

Agnieszka Włodyka-Bergier, Tomasz Bergier

## Wpływ zmiany sposobu dezynfekcji wody na zawartość produktów ubocznych w systemie dystrybucji „Raba” w Krakowie

Zakłady oczyszczania wody – dbając o zdrowie konsumentów – modernizują swoje linie technologiczne, przy czym w ostatnich latach szczególnie często zmienia się sposób dezynfekcji wody. Wiele zakładów, aby zwiększyć bezpieczeństwo mikrobiologiczne wody, przed tradycyjnym chlorowaniem montuje dodatkowo lampy UV. Jednocześnie chlor gazowy zastępowany jest podchlorynem sodu wytwarzanym elektrolitycznie (na miejscu) z roztworu chlorku sodu. Zastosowanie lamp UV do dezynfekcji, w kombinacji z późniejszym chlorowaniem, cieszy się coraz większym zainteresowaniem ze względu na skuteczność promieniowania nadfioletowego do inaktywacji pierwotniaków z rodzaju *Cryptosporidium* i zapewnienie tak zwanej dezynfekcji multibarierowej [1]. Chlor wytwarzany elektrolitycznie zawiera w swoim składzie – oprócz podchlorynu sodu – także domieszkę innych silnych utleniaczy, takich jak ozon, dwutlenek chloru, nadtlenek wodoru czy wolne rodniki hydroksylowe, co zwiększa jego zdolność dezynfekcyjną [2, 3]. Skuteczna dezynfekcja wiąże się jednak ze stosowaniem metod, które – poza działaniem na mikroorganizmy – wpływają też na strukturę związków organicznych znajdujących się w dezynfekowanej wodzie, co może mieć wpływ na zmianę potencjału tworzenia się produktów ubocznych dezynfekcji (disinfection by-products – DBPs) w wodzie transportowanej do odbiorców.

Naświetlanie wody promieniami nadfioletowymi powoduje degradację hydrofobowych wielkocząsteczkowych związków organicznych i zwiększenie ilości związków hydrofilowych o małej masie cząsteczkowej, a także zwiększenie ich alifatyczności [4, 5]. Tak zmienione naturalnie występujące w wodzie związki organiczne, w przypadku ich późniejszego chlorowania, wykazują inną reaktywność w procesie powstawania produktów ubocznych. Podczas chlorowania wody naświetlanej promieniami nadfioletowymi, zwłaszcza średniociśnieniową lampą UV, obserwowano wzrost zawartości szczególnie takich związków, jak wodzian chloralu (chloral hydrate – CH) oraz produktów ubocznych zawierających w swoim składzie azot (nitrogen-containing disinfection by-products – N-DBPs) (halogenonitrometany i halogenoacetonitryle – HAN), ze względu na nitrację związków organicznych wywołaną promieniami UV [1, 4, 6].

Silne utleniacze wytwarzane elektrolitycznie podczas produkcji podchlorynu sodu również mogą wpływać na utlenianie związków organicznych naturalnie obecnych w wodzie, a także na zmianę ich reaktywności podczas powstawania produktów ubocznych. Nieliczne badania w tym zakresie dowodzą, że – w porównaniu z klasycznie wytwarzanym podchlorynem sodu – taka mieszanina środków dezynfekcyjnych może powodować tworzenie się większej ilości trihalogenometanów (THM) i halogenoacetonitryli (HAN) oraz mniejszej ilości kwasów halogenoocetowych (haloacetic acids – HAA) i wodzianu chloralu (CH) [2, 7, 8].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań nad zawartością produktów ubocznych z grup THM, HAA, HAN, HK (halogenoketony), CH i CP (chloropikryna) w wodzie pobranej z systemu dystrybucji „Raba” zasilającego w wodę większą część Krakowa. Na przełomie września i października 2014 r. w Zakładzie Uzdatniania Wody „Raba” (MPWiK SA w Krakowie) przeprowadzono modernizację sposobu dezynfekcji wody – chlor gazowy zastąpiono podchlorynem sodu wytwarzanym na miejscu w elektrolizerach, natomiast przed procesem chlorowania zamontowano średniociśnieniową lampę UV. W artykule oceniono, jak modernizacja sposobu dezynfekcji wody wpłynęła na zawartość produktów ubocznych w tej części krakowskiej sieci wodociągowej, która jest zasilana przez ten zakład.

