

СЕЙЗМИЧНИ АНАЛИЗИ НА СТОМАНОБЕТОННИ ПРИЗМАТИЧНИ РЕЗЕРВОАРИ

Станислав Цветков

st.cvetkov@vsu.bg

*Висше строително училище „Любен Каравелов“ град София,
катедра „Строителни конструкции“, улица „Суходолска“ № 175
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** хидродинамични товари, Еврокод 8, НПССЗР-2012, СНиП
(Строителни Норми и Правила)*

***Резюме:** Докладът показва, сеизмичен анализ според различни нормативни документи и стандарти за инженерно проектиране, на стоманобетонни призматични резервоари за съхранение на вода. Анализите са свързани с въвеждането на хидродинамични натоварвания в специализиран инженерен програмен продукт. Използван софтуер е Tower 7, базиран на работата по Метода на крайните елементи.*

Показани са: информация за резервоара, почвата, сеизмичното въздействие и хидродинамичните натоварвания от водата по време на земетръс.

Представени са вътрешни усилия на стената (на съоръжението) и изводите-сравнения между резултатите от трите теории.

Докладът е придружен с: формули, схеми и използвана литература.

1. Общи сведения

Данни за анализа: Изследва се съоръжение със следната геометрия: височина на стената- $H_{\text{wall}} = 6 \text{ m}$, дебелина на стените- $t_{\text{wall}} = 25 \text{ cm}$, височина на водното ниво- 5 m, размери на основата (за водата)- 5/5 m. Материал за съоръжението: бетон клас C25/30. Почва тип D, референтно ускорение- $a_{\text{gR}} = 0,23 \text{ g}$, коефициент на поведение- $q=1$.

Извършени са спектрални анализи. Изследвана посока- x.

Използван програмен продукт- Tower 7 (базиран на работа по Метода на крайните елементи).

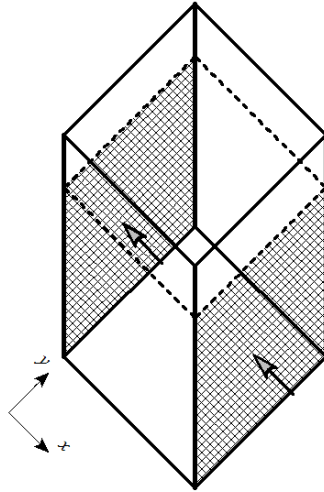
Проведените решения са с трансформирани товари.

Гъвкавостта на стената на резервоара е отчетена при модалния анализ.

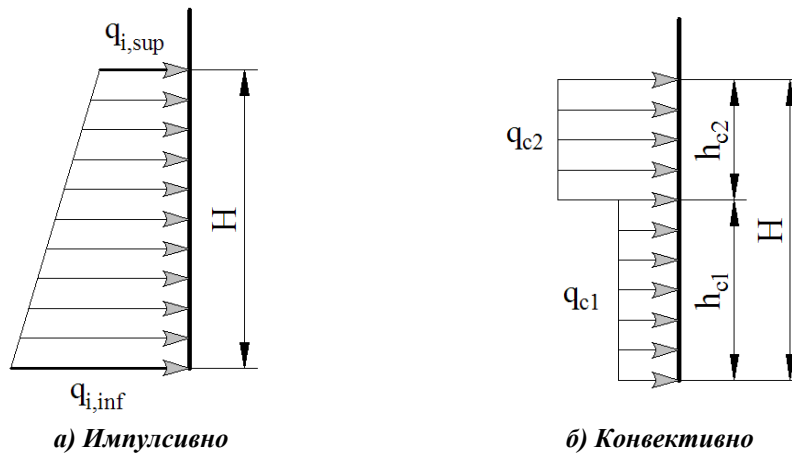
Хидростатичният натиск е включен в комбинация със сеизмичното въздействие (в т.ч. и хидродинамичните натоварвания).

