

Uwagi do Aneksu M w PN-EN 1999-3:2006 z zakresu obliczania szerokości rys w wyniku odkształceń wymuszonych – metoda dokładna

Dr inż. Mariusz Zych, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Zbiorniki żelbetowe projektowane są na okres stu lat. Poza spełnieniem w tym okresie oczywistych warunków, takich jak nośność czy stateczność należy spełnić wymagania dotyczące trwałości konstrukcji w taki sposób, aby uniknąć nadmiernych kosztów jej utrzymania przez cały okres eksploatacji. Jednym z czynników powodujących obniżenie trwałości konstrukcji są przecieki. Stąd też norma PN-EN 1992-3 [5] podaje odpowiednią klasyfikację szczelności zbiorników żelbetowych na ciecze w zależności od stopnia zabezpieczenia przed przeciekami. Ponadto, w niniejszej normie zapisano, iż szczególnej uwadze powinny być poświęcone elementy konstrukcyjne poddane naprężeniom rozciągającym powodowanym odkształceniami wymuszonymi od skurczu i temperatury. Niniejszy artykuł poświęcony jest Aneksowi M [5] z zakresu obliczania szerokości rys od obciążeń wymuszonych metodą dokładną.

2. Czynniki wpływające na odkształcenia wymuszone

Zarysowanie ścian zbiorników żelbetowych może powstać już na etapie ich wykonywania i jest częstym problemem, z którym przychodzi się zmierzyć zarówno projektantom jak i wykonawcom. W ogólnym przypadku zjawisko to dotyczy przede wszystkim konstrukcji, które z uwagi na swoją masywność mają zdolność do magazynowania większej ilości ciepła powstałego w okresie hydratacji cementu [6,8]. Bezpośrednią przyczyną zarysowania jest spadek temperatury w skrzepionym elemencie konstrukcyjnym tuż po okresie najintensywniejszego wiązania cementu. Czynnikiem wpływającym na stopień zarysowania, bądź jego uniknięcie, ze strony projektanta są: ilość i rodzaj zastosowanego cementu, dobór kruszywa z uwagi na odkształcenie graniczne betonu, wartość współczynnika rozszerzalności

termicznej betonu, rozplanowanie dylatacji oraz połączeń konstrukcyjnych decydujących o stopniu skrzepowania, czyli tzw. więzy zewnętrzne, którymi są sąsiednie wcześniej wykonane elementy, poprawność założeń do wyznaczenia obciążenia termicznego w okresie wykonywania konstrukcji, zdefiniowanie wytycznych dla wykonawcy z zakresu dopuszczalnych temperatur otoczenia, w jakich można wykonywać betonowanie oraz określenie maksymalnej dopuszczalnej temperatury mieszanki betonowej.

W przypadku wykonawcy, zarysowanie może być spowodowane lub potęgowane błędnymi decyzjami w zakresie: nieprzestrzegania wytycznych stawianych przez projektanta, zastosowania betonu o klasie jak zdefiniował projektant, ale jedynie w stosunku do wytrzymałości na ściskanie bez weryfikacji wytrzymałości na rozciąganie betonu, przyjęcia własnego układu połączeń konstrukcyjnych przyspieszających jedynie wykonanie konstrukcji, niewłaściwe decyzje o czasie zdjęcia deskowania i sposobie pielęgnacji mających wpływ na oddziaływanie więzów wewnętrznych ograniczających swobodne odkształcenia poszczególnych części przekroju, np. w wyniku nagłego schłodzenia powierzchni elementu w stosunku do wnętrza konstrukcji o wyższej temperaturze. Spełnienie powyższych wymogów ze strony wykonawcy jest tym łatwiejsze, im precyzyjniej zostaną one zdefiniowane przez projektanta.

3. Uwagi ogólne do Aneksu M w PN-EN 1999-3:2006

Przeanalizowanie zagadnienia dotyczącego zarysowania konstrukcji od odkształceń wymuszonych, z punktu widzenia przepisów normowych sprowadza się do dwóch norm krajowych: PN-EN 1992-1-1 [4] oraz normy PN-EN 1992-3 [5]. Norma PN-EN 1992-1-1 [4] dotycząca ogólnych zasad projektowania konstrukcji betonowych daje możliwość określenia minimalnego stopnia zbro-

jenia, jak również podaje wzory do określenia szerokości rysy. W przypadku rys powstałych od odkształceń wymuszonych odsyła ona do normy PN-EN 1992-3 [5], która stanowi o warunkach wykonania i konstruowania zbiorników na ciecze i silosów z betonu słabo zbrojonego, żelbetu i betonu sprężonego. Norma ta w Aneksie M podaje między innymi zależności ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$) dla różnych schematów skrępowania.

