

Anna MŁYŃSKA, Michał ZIELINA*

WPŁYW METOD RENOWACJI PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH NA JAKOŚĆ TRANSPORTOWANEJ WODY

W niniejszym opracowaniu dokonano przeglądu bezwykopowych natryskowych metod renowacji przewodów wodociągowych pod kątem wpływu materiałów wykorzystywanych w tych metodach na jakość wody pitnej mającej z nimi bezpośredni kontakt. Analizie poddane zostały trzy rodzaje powłok (cementowa, z żywicy epoksydowej oraz poliuretanowej), którymi pokrywa się metodą natryskiwania odnawiane wnętrza przewodów wodociągowych. Każda z tych powłok posiada szereg zalet, jednak jak dowodzą badania w krótkim czasie po ich zastosowaniu parametry jakościowe wody mogą ulec zmianie. Przeanalizowano zmiany pH i zapachu wody oraz zmiany stopnia zużycia rozpuszczonych w wodzie dezynfektantów. W kontakcie z wyprawą cementową pH wody zwiększa się do ok. 11–12, co powoduje wzmożone przenikanie glinu z cementu do wody. Zarówno stare, jak i nowe powłoki epoksydowe nie wpływają istotnie na zmiany tego parametru, natomiast poliuretan powoduje obniżenie wartości pH wody do ok. 6. Wszystkie trzy analizowane materiały przyczyniają się do zużycia rozpuszczonych w wodzie dezynfektantów, jednak obserwuje się, że stopień zużycia chloru wolnego Cl_2 jest większy niż chloraminy NH_2Cl . Dodatkowo, zarówno wykorzystany do natrysku cement, jak i żywica epoksydowa oraz poliuretanowa wpływają na zapach wody i jego intensywność.

1. WPROWADZENIE

Wymagania jakościowe stawiane wodzie wodociągowej reguluje Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. [17], w którym określone są m.in. wymagania bakteriologiczne, fizykochemiczne i organoleptyczne, które powinna spełniać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi. Jak się jednak okazuje, dostarczenie wody do odbiorców o odpowiedniej jakości nie jest łatwym zadaniem. Mimo tego, że do sieci wodociągowej wprowadzona zostaje woda uzdatniona o wymaganych paramet-

* Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, a.mlynska13@gmail.com, mziel@vistula.wis.pk.edu.pl.

trach, to jednak często zdarza się, że ulega ona wtórnemu zanieczyszczeniu, głównie na skutek kontaktu ze skorodowanymi powierzchniami rurociągów żeliwnych i stalowych. Oddziaływanie produktów korozji na chemicznie niestabilną wodę mającą z nimi bezpośredni kontakt przyczynia się do tworzenia osadów chemicznych, co jest jedną z głównych przyczyn wtórnego zanieczyszczenia wody, na którą prof. Świderska-Bróż oraz dr Wolska zwracają uwagę w swojej pracy [1]. W takiej sytuacji, w celu uniknięcia negatywnego wpływu na jakość wody koniecznością staje się przeprowadzenie renowacji przestarzałych przewodów wodociągowych o skorodowanych wnętrzach. Techniki renowacji systemów zaopatrzenia w wodę obejmują szereg różnych metod, jednak od ostatniej dekady XX wieku w Polsce rozpowszechnione zostały bezwykopowe technologie odnowy z uwagi na wiele zalet, które posiadają. Zalety te związane są m.in. z faktem ograniczenia do minimum robót wykopowych, ponadto umożliwiają wykonanie prac w krótkim okresie czasu przy stosunkowo niewielkich nakładach finansowych [13].

W obrębie technologii bezwykopowych rozróżnia się wiele metod [13], jednak w niniejszym opracowaniu uwagę poświęcono technice renowacji poprzez zastosowanie natrysków na wewnętrzne powierzchnie odnawianych rurociągów. Do tego typu zabiegów wykorzystywana jest głównie wyprawa cementowa oraz żywica epoksydowa i poliuretanowa. Zastosowanie tych materiałów zapewnia wysoce skuteczną ochronę przed korozją, a co za tym idzie poprawę jakości wody w dłuższym okresie czasu oraz polepszenie parametrów hydraulicznych rurociągów [13]. Niestety zauważa się, że bezpośrednio po ich zastosowaniu jakość wody mającej z nimi kontakt może ulec pogorszeniu. Z uwagi na istotność tego problemu, w niniejszej pracy dokonano przeglądu natryskowych technologii renowacji przewodów wodociągowych pod kątem ich wpływu na wybrane parametry jakościowe wody (pH, zapach oraz zmiany stopnia zużywania się rozpuszczonych w wodzie dezynfektantów).

2. PRZEGLĄD WYBRANYCH METOD RENOWACJI PRZEWODÓW WODOCIĄGOWYCH POD KĄTEM ICH WPŁYWU NA JAKOŚĆ WODY

2.1. RENOWACJA Z ZASTOSOWANIEM POWŁOKI CEMENTOWEJ

Cementowanie przewodów wodociągowych jest obecnie jedną z powszechnych technik renowacji, która wykorzystywana jest już od lat 30 ubiegłego wieku. Metodę tą stosuje się do odnowy przewodów wodociągowych o bardzo szerokim zakresie średnic (od ok. 80 do nawet ok. 3600 mm). Zastosowanie powłok cementowych ma na celu ochronę rur stalowych, żeliwnych, azbestowo – cementowych i żelbetowych przed wewnętrzną korozją i odkładaniem się osadów, zabezpiecza przewody przed przeciekami, ponadto przyczynia się do poprawy ich własności hydraulicznych [13].

