

ОТЧИТАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ЗЕМНИЯ НАТИСК ПРИ ПРОЕКТИРАНЕТО НА СГРАДИ

Станислав Цветков

st.cvetkov@vsu.bg

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

Ключови думи: Земен натиск, Еластична основа, Сеизмичен анализ

Резюме: Настоящият доклад представлява вид анализиране на информацията от съществуващите източници, по въпросите, свързани с действието и отчитането на земния натиск при проектирането на сгради. Дадени са: основните теоретични положения от Земната механика и Фундиране, според които земният натиск може да бъде отчетен като въздействие или като среда- еластична основа; практически постановки, залегнали в строително-конструктивното проектиране, както и такива, базирани на Еврокод; извършени параметрични числени изследвания на сгради в сеизмични райони, с помощта на програмен продукт, базиран на работа с Метода на крайните елементи. Докладът съдържа: основни формули, даващи яснота при определяне на коефициента на леглото, при липса на действителни данни; информация за изчисления на земетръс; информация и пример за въвеждане на въздействие в специализиран софтуер. От параметричните изследвания (извършени чрез използване на постановките на Еврокод 8 за проектиране на сгради за сеизмични въздействия) са дадени обобщени изводи за напрегнатото и деформирано състояние на надосновните стоманобетонни стени, които заедно с фундаментната конструкция (най-често- фундаментна плоча) и плочата над сутерена, образуват т.нар. „корав сутерен“ (затворен контур), сведения за фундаментните плочи и конструктивните стени. Изчислени са сгради с различни: конструктивни системи, етажност, нива на дуктилност и условия. Информацията може да се използва за практически приложения.

Често пъти, при проектирането на сгради, влиянието на земния натиск не се взема предвид, когато се съставят изчислителни модели в среда на програмен продукт.

Изчислението и конструирането на елементите, директно натоварени от земен натиск се извършват на база „сходни проекти“ (опит).

Понякога сроковете за изпълнение на проекта и/или несигурността на проектантите, „пречат“ на истинския анализ. Почвата, така или иначе- остава и е въздействие по смисъла на термина или действа като среда.

Целта на доклада е оценка на въздействието от земен натиск при стоманобетонни скелетни конструкции за сгради.

При моделирането на строителните конструкции, в т.ч. и надосновните стени, основна част от процеса са отчитането на: връзката между стени и плочи (статическа схема), наличие на фуги, допълнителни елементи и др.

Съгласно [1] и [2], коефициентът за земният натиск при покой (по *Jaky*):

- (1) $k_0 = 1 - \sin \varphi$ - несвързани почви
- (2) $k_0 = \frac{\nu}{1 - \nu'}$ - за свързани почви
- (3) $k_0 = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{\text{OCR}} \leftarrow \text{OCR} > 4$ - преуплътнени почви
- (4) $\beta \leq \varphi' \rightarrow \sigma_{h,0}' \leftarrow k_{0,\beta} \approx k_0 \cdot (1 + \sin \beta)$ - при наклон

Земният натиск (характеристична стойност) при покой за неотместваеми конструкции:

(5) $P_k = \gamma \cdot H \cdot k_0, [\text{kN} / \text{m}^2]$, където:

γ – обемно тегло на почвата, $[\text{kN} / \text{m}^3]$;

Ндълбочина на натоварването от земен натиск, $[\text{m}]$;

ккоефициент на страничен земен натиск при поко й;

φ – ъгъл на вътрешно триене на почвата $[\text{°}]$.

Коефициенти за работа (на почвите) по [3]:

- Частен коефициент за сигурност- изчислителна комбинация- $\gamma_f^G = 1,35$;
- Частен коефициент за сигурност- характеристична и квази-статична комбинации- $\gamma_f^G = 1,00$;
- Коефициент за модални маси при сеизмичен анализ- $m = 1,00$ при трептене / $m = 0$ при изключване на трептене нията на елементите;
- Коефициент за съчетание при сеизмичен анализ- $\psi = 1,00$.

Във вертикално направление, коефициентът на леглото (на *Winkler*) $k_s, [\text{MPa} / \text{m}']$ се приема съгласно: вида почва, условното изчислително почвено съпротивление/напрежение, съгласно вида комбинация (основна или сеизмична) и/или съгласно данните от инженерно-геоложкия доклад.

Съгласно Еврокод 7- [3], фундаментната плоча се разделя на девет части:

- ивици в края- с дължина *една четвърт* от дължината на съответния размер в посоката (общо 4 броя ивици в четирите ъгъла)- винклеровата константа там във вертикално направление е завишена с 50%.
- вътрешна ивица (*заградена от отрязъците*, 1 брой)- с винклерова константа там- намалена с 50%.