Zalecane wartości dopuszczalnej szerokości rysy w_{k1} zależne są od ciśnienia hydrostatycznego, a dokładniej od stosunku wysokości słupa cieczy h_D do grubości przekroju h . Zatem $w_{k1} = 0,2$ mm dla $h_D/h \leq 5$; $w_{k1} = 0,05$ mm dla $h_D/h \geq 35$; dla pośrednich wartości h_D/h można stosować interpolację liniową pomiędzy wartościami 0,2 i 0,05 mm. Ograniczone w ten sposób szerokości rys przelotowych powinny zapewnić samouszczelnienie rys w stosunkowo krótkim czasie. Należy zaznaczyć, że są to dopuszczalne szerokości rys z uwagi na obciążenia zarówno w okresie dojrzewania betonu, jak i w późniejszym czasie podczas eksploatacji obiektu. Dopuszczalna szerokość rysy 0,2 mm dotyczy jedynie bardzo niskich obiektów, niemniej jednak w stosunku do otwartych zbiorników żelbetowych, o wysokości ścian np. od 5,0 do 8,0 m, powyższe wymagania zostały znacząco złagodzone w stosunku do wartości 0,1 mm zawartej w [2]. Takie rozwiązanie jest uzasadnione przez obecną normę [5] tym, że jeśli spełnione są wymagania klasy 1 i w okresie eksploatacji obiektu przekrój ten nie będzie poddany znacznym odkształceniom od obciążeń zmiennych i temperatury, to można oczekiwać samouszczelnienia się rys. Maksymalny zakres odkształceń w przekroju w warunkach użytkowania winien być mniejszy niż $150 \mu\epsilon$, co odpowiada wahaniom temperatury o około 15°C . W innym przypadku, aby zapewnić samouszczelnienie się rys należy domniemywać, iż dopuszczalne szerokości rys należy zmniejszyć w stopniu nie definiowanym przez normę.

Niniejszy artykuł poświęcony jest w szczególności Aneksowi M do PN-EN 1992-3 [5] dotyczący obliczania szerokości rysy powstałych w wyniku odkształceń wymu-

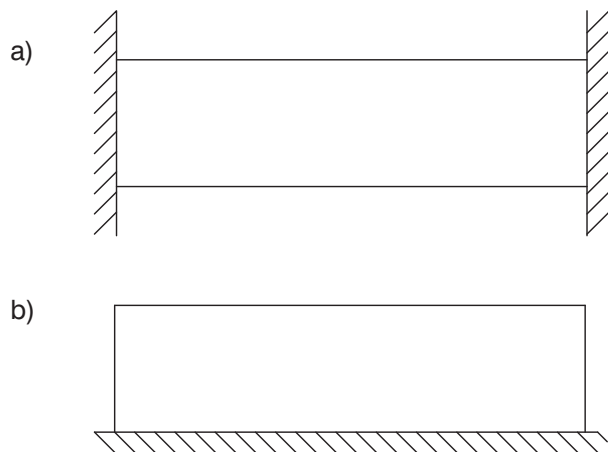
szonych. Na wstępie Aneksu M obciążenie wymuszone jest zdefiniowane jako: zmiany odkształcenia powstałe tuż po zabetonowaniu elementu w wyniku spadku temperatury i odkształceń skurczowych, czyli odkształcenia powstałe w okresie dojrzewania betonu. Rozróżniono przy tym dwa rodzaje skrępowania tych odkształceń, tj. poprzez zamocowanie elementu na jego końcach oraz wzdłuż jednej z krawędzi elementu (rys. 1).

