

Ocena agresywności środowiska w zamkniętych żelbetowych obiektach gospodarki ściekowej

Mgr inż. Tomasz Szczepański, Diagnostyka budowli TS Tomasz Szczepański,
prof. dr hab. inż. Anna Halicka, Politechnika Lubelska

1. Wprowadzenie

Ścieki bytowo-gospodarcze mające odczyn lekko zasadowy, uznawane są za stosunkowo mało agresywne w stosunku do betonu. Tymczasem praktyka pokazuje, że w zamkniętych obiektach gospodarki ściekowej ponad lustrem ścieków mogą wystąpić silne uszkodzenia korozyjne.

W niniejszej pracy dokonano analizy czynników agresywnych w stosunku do betonu w zamkniętych obiektach gospodarki ściekowej na przykładzie czterech różnych grup obiektów zlokalizowanych w różnych regionach Polski. Na podstawie analiz chemicznych ścieków, ich osadów i skroplin na ścianach i stropach oraz atmosfery ponad ściekami, a także oceny stanu powierzchniowych warstw betonu i zbrojenia sformułowano wnioski dotyczące agresywności środowiska oraz wytycznych do projektowania ochrony przeciwkorozyjnej takich obiektów.

2. Case study – cztery grupy obiektów gospodarki ściekowej

Analizy obejmują cztery grupy obiektów związanych z gospodarką ściekową, które były przedmiotem ekspertyz zrealizowanych przez autorów artykułu. Cechą charakterystyczną tych obiektów jest to, że są one przekryte i niedostatecznie wentylowane. Analizowano:

- pięć komór rozprężnych znajdujących się na trasie kolektora ściekowego, które poddane naprawom powierzchniowym z użyciem mineralnych materiałów naprawczych uległy ponownej destrukcji już po dwóch latach użytkowania (obiekty nr 1),
- kanały doprowadzające ścieki do oczyszczalni, a konkretnie dwa ostatnie odcinki przed budynkiem krat, wiek kanałów około 35 lat (obiekty nr 2),
- komorę rozdziału ścieków surowych w oczyszczalni, wiek – około 10 lat (obiekt nr 3),
- komorę defosfatacji bioreaktora, wiek – około 10 lat (obiekt nr 4).

Poniżej opisano, a na rysunkach 1–4 zilustrowano fotograficznie stan techniczny analizowanych obiektów. We wszystkich widoczna jest silna destrukcja powierzchniowych warstw konstrukcji.

Ponad lustrem ścieków w komorach rozprężnych (obiekty nr 1)



Rys. 1. Destrukcja napraw powierzchniowych komór rozprężnych (obiekty nr 1) w dwa lata po wykonaniu



Rys. 2. Destrakcja kanałów ściekowych (obiekty nr 2) po 35 latach użytkowania: a) widok ogólny, b) destrukcja otuliny betonowej ścian i odsłonięte skorodowane zbrojenie, c) degradacja betonu stropu z odsłoniętym zbrojeniem, d) wyłamujące się samoczynnie zbrojenie stropu



Rys. 3. Destrakcja komory rozdziału ścieków (obiekt nr 3) po około 10 latach użytkowania: a) wejście do komory – korozja betonu z odsłoniętym zbrojeniem, b) powierzchnia betonu pokryta produktami korozji, c) destrukcja ściany i widocznymi głębokimi wżerami w betonie w dolnej części i skorodowanym zbrojeniem

warstwy mineralnego materiału naprawczego łuszczyły się, lokalnie były odspojone, a lokalnie występowały ich ubytki. W kanałach (obiekty nr 2), gdzie nie było wypraw i powłok ochronnych, powierzchniowa warstwa betonu ponad lustrem ścieków o grubości około 30–40 mm była bardzo słaba i „miękką”, łatwo odspajała się pod uderzeniem młotka. Na ścianach występowały obszary ubytków otuliny zbrojenia, a odsłonięte zbrojenie wykazywało oznaki silnej korozji. Beton na stropach kanałów był porowaty, występowały „wżery” korozyjne, miejscami widoczne były ciemne nacieki i żółtawe wykwity. Na znacznej powierzchni występowały ubytki otuliny, a odsłonięte zbrojenie było silnie skorodowane (pręty dawały się łatwo wyłamywać z konstrukcji, a niektóre wyłamały się samoczynnie i zwiślały z konstrukcji). Komora rozdziału ścieków (obiekt nr 3) została zaprojektowana i wykonana z uwzględnieniem jedynie ochrony materiałowo-strukturalnej, czyli bez zastosowania powłok ochronnych. Po około 10 latach eksploatacji na ścianach i stropie