### Materiały i metody

Próbki wody z systemu dystrybucji „Raba” pobierano od maja do grudnia 2014 r. z sześciu punktów czerpalnych sieci (blisko rurociągów magistralnych), rozmieszczonych równomiernie w systemie dystrybucji. Próbki wody zostały pobrane zgodnie z metodyką opisaną w publikacji autorów [9]. Na przełomie września i października 2014 r. nastąpiła wspomniana wcześniej modernizacja sposobu dezynfekcji wody [10]. Przed i po modernizacji zakładu „Raba” wykonano po 12 serii pomiarowych. W próbkach wody oznaczono zawartości trichlorometanu (TCM), bromodichlorometanu (BDCM), dibromochlorometanu (DBCM), tribromometanu (TBM), kwasu monochlorooctowego (MCAA), kwasu dichlorooctowego (DCAA), kwasu trichlorooctowego (TCAA), kwasu bromochlorooctowego (BCAA), kwasu kwasu dibromoocetowego (DBAA), dichloroacetonitrylu (DCAN), trichloroacetonitrylu (TCAN), bromochloroacetonitrylu (BCAN),

dibromoacetonitrylu (DBAN), 1,1-dichloro-2-propanonu (1,1-DCP), 1,1,1-trichloro-2-propanonu (1,1,1-TCP), chloropikryny (CP) oraz wodoru chloralu (CH). Podczas pobierania próbek mierzono także temperaturę wody w sieci dystrybucji. Dodatkowo przy każdej serii pomiarowej pobierano wodę z zakładu „Raba” po wszystkich procesach oczyszczania wody, lecz przed jej chlorowaniem (po modernizacji procesu dezynfekcji również po naświetlaniu wody promieniami nadfioletowymi). W próbkach wody oznaczano ponadto zawartość rozpuszczonego węgla organicznego, rozpuszczonego azotu organicznego, azotu ogólnego, azotanów, azotynów, azotu amonowego, bromków, a także wartości parametru SUVA (absorbancja właściwa w nadfiolecie) oraz pH. Oznaczenia (zarówno produktów ubocznych dezynfekcji, jak i wskaźników fizyczno-chemicznych wody) wykonano zgodnie z metodami opisanymi w pracy [11]. W przypadku wszystkich wskaźników jakości wody sprawdzono, czy modernizacja technologii dezynfekcji wody spowodowała, że uzyskane wyniki różnią się w sposób statystycznie istotny. Do tej analizy zastosowano testy t-Studenta (w przypadku stwierdzenia jednorodności wariancji) lub Cochran-Coxa (w przypadku braku jednorodności wariancji). Równość wariancji testowano za pomocą testu Lavene’a, natomiast zgodność z rozkładem normalnym – testem Shapiro-Wilka. Wszystkie analizy przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica (ver. 10.0) firmy StatSoft.

## Dyskusja wyników badań

W tabeli 1 przedstawiono wartości wskaźników fizyczno-chemicznych wody pobranej w zakładzie „Raba” po wszystkich procesach oczyszczania, lecz przed chlorowaniem. Tabela ta zawiera wartości średnie uzyskane z pomiarów w czasie badań przed modernizacją układu dezynfekcji oraz po jego modernizacji, kiedy przed chlorowaniem wodę dodatkowo naświetlano promieniami nadfioletowymi.

Tabela 1. Jakość wody oczyszczonej (przed chlorowaniem) w zakładzie „Raba”

Table 1. Treated water quality (prior to chlorination) in the Raba Water Treatment Plant

Wskaźnik, jednostka	Wartość średnia	
	przed modernizacją	po modernizacji
RWO, gC/m <sup>3</sup>	2,00	1,04
SUVA, m <sup>3</sup> /gC-m	1,150	3,288
Azot ogólny, gN/m <sup>3</sup>	1,15	1,00
Azotany, gN/m <sup>3</sup>	1,05	0,65
Azotyny, gN/m <sup>3</sup>	0,012	0,005
Azot amonowy, gN/m <sup>3</sup>	0,055	0,024
RAO, gN/m <sup>3</sup>	0,03	0,32
Bromki, gBr <sup>-</sup> /m <sup>3</sup>	0,46	0,46
pH	7,60	7,67

