

WYZNACZANIE ROZKŁADU TEMPERATURY W ŚCIANIE ŻELBETOWEGO ZBIORNIKA NA CIECZE

Halina GARBALIŃSKA*, Agata STOLARSKA, Jarosław STRZAŁKOWSKI, Ewa FIGIEL

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, email: Halina.Garbalinska@zut.edu.pl

Streszczenie: Artykuł dotyczy wybranych aspektów projektowania żelbetowych zbiorników na ciecze z uwagi na obciążenia termiczne, pojawiające się w trakcie ich eksploatacji. Obciążenia termiczne wynikają z występowania niejednokrotnie bardzo dużej różnicy temperatur między cieczą wypełniającą zbiornik a jego otoczeniem. Ze szczególną siłą problem ten ujawnia się w przypadku ścian zbiornika, wyniesionych ponad poziom terenu. Wartości obliczeniowych temperatur podane w normie EC1-1-5 ustalone zostały na ekstremalnie niskim poziomie dla warunków zimowych (w przeprowadzonych obliczeniach przyjmowano -30°C), natomiast dla okresu letniego na poziomie ekstremalnie wysokim (w przeprowadzonych obliczeniach przyjmowano $+38^{\circ}\text{C}$). Ponadto EC1-1-5 wymaga uwzględnienia dodatkowego nagrzania elementów konstrukcyjnych przez promieniowanie słoneczne, co w rozważanym przypadku skutkowało temperaturą $+56^{\circ}\text{C}$, na ścianach zbiornika wyeksponowanych na działanie słońca. W obliczeniach zaprezentowanych w artykule poddano analizie 4 warianty rozwiązania ściany zewnętrznej zbiornika – bez izolacji termicznej oraz z ułożoną na zewnątrz izolacją ze styropianu o grubości 5, 10 i 15 cm. Kierując się obowiązującymi zaleceniami wyznaczono ekstremalne gradienty temperatur między wewnętrzną a zewnętrzną powierzchnią ściany żelbetowej. Uzyskane rezultaty poddano krytycznej analizie, wskazując na źródła potencjalnych błędów, będących efektem standardowych założeń.

Słowa kluczowe: zbiornik na ciecze, ściana żelbetowa, obciążenia termiczne, oddziaływania środowiskowe

1. WPROWADZENIE

W przypadku zbiorników na ciecze podstawowym wymaganiem użytkowym jest zapewnienie ich szczelności. W efekcie dla ustalenia grubości ściany i ilości zbrojenia w zbiornikach miarodajny jest nie stan graniczny nośności, ale stan graniczny zarysowania.

Poprawność obliczeń uzależniona jest od wielu czynników, w tym właściwie określonych obciążeń i oddziaływań, jakim podlegają elementy składowe zbiornika, w szczególności jego ściany. W przypadku wykonywania obiektu w konstrukcji żelbetowej lub sprężonej do klasycznych obciążeń dochodzą dodatkowe oddziaływania, pojawiające się w fazie przed-eksploatacyjnej, które wynikają z samonagrzewu, pęcznienia i skurczu betonu. Natomiast w fazie eksploatacji zbiornika do obciążeń stałych oraz zmiennych (użytkowych i klimatycznych – śnieg i wiatr) dochodzą dodatkowe oddziaływania środowiskowe w postaci obciążeń termicznych, silnie zróżnicowanych w cyklach dobowych i rocznych.

W EC1-1-5 [1] wyróżnia się dwa zasadnicze obciążenia termiczne, które spowodowane są różnicą między temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną powierzchni ściany zbiornika ΔT_M oraz różnicą między temperaturą początkową a średnią temperaturą panującą wewnątrz elementu ΔT .

Niniejszy artykuł odnosi się do procedury wyznaczania gradientu ΔT_M w ścianach zewnętrznych żelbetowego zbiornika na ścieki, przedstawionego schematycznie na rysunku 1. Na bazie zebranych wyników poddano krytycznej analizie proponowane w EC1-1-5 [1] zalecenia obliczeniowe.

