

Izabela Zimoch, Iwona Lasocka-Gomula

Możliwa skuteczność technologiczna recyrkulacji wód popłucznych w układzie oczyszczania wód podziemnych w stacji „Mosina” koło Poznania

Brak jednoznacznych aktów wykonawczych dotyczących możliwości zawracania oczyszczonych wód popłucznych do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody zarówno w Polsce, jak i w krajach Unii Europejskiej powoduje, że strumień tych wód stanowi istotny problem eksploatacyjny większości zakładów wodociągowych. W Stanach Zjednoczonych recyrkulacja popłuczyn jest powszechnie stosowaną praktyką eksploatacyjną, mającą silne umocowanie w przepisach prawnych [1–5]. Literatura przedmiotu [6–10] wskazuje, że przeciętna ilość powstających wód w procesie płukania złóż filtracyjnych stanowi 2–8% objętości oczyszczanej wody, a w przypadku filtrów DynaSand® – nawet około 10%. Popłuczyny ze stacji filtrów mogą zatem stanowić alternatywne źródło wody zasilającej stację wodociągową, co jest w pełni zgodne z ustawą o odpadach [11], w myśl której wytwórca odpadów jest zobowiązany do ograniczania ich ilości oraz poddania ich procesom odzyskiwania surowców. Obecnie w Polsce gospodarka wodami z płukania złóż filtracyjnych sprowadza się do osiągnięcia takiej ich jakości, która pozwala na ich odprowadzenie do środowiska lub kanalizacji zgodnie z obowiązującymi przepisami [12, 13]. Praktyka taka często prowadzi do znacznego marnotrawstwa wody, szczególnie w przypadku stacji wodociągowych ujmujących wody podziemne. Popłuczyny powstające podczas eksploatacji filtrów w układach oczyszczania wód podziemnych charakteryzują się w większości przypadków jednorodnym i stabilnym składem chemicznym, z dominacją silnie uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza i manganu. Wody te z reguły nie zawierają bakterii heterotroficznych, natomiast często występują w nich psychrofilne, autotroficzne bakterie żelazowe, manganowe i nityfikacyjne.

Zawracanie wód popłucznych na początek układu technologicznego oczyszczania wody jest rozwiązaniem ekologicznym, które łączy racjonalne wykorzystanie pozyskiwanych wód, dbałość o środowisko oraz oszczędności energetyczne i finansowe z tytułu ponoszonych opłat środowiskowych. Innowacja tego rozwiązania polega na zintegrowaniu znanych procesów (sedymentacja, koagulacja, procesy membranowe), które połączone w zamkniętą całość mogą prawidłowo funkcjonować jako nowy, skutecz-

ny układ technologiczny oczyszczania wód popłucznych w stacjach oczyszczania wody, ujmujących wody podziemne bogate w związki żelaza i manganu [10, 14–16].

Poznański System Wodociągowy

Aquanet SA jest największym przedsiębiorstwem wodociągowym w Wielkopolsce, które zaopatruje w wodę około 700 tysięcy mieszkańców Poznania i okolic. Woda do systemu wodociągowego jest dostarczana przez trzy podstawowe stacje oczyszczania – „Mosina”, „Wiśniowa” oraz „Gruszczyn”. Stacje te działają w ramach Poznańskiego Systemu Wodociągowego, który w 60% zasilany jest wodą ze stacji „Mosina” (150 tys. m³/d). Woda zasilająca tę stację stanowi mieszaninę wód podziemnych i infiltracyjnych. Zawierają one ponadnormatywne ilości związków żelaza i manganu, które usuwane są w procesie technologicznym realizowanym w trzech ciągach obejmujących napowietrzanie (kaskady napowietrzające wraz z komorami reakcji pierwszego i drugiego stopnia), filtrację (trzy ciągi po 10 komór wypełnionych złożem antracytowo-kwarcowym o wysokości 2 m), ozonowanie (ozonatory wraz z labiryntowymi komorami reakcji), adsorpcję na węglu aktywnym (trzy ciągi po 8 komór wypełnionych granulowanym węglem aktywnym) oraz dezynfekcję dwutlenkiem chloru i podchlorynem sodu. Stacja „Mosina” znajduje się w odległości 20 km od Poznania. Na tym odcinku woda tłoczona jest do aglomeracji za pomocą dwóch magistral, każda o średnicy 1000 mm. Ponadto Aquanet SA eksploatuje małe stacje wodociągowe w sąsiadujących gminach – Kórnik (4 stacje), Murowana Goślina (6 stacji) oraz Suchy Las (2 stacje). Woda oczyszczona dostarczana jest odbiorcom za pomocą sieci wodociągowej o długości 2189 km.

Ujęcie wody

Ujęcie „Mosina-Krajkowo”, największe ujęcie eksploatowane przez Aquanet SA, powstało na południe od Poznania, w dolinie Warty, w miejscu nałożenia dwóch, rozdzielonych glinami morenowymi, czwartorzędowych struktur wodonośnych stanowiących Główne Zbiorniki Wód Podziemnych w Polsce (GZWP 144 i GZWP 150). Ostateczna struktura ujęcia kształtowała się od 1968 r. do 2004 r., w efekcie dynamicznie zmieniających się zasobów wód podziemnych wywołanych zarówno działalnością gospodarczą, jak i wielką suszą hydrologiczną w latach

Dr hab. inż. I. Zimoch: Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Zakład Technologii Wody i Ścieków, ul. Stanisława Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, izabela.zimoch@polsl.pl
Mgr inż. I. Lasocka-Gomula: Aquanet SA, Dział Badań Rozwojowych, ul. Dolna Wilda 126, 61-492 Poznań
iwona.lasocka-gomula@aquanet.pl

