

Zapobieganie korozji siarczanowej w kanalizacji

Preventing hydrogen sulfide corrosion of sewers

BARBARA DĄBROWSKA

DOI 10.36119/15.2019.10.6

Przedstawiono dyskusję dotyczącą metod prewencji i ochrony kanałów betonowych przed korozją siarczanową. Podano zalety i wady poszczególnych metod zwracając szczególnie uwagę na prewencję.
Słowa kluczowe: siarkowódór, korozja betonu, kanalizacja.

A discussion concerning methods of sulfate corrosion prevention and protection of concrete sewers are presented. Advantages and shortcomings of these methods were listed. Special attention was paid to prevention.
Key words: hydrogen sulfate, concrete corrosion, sewerage.

Wstęp

Korozja siarczanowa kanałów betonowych powoduje ich niszczenie od strony sklepienia, a więc tam gdzie nacisk gruntu jest największy. Występuje ona przede wszystkim w betonowych kanałach grawitacyjnych położonych poniżej przewodów ciśnieniowych ale z mniejszą intensywnością przebiega również w kanalizacji wyłącznie grawitacyjnej, zbudowanej z przewodów betonowych, ułożonych z małym spadkiem i źle przewietrzanych. Przeciwdziałać temu zjawisku można na różne sposoby, ale przede wszystkim należy rozpocząć od prewencji, a więc takiego sposobu budowy przewodów tłocznych oraz grawitacyjnych, przy którym korozja siarczanowa nie stanowi istotnego zagrożenia stanu technicznego kanałów.

Zapobieganie korozji

Jedną z zasad projektowania kanalizacji, z uwagi na minimalizowanie skutków korozji siarczanowej jest stosowanie do budowy materiałów, które jej nie ulegają, jak np. tworzywa sztuczne lub szczelne wykładziny przykrywające powierzchnię betonu. W tym przypadku można całkowicie uniknąć korozji siarczanowej kanałów betonowych, ale nie problemu występowania intensywnych odorów. Ponadto oddalamy w ten sposób zagrożenie korozją w kierunku oczyszczalni ścieków. Beton oczyszczalni może być również chroniony wykładzinami lecz aby uniknąć uciążliwego problemu odorów, konieczne jest tam usunięcie siarko-

wodoru, często pod kopułą ułatwiającą proces kontroli ilości dozowanych chemikaliów. Ponadto siarkowódór jest toksyczny i stwarza niebezpieczeństwo dla obsługi sieci kanalizacyjnej. Najlepiej jest więc stosować odpowiednie metody projektowania kanalizacji i zapobiegać powstawaniu wysokich stężeń siarkowodoru w ściekach i w rezultacie w powietrznej części kanalizacji grawitacyjnej intensywnej korozji siarczanowej. Jest ona szczególnie agresywna w kanałach betonowych i żelbetonowych położonych poniżej długich przewodów tłocznych i nasila się gdy są nimi transportowane stężone ścieki. Tak więc w pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na korozję betonu poniżej przewodów tłocznych.

Średnice przewodów tłocznych

Redukcja siarki w przewodach tłocznych mieszanego systemu kanalizacji odbywa się głównie w biofilmie porastającym ściany tego przewodu, a nie w ściekach [13], [2], [3], [4], w których liczebność bakterii redukujących siarkę jest niewielka. Dlatego równania opisujące szybkość redukcji siarki w przewodach tłocznych są tak konstruowane, że jest ona proporcjonalna do powierzchni biofilmu, a więc do średnicy przewodu. Nie oznacza to, że po określonym czasie stężenie rozpuszczalnych siarczków w przewodzie o większej średnicy będzie większe. Można się spodziewać, że będzie ono mniejsze, gdyż powierzchnia biofilmu jest proporcjonalna do średnicy wewnętrznej przewodu, a ilość ścieków wypełniających

przewód do kwadratu tej średnicy. Tak więc, czym większa jest średnica, tym więcej ścieków przypada na jednostkę powierzchni biofilmu i mniejsze będzie stężenie siarczków rozpuszczalnych po upływie jednostki czasu, na przykład jednej godziny. Jednakże czym większa średnica, tym większa jest powierzchnia biofilmu, a więc większa masa rozpuszczalnych siarczków jest produkowana w jednostce czasu i na odpływie z przewodu tłoczego o większej średnicy wystąpi większe stężenie siarczków dwuwartościowych, co tłumaczy się przez dłuższy czas przetrzymania w przewodzie tłoczonym, który jest wprost proporcjonalny do kwadratu średnicy.