RWO – rozpuszczony węgiel organiczny

SUVA – absorbancja właściwa w nadfiolecie ( $\lambda=254$  nm)

RAO – rozpuszczony azot organiczny

Wartości wskaźników fizyczno-chemicznych wody w obu rozpatrywanych wariantach (przed i po modernizacji sposobu dezynfekcji) nie różniły się w sposób istotny statystycznie. Wyjątkiem była zawartość azotu organicznego, którego ilość w wodzie pobranej z zakładu „Raba” po procesie

modernizacji była większa oraz zawartość azotynów, których ilość po naświetlaniu lampą UV uległa zmniejszeniu. Oceniając wartości pozostałych wskaźników jakości wody przed i po modernizacji widać również wpływ naświetlania wody promieniami nadfioletowymi na zmniejszenie średniej zawartości rozpuszczonego węgla organicznego, azotanów i azotu amonowego, jednak nie były to różnice statystycznie istotne, w porównaniu z jakością wody przed modernizacją sposobu dezynfekcji. W tabeli 2 zestawiono średnią zawartość produktów ubocznych dezynfekcji w próbkach wody pobranych przed modernizacją oraz po zamontowaniu lampy UV i zmianie sposobu chlorowania wody.

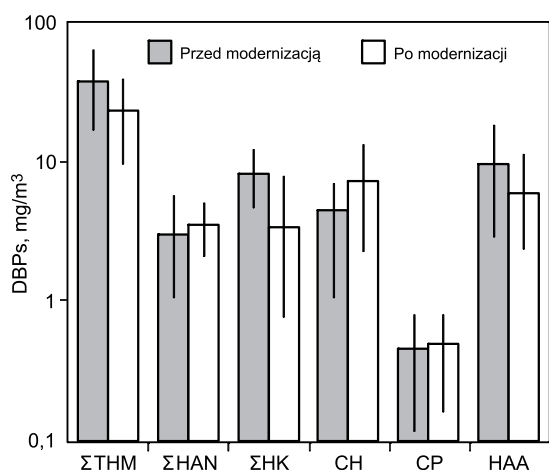
W próbkach wody pobranych z punktów czerpalnych sieci dystrybucji „Raba” przed zmianą sposobu dezynfekcji wody średnia zawartość sumy wszystkich analizowanych produktów ubocznych wynosiła 112,42 mg/m<sup>3</sup>, natomiast po modernizacji zmniejszyła się o prawie 34% i wynosiła 74,72 mg/m<sup>3</sup>. Obserwowana minimalna i maksymalna wartość sumy DBPs w czasie przed modernizacją wynosiła odpowiednio 65,52 mg/m<sup>3</sup> i 167,29 mg/m<sup>3</sup>, natomiast po modernizacji sposobu dezynfekcji odpowiednio 42,56 mg/m<sup>3</sup> i 101,43 mg/m<sup>3</sup>. Stwierdzone różnice sumy zawartości ubocznych produktów dezynfekcji w wodzie z systemu dystrybucji „Raba” przed i po modernizacji były statystycznie istotne. Na rysunku 1 przedstawiono, jak kształtowała się zawartość poszczególnych grup produktów ubocznych przed i po modernizacji sposobu dezynfekcji wody w zakładzie „Raba”. Jakkolwiek po modernizacji zmniejszyła się ogólna zawartość produktów ubocznych w wodzie, to zmiana sposobu dezynfekcji wpłynęła głównie na ograniczenie ilości związków z grup THM, HK i HAA, natomiast zawartość azotowych pochodnych produktów ubocznych (HAN i CP) oraz CH uległa zwiększeniu. Statystycznie istotne różnice w obu rozpatrywanych wariantach obserwowano w przypadku  $\Sigma$ THM, TCM, BDCM,  $\Sigma$ HK, 1,1-DCP, 1,1,1-TCP, DBAN, CH oraz z grupy HAA (DCAA, TCAA i BCAA). W przypadku  $\Sigma$ HAN i  $\Sigma$ HAA nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w ich zawartości w wodzie pobranej przed i po modernizacji sposobu dezynfekcji.