Rys. 4. Destrukcja komory defosfatacji bioreaktora (obiekt nr 4) po około 10 latach użytkowania: a) widok korony zbiornika po zdjęciu przekrycia z łupin z laminatu – widoczny ubytek powłoki ochronnej i destrukcja betonu w górnym pasie ściany, b) skorodowana powierzchnia betonu w części nadściekowej, brak pierwotnie ułożonej powłoki ochronnej c) korozja betonu na powierzchni stropu żelbetowego – brak pierwotnie ułożonej powłoki ochronnej

stwierdzono ubytki betonu o głębokości 20–30 mm oraz odsłonięte kruszywo grube. Na powierzchni zalegała mazista substancja, będąca efektem korozji betonu. Przy wejściu do komory odsłonięte pręty zbrojeniowe były skorodowane, a ubytki wynosiły co najmniej 30% pierwotnego przekroju. Dodatkowo w dolnej części ściany, na głębokości około 5 m, odkryto wżery korozyjne w betonie o głębokości do 100 mm i całkowite zniszczenie wielu prętów zbrojeniowych w tym obszarze. Intensyfikacja procesów wynikała

stąd, że do czynników destrukcyjnych, charakterystycznych dla strefy nadściekowej, dołączyło silne falowanie ścieków. Spowodowało ono wymywanie produktów reakcji chemicznych i odsłanianie kolejnych głębszych warstwy betonu. Komora defosfatacji bioreaktora (obiekt nr 4) została zabezpieczona podstawową powłoką ochronną z modyfikowanych żywic epoksydowych. Po około 10 latach eksploatacji w strefie nadściekowej (stanowiącej tylko 9% powierzchni ściany) nastąpiło przeniknięcie czynników korozyjnych

Tabela 1. Zestawienie wyników badań chemicznych środowiska i betonu w badanych obiektach

	Obiekty nr 1	Obiekty nr 2	Obiekty nr 3	Obiekty nr 4
Funkcja	pięć komór rozprężnych kolektora ściekowego	dwa kanały doprowadzające ścieki do budynku krat	komora rozdziału ścieków	komora defosfatacji bioreaktora
Powłoka	wyprawy mineralne	brak	brak	powłoka żywiczna
pH osadów bądź skroplin na powierzchni betonu	0,5–1,0	2,31	–	–
Zawartość siarczanów w osadach na powierzchni betonu	–	3,10% w stosunku do masy próbki	–	–
Stężenie siarkowodoru w powietrzu	5–92 ppm (średnio 60 mg/m ³)	20 ppm (28 mg/m ³) u wylotu kanałów	0–228 ppm (średnio 122 mg/m ³)	20–795 ppm (średnio 294 mg/m ³)
pH otuliny betonowej lub wyprawy mineralnej	7,7–8,7	9,5	na powierzchni 8,53 na gł. 10 mm 11,53	na powierzchni 10,85 na gł. 10 mm 11,65
Zawartość siarczanów w otulinie betonowej lub wyprawie mineralnej	4,37–5,62% w stosunku do masy cementu	6,7% w stosunku do masy cementu	2,81–5,0% w stosunku do masy cementu	0,62–0,94% w stosunku do masy cementu
Zawartość chlorków w otulinie betonowej lub wyprawie mineralnej	0,06% w stosunku do masy cementu	0,08% w stosunku do masy cementu	–	–

Tabela 2. Klasyfikacja agresywności chemicznej wód gruntowych i gruntu stykających się z betonem, według PN-EN 206-1 (w tabeli przytoczono jedynie wybrane czynniki agresywne)

Charakterystyka chemiczna	Klasa ekspozycji		
	XA1	XA2	XA3
Wody gruntowe			
SO ₄ ²⁻ mg/l	200 < SO ₄ ²⁻ ≤ 600	600 < SO ₄ ²⁻ ≤ 3000	3000 < SO ₄ ²⁻ ≤ 6000
NH ₄ ⁺ mg/l	15 ≤ NH ₄ ⁺ ≤ 30	30 < NH ₄ ⁺ ≤ 60	60 < NH ₄ ⁺ ≤ 100
pH	5,5 ≤ pH ≤ 6,5	4,5 ≤ pH < 5,5	4,0 ≤ pH < 4,5
Grunt			
SO ₄ ²⁻ mg/kg	2000 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 3000	3000 < SO ₄ ²⁻ ≤ 12000	12000 < SO ₄ ²⁻ ≤ 24000

