



Получена: 01.04.2019 г.

Приета: 15.04.2019 г.

## ВЛИЯНИЕ НА КОМПЛЕКСНИТЕ ПАРАМЕТРИ ВЪРХУ СТОЙНОСТИТЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА АКТИВЕН ЗЕМЕН НАТИСК ПО ТЕОРИЯТА НА MONONOBE-ОКАВЕ – ЧАСТ ВТОРА

Л. Михова<sup>1</sup>, И. Сулай<sup>2</sup>, Н. Керенчев<sup>3</sup>

*Ключови думи: Mononobe-Okabe, коефициент, активен земен натиск, земетръс*

### РЕЗЮМЕ

В настоящата статия са разгледани и са анализирани числените стойности за коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  по теорията на *Mononobe-Okabe*, при отчитане на влиянието на зададени комплексни параметри, като: ъгъл на наклона на терена зад подпорната конструкция –  $\beta$ ; ъгъл на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция –  $\varphi$ ; ъгъл на наклона на гърба на подпорната конструкция –  $\omega$ ; ъгъл на триене „почва-подпорна конструкция“ –  $\delta$ ; ъгъл на наклона на сеизмичното въздействие –  $\theta$ ; максимално референтно сеизмично ускорение –  $\alpha$ ; почвен коефициент в зависимост от типа на земната основа –  $S$ ; коефициент  $r$  за дуктилност на подпорната конструкция и др. Разработени и оформени са номограми, позволяващи бързо и точно отчитане на коефициента  $K_{AE}$  при различни набори от входни параметри. Направени са общи изводи и препоръки.

### 1. Въведение

Настоящата статия представлява втора част, продължение на статията „Влияние на комплексните параметри върху стойностите на коефициента на активен земен натиск

<sup>1</sup> Лена Михова, проф. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l\_mihova@yahoo.com

<sup>2</sup> Ирена Сулай, гл.ас. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: irenasulay@abv.bg

<sup>3</sup> Николай Керенчев, гл.ас. д-р инж., кат. „Геотехника“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kerenchev@hotmail.com

по теорията на *Mononobe-Okabe* – част първа“, публикувана от авторите в настоящия годишник.

При оразмеряването на подпорни конструкции по Еврокод, меродавна за голяма част от територията на България се явява заетръсната комбинация на натоварване. Текстовете на БДС EN 1998-5 регламентират опростен метод за анализ при проектиране на подпорни конструкции, т.нар. основен модел за псевдостатичен анализ, състоящ се от подпорна конструкция и нейния фундамент, от почвен клин зад конструкцията, намиращ се в състояние на активно гранично равновесие (ако конструкцията е достатъчно гъвкава) и евентуално от почвена маса при стъпката на стената, за която се предполага, че е в състояние на пасивно равновесие. Препоръчва се коефициентът на земен натиск по време на заетръс  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) да се определя по формулите на *Mononobe-Okabe*.

Върху стойността на  $K_{AE}$  влияние оказват различни параметри, като: ъгъл на наклона на терена зад подпорната конструкция –  $\beta$ ; ъгъл на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция –  $\varphi$ ; ъгъл на наклона на гърба на подпорната конструкция –  $\omega$ ; ъгъл на триене „почва-подпорна конструкция“ –  $\delta$ ; ъгъл на наклона на сеизмичното въздействие –  $\theta$ ; максимално референтно сеизмично ускорение –  $\alpha$ ; почвен коефициент (коефициент на „усилване“) в зависимост от типа на земната основа –  $S$ ; коефициент  $r$  за дуктиленост (преместваемост) на подпорната конструкция и др.

Настоящата статия има за цел да представи и обобщи получените числени стойности за коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  по *Mononobe-Okabe*, за две от четирите основни комбинации на комплексните параметри.

– III комбинация:  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ , при вариране на  $r = 1,0; 1,5; 2,0$ ;

– IV комбинация:  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ , при вариране на  $r = 1,0; 1,5; 2,0$ .

Комбинации I и II са разгледани в част първа на тази статия.