W przypadku analizy zarysowania ścian zbiorników pierwszy ze schematów (rys.1a) nie ma większego zastosowania, gdyż odzwierciedla segment ściany betonowanej na warstwie ślizgowej pomiędzy dwoma istniejącymi segmentami. Takie rozwiązanie w praktyce stosuje się w cylindrycznych powłokach sprężonych, które nawet w okresie dojrzewania betonu mogą odkształcać się na kierunku radialnym. W niniejszym schemacie musiałoby również występować skrępowanie wzdłuż dolnej krawędzi, aby odzwierciedlać przypadek segmentu ściany zbiornika betonowanego pomiędzy istniejącymi segmentami. Według informacji zawartych w Aneksie M przypadek (a) był przedmiotem wielu badań w ostatnich 25 lub 30 latach i jest dość dobrze rozeznany, niemniej jednak nie powinien być stosowany do analizy zarysowania segmentów ścian żelbetowych. Natomiast przypadek (b) występuje powszechnie jako segment ściany betonowany na sztywnym fundamencie. W stosunku do przypadku (b) zastrzeżono, że nie był on dotychczas systematycznie badany i prezentowany był w nielicznych publikacjach. Obydwa rodzaje skrępowania wpływają na odmienny sposób zarysowania, tj. na lokalizację, zasięg, ilość rys oraz ich szerokość. Ponadto w obu schematach występuje odmienny rozkład naprężeń przed i po zarysowaniu. Zgodnie z Aneksiem L do PN-EN 1992-3 [5] oba schematy skrępowania mogą być również stosowane do określenia odkształceń w płytach dobetonowanych do sztywnych połączeń. W tym Aneksie zamieszczono również informację na temat współczynników skrępowania zaczerpnięte z [1]. Za elementy skrępowane przez więzy zewnętrzne na końcach można uważać dobetonowane płyty pomiędzy sztywnymi ścianami lub słupami oraz płyty fundamentowe betonowane na palach.

Zgodnie z Aneksiem M do obliczania szerokości rys w ścianach zbiorników należy stosować ogóle wyrażenie (1) zawarte w PN-EN 1992-1 [4]. Jest ono przeznaczone do opisu szerokości rysy w elementach zginanych lub rozciąganych. Genezę niniejszego wyrażenia przedstawiono między innymi w pracy [9].

$$w_k = s_{r, \max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad (1)$$

gdzie: $s_{r, \max}$ – maksymalny rozstaw rys, ϵ_{sm} – średnie odkształcenia zbrojenia rozciąganego, przy kombinacji obciążeń uwzględniającej wpływ odkształceń własnych oraz wpływ usztywnienia przy rozciąganiu, ϵ_{cm} – średnie odkształcenie betonu pomiędzy rysami. Tak sformułowane wyrażenie zakłada występowanie ob-



Rys. 1. Rodzaje skrępowania [5]

ciążenia zewnętrznego działającego na element prętowy. Obciążenie to po zarysowaniu w całości przekazywane jest na pręty zbrojeniowe (w przekroju przez rysę). A na odcinku pomiędzy rysami całe obciążenie po części przenosi stal i beton [9]. Natomiast w przypadku obciążeń wymuszonych, bezpośrednio po zarysowaniu, naprężenia rozciągające nawet w bardzo odległych miejscach od rysy ulegają redukcji. Powoduje to spadek sztywności i redukcję stopnia skrępowania. Zjawisko to nie jest w żaden sposób uwzględnione w powyższym wyrażeniu. Toteż wstępnie można wnioskować, iż przy braku takiego założenia policzone szerokości rys będą zawyżone.

4. Rozstaw rys

W przypadku gdy zbrojenie zakotwione wewnątrz strefy rozciąganej ściany jest rozmieszczone w rozstawie $\leq 5(c + \phi/2)$, to maksymalny końcowy rozstaw rys może być obliczony z zależności (2). W przypadku niespełniania tego warunku norma nie definiuje wzoru do określenia $s_{r, max}$ dla przypadku osiowo rozciąganych ścian zbiorników.

$$s_{r, max} = 3,4c + 0,425 k_1 k_2 \phi / \rho_{p, eff} \quad (2)$$

Wzór (2) określa rozstaw rys w zależności od wydłużenia powstałego w wyniku lokalnej utraty przyczepności pomiędzy stalą i betonem. Z uwagi na utratę przyczepności pomiędzy betonem a stalą, beton ulega całkowitemu odprężeniu bezpośrednio przy rysie, ale wraz ze wzrostem odległości od rysy beton jest coraz to bardziej skrępowany i rozciągany. Współczynnik k_1 we wzorze (2) uwzględnia przyczepność zbrojenia do betonu. Przyjmuje on wartość dla stali żebrowanej 0,8, a dla gładkiej 1,6. Wartości tych współczynników są podane przy założeniu dobrej przyczepności dookoła całego obwodu zbrojenia. Wytyczne co do dobrych i słabych warunków przyczepności zamieszczono na rysunku 8.2 w [4]. Wynika z niego, iż w przypadku ścian zbiorników i wielu innych konstrukcji średniomasywnych lub masywnych dobre warunki przyczepności nie są zapewnione. W takim przypadku naprężenie przyczepnościowe jest mniejsze, a tym samym długość zakotwienia jest większa. Stąd wartość współczynnika k_1 stosowana do wzoru (2) winna być również skorygowana w następujący sposób: $k_1 = 0,8/0,7 = 1,14$ dla stali żebrowanej i $k_1 = 1,6/0,7 = 2,29$ dla stali gładkiej.