2. WYZNACZANIE WARTOŚCI ΔT_M WG EC1-1-5

Wartość ΔT_M stanowi różnicę między temperaturą T_1 na wewnętrznej powierzchni ściany zbiornika, a temperaturą T_2 na zewnętrznej jego powierzchni:

$$\Delta T_M = T_1 - T_2, \quad (1)$$

* Autor korespondencyjny, e-mail: Halina.Garbalinska@zut.edu.pl

przy czym w pracy [2] temperatury T_1 oraz T_2 proponuje się wyznaczać według wzorów:

$$T_1 = T_{in} - R_1/R_{tot} (T_{in} - T_{out}), \quad (2)$$

$$T_2 = T_{in} - R_2/R_{tot} (T_{in} - T_{out}). \quad (3)$$

Do wyznaczenia całkowitego oporu cieplnego ściany R_{tot} proponuje się w [2] wzór w postaci:

$$R_{tot} = R_{in} + \sum h_i/\lambda_i + R_{out}. \quad (4)$$

Powyżej zastosowano następujące oznaczenia:

T_{in} – temperatura wewnętrzna, tożsama z temperaturą cieczy,

T_{out} – temperatura zewnętrzna, panująca w otoczeniu,

h_i – grubość poszczególnych warstw wchodzących w skład ściany zbiornika,

λ_i – przewodność cieplna poszczególnych warstw,

R_{in} – opór przyjmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej,

R_{out} – opór przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej.

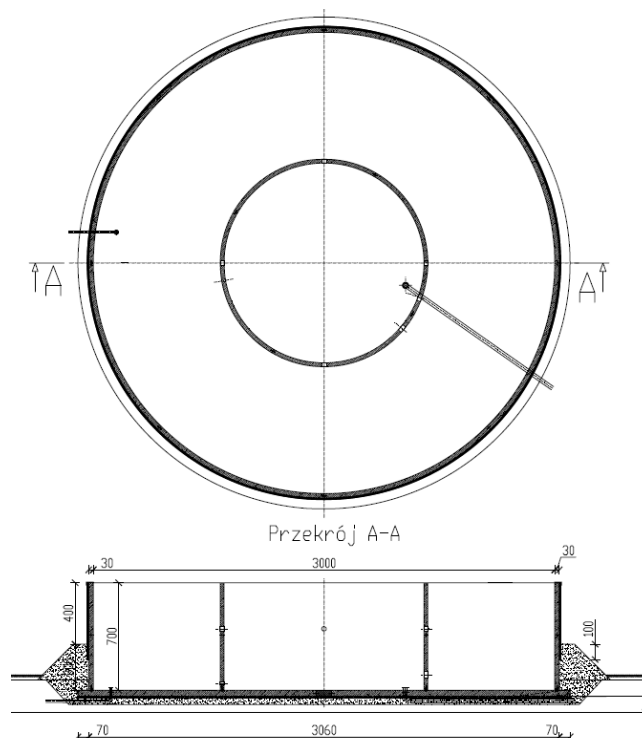
Oczywiste jest, że do obliczeń należy przyjmować taką temperaturę zewnętrzną, aby ocenie poddawany był ekstremalny gradient temperatur. Temperaturę dla warunków zimowych $T_{out,min}$ oraz dla warunków letnich $T_{out,max}$ należy ustalać na podstawie jednej z dwóch map stref klimatycznych, zamieszczonych w normie EC1-1-5 [1], odczytując najniższą temperaturę zimową lub najwyższą letnią w zależności od lokalizacji zbiornika. Wartość $T_{out,max}$ dodatkowo korygowana jest poprawkami wynikającymi z efektów promieniowania słonecznego, z uwzględnieniem usytuowania elementu względem stron świata.

W przypadku obiektów podziemnych temperaturę zewnętrzną, tj. temperaturę gruntu, należy przyjmować dla okresu letniego 8°C do głębokości 1,0 m, a przy większej głębokości 6°C . Natomiast dla okresu zimowego przyjmuje się do obliczeń odpowiednio -5°C oraz -3°C , [1, 3].

