

prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak¹⁾
ORCID: 0000-0003-3643-9819

Kryteria doboru powłok ochronnych w betonowych obiektach oczyszczania ścieków

Criteria for the selection of protective coatings in concrete sewage treatment facilities

DOI: 10.15199/33.2019.05.04

Streszczenie. Projektowanie i realizacja oczyszczalni ścieków należą do najbardziej skomplikowanych procesów inwestycyjnych. Na równie wysokim poziomie muszą pozostawać procesy mechanicznego, biologicznego oraz chemicznego oczyszczania ścieków, wyposażenie technologiczne oraz procesy budowlane, zapewniające trwałość konstrukcji prawie wyłącznie betonowej przy agresywnych oddziaływaniach wewnętrznych i zewnętrznych. Jako konsultant przy realizowanych inwestycjach oczyszczalni ścieków zwracam uwagę w artykule na najczęściej występujące problemy przy budowie nowych obiektów i eksploatacji istniejących.

Słowa kluczowe: korozja betonu; oczyszczalnia ścieków; powłoki.

Abstract. The design and implementation of wastewater treatment plants are among the most complex investment processes. At an equally high level, mechanical, biological and chemical wastewater treatment processes, technological equipment and construction processes must be maintained, ensuring the durability of almost exclusively concrete structures with aggressive internal and external impacts. The author was a consultant for the investments being carried out and the article is to draw attention to the most common problems in the construction of new facilities and existing ones.

Keywords: corrosion of concrete; sewage treatment plant; coatings.

Obserwując remont, modernizację lub budowę nowych oczyszczalni ścieków, projektanci procesów dość ogólnie traktują zabezpieczenia przed środowiskiem agresywnym i proponują często beton o cechach C30/37, W8, F150 w klasach ekspozycji XC3, XD2 i XA1 z zabezpieczeniem powierzchni materiałami odpornymi na siarczanymodifikowanymi polimerami. Ponadto przyjmuje się izolację poziomą i pionową płyty dennej (posadzki) oraz stóp fundamentowych (m.in. na warstwie podkładu betonowego) z suchej mieszanki do uszczelniania betonu przez krystalizację. W przypadku istniejących konstrukcji betonowych w ramach technologii krystalizacji stosuje się izolację wewnętrzną ścian oporowych (powłokę ochronną) z odpornej na siarczaną zaprawę naprawczą modyfikowanej polimerami z dodatkiem włókien z tworzywa sztucznego na warstwie szepnej z zaprawy na bazie cementu siarczanoodpornego, modyfikowanej polimerami; uszczelnienie przerwy roboczej, tj.

styku płyty dennej (posadzki) z konstrukcją ścian oporowych, za pomocą taśmy pęczniwej na bazie kauczuku dopuszczonej do stosowania w kontakcie ze ściekami komunalnymi, z możliwością wielokrotnego pęcznienia i kurczenia się.

Mając tak ogólne sugestie dotyczące zabezpieczenia betonu w projekcie wykonawczym przyjmuje się je dość przypadkowo, stosując kryterium minimalnej ceny i nie zwracając zupełnie uwagi na istniejące zalecenia normowe i rzeczywiste zagrożenia destrukcją powszechnie obserwowane w wielu oczyszczalniach.

Zabezpieczenia betonu w obiektach oczyszczania ścieków wg norm

Norma **PN-EN 206-1:2014 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność** wprowadziła wiele istotnych zmian w stosunku do wcześniejszej normy **PN-88/B-06250 Beton zwykły** [8]. Wprowadzono przede wszystkim inne oznaczenie klas betonu. Zamiast dotychczasowego oznaczenia B15, 20... 55, wprowadzono literę C oraz podwójne oznakowanie klasy,

np. 8/10... 45/55... 100/115 itp. Kolejną nowość dotyczy wprowadzenia tzw. klas ekspozycji związanych z oddziaływaniami środowiskowymi.

PN-EN 206-1:2014 wyróżnia 7 klas ekspozycji, a mianowicie:

- X0 – brak zagrożenia;
- XC – zagrożenie spowodowane karbonatacją;
- XD – zagrożenie spowodowane chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej (środki odladzające, woda przemysłowa);
- XS – zagrożenie chlorkami z wody morskiej;
- XF – zagrożenie korozją mrozową w obecności środków odladzających lub bez ich stosowania;
- XA – zagrożenie korozją chemiczną (grunty naturalne lub woda gruntowa);
- XM – zagrożenie agresją wywołaną ścieraniem.