Zgodnie z [4] ściany poddane zmianom odkształceń od samoociepiania się betonu w młodym wieku, w których pole zbrojenia poziomego A_s nie spełnia warunku minimalnego stopnia zbrojenia oraz ściana jest skrępowana przez wcześniej wykonany fundament, maksymalny rozstaw rys może być przyjęty jako $1,3 H$, (H – wysokość ściany).

Tym samym należy wnioskować, iż wzory pozwalające określić rozstaw rys od obciążeń wymuszonych są jedy-

nie w pewnym stopniu adekwatne do faktycznych przypadków obliczeniowych (dla ściany o zbrojeniu mniejszym niż minimalne). Niewątpliwie jest brak dokładnej informacji na temat policzenia rozstawu rys jako funkcji stopnia skrępowania konstrukcji (o którym decyduje między innymi sztywność gięta łączonych elementów) oraz stopnia zbrojenia dla przypadku ściany skrępowanej przez fundament. Schemat pręta zamocowanego na końcach nie jest adekwatny do wyznaczenia rozstawu rys, nawet w przypadku segmentu uzupełniającego, w którym rozstaw rys jest determinowany nie tylko zamocowaniem na końcach, ale przede wszystkim przez zamocowanie na dolnej krawędzi ściany.

5. Szerokości rys w elementach skrępowanych wg Aneksu M

Wg Aneksu M do PN-EN 1992-3 [5] szerokości rys można policzyć stosując równanie (1). Wyróżniono dwa przypadki, tj.: skrępowania na końcach i wzdłuż podstawy elementu, dla których w sposób różny określa się $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$. Dla pierwszego z przypadków różnica odkształceń pomiędzy stalą a betonem zależna jest od stopnia zbrojenia i wytrzymałości betonu na rozciąganie w momencie spodziewanego zarysowania (rów. 3). Wielkość odkształceń skrępowanych nie ma żadnego wpływu na szerokość rys, jedynie na ich ilość w konstrukcji. W drugim przypadku o różnicy odkształceń decyduje jedynie wielkość odkształceń skrępowanych ϵ_r (rów. 4). Przy takim podejściu zakłada się lokalną zmianę rozkładu naprężeń wynikającą z zarysowania, która nie wpływa na redukcję sztywności i redukcję stopnia skrępowania.

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (0,5 \alpha_e k_c k_f k_{ct, eff} (t) / E_s) (1 + 1 / \alpha_e \rho) \quad (3)$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = R_{ax} \epsilon_{free} = \epsilon_r \quad (4)$$

gdzie: R_{ax} – współczynnik skrępowania, ϵ_{free} – odkształcenie jakie mogłoby wystąpić w całkowicie swobodnym elemencie, ϵ_r – odkształcenie skrępowane.

6. Zmiana szerokości rysy od obciążeń wymuszonych

W miarę spadku temperatury betonu i postępującego skurczu autogenicznego wzrastają odkształcenia skrępowane. Dzieje się tak do czasu, aż naprężenia rozciągające przekroczą wytrzymałości betonu na rozciąganie i powstanie pierwsza rysa. Zarysowanie spowoduje nie tylko spadek sztywności elementu, (co przejawia się spadkiem stopnia skrępowania), ale również spadek naprężeń i odkształceń skrępowanych w całym elemencie. Wielkość oraz zasięg tego spadku naprężeń i odkształceń zależy od schematu skrępowania. Dalszy wzrost odkształceń wymuszonych generuje dalszy wzrost odkształceń skrępowanych, powoduje to posze-