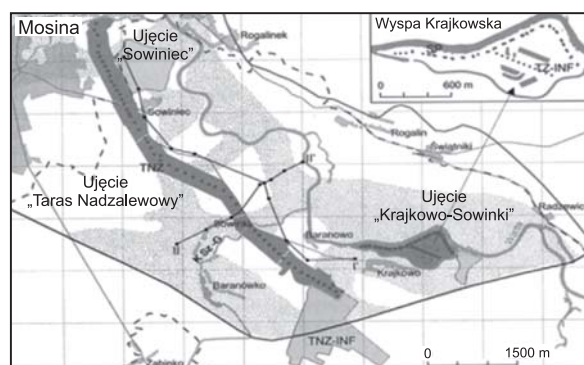
1989–1992, a następnie powodziami występującymi w latach 1997–2011. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia „Mosina-Krajkowo” wynoszą 178 tys. m³/d, w tym 88 tys. m³/d stanowią plejstoceny zasoby tarasu nadzalewowego, a 90 tys. m³/d – holoceny zasoby tarasu zalewowego [17].

W 1968 r. rozpoczęto eksploatację 15 studni (ujęcie lewarowe) zlokalizowanych w tarasie nadzalewowym, stanowiących najstarsze ujęcie „Sowiniec”. Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na wodę kontynuowano budowę nowych studni w barierze tarasowej (ujęcie „Taras Nadzalewowy”) zlokalizowanych na długości 7,15 km między Mosiną a Krajkowem. Kompleks ujęć „Sowiniec” i „Taras Nadzalewowy” eksploatuje łącznie 56 studni o zróżnicowanej wydajności od 50 m³/h do 150 m³/h, ujmujących wodę z głębokości 40÷50 m. W skład drugiego zespołu obiektów ujęcia „Mosina-Krajkowo” zlokalizowanego na sztucznej wyspie krajkowskiej, stanowiącego kompleks ujęć „Krajkowo-Sowinki”, wchodzi 29 studni rozmieszczonych w wale ochronnym w odległości 60÷80 m wzdłuż koryta Warty, 11 studni infiltracyjnych oraz studnia promienista (rys. 1). Ujęcie to było sukcesywnie rozbudowywane w latach 1982–2004. Eksploatowane w barierze brzegowej studnie głębinowe ujmują wodę z poziomu 35÷47 m, osiągając wydajność w zakresie 60÷120 m³/d. Studnie te rozmieszczone są w wale ochronnym tarasu zalewowego na długości 1,98 km. Studnie infiltracyjne o wydajności 40÷45 m³/d ujmują wody z zasobów na głębokości 20÷25 m zasilanych wodami z trzech stawów infiltracyjnych o powierzchni 2,9 ha, do których pompowana jest woda z Warty. Dodatkową funkcją stawów infiltracyjnych jest sztuczne zasilanie pierwszej warstwy wodonośnej w celu poprawy skrajnie niekorzystnych stanów zasobów wód podziemnych, jakie ujawniły się podczas suszy hydrologicznej w latach 1989–1992. Takie działanie odnawia zasoby basenu gwarantując jego wydajność nie tylko obecnie, ale również w przyszłości. Należy także zaznaczyć, że działania te mają również na celu unormowanie stosunków wodnych w celu ochrony zlokalizowanych w obszarze ujęcia rejonów ekologicznych, a mianowicie Rezerwatu Czaplí Siwej, Rezerwatu Dębów Rogalińskich i Rezerwatu Okonia. Integralnym obiektem ujęcia „Krajkowo-Sowinki” jest studnia promienista o wydajności 15 tys. m³/d ujmująca wody za pomocą 8 poziomych drenów o łącznej długości 718 m, ułożonych na głębokości 5 m pod dnem Warty.

Jakość wody

Jakość wody pozyskiwanej z różnych części ujęcia eksploatowanego od ponad 45 lat przez stację „Mosina” jest skutkiem zmienności stanu wód podziemnych oraz towarzyszących hydrochemicznych zmian jej składu. Zmiany jakości wód podziemnych są zatem konsekwencją licznych czynników, takich jak mieszanie się wód o różnej jakości stanowiących dopływ wód górnej warstwy wodonośnej (Pradolina Warszawsko-Berlińska) do dolnej warstwy (Wielkopolska Dolina Kopalna) wywołany eksploatacją ujęcia, dopływ wód infiltrujących z cieków powierzchniowych (głównie z Kanału Mosińskiego, Kanału Szymanowo-Grzybno i Warty), wymywanie utlenionych związków z warstwy wodonośnej, proces denitryfikacji autotroficznej oraz dopływ zanieczyszczeń antropogenicznych z dużej powierzchni ujęcia tarasowego (90 km²) [17, 18].

Wielka susza hydrologiczna w latach 1989–1992 i jednocześnie największy pobór wody z ujęcia „Mosina-Krajkowo” na potrzeby aglomeracji poznańskiej przekraczający



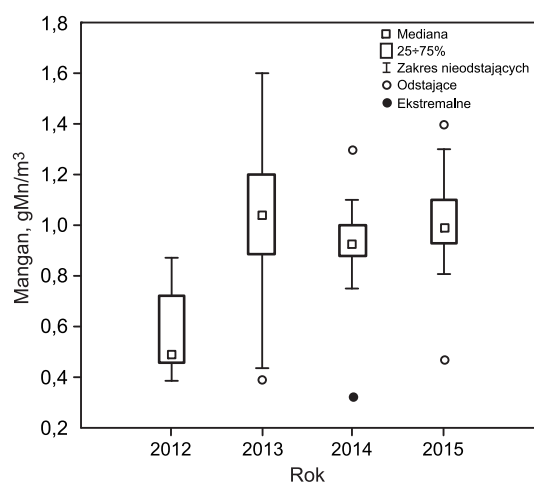
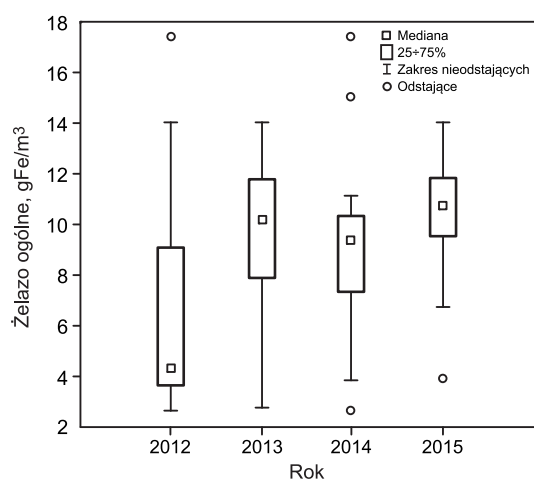
Rys. 1. Lokalizacja ujęć wody w Mosinie
Fig. 1. Localization of Mosina water intakes

