakcji do fazy stałej (SPE). Złożę kolumnienki przed ekstrakcją kondycjonowano acetonitrylem (5 cm³) i metanolem (5 cm³), a następnie przepłukano wodą zdejonizowaną (5 cm³). Wydzielone związki eluowano mieszaniną acetonitrylu z metanolem (40/60, v/v) o objętości 1 cm³.

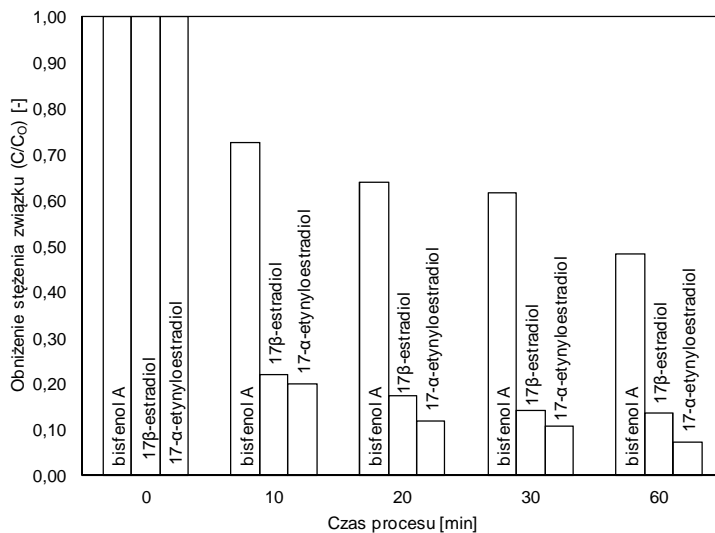
Do analizy jakościowej ekstraktu wykorzystano system analityczny HPLC firmy Varian (detektor UV, długość fali 235 nm). Rozdział chromatograficzny przeprowadzono na kolumnie Microsorb 100 C18 o długości 25 cm, średnicy 4,6 mm oraz uziarnieniu 5 μm. Jako fazę ruchomą stosowano acetonitryl firmy POCH.

Zastosowana procedura analityczna charakteryzuje się odzyskiem badanych EDCs w zakresie od 66 (bisfenol A) do 78% (17β-estradiol i 17α-etynyloestradiol), co zostało określone dla wody zdejonizowanej z wprowadzonymi wzorcami związków o stężeniu 500 μg/dm³ (objętość próbki 100 cm³).

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 2 przedstawiono zależność pomiędzy czasem naświetlania a obniżeniem stężenia badanych EDCs w procesie fotokatalizy dla roztworu wody zdejonizowanej.

Określono, że wraz z narastającym czasem naświetlania stężenie 17β-estradiolu, 17α-etynyloestradiolu oraz bisfenolu A obniżało się. Największe obniżenie stężenia w przypadku badanych związków zaobserwowano w początkowym czasie naświetlania, tj. do 10 minut. Po tym czasie stopień rozkładu 17α-etynyloestradiolu wyniósł ok. 80%, a 17β-estradiolu 78%, natomiast bisfenolu A tylko ok. 30%. Po 60 minutach trwania procesu stężenie bisfenolu A obniżyło się poniżej 50%, podczas gdy dla dwóch pozostałych związków wartości stopnia ich rozkładu przekroczyły 93%. Zaobserwowane różnice w efektywności rozkładu badanych mikrozanieczyszczeń mogą być związane z ich właściwościami fizykochemicznymi. Dla przykładu, rozpuszczalność w wodzie bisfenolu A wynosi 120 mg/dm³, a 17β-estradiolu 3,90 mg/dm³ [19, 20]. Badane związki różnią się także pod względem wartości $\log K_{ow}$, prężności par, jak również współczynnika Henry'ego.



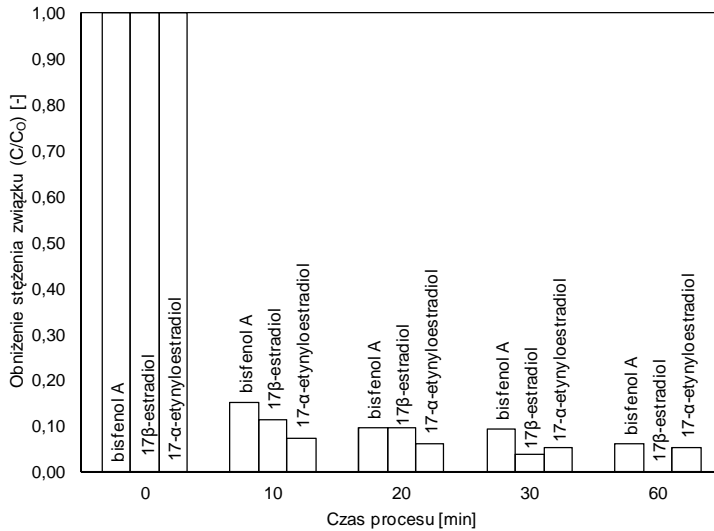
Rys. 2. Wpływ czasu naświetlania na obniżenie stężenia badanych EDCs w procesie UV/TiO₂ dla wody zdejonizowanej

