

# Wpływ odkształceń reologicznych betonu na ilość zbrojenia w korycie przelewowym osadnika wtórnego

Dr inż. Roman Wróblewski, Politechnika Wroclawska

## 1. Wprowadzenie

Problem wyznaczania zbrojenia w zbiornikach z uwagi na odkształcenia reologiczne jest poruszane przez wielu autorów [1], [2], [3]. Z uwagi na brak praktycznych możliwości zastosowania rozwiązań zamkniętych z uwzględnieniem skurczu i pęcznienia dla złożonych konstrukcji (np. zamkniętych komór fermentacyjnych, zbiorników z korytami przelewowymi), rozwiązania analityczne podawane są dla najprostszysch schematów i obejmują ściany, jako główny element konstrukcyjny zbiornika [1], [2]. W niniejszej pracy przedstawiono przykład zastosowania obliczeń numerycznych do analizy sił wewnętrznych i do określenia ilości zbrojenia w żelbetowym osadniku wtórnym z uwzględnieniem efektów reologicznych, temperatury oraz typowych obciążeń eks-

ploatacyjnych. Szczegółowo analizowano koryta przelewowe z uwagi na zastosowanie w nich małej ilości zbrojenia, co spowodowało wątpliwości czy zastosowane zbrojenie jest wystarczające.

Wytyczne normowe [6] w zakresie wyznaczania minimalnej ilości zbrojenia są ogólne, i jak wykazano w pracy [2], w przypadku zbiorników mogą prowadzić do zawyżenia ilości zbrojenia. Jak wskazują [2], [3], po zarysowaniu ścian zbiornika siły wewnętrzne wywołane skurczem lub temperaturą ulegają redukcji. Jest to związane z częściowym zmniejszeniem sztywności ścian, a przyrost naprężeń jest możliwy do momentu powstania kolejnych rys. Taka zmiana sił wewnętrznych ma wpływ na ich wartości w stanach granicznych użytkowalności i nośności. Dla stanu granicznego nośności ich pominięcie w konstrukcjach, które nie ule-

gły zarysowaniu (np. sprężonych) może doprowadzić do przedwczesnej utraty nośności, co należy uwzględnić w projektowaniu [4].

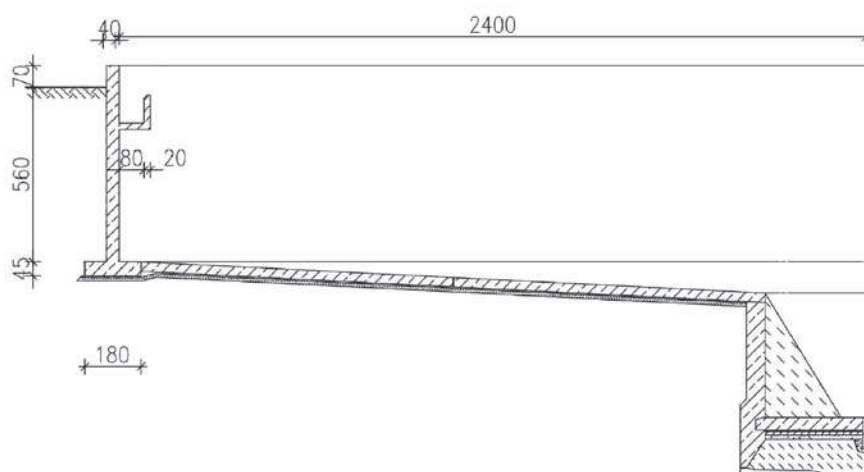
## 2. Konstrukcja zbiornika

Osadnik wtórny (rys. 1) jest otwartym żelbetowym zbiornikiem kołowym o średnicy wewnętrznej 48,0 m. Ściana osadnika o grubości 40 cm i wysokości 6,3 m jest zamocowana w ławie pierścieniowej. Koryto odpływowe ścieków o grubości ścian 20 cm jest zamocowane wspornikowo w ścianie osadnika. Do wykonania konstrukcji przyjęto beton C25/30 o wodoszczelności W8 i mrozoodporności F150. Zbrojenie stanowią pręty  $\phi 8$  mm o wytrzymałości charakterystycznej 355 MPa i 490 MPa. Przyjęto otuliny 30 mm.