140 tys. m³/d, przyczyniły się do powstania leja depresyjnego na linii tarasu nadzalewowego, przekraczającego aż o 58% ograniczenia depresyjne zawarte w dokumentacji zasobów wodnych. Odnotowane w tym czasie przekroczenie dopuszczalnej depresji w barierze brzegowej tarasu zalewowego osiągnęło aż 140% [17]. W takich warunkach nieuniknioną konsekwencją eksploatacji ujęcia były procesy utleniania siarczków i związków organicznych w nadmierne rozwiniętej strefie aeracji. Począwszy od wezbrania powodziowego Warty w 1994 r., poprzez serię kolejnych powodzi w latach 1997–2011, rozpoczęła się stopniowa odbudowa zasobów wodnych ujęć wodą infiltracyjną. Spowodowało to pogorszenie jakości wód podziemnych na skutek wypłukiwania głównie siarczanów i jonów żelaza. Nasilenie zjawiska degradacji wód podziemnych, związane ze zmniejszeniem zapotrzebowania na wodę w aglomeracji poznańskiej, skutkowało ponadto wyłączeniem z eksploatacji kolejnych studni ujęcia „Mosina-Krajkowo” o najgorszych wskaźnikach jakościowych, głównie w barierze tarasowej. W następstwie tego ilość siarczanów w wodach studni „Tarasu Nadzalewowego” kształtowała się w zakresie 29÷758 gSO₄²⁻/m³ (średnio 300 gSO₄²⁻/m³), przy czym do 2005 r. największą zawartość siarczanów odnotowano w studni nr 23. W tym czasie zawartość związków żelaza w wodach „Tarasu Nadzalewowego” wynosiła 2,67÷19,0 gFe/m³ (średnio 7,0 gFe/m³), przy czym maksymalną ilość jonów żelaza odnotowano w wodzie ujmowanej ze studni nr 31, 32, 39 i 43 [17, 19].

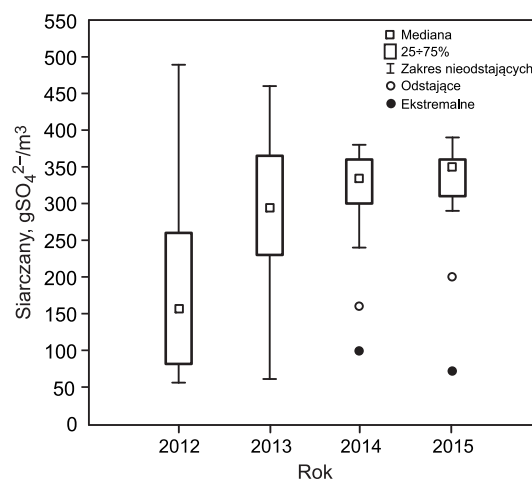
Obecnie jakość wód w warstwach wodonośnych wskazuje na przekroczenie dopuszczalnej wartości wielu wskaźników (tab. 1) określonych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia [20, 21]. Wszystkie ujmowane wody podziemne zawierają nadmierne ilości związków żelaza i manganu, przy czym największe ilości jonów tych metali występują w wodach „Tarasu Nadzalewowego”. Przeprowadzona w latach 2012–2015 seria badań wykazała ciągły wzrost ich zawartości w wodach podziemnych (rys. 2), co może być skutkiem zmniejszonego zasilania tych ujęć wodami powierzchniowymi infiltrującymi z Warty. Podczas niskich stanów rzeki nasila się zjawisko kolmatacji jej koryta osadami, co zmniejsza hydrauliczne powiązania warstwy wodonośnej z Wartą. Wysoka zawartość związków żelaza i manganu powoduje występowanie zwiększonej intensywności barwy i mętności wody (tab. 1). Maksymalna intensywność barwy wody (120 gPt/m³) z ujęcia „Taras Nadzalewowy” wystąpiła 2 lipca 2012 r. W tym dniu ujmowana woda charakteryzowała się również podwyższoną mętnością (33 NTU), przy czym maksymalną mętność wody (88 NTU), odnotowano 9 września 2013 r. (intensywność barwy wynosiła wówczas 50 gPt/m³).

Tabela 1. Jakość ujmowanych wód podziemnych w latach 2012–2015
Table 1. Raw groundwater quality in the period 2012–2015

Wskaźnik, jednostka	„Sowiniec”			„Taras Nadzalewowy”			„Krajkowo-Sowinki”					
							studnia promienista			studnie głębinowe		
	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.
pH	7,2	7,5	7,4	7,0	7,5	7,3	7,4	7,8	7,6	7,1	7,5	7,4
Barwa, gPt/m ³	5	50	18	5	120	32	10	45	18	8	55	22
Mętność, NTU	3,9	47	26	2,4	88	27	0,14	0,3	0,2	8	50	19
Żelazo ogólne, gFe/m ³	1,1	12,9	4,0	0,6	15,4	7,5	0,0	0,1	0,04	1,7	9,3	3,8
Mangan, gMn/m ³	0,47	0,68	0,53	0,33	1,60	0,93	0,02	0,34	0,11	0,46	1,0	0,57
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	63	301	152	56	489	293	45	177	67	58	300	160
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	211	460	405	230	770	503	186	280	222	300	550	387
Przewodność właściwa, μS/cm	620	981	870	585	1490	1088	490	693	575	701	1100	847
Ogólny węgiel organiczny, gC/m ³	2,6	5,5	3,8	3,2	5,4	4,3	3,4	12,0	5,3	3,7	5,3	4,3
Utlonialność, gO ₂ /m ³	1,8	5,2	2,8	2,0	5,0	3,5	1,9	8,2	3,7	2,2	4,5	3,1