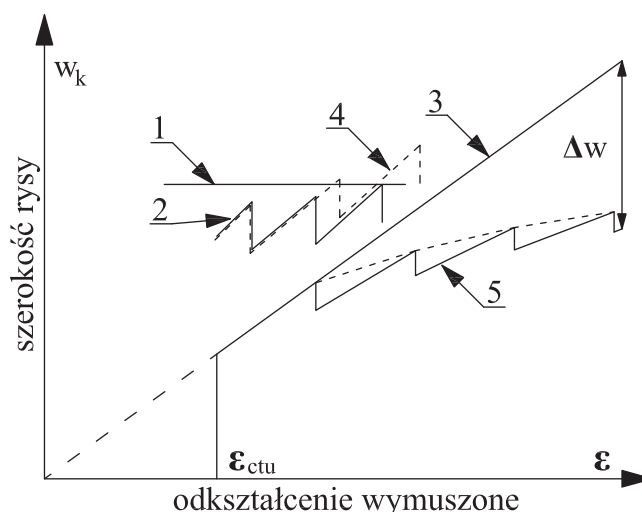
zenie się pierwszej rysy i ponowny wzrost naprężeń, aż znów (w innym miejscu) zostanie przekroczona wytrzymałość betonu na rozciąganie, efektem czego powstanie druga rysa. Kolejno następuje: dalsza redukcja sztywności, spadek naprężeń i odkształceń skrępowanych w betonie. Należy zauważyć, iż pierwsza rysa powstaje w najłagodniejszym miejscu, przez co kolejne rysy będą powstawać przy wyższych naprężeniach rozciągających, co potęgowane jest też ciągłym przyrostem wytrzymałości betonu. Taki proces postępuje do czasu osiągnięcia minimalnej temperatury w konstrukcji. Wtedy też stan zarysowania można uznać za ustabilizowany w danych warunkach realizacji i dojrzewania. Problem polega na tym, że dla innych warunków realizacji i wykonania ustabilizowany układ rys będzie inny. Dlatego też obliczenia należy wykonać dla przyjętych najbardziej niekorzystnych, ale jednocześnie racjonalnych warunków realizacji i dojrzewania betonu. Racjonalnymi warunkami realizacji nie są warunki skrajne, przy których należy wykluczyć realizację, np. temperatura otoczenia wynosząca 35°C lub temperatura początkowa mieszanki 30°C.

Za ustabilizowany układ rys można też uznać sytuację, w której wystąpią na tyle duże odkształcenia skrępowane, powyżej których dalsze odkształcenia skrępowane nie spowodują powstawania kolejnych rys, ale będą powodować wzrost szerokości rys istniejących. Jednak wielkość odkształceń skrępowanych, jaka musiałaby powstać w takiej sytuacji, jest nierealna. Założenie takie występuje we wzorze na rozstaw rys dla elementu skrępowanego na końcach. Jest to słuszne z punktu widzenia działania obciążeń zewnętrznych, powodujących stałą siłę na całej długości elementu, która nie ulega redukcji po zarysowaniu. Natomiast dla elementu poddanemu obciążeniu wymuszonemu finalny rozstaw rys jest znacznie większy od policzonego, gdyż powstawanie kolejnych rys uwarunkowane jest przyrostem obciążenia narzuconego. Tym samym przez zastosowanie wzoru (2) szerokości rys będą znacznie niedoszacowane.

Na rysunku 2 podano interpretację szerokości rys jako funkcji odkształceń wymuszonych (linie numer 1, 2, 3 bez komentarza zawarte są w Aneksie M). W przypadku elementu skrępowanego na końcach i zastosowaniu równania (3) (linia nr 1) otrzymamy stałą szerokość rysy niezależnie od wielkości odkształceń wymuszonych. Linia nr 2 przedstawia zmianę szerokości pierwszej rysy jako funkcję obciążenia wymuszonego (przy założeniu stałej wytrzymałości betonu na rozciąganie). Rysa powstaje po przekroczeniu odkształcenia granicznego betonu i poszerza się ze wzrostem odkształcenia wymuszonego, aż do momentu powstania kolejnej rysy. Efektem kolejnych zarysowań jest spadek odkształcenia skrępowanego (tj. poprzez spadek stopnia skrępowania) przy ciągłym wzroście odkształcenia wymuszonego. Skutkuje to spadkiem szerokości pierwszej rysy. Dlatego też każda rysa osiąga swoją maksymalną sze-

rokość tuż przed powstaniem kolejnej rysy. Jeśli w obliczeniach uwzględniono przyrost wytrzymałości betonu na rozciąganie, w kolejnych dniach postępującego zarysowania, to rysa nr 1 będzie się stale poszerzać, co przedstawiono linią nr 4.