Oznacza to, że dobierając mniejszą średnicę przewodu tłoczego, zmniejszamy masę siarczków wypływających z przewodu tłoczego. Różnice te mogą być znaczne, co pokazano na przykładzie zmniejszenia średnicy wewnętrznej przewodu tranzytowego z Kalisza, w kierunku oczyszczalni Kuchary [4]. W przypadku projektowania przewodu tranzytowego wody do picia średnica powinna wynikać z rozwiązania zadania optymalizacyjnego o najmniejszym koszcie sumarycznym budowy i eksploatacji przewodu w odniesieniu do czasu użytkowania go albo do jednego roku eksploatacji. W przypadku transportu ścieków długimi przewodami ciśnieniowymi funkcją celu zostaje powiększona o koszt usuwania powstałego w przewodzie siarkowodoru, co oznacza, że prędkości ekonomiczne w przypadku przewodów ściekowych są większe od prędkości ekonomicznych przy transporcie wody.

dr hab.inż. Barbara Dąbrowska, prof. PK – ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2720-2783> – Politechnika Krakowska. Adres do korespondencji: ucdabrow@cyf-kr.edu.pl

Należy jednakże pamiętać o tym, że po rozwiązaniu zadania optymalizacyjnego powinno się przeprowadzić analizę postoptymalizacyjną, czyli badanie czułości rozwiązania. Służy to sprawdzeniu, na ile wartość funkcji celu ulega zmianie w wyniku małych zmian zmiennych decyzyjnych w pobliżu rozwiązania optymalnego. W rozważanym przypadku mamy do czynienia z zadaniem optymalizacyjnym jednokryterialnym i w dodatku zaledwie o jednej zmiennej decyzyjnej, którą jest średnica wewnętrzna przewodu. Wartość funkcji celu, a więc koszt całkowity szybciej rośnie, gdy zmniejsza się, niż gdy się zwiększa wartość średnicy wewnętrznej przewodu ciśnieniowego [11]. Bowiern w równaniu Darcy-Weisbacha na opory przepływu przez przewody kołowe średnica jest w mianowniku, a prędkość przepływu w liczniku i to do kwadratu. Przy ustalonej wartości przepływu Q ta prędkość jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu średnicy. Podsumowując, dla przepływu w pełni burzliwego opory hydrauliczne transportu cieczy przez rurociąg przy ustalonej wartości Q byłyby odwrotnie proporcjonalne do piątej potęgi średnicy wewnętrznej przewodu, a więc w przybliżeniu dotyczyłoby to również energii zużytej na pompowanie. Dlatego przy tak dużym stopniu, jakim jest dynamiczna zmiana cen energii, uznać można za uzasadnione projektowanie nieco większych średnic przewodów tłocznych ścieków niż uzyskane z rozwiązania zadania o średnicy optymalnej. Niemniej przy każdym przewymiarowaniu należy zachować umiar, a między innymi konieczne jest stwierdzenie, czy przyjmując zbyt dużą średnicę przewodu tłoczego nie stworzymy warunków hydraulicznych do odkładania osadu, co przyspieszyłoby redukcję siarki w osadach w porównaniu z redukcją w biofilmie. Okazało się, że chociaż w osadzie dochodzi do redukcji siarki szybciej niż w biofilmie, to jednak i tak biologicznie czynna jest wyłącznie wierzchnia warstwa osadu [13]. Powodem jest to, że aby doszło do redukcji siarki w osadzie konieczne jest aby dyfundowały do niego zarówno siarczany, jak i węglowodory, a transport masy trwa tym dłużej im głębiej te związki chemiczne są transportowane. Tak więc w praktyce szściowartościowa siarka z siarczanów zostanie zredukowana do minus dwuwartościowej przez bakterie bytujące w wierzchniej warstwie osadu, gdzie transport węgla organicznego i siarczanów jest najefektywniejszy. Układanie kanałów grawitacyjnych w spadkach zapobiegających nadmiernemu odkłada-

niu osadów jest jedną z metod ograniczania korozji siarczanowej.