Średnia wartość  $\Sigma$ THM w próbkach wody pobranych z sieci „Raba” w czasie przed modernizacją wynosiła 37,89 mg/m<sup>3</sup>, natomiast po zmianie sposobu dezynfekcji uległa zmniejszeniu o około 38% i wynosiła 23,66 mg/m<sup>3</sup>. W przypadku związków z grupy HAA zaobserwowano podobny stopień zmniejszenia ich ilości – po modernizacji sposobu dezynfekcji średnia wartość  $\Sigma$ HAA zmniejszyła się o około 37% i wynosiła 5,99 mg/m<sup>3</sup>, (przed modernizacją – 9,54 mg/m<sup>3</sup>). Zmiana sposobu dezynfekcji najbardziej wpłynęła na zmniejszenie zawartości związków z grupy HK, w przypadku których zaobserwowano aż 59% spadek ich ilości w sieci „Raba”. Średnia zawartość  $\Sigma$ HK w czasie przed modernizacją wynosiła 8,20 mg/m<sup>3</sup>, natomiast po zmianie sposobu dezynfekcji – 3,36 mg/m<sup>3</sup>. Tak znacznego ograniczenia ilości związków z tych grup produktów ubocznych należy upatrywać głównie w zmniejszeniu zawartości związków organicznych w wyniku naświetlania wody średniociśnieniową lampą UV. W tabeli 1 widać, że średnia zawartość węgla organicznego zmniejszyła się znacznie po zmianie sposobu dezynfekcji. Zastosowanie chloru wytwarzanego elektrolitycznie może natomiast powodować zwiększone tworzenie się związków z grupy THM [2, 7, 8]. Jednak – jak pokazują niniejsze badania – połączenie go w sekwencji z promieniowaniem nadfioletowym powoduje ograniczenie tworzenia się THM w sieci dystrybucji.

Tabela 2. Jakość wody w systemie dystrybucji „Raba”  
Table 2. Water quality in Raba water distribution system

Wskaźnik*, jednostka	Wartość			
	średnia	minimum	maksimum	mediana
przed modernizacją sposobu dezynfekcji wody				
TCM, mg/m <sup>3</sup>	31,31	13,77	52,58	29,17
BDCM, mg/m <sup>3</sup>	5,86	2,09	9,57	6,37
DBCM, mg/m <sup>3</sup>	0,62	0,15	1,39	0,61
TBM, mg/m <sup>3</sup>	0,11	0,01	0,29	0,09
TCAN, mg/m <sup>3</sup>	0,08	0,03	0,15	0,08
DCAN, mg/m <sup>3</sup>	0,96	0,35	2,32	0,83
BCAN, mg/m <sup>3</sup>	0,90	0,18	1,90	0,93
DBAN, mg/m <sup>3</sup>	0,99	0,35	2,28	0,75
1,1-DCP, mg/m <sup>3</sup>	4,03	2,19	6,04	4,04
1,1,1-TCP, mg/m <sup>3</sup>	4,17	1,90	7,67	4,12
CH, mg/m <sup>3</sup>	4,38	1,08	7,10	4,66
CP, mg/m <sup>3</sup>	0,45	0,12	0,80	0,45
MCAA, mg/m <sup>3</sup>	1,95	0,66	4,07	1,48
DCAA, mg/m <sup>3</sup>	2,08	0,32	6,80	1,34
TCAA, mg/m <sup>3</sup>	4,72	0,83	11,74	3,52
BCAA, mg/m <sup>3</sup>	0,54	0,21	1,05	0,47
DBAA, mg/m <sup>3</sup>	0,24	0,00	1,14	0,15
Temperatura, °C	11,7	6,0	18,5	10,3
po modernizacji sposobu dezynfekcji wody				
TCM, mg/m <sup>3</sup>	19,46	7,96	36,92	18,25
BDCM, mg/m <sup>3</sup>	3,54	1,51	6,64	3,23
DBCM, mg/m <sup>3</sup>	0,47	0,15	1,05	0,44
TBM, mg/m <sup>3</sup>	0,20	0,05	0,54	0,17
TCAN, mg/m <sup>3</sup>	0,12	0,02	0,23	0,13
DCAN, mg/m <sup>3</sup>	1,04	0,25	1,85	0,88
BCAN, mg/m <sup>3</sup>	0,77	0,25	1,66	0,65
DBAN, mg/m <sup>3</sup>	1,56	0,70	2,56	1,54
1,1-DCP, mg/m <sup>3</sup>	1,27	0,17	2,36	1,06
1,1,1-TCP, mg/m <sup>3</sup>	2,10	0,50	5,67	1,67
CH, mg/m <sup>3</sup>	7,24	2,30	13,43	6,93
CP, mg/m <sup>3</sup>	0,48	0,16	0,81	0,46
MCAA, mg/m <sup>3</sup>	3,16	0,97	7,44	2,55
DCAA, mg/m <sup>3</sup>	0,49	0,12	0,82	0,58
TCAA, mg/m <sup>3</sup>	1,81	0,57	3,67	2,04
BCAA, mg/m <sup>3</sup>	0,27	0,08	0,68	0,22
DBAA, mg/m <sup>3</sup>	0,26	0,09	0,44	0,27
Temperatura, °C	13,0	5,0	22,0	13,0