Klasom środowiskowym przyporządkowano zalecane ograniczenia dotyczące składu i wybranych właściwości betonu. W normie podano, w zależności od klas ekspozycji, maksymalny stosunek w/c, minimalną klasę wytrzymałościową betonu, minimalną zawartość cementu w 1 m³ betonu oraz rodzaj ce-

¹⁾ Politechnika Poznańska; Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; jozef.jasiczak@put.poznan.pl

mentu przy silnej agresji chemicznej. Wartości te należy uznać za graniczne, które powinny być bezwzględnie przyjmowane przez projektanta konstrukcji i sprawdzane przez nadzór inwestorski.

Z punktu widzenia budowy obiektów oczyszczania ścieków istotne są obciążenia korozyjne pozwalające kwalifikować konstrukcję do klas ekspozycji XA1, XA2, XA3. Podstawą tej kwalifikacji jest zawartość jonów SO_4^{2-} , CO_2 , NH_4^+ , Mg^{2+} [mg/l] oraz poziom pH wód. O ile obciążenia korozyjne projektowanych obiektów mieszczą się w wyznaczonych przez normę przedziałach, stosować można materiałowo-strukturalną ochronę betonu i przyjmować parametry betonu jak w tabeli 1, natomiast jeśli obciążenia korozyjne są większe, wymagane są powłoki ochronne określone przez PN-EN 1504.

Tabela 1. Wartości graniczne klas ekspozycji XA dotyczących agresji chemicznej oraz granicznych właściwości betonu

Table 1. Limit values of XA exposure classes for chemical aggression and the boundary properties of concrete

Charakterystyka chemiczna	Wartości graniczne klas ekspozycji		
	XA1	XA2	XA3
Woda gruntowa			
SO_4^{2-} [mg/l]	≥ 200 $i \leq 600$	> 600 $i \leq 3000$	> 3000 $i \leq 6000$
pH	$\leq 6,5$ i $\geq 5,5$	$< 5,5$ i $\geq 4,5$	$< 4,5$ i $\geq 4,0$
CO_2 agres. [mg/l]	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 i do nasycenia
NH_4^+ [mg/l]	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg^{2+} [mg/l]	≥ 300 $i 1000$	> 1000 $i 3000$	> 3000 i do nasycenia
Grunt			
SO_4^{2-} [mg/kg]	≥ 2000 $i \leq 3000$	> 3000 $i 12000$	> 12000 $i \leq 24000$
Właściwości betonu			
Maks. w/c	0,55	0,50	0,45
Min. w/c	C30/37	C30/37	C35/45
Min. zawartość cementu [kg/m ³]	300	320	360
Inne wymagania	–	cement odporny na siarczany MSR lub HSR	

W pierwszym kroku projektowania określić należy agresywne oddziaływanie środowiska. Jest to możliwe, jeśli prowadzone są badania pilotażowe nad agresywnością ścieków na poszcze-

gólnych etapach ich przesyłania i oczyszczania. Jeśli badania takie nie są prowadzone, to **należy szukać analogii do innych przypadków** lub przyjmować z góry wartości ekstremalne.

W normach z serii **PN-EN 1504** *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji z betonu. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności ujęto wyroby i systemy:*

- **do ochrony powierzchniowej betonu:** wyroby i systemy, których zastosowanie poprawia trwałość konstrukcji betonowych i żelbetowych;

- **do napraw niekonstrukcyjnych,** a więc do napraw powierzchniowych, przywracające geometrię powierzchni lub estetyczny wygląd konstrukcji,

- **do napraw konstrukcyjnych:** zastępujące uszkodzony beton i przywracające ciągłość i trwałość konstrukcji;

- **do łączenia konstrukcyjnego:** w celu zapewnienia trwałej konstrukcyjnej przyczepności między betonem a dodatkowo stosowanym materiałem;

- **do iniekcji betonu:** wyroby i systemy wprowadzane do konstrukcji betonowej przez iniekcję, przywracające ciągłość i/lub trwałość konstrukcji;

- **do kotwienia:** zbrojenia w betonie, które zapewnia odpowiednią współpracę obu materiałów lub współodkształcalność stali i betonu;

- **do ochrony zbrojenia przed korozją** (nakładane na niezabezpieczone zbrojenie).

Zbiór norm PN-EN 1504 jest bardzo obszerny (10 części) i dotyczy zarówno zabezpieczeń nowych obiektów, jak i napraw już istniejących.