Основна задача е разработването и оформянето на номограми, позволяващи бързо и точно отчитане на коефициента  $K_{AE}$  при различни набори от входни параметри.

## **2. Изчисляване на коефициента на активен земен натиск $K_{AE}$ (статичен + динамичен) по *Mononobe-Okabe***

### **2.1. Основни приемания и заложили числени обхвати на комплексните параметри**

При изчисляването на  $K_{AE}$  са направени основни приемания и са заложили числени обхвати на комплексните параметри (за почва, терен, подпорна конструкция и др.) с цел постигане на вариативност и изчерпателност на получените резултати.

- 1) Ъгълът на наклона на терена зад подпорната конструкция е с числен обхват  $\beta = 0^\circ \div 40^\circ$  със стъпка  $5^\circ$ .
- 2) Ъгълът на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция е с числен обхват  $\varphi = 15^\circ \div 45^\circ$ , със стъпка  $5^\circ$ .
- 3) За всички анализни ситуации, подпорната конструкция е приета с вертикален гръб, т.е.  $\omega = 0^\circ$ .

- 4) За всички анализни ситуации ъгълът на триене „почва-подпорна конструкция“ е приет  $\delta = 0,5\varphi$ .
- 5) Определянето на ъгъла на наклона на сеизмичното въздействие  $\theta$  е по форм. (1):

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{k_h}{1 \mp k_v} \right], \quad (1)$$

където  $k_h$  е хоризонтална компонента на сеизмично въздействие;

$k_v$  – вертикална компонента на сеизмично въздействие. Знакът пред  $k_v$  в знаменателя на форм. (4) е приеман с „-“.

В съответствие с регламентите на [2], поради липсата на специфични изследвания, коефициентите  $k_h$  и  $k_v$ , са приети, както следва (вж. форм. (2) и (3)):

$$k_h = \alpha(S/r), \quad (2)$$

$$k_v = \pm 0,5k_h \text{ при } a_{yg}/a_g > 0,6, \quad (3)$$

където  $\alpha$  е максимално референтно сеизмично ускорение, (отношение на изчислителното ускорение на земната основа към земното ускорение);

$S$  – почвен коефициент в зависимост от типа на земната основа;

$r$  – коефициент за дуктилност (преместваемост) на подпорната конструкция;

$a_{yg}$  – изчислително ускорение на земната основа във вертикално направление;

$a_g$  – изчислително ускорение на земната основа тип А.

6) Максималното референтно сеизмично ускорение е прието с две меродавни стойности:  $\alpha = 0,23$  и  $\alpha = 0,32$ .

7) Почвеният коефициент в зависимост от типа на земната основа е приет с меродавна стойност:  $S = 1,0$  за тип земна основа D (респ. А).

8) Коефициентът за дуктилност на подпорната конструкция е приет с три меродавни стойности:  $r = 1,0$ ,  $r = 1,5$  и  $r = 2,0$ .

## 2.2. Определяне на обобщения коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция $\beta$ и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция $\varphi$ – таблици и номограми

За всяка комбинация на комплексни параметри са съставени по три таблици и шест номограми:

- III комбинация: табл. 1, табл. 2, табл. 3, фиг. 1, фиг. 2, фиг. 3, фиг. 4, фиг. 5, фиг. 6;
- IV комбинация: табл. 4, табл. 5, табл. 6, фиг. 7, фиг. 8, фиг. 9, фиг. 10, фиг. 11, фиг. 12.

Таблиците представят конкретните числени стойности за обобщения коефициент на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен), като входните параметри, заложенни при провеждането на изчисленията са систематизирани вдясно на всяка основна таблица. Оформените номограми предоставят възможност за бързо и точно отчитане на стойността за  $K_{AE}$  в зависимост от  $\varphi$  и  $\beta$ .