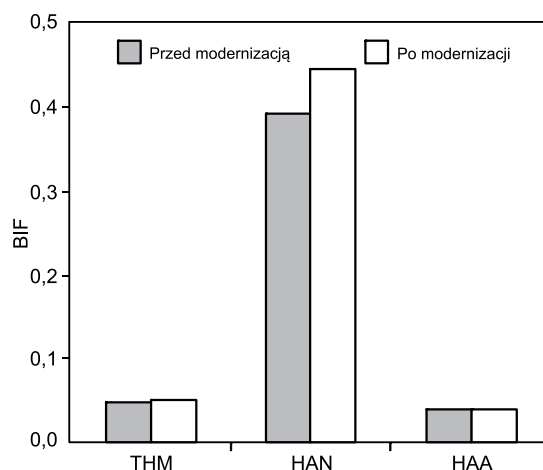
\*rozwiązania symboli w tekście (Materiały i metody)



Rys. 1. Zawartość ubocznych produktów dezynfekcji wody w systemie dystrybucji „Raba”

Fig. 1. Disinfection by-product content in Raba water distribution system

Zastosowanie kombinacji promieni nadfioletowych oraz chloru wytwarzanego elektrolitycznie spowodowało zwiększenie ilości wytwarzanego CH o ponad 65%. Średnia zawartość tego związku w próbkach wody pobranych w czasie, kiedy do dezynfekcji stosowany był chlor gazowy wynosiła  $4,38 \text{ mg/m}^3$ , natomiast po zmianie sposobu dezynfekcji –  $7,24 \text{ mg/m}^3$ . W badaniach innych autorów [6] również zaobserwowano wpływ promieniowania pochodzącego z średniociśnieniowej lampy UV na powstawanie CH w przypadku późniejszego chlorowania wody. W przypadku zastosowania chloru wytwarzanego elektrolitycznie, w porównaniu z chlorowaniem konwencjonalnym, autorzy pracy [7] zaobserwowali mniejszą zawartość CH w przypadku zastosowania chloru wytwarzanego elektrolitycznie do dezynfekcji wody. Dlatego najprawdopodobniej włączenie lampy UV do układu dezynfekcji w głównej mierze wpływało na zwiększenie ilości CH w systemie dystrybucji „Raba”. Zmiana sposobu dezynfekcji wody wpłynęła również na zwiększenie ilości N-DBPs – HAN i CP, co było najbardziej niepokojącym zjawiskiem ze względu na większą toksyczność tych związków w porównaniu z DBPs zawierających w budowie cząsteczki węgiel [12]. Średnia wartość ΣHAN w wodzie w systemie dystrybucji „Raba” przed modernizacją sposobu dezynfekcji wynosiła  $2,93 \text{ mg/m}^3$ , natomiast po modernizacji –  $3,48 \text{ mg/m}^3$  (więcej o 19%). Średnia zawartość CP po modernizacji wzrosła natomiast o około 8%. W przypadku stosowania do dezynfekcji chloru gazowego średnia ilość CP w sieci wynosiła  $0,45 \text{ mg/m}^3$ , natomiast po modernizacji sposobu dezynfekcji –  $0,48 \text{ mg/m}^3$ . W pracy [6] stwierdzono, że związki organiczne ulegają procesowi nitracji podczas fotolizy azotanów wywołanej promieniami UV, co w przypadku późniejszego chlorowania tej wody może prowadzić do powstawania produktów ubocznych dezynfekcji zawierających w budowie cząsteczki azot. Jak pokazały badania opisane w pracy [7], zastosowanie chloru wytwarzanego elektrolitycznie, w porównaniu z tradycyjnym chlorem, może powodować znacznie intensywniejsze tworzenie się HAN w wodzie. Na rysunku 2 przedstawiono wartości współczynnika udziału bromu (bromine incorporation factor – BIF) w przypadku średnich ilości THM, HAN i HAA w próbkach pobranych w punktach czerpalnych sieci „Raba” przed i po modernizacji sposobu dezynfekcji wody. Wartość współczynnika BIF,