Linia nr 3 przedstawia zmianę szerokości rysy policzoną z wykorzystaniem równania (4). Rysa powstaje po przekroczeniu odkształcenia granicznego, a jej szerokość zwiększa się proporcjonalnie do wzrostu odkształcenia wymuszonego. Linią nr 5 przedstawiono zmianę szerokości rysy przy uwzględnieniu spadku stopnia skrępowania w wyniku powstawania kolejnych rys. Porównując zmiany szerokości rys linia 3 i 5 można wnioskować, iż zgodnie z aneksem M policzone szerokości rys będą zawyżone. Takie podejście jest podyktowane założeniem, iż zarysowanie powoduje zmianę rozkładu naprężeń tylko lokalnie, a nie na całej długości jak w elementach skrępowanych na końcach i nie ma żadnego wpływu na odprężenie się ściany. Występowanie tego zjawiska wykazano w pracy [13].



Rys. 2. Zależność pomiędzy szerokością rysy a obciążeniem wymuszonym dla przypadku elementu: skrępowanego na końcach (linie numer 1, 2, 4) oraz wzdłuż podstawy (linie numer 3, 5)

Przeszacowanie szerokości rysy potęgowane jest też nieuwzględnieniem w obliczeniach odkształceń rezydualnych przenoszących przez niezarysowane odcinki betonu. Zgonie z [12] można je uwzględnić jako $\frac{1}{2} \epsilon_{ctu}$ na odcinku pomiędzy rysami. Przy takim założeniu wzór (4) przyjmuje postać:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = R_{ax} (\epsilon_{free} - \frac{1}{2} \epsilon_{ctu}) \quad (5)$$

gdzie: ϵ_{ctu} – odkształcenie graniczne betonu przy rozciąganiu, zależne od aktualnej wytrzymałości betonu na rozciąganie oraz modułu sprężystości.

Tym samym wzór na szerokość rysy przyjmie postać (6), w którym zasadniczą rolę odgrywa właściwe określenie stopnia skrępowania.

$$w_k = R_{ax} (\varepsilon_{free} - 1/2 \varepsilon_{ctu}) \cdot s_{r, max} \quad (6)$$

W przypadku elementu zamocowanego na przeciwnych końcach wzór na szerokość rys ma następującą postać:

$$w_k = (0,5\alpha_e k_c k_f f_{ct, eff}(t)/E_s) (1 + 1/\alpha_e \rho) \cdot s_{r, max} \quad (7)$$

w którym k_c dla przypadku więzów zewnętrznych należy przyjąć 1,0, natomiast w przypadku dominacji więzów wewnętrznych 0,5.

W pracy [11] przedstawiono układ i szerokości rys powstałych od obciążeń wymuszonych w średniomasywnych segmentach powłoki zbiornika cylindrycznego. Przeprowadzono również obliczenia zgodne z obecnie obowiązującymi normami [4,5]. W przypadku zarysowania segmentów betonowanych w fazie pierwszej, (tj. segmentów skrzepowanych tylko przez fundament) obliczona według proponowanej procedury (wzory 1 i 4) szerokość rysy, przy przyjęciu $s_{r, max} = 1,3H = 7,15$ m oraz $R_{ax} = 0,5$ wyniosła 0,894 mm. Stanowiło to, w stosunku do maksymalnej szerokości rysy zarejestrowanej na tych segmentach, przeszacowanie w niektórych przypadkach blisko o 200%. Zdecydowanie bardziej dokładne wyniki uzyskano dla segmentu 8, gdzie obliczono szerokość rysy, przy przyjęciu maksymalnego rozstawu rys zarejestrowanego na budowie $s_{r, max} = 2,16$ m ($R_{ax} = 0,5$), która wyniosła 0,27 mm.

W przypadku zarysowania segmentów powłoki betonowanych w fazie drugiej, (tj. segmenty skrzepowane na przeciwnych krawędziach i wzdłuż podstawy) nie ma żadnej propozycji normowej dotyczącej określenia $s_{r, max}$. Gdyby przyjąć, że w tym przypadku obowiązuje procedura wyznaczania $s_{r, max}$ jak dla elementów osiowo rozciąganych (wzory 1 i 3), to obliczone w ten sposób szerokości rys będą znacząco mniejsze, z uwagi na kilkukrotnie większy rozstaw rys pomierzonych. Ostatecznie to podejście będzie prowadzić do niedoszacowania szerokości rys.