Cementowanie posiada również szereg innych zalet, które związane są m.in. z niewielkimi nakładami pracy i stosunkowo niskimi kosztami, zapewnia długookresową poprawę stanu technicznego rurociągów, ponadto jest to skuteczna metoda w odniesieniu do rozwiązywania problemów związanych z niezadowalającą jakością wody – przyczynia się do jej poprawy w dłuższym okresie czasu [5]. Wykładzina cementowa tworzy fizyczną i chemiczną barierę zabezpieczającą rurociąg przed postępującym procesem korozji. W przeciwieństwie do innych cienkich powłok, które jedynie uszczelniają metal przed wodą, wykładzina cementowa zapewnia zdecydowanie lepszą ochronę antykorozyjną, tworząc strefę zasadowości na powierzchni rury [12].

W technice cementowania przewodów wodociągowych dozwolone jest stosowanie cementu portlandzkiego, portlandzkiego żuźlowego, portlandzkiego popiołowego lub cementu wysokoglinowego [6]. Podstawowym ich składnikiem jest klinkier portlandzki, w skład którego wchodzi pierwiastki główne tj. wapń, krzem, glin, żelazo, pierwiastki uboczne – magnez, siarka, sód i potas, oraz pierwiastki śladowe – grupę tą stanowią głównie szczególnie niebezpieczne dla jakości wody pitnej metale ciężkie, takie jak chrom, ołów, cynk, nikiel, arsen, kadm, wanad, miedź [14].

Obok wielu pozytywnych cech zastosowania wyprawy cementowej wewnątrz przewodów wodociągowych, bezpośrednio po zabiegu cementowania dają się również zauważyć negatywne aspekty, odbijające się przede wszystkim na jakości wody. W szczególności wody miękkie, charakteryzujące się niewielką ilością jonów wykazują agresywne działanie w stosunku do wodorotlenku wapnia, będącego składnikiem wykładziny cementowej, efektem czego jest wymycie z niej tego związku, osłabienie struktury powłoki cementowej i obniżenie jej zasadowości oraz zwiększenie wartości pH wody mającej z nią bezpośredni kontakt [4]. Zauważa się, że zarówno zmiana pH wody w rurociągu po zabiegu cementowania, jak i stężenia pierwiastków w dużej mierze uzależnione są od rodzaju zastosowanego cementu. W jednych z przeprowadzonych badań eksperymentalnych [21] trwających 64 dni przeanalizowano zmiany wartości pH w wodzie zdemineralizowanej mającej bezpośredni kontakt z wyprawą cementową wykonaną na bazie pięciu różnych cementów: wysokoglinowego z 70-procentową zawartością trójtlenku glinu (Gorkal 70), wysokoglinowego z 40-procentową zawartością trójtlenku glinu (Gorkal 40), portlandzkiego CEM I, portlandzkiego popiołowego CEM II/B-W i portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B – M. W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań, które wykazują, że największe zmiany tego parametru pojawiły się w przypadku cementów CEM II z podwyższoną zawartością wapnia, natomiast najmniejsze w przypadku cementu wysokoglinowego z 70-procentową zawartością trójtlenku glinu. Rozporządzenie [17] określa, że wartość pH wody przeznaczonej do spożycia powinna mieścić się w przedziale 6,5–9,5, a zatem wartości tego parametru zostały znacznie przekroczone.

Tabela 1. Wartości pH zmierzone w wodzie na koniec każdego z okresów [21]

Czas po którym nastąpiła wymiana wody	0,25 [d]	1,1 [d]	2,2 [d]	4,1 [d]	9,0 [d]	16,0 [d]	36,0 [d]
Cement							
Gorkal 70	11,20	12,20	11,59	11,43	11,46	11,48	11,62
Gorkal 40	11,90	11,92	11,64	11,65	11,70	11,73	11,80
CEM I	11,90	12,31	12,31	12,23	12,28	12,27	12,08
CEM II/B-W	12,32	12,34	12,26	12,26	12,24	12,11	12,24
CEM II/B-M	12,22	12,35	12,31	12,31	12,35	12,27	12,28

Przeprowadzone zostały także podobne badania [15], w których przeanalizowano stopień wymywania jonów wapnia z powłok cementowych wykonanych na bazie trzech różnych cementów (portlandzkiego żuźlowego, portlandzkiego popiołowego i wysokoglinowego). Analiza również obejmowała 64-dniowy okres badań, w którym powłoki cementowe pozostawały pod wpływem wody o pH równym 4,6. Okazało się, że spośród badanych powłok cementowych najmniejszym stopniem uwalniania wapnia w takich warunkach cechowała się powłoka wykonana na bazie cementu portlandzkiego żuźlowego.

Wzrost stężenia takich pierwiastków jak glin i chrom w wodzie kontaktującej się z powłoką cementową zauważa się w przypadku, gdy woda cechuje się niską pojemnością buforową, co jest charakterystyczne dla wód miękkich, przepływających przez przewody o małej średnicy [3]. Zarówno badania przedstawione w pozycji [15], jak i w [21] wykazały, że zastosowanie cementu wysokoglinowego związane jest z niebezpieczeństwem przenikania znacznych ilości glinu do wody. Ilość przenikającego do wody glinu z cementu wysokoglinowego, w porównaniu z cementem portlandzkim żuźlowym i portlandzkim popiołowym była około 40-krotnie większa [15]. W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań, które wykazują, że im większa zawartość glinu w cemencie poddany analizie tym większe jego ilości ulegały przenikaniu do wody. Zastosowanie cementów wysokoglinowych wiąże się z ryzykiem, że nawet po dwóch miesiącach od chwili rozpoczęcia eksploatacji odnawianych rurociągów problem przenikania glinu do wody może być w dalszym ciągu obecny. W przypadku cementu portlandzkiego CEM I na początku przeprowadzanego eksperymentu dało się zauważyć intensywne ługowanie glinu, jednak już po kilku dniach ilości te były znacznie mniejsze. Można stwierdzić, że glin ulegał stopniowemu wyczerpywaniu. Z kolei najmniejsze ilości tego pierwiastka wymywane były z cementu portlandzkiego popiołowego i wieloskładnikowego (CEM II), które charakteryzują się podwyższoną zawartością wapnia. Przekroczenie dopuszczalnych ilości glinu (0,20 mg/l) w wodzie przeznaczonej do spożycia, które określa Rozporządzenie [17] może przyczynić się m.in. do rozwoju chorób związanych z nieprawidłowym funkcjonowaniem układu nerwo-

wego. Może powodować sklerozę, postępującą demencję starczą, chorobę Alzheimera, a także choroby układu kostnego [8].