Tabela 3. Klasyfikacja agresywności chemicznej według PN-80/B-01800 (w tabeli przytoczono jedynie wybrane czynniki agresywne)

Charakterystyka chemiczna	Klasa ekspozycji		
	<i>I_a</i>	<i>m_a</i>	<i>h_a</i>
Gazy stykające się z elementem żelbetowym, przy wilgotności powietrza >75%			
H ₂ S mg/m ³	H ₂ S < 0,01	0,01 ≤ H ₂ S ≤ 5	H ₂ S > 5
Ciecze			
SO ₄ ²⁻ mg/l	<i>I_{a1}</i> : 250 < SO ₄ ²⁻ ≤ 350 <i>I_{a2}</i> : 350 < SO ₄ ²⁻ ≤ 500	500 < SO ₄ ²⁻ ≤ 1000	SO ₄ ²⁻ > 1000
NH ₄ ⁺ mg/l	<i>I_{a1}</i> : 10 < NH ₄ ⁺ ≤ 100 <i>I_{a2}</i> : 100 < NH ₄ ⁺ ≤ 500	NH ₄ ⁺ > 500	-
pH	<i>I_{a1}</i> : 6,5 ≤ pH < 7 <i>I_{a2}</i> : 5 ≤ pH < 6,5	4,5 ≤ pH < 5	pH < 4,5
Ciała stałe, w tym grunt			
SO ₄ ²⁻ mg/kg	250 ≤ SO ₄ ²⁻ ≤ 600	600 < SO ₄ ²⁻ ≤ 1000	SO ₄ ²⁻ > 1000

przez powłokę ochronną, następnie korozja betonu spowodowała odspojenie się powłoki (w tej strefie obecnie nie ma śladów powłoki, podczas gdy poniżej linii ścieków powłoka jest w dobrym stanie). Odslonięty beton uległ korozji na głębokość około 30–50 mm.

Dla oceny stopnia agresywności środowiska oraz jego skutków wykonano badania chemiczne osadów lub skroplin pobranych ze ścian i zmierzono zawartość siarkowodoru w powietrzu. Wykonano także badania chemiczne zdegradowanych warstw powierzchniowych betonu lub wypraw mineralnych. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli 1. Wynika z nich, że we wszystkich obiektach stężenie siarkowodoru w powietrzu było bardzo wysokie, a na ścianach znajdowały się substancje o bardzo silnie kwaśnym odczynie ($pH < 3$). Beton otuliny we wszystkich obiektach zawierał niewielkie ilości chlorków. Zawartość siarczanów w stosunku do masy cementu w obiektach 1, 2 i 3 była kilkukrotnie większa niż zawartość naturalna (około 3%), co świadczy o postępującej korozji siarczanowej [1]. Odczyn otuliny lub

wypraw mineralnych był lekko zasadowy ($pH = 7,7-9,5$), co oznacza, że otulina przestała pełnić funkcje ochronne w stosunku do zbrojenia.

3. Zalecenia normowe dotyczące ekspozycji konstrukcji z betonu na warunki obiektów gospodarki ściekowej

3.1. Klasyfikacja środowisk agresywnych i związane z nimi wymagania

W normie PN-EN 206-1 [4] w tekście głównym dokonano klasyfikacji środowisk agresywnych w stosunku do betonu, która w przypadku czynników agresywnych chemicznie wyróżnia trzy klasy ekspozycji XA1, XA2 i XA3. W załączniku do normy dla każdej z klas podano zalecenia co do składu betonu (maksymalne w/c , maksymalną zawartość cementu, minimalną klasę i charakterystykę cementu). W normie projektowania konstrukcji z betonu EC2-1-1 [7] dodatkowo podano maksymalne szerokości rys i minimalne grubości