Формулите за изчисляване на  $K_{AE}$  и входните параметри позволяват получаването на конкретни числени стойности за коефициента на активен земен натиск за всяка от посочените стойности на  $\varphi$  и  $\beta$ . В представените таблици е оградена област с червен фон, която авторите на настоящата статия определят като „недефинирана област по теорията на *Mononobe-Okabe*“. Основание за това е наблюдението, че след достигане на определени стойности за  $\varphi$  и  $\beta$ , при едни и същи входни параметри, стойността на  $K_{AE}$  се запазва константна. Това показва, че даденото математическо решение има своята граница на приложимост и следва да се вземе предвид при провеждането на проектни изчисления. Напълно недефинирани области са получени за:

### III комбинация:

- при  $\beta = 40^\circ$  за всички стойности на  $\varphi$ , съгласно табл. 1;

### IV комбинация:

- при  $\beta = 30^\circ, 35^\circ$  и  $40^\circ$  за всички стойности на  $\varphi$ , съгласно табл. 4;
- при  $\beta = 40^\circ$  за всички стойности на  $\varphi$ , съгласно табл. 5.

Въз основа на оформените шест таблици и 12 номограми са направени следните основни, обобщени заключения относно получените стойности за коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$ :

- 1) при едни и същи стойности на  $\alpha, S, \omega, \delta, \beta$ , при увеличаване на стойността на  $\varphi$ , намалява стойността на  $K_{AE}$ ;
- 2) при едни и същи стойности на  $\alpha, S, \omega, \delta, \varphi$ , при увеличаване на стойността на  $\beta$ , нараства стойността на  $K_{AE}$ ;
- 3) при едни и същи стойности на  $\alpha, S, \beta, \varphi, \omega, \delta$ , при увеличаване на  $r$ , намалява стойността на  $K_{AE}$  (вж. табл. 3, табл. 4, табл. 5, респ. табл. 6, табл. 7, табл. 8);
- 4) при едни и същи стойности на  $S, \beta, \varphi, \omega, \delta, r$ , при увеличаване на  $\alpha$ , нараства стойността на  $K_{AE}$  (вж. табл. 3 и табл. 6; табл. 4 и табл. 7; табл. 5 и табл. 8).
- 5) при едни и същи стойности на  $S, \beta, \varphi, \omega, \delta, r$ , при увеличаване на  $\alpha$ , нараства обхватът на „недефинираната област по теорията на *Mononobe-Okabe*“.

**Таблица 1. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,23; S = 1,0; r = 1,0; \omega = 0^\circ$**

| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |         |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |         |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | $\alpha$ [-]     | 0.23    |
| 0   | 1.0001        | 0.7465 | 0.6141 | 0.5142 | 0.4334 | 0.3660 | 0.3087 | S [-]            | 1.00    |
| 5   | 1.1148        | 0.9936 | 0.7127 | 0.5759 | 0.4758 | 0.3962 | 0.3306 | r [-]            | 1.00    |
| 10  | 1.1148        | 1.1259 | 0.9760 | 0.6742 | 0.5348 | 0.4354 | 0.3576 | $k_h$ [-]        | 0.2300  |
| 15  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 0.9470 | 0.6307 | 0.4908 | 0.3932 | $k_v$ [-]        | 0.1150  |
| 20  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 1.1038 | 0.9067 | 0.5825 | 0.4441 | $\theta$ [°]     | 14.5682 |
| 25  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 1.1038 | 1.0707 | 0.8558 | 0.5300 | $\omega$ [°]     | 0.0000  |
| 30  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 1.1038 | 1.0707 | 1.0233 | 0.7950 |                  |         |
| 35  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 1.1038 | 1.0707 | 1.0233 | 0.9627 |                  |         |
| 40  | 1.1148        | 1.1259 | 1.1223 | 1.1038 | 1.0707 | 1.0233 | 0.9627 |                  |         |