Rys. 2. Zawartość związków żelaza i manganu w wodzie z ujęcia „Taras Nadzalewowy” w latach 2012–2015
Fig. 2. Iron and manganese concentrations in water from the intake of Taras Nadzalewowy in the period 2012–2015

Woda podziemna ujmowana z „Tarasu Nadzalewowego” charakteryzowała się również wysokim stopniem mineralizacji – zawartość substancji rozpuszczonych przekraczała w niej 1000 g/m³. Woda z tego ujęcia zawierała dużą ilość siarczanów (tab. 1) charakteryzujących się ciągłą dynamiką wzrostu (rys. 3), osiągając w latach 2012–2015 średnią wartość 293 gSO₄²⁻/m³. (zmiennność w zakresie od 56 gSO₄²⁻/m³ do 489 gSO₄²⁻/m³). W czasie prowadzenia badań maksymalną zawartość siarczanów odnotowano 2 lipca 2012 r. Woda ujmowana z „Tarasu Nadzalewowego” charakteryzowała się ponadto zwiększoną wartością twardości ogólnej, wynoszącą średnio 500 gCaCO₃/m³. Obok jonów wapnia, występujących w ilości od 10 gCa/m³ do 250 gCa/m³ (średnio 177,2 gCa/m³), w wodzie występowały jony magnezu w zakresie od 17 gMg/m³ do 21 gMg/m³ (średnio 18,7 gMg/m³).

Rys. 3. Zawartość siarczanów w wodzie z ujęcia „Taras Nadzalewowy” w latach 2012–2015
Fig. 3. Sulfate concentrations in water from the intake of Taras Nadzalewowy in the period 2012–2015

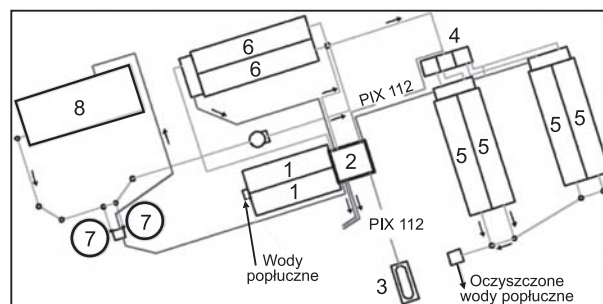
Wody z ujęcia „Mosina-Krajkowo” charakteryzują się również znaczną ilością związków organicznych, których głównym źródłem są wody Warty. Z uwagi na dużą zmienność jakości wody w Warcie, zawartość związków organicznych (określanych jako OWO) w ujmowanych wodach studni promienistej ujęcia „Krajkowo-Sowinki” osiągnęła w latach 2012–2015 średnio $5,3 \text{ gC/m}^3$, przy zmienności od $3,4 \text{ gC/m}^3$ do 12 gC/m^3 . Maksymalna zawartość związków organicznych wystąpiła latem (8 lipca) 2013 r. przy wysokiej temperaturze ujmowanej wody $20,1^\circ\text{C}$, będąca skutkiem intensywnego zakwitnięcia w toni wodnej Warty.

Analizując skład ujmowanych wód poddawanych procesom oczyszczania w stacji „Mosina” stwierdzono, że na jakość wody oczyszczonej wpływa zarówno proporcja mieszania wód kierowanych do stacji z poszczególnych części ujęcia, jak i skuteczność stosowanej technologii oczyszczania wody. W warunkach tak dużej zmienności jakości wód konieczne jest ich mieszanie zapewniające ustabilizowany skład wody wprowadzanej na obiekty technologiczne stacji oczyszczania wody. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że najkorzystniejsze jest mieszanie wód z bariery brzegowej „Krajkowo-Sowinki” i tarasu nadzalewowego (ujęcia „Sowiniec” i „Taras Nadzalewowy”) w stosunku 2:1. Kryterium takiego wyboru były te wskaźniki, które pozostają niezmiennie w procesie technologicznym, czyli zawartość siarczanów oraz twardość wody.

Rozwiązanie technologiczne zagospodarowania wód popłucznych

Przedsiębiorstwo Aquanet SA do 2012 r. nie zajmowało się zagospodarowaniem wód popłucznych powstających w stacjach oczyszczania wody eksploatujących zarówno filtry pospieszne zamknięte (ciśnieniowe) (12 stacji), jak i otwarte (3 stacje). Małe stacje wodociągowe należące do firmy Aquanet SA powszechnie eksploatują przestarzałe rozwiązanie techniczne o małej skuteczności technologicznej. Układy zagospodarowania wód popłucznych najczęściej składają się z jednego odstoju, do którego trafiają popłuczyny, skąd – po przeciętnej dwudobowej sedymentacji – wody nadosadowe odprowadzane są do rowów melioracyjnych lub – jak w przypadku stacji „Wiśniowa” w Poznaniu – do kanalizacji. W 2013 r. stacje oczyszczania wody Aquanet SA odprowadziły łącznie $1\,532\,504 \text{ m}^3$ wód popłucznych do środowiska naturalnego, z czego aż 53% ze stacji „Mosina”. Największy procentowy udział wód popłucznych powstających w stacji „Mosina” w całkowitym strumieniu wód technologicznych ze wszystkich obiektów wodociągowych był między innymi przyczyną podjęcia działań modernizacyjnych mających na celu stabilizację pracy układu oraz pozyskanie terenu do rozbudowy głównego ciągu oczyszczania wody o procesy ozonowania i adsorpcji na węglu aktywnym.