2. Натоварвания и резултати

2.1. Анализ, съгласно Еврокод 8- [1]



Фиг. 1 – Обща схема на натоварването за изследваната посока



а) Импулсивно

б) Конвективно

Фиг. 2 – Еквивалентни натоварвания

$$m = L \cdot B \cdot H \cdot \rho_w = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 1000 = 125000 \text{ kg} = 1250 \text{ kN}$$

$$\gamma = \frac{H}{L} = \frac{5}{2,5} = 2 \rightarrow \begin{cases} \frac{m_i}{m} = 0,763 \\ \frac{h_i}{H} = 0,448 \\ \frac{m_c}{m} = 0,237 \\ \frac{h_c}{H} = 0,751 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_i = 0,763 \cdot m = 0,763 \cdot 1250 = 953,75 \text{ kN} \\ h_i = 0,448 \cdot H = 0,448 \cdot 5 = 2,24 \text{ m} \\ m_c = 0,237 \cdot m = 0,237 \cdot 1250 = 296,25 \text{ kN} \\ h_c = 0,751 \cdot H = 0,751 \cdot 5 = 3,78 \text{ m} \end{cases}$$

$T_i = 0,06 \text{ s}$ (от предварителен модален анализ с програмен продукт).

$$A_i (T_i = 0,06 \text{ s}) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T_i}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] = 9,81 \cdot 0,23 \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{0,06}{0,1} \cdot \left(\frac{2,5}{1} - \frac{2}{3} \right) \right] = 3,99 \text{ m/s}^2$$

$$q_i = \frac{A_i \cdot m_i \cdot g}{2 \cdot B} = \frac{\left[\frac{3,99}{9,81} \cdot (953,75 \cdot 100) \cdot 9,81 \right] : 1000}{2,5} = 38,06 \text{ kN/m}$$

$$2 \cdot h_i = 2 \cdot 2,24 = 4,48 \text{ m} < H = 5 \text{ m} \rightarrow$$

$$q_{i,\text{inf}} = \frac{q_i}{H^2} \cdot (4 \cdot H - 6 \cdot h_i) = \frac{38,06}{5^2} \cdot (4 \cdot 5 - 6 \cdot 2,24) = 9,99 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{i,\text{sup}} = \frac{q_i}{H^2} \cdot (6 \cdot h_i - 2 \cdot H) = \frac{38,06}{5^2} \cdot (6 \cdot 2,24 - 2 \cdot 5) = 5,24 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = T_c = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{L}{g}}{\frac{\pi}{2} \cdot \tanh\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{H}{L}\right)}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{\frac{2,5}{9,81}}{\frac{3,14}{2} \cdot \tanh\left(\frac{3,14}{2} \cdot \frac{5}{2,5}\right)}} = 2,56 \text{ s}$$

$$A_c(T_c = 2,56 \text{ s}) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_c \cdot T_D}{T_c^2} = 0,23 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 41,2 \cdot 5 \cdot \frac{0,6 \cdot 2}{2,56^2} = 1,46 \text{ m/s}^2$$

$$2 \cdot h_c = 2 \cdot 2,378 = 7,56 \text{ m} > h = 5 \text{ m} \Rightarrow \begin{cases} h_1^c = h_c = 3,78 \text{ m} \\ h_2^c = h - h_c = 5 - 3,78 = 1,22 \text{ m} \end{cases}$$

$$q_{c1} = \frac{\frac{A_c}{g} \cdot \left(\frac{m_c}{2}\right) \cdot g}{h_1^c \cdot 2 \cdot B} = \frac{\left\{ \frac{1,46}{9,81} \cdot \left[\frac{(296,25 \cdot 100)}{2} \right] \cdot 9,81 \right\} : 1000}{3,78 \cdot 2,5} = 0,57 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{c2} = \frac{\frac{A_c}{g} \cdot \left(\frac{m_c}{2}\right) \cdot g}{h_2^c \cdot 2 \cdot B} = \frac{\left\{ \frac{1,46}{9,81} \cdot \left[\frac{(296,25 \cdot 100)}{2} \right] \cdot 9,81 \right\} : 1000}{1,22 \cdot 2,5} = 1,77 \text{ kN/m}^2$$