Zapobieganie odkładaniu osadów

Projektowanie spadków minimalnych powinno być tak prowadzone, aby w kanałach nie odkładały się nadmierne osady. Oprócz oczywistych przyczyn eksploatacyjnych należy pamiętać o tym, że osady takie są bardziej zasiedlone niż biofilm w mikroorganizmy redukujące siarkę. Ponadto osady powodują spiętrzenia ścieków i w rezultacie ich mniejszą aerację.

W celu uniknięcia nadmiernych osadów kanały należy prowadzić w spadkach co najmniej równych minimalnym. To czy wystąpi tendencja do odkładania się, czy też do rozmywania osadów zależy, nie tylko od wymiaru i kształtu kanału, ale również od wysokości jego napełnienia. Prostym i jednocześnie uzasadnionym teoretycznie sposobem doboru spadków minimalnych jest ustalanie ich wartości w oparciu o średnią wartość naprężeń ścinających wzdłuż obwodu zwilżonego. Jego wartość opisuje proste równanie (1).

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot S \quad (1)$$

Tabela 1. Wartości współczynników nierównomierności przepływu ścieków bytowo-gospodarczych według U.S. EPA [8],[11]

	Q_{dpsr} [dm ³ /s]	1	20	50	100	200	300	400	2000
Ogólny współczynnik nierównomierności natężenia przepływu	N_{og}	5.70	4.30	3.00	2.30	1.95	1.80	1.70	1.40
Maksymalny godzinowy współczynnik nierównomierności przepływu ścieków	N_{hmax}	2.11	1.72	1.50	1.39	1.30	1.28	1.27	1.24
Minimalny godzinowy współczynnik nierównomierności przepływu ścieków	N_{hmin}	0.14	0.25	0.30	0.38	0.50	0.53	0.56	0.64

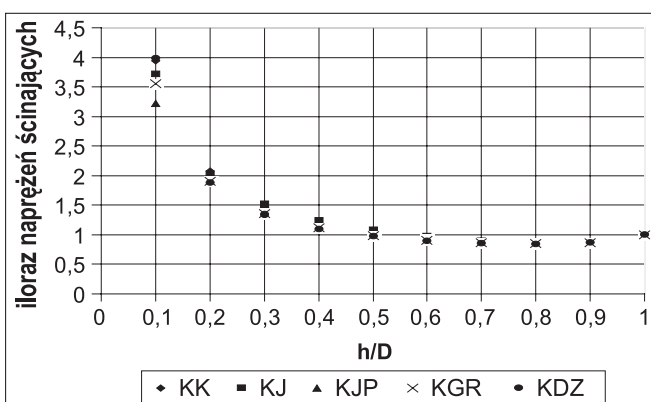
W równaniu tym τ jest naprężeniem ścinającym w N/m², g przyspieszeniem ziemskim w m/s², R_h promieniem hydraulicznym w metrach, S bezwymiarowym spadkiem w którym układany jest kanał [5]. Równanie (1) pozwala udowodnić, że w kanałach o tym samym kształcie, przy tej samej wartości napełnienia względnego, takie same wartości średnich naprężeń ścinających wzdłuż obwodu zwilżonego

wystąpią, gdy spadki kanałów będą odwrotnie proporcjonalnie dobrane do wysokości ich przekrojów [6], [7]. Tym samym teoretycznie została udowodniona zasada Imhoffa [7], że spadki minimalne są odwrotnie proporcjonalne do średnicy kanału. Najmniejsza dopuszczalna wartość naprężeń ścinających, która powinna być co najmniej raz na dobę osiągnięta wynosi według różnych źródeł literaturowych dla ścieków bytowo-gospodarczych 2,2 N/m², a nigdzie nie jest przyjmowana poniżej 1,8 N/m², co należy rozumieć za zupełnie najmniejszą dopuszczalną wartość. Kanalizacja bytowo-gospodarcza musi być w stanie odprowadzić największą wartość przepływu w ciągu roku z zachowaniem warunków przewietrzania i raz w przeciętnej dobie przekroczyć wymaganą wartość naprężeń ścinających na granicy ściana kanału i przepływające ścieki. Współczynniki nierównomierności przepływu według US EPA podano w tabeli 1, ale należy pamiętać, że w czasie pogody deszczowej o realnych wartościach N_{og} , N_{hmax} decyduje szczelność kanalizacji oraz wody przypadkowe i infiltracyjne. Przez Q_{dpsr} oznaczono średnie dobowe natężenie przepływu ścieków,

a przez N_{og} , N_{hmax} , N_{hmin} kolejno ogólny współczynnik nierównomierności przepływu, maksymalny godzinowy współczynnik nierównomierności przepływu oraz minimalny godzinowy współczynnik nierównomierności przepływu.