Przed modernizacją stacji oczyszczania wody „Mosina” wody popłuczne z filtrów były odprowadzane naprzemiennie do dziesięciu otwartych odstoju. Drobne zawiesiny mineralne w sposób naturalny sedymentowały na dno, a po 48 godzinach sklarowana woda nadosadowa odprowadzana była do Kanału Mosińskiego. Największe problemy eksploatacyjne występowały często w okresie zimowym, kiedy osadniki całkowicie zamarzały. Po modernizacji układu technologicznego wody po płukaniu filtrów pospiesznych zostały skierowane do nowo wybudowanego ciągu gospodarki osadowej, którego rozruch zakończono w styczniu 2012 r.

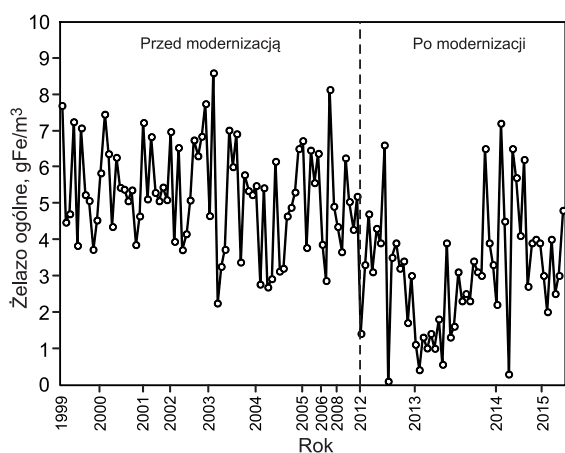


Rys. 4. Schemat ciągu technologicznego oczyszczania wód popłucznych (1 – zbiorniki wyrównawcze, 2 – pompownia, 3 – zbiornik koagulantu, 4 – sprzężone komory koagulacji, 5 – osadniki pokoagulacyjne, 6 – osadniki wód popłucznych z węglem pylistym, 7 – zbiorniki buforowe, 8 – prasy Bellmera)

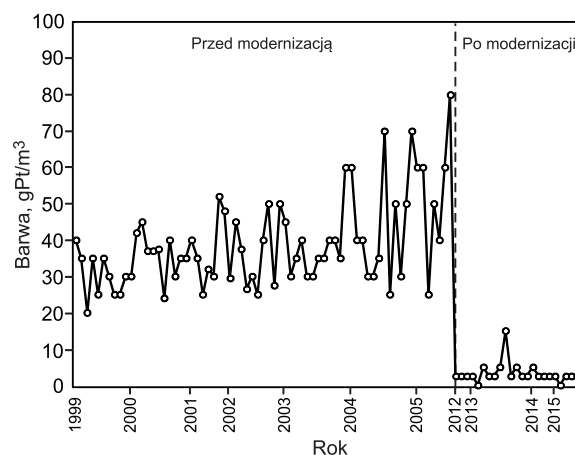
Fig 4. Technological train of backwash water treatment (1 – surge tanks, 2 – pumping station, 3 – coagulation tank, 4 – coupled coagulation chambers, 5 – post-coagulation settling tanks, 6 – settling tanks for backwash water with powdered active carbon, 7 – buffer tanks, 8 – Bellmer press)

W układzie zagospodarowania wód technologicznych, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, popłuczyny przepływają najpierw do zbiornika wyrównawczego, skąd układem pomp (4 pompy wirowe suchostojące, poziome, każda o wydajności $82 \text{ dm}^3/\text{s}$ i wysokości podnoszenia 11 m) pracujących w strukturze równoległej zostają przepompowywane do obiektów koagulacji. Do komory szybkiego mieszania, sprzężonej z dwoma komorami flokulacji, dawkowany jest koagulant PIX 112-siarczan(VI) żelaza(III) w średniej dawce 100 g/m^3 , skąd po 30 sekundach woda kierowana jest do komór wolnego mieszania. Po 20-minutowym czasie flokulacji woda dopływa do osadników II stopnia, skąd po czterogodzinnym czasie sedymentacji oczyszczona ciecz nadosadowa grawitacyjnie płynie do Kanału Mosińskiego. W sytuacji pracy stacji „Mosina”, zasilanej wodami o gorszej jakości (na przykład stany powodzienne czy też okresy długotrwałych susz), kiedy to proces oczyszczania wód wspomagany jest adsorpcją na pylistym węglu aktywnym dawkowanym po kaskadach napowietrzających do komór reakcji drugiego stopnia, wody popłuczne zawierające węgiel pylisty kierowane są przed proces koagulacji do osadników pierwszego stopnia. Osad zgromadzony w lejach osadników kierowany jest do zbiorników buforowych i po ich napełnieniu odwadniany na prasach. Odwodniony osad wywożony jest do oczyszczalni ścieków, gdzie kierowany jest do obiektów ciągu gospodarki osadowej celem zwiększenia skuteczności eliminacji związków fosforu z osadów ściekowych w komorach fermentacyjnych.

Nowa technologia oczyszczania wód popłucznych, zastosowana w stacji „Mosina”, pozwoliła na uzyskanie wód nadosadowych o wysokim stopniu oczyszczenia (rys. 5 i 6). Wszystkie obiekty są przykryte, stąd nie występuje problem zamarzania popłuczyn, a także zagrożenie zewnętrznego ich zanieczyszczenia mikrobiologicznego. Rozwiązanie to pozwoliło ustabilizować jakość wody na odpływie – średnia zawartość żelaza wynosiła $3,1 \text{ gFe/m}^3$, manganu $0,32 \text{ gMn/m}^3$, a barwa nie przekraczała wartości 15 gPt/m^3 (średnio $3,3 \text{ gPt/m}^3$). Oczyszczoną wodę nadosadową cechują wartości wskaźników zbliżone lub nawet lepsze od jakości wód podziemnych (tab. 1) z ujęć „Sowiniec”, „Taras Nadzalewowy” oraz „Krajkowo-Sowinki” (studnie głębinowe), w której jony żelaza przyjmowały średnią zawartość odpowiednio mniejszą o 23%, 59% i 18% w porównaniu do ujmowanych wód podziemnych.