Fig. 2. The influence of radiation time on the decrease of EDCs concentration in UV/TiO₂ process of the deionized water

W kolejnej części badań oczyszczaniu poddano modelowy odpływ ścieków sporządzony na bazie wody zdejonizowanej, zawierający wyłącznie substancje nieorganiczne (rys. 3). Zaobserwowano, że stopień rozkładu wszystkich badanych związków zwiększył się w porównaniu do wyników otrzymanych dla procesu UV/TiO₂ prowadzonego dla wody zdejonizowanej (rys. 2). Po 10 minutach naświetlania stopień rozkładu 17β-estradiolu, 17α-etynyloestradiolu i bisfenolu A wynosił odpowiednio ponad 90, 88 i 85%. Największą różnicę w skuteczności rozkładu związku w porównaniu do wcześniejszego etapu badań uzyskano dla bisfenolu A (ponad 2,5 razy większy stopień rozkładu). Następnie, pomimo dalszego naświetlania roztworu stężenie 17β-estradiolu oraz bisfenolu A utrzymywało się na zbliżonym poziomie. Natomiast po 60 minutach trwania procesu nastąpił całkowity rozkład 17β-estradiolu.

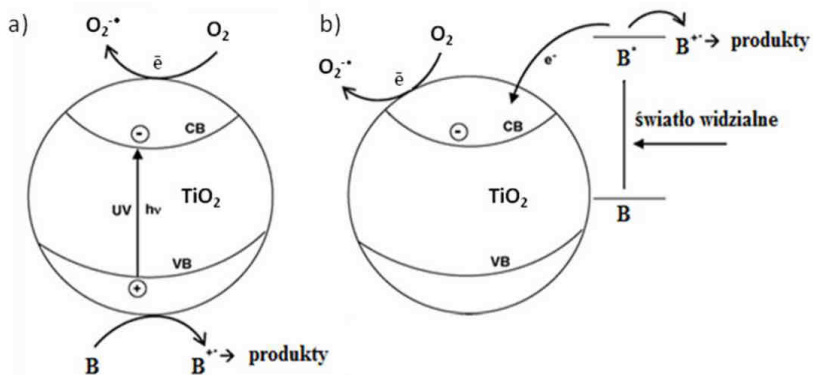
Obserwowany wyższy stopień rozkładu badanych EDCs dla modelowego odpływu ścieków zawierającego substancje nieorganiczne w porównaniu do wody zdejonizowanej prawdopodobnie wynikał z faktu, że w ściekach modelowych były obecne substancje chemiczne umożliwiające przebieg tzw. fotokatalizy sensybilizowanej. W wyniku działania promieniowania widzialnego następuje wzbudzenie cząsteczki nieorganicznej substancji chemicznej zaadsorbowanej na powierzchni półprzewodnika. W dalszej kolejności następuje przeniesienie elektronu z substancji chemicznej do pasma przewodnictwa katalizatora z jednoczesnym utworzeniem kationorodnika B⁺. Powstały kationorodnik może ulegać dalszym reakcjom, w wyniku których będzie następowała pełna mineralizacja zanieczyszczeń obecnych w oczyszczanym roztworze. Substancja wywołująca to zjawisko

określana jest mianem sensybilizatora [21, 22]. Na rysunku 4 przedstawiono różnice w procesie fotokatalicznego utleniania przebiegającego bez (a) i z fotosensybilizacją (b).