Коефициентът на леглото (на *Winkler*) в хоризонтално направление е:

(6) $k_s \cdot k \leftarrow k \approx 0,6$

Неотместваеми, корави конструкции, при които не е възможно възникването на активен земен натиск в почвата, стената е вертикална и обратната засипка е хоризонтална, нарастването на динамичния земен натиск е:

$$(7) \quad \Delta E_d = a^{(\text{adhesion})} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

Коефициент на леглото (*отчита се ТАБЛИЧНО, съгласно*):

Флорин, по: обща характеристика на почвата и наименование на почвата; **Бартошевич** и **Цейтлин**, по: вид на почвата, зърнометричен състав и обемна плътност; степен на водонасищане; коефициент на леглото, съответстващ на очакваното максимално провисване на конструкцията; **Указанията** за проектиране и изпълнение на сгради по метода ППП- НИСИ- София, 1972 г. , по: наименование, плътност, консистенция; характеристично почвено напрежение; вид на товарите: основни/ кратковременни и сеизмични, съгласно [1], [2] и [4].

Изчислява се по ФОРМУЛИ:

$$(8) \quad K = 0,28 \cdot \sqrt{\frac{b \cdot E_0^4}{(1-v^2) \cdot E \cdot I}} \quad \text{Герсеванов} \quad \text{и} \quad \text{Мачарет}$$

(ивица, натоварена с концентрирана сила)

$$(9) \quad K = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{E_0}{(1-v)^2 \cdot b \cdot \ell_n \cdot 4 \cdot \frac{b}{a}} \leftarrow \left(\frac{b}{a} > 10 \right) \quad \text{Горбунов-Посадов}$$

$$(10) \quad K = E_0 \cdot \frac{a + 2 \cdot H}{a \cdot H} \quad \text{Кьоглер (за квадратен фундамент)}$$

$$(11) \quad K = E_0 \cdot \frac{2}{b \cdot \ell_n \cdot \frac{b + 2 \cdot H}{b}} \quad \text{Кьоглер (ивица)}$$

$$(12) \quad K = \frac{0,65}{b} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_0 \cdot b}{E \cdot I} \cdot \frac{E_0}{(1-v^2)}} \quad \text{Весич}$$

$$(13) \quad K = \frac{0,85 \cdot E_0}{(1-v^2)} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_0 \cdot b}{E \cdot I \cdot (1-v^2)}} \quad \text{Минков}$$

$$(14) \quad K = \frac{2}{3} \cdot \frac{E_0}{b} \quad \text{Яки (за правоъгълен елемент)}$$

$$(15) \quad K = \frac{E_0}{H} \quad \text{Яки (безкрайно дълги ивици/греди)}$$

Други използвани формули са по методите и моделите на: **Винклер**, **Еластичното изотропно полупространство (Фламан, Бусинек)**, **Пастернак**, **Филоленко-Бородич**, **Власов**, **Симвулиди**, **Левингтон** и **Грасхов**, **Оде**, **Жемочкин** и др.

$$(16) \quad K_{\text{обобщен}} = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2}$$

$$(17) \quad K_{1z} = \frac{E_0}{[b_1 + (h-z) \cdot \text{tg} \alpha]}$$

Забележки: Означенията са съгласно теорията на Земната механика и Фундиране.

Неотместваеми, корави конструкции, при които не е възможно възникването на активен земен натиск в почвата, стената е вертикална и обратната засипка е хоризонтална, нарастването на динамичния земен натиск е:

$$(18) \quad \Delta E_d = a^{(\text{adhesion})} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

Еврокод 7 и 8- [3] и [5], препоръчват за определянето на земния натиск по време на земетръс да се провежда решение по **Mononobe-Okabe**:

$$(19) \quad E_d = 0,5 \cdot \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot K_{AE} \cdot H$$

, където:

γ – обемно тегло на почвата

k_v (вертикална / хоризонтална компонента на сеизмичния коефициент :

$$\left\{ \begin{array}{l} k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \leftrightarrow \frac{a_v}{a_g} > 0,6 \\ k_v = \pm 0,33 \cdot k_h \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{a_g}{g}; \\ r = 1,30 \end{array} \right.$$

← k_h – пасивен коефициент; $r = 1,30$ за пълнати сутеренни стени.

K_{AE} – коефициент на земен натиск;

H – височина на стената.