Rys. 5. Zawartość związków żelaza w oczyszczonych wodach popłucznych przed i po modernizacji układu oczyszczania
Fig. 5. Iron concentration in treated backwash water before and after modernization of the treatment train



Rys. 6. Barwa oczyszczonych wód popłucznych przed i po modernizacji układu oczyszczania
Fig. 6. Color of treated backwash water before and after modernization of the treatment train

Ocena skuteczności zawracania wód popłucznych

W celu oceny możliwości odzyskiwania wód popłucznych poprzez ich zawracanie do głównego ciągu technologicznego oczyszczania wody, przeprowadzono szczegółowe badania jakości wód nadosadowych odprowadzanych do Kanału Mosińskiego. Wyniki tych badań porównano z jakością ujmowanej wody w latach 2012–2015 z „Tarasu Nadzalewowego”, ujęć „Krajkowo-Sowinki” i „Sowiniec” oraz wody po mieszaczu statycznym w stacji „Mosina”. Analizę porównawczą przeprowadzono na podstawie wartości wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych (tab. 2).

W zakresie zawartości związków organicznych jakość wód nadosadowych kształtowała się w przedziale zmienności ogólnego węgla organicznego od $2,0 \text{ gC/m}^3$ do $3,9 \text{ gC/m}^3$, przy czym średnia ilość OWO była mniejsza aż o 31% w porównaniu z jakością wody po mieszaczu statycznym. Również utlenialność wody nadosadowej była mniejsza niż utlenialność ujmowanych wód podziemnych. Największą różnicę uzyskano w odniesieniu do wody ze studni głębinowych, w porównaniu z którymi maksymalna utlenialność i zawartość OWO w wodach nadosadowych

w odplywie z układu zagospodarowania wód popłucznych były mniejsze odpowiednio o $5,4 \text{ gC/m}^3$ (68%) i $8,1 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ (64%). Uzyskany efekt technologiczny oczyszczania wód popłucznych wskazuje, że ich jakość pod względem zawartości naturalnych związków organicznych jest dużo lepsza niż wód z poszczególnych ujęć, a także w odniesieniu do wody zmieszanej zasilającej stację „Mosina”, co uzasadnia słusność ich powtórnego wykorzystania.

W zakresie pozostałych wskaźników fizyczno-chemicznych (pH, barwa, mętność, przewodność właściwa, żelazo ogólne, mangan i twardość) oczyszczone wody popłuczne charakteryzowała dużo lepsza jakość, w pełnym zakresie zmienności, od wartości minimalnej do wartości maksymalnej, w odniesieniu do ujmowanych wód podziemnych z różnych części ujęcia mosińskiego. Wzrastała natomiast średnia zawartość jonów siarczanowych maksymalnie o $50,4 \text{ gSO}_4^{2-}/\text{m}^3$ w stosunku do wód z ujęcia „Sowiniec” oraz odpowiednio o 26% ze studni głębinowych i 27% w przypadku wody zmieszanej. Przyczyną tego stanu jest stosowanie w procesie oczyszczania wód popłucznych koagulantu PIX 112 (siarczan żelaza), który w nieznacznym zakresie, maksymalnie o 33%, powoduje zwiększenie zawartości siarczanów w tych wodach.

Tabela 2. Porównanie jakości ujmowanych wód podziemnych oraz oczyszczonych wód popłucznych w latach 2012–2015
Table 2. Comparison of raw groundwater and treated backwash water quality in the period 2012–2015

Wskaźnik, jednostka	Woda podziemna po mieszaczu statycznym			Oczyszczone wody popłuczne		
	minimum	maksimum	średnia	minimum	maksimum	średnia
pH	6,9	7,7	7,3	6,8	7,5	7,1
Barwa, gPt/m ³	5	65	20	0	15	3
Mętność, NTU	4	40	14	6	35	19
Żelazo ogólne, gFe/m ³	1,2	7,2	3,2	0,1	7,2	3,2
Mangan, gMn/m ³	0,49	0,74	0,60	0,04	0,58	0,33
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	53	330	160	32	287	202
Twardość ogólna, gCaCO ₃ /m ³	290	520	372	320	470	368
Przewodność wł., μS/cm	684	1080	812	754	972	833
OWO, gC/m ³	3,7	5,8	4,5	2,0	3,9	3,1
Utlenialność, gO ₂ /m ³	2,0	4,3	3,1	0,8	2,8	1,8

W porównaniu z wodami podziemnymi z ujęcia „Taras Nadzalewowy”, o największej intensywności degradacji, średnia ilość siarczanów w oczyszczonych wodach popłucznych była aż o $90,9 \text{ gSO}_4^{2-}/\text{m}^3$ mniejsza, osiągając wartość $202,0 \text{ gSO}_4^{2-}/\text{m}^3$. Maksymalna zawartość siarczanów w oczyszczonych wodach popłucznych stanowiła zaledwie 58% w stosunku do wód z ujęcia „Taras Nadzalewowy”, w których ich średnia ilość ($298 \text{ gSO}_4^{2-}/\text{m}^3$) przekraczała o 17% wartość dopuszczalną w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