Rys. 2. Wartość współczynnika udziału bromu w systemie dystrybucji „Raba”

Fig. 2. Bromine incorporation factor in Raba water distribution system

w przypadku każdej grupy produktów ubocznych zawierających w swoim składzie brom, obliczono ze wzoru [7]:

$$[\text{BIF}] = \frac{\sum([\text{DBPs}][\#\text{Br}])}{[\#\text{Br}_{\text{maks}}]\sum[\text{DBPs}]} \quad (1)$$

w którym DBPs oznacza stężenie molowe ubocznych produktów dezynfekcji, #Br – liczbę atomów bromu w cząsteczce produktu ubocznego, natomiast #Br<sub>maks</sub> – maksymalną liczbę atomów bromu wśród związków z danej grupy. Zmiana sposobu dezynfekcji nie wpłynęła na wartość BIF związków z grupy THM i HAA. Udział bromopochodnych THM wynosił 5%, natomiast HAA – 4%. Udział HAN zawierających atom bromu w cząsteczce był natomiast większy w próbkach wody pobranych po modernizacji sposobu dezynfekcji. Udział bromopochodnych HAN przed modernizacją był stosunkowo znaczny i wynosił 39%, natomiast po modernizacji zwiększył się jeszcze do 45%. Zasadniczy wpływ na to miała większa ilość DBAN w wodzie po modernizacji sposobu dezynfekcji. Promieniowanie nadfioletowe oraz domieszka silnych utleniaczy w składzie chloru wytwarzanego elektrolitycznie może wpływać na znaczną degradację związków organicznych naturalnie występujących w wodzie, a jony bromkowe są bardziej reaktywne z hydrofilowymi frakcjami związków organicznych o mniejszej masie cząsteczkowej [1].

## Podsumowanie

Zmiana sposobu dezynfekcji wody, poza głównym celem, jakim jest poprawa jakości mikrobiologicznej wody, może powodować również zmianę potencjału związków organicznych do tworzenia się ubocznych produktów dezynfekcji. Przeprowadzona modernizacja sposobu dezynfekcji w Zakładzie Uzdatniania Wody „Raba”, zapożyczającym w wodę Kraków (chlor gazowy zastąpiono podchlorynem sodu wytwarzanym w miejscu w elektrolizerach oraz dodano przed chlorowaniem naświetlanie wody średniociśnieniową lampą UV), spowodowała znaczne zmniejszenie sumarycznej ilości produktów ubocznych w sieci wodociągowej. Jednak ze względu na zastosowanie średniociśnieniowej lampy UV stwierdzono zwiększenie ilości wodzianu chloralu w wodzie, a także azotowych pochodnych produktów ubocznych, głównie z grupy halogenoacetonitryli.