Tryb postępowania przy formułowaniu wymagań stawianych konstrukcjom betonowym w obiektach oczyszczania ścieków

Specyfikacja obciążeń korozyjnych. Z przeglądu dokumentacji dotyczącej obciążeń korozyjnych ścieków w stosunku do betonu wynika, że wartość pH ścieków surowych wynosi zwykle ok. 7,25, zasadowość ścieków w komorach nityfikacji i denityfikacji 7,58, zanieczyszczenie ścieków surowych związkami amonu NH_4^+ waha się od 41,2 do 69,0 mg/l, a ścieków oczyszczonych od 0,6 mg/l do 3,7 mg/l. Z pew-

nością właściwsze jest w tym przypadku przyjmowanie klasy ekspozycji XA2 niż proponowanej na wstępie klasy XA1. Z reguły nie podaje się już szczegółowych danych dotyczących agresywnego oddziaływania osadów ściekowych na beton. Z praktyki wynika jednak duże zagrożenie korozyjne tych osadów ze względu na wysokie stężenie siarczanów i siarkowodoru. Z tego powodu zaleca się przyjmowanie klasy ekspozycji XA3.

Zgodnie z PN-EN 1504 niezależnie od pomierzonych obciążeń chemicznych należy **szukać analogii do innych przypadków**, by na ich podstawie szczegółowo określić zagrożenia korozyjne. Z analizy stanu technicznego bioreaktorów i osadników wstępnych wynika, że:

- powłoki zabezpieczające beton na ogół nie są skuteczne: odpajają się po kilku latach od betonu;

- u góry zbiorników oraz na koronie ścian występują pionowe, odcinkowe zarysowania co 1 – 1,5 m;

- w poziomie lustra ścieków we wszystkich zbiornikach występuje błona biologiczna dobrze przylegająca do powierzchni ścian;

- pod pomostami komunikacyjnymi, ze względu na rozbryzg ścieków i powstanie osadów, może tworzyć się środowisko o ograniczonym dostępie tlenu i rozwijać korozja siarkowodorowa, niszcząca beton.

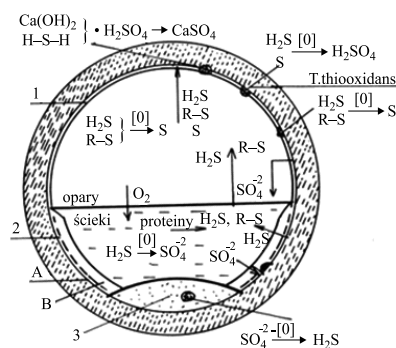
W obiektach oczyszczania ścieków dużym zagrożeniem dla konstrukcji żelbetowych jest siarkowodor. Z literatury znany jest schemat przemian fazowych części organicznych w siarkowodor, który w wilgotnym środowisku powoduje rozrost tzw. bakterii siarkowych, wytwarzających w końcowym etapie kwas siarkowy, korozyjnie działający na beton. Schemat działania przedstawiono na rysunku 1, a efekty korozji w przepompowni ścieków na fotografii 1.

Materiałowo-strukturalna ochrona betonu. Znaczącym stopień obciążeń korozyjnych (agresja chemiczna, zamrażanie – rozmrażanie, ścieranie itp.), należy określić klasę ekspozycji XA1, XA2 lub XA3, a następnie właściwości betonu. Jeśli obciążenia korozyjne mieszczą się w przedziałach podanych w tabeli 1, mamy do czynienia z materiałowo-strukturalną ochroną betonu, w której ważną rolę odgrywa wartość w/c,

szczelność, mrozoodporność, ale także rodzaj cementu. Stosować należy cementy powszechnego użytku z dodatkami mineralnymi lub, w przypadku klas ekspozycji XA2 i XA3, cementy specjalne, siarczanoodporne. Przydatność cementów do określonych konstrukcji podano w tabeli 2.