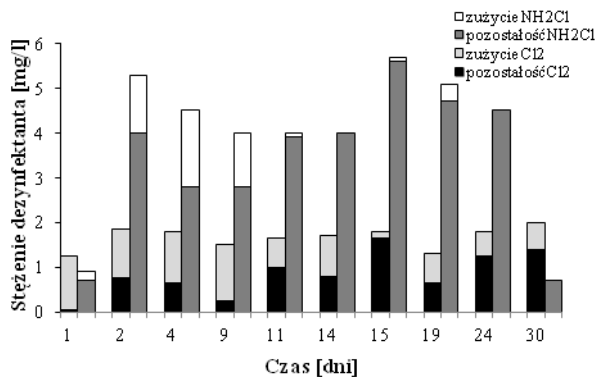
Tabela 2. Stężenia glinu w mg/l zmierzone w wodzie na koniec każdego z okresów [21]

Czas po którym nastąpiła wymiana wody	0,25 [d]	1,1 [d]	2,2 [d]	4,1 [d]	9,0 [d]	16,0 [d]	36,0 [d]	69,0 [d]
Cement								
Gorkal 70	137,4	89,1	218,4	139,8	145,5	120,2	88,8	73,8
Gorkal 40	99,1	203,6	109,1	90,2	101,3	98,5	100,1	97,3
CEM I	34,5	13,6	4,53	3,06	3,65	2,98	9,12	1,92
CEM II/B-W	0,552	1,53	1,72	2,24	3,19	2,73	2,98	2,78
CEM II/B-M	0,457	1,47	1,47	1,85	2,52	2,38	2,71	1,98

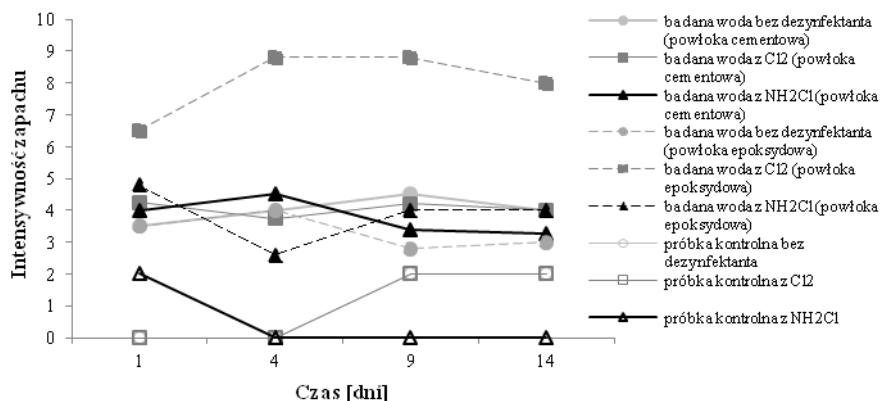
Analizując stopień zużycia rozpuszczonego w wodzie środka dezynfekującego w zależności od materiału, z którego wykonana została sieć wodociągowa, zauważa się, że proces ten najszybciej postępuje w systemach wykonanych z materiałów korozyjnych i tych, które są niezabezpieczone powłoką antykorozyjną. Wynika to z faktu intensywniejszego rozwoju biofilmu na tego typu powierzchniach. W wyniku reakcji, w które wchodzi chlor wraz ze składnikami biofilmu następuje zmniejszenie ilości chloru, ale i ograniczenie procesu korozji [2]. Przeprowadzone badania [10] dowodzą, że największą wartość stałej szybkości zużycia chloru odnotowuje się w przewodach wodociągowych wykonanych z żeliwa szarego (0,67 l/h), kolejno z żeliwa sferoidalnego z wnętrzem pokrytym powłoką cementową (0,13 l/h), następnie z PVC (0,09 l/h) i PE o średniej gęstości (0,05 l/h)). Z kolei w badaniach przeprowadzonych przez Deb i in. [4] przeanalizowano wpływ powłoki cementowej na tempo zużywania się w wodzie dwóch dezynfektantów: chloru wolnego Cl_2 i chloraminy NH_2Cl . Badania te wykazały, że powłoki cementowe przyczyniają się do dużo większego zużywania Cl_2 niż NH_2Cl , przez co pozostałość Cl_2 w badanej wodzie podczas 30-dniowego okresu badań była znacznie mniejsza niż NH_2Cl . Zarówno w przypadku Cl_2 jak i NH_2Cl największe ich ilości zużywane były do 9 dnia analizowanego okresu. W miarę upływu czasu zapotrzebowanie na chlor wolny zmniejszało się, ale mimo to do końca trwania badań był w dalszym ciągu zużywany w przeciwieństwie do drugiego dezynfektanta. Najmniejszą pozostałość Cl_2 jaką odnotowano to 0,05 mg/l, natomiast w przypadku NH_2Cl nie odnotowano jego spadku poniżej 0,7 mg/l (rys. 1).