- за активен земен натиск:

$$\theta = \arctg \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

$$\beta < (\varphi_d - \theta): K_{AE,a} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi_d' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta_d) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_d' + \delta_d) \cdot \sin(\varphi_d' - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > (\varphi_d - \theta): K_{AE,a} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta_d)}$$

- за пасивен земен натиск:

$$\delta = 0 \rightarrow K_{AE,p} = \frac{\sin^2(\psi + \varphi_d' - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \varphi_d' \cdot \sin(\varphi_d' + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

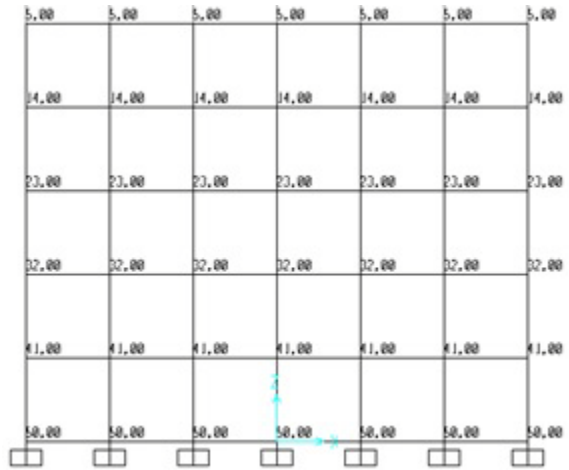
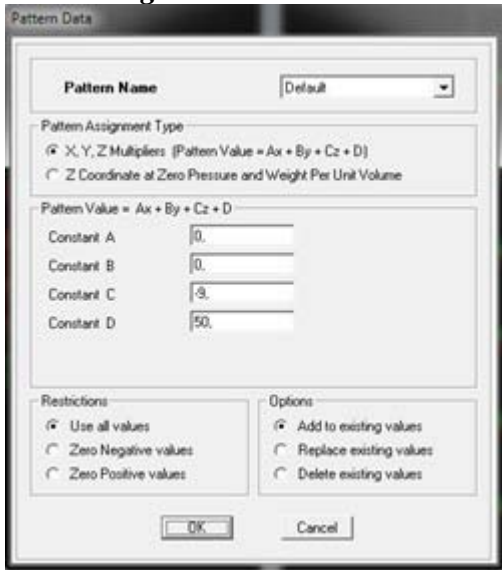
$$\varphi_d' = \text{tg}^{-1} \cdot \left(\frac{\text{tg} \varphi'}{\gamma_{\varphi'}} \right) \quad \delta_d = \text{tg}^{-1} \cdot \left(\frac{\text{tg} \delta}{\gamma_{\varphi'}} \right) \quad \beta - \text{ЪГЪЛ на (наклона на) терена}$$

Приложната точка на сеизмичната сила се приема (приблизително) на средата на стената.

$$(20) \quad L^{\text{elastic zone}} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot EI}{k}} \leftarrow \begin{cases} E, [\text{kN} / \text{m}^2] \\ I, [\text{m}^4 / \text{m}] \\ k, [\text{kN} / \text{m}^3] \end{cases}$$

Verdeyn - според вида и състоянието на почвата и технологията на изпълнение на стените

Assign → Joint Patterns...

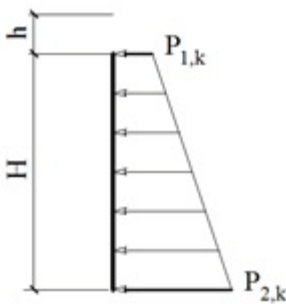


b)

Assign → Area Loads → Surface Pressure...

$$C = - \left[\frac{(P_{2,k} - P_{1,k})}{H} \right]$$

$$D = + (P_{2,k})$$



a)



c)

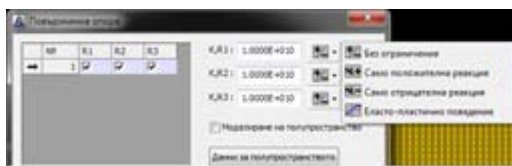
Фигура 1 – Въвеждане на товар в SAP 2000:
a)- интензивности; b)- визуализация; c)- присъединяване

Задълбочени научни изследвания, могат да се извършват например с: **Ansys / Civil FEM** и **Etabs / SAP 2000, Tower**, съгласно: [6], [7], [8] и [9], като земната основа се моделира с крайни елементи, на които са присъединени съответни характеристики (или направо от базата данни на софтуера) и опорни условия. При това положение се