Każdy nowy obiekt betonowy związany z przesyłaniem i oczyszczaniem ścieków powinien być przeanalizowany pod kątem specyfikacji cech betonu. Najczęściej jednocześnie występuje kilka rodzajów obciążeń, np.:

- korozja spowodowana karbonatyzacją, klasa ekspozycji XC2;
- korozja spowodowana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej (np. z środków odładowych nawierzchnie); obiekty mokre; klasa ekspozycji XD2;
- korozja spowodowana agresją chemiczną typu: $600 < SO_4^{2-} \leq 3000$ mg/l; $5,5 > pH \geq 4,5$; $30 < NH_4^+ \leq 60$ mg/l, klasa ekspozycji XA2;
- korozja spowodowana agresją chemiczną typu: $3000 < SO_4^{2-} \leq 6000$ mg/l;



1 – warstwa kondensacji; 2 – błona biologiczna; 3 – osady; warunki: A – anaerobowe; B – aerobowe
Rys. 1. Oddziaływanie siarkowodoru na konstrukcje [6]

Fig. 1. Influence of hydrogen sulphide on structures [6]



Fot. 1. Korozja betonu przez siarkowodor
 Photo 1. Corrosion of concrete by hydrogen sulphide

Tabela 2. Zastosowanie cementów portlandzkich powszechnego użytku w obiektach oczyszczania ścieków [4]

Table 2. Use of Portland cements for general use in sewage treatment facilities [4]

Rodzaj cementu	Zakres stosowania
Cement popiołowy CEM II/B-V 32,5N,R HSR, cement pucolany CEM IV/A,B	cement szczególnie przydatny w przypadku wykonywania obiektów narażonych na agresję siarczanową (oczyszczalnie ścieków, budownictwo morskie, roboty górnicze). Cementy tej grupy w klasie wytrzymałościowej 42,5 mogą być z powodzeniem stosowane w produkcji „galanterii” betonowej i prefabrykacji (studnie, rury itp.).
Cement hutniczy CEM III/A,B	cement przydatny we wszystkich klasach ekspozycji (w klasach ekspozycji XA2 i XA3 należy stosować cement hutniczy CEM III HSR), z tym że w klasie ekspozycji XF4 zaleca się stosowanie cementu hutniczego CEM III/A o mniejszej zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego (<50%) i zazwyczaj w klasie wytrzymałościowej 42,5. Cementy hutnicze mają właściwości specjalne, takie jak niskie ciepło hydratacji (LH), wysoka odporność na korozyjne oddziaływanie środowisk agresywnych chemicznie (HSR) łącznie z agresją alkaliczną (NA). Szczególnie przydatne są w budowie fundamentów, wykonywaniu betonów masywnych, zapór wodnych, oczyszczalni ścieków, obiektów morskich i do prac budowlanych w górnictwie.
Cement wieloskładnikowy CEM V/A,B	zakres stosowania uzależniony od zawartości składników mineralnych w składzie cementu. Cement CEM V/A może być stosowany praktycznie we wszystkich klasach ekspozycji z ograniczeniem klasy XF3 i XF4. Cement CEM V/B znajduje zastosowanie do wykonywania betonu w klasach ekspozycji X0 oraz XC1 i XC2. Ponadto, ze względu na podwyższoną zawartość dodatków mineralnych, cement CEM V/B jest przydatny do wykonywania konstrukcji i elementów narażonych na agresję chemiczną (klasy ekspozycji XA1, XA2, XA3).

$pH \geq 4,5$; $NH_4^+ \leq 100$ mg/l, klasa ekspozycji XA3;

- korozja spowodowana ścieraniem (np. powierzchnie przelewów), klasa ekspozycji XM3;
- korozja spowodowana cyklicznym zamrażaniem – rozmrażaniem, strefy rozbrzygu narażone na zamrażanie, klasa ekspozycji XF4.

Posługując się tabelą 3, specyfikuje się cechy betonu właściwe do odpowiedniej klasy ekspozycji, a następnie wybiera beton o najlepszych właściwościach.

Tabela 3. Zestawienie cech betonu w odniesieniu do określonej klasy ekspozycji betonu
 Table 3. List of concrete features in relation to a concrete exposure class

Cechy/Klasa ekspozycji	W/C	Minimalna klasa betonu	Ilość cementu kg/m ³ betonu
XC2	0,60	C16/20	280
XD2	0,55	C30/37	300
XA2	0,50	C30/37	320 ¹⁾
XA3	0,45	C35/45	360¹⁾
XM3	0,45	C35/45	300 ²⁾
XF4	0,45	C30/37	340 ³⁾

¹⁾ Cement siarczanoodporny; ²⁾ kruszywo odporne na ścieranie; ³⁾ napowietrzenie betonu 4%