W badaniach [4] przeanalizowano także powłoki cementowe pod kątem ich wpływu na zmiany zapachu wody pozostającej z nimi w bezpośrednim kontakcie. Do oceny tego parametru wykorzystana została dwunastostopniowa skala intensywności zapachu: 0 – bez zapachu, 1 – ledwie wyczuwalny, 2 – bardzo słaby, 4 – słaby, 8 – umiarkowany, 10 – mocny, 12 – bardzo mocny. Grupa osób testująca próbki wody wyczuwała charakterystyczny zapach cementu, którego intensywność była słaba, gdyż przez cały okres trwania badań zmieniała się od nieco ponad 3 do 4,5 w trzech róż-

nych badanych wodach. Wyniki z próbek kontrolnych wskazują, że intensywność zapachu wody nie była związana z obecnością rozpuszczonych w niej dezynfektantów (rys. 2).



Rys. 1. Zużycie i pozostałość Cl₂ oraz NH₂Cl w wodzie kontaktującej się z powłoką cementową



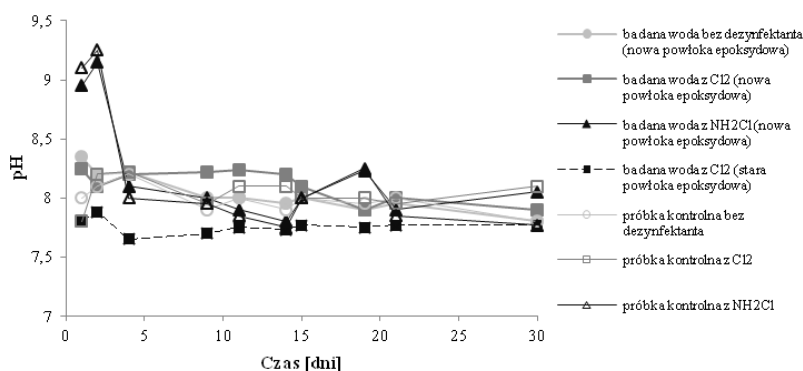
Rys. 2. Intensywność zapachu wody bez dezynfektanta oraz wody z rozpuszczonym Cl₂ i NH₂Cl w kontakcie z powłoką cementową i epoksydową

2.2. RENOWACJA POPRZEZ NATRYSK Z ŻYWICY EPOKSYDOWEJ

Technika natrysku żywicą epoksydową wykorzystywana jest od początku lat 90. dwudziestego wieku dla odnowy rurociągów stalowych i żeliwnych, których średnica mieści się w przedziale od 76 do 610 mm [13]. Proces nakładania powłoki epoksydowej musi zostać poprzedzony wyjątkowo starannym oczyszczeniem wnętrza rurociągu z nagromadzonych osadów korozyjnych. Do natrysku stosowane są dwuskładnikowe mieszaniny epoksydowe składające się z żywicy epoksydowej oraz utwardzacza [5].

Żywica epoksydowa jest tworzywem sztucznym, charakteryzującym się dużą wytrzymałością mechaniczną, zarówno na ściskanie, jak i na rozciąganie, niewielką ścieralnością, dobrą przyczepnością do różnego rodzaju materiałów, a także odpornością na działanie czynników chemicznych [18]. Zaletą metody natrysku żywicą epoksydową jest uzyskanie niewielkiej grubości powłoki ochronnej (zaledwie 1 mm), w porównaniu z metodą cementowania, w której grubość ta powinna mieścić się w przedziale od 3 do 10 mm, w zależności od średnicy rurociągu i materiału, z którego został wykonany [13, 16]. Ponadto czas oczekiwania na utwardzenie świeżo zastosowanego natrysku z żywicy epoksydowej jest dużo krótszy niż w przypadku wyprawy cementowej. Z kolei jeśli chodzi o wady tej metody, technologia ta nie eliminuje przecieków wody przez powstałe wżery korozyjne, ponieważ nie uszczelnia ich w przeciwieństwie do wyprawy cementowej. Wspomniane już wcześniej ograniczenie co do zakresu średnic rurociągów, w których można zastosować powłoki epoksydowe również stanowi wadę tej metody [12, 13].

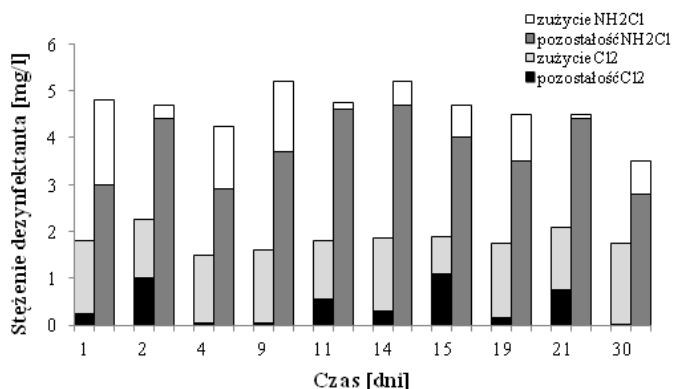
Wyniki badań eksperymentalnych [4] przeprowadzonych na trzech różnych próbkach wody (woda bez dezynfektanta, woda z rozpuszczonym chlorem wolnym Cl_2 oraz woda z rozpuszczoną chloraminą NH_2Cl) o początkowym pH równym 8 wskazują, że zarówno nowe, jak i stare powłoki epoksydowe nie wpływają istotnie na zmianę wartości pH w żadnej z próbek. W przypadku nowych powłok epoksydowych wartość tego parametru przez cały okres badań oscylowała między 7,8 a 8,3. Wzrost pH do ok. 9 w pierwszych dwóch dniach badań, zarówno w przypadku wody kontaktującej się z powłoką epoksydową oraz w przypadku próbki kontrolnej spowodowana była wyłącznie obecnością rozpuszczonej w wodzie chloraminy (rys. 3). Z kolei w przypadku kontaktu wody z rozpuszczonym Cl_2 ze starą powłoką epoksydową, pochodzącą z eksploatowanego przez 5 lat rurociągu zauważono spadek wartości pH w pierwszym dniu i następnie stopniowe zmniejszanie się tego parametru do wartości ok. 7,75 i utrzymywanie się na takim poziomie do końca analizowanego okresu. Przez 30-dniowy okres badań woda kontaktująca się ze starą powłoką epoksydową charakteryzowała się mniejszymi wartościami pH niż woda będąca w kontakcie z nową powłoką epoksydową (rys. 3).