**Таблица 2. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,23; S = 1,0; r = 1,5; \omega = 0^\circ$**

| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |        |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |        |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | $\alpha$ [-]     | 0.23   |
| 0   | 0.7325        | 0.6036 | 0.5031 | 0.4211 | 0.3526 | 0.2947 | 0.2450 | S [-]            | 1.00   |
| 5   | 0.9284        | 0.6896 | 0.5583 | 0.4594 | 0.3800 | 0.3145 | 0.2594 | r [-]            | 1.50   |
| 10  | 1.0496        | 0.9018 | 0.6445 | 0.5122 | 0.4153 | 0.3389 | 0.2764 | $k_h$ [-]        | 0.1533 |
| 15  | 1.0496        | 1.0387 | 0.8657 | 0.5962 | 0.4646 | 0.3707 | 0.2977 | $k_v$ [-]        | 0.0767 |
| 20  | 1.0496        | 1.0387 | 1.0140 | 0.8202 | 0.5447 | 0.4157 | 0.3257 | $\theta$ [°]     | 9.4288 |
| 25  | 1.0496        | 1.0387 | 1.0140 | 0.9759 | 0.7661 | 0.4904 | 0.3660 | $\omega$ [°]     | 0.0000 |
| 30  | 1.0496        | 1.0387 | 1.0140 | 0.9759 | 0.9252 | 0.7041 | 0.4340 |                  |        |
| 35  | 1.0496        | 1.0387 | 1.0140 | 0.9759 | 0.9252 | 0.8628 | 0.6355 |                  |        |
| 40  | 1.0496        | 1.0387 | 1.0140 | 0.9759 | 0.9252 | 0.8628 | 0.7902 |                  |        |

**Таблица 3. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,23; S = 1,0; r = 2,0; \omega = 0^\circ$**

| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |        |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |        |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     | $\alpha$ [-]     | 0.23   |
| 0   | 0.6686        | 0.5538 | 0.4612 | 0.3847 | 0.3205 | 0.2660 | 0.2194 | S [-]            | 1.00   |
| 5   | 0.7778        | 0.6188 | 0.5054 | 0.4160 | 0.3431 | 0.2823 | 0.2311 | r [-]            | 2.00   |
| 10  | 1.0200        | 0.7329 | 0.5690 | 0.4574 | 0.3714 | 0.3021 | 0.2449 | $k_h$ [-]        | 0.1150 |
| 15  | 1.0200        | 0.9996 | 0.6840 | 0.5182 | 0.4093 | 0.3271 | 0.2618 | $k_v$ [-]        | 0.0575 |
| 20  | 1.0200        | 0.9996 | 0.9659 | 0.6308 | 0.4659 | 0.3611 | 0.2834 | $\theta$ [°]     | 6.9566 |
| 25  | 1.0200        | 0.9996 | 0.9659 | 0.9198 | 0.5736 | 0.4126 | 0.3130 | $\omega$ [°]     | 0.0000 |
| 30  | 1.0200        | 0.9996 | 0.9659 | 0.9198 | 0.8621 | 0.5131 | 0.3589 |                  |        |
| 35  | 1.0200        | 0.9996 | 0.9659 | 0.9198 | 0.8621 | 0.7942 | 0.4504 |                  |        |
| 40  | 1.0200        | 0.9996 | 0.9659 | 0.9198 | 0.8621 | 0.7942 | 0.7176 |                  |        |

Таблица 4. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,32; S = 1,0; r = 1,0; \omega = 0^\circ$