## 3. Zbrojenie minimalne

Przeprowadzono obliczenia minimalnego przekroju zbrojenia  $A_{s,min}$  dla koryt odpływowych wg [6]. Pole minimalnego zbrojenia wraz z towarzyszącymi naprężeniami w zbrojeniu wyznaczono dla kilku wartości szerokości rozwarcia rys. Dodatkowo obliczono  $A_{s,min}$  przy założeniu, że naprężenia w zbrojeniu osiągają wartość 355 MPa i 490 MPa. Wyniki obliczeń  $A_{s,min}$  zamieszczono w tabeli 1.

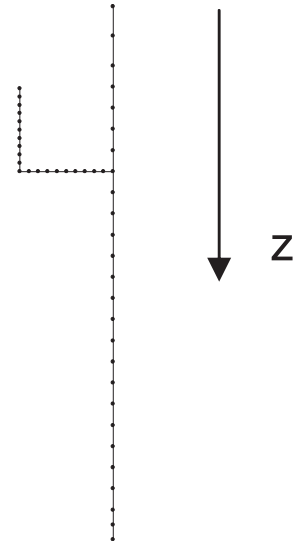
Pole obliczonego zbrojenia minimalnego znacznie przewyższa wartości przyjęte w projekcie, wobec czego przeprowadzono sprawdze-



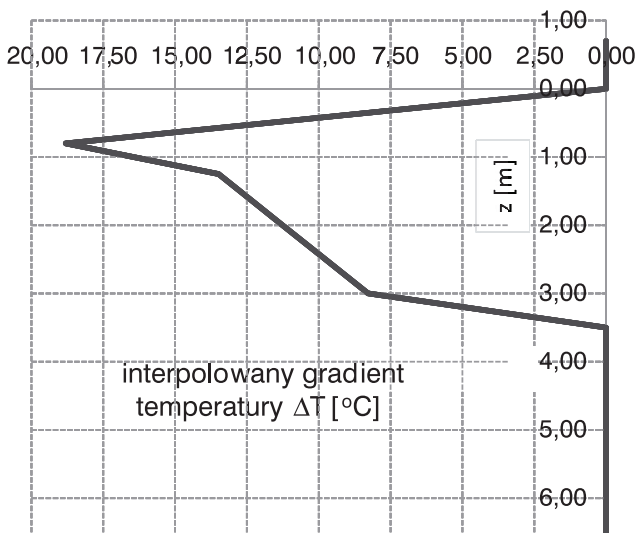
Rys. 1. Schemat osadnika

**Tabela 1.** Zestawienie wyników obliczeń zbrojenia minimalnego  $A_{s,min}$

Kierunek zbrojenia	Kryterium wyznaczania $A_{s,min}$	Projektowane pole zbrojenia	Stopień zbrojenia projektowanego	Obliczone $A_{s,min}$	Stopień zbrojenia określony dla $A_{s,min}$
		mm <sup>2</sup>	%	mm <sup>2</sup>	%
Potudnikowe	$\sigma_s < f_{yk} = 355\text{MPa}$	657,1	0,33	657,1	0,33
	$w_k = 0.1$			1488	0,74
	$w_k = 0.15$			1162	0,58
	$w_k = 0.2$			982	0,49
	$w_k = 0.3$			778	0,39
Obwodowe	$\sigma_s < f_{yk} = 355\text{MPa}$	602	0,30	1465	0,73
	$\sigma_s < f_{yk} = 490\text{MPa}$			1061	0,53
	$w_k = 0.1$			4080	2,04
	$w_k = 0.15$			3140	1,57
	$w_k = 0.2$			2625	1,31
	$w_k = 0.3$			2050	1,03



**Rys. 3.** Model obliczeniowy zbiornika wykorzystany w obliczeniach statycznych



**Rys. 2.** Obciążenie gradientem temperatury na wysokości ściany zbiornika

– obciążenie gradientem temperatury dla warunków zimowych (rys.2);

– obciążenie gruntem.