W zakresie wskaźników mikrobiologicznych wody w odpływie z układu zagospodarowania wód popłucznych charakteryzowały się podwyższoną ogólną liczbą mikroorganizmów badanych w temperaturze 22°C oraz podwyższoną ogólną liczbą mikroorganizmów badanych w temperaturze 36°C (tab. 3). Odpowiednie warunki do rozwoju tych bakterii w wodach osadowych, takie jak brak dezynfekowania wód, zatrzymanie ich w osadniku, a także wzrost temperatury, która latem osiąga przedział $19\text{--}23^\circ\text{C}$, są przyczyną rozwoju głównie bakterii psychrofilnych osiągających największą liczebność w czasie od maja do końca sierpnia. W celu identyfikacji potencjalnych zagrożeń wynikających z zanieczyszczenia wód popłucznych bakteriami psychrofilnymi przeprowadzono analizę statystyczną, która wykazała, że prawdopodobieństwo wystąpienia tych bakterii w liczbie przekraczającej $100 \text{ jtk}/\text{cm}^3$ było o 30% większe w odniesieniu do zanieczyszczania bakteriologicznego wody z ujęcia „Taras Nadzalewowy” oraz w wodzie w stacji „Mosina” po mieszaczu statycznym (tab. 4). Prawdopodobieństwo wystąpienia bakterii mezofilnych w oczyszczonych wodach popłucznych w liczbie przekraczającej wartość $50 \text{ jtk}/\text{cm}^3$ wyniosło natomiast 0,092. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały jednoznacznie,

że wodę w odpływie z układu zagospodarowania wód popłucznych, ze względu na obecność wskaźnikowych mikroorganizmów chorobotwórczych (*Escherichia coli*, enterokoki, bakterie grupy coli – tab. 3), cechowała lepsza jakość w porównaniu do wód z ujęcia „Krajkowo-Sowinki” (studnia promienista) oraz wód podziemnych po mieszaczu statycznym w stacji „Mosina”. Fakt ten świadczy o tym, że oczyszczone wody popłuczne stanowią mniejsze zagrożenie zanieczyszczenia wody bakteriami chorobotwórczymi pochodzenia jelitowego, a tym samym nie stanowią niebezpiecznego strumienia wód recykulowanych do głównego ciągu technologicznego stacji „Mosina”.

Zakres zmienności ilości wód popłucznych w czasie eksploatacji zmodernizowanego układu ich oczyszczania w latach 2012–2015 wynosił od $2200 \text{ m}^3/\text{d}$ do $3000 \text{ m}^3/\text{d}$. Obecnie wody te są odprowadzane grawitacyjnie do Kanału Mosińskiego. W przypadku realizacji przedsięwzięcia polegającego na zawracaniu oczyszczonych wód popłucznych do głównego ciągu technologicznego stacji „Mosina” wymagane jest wtłoczenie ich do rurociągu doprowadzającego wodę do ujęć do stacji oczyszczania, co wiąże się z koniecznością wykonania nowej pompowni o maksymalnej przepustowości $4000 \text{ m}^3/\text{d}$, która spowoduje zwiększenie zużycia energii elektrycznej o około 2%. Przeprowadzona analiza efektu energetycznego wykazała jednocześnie oszczędności około 4% z powodu mniejszej o 6% ilości wody pompowanej z ujęć. Dodatkowymi korzyściami finansowymi w przypadku wykorzystania wód popłucznych jako alternatywnego źródła zasilania stacji „Mosina” mogą być zmniejszone roczne opłaty środowiskowe z tytułu zarówno poboru wód ze środowiska naturalnego (około 5%), jak i odprowadzania wód popłucznych do Kanału Mosińskiego (100%).

Tabela 3. Maksymalna liczba bakterii w ujmowanych wodach podziemnych w latach 2012–2015
Table 3. Maximum bacteria numbers in raw groundwater in the period 2012–2015

Wskaźnik, jednostka	„Sowiniec”	„Taras Nadzalewowy”	„Krajkowo-Sowinki”		Woda podziemna po mieszaczu statycznym	Oczyszczone wody popłuczne
			studnia promienista	studnie głębinowe		
Ogólna liczba mikroorganizmów w temp. 36°C po 48 h, jtk/cm^3	9	41	14	8	11	292
Ogólna liczba mikroorganizmów w temp. 22°C po 72 h, jtk/cm^3	48	266	49	172	151	>2000
Bakterie grupy coli w 100 cm^3 (NPL)*	5	5	83	12	43	43
Bakterie <i>Escherichia coli</i> w 100 cm^3 (NPL)*	0	0	27	2	28	5
Enterokoki w 100 cm^3 (NPL)**	0	1	0	0	19	1

*zgodnie z PN-EN ISO 9308-2: 2014-06, **zgodnie z ISO 7899-2

Tabela 4. Rozkład częstości występowania mikroorganizmów w wodzie (w temp. 22°C po 48 h) w latach 2012–2015
Table 4. Frequency of microorganisms prevalence in water (22°C after 48 h) in the period 2012–2015

Obiekt	Górna granica liczby mikroorganizmów w klasie, jtk/cm^3									
	50	100	150	200	250	300	350	1000	2000	>2000
	częstość skumulowana, %									
Ujęcie „Taras Nadzalewowy”	95,4	97,7	98,8	98,8	98,8	100	100	100	100	100
Woda podziemna po mieszaczu statycznym	98,1	98,8	99,4	100	100	100	100	100	100	100
Oczyszczone wody popłuczne	69,2	69,2	69,2	70,8	72,3	72,3	75,4	81,5	89,2	100

Podsumowanie

Analiza jakości wód popłucznych odprowadzanych do Kanału Mosińskiego wskazuje na wysoką skuteczność technologiczną zmodernizowanego układu ich oczyszczania. Pozwala to postrzegać popłuczyny nie jako odpad, ale jako potencjalny strumień wód zawracanych do głównego ciągu technologicznego, stanowiący alternatywne źródło wody zasilającej stację oczyszczania wody „Mosina”.