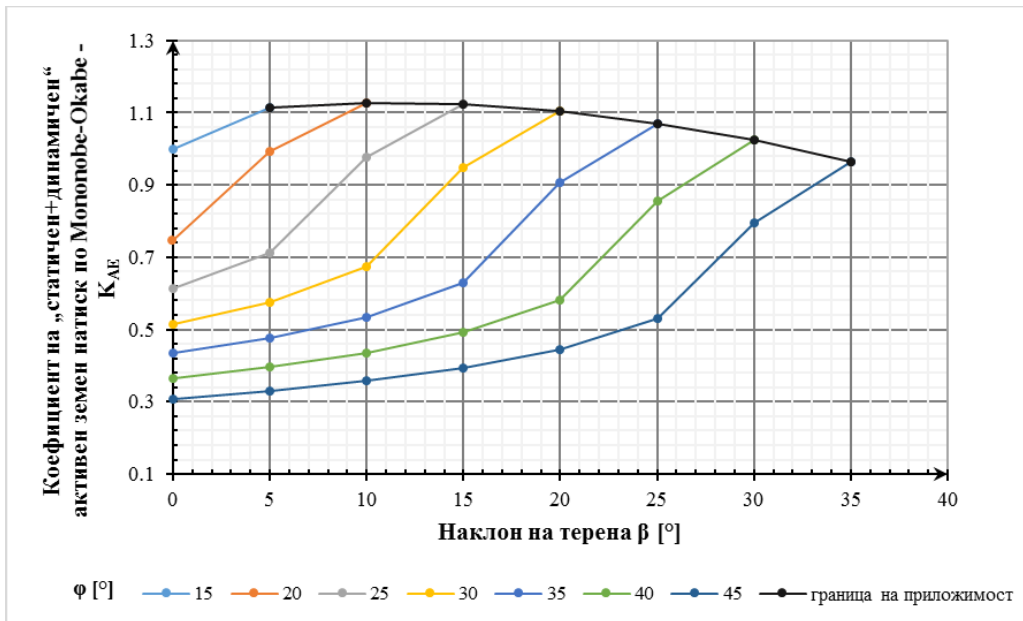
| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |         |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |         |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     |                  |         |
| 0   | 1.2033        | 1.2462 | 0.8430 | 0.6833 | 0.5724 | 0.4854 | 0.4138 | $\alpha$ [-]     | 0.32    |
| 5   | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 0.8215 | 0.6530 | 0.5394 | 0.4519 | $S$ [-]          | 1.00    |
| 10  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 0.7924 | 0.6175 | 0.5026 | $r$ [-]          | 1.00    |
| 15  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 0.7555 | 0.5771 | $k_h$ [-]        | 0.3200  |
| 20  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 1.2626 | 0.7112 | $k_v$ [-]        | 0.1600  |
| 25  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 1.2626 | 1.2254 | $\theta$ [°]     | 20.8545 |
| 30  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 1.2626 | 1.2254 | $\omega$ [°]     | 0.0000  |
| 35  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 1.2626 | 1.2254 |                  |         |
| 40  | 1.2033        | 1.2462 | 1.2744 | 1.2869 | 1.2831 | 1.2626 | 1.2254 |                  |         |

Таблица 5. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,32; S = 1,0; r = 1,5; \omega = 0^\circ$

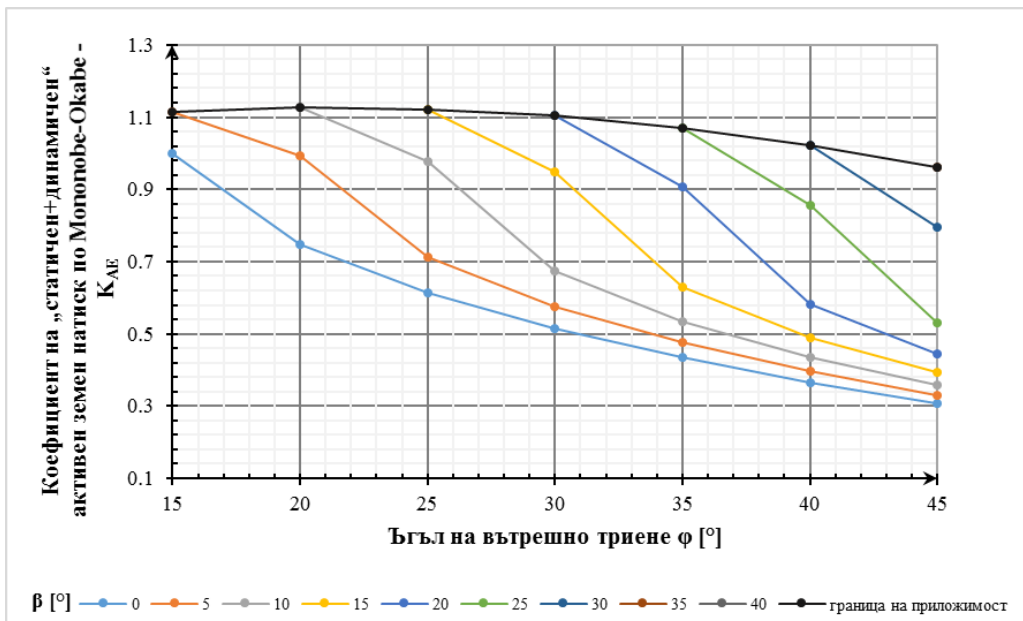
| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |         |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|---------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |         |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     |                  |         |
| 0   | 0.8993        | 0.7081 | 0.5859 | 0.4911 | 0.4136 | 0.3486 | 0.2933 | $\alpha$ [-]     | 0.32    |
| 5   | 1.0999        | 0.8778 | 0.6709 | 0.5462 | 0.4519 | 0.3761 | 0.3131 | $S$ [-]          | 1.00    |
| 10  | 1.0999        | 1.1059 | 0.8485 | 0.6301 | 0.5041 | 0.4112 | 0.3375 | $r$ [-]          | 1.50    |
| 15  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 0.8108 | 0.5852 | 0.4597 | 0.3690 | $k_h$ [-]        | 0.2133  |
| 20  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 1.0741 | 0.7649 | 0.5364 | 0.4132 | $k_v$ [-]        | 0.1067  |
| 25  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 1.0741 | 1.0366 | 0.7113 | 0.4843 | $\theta$ [°]     | 13.4310 |
| 30  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 1.0741 | 1.0366 | 0.9855 | 0.6510 | $\omega$ [°]     | 0.0000  |
| 35  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 1.0741 | 1.0366 | 0.9855 | 0.9217 |                  |         |
| 40  | 1.0999        | 1.1059 | 1.0972 | 1.0741 | 1.0366 | 0.9855 | 0.9217 |                  |         |