2.2. Анализ, съгласно Наредба РД-02-20-2/01. 2012 г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони- [2]

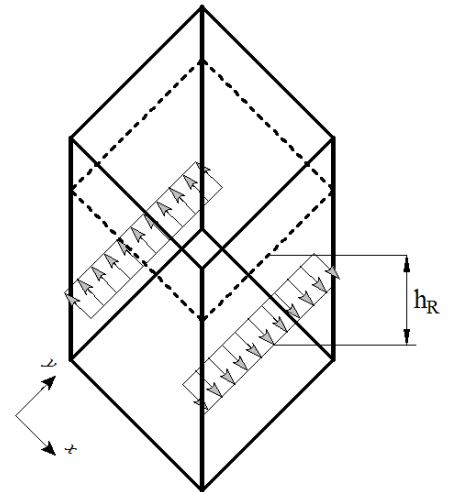
Таблица 1. Входни данни

z	$\frac{z}{h} = \frac{z}{5}$	$\frac{d_2}{2 \cdot h} = \frac{5}{2,5}$	$\mu = \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{d_2}{2 \cdot h}}$
0	0	0,5	0
0,5	0,1	0,5	0,3162
1	0,2	0,5	0,4472
1,5	0,3	0,5	0,5477
2	0,4	0,5	0,6325
2,5	0,5	0,5	0,7071
3	0,6	0,5	0,7746
3,5	0,7	0,5	0,8367
4	0,8	0,5	0,8944
4,5	0,9	0,5	0,9487
4,95	0,99	0,5	0,9950

$$p_1 = C \cdot R \cdot K_c \cdot \rho_w \cdot g \cdot d_2^2 \cdot D = 1,1 \cdot 0,23 \cdot 10 \cdot 9,81 \cdot 5^2 \cdot D = 564,08 \cdot D$$

Таблица 2. Хидродинамични налягания

z	$D = \left(\frac{z}{h}\right)^{\frac{d_2}{2 \cdot h}} \equiv \mu$	$p_1 = 564,08 \cdot D$	$\frac{p_1}{2 \cdot d_2}$
0	0	0	0
0,5	0,3162	178,36	17,84
1	0,4472	252,26	25,23
1,5	0,5477	308,95	30,90
2	0,6325	356,78	35,68
2,5	0,7071	398,86	39,89
3	0,7746	436,94	43,69
3,5	0,8367	471,97	47,20
4	0,8944	504,51	50,45
4,5	0,9487	535,14	53,51
4,95	0,9950	561,26	56,13



Диаграмата на налягането не е линейна. За да се въведе като въздействие се намира равнодействащата (резултантна) R , като допълването над триъгълниковата диаграма се коригира от поправъчен коефициент k .

Фиг. 3 – Резултантната на хидродинамичното налягане R , приложена на височина h_R

$$R = \frac{p_{1,(z=4,95m)} \cdot (z = 4,95)}{2} \cdot \left(k = \frac{A}{A_1} \right) = \frac{56,13 \cdot 4,95}{2} \cdot \frac{183,4865}{138,9218} = 183,37 \text{ kN/m'}$$

$$h_R = h \cdot x \rightarrow x = \frac{2 \cdot h + d_2}{4 \cdot h + d_2} = \frac{2 \cdot 5 + 5}{4 \cdot 5 + 5} = 0,6 \left(= x^* = \frac{2 \cdot z + d_2}{4 \cdot z + d_2} = \frac{2 \cdot 4,95 + 5}{4 \cdot 4,95 + 5} = 0,6 \right)$$

$$\Rightarrow h_R = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ m } (\approx h_1^{*(R)} = 4,95 \cdot 0,6 = 2,97 \text{ m})$$