Dla oceny warunków samooczyszczania kanałów lub tworzenia osadów niezmiernie ważną rzeczą jest wysokość napełnienia. Na rysunku 1 przedstawiono

Rys.1
Iloraz naprężeń ścinających τ_o / τ na granicy kanał-ścieki, gdzie τ_o jest naprężeniem ścinającym przy pełnym napełnieniu kanału $\eta=1$ na granicy ściana kanału-przepływające ścieki, a τ naprężeniem ścinającym przy dowolnym napełnieniu $0 < \eta < 1$ [12]



w funkcji $\eta = h/D$ iloraz naprężenia ścinającego przy pełnym napełnieniu kanału τ_0 do naprężeń ścinających przy częściowym napełnieniu. Przez h oznaczono wysokość napełnienia kanału ściekami, a przez D jego wysokość, a więc dla kanału kołowego wprost średnicę. Przez KK oznaczono kanał kołowy, KJ – kanał jajowy, KJP – kanał jajowy podwyższony, KGR – kanał gruszkowy, KDZ – kanał dzwonowy. Z rysunku 1 jednoznacznie wynika, że w kanale kołowym zaprojektowanym tak, aby nie tworzyły się osady przy pełnym napełnieniu warunki transportu osadu nie ulegną pogorszeniu tak długo, jak napełnienie tego kanału nie spadnie wyraźnie poniżej połowy wysokości przekroju. Następnie, czym mniejsze napełnienie tym gorsze warunki transportu osadu. Dlatego w dużych kanałach ogólnospławnych buduje się kinety na przepływy w czasie pogody ogólnospławnej.

Jeżeli nie dysponuje się odpowiednim oprogramowaniem, to dobór spadków minimalnych kanałów ściekowych można uprościć, stosując następujące spostrzeżenia praktyczne, które wynikają z przeprowadzonych symulacji numerycznych [6], [9]. Podane tutaj praktyczne zasady doboru spadków minimalnych odnoszą się wyłącznie do kanałów ściekowych dobranych tak aby dla aktualnych największych rocznych przepływów napełnienie wynosiło 0,7-0,8 wysokości przekroju. Jeżeli kanał jest projektowany z dużą rezerwą na zwiększone przepływy w przyszłości, to zasady te również odnoszą się wyłącznie do tego przewidywanego stanu w przyszłości. Dla chwili obecnej w takim przypadku należy przeprowadzić obliczenia, lub prościej, posłużyć się rysunkiem 1:

- dobór spadku minimalnego kanału sanitarnego o przekroju kołowym zapewniającego przekroczenie raz w dobie wartości naprężeń ścinających 1,8-2,2 N/m² można prowadzić tak aby przy pełnym napełnieniu kanałów dla średnic KK200mm – 250 mm naprężenie ścinające τ_0 przekroczyło 2,5 N/m², dla KK 300mm-500mm wartość τ_0 równą 2,2 N/m², a dla KK 600mm-700 mm τ_0 2,0 N/m²,
- w kanałach jajowych o wymiarze przekraczającym KJ 0,60m-0,90m, ułożonych w spadkach minimalnych dobranych tak, aby naprężenie ścinające przy pełnym napełnieniu przekroju $\tau_0 = \tau(\eta=1)$ było równe 1,8N/m², wartości naprężeń ścinających co najmniej raz w przeciętnej dobie przekraczają tę wartość, począwszy od kanału KJ 0,70m-1,05m przy spadku

dobranym tak aby dla pełnego napełnienia przekroju $\tau_0 = \tau(\eta=1) = 2,2 \text{ N/m}^2$ również wartość tego naprężenia co najmniej raz w przeciętnej dobie przekracza τ_0 . Tak więc aby zaprojektować kanał jajowy KJ 0,70m-1,06m lub większy, tak aby raz w dobie przekroczone była zadana wartość τ , wystarczy, aby obliczyć spadek kanału w sposób gwarantujący wystąpienie tej wartości naprężenia przy pełnym napełnieniu kanału. Takie zadanie projektant może wykonać bez dostępu do programu numerycznego. Oczywiście w kanałach bytowo-gospodarczych nie dopuszcza się eksploatacji przy pełnym napełnieniu kanału a jedynie jest to sposób pozwalający bez specjalistycznego oprogramowania na dobranie spadku minimalnego kanału, w którym co najmniej raz na przeciętną dobę przekroczone zostaną wartości wymaganych naprężeń ścinających a w czasie największego rocznego przepływu wysokości napełnienia nie przekroczy 0,8 wysokości przekroju, zapewniając możliwość przewietrzania kanału.