3. OBciążENIA TERMICZNE W ŚCIANIE ROZPATRYWANEGO ZBIORNIKA

Obliczeniom termicznym poddano ścianę zbiornika żelbetowego przedstawionego schematycznie na rys. 1. Korzystając z map zamieszczonych w EC1-1-5 [1], przyjęto dla zakładanej lokalizacji zbiornika następujące parametry klimatu zewnętrznego: zima – $T_{min} = -30^\circ\text{C}$, lato – $T_{max} = +38^\circ\text{C}$, z uwzględnieniem dodatkowego nagrzania przez promieniowanie słoneczne $T_{out} = 38^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}$ (jasna powierzchnia) = $+56^\circ\text{C}$.

Zgodnie z danymi przekazanymi przez technologa temperatury ścieków oscylują na poziomie: zima – $T_{ścieków} = 10 - 15^\circ\text{C}$, lato – $T_{ścieków} = 17 - 25^\circ\text{C}$.



Rys. 1. Rzut poziomy i przekrój poprzeczny zbiornika ścieków
Fig. 1. Layout and horizontal section of sewage tank

W przedmiotowej literaturze [2] zakłada się $R_{in} = 0,15$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) oraz $R_{out} = 0,04$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$). Autorzy niniejszego artykułu w przeprowadzonych obliczeniach przyjęli powyższe wartości oporów przyjmowania ciepła oraz dodatkowo uwzględnili zerową wartość R_{in} , jako wierniej opisującą sytuację bezpośredniego przekazywania energii przez ciecz wypełniającą zbiornik.

Rozpatrzono 4 warianty rozwiązania ściany zbiornika, różniące się grubością wprowadzonej od zewnątrz termoizolacji, w postaci styropianu: 0 cm (brak izolacji cieplnej), 5 cm, 10 cm, 15 cm. Grubość ściany zbiornika w każdym z wariantów była taka sama i wynosiła 30 cm. Współczynniki przewodności cieplnej przyjęto: $\lambda_{beton} = 2,3$ $\text{W}/(\text{mK})$, $\lambda_{styropian} = 0,04$ $\text{W}/(\text{mK})$.

Na bazie przyjętych wyżej danych przeprowadzono dla każdego z czterech wariantów obliczenia rozkładu temperatur – w odniesieniu do lata i zimy. W tabeli 1 zestawiono ekstremalne gradienty temperatur występujące w poszczególnych wariantach po grubości ściany żelbetowej.

4. ANALIZA POPRAWNOŚCI STANDARDOWYCH ZAŁOŻEŃ PRZYJMOWANYCH DO USTALENIA OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH

Analizując założenia podane w literaturze przedmiotu i normach regulujących obliczenia zbiorników żelbetowych, stwierdza się występowanie pewnych niedociągnięć lub nawet błędnych interpretacji, które rzutują niekorzystnie na poprawność wyznaczanych obciążeń temperaturowych. Poniżej autorzy odnoszą do dwóch wybranych kwestii, związanych z:

- oporami przyjmowania ciepła na obydwu powierzchniach ściany zbiornika,
- kontrowersyjnymi poziomami temperatur gruntu, jakie zalecane są do przyjmowania w obliczeniach ścian zbiorników.

Ad a) W pracy [2] zaleca się, aby opór R_{in} przyjmować w granicach od 0,10 do 0,17 m^2K/W . Jednocześnie w przedstawionych tam przykładowych obliczeniach opór R_{out} przyjmowano na poziomie 0,04 m^2K/W . Zalecenia te są zgodne z podanymi w normie [4]. Autorzy niniejszego artykułu uznają za akceptowalną wartość $R_{out} = 0,04 m^2K/W$, jednak negują poprawność zaleceń dotyczących R_{in} – twierdząc, że podany zakres odnosi się do wnętrz budynków, a nie do zbiorników, gdzie ciecz jest w bezpośrednim kontakcie z wewnętrzną powierzchnią zbiornika. Prowadzi to do niedoszacowania gradientu temperatury po grubości ściany żelbetowej, na co wskazują dane zestawione w Tabeli 1.