Tabela 4. Klasyfikacja XWW strefy gazowej według DIN 19573:2016

Kryteria	Metoda badawcza	Agresja środowiska			
		XWW1 niska	XWW2 podwyższona	XWW3 wysoka	XWW4 biogeniczny kwas siarkowy
Powyżej lustra ścieków (strefa gazowa)					
Koncentracja H ₂ S [ml/m ³ =ppm]	pomiar	≥ 0,1 ≤ 1,0	>1 ≤ 5	> 5 ≤ 10	>10
Wartość pH	pomiar	> 5,5	< 5,5 ≥ 4,5	< 4,5 ≥ 4,0	< 4,0

otuliny betonowej zbrojenia, które powinny być przyjmowane w poszczególnych klasach. Nie ma tu jednak zalecań dla klas XF oraz XA. Napisano jedynie, że w przypadku tych klas należy komponować beton zgodnie z zaleceniami PN-EN 206-1, a grubości otuliny dobierać na podstawie pozostałych czynników agresywnych (w EC2-1-1 nie ma żadnych podobnych informacji w odniesieniu do szerokości rys).

Kwalifikacja do danej klasy ekspozycji w normie PN-EN 206-1 dokonywana jest na podstawie zawartości substancji agresywnych (m.in. jonów SO₄²⁻, NH₄⁺ oraz wartości pH), jednak kwalifikacja ta dotyczy tylko agresywnej wody gruntowej i gruntu. Nie ma żadnych informacji, co do innych cieczy lub substancji (np. stosowanych w procesach technologicznych czy odpadów). Zatem żadna z klas XA1, XA2, XA3 nie powinna być uznana za charakteryzującą ścieki, ich osady i skropliny oraz atmosferę ponad ściekami. Można byłoby, co najwyżej, próbować utożsamiać ścieki z wodą gruntową, a osady – z wodą gruntową lub z gruntem (co jednak nie jest miarodajne – patrz dalej), ale do atmosfery gazowej żadnego odniesienia nie ma.

We wstępie do normy PN-EN 206-1 napisano, że dla betonu stosowanego do określonego typu wyrobów np. prefabrykatów dedykowanych do instalacji związanych z odprowadzaniem odpadów ciekłych i gazowych mogą być formułowane dodatkowe wymagania, podawane w innych normach europejskich, lub w przypadku ich braku – krajowych. Jednak nie ma tu wprost mowy o betonie monolitycznym stosowanym w takich instalacjach.

Szerszą klasyfikację czynników agresywnych przewidywała, obecnie wycofana, Polska Norma PN-80/B-01800 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Klasyfikacja i określenie środowisk [8]. Stopnie agresywności określone były tu jako l_a (lekka agresja), m_a (średnia agresja) i h_a (silna agresja). Kwalifikacji dokonywało się niezależnie dla gazów, cieczy i substancji stałych (w tym gruntu). W tabeli 3 przytoczono tę klasyfikację, uwzględniając wybrane czynniki agresywne charakterystyczne dla ścieków, osadów i skroplin ściekowych i atmosfery ponad ściekami. W kolejnej Polskiej Normie PN-80/B-01801 Antykorozyjne

zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Podstawowe zasady projektowania [9] zawierało to zalecenie, aby w przypadku stopnia agresywności l_a stosować ochronę materiałowo-strukturalną (dobór składu betonu, ograniczenie szerokości rys, zapewnienie minimalnej otuliny), w przypadku stopnia m_a stosować ochronę materiałowo-strukturalną i dodatkowo ochronę powierzchniową ograniczającą oddziaływanie środowiska (obróbki powierzchniowe, powłoki malarskie, izolacje z pap i asfaltów, obsypki), a w przypadku stopnia h_a – ochronę materiałowo-strukturalną i dodatkowo ochronę powierzchniową odcinającą środowisko agresywne (powłoki grubowarstwowe, izolacje z tworzyw sztucznych, laminaty, wykładziny i wymurówki chemoodporne).

Porównując tabele 2 i 3 w zakresie wody gruntowej i gruntu, stwierdzić można, że różnią się one istotnie, podobne w obydwu normach są jedynie granice agresywności ze względu na pH.