Drugim sposobem doboru spadków minimalnych może być zastosowanie prędkości granicznej v_c , zdefiniowanej jako: prędkość średnia arytmetyczna w przekroju poprzecznym kanału, przy której rozpoczyna się erozja odłożonego wcześniej osadu. Najprostszym chyba wzorem na taką prędkość graniczną v_c jest równanie (2) autorstwa Novak-Nalluri [12].

$$v_c / (g \cdot d \cdot (s-1))^{0,5} = a \cdot (d/R_h)^b \quad (2)$$

W równaniu tym g jest przyspieszeniem ziemskim, d średnicą ziaren piasku, s gęstością względną kwarcu w stosunku do wody, a oraz b współczynnikami empirycznymi zależnymi od kształtu przekroju kanału, R_h promieniem hydraulicznym przekroju poprzecznego kanału. Jednostki w równaniu (2) dobiera się zgodnie z systemem miar SI. Z równania (2) wynika w sposób oczywisty, że nie istnieje jedna wartość prędkości granicznej w kanalizacji i że jest ona uzależniona w dużym stopniu od promienia hydraulicznego, a więc zarówno od wielkości i kształtu kanału, jak i od wysokości jego napełnienia. Analiza aplikacji równania (2) do doboru spadku minimalnego kanałów ściekowych prowadzi do wyników analogicznych jak obliczenia oparte na średniej wartości naprężeń ścinających na granicy ściana kanału – przepływające ścieki.

W literaturze można znaleźć wiele równań służących do oceny warunków

transportu osadów ściekowych. Jednakże dobór spadków minimalnych w kanalizacji w oparciu o równanie (1) jest prosty i równocześnie oparty na przesłankach teoretycznych. Ponadto można na podstawie tego równania uzasadnić zasadę Imhoffa doboru spadków minimalnych, a ta zasada sprawdzała się przez całe ostatnie stulecie.

Przewietrzanie kanalizacji

O intensywności korozji siarczanowej decydują następujące czynniki:

- ilość dostępnego dla bakterii węgla organicznego mierzona przez OWO, ChZT, BZT,
- czas przepływu,
- średnica przewodu,
- pH ścieków,
- ilość jonów żelaza w ściekach i innych metali oraz azotanów,
- przewietrzanie kanalizacji,
- wiek betonu,
- zasadowość betonu i jego jakość.

Przewietrzanie odbywa się głównie przez wywietrzniki zlokalizowane na dachach budynków. Wywietrzniki spełniają dwie role, z których jedną jest zapobieganie wytwarzaniu podciśnienia w czasie spływania pionem z tłuczki ustępowej. To zadanie może być spełnione przez zawory napowietrzające. One jednak nie uczestniczą w przewietrzaniu sieci kanalizacyjnej. Dlatego ich stosowanie jest ograniczone. W domach jednorodzinnych powinien być zainstalowany co najmniej jeden wywietrznik na pionie najdalej położonym od podłączenia do sieci a w budownictwie wielorodzinnym na cztery zawory napowietrzające ma być założony nie mniej niż jeden wywietrznik. Im więcej wywietrzników, tym lepiej.

Zapobieganie korozji

Prawidłowy dobór średnicy przewodów tłocznych oraz spadków kanałów grawitacyjnych, jak również intensywne przewietrzanie kanałów, stanowią prewencję w stosunku do korozji siarczanowej. Chociaż prewencja jest niezbędna to jednak często sama nie wystarcza i wówczas stosuje się metody polegające na:

- wprowadzeniu do ścieków tlenu w postaci tlenu gazowego, powietrza, ozonu, wody utlenionej, nadmanganianu potasu albo azotanów,
- wprowadzeniu jonów żelaza,
- podniesieniu pH ścieków powyżej 8,5,
- dawkowaniu mikroorganizmów hamujących rozwój mikroorganizmów redukujących siarkę.