Rys. 3. Zmiany pH badanej wody pozostającej w kontakcie z nową i starą powłoką epoksydową oraz w kontrolnych próbkach wody

Brak negatywnego wpływu powłok z żywicy epoksydowej na pH wody mającej z nimi bezpośredni kontakt przedstawiają także wyniki badań wykonanych przez Heim i Dietrich [11]. Analizie poddana została woda pochodząca ze świeżo odnowionego rurociągu, której próbki pobrano po pierwszym płukaniu przewodu wodociągowego, czyli po 30 minutach od nałożenia powłoki epoksydowej w jego wnętrzu, a następnie po tygodniu użytkowania. Zarówno w próbce pobranej zaraz po zastosowaniu natrysku, jak i w próbce pobranej po tygodniu od chwili rozpoczęcia eksploatacji poddanego renowacji rurociągu nie zauważono znaczących zmian pH wody.

Poddając analizie powłoki epoksydowe pod kątem ich wpływu na zużywanie środków dezynfekujących rozpuszczonych w wodzie, zauważa się, że materiał ten podobnie jak powłoki cementowe również może przyczynić się do zmian w ich stężeniu. Badania [4] wykazały, że powłoki z żywic epoksydowych w większym stopniu wpływają na zmiany stężenia rozpuszczonego w wodzie chloru wolnego Cl₂ niż chloraminy NH₂Cl. Największe ilości obu dezynfektantów zużywane były w ciągu pierwszych 24 godzin badań. Mimo tego, iż chloraminy w ciągu pierwszej doby zostało zużyte więcej niż chloru wolnego, to jednak w miarę upływu czasu związek ten był zużywany w coraz mniejszym stopniu, w przeciwieństwie do chloru wolnego, w przypadku którego aż do 30 dnia badań zauważano wyraźne zmniejszanie się jego ilości w wodzie. Najmniejszą pozostałość Cl₂ jaką odnotowano to 0,01 mg/l, natomiast w przypadku NH₂Cl nie odnotowano jego spadku poniżej 2,8 mg/l (rys. 4). Wyniki badań, które uzyskali Heim i Dietrich [11] również wskazują na to, że powłoki epoksydowe przyczyniają się do zużywania znacznych ilości dezynfektantów rozpuszczonych w wodzie. Podobnie jak w badaniach [4] zaobserwowano, że chloru wolnego Cl₂ zużywane są większe ilości niż chloraminy NH₂Cl. Po 4 dobach od chwili zastosowania powłoki zauważono, że chlor wolny Cl₂ zużyty został w ilości ok. 1,5 mg/l przy początkowym jego stężeniu w wodzie 2 mg/l, w porównaniu z chloraminą NH₂Cl, której ubyło zaledwie 1 mg/l i której początkowe stężenie było na poziomie 4 mg/l.



Rys. 4. Zużycie i pozostałość Cl_2 oraz NH_2Cl w wodzie kontaktującej się z powłoką epoksydową

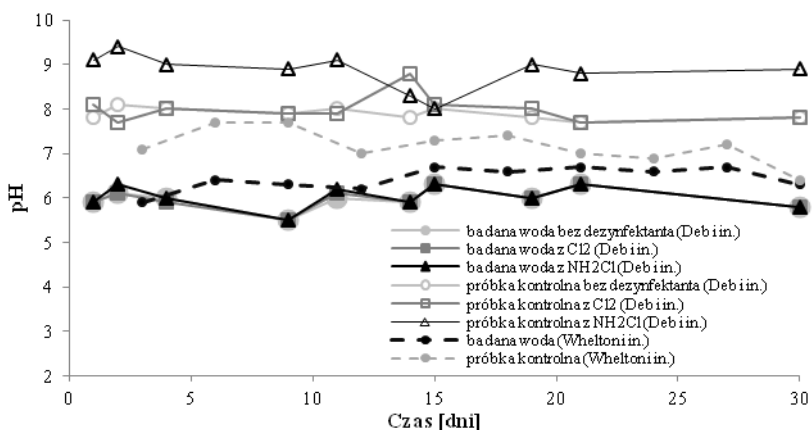
Do oceny intensywności zapachu wody kontaktującej się z powłoką epoksydową w badaniach [4] również wykorzystano 12-stopniową skalę. Średnia intensywność zapachu wody bez dezynfektanta z całego okresu badawczego osiągnęła wartość nieco ponad 3 (słaba intensywność), a sam zapach ogólnie został określony jako przyjemny, dla niektórych słodki, chemiczny, tworzyw sztucznych. Woda z rozpuszczonym Cl_2 przez cały okres badań charakteryzowała się zdecydowanie największą intensywnością zapachu (około 8–9, za wyjątkiem pierwszego dnia badań), w porównaniu z wodą bez dezynfektanta i wodą ze stężonym NH_2Cl . Zapach wody z Cl_2 określany był jako chemiczny, natarczywy, z kolei woda z rozpuszczonym NH_2Cl charakteryzowała się raczej słabą intensywnością zapachu, który był określany jako słodki i przyjemny. Intensywność zapachu poszczególnych próbek wody w kontakcie z powłoką cementową i epoksydową była do siebie zbliżona, za wyjątkiem próbki z rozpuszczonym chlorem wolnym Cl_2 , będącej pod wpływem powłoki epoksydowej, w przypadku której zauważa się zdecydowanie większą intensywność zapachu niż w próbce wody z tym samym dezynfektantem, ale kontaktującej się z powłoką cementową (rys. 2).

Wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych przez Heim i Dietrich [11] na przewodach miedzianych z wewnętrzną powłoką epoksydową w warunkach stagnacji wody wykazały, że intensywność jej zapachu na skutek kontaktu z tym materiałem zwiększa się w miarę upływającego czasu. Zarówno po 30 minutach jak i po godzinie od chwili płukania przewodów wodociągowych intensywność zapachu wody utrzymywała się na poziomie równym 0. Dopiero po 2 godzinach stagnacji zauważono, że poziom intensywności zapachu osiągnął wartość 2, po 3 dobach był już równy 5 i odczuwalny był wówczas w wodzie zapach kleju/tworzyw sztucznych.

2.3. RENOWACJA POPRZEZ NATRYSK Z ŻYWICY POLIURETANOWEJ

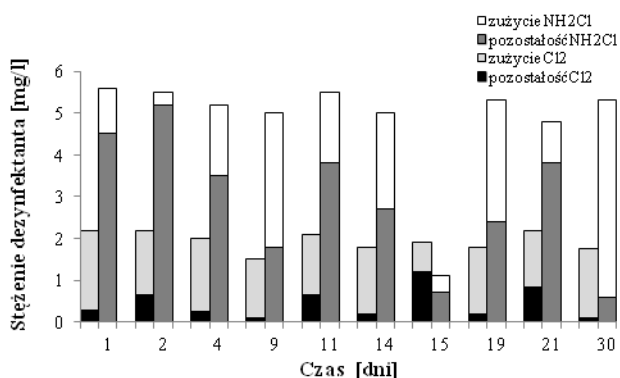
Innym materiałem wykorzystywanym w natryskowej metodzie renowacji przewodów wodociągowych jest żywica poliuretanowa, która może być stosowana w rurociągach stalowych, żeliwnych i betonowych, pokrywając ich wnętrza warstwą o grubości od 0,5 do 1,5 mm [9]. Tworzywo to charakteryzuje się wysoką wytrzymałością i odpornością na działanie wody. Ponadto jego aplikacja przebiega bardzo szybko, a czas utwardzenia poliuretanu jest krótki, dzięki czemu możliwe jest rozpoczęcie eksploatacji odnawianego rurociągu nawet tego samego dnia. Zalety, o których mowa przyczyniają się do tego, że metoda z zastosowaniem poliuretanu coraz częściej zastępuje metodę, w której wykorzystuje się żywice epoksydowe, bowiem w przypadku renowacji przewodów wodociągowych z zastosowaniem żywic epoksydowych konieczna jest nawet 36-godzinna przerwa w dostawie wody [19]. Wykonanie natrysku z żywicy poliuretanowej powinno zostać poprzedzone dokładnym oczyszczeniem odnawianej powierzchni, po którym należy uszczelnić przy pomocy betonu wszelkie widoczne w jej strukturze pęknięcia i ubytki [7].

Poddając analizie powłoki poliuretanowe pod kątem ich wpływu na jakość wody pozostającej z nimi w bezpośrednim kontakcie zauważa się, że materiał ten przyczynia się do zmniejszenia pH wody. Zależność taką potwierdziły badania eksperymentalne [4] i [20]. Deb i in. w przeprowadzonej analizie [4] wykorzystali trzy rodzaje wód, o takim samym pH równym 8. Do pierwszej z nich nie dodano żadnego dezynfektanta, do drugiej dodano chlor wolny Cl_2 , a trzecia zawierała chloraminę NH_2Cl . We wszystkich trzech próbkach, na skutek kontaktu z powłoką poliuretanową wartość pH zmniejszyła się już w ciągu pierwszych 24 godzin z równego 8 do około 6 i utrzymywała się na takim poziomie przez cały 30-dniowy okres badań, w porównaniu z próbkami kontrolnymi, w których zmiany pH były nieznaczne. Wyjątek stanowiła jedynie próbka kontrolna z NH_2Cl , w której odnotowano zwiększone wartości tego parametru (rys. 5). Z kolei Whelton i in. w swoich badaniach [20] wykorzystali tylko jeden rodzaj wody, która kontaktowała się z powłoką poliuretanową i której pH równe było 7,1. Już po 3 dniach kontaktu z materiałem wartość pH wody zmniejszyła się do 5,9 i do końca analizowanego okresu odnotowywano mniejsze jego wartości w porównaniu z początkowym pH (rys. 5).



Rys. 5. Zmiany pH badanej wody pozostającej w kontakcie z powłoką poliuretanową oraz w kontrolnych próbkach wody

Analizując z kolei wpływ powłok poliuretanowych na zawartość rozpuszczonych dezynfektantów w wodzie, wyniki badań [4] wskazują, że materiał ten również przyczynia się do zmian w ich stężeniu. Podobnie jak w przypadku powłok z wyprawy cementowej oraz powłok epoksydowych zaobserwowano, że przez trwający 30 dni okres badań chlor wolny Cl₂ był w większym stopniu zużywany niż chloramina NH₂Cl. Najmniejszą pozostałość Cl₂ jaką odnotowano to 0,1 mg/l, natomiast w przypadku NH₂Cl nie odnotowano jego spadku poniżej 0,6 mg/l. Największe ilości Cl₂ zużywane były do 4 dnia prowadzonych badań. W przypadku NH₂Cl, w miarę upływu czasu nie zauważono wyraźnej tendencji spadkowej jej zużycia (rys. 6).