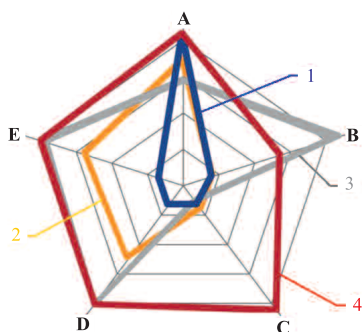
Wymagane cechy betonu:

- beton klasy C35/45 o w/c $\leq 0,45$;
- cement siarczanoodporny CEM III A 42,5 lub HSR 42,5 w ilości 360 kg/m³;
- kruszywo grube zgodne z PN-EN 12620 odporne na cykliczne zamrażanie;
- napowietrzenie 4%;
- nasiąkliwość betonu $\leq 5\%$;
- wodoszczelność $\geq W8$.

Inne konieczne działania i zabezpieczenia betonu w przypadku lokalnych dużych obciążeń korozyjnych

Zabezpieczenia pasmowe w poziomie lustra ścieków. Prowadząc rozważania w duchu normy PN-EN 206-1, należałoby zwrócić uwagę, iż w przypadku środowiska o $pH < 4$ ochrona materiałowo-strukturalna nie jest wystarczająca. Zabezpieczenie betonu o wymaganiach jak dla klasy XA3 stanowią powłoki ochronne nakładane zgodnie z normą PN-EN 1504-2 [2, 4, 5, 7]. Stanowią one skuteczną ochronę betonu przed działaniem bakterii siarkowych. Zwykle wykonywano pasmo z elastycznej powłoki epoksydowo-polimerowej na epoksydowo-cementowej warstwie gruntującej o wysokości 40 cm. Z najnowszych zaleceń BASF [9] wynika, że powłoka powinna wykazywać doskonałą przyczepność do betonu, być po utwardzeniu nieprzepuszczalna dla wody oraz dwutlenku węgla, wykazywać dużą elastyczność (mostkowanie rys), dużą odporność na zamrażanie i rozmrażanie oraz dużą odporność na środowiska agresywne, w tym sole odładowe, siarczany, a także karbonatyzację. Kryterium wyboru nie może być więc jedynie chemoodporność, ale także odpowiadanie na różne warunki eksploatacji (rysunek 2).

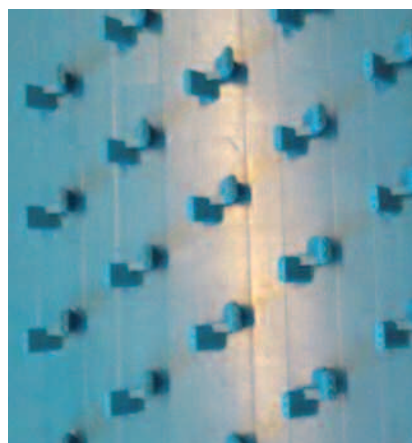
Zabezpieczenia betonu pomostów od spodu oraz stropów i ścian w ko-



Rys. 2. Porównanie cech czterech powłok najczęściej stosowanych w oczyszczalniach: 1 – winyloestrowe; 2 – z żywic epoksydowych; 3 – polimocznikowe; 4 – polimocznikowe nowej generacji z uwzględnieniem 5 kryteriów: A – chemoodporność; B – zdolność do mostkowania rys; C – wilgotność podłoża; D – łatwość układania; E – tolerancja na przestoje [9]

Fig. 2. Comparison of the 4 most commonly used in treatment plants: 1 – vinyl ester; 2 – epoxy resin; 3 – polyurea; 4 – polyurea new generation with 5 criteria: A – chemical resistance; B – ability to bridge crack; C – humidity substrate; D – ease of laying; E – tolerance for downtime [9]

morach zamkniętych o silnej emisji siarkowodoru. Ze względu na grubość płyt pomostów 0,15 – 0,20 m i stropów 0,20 – 0,30 m można, alternatywnie do powłok polimocznikowych nowej generacji, stosować zabezpieczenie „ciężkie” polegające na ułożeniu na deskowaniu, przed betonowaniem, płyt osłonowych do betonu z HD PE, PE 80/100, klasy PE 300 o grubości 4 mm (fotografia 2). Są to płyty chroniące beton żelbetowych ścian i stropów w oczyszczalni ścieków przed korozją chemiczną [10]. Wykazują dużą odporność na uderzenia i ściera-



Fot. 2. Płyty wykładzinowe mocowane do konstrukcji w trakcie betonowania [10]

Photo 2. Carpet boards attached to the structure during concreting [10]

nie oraz odporność na temperaturę i promieniowanie UV. Mają dużą żywotność przy niewielkich zabiegach konserwatorskich.