Rys. 3. Wpływ czasu naświetlania na obniżenie stężenia EDCs w procesie UV/TiO₂ modelowego odpływu ścieków zawierającego substancje nieorganiczne

Fig. 3. The influence of the radiation time on EDCs decomposition in UV/TiO₂ process ozonation of the simulated effluent containing inorganic substances

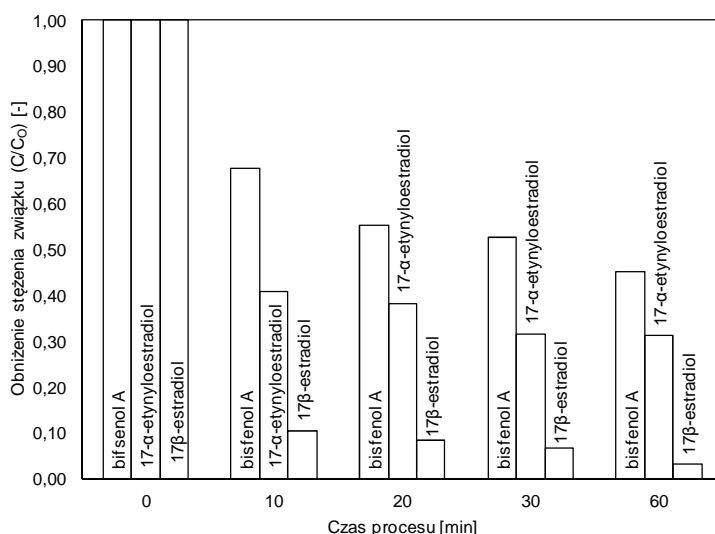


Rys. 4. Mechanizm katalicznego fotoutleniania bez (a) i z (b) fotosensybilizacją

Fig. 4. The mechanism of the catalytic photooxidation (a) without and (b) with photosensitising

W ostatnim etapie badań porównano skuteczność rozkładu badanych EDCs w procesie fotokatalizy, przeprowadzonym dla modelowego odpływu ścieków, zawierającego zarówno substancje organiczne, jak i nieorganiczne (rys. 5). Wykazano,

że obniżenie stężenia związków dla tego roztworu było mniejsze niż w przypadku roztworu modelowego zawierającego wyłącznie substancje nieorganiczne oraz większe niż dla roztworu wody zdejonizowanej. Po 10 minutach naświetlania stopień rozkładu 17β -estradiolu, 17α -etynyloestradiolu i bisfenolu A wynosił odpowiednio 88, 60 i 34%. Dalsze naświetlanie nie miało już znacznego wpływu na rozkład mikrozanieczyszczeń. Potwierdza to wcześniejsze obserwacje związane ze zjawiskiem fotosensybilizacji. Otrzymane wyniki badań dowodzą także, że substancje organiczne mogą hamować proces fotokatalizy. Należy jednak zaznaczyć, że efektywność samego procesu fotokatalizy zależy od wielu czynników, takich jak na przykład odczyn i skład fizykochemiczny roztworu, stężenie usuwanej substancji czy też właściwości samego reagenta [23].



Rys. 5. Wpływ czasu naświetlania na obniżenie stężenia EDCs w procesie UV/TiO₂ modelowego odpływu ścieków zawierającego substancje organiczne i nieorganiczne

Fig. 5. The influence of the radiation time on EDCs decomposition in UV/TiO₂ process of the of simulated effluent containing organic and inorganic substances

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących eliminacji wybranych związków należących do grupy EDCs wykazano, że na skuteczność procesu UV/TiO₂ istotny wpływ ma zarówno rodzaj matrycy środowiskowej, jak i właściwości fizykochemiczne usuwanego związku. W ramach pracy udokumentowano również zjawisko fotosensybilizacji.

Literatura

- [1] Bart AJ. Science. 1980;207:139-144. DOI: 10.1126/science.207.4427.139.
- [2] Braslavsky SE, Segalla A. Pure Appl Chem. 2002;1:641-648. DOI: 10.1039/B202031A.
- [3] Mills A, Le Hunte S. J Photochem Photobiol. 1997;108:1-35. DOI: 10.1016/S1010-6030(97)00118-4.