Tabela 1. Wartości ΔT_M w zależności od R_{in}

Table 1. Values of ΔT_M depending on the R_{in}

Wariant	Izolacja [cm]	T_{out} [°C]	T_{in} [°C]	ΔT_M [°C]		Zmiana ΔT_M [%]
				dla $R_{in}=0$	dla $R_{in}=0,15$	
1	0	-30	+15	34,4	18,3	46,8
		+38	+17	16,1	8,5	46,8
		+56	+17	29,8	15,9	46,8
2	5	-30	+15	4,1	3,7	9,6
		+38	+17	1,9	1,7	9,6
		+56	+17	3,6	3,2	9,6
3	10	-30	+15	2,2	2,1	5,3
		+38	+17	1,0	1,0	5,3
		+56	+17	1,9	1,8	5,3
4	15	-30	+15	1,5	1,4	3,7
		+38	+17	0,7	0,7	3,7
		+56	+17	1,3	1,2	3,7

Ad b) Na rysunku 2 przedstawiono wykresy temperatury gruntu obliczone według [6] oraz średnie miesięczne temperatury powietrza zewnętrznego dla stacji Szczecin Dąbie. Współcześnie dysponujemy metodami, które umożliwiają wyznaczenie temperatury gruntu po głębokości, w zależności od jego rodzaju, średniorocznej temperatury powietrza zewnętrznego, a także maksymalnej i minimalnej średniej miesięcznej temperatury powietrza zewnętrznego. Temperatury te zależą od lokalizacji obiektu, a dane niezbędne do obliczeń dla wszystkich stacji meteorologicznych na terenie Polski można znaleźć w literaturze, np. [5]. Oczywiście im głębsza warstwa gruntu, tym mniejszy wpływ temperatury otoczenia.

5. WNIOSKI

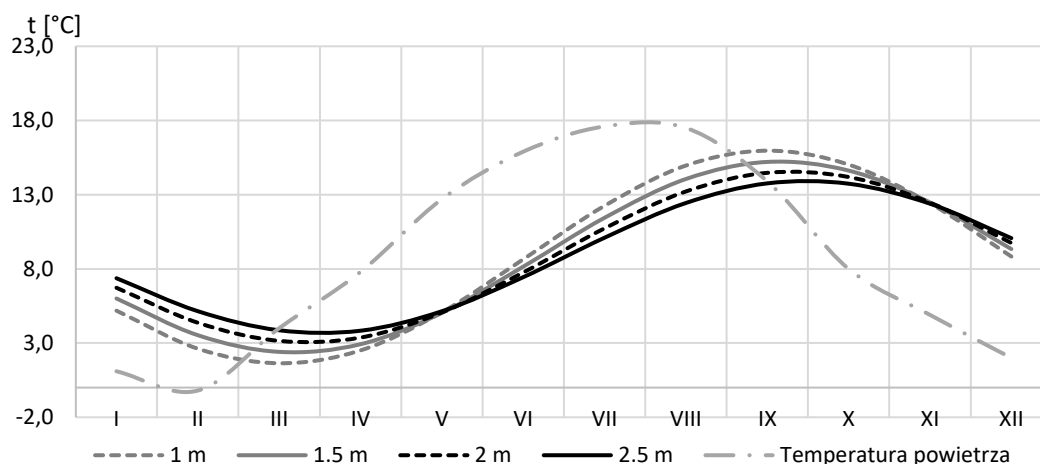
Wyniki zestawione w Tabeli 1 dowodzą, że wartość wewnętrznego oporu przyjmowania ciepła R_{in} przyjmowana do analiz wywiera wpływ na uzyskiwane wyniki, szczególnie silnie ujawniający się w przypadku ściany pozbawionej zewnętrznej izolacji termicznej.

W skrajnym przypadku różnica między temperaturami wewnętrzną i zewnętrzną powierzchni ściany zbiornika przy $R_{in} = 0,00 (m^2K)/W$ osiągnęła wartość 34,4°C, podczas gdy przy $R_{in} = 0,15 (m^2K)/W$ wyniosła 18,3°C. Te wartości wyznaczone były przy założeniu następujących temperatur: $T_{out} = -30^\circ C$ oraz $T_{in} = +15^\circ C$, odnoszących się do okresu zimowego. Skala zróżnicowania uzyskanego w obydwu przypadkach gradientu ΔT_M sięgała 90%.