Dna w zbiornikach wyposażonych w zgarniacze osadów. Płyty denne są istotnymi elementami zbiorników żelbetowych i ze względu na obciążenia agresywne oraz mechaniczne spowodowane pracą zgarniaczy osadów często ulegają uszkodzeniom, utrudniającym recyrkulację osadów (fotografia 3). Ze względu na taki charakter eksploatacji



Fot. 3. Osadnik wstępny ze stalowymi zgarniaczami i uszkodzeniami dna
Photo 3. Pre-settler with steel scrapers and bottom damage

nakładanie powłok ochronnych na beton lub dodawanie do betonu substancji krystalizujących w porach betonu jest problematyczne i, jak pokazują badania, nie zapewnia trwałości konstrukcji. Do tej pory dobre rezultaty uzyskano, wykonując na dnie tzw. betonową posadzkę pływającą odwadnianą próżniowo technologią Tremix, zatartą na gładko, bez jakichkolwiek innych zabezpieczeń.

Dylatacje i zwieńczenia ścian zbiorników. W [1] zaleca się wykonywać zwieńczenia ścian zbiorników na otwartej przestrzeni w następujący sposób. Muszą one być oddylatowane od dolnych części ściany i kotwione do konstrukcji zasadniczej. Zaleca się dylato-

wanie koron na ich długości co maksimum 4 m. Zwieńczenia pracują niezależnie, rysy ze ścian nie przenoszą się na korony. Niezależnie od dylatowania koron zaleca się także wykonywanie dylatacji w ścianach na całej ich wysokości, co ok. 6 m, a zwieńczenia ścian dodatkowo w połowie tej długości.

Do kontrolowanego procesu pojawiają się rysy skurczowych zastosować należy rury z PVC. W przypadku ścian o szerokości 240 do 350 mm stosuje się rury o średnicy zewnętrznej 88 mm z dodatkowymi listwami kotwiącymi o wysokości 25 mm [3]. Po wypełnieniu rur betonem tej samej klasy co korona powierzchnię bieżni należy wyrównać przez jej zeszlifowanie.

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi decydom i projektantom, a w konsekwencji także i służbom nadzoru inwestorskiego na podstawowe wymagania, jakie należy uwzględnić, by zaprojektować trwałe konstrukcje oczyszczalni ścieków.

Literatura

- [1] *Betonbauwerke in Abwasseranlagen*. 1995. Bauberatung Zement.
- [2] Czarnecki Lech, Paweł Łukowski. 2010. „Wdrażanie normy PN-EN 1504-9 do stosowania w Polsce”. *Materiały Budowlane* 450 (2): 2 – 5.
- [3] FORBUILD. Rury do wymuszania rys. Katalog.
- [4] Giergiczny Zbigniew, Tomasz Pużak, Marcin Sokołowski. 2004. *Dobór cementu do określonych klas ekspozycji zawartych w normie PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości produkcji i zgodność*. Konferencja DNI BETONU, Wisła: 227 – 239.
- [5] Głodkowska Wiesława. 2004. *Podstawy i metoda doboru właściwości kompozytów do naprawy i ochrony betonu*. Koszalin. Uczelniane Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej.
- [6] Hener J. J., H. J. Kaskens. 1993. *Prevention of concrete corrosion and odour annoyance with biofiltration*. Water Science Technology, vol. 2, No 5-6, Great Britain.
- [7] Jasiczak Józef, Tomasz Jaroszyński. 2006. „Projektowanie betonowych obiektów oczyszczania ścieków z uwzględnieniem ich trwałości”. *Materiały Budowlane* 411 (11): 4 – 9.
- [8] Praca zbiorowa pod kierunkiem Lecha Czarneckiego. 2004. *Beton według normy PN-EN 206-1. Komentarz*. Wydawca: Polski Cement i PKN, Kraków – Warszawa: 298.
- [9] Sądadek J. 2018. MasterSeal 7000 CR – Innowacja BASF. Seminarium BASF 22-23 marca 2018 pn.: Ochrona zbiorników w oczyszczalniach ścieków.
- [10] Wykładzina PE HD polietylen do betonu /www.amargo.pl/blog/tag/wykladzina-pe-hd/.

Opracowanie dla 01/11/SBAD/0022

Przyjęto do druku: 05.04.2019 r.