Do obliczeń statycznych wykorzystano metodę elementów skończonych w zakresie małych przemieszczeń i odkształceń przyjmując liniowo-sprężysty model materiału i kołową symetrię konstrukcji. Schemat obliczeniowy przedstawiony na rysunku 3.

W tabeli zamieszczono zestawienie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w korycie odpływowym i nośność odpowiednich przekrojów. Podano także wartości sił wewnętrznych dla stanu granicznego użyteczności i wartości sił rysujących.

Zarówno nośność, jak i pełna rysoodporność konstrukcji zostały zachowane, wobec czego o ilości zbrojenia minimalnego decydować mogą wyniki obliczeń z uwzględnieniem skurczu.

nie ilości potrzebnego zbrojenia z uwagi na skurcz poprzez obliczenia statyczne i wymiarowanie przekrojów z uwzględnieniem tego wpływu. Sprawdzono również czy przyjęte zbrojenie jest wystarczające z uwagi na nośność i zarysowanie.

#### 4. Obliczenia sprawdzające

##### 4.1. Ze względu na obciążenia eksploatacyjne

Obliczenia przeprowadzono dla następujących obciążeń:

- ciężar własny konstrukcji;
- obciążenie cieczą;

**Tabela 2.** Zestawienie ekstremalnych sił wewnętrznych

SGN				Nośność		SGU				Siła rysująca	
$N_z$	$N_\phi$	$M_z$	$M_\phi$	$N_{zRd}$	$N_{\phi Rd}$	$N_z$	$N_\phi$	$M_z$	$M_\phi$	$N_{zcr}$	$N_{\phi cr}$
kN/m	kN/m	kNm/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kNm/m	kN/m	kN/m
-5,40	-45,19	4,46	6,71	17,14	107,9	-4,90	-13,59	2,58	0,52	35,11	508,9

**Tabela 3.** Zestawienie wyników obliczeń odkształceń reologicznych

t	t <sub>r</sub>	f <sub>cm</sub> (t <sub>r</sub> )	f <sub>ctm</sub> (t <sub>r</sub> )	E <sub>cm</sub> (t <sub>r</sub> )	φ(t <sub>r</sub> , t <sub>0</sub> )	E <sub>c,eff</sub> (t <sub>r</sub> , t <sub>0</sub> )	ε <sub>cd</sub> (t)	ε <sub>ca</sub> (t)	ε <sub>csRC</sub> (t)
dni	dni	MPa	MPa	MPa		MPa			
30	13,7	29,6	2,30	30475,5	1,027	15525,3	4,818E-5	2,496E-5	7,030E-5
60	31,2	33,4	2,59	31599,4	1,304	13663,5	9,097E-5	2,953E-5	1,153E-4

### 3.2. Ze względu na skurcz i pęcznienie

Założono, że skurcz betonu będzie rozpoczynał się po siedmiu dniach od zabetonowania. Przyjęto, że betonowanie koryt odbędzie się w końcowym okresie zimy i na podstawie danych IMGW założono, że średnia temperatura będzie wynosić w marcu 4,1°C, w kwietniu 8,9°C, a w maju 14,2°C. Obliczenia przeprowadzono dla okresu dwóch miesięcy przyjmując, że po tym czasie będzie przeprowadzona próba szczelności, co spowoduje zanik skurczu.

W pierwszym etapie przeprowadzono obliczenia odkształceń reologicznych betonu (od skurczu i pęcznienia) w korytach odpływowych wg [6], których wyniki zestawiono w tabeli 3. Wyznaczono skurcz autogeniczny ε<sub>ca</sub>(t) i skurcz od wysychania ε<sub>cd</sub>(t). W obliczeniach uwzględniono zmniejszający wpływ zbrojenia na odkształcenia od skurczu ε<sub>csRC</sub>(t) wg [5] oraz wpływ obniżonych temperatur po-

wietrza spowalniający przyrost odkształceń skurczowych i wytrzymałości betonu.