- [4] Fatta-Kassinos D, Vasquez MI, Kümmerer K. *Chemosphere*. 2011;85:693-709. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.06.082.
- [5] Marugán J, Bru D, Pablos C, Catalá M. *J Hazard Mater*. 2012;213-214;117-122; DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.01.075.
- [6] Konstantinou IK, Albanis TA. *Appl Catal*. 2004;B49:1-14. DOI 10.1007/698_5_054.
- [7] Fujishima A, Hashimoto K, Watanabe T, *TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications*. Tokyo: BKC Inc; 1999.
- [8] Dimitrakopoulou D, Rethemiotaki I, Frontistis Z, Xekoukoulotakis NP, Venieri D, Mantzavinos D. *J Environ Manage*. 2012;98:168-174. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.01.010.
- [9] Carp O, Huisman CL, Reller A. *Prog Solid State Chem*. 2004;32:33-177. DOI: 10.1016/j.progsolidstchem.2004.08.001.
- [10] Linsebigler AL, Lu G, Yates J. *Chem Rev*. 1995;95:735-758. DOI: 10.1021/cr00035a013.
- [11] Hoffmann MR, Martin ST, Choi W, Bahnemann DW. *Chem Rev*. 1995;95:69-96. DOI: 10.1021/cr00033a004.
- [12] Nasuhoglu D, Rodayan A, Berk D, Yargeau V. *Chem Eng J*. 2012;189-190:41-48. DOI: 10.1016/j.cej.2012.02.016.
- [13] Kaniou S, Pitarakis K, Barlagianni I, Poullos I. *Chemosphere* 2005;60:372-380. DOI:10.1016/j.cej.2010.04.020.
- [14] Chatzitakis A, Berberidou C, Paspaltsis I, Kyriakou G, Sklaviadis T, Poullos I. *Water Res*. 2008;42:386-394. DOI: 10.1016/j.watres.2011.03.030.
- [15] Sakkas VA, Calza P, Medana C, Villioti AE, Baiocchi C, Pelizzetti E, et al. *Environ Res*. 2007;77:135-144. DOI: 10.1155/2012/514856.
- [16] Coleman HM, Eiggins BR, Byrne JA, Palmer FL. *Appl Catal B*. 2000;24:1-5. DOI: 10.1016/S0926-3373(99)00091-0.
- [17] Cardoso da Silva JC, Reis TJA, de Cássia RJ, Afonso F, Sérgio F, Augusti R. *Rapid Commun Mass Spectrom*. 2014;28:987-994. DOI: 10.1002/rcm.6863.
- [18] Kondrakova AO, Ignateva AN, Frimme FH, Bräsec S, Horna H, Revelsky AI. *Appl Catal B*. 2014;160-161:106-114. DOI: 10.1016/j.apcatb.2013.07.013.
- [19] Zhang Z, Feng Y, Liu Y, Sun Q, Gao P, Ren N. *J Hazard Mater*. 2010;181:1127-1133. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.05.132.
- [20] De Voogt P, Van Hattum B. *Pure Appl Chem*. 2003;75:1933-1948.
- [21] Cowan AJ, Barnett CJ, Pendlebury SR, Barosso M, Sivula K, Gratzel M, et al. *J Am Chem Soc*. 2011;133:10134-10140. DOI: 10.1021/ja200800t.
- [22] Rajeshwar K., Osugi ME, Chanmanee W, Chenthamarakshan CR, Zanon MV, Kajitichyanukul P, et al. *J Photochem Photobiol C*. 2008;9:171-192. DOI: 10.1016/j.jphotochemrev.2008.09.001.
- [23] Gottschalk C, Libra JA, Saupé A. *Ozonation of Water and Wastewater. A Practical Guide to Understanding Ozone and its Application*. New York: Wiley-VCH; 2000.

COMPARATIVE STUDIES ON ELIMINATION OF SELECTED ESTROGENS AND XENOESTROGENS BY PHOTOCATALYSIS PROCESSES

Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: This study addressed the degradation efficiency of three different compounds belonging to the group of endocrine disrupting compounds (EDCs), namely 17 β -estradiol (E2), 17 α -ethinyl estradiol (EE2), and bisphenol A (BPA) in the photocatalysis process (UV/TiO₂). The subject of the study was a synthetic municipal waste water treatment plant effluent containing inorganic and optionally organic substances and to which the investigated micropollutants were added at a concentration of 500 mg/dm³. The obtained results were compared in terms of the degradation of the selected compounds in deionized water. It was found that the efficiency of the photocatalysis depends significantly both on the environmental matrix and physico-chemical properties of the compounds present in the treated waste water. The highest degradation efficiency was observed for the synthetic effluent that contained only inorganic substances. The degradation of bisphenol A and 17 α -ethinyl estradiol exceeded 90% (after 60-minute irradiation) and 17 β -estradiol was decomposed completely. The observed phenomenon can be attributed to the process termed as sensitized photocatalysis, which was enabled by inorganic substances present in the synthetic waste water. This phenomenon was not observed for the synthetic effluent that contained both inorganic and organic substances, and moreover the degradation efficiency of the micropollutants was lower. These observations were also confirmed by the results regarding the decomposition of the compounds in deionized water.

Keywords: photocatalysis, micropollutants decomposition, bisphenol A, 17 β -estradiol, 17 α -ethinyl estradiol