Zauważyć trzeba przede wszystkim, że przedziały zawartości substancji agresywnych w najwyższej klasie XA3 według normy PN-EN 206-1 są zamknięte – powstaje pytanie, jak należy interpretować sytuację, gdy np. $pH < 4$. Można domniemywać, że nie wystarczy wtedy dobór składu betonu i grubości otuliny, ale wymagana jest ochrona powierzchniowa, nie rozważana w tej normie (systemom ochrony powierzchniowej dedykowana jest norma PN-EN 1504-2 [5], ale ona z kolei nie zawiera żadnych odniesień do klas ekspozycji). W normie PN-80/B-01800 przedziały zawartości substancji agresywnych w klasie h_a nie są zamknięte, co oznacza, że obejmuje ona wszystkie możliwe sytuacje.

Dolna granica lekkiej agresywności jonów siarczanowych (XA1 i l_a) jest podobna w obydwu normach, natomiast dolna granica silnej agresywności tych jonów (XA3 i h_a) jest trzykrotnie wyższa w normie PN-EN 206-1 (wymagania PN-80/B-01800 są ostrzejsze).

Diametralnie różne są w obydwu normach granice klasyfikacji ze względu na jony NH₄⁺: górna granica dla XA3 według PN-EN 206-1 (NH₄⁺ ≤ 100 mg/dm³) jest niższa niż górna

granica lekkiej agresywności I_a według PN-80/B-01800 ($\text{NH}_4^+ \leq 500 \text{ mg/dm}^3$), zatem wymagania PN-EN 206-1 są znacznie ostrzejsze.

3.2. Stopień agresywności ścieków bytowo-gospodarczych według DIN 19573:2016

Wyraźne odniesienie do ścieków i stref ponad ściekami znajduje się w niemieckiej normie DIN 19573:2016 Mortel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen ausserhalb von Gebäuden (Zaprawa do budowania i renowacji przewodów i kolektorów po za budynkami) [2]. Jej zakres pokrywa się częściowo z normami PN-EN 1504-3 [6] i PN-EN 206-1 [4]. Norma ta odnosi się wprawdzie bezpośrednio do zapraw naprawczych/ochronnych, ale zawarta tu klasyfikacja środowisk agresywnych może być przydatna jako uzupełnienie klas ekspozycji betonu. Występują tu klasy ekspozycji charakteryzujące kontakt ze ściekami XWW1–XWW4 (waste water). Klasy XWW1–XWW3 dla ścieków odpowiadają klasom agresji wody gruntowej XA1–XA3 w PN-EN 206-1, ale dodano klasyfikację dla środowiska gazowego (tabela 4). W zależności od zakwalifikowania konstrukcji do danej klasy ekspozycji należy zastosować ochronę powierzchniową z materiału, który został zaklasyfikowany jako odporny na to środowisko.

Dodano także klasę XWW4, charakteryzującą obecność tzw. kwasów biogenych. W przypadku tej klasy XWW4 zaprawy służące do ochrony powierzchniowej powinny wykazywać się odpornością na penetrację silnie kwaśnych substancji. Badanie kontrolne materiału polega na przetrzymywaniu zaprawy w kąpieli, o wymuszonym obiegu, w kwasie siarkowym o $\text{pH}=0$ przez 14 dni lub $\text{pH}=1$ przez 70 dni i ocenie głębokości penetracji korozji poprzez pomiar spadku wytrzymałości. Spadek wytrzymałości w pierwszym przypadku nie może być większy niż 45% (co odpowiada głębokość korozji $< 5,2 \text{ mm}$), a w drugim niż 25% (co odpowiada głębokość korozji $< 2,7 \text{ mm}$).

4. Klasy ekspozycji i stopnie agresywności w obiektach zamkniętych gospodarki ściekowej

4.1. Ścieki bytowo-gospodarcze

Ścieki, znajdujące się w obiektach nr 2, są typowymi ściekami bytowo-gospodarczymi znajdującymi się w kolektorach i obiektach gospodarki ściekowej polskich miast. Charakteryzują się lekkim odczynem lekko zasadowym (średnie $\text{pH}=7,5$), średnią zawartością SO_4^{2-} równą 80 mg/dm^3 i średnią zawartością amoniaku 65 mg/dm^3 , co oznacza zawartość azotanów na poziomie 85 mg/dm^3 .

Według PN-80/B-01800 odczyn lekko zasadowy kwalifikuje takie ścieki jako nieagresywne, podobnie jak średnia zawartość SO_4^{2-} , natomiast średnia zawartość amoniaku decyduje o stopniu agresywności I_{at} . Ogólnie można więc uznać, że same ścieki są lekko agresywne w stosunku do betonu.