Rys. 6. Zużycie i pozostałość Cl₂ oraz NH₂Cl w wodzie kontaktującej się z powłoką poliuretanową

Deb i in. w swoich badaniach [4] przeanalizowali także stopień wpływu powłok z żywic poliuretanowych na zapach wody z rozpuszczonym dezynfektantem (chlorem wolnym Cl_2 lub chloraminą NH_2Cl), który testowany był przez grupę osób. Zapach ten dla części z nich był cuchnący, określany jako zgniły lub stęchły, a dla innych testujących był raczej przyjemny, charakteryzowany jako słodko-chemiczny. We wszystkich próbkach wody pochodzących z 30-dniowego okresu badań wyczuwalny był ten sam zapach, ale o innej intensywności. Zarówno w wodzie z rozpuszczonym Cl_2 , jak i NH_2Cl intensywność zapachu nie przekraczała 8 (intensywność umiarkowana), jednak woda z Cl_2 charakteryzowała się większą średnią wartością tego parametru niż woda z NH_2Cl . W miarę upływającego czasu nie odnotowano spadku średniej intensywności zapachu wody, a zatem ciężko stwierdzić przez jak długi czas po zastosowaniu, powłoki poliuretanowe będą wpływać na jego zmiany.

3. PODSUMOWANIE

Bezwykopowe technologie odnowy przewodów wodociągowych z wykorzystaniem natrysków z wyprawy cementowej oraz żywicy epoksydowej i poliuretanowej posiadają wiele zalet, które związane są m.in. z zapewnieniem wysoce skutecznej ochrony przed korozją, przyczyniając się w ten sposób do poprawy jakości wody w dłuższym okresie czasu. Jednak jak dowodzą badania, bezpośrednio po zastosowaniu tych materiałów zauważa się pogorszenie jej jakości. Pogorszenie to dotyczy wielu bakteriologicznych, fizykochemicznych i organoleptycznych parametrów wody.

Jak się okazuje, każdy z trzech analizowanych materiałów w różny sposób wpływa na pH wody. W przypadku powłok z wyprawy cementowej zauważa się wzrost wartości tego parametru w miarę upływającego czasu do wartości ok. 11–12, przekraczając w ten sposób znacznie dopuszczalny zakres pH w wodzie przeznaczonej do spożycia (6,5–9,5). Zaobserwowano również, że zmiany pH zachodzą intensywniej w wodzie kontaktującej się z cementem o wysokiej zawartości wapnia niż na skutek kontaktu z cementem wysokoglinowym. Ponadto po zabiegu cementowania może pojawić się podwyższone przenikanie do wody glinu w ilościach znacznie przekraczających dopuszczalne wartości. Z kolei zaś powłoki epoksydowe, zarówno stare, jak i nowe nie wpływają istotnie na zmiany pH wody, a poliuretan powoduje wyraźne jego zmniejszenie do poziomu ok. 6.

Zastosowanie środków dezynfekujących w wodzie przeznaczonej do spożycia jest bardzo istotnym elementem w procesie jej uzdatniania, ponieważ ma na celu zniszczenie obecnych w niej mikroorganizmów chorobotwórczych i zapobieganie ich wtórnemu rozwojowi w systemie dystrybucji wody. Na skutek kontaktu z różnymi rodzajami powłok zauważa się zużywanie rozpuszczonych w wodzie dezynfektantów, co jest efektem niepożądanym. Jak przedstawiają wyniki przeanalizowanych badań,

wszystkie trzy analizowane powłoki natryskowe przyczyniają się do intensywniejszego zużycia chloru wolnego Cl_2 niż chloraminy NH_2Cl . W przypadku powłok cementowych największe ilości dezynfektantów wyczerpywane były do 9 dnia analizowanego okresu. Po tym czasie proces zużycia NH_2Cl został prawie zaprzestany, a Cl_2 był dalej zużywany. Powłoki epoksydowe natomiast powodują wzmoczoną intensywność konsumowania rozpuszczonych w wodzie dezynfektantów w ciągu pierwszych 24 godzin, po upływie których jednak nie zauważa się zaprzestania tego procesu. Rozpatrując z kolei powłoki z żywicy poliuretanowej obserwuje się wzmoczone zużycie Cl_2 do 4 dnia trwania badań, w porównaniu ze zużyciem NH_2Cl , w przypadku której nie zaobserwowano tendencji spadkowej w miarę upływającego czasu.

Zarówno powłoka cementowa, jak i epoksydowa oraz poliuretanowa przyczyniają się do zmian zapachu wody. Zastosowanie powłoki cementowej powoduje pojawienie się w wodzie charakterystycznego zapachu cementu, o słabej intensywności zmieniającej się od nieco ponad 3 do 4,5, który jak dowodzą badania może utrzymać się przez kilkanaście dni. W wodzie pozostającej w kontakcie z powłoką z żywicy epoksydowej wyczuwalny był zapach chemiczny o różnym stopniu intensywności, zależnym od rodzaju zastosowanego dezynfektanta, jednak nie przekraczała wartości 9, a zatem jest to intensywność umiarkowana. Z kolei zapach wody w kontakcie z żywicą poliuretanową przez część osób testujących określany był jako zgniły, dla innych zaś był raczej przyjemny, o intensywności nie przekraczającej 8 i nie zmniejszającej się wyraźnie w miarę upływającego czasu, zatem trudno stwierdzić jak długo po zastosowaniu powłoki poliuretanowej może zaznaczać się jej wpływ na zapach wody.