*Badania zrealizowano w Katedrze Kształtowania i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie z funduszu badań statutowych nr 11.11.150.008.*

## LITERATURA

1. B. LYON, A. DOTSON, K. LINDEN, H. WEINBERG: The effect of inorganic precursors on disinfection byproduct formation during UV-chlorine/chloramine drinking water treatment. *Water Research* 2012, Vol. 46, pp. 4653–4664.
2. J. LEE, K. HA, K. ZOH: Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Science of the Total Environment* 2009, Vol. 407, pp. 1990–1997.
3. H. BERGMANN, A.T. KOPARAL, A.S. KOPARAL, F. EH-RIG: The influence of products and by-products obtained by drinking water electrolysis on microorganisms. *Microchemical Journal* 2008, Vol. 89, pp. 98–107.
4. Y. CHOI, Y.-J. CHOI: The effects of UV disinfection on drinking water quality in distribution systems. *Water Research* 2010, Vol. 44, pp. 115–122.
5. W. LIU, Z. ZHANG, X. YANG, Y. XU, Y. LIANG: Effects of UV irradiation and UV/chlorine co-exposure on natural organic matter in water. *Science of the Total Environment* 2012, Vol. 414, pp. 576–584.
6. K. LINDEN, A. DOTSON, H. WEINBERG, B. LYON, W. MITCH, A. SHAH: Impact of UV Location and Sequence on By-Product Formation. Water Research Foundation, Washington 2012.
7. J. LEE, M. JUN, M. LEE, M. LEE, S. EOM, K. ZOH: Production of various disinfection byproducts in indoor swimming pool waters treated with different disinfection methods. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2010, Vol. 213, pp. 465–474.
8. A. WŁODYKA-BERGIER, T. BERGIER: Trihalomethanes formation during different types of water chlorination with sodium hypochlorite and chlorine produced in electrolyzers. *Polish Journal of Environmental Studies* 2011, Vol. 20, No. 4A, pp. 335–339.
9. A. WŁODYKA-BERGIER, T. BERGIER: Sezonowe zmiany zawartości lotnych halogenowych organicznych ubocznych produktów chlorowania wody w sieci wodociągowej Krakowa (Seasonal variations in volatile organic halogen water chlorination by-product content in Krakow city water distribution system). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 4, ss. 23–27.
10. A. BIEDRZYCKA: Nowa technologia dezynfekcji wody w MPWiK SA w Krakowie. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 2014, nr 5(56), ss. 28–31.
11. A. WŁODYKA-BERGIER, M. RAJCA, T. BERGIER: Removal of halogenated by-products precursors in photocatalysis process enhanced with membrane filtration. *Desalination and Water Treatment* 2014, Vol. 52, No. 19–21, pp. 3698–3707.
12. S. RICHARDSON, M. PLEWA, E. WAGNER, R. SCHOE-  
NY, D. DeMARINI: Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutation Research* 2007, Vol. 636, pp. 178–242.

**Włodyka-Bergier, A., Bergier, T. Impact of Change in Water Disinfection Method on Chlorination By-products Occurrence in Raba Water Distribution System in Krakow. *Ochrona Środowiska* 2015, Vol. 37, No. 3, pp. 19–23.**

**Abstract:** The article discusses an impact of the sequence UV irradiation-chlorination on dynamics of by-product formation in water. UV irradiation of raw water can significantly influence the quantity and quality of naturally occurring organic matter (NOM). Consequently, this can affect NOM reactivity with the chlorine. A few publications on this subject show that chlorine produced electrochemically in water treatment plants contains, beside sodium hypochlorite, other strong oxidants, such as ozone, chlorine dioxide and free radicals. Thus it can influence the quality of organic matter and its potential to form water chlorination by-products. As the subject has been studied only recently, most research has been laboratory based. This article presents

results of the research conducted on the real facility (the Raba Water Treatment Plant), where the water disinfection method was recently modernized. Water chlorination was replaced with the sequence of low-pressure UV lamp and chlorine produced electrolytically. Water samples collected from six distribution network endings, before and after the modernization, were taken for studies. The following parameters were measured in the samples: trihalomethanes, haloacetic acids, haloacetonitriles, halo ketones, chloropicrin and chloral hydrate. The result analysis showed that the water disinfection modernization caused decrease in the total concentration of analyzed chlorination by-products in Raba water distribution system. However, the increase was observed for chloral hydrate and nitrogen-containing disinfection by-products, especially haloacetonitriles.

**Keywords:** Water quality, natural organic matter, UV radiation, electrolytically-produced chlorine.