7. Podsumowanie

Ogólny wydźwięk artykułu poświęcony propozycjom zawartym w Aneksie M do PN-EN 1992-3 [5] jest dość krytyczny. Taki stan rzeczy został uzasadniony w oparciu o zaprezentowane rozważania teoretyczne, jak i bezpośrednie porównanie obliczeń i wyników badań segmentów powłoki zbiornika przeprowadzonych w skali naturalnej [11]. Rozważane segmenty zarysowały się wyłącznie od obciążeń wymuszonych.

Z uwagi na określenie maksymalnego rozstawu rys (wzór 2), norma [4] nie sugeruje korekty współczynnika k_1 z uwagi na słabe warunki przyczepności, jakie będą występować w konstrukcjach masywnych oraz o średniej masywności. Niemniej jednak wprowadzenie tej korekty wydaje się w pełni zasadne.

Wobec przedstawionych rozbieżności w kwestii sprawdzenia szerokości rys wg Aneksu M do PN-EN 1992-3 [5], tj. metody dokładnej, należy stosować metodę uproszczoną zgodnie z (p. 7.3.3) PN-EN 1992-3 [5], prowadzącą w wielu przypadkach do przebrojenia konstrukcji. Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie innej metody weryfikacji szerokości rys stworzonej z myślą o ścianach skrzepowanych przez fundament. Taką metodą uwzględniającą sztywności łączonych elementów jest np. podejście Rostąsy i W. Henninga [10], opisaną między innymi w pracy [7]. Należy przy tym zachować wytyczne PN-EN 1992-1 [4], PN-EN 1992-3 [5] oraz PN-EN 1990 [3] w zakresie ustalania parametrów betonu oraz kombinacji działających obciążeń.

W PN-EN 1992-3 [5] zdefiniowano klasy szczelności i podstawowe kryteria zachowania wodoszczelności ścian zbiorników, które należy spełnić. Zdefiniowany w Aneksie M sposób obliczania rys nie jest w przypadku ścian zbiorników wiarygodny. Należy natomiast podkreślić, że zdefiniowane przez normę dopuszczalne szerokości rys dotyczą łącznego działania obciążeń wymuszonych i eksploatacyjnych. W sytuacji gdy nie nastąpi zarysowanie w okresie dojrzewania betonu, należy uwzględnić powstałe odkształcenia skrzepowane przy sprawdzeniu zarysowania w sytuacji trwałej.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] BS 8007:1987 Design of concrete structures for retaining aqueous liquids
- [2] PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [3] PN-EN 1990 Eurokod Podstawy projektowania konstrukcji
- [4] Eurocode 2: PN-EN 1992-1. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków, wrzesień 2008, s. 205
- [5] Eurocode 2: PN-EN 1992-3. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 3: Silosy i zbiorniki na ciecz, listopad 2008, s. 23
- [6] Flaga K., Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych, Monografia 295, Politechnika Krakowska, Kraków 2004
- [7] Kiernożycki W., Betonowe konstrukcje masywne, Polski Cement, Kraków, 2003
- [8] Klemczak B., Modelowanie efektów termiczno-wilgotnościowych i mechanicznych w betonach konstrukcji masywnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008, praca habilitacyjna, s. 232
- [9] Knauff M., Rysy, minimalne pole przekroju zbrojenia. Komentarz naukowy do PN-B-03264:2002. s. 47-76
- [10] Rostąsy F. S., Henning W., Zwang in Stahlbetonwänden auf Fundamenten. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 8, Heft 9, 1989, s. 208-214, 232-237
- [11] Seruga A., Szydłowski R., Zych M., Ocena postępującego procesu zarysowania ścian cylindrycznych w monolitycznych zbiornikach żelbetowych. Czasopismo Techniczne, Budownictwo, z.1-B/2008, Zeszyt Z-1, s. 135-163
- [12] Scott, R H, Gill, P., Short term distribution of strain and bond stress along tension reinforcement. The Structural Engineer, 1987, Vol. 65B, No.2
- [13] Zych M., Analiza pracy ścian zbiorników żelbetowych we wczesnym okresie dojrzewania betonu, w aspekcie ich wodoszczelności. Praca doktorska, Kraków luty 2011