Wyniki badań przedstawione w analizowanych publikacjach wskazują na zróżnicowany wpływ materiałów stosowanych w natryskowej technologii odnowy przewodów wodociągowych na poszczególne parametry jakościowe wody. Wybór metody, która zostanie wykorzystana do renowacji przestarzałych systemów dystrybucji powinien uwzględniać również stopień jej wpływu na jakość wody, bowiem celem przeprowadzonej modernizacji jest nie tylko poprawa stanu technicznego sieci wodociągowej, ale również zapobieganie wtórnym zanieczyszczeniom wody i pogarszaniu jej jakości.

LITERATURA

- [1] BRÓŻ-ŚWIDERSKA M., WOLSKA M., *Główne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji*, Ochrona Środowiska, 2006, nr 4, 29–34.
- [2] BRÓŻ-ŚWIDERSKA M., WOLSKA M., *Przyczyny zużycia chloru wolnego w systemie dystrybucji wody*, Ochrona Środowiska, 2007, nr 3, 19–24.
- [3] DĄBROWSKI W., ZIELINA M., DĄBROWSKA B., WASSILKOWSKA A., *Obliczanie reakcji równowagowych między wykładziną cementową a przepływającą rurociągiem wodą*, Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, PZiTS NOT, Poznań 2012, tom II, 57–66.
- [4] DEB A., MCCAMMON S. B., SNYDER J., DIETRICH A., *Impacts of lining materials on water quality*, Water Research Foundation, 2010.

- [5] DEB A., SILBERT L.K., SCHODER H., *Decision support system for distribution system piping renewal*, AwwaRF and AWWA, 2002, 26–30.
- [6] DIN 2614, *Zementmörtelauskleidungen für Gussröhre, Stahlröhre und Formstücke; Verfahren, Anforderungen, Prüfungen*.
- [7] DONALDSON B. M., WHELTON A.J., *Water quality implications of culvert repair options: cementitious and polyurea spray-on liners*, Final Report, Virginia 2012.
- [8] FERRANTE M., OLIVERI CONTI G., RASIC-MILUTINOVIC Z., JOVANOVIĆ D., *Health effects of metals and related substances in drinking water*, Metals and related substances in drinking water, Research Report Series, London 2014, 16–18.
- [9] GUAN S. W., *100% solids polyurethane coatings technology for corrosion protection in water and wastewater systems*, 9th Middle East Corrosion Conference, Manama, Bahrain 2001.
- [10] HALLAM N. B., *The decay of chlorine associated with the pipe wall in water distribution systems*, Water Research, 2002, Vol. 36, No. 14, 3479–3488.
- [11] HEIM T. H., DIETRICH A. M., *Sensory aspects of drinking water in contact with epoxy – lined copper pipe*, Water Science and Technology, Vol. 55, No. 5, 161–168.
- [12] KIRMEYER G. J., *Guidance manual for maintaining distribution system water quality*, pod red. G. J. Kirmeyer, AwwaRF and AWWA, 2000, 207–208.
- [13] KULICZKOWSKI A., *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*, pod red. A. Kuliczковского, Wydawnictwo Seidel – Przywecki, 2010, 350–359.
- [14] KURDOWSKI W., *Chemia cementu i betonu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [15] MELAND I.S., *Durability of mortar linings in ductile iron pipes*, Durability of Building Materials and Components 8: Proceedings of the Eighth International Conference on Durability of Building Materials and Components, Vancouver 1999, 170–179.
- [16] PN-92/H-74108, *Rury z żeliwa sferoidalnego dla rurociągów ciśnieniowych i bezciśnieniowych – Wykładzina z zaprawy cementowej nakładanej odśrodkowo – Wymagania ogólne*, 1992.
- [17] *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*, (Dz.U. 2007 nr 61 poz. 417).
- [18] SAECHTLING H., *Tworzywa sztuczne*, Poradnik, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [19] Warren Associates (Pipelines) Ltd, *In-situ rapid setting polymeric lining: Operational guidelines and code of practice*, U.K. 2000.
- [20] WHELTON A. J., SALEHI M., TABOR M., DONALDSON B., ESTABA J., *Impact of infrastructure coating materials on storm – water quality: Review and experimental study*, Environmental Engineering, 2013, Vol. 139, No. 5, 746–756.
- [21] ZIELINA M., DĄBROWSKI W., RADZISZEWSKA-ZIELINA E., GŁÓD K., *Wpływ cementowania przewodów żeliwnych na jakość wody w krótkim okresie czasu*, Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody, Gliwice 2013, 517–526.

INFLUENCE OF PIPE RENOVATION METHODS ON TRANSPORTED WATER QUALITY

The paper presents a literature review on influence of pipe renovation trenchless methods on drinking water quality. There are analyzed three kinds of inner coating materials: cement mortar, epoxy and polyurethane, that are commonly used for ductile iron and steel pipes renovation. Each of these coatings have some advantages, however, studies show that in a short time after their application water quality parameters may be visibly changed. There were analyzed the water pH, taste and disinfectants consumption after contacting of water with sprayings. Cement mortar linings causes to water pH increase (even to 11–12) and it contributes to intensify dissolution and leaching of aluminum from the cement lining to water. Lack

of any water pH change is observed after contacting of water with epoxy layer. Polyurethane causes to reduce of water pH (even to 6). All of three analyzed materials contribute to consumption of disinfectants dissolved in water. However, the degree of free chlorine consumption is generally much larger than consumption of chloramines for all of analyzed linings. All of spraying materials: cement mortar, epoxy and polyurethane resins, affect the drinking water smell.