Z uwagi na rozwój bakterii psychrofilnych, szczególnie w okresie letnim, do rurociągu tłoczego recyrkulującego oczyszczone wody popłuczne należałoby dawkować okresowo podchloryn sodu (alternatywny środek dezynfekcyjny w stacji „Mosina”), co pozwoli uzyskać bezpieczne pod względem bakteriologicznym nowe źródło wody. Ponadto stałe zawracanie oczyszczonych wód popłucznych może zwiększyć skuteczność usuwania związków żelaza i manganu na skutek procesu autoagregacji.

Argumentem wzmacniającym podjęcie decyzji o realizacji recyrkulacji wód popłucznych jest jej zasadność w obliczu ograniczania zasobów eksploatacyjnych regionu. Recyrkulacja wód popłucznych stanowić będzie element ochrony zasobów wód podziemnych w wypadkach losowych, np. długotrwałej suszy, co miało już miejsce w latach 1989–1992. Badania potwierdziły, że niekorzystne zjawiska atmosferyczne (powodzie i susze) skutkują wzrastającym tempem degradacji zasobów wód podziemnych Poznania. Zatem recyrkulacja wód popłucznych w ilości 2,6%, w odniesieniu do ilości wody dostarczanej ze stacji „Mosina” do systemu zaopatrzenia w wodę (dane z 2013 r.), może stanowić stabilne źródło wody o stałej jakości, lepszej od jakości wody pozyskiwanej ze środowiska naturalnego, w szczególności w odniesieniu do jakości zasobów ujęcia „Taras Nadzalewowy”.

Wykorzystanie wód popłucznych pozwoli także obniżyć koszty eksploatacji stacji oczyszczania wody „Mosina” (pompowanie, opłaty za korzystanie ze środowiska).

LITERATURA

- National Primary Drinking Water: Filter Backwash Recycling Rule. Final Rule. Federal Register 2001. Part IV EPA. 40 CFR Parts 9, 141 and 142 [WH-FRL-6989-5], Vol. 66, No. 111.
- Economic Analysis for Filter Backwash Recycling Rule. Office of Water, 2001, EPA 816-R-01-020.
- Filter Backwash Recycling Rule. Technical Guidance Manual. Office of Ground Water and Drinking Water 2002, EPA 816-R-02-014.
- National Primary Drinking Water Regulation: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment and Filter Backwash Rule. Proposed Rule. Federal Register 2006. Part II EPA, 40 CFR, Parts 9, 141 and 142, Vol. 71, No. 19.
- Implementation Guidance for Filter Backwash Recycling Rule (FBRR). Office of Water, 2004, EPA 816-R-04-006.
- A.L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- DVGW-Arbeitsblatt W 213-3: Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung. Teil 3: Schnellfiltration, 2005.
- S. KAWAMURA: Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc., New York 2000.
- J. NAWROCKI [red.]: Uzdatnianie wody. Procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2010.
- I. ZIMOCH: Celowość zawracania popłuczyn z filtrów pospiesznych w układach oczyszczania wody powierzchniowej (Purposefulness of recycling rapid filter backwash water in surface water treatment systems). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 4, ss. 17–22.
- Ustawa z 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz. U. z 8 stycznia 2013 r., poz. 21.
- Rozporządzenie Ministra Budownictwa z 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urządzeń kanalizacyjnych. Dz. U. z 2006 r., nr 136, poz. 964.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz. U. z 2014 r., poz. 1800.
- K.H. CARLSON, W.H. BELLAMY: Use of a mass balance model for developing guidelines for treatment plant recycle streams. *Water Science and Technology: Water Supply* 2001, Vol. 1, No. 4, pp. 169–176.
- M. VALENTUKEVICIENE: Possible recycling of spent filter backwash. *Archives of Environmental Protection* 2008, Vol. 34, No. 3, pp. 223–228.
- C. HUANG, J. LIN, C. WU, C. CHU: Recycling of spent filter backwash water using coagulation-assisted membrane filtration: Effects of submicrometer particles on membrane flux. *Water Science and Technology* 2010, Vol. 61, No. 8, pp. 1923–1929.
- S. DĄBROWSKI, J. PRZYBYŁEK: Ocena prognoz zasobów eksploatacyjnych poprzez porównanie szacunków zasobowych z wynikami długotrwałej eksploatacji ujęć wód podziemnych (studium metodyczne). Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2012.
- J. GÓRSKI, J. PRZYBYŁEK, D. KASZTELAN: Problemy zagospodarowania i ochrony terenów wodonośnych o szczególnym znaczeniu dla zaopatrzenia w wodę na przykładzie ujęcia Mosina-Krajkowo. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 2011, vol. 445, ss. 127–138.
- Jakość wód ujmowanych w ujęciu Mosina-Krajkowo. Materiały archiwalne, Aquanet SA, Poznań 1999–2015 (prace niepublikowane).
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 61, poz. 417.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. nr 72, poz. 466.

Zimoch, I., Lasocka-Gomula, I. Potential Operational Effectiveness of Backwash Water Recirculation in Groundwater Treatment Train of Mosina Plant near Poznan. *Ochrona Środowiska* 2015, Vol. 37, No. 3, pp. 49–55.

Abstract: Use of backwash water from filter beds by its recirculation to the treatment plant is an effective technological solution gaining attention of water supply system operators. Filter backwash recycling allows reducing water intake costs (pumping, environment taxes) and costs of water discharge into drains or the environment. The paper discusses effectiveness of the backwash water treatment in the modernized techno-

logical train of WTP Mosina. An assessment of the process was conducted on the basis of the operational data collected during the past three-and-a-half-year period (2012–2015) and both physico-chemical and bacteriological test results. Additionally, the risks and benefits of the backwash water recycling in the groundwater treatment train were presented. The up-to-date operational results have clearly shown that coagulation applied in the backwash water treatment train allows obtaining quality comparable with that of raw groundwater.

Keywords: Water quality, iron and manganese removal, filter backwash, recirculation, coagulation.