2.3. Анализ, съгласно СНИП (руски норми за проектиране)- [3]

$$P_x = g \cdot m_w \cdot A_{\max}^{(x)} \cdot k_2$$

$$m_w = L \cdot B \cdot h \cdot \rho_w = 5 \cdot 5 \cdot 1 = 125 \text{ t}$$

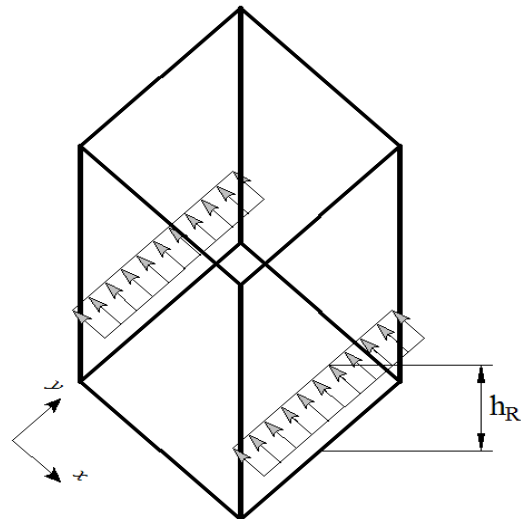
$$h_0 = \frac{h}{L} = \frac{5}{5} = 1 \rightarrow k_2 = 0,7$$

$$\Rightarrow P_x = 9,81 \cdot 125 \cdot 0,7 \approx 200 \text{ t}$$

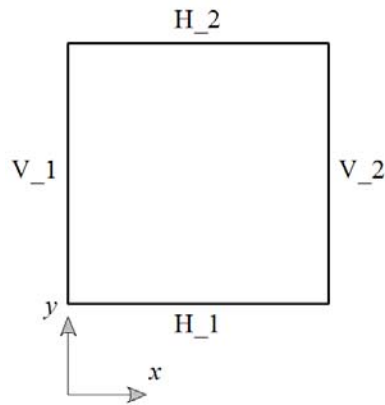
$$h_0 = 1 \rightarrow k_3 = 0,45$$

$$\Rightarrow z_{0c} (\equiv h_R) = k_3 \cdot h = 0,45 \cdot 5 = 2,25 \text{ m}$$

$$P_x^* = \frac{P_x}{\frac{2 \cdot (L+B)}{2}} = \frac{2000}{(5+5)} = 200 \text{ kN/m'}$$



Фиг. 4 – Хидродинамично налягане P_x^* , приложено като резултантна на височина h_R



Фиг. 5 – Наименование на стените (поглед в план) на резервоара

Таблица 3. Страни с максимални разрезни усилия- по ЕС-8

$(+)M_x, [kN.m / m']; (-)M_x, [kN.m / m']$	V_1, H_1
$(+)M_y, [kN.m / m']; (-)M_y, [kN.m / m']$	
$(+)N_x, [kN / m']; (-)N_x, [kN / m']$	H_1, H_2
$(+)N_y, [kN / m']$	V_1, H_1
$(-)N_y, [kN / m']$	H_1, H_2

Проверени са връзките V_1-H_2 и V_2-H_1!

Таблица 4. Страни с максимални разрезни усилия- по НПССЗР-2012

$(+)M_x, [kN.m / m']; (-)M_x, [kN.m / m']$	V_1, V_2
$(+)M_y, [kN.m / m']; (-)M_y, [kN.m / m']$	
$(+)N_x, [kN / m']; (-)N_x, [kN / m']$	H_1, H_2
$(+)N_y, [kN / m']; (-)N_y, [kN / m']$	

Проверени са връзките V_1-H_2 и V_2-H_1!