Równie znaczące zróżnicowanie wyników rzędu 90% wystąpiło także w przypadku pozostałych rozpatrywanych wariantów temperatury po obydwu stronach nieizolowanego zbiornika, w warunkach letnich.

Zastosowanie izolacji na zewnętrznej powierzchni zbiornika oraz zmiana jej grubości skutkuje zmniejszeniem wpływu przyjmowanej wartości oporu R_{in} na gradient temperatury. Już przy izolacji o grubości 5 cm zróżnicowanie wyznaczonych ΔT_M dla obydwu wartości R_{in} plasuje się na poziomie 10%, a przy grubości 10 cm spada do ok. 5%. Przy kładzonej od zewnątrz izolacji 15-centymetrowej nie stwierdza się występowania istotnych różnic w uzyskiwanych wynikach.

Z kolei zestawione na rys. 2 wykresy wskazują, że podawane w literaturze przedmiotu zalecenia dotyczące wartości temperatur poniżej poziomu gruntu mijają się ze stanem faktycznym, szczególnie w odniesieniu do okresu zimowego. Wyznaczono rozkłady temperatury w dwunastu miesiącach roku na głębokości gruntu wynoszącej: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 m. W żadnym przypadku nie uzyskano temperatury ujemnej na głębokości 1 m (zalecenia mówią o przyjmowaniu do obliczeń $-5^\circ C$), a tym bardziej na głębokości poniżej 1 m (gdzie zaleca się przyjmować w projektowaniu zbiorników temperaturę $-3^\circ C$).



Rys. 2. Rozkład temperatury w gruncie w ciągu roku na różnych głębokościach (Szczecin Dąbie)
 Fig. 2. Temperature distribution in ground throughout the year at different depths (Szczecin Dąbie)

ASSESSMENT OF TEMPERATURE DISTRIBUTION OF THE REINFORCED CONCRETE WALL OF LIQUIDS TANK

Summary: The article addresses the selected aspects of designing reinforced concrete tanks for liquids considering the high thermal loads occurring during tanks' exploitation. Thermal loads often are a consequence of occurrence of extremely high differences in temperature between the liquid, which fills the tank, and the tank's surroundings. This problem is strongly visible in case of the tank's walls erected high above ground level. The calculation values of temperatures presented by EC1-1-5 norm have been established on extremely low levels of winter conditions (during the calculations, the assumed temperature was -30°C), and extremely high levels of summer conditions (during the calculations, the assumed temperature was $+38^{\circ}\text{C}$). Furthermore, EC1-1-5 also requires the account of additional heating of construction elements due to sunlight exposure. In the discussed case, it resulted in temperature amounting to $+56^{\circ}\text{C}$ on the tank's walls exposed to sunlight. The calculations presented in the article included 4 variants of solutions for the tank's external walls – devoid of thermal isolation and with isolation of 5, 10 and 15 cm thick polystyrene layers laid out externally. Based on the applicable recommendations, extreme thermal gradients were established between the internal and external space in a reinforced concrete wall. The obtained results were subject to critical analysis, indicating the source of potential errors resulting from standard assumptions.

Literatura

- [1] PN-EN 1991-1-5 Eurokod 1 Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-5. Oddziaływanie ogólne. Oddziaływanie termiczne
 [2] Halicka A., Franczak D.: Projektowanie zbiorników żelbetowych. Zbiorniki na ciecz. Tom 2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013

- [3] Halicka A.: Specyfika projektowania zbiorników na ciecz. Inżynier budownictwa, 12 (2014) 82-88
 [4] Norma PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
 [9] PN- EN 15241:2011 Wentylacja budynków. Metody obliczania strat energii w budynkach spowodowanych wentylacją i infiltracją powietrza
 [5] Kostka M., Szulgowska-Zgrzywa M., Obliczenia energetyczne gruntowych rurowych wymienników ciepła. Rynek Instalacyjny, 6 (2015) 64-68
 [6] PN- EN 15241:2011 Wentylacja budynków. Metody obliczania strat energii w budynkach spowodowanych wentylacją i infiltracją powietrza

Finansowanie: UPB-DZS 518-02-032-3126-01/18