Próbując dokonać klasyfikacji ścieków według PN-EN 206-1, przy zastosowaniu analogii do wody gruntowej, ze względu na pH i zawartość siarczanów byłyby one nieagresywne chemicznie, ale ze względu na NH_4^+ należałoby je zakwalifikować do XA3. A więc azotany są czynnikiem zdecydowanie bardziej agresywnym, niż oceniane według PN-80/B-01800.

4.2. Strefa ponad ściekami

Osady na ścianach w obiektach nr 2 zawierały 3,1% (31000 mg/kg) siarczanów. Wartość pH tych osadów wynosiła $\text{pH}=2,3$, a wartość pH skroplin w obiektach nr 1 nawet $\text{pH}<1$. W atmosferze wszystkich obiektów stwierdzono dużą zawartość siarkowodoru: w obiektach nr 2 – co najmniej 28 mg/dm^3 (20 ppm), w obiektach nr 1 średnio 60 mg/dm^3 (46 ppm), w obiekcie nr 3 średnio 122 mg/dm^3 (94 ppm), a w obiekcie nr 4 średnio aż 294 mg/dm^3 (226 ppm). Podkreślić trzeba, że podobne wyniki uzyskane w zamkniętych piaskownikach przedstawiono w publikacji [11].

Według PN-80/B-01800 zawartość siarczanów w osadach i kwaśny odczyn osadów i skroplin wskazuje na stopień agresywności h_a . Środowisko gazowe ponad ściekami zawierające znaczne ilości siarkowodoru również powinno być zaklasyfikowane jako charakteryzujące się silną agresją, czyli stopniem h_a .

Gdyby zastosować analogię do wody gruntowej to według PN-EN 206-1 osady ze względu na pH i zawartość siarczanów znajdowałyby się poza klasą XA3, podobnie byłoby ze względu na zawartość siarczanów przy zastosowaniu analogii do gruntu.

Według DIN 19573:2016 warunki ponad ściekami, ze względu na zawartość H_2S i bardzo silnie kwaśny odczyn powinny być zakwalifikowane do klasy XWW4.

5. Przyczyny destrukcji betonu i wypraw mineralnych w analizowanych obiektach

Jak podano poprzednio, badania wypraw mineralnych obiektów nr 1 i otuliny betonowej obiektów nr 2 i 3 wykazały zawartość siarczanów w stosunku do masy cementu kilkakrotnie wyższą niż zawartość naturalna oraz obniżenie pH . Silne skażenie betonu i wypraw mineralnych siarczanami i utrata ich zasadowości wynika z faktu, że w kanałach zachodzi rozkład beztlenowy substancji organicznych zawartych w osadach przyklejonych do ścian i dna (gnicie), któremu sprzyja słaba wentylacja. Mechanizm takiej korozji opisano m.in. w [3, 10]. W wyniku zagniwania powstają:

- dwutlenek węgla, który w wyniku połączenia z wodortlenkiem wapnia znajdującym się w betonie powoduje karbonatyzację betonu, czyli zmniejszenie jego zasadowości,
- siarkowodor.

Agresja siarkowodoru może przejawiać się w dwojaki sposób. Po pierwsze siarkowodor może ulegać utlenieniu do siarki, która odkłada się na powierzchni betonu, tworząc źródło siarki dla bakterii z rodzaju *Thiobacillus thiooxidans*,

utleniających siarkę do kwasu siarkowego, który z kolei może być przyczyną korozji siarczanowej. Korozja siarczanowa polega, najogólniej mówiąc, na reakcji kwasu siarkowego z wodorotlenkiem wapnia zawartym w betonie, a następnie z innymi składnikami zaczynu cementowego, w wyniku czego powstają produkty (gips lub sól Candlota), które mają objętość większą niż substraty, co prowadzi do „rozsadzania” betonu od wewnątrz. Po drugie siarkowodor rozprowadzając się w cieczy, tworzy środowisko kwaśne, sprzyjające korozji kwasowej betonu, czyli reakcji kwasu ze składnikami „kamienia cementowego” i powstawaniu rozpuszczalnych soli osłabiających strukturę betonu.