W drugim etapie obliczono siły wewnętrzne w zbiorniku od odkształceń skurczowych. W obliczeniach uwzględniono także ciężar własny konstrukcji. Uwzględniono jednocześnie działanie skurczu i pęcznienia betonu zgodnie z [2] poprzez obliczenie sił wewnętrznych z wykorzystaniem obliczonych odkształceń od skurczu ε<sub>csRC</sub>(t) i efektywnego modułu odkształcalności betonu E<sub>c,eff</sub>(t<sub>r</sub>, t<sub>0</sub>).

W tabeli 4 zestawiono porównanie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych w korycie odpływowym z wartościami sił rysujących. Uzyskane wyniki nie uzasadniają konieczności przyjęcia zwiększonej ilości zbrojenia wg zaleceń [6] (tab. 1).

### 5. Wnioski

Obliczenia numeryczne złożonych konstrukcji zbiorników mogą być

efektywnym narzędziem umożliwiającym analizę konstrukcji w wielu aspektach praktycznych, jak i teoretycznych. Przedstawiona w pracy analiza pokazała, że na skutek odkształceń reologicznych betonu nie nastąpi zarysowanie elementów zbiornika, a zatem istnieje możliwość znacznej redukcji ilości zbrojenia wymaganego przepisami normowymi [6] w przypadkach, gdy dla obciążeń eksploatacyjnych zachowane są warunki nośności i zarysowania.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Csiki B., Effect of temperature variation and shrinkage on circular tanks. Concrete Structures, vol. 1 2000
- [2] Ghali A., Circular storage tanks and silos. E & FN Spon, London 2000
- [3] Flaga K., Furtak K., Problems of thermal and shrinkage cracking in tanks vertical walls and retaining walls near their contact with solid foundation slabs. Architecture Civil Engineering Environment, no.2 2009
- [4] Seruga A., Analiza stanów naprężenia i odkształcenia w powłokach zbiorników cylindrycznych z betonu sprężonego. Politechnika Krakowska, Seria Inżynieria Lądowa, Monografia 289, Kraków 2003
- [5] Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych według Eurokodu 2. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2006
- [6] PN-EN 1992-1-1: 2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] PN-EN 1992-1-3: 2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-3: Silosy i zbiorniki na ciecz.

**Tabela 4.** Porównanie obliczonych maksymalnych rozciągających obwodowych sił wewnętrznych N<sub>φ</sub>(t) z siłami rysującymi N<sub>cr</sub>

N <sub>x</sub>	N <sub>φ</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>φ</sub>	N <sub>xcr</sub>	N <sub>φcr</sub>
kN/m	kN/m	kNm/m	kNm/m	kN/m	kN/m
21,01	256,8	-4,19	-0,786	74,47	476,27
9,517	268,3	-4,36	-0,6,20	35,27	486,29

## Nowy program firmy Athenasoft

Od marca br. firma Athenasoft, znana jako producent programu Norma, udostępniła swoją pierwszą aplikację w chmurze. Ekoszt przeznaczony jest do sporządzania kosztorysów budowlanych każdego typu, metodą szczegółową i uproszczoną. Zawiera bazę ok. 200 katalogów KNR oraz ceny średnie RMS z serwisu Intercentbud. Sporządzony kosztorys można wydrukować, zapisać do pliku XML i przechowywać na serwerze obsługującym aplikację. Użytkownik ma do wyboru dwa pakiety dostępu (50 lub 100 godzin) do wykorzystania w ciągu miesiąca. Aby skorzystać z programu wystarczy komputer, iPad lub tablet oraz dostęp do Internetu. Ekoszt został stworzony w oparciu o platformę Windows Azure firmy Microsoft, gwarantującą wysoką niezawodność i bezpieczeństwo przetwarzanych danych. Więcej informacji można uzyskać na stronie [www.ekoszt.pl](http://www.ekoszt.pl).