Таблица 5. Страни с максимални разрезни усилия- по СНиП

$(+)M_x, [kN.m / m']; (-)M_x, [kN.m / m']$	V_1, H_1
$(+)M_y, [kN.m / m']; (-)M_y, [kN.m / m']$	
$(+)N_x, [kN / m']; (-)N_x, [kN / m']$	V_1, H_1
$(+)N_y, [kN / m']; (-)N_y, [kN / m']$	V_2, H_1, H_2

Проверени са връзките V_1-V_2 и H_1-H_2!

Таблица 6. Обобщени резултати

Разрезно усилие	НПССЗР-2012	СНиП	ЕС-8
$(+)M_x, [kN.m / m']$	+64,17 h=2,5 m, среда поле	+70,11 h=2,5 m, среда поле	+26,14 h=3 m, среда поле
	+93,69 h=2 m, ъгли	+101,43 h=2,5 m, ъгъл	+46,44 h=2,5 m, ъгли
$(+)M_y, [kN.m / m']$	+155,67 запъване, среда	+86,15 h=2,5 m, среда поле	+44,39 запъване, среда
$(+)N_x, [kN / m']$	+325,55 h=2 m, ъгли	+306,31 h=2,5 m, ъгъл	+84,18 h=2 m, ъгъл

$(+)N_y, [kN/m^2]$	+140,53 h=2 m, ъгли	+241,05 запъване, ъгъл	+29,25 h=5,5 m, ъгли
$(-)M_x, [kN.m/m^2]$	-64,17 h=2,5 m, среда поле	-	-16,66 h=2,5 m, среда поле
	-93,69 h=2 m, ъгли	-108,46 h=2,5 m, ъгли	-46,74 h=2,5 m, ъгли
$(-)M_y, [kN.m/m^2]$	-155,67 запъване, среда	-152,24 запъване, среда	-63,33 запъване, среда
$(-)N_x, [kN/m^2]$	-86,53 горен край, ъгли	-182,91 h=2,5 m, ъгъл	-56,39 горен край, ъгъл
$(-)N_y, [kN/m^2]$	-236,78 запъване, ъгли	-450,59 запъване, ъгъл	-205,01 запъване, ъгъл

3. Изводи:

От проведените анализи, се установи, че:

1. Решенията, проведени с формули по ЕС-8- [1], показват най-малки стойности на разрезните усилия;
2. Решенията, проведени с формули по НПССЗР-2012- [2], показват максимални стойности на разрезните усилия: $(+)M_y, (+)N_x, (-)M_y$, а решението с формули, съгласно СНиП- [3], показва максимални стойности на разрезните усилия: $(+)M_x, (+)N_y, (-)M_x, (-)N_x, (-)N_y$.

Литература:

- [1] Еврокод 8- Проектиране на силози, резервоари, тръбопроводи, Сборник 9, БИС, С., 2010
- [2] Наредба РД-02-20-2/01.2012г. за проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, МРРБ, С., 2012
- [3] СНиП II-7-81*, Строителство в сейсмических районах/ Минстрой России. М.: ГП ЦПП, 1995

SEISMIC ANALYSIS OF R. C. PRISMATIC TANKS FOR WATER STORAGE

Stanislav Tsvetkov
st.cvetkov@vsu.bg

*University of structural engineering & architecture (VSU) "Lyuben Karavelov",
 Department "Building construction", Sofia, 175 Suhodolska, str.
 BULGARIA*

Key words: hydrodynamic loads, Eurocode 8, НПССЗР-2012, CHuП

Abstract: The report shows seismic analysis according to different regulations for engineering design, of R.C. prismatic tanks for water storage. Analyses are associated with commissioning in software of hydrodynamic loads. Used software is Tower 7, based on work by FEM.

Shown are: information about the tank, the soil, seismic effects, hydrodynamic loads from the water in time on earthquake.

Presented are internal efforts of the wall (of the facility) and conclusions - comparison between the results of the three theories.

The report is accompanied by: formulas, charts and references.