Podniesienie pH ścieków przeciwdziała korozji dzięki zmianie siarkowodoru w ściekach w formę jonową HS^- ale jest rzadko stosowane, gdyż wymaga bardzo dużej ilości zasady a ponadto może gwałtowną korozję o zasięgu lokalnym zamienić na korozję o łagodnym przebiegu. W tabeli 2 przedstawiono [10] zestawienie wad i zalet podstawowych metod ochrony przed korozją.

cja siarki odbywa się w biofilinie. Ścieki są bogate w bakterie i inne mikroorganizmy [1] ale zawierają zbyt mało tych, które redukują siarkę, aby redukcja ta była istotna dla korozji siarczanowej [13]. Chyba, że ktoś transportowałby zagnite ścieki. Taki transport zagnitych ścieków kanałami betonowymi doprowadziłby bardzo szybko do katastrofy budowlanej. Stężenie siarczanów ma wpływ na intensywność

kach gdy zachodzi taka potrzeba. Ich zastosowanie wymaga bowiem poniesienia kosztów.

LITERATURA

- [1] Ashley R.M., Dąbrowski W., Dry and storm weather transport of Coliforms and Faecal Streptococci in combined sewage, *Water Sci Technol.*, 1995,31,7,311-21
- [2] Dąbrowski W., Czy stężenie siarczanów ma istotny wpływ na korozję siarczanową? część I – podstawy prognozowania, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2010,11, 25-28
- [3] Dąbrowski W., Czy stężenie siarczanów ma istotny wpływ na korozję siarczanową? część II – Rzeczywisty przykład obliczeniowy, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2010,12,34-38
- [4] Dąbrowski W., F. Li, Reducing hydrogen sulfide corrosion risk by using higher velocities of wastewater flow through force main, *Forum on Studies of Environment and Public Health Issues in the Asian Mega-cities (EPAM-2015) & Annual Meeting of Environmental Medicine and Health Branch of Chinese Society for Environmental Sciences (EMES-2015)*, October 3-November 1, 2015, Xiamen, Fujian, China. – 2015, S. 4-16
- [5] Dąbrowski W., Konstruktywna krytyka zasad doboru spadków minimalnych kanałów ogólnospławnych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 1995,5,149-153
- [6] Dąbrowski W., Kowalska M., Piaseczny G., Projektowanie spadków minimalnych ściekowych kanałów jajowych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2001,7,251-258
- [7] Dąbrowski W., Piaseczny G., Numerical simulation of domestic wastewater sewer performance, *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 2000,5,93-97
- [8] Dąbrowski W., Wpływ kanalizacji na środowisko, *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, 2004, 218 str.
- [9] Dąbrowski W., Zasady projektowania kanalizacji ze względu na uciążliwość eksploatacji osadami ściekowymi, *Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Problemy Eksploatacji Kanalizacji i Odwodnień. Zagrożenia i Oszczędności*, Centrum Edukacji „Alias”, Poznań 2002, 8str.
- [10] Firer D., Friedler E., Lahav O., Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications, *Science of the Total Environment*, 2008,392, 145-156
- [11] Niemiec A., Dąbrowski W., Dobór optymalnej średnicy rurociągów przesyłowych, *Instal* 2014, 351, 5, 52-55
- [12] Nalluri C., Dąbrowski W., Need for new standards to prevent deposition in wastewater sewers, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 1994,120,5,1032-1043
- [13] U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Research Information, Office of Research and Development, Cincinnati, Design manual, *Odor and Corrosion Control in Sanitary Sewerage Systems and Treatment Plants*, 1985, EPA/625/1 – 85/018, Oct., 132 pp. ■