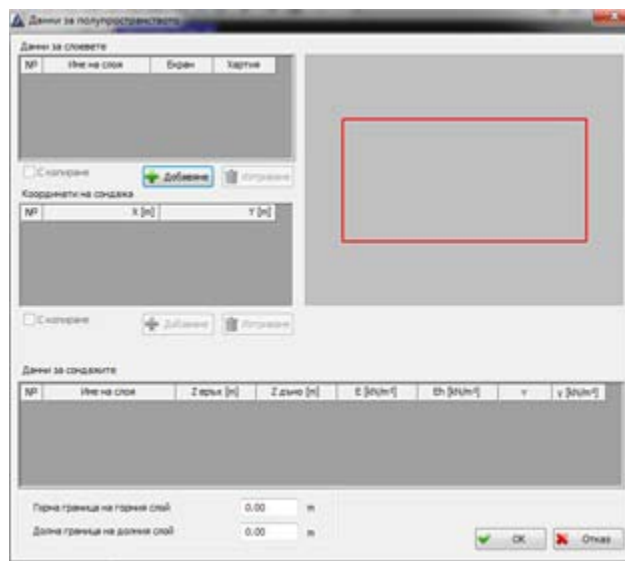
„имитира“ действителното положение на строителната конструкция, както и почвените пластовете под нея, с тяхната мощност и характеристики. Необходими са подробни данни (например: триене, подпочвени води, промяна на данните и др.) от ИГ-доклад/консултация със специалист по ЗМФ, за да са налице всички необходими данни за съответните входни данни в програмите.

В програмни продукти: **Tower 6 / Tower 7, SAP 2000 / Etabs**, трапецовидното въздействие се въвежда съгласно [4], като повърхнинно натоварване или директно чрез модифицираните опции на програмата. Още методики (като моделиране на *пружинни опори* и др.) има налични в [4], [10] и [11].

Допълнителни опции в **Tower 7** :



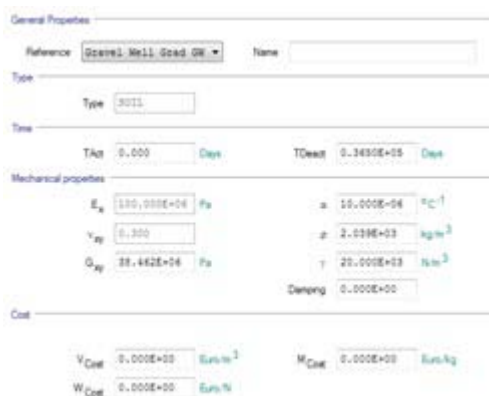
a)



b)

Фигура 2: а)- характеристики на опорите; б)- характеристики на почвените пластовете

В **Civil FEM/Ansys**:



- [6] ANSYS , Civil FEM, Reference Guide, Inc.
[7] ETABS, Manuals, Computers & Structures, Inc.
[8] SAP2000 Manuals, Computers & Structures, Inc.
[9] Tower, (Ръководства с инструкции за работа с програмата), ВАГ-ООД (Tower, VAG)
[10] Георгиев, Г., Цветков, Ст. , Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции по Еврокод – част Втора – Сеизмично проектиране на стоманобетонни рамкови конструкции, ВСУ, С., 2014 ISBN: 978-954-331-048-7
[11] Георгиев, Г., Цветков, Ст. , Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции по Еврокод – част Трета – Сеизмично проектиране на стоманобетонни смесени конструкции, ВСУ, С., 2014 ISBN: 978-954-331-049-4
[12] Георгиев, Г., Цветков, Ст. , Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетонни конструкции по Еврокод – част Първа – глава Първа-Безгредови плочи и стълбища, ВСУ, С., 2013 ISBN: 978-954-331- 040-1
[13] Георгиев, Г., Цветков, Ст. , Методическо ръководство за разработване на курсов проект по Стоманобетон по Еврокод 2, ВСУ, С., 2012 ISBN: 978-954-331-037-1

CONSIDERING THE EFFECTS OF GROUND PRESSURE IN BUILDING DESIGN

Stanislav Tsvetkov
st.cvetkov@vsu.bg

*University of structural engineering & architecture “Lyuben Karavelov”,
department “Building construction”
Sofia, 175 Suhodolska, str.
BULGARIA*

Key words: *Ground pressure, Elastic foundation, Seismic analysis*

Abstract: *This report is a type of assaying information from existing sources, on matters relating to the operation and considering of ground pressure in the design of buildings. Are given: the basic theoretical principles of Soil Mechanics and Foundation, whereby earth pressure can be reported as impact or environment-elastic foundation; practical performances enshrined in building structural design, as well as those based on Eurocode; performed parametric numerical analysis of buildings in seismic regions, using a software, based work with the Finite Elements Method. The report includes: basic formulas giving clarity when the coefficient of the bed, in the absence of actual data; information for seismic analysis; information and the introduction of impact in specialized software. Of parametric tests (carried out using the provisions of Eurocode 8 for the design of buildings for earthquake resistance) are given generalized conclusions about stress and strain state of basement concrete walls, which together with the foundation structure (most often- base plate) and floor slab form a so- called "stiff basement" (closed loop), data for base plate and structural walls. Calculated are different buildings, divided by: structural systems, number of floors, levels of ductility and conditions. Information can be used for practical applications.*