Obraz destrukcji betonu i wypraw mineralnych we wszystkich omawianych obiektach potwierdza opisany wyżej mechanizm. Należy podkreślić, że samo zamknięcie (hermatyzacja) danego obiektu choć jest istotnym czynnikiem sprzyjającym powstaniu środowiska silnie agresywnego, ale z doświadczenia autorów wynika, że nie jest przesłanką determinującą. Znane są przykłady, gdzie dobrze wentylowane obiekty lub szybko płynące, dobrze napowietrzane ścieki nie wytworzyły w strefie gazowej ponad ściekami warunków agresywnych dla betonu.

6. Podsumowanie

- Klasyfikacja środowisk agresywnych chemicznie i ustalenie klas ekspozycji XA zgodnie z normą PN-EN 206-1 w przypadku ścieków, ich osadów i atmosfery ponad ściekami w zamkniętych obiektach gospodarki ściekowej są niemiarodajne i niewłaściwe. Charakter ścieków i stref ponad ściekami jest ujęty natomiast w klasyfikacji wycofanej Polskiej Normy PN-80/B-01800 i normy niemieckiej DIN 19573:2016.
- O ile same ścieki bytowo-gospodarcze uznać można za lekko agresywne w stosunku do betonu (agresja jedynie ze względu na zawartość azotanów), o tyle ich osady i skropliny w zamkniętych, słabo wentylowanych obiektach są silnie agresywne w stosunku do betonu i żelbetu (odczyn silnie kwaśny i duża zawartość jonów siarczanowych). Agresywna w stosunku do żelbetu jest również atmosfera ponad ściekami w takich obiektach, zawierająca bardzo duże ilości siarkowodoru.
- Obecność siarkowodoru i towarzysząca mu podwyższona zawartość dwutlenku węgla wynika z zagniwania ścieków. Skutkiem jest karbonatyzacja, korozja kwasowa i siarczanowa

betonu. Zmniejszeniu zawartości tych czynników agresywnych w strefie nad ściekami sprzyja wentylowanie zamkniętych obiektów lub neutralizacja poprzez podawanie odpowiednich środków chemicznych.

- Ze względu na bardzo silną agresję środowiska związaną z obecnością kwasów biogenych (klasa XWW4 według DIN 19573:2016), w zamkniętych obiektach gospodarki ściekowej należy przewidywać ochronę powierzchniową albo za pomocą zapraw mineralnych odpowiednich dla klasy XWW4, albo szczelnych grubowarstwowych powłok żywicznych (>1,5 mm), laminatów czy okładzin z tworzyw sztucznych, które odetną konstrukcję od środowiska agresywnego.
- Przy braku jasnych wytycznych norm PN EN 206-1 i PN-EN 1992-1-1 w stosunku do oceny agresywności ścieków i stref ponad ściekami w stosunku do betonu, zwłaszcza w zamkniętych obiektach gospodarki ściekowej, łatwo jest o błędne przyjęcie w projekcie systemu ochrony antykorozyjnej betonu. Przyjęcie niewłaściwego systemu wiąże się z niewystarczającą trwałością obiektu lub jego naprawy i koniecznością poniesienia znacznych nakładów finansowych w przyszłości w okresie krótszym niż oczekiwano.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Czarniecki L., Emmons P.H., Naprawa i ochrona Konstrukcji betonowych, Polski Cement 2002
- [2] DIN 19573:2016 Mortel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen ausserhalb von Gebäuden
- [3] Podraza Z., Korozja siarczanowa jako realny problem sieci przewodów kanalizacyjnych, Act. Sci. Pol. Technica Agraria 13(1-2) 2014, str. 41-48
- [4] PN-EN 206-1: Beton, część 1: wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [5] PN-EN 1504-2: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności, część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu
- [6] PN-EN 1504-3: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności, część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne
- [7] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2 Konstrukcje z betonu, część 1: Zalecenia ogólne i zalecenia dla budynków
- [8] PN-80/B-01800 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Klasyfikacja i określenie środowisk
- [9] PN-80/B-01801 Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Podstawowe zasady projektowania
- [10] Stryszewska T., Stanaszek-Tomal E., Degradacja betonu w obecności ścieków bytowo-gospodarczych, ochrona przed korozją 6/2017, str. 197-200
- [11] Woyciechowski P., Adamczewski G., Łukowski P., Chemical corrosion of concrete tank in sewage treatment plant as the cause of failure, MATEC Web of Conferences 284, 07007(2019)

**Serdecznie zapraszamy autorów
do publikowania
w „Przeglądzie Budowlanym”**

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany” uzyskuje się 5 punktów