Tabela 2 Zalety i wady stosowanych obecnie metod zapobiegania korozji w systemach kanalizacyjnych i przepompowniach według publikacji D.Firer, E.Friedler oraz O.Lahav [10]

metoda	zalety	wady
Zwiększenie stężenia tlenu przez napowietrzanie lub wprowadzenie par ciekłego tlenu dla zapobieżenia powstaniu warunków anoksydacyjnych	Powietrze łatwo dostępne, nie tworzą się szkodliwe półprodukty, napowietrzanie może być korzystne z uwagi na pracę oczyszczalni ścieków.	Mąta rozpuszczalność tlenu w wodzie powoduje, że wzdłuż przewodu tłocznego należy zlokalizować kilka punktów napowietrzania. Te układy są energochłonne.
Dodawanie rozpuszczalnych azotanów jak np. KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$	Dopóki dostępne są azotany siarka nie jest redukowana. Odczynniki są stosunkowo niedrogie i mogą być dawkowane w dowolnie dużych ilościach, migrują do biofilmu.	W ten sposób zapobiega się redukcji siarki ale siarka zredukowana przed miejscem dawkowania chemikaliów nie zostanie utleniona. Wpływ kationów na oczyszczalnię ścieków może nie być korzystny. Potrzebny jest monitoring i optymalizacja dawkowania.
Chemiczne utlenianie przez dawkowanie silnych utleniaczy jak: ozon, woda utleniona, nadmanganian potasu, chloraminy, itp.	Przy dawkowaniu wody utlenionej nie dodaje się soli, a więc mały wpływ na skład ścieków. Silne utleniacze łatwo reagują z siarczkami.	Utleniacze są niebezpieczne w transporcie, reagują ze związkami organicznymi a więc ich ilość znacznie przekracza stechiometryczne zapotrzebowanie w odniesieniu do siarczków, zastosowanie chloru powoduje przedostawanie się niechcianych soli do ścieków.
Dawkowanie soli żelaza dwu, lub trójwartościowego, lub ich wspólnie $[FeCl_3, FeCl_2, Fe(NO_3)_3, Fe_2(SO_4)_3]$.	Specyficzne i efektywne utlenianie siarki przez jony Fe^{3+} a następnie wytrącanie FeS , odczynniki są w miarę niedrogie, a żelazo może pomóc w oczyszczalni ścieków wytrącić fosforany.	Nie likwidują odorantów innych niż siarkowodor, sole mogą powodować koagulację i flokulację w kanalizacji,
Usuwanie odorantów, w tym H_2S , adsorpcję (GAC) albo reaktory biochemiczne	Efektywne w miejscu w którym generowany jest siarkowodor, duże doświadczenie w stosowaniu, brak potrzeby transportu chemikaliów.	Usuwa odoranty ale niekoniecznie problem korozji, potrzebna jest wymiana i regeneracja złoża z węglem aktywnym.
Podniesienie pH ścieków powyżej 8,5.	Może być efektywne ale jedynie lokalnie gdyż pH zmienia się wraz z drogą płynięcia.	Duże dawki silnych zasad z uwagi na stosunkowo wysoką pojemność buforową ścieków.
Dawkowanie mikroorganizmów antagonizujących do mikroorganizmów redukujących siarkę.	Mogą zmniejszyć BZT_5 ścieków oraz ilość osadów ściekowych w oczyszczalniach.	Duża niepewność, jeśli idzie o współpracę z osadem czynnym w oczyszczalni ścieków.
Usprawnienie wentylacji przez budowę kominów wystających powyżej zabudowy tak aby odoranty rozprzyszczyć wysoko w powietrzu.	Koszty eksploatacyjne są bardzo niskie.	Efekt lokalny, a potrzeba częstego budowania takich instalacji. Są one nieestetyczne. Układ przewietrzania bardziej pomaga w likwidacji odorów niż korozji.

Uwagi końcowe i podsumowanie

Korozja siarczanowa kanałów betonowych jest w Polsce słabo rozpoznana. W wielu publikacjach pojawiają się stwierdzenia, że wynika ona z zagniwania ścieków albo, że zależy od stężenia siarczanów. Jedno i drugie stwierdzenie jest nieprawdziwe. Ścieki zagniwają zazwyczaj po okresie długotrwałego braku dostępu tlenu, znacznie przekraczającego czas przepływu przewodem tłocznym, a reduk-

korozji siarczanowej jedynie w niezmiernie rozcieńczonych ściekach, gdyż szybkość redukcji siarki w biofilmie jest zazwyczaj limitowana przez dyfuzję do niego węglowodorów.

Disponujemy metodami prewencyjnymi, zarówno w ochronie przed korozją, jak też przed korozją siarczanową oraz metodami opartymi na dawkowaniu związków chemicznych i bakterii. Prewencja powinna być stosowana zawsze, a inne metody ochrony w tych przypad-



Zapraszamy na naszą stronę www.informacjainstal.com.pl