Таблица 6. Стойности на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  при  $\alpha = 0,32; S = 1,0; r = 2,0; \omega = 0^\circ$

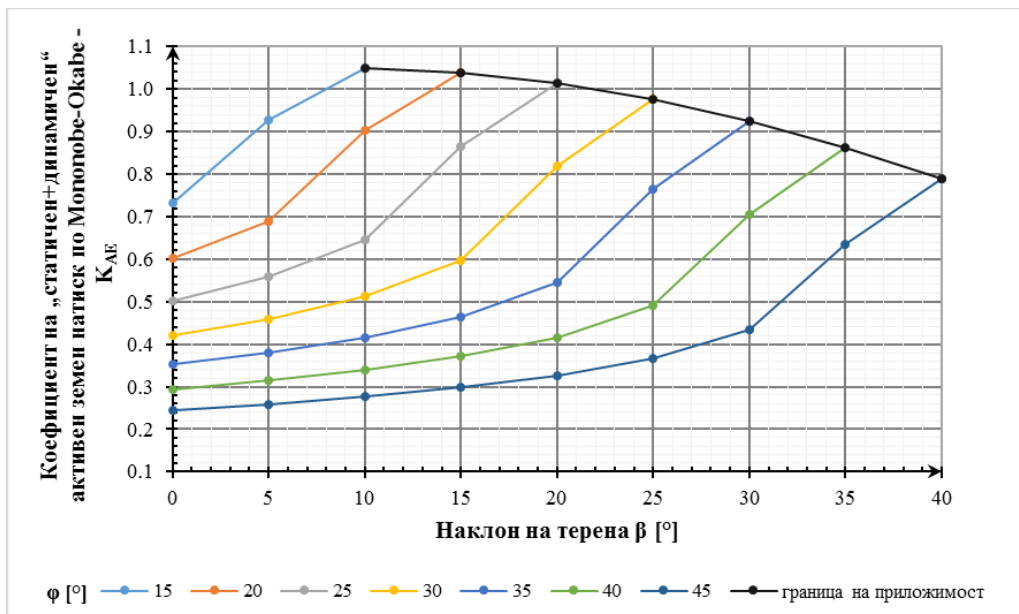
| Коефициент на активен земен натиск $K_{AE}$ |               |        |        |        |        |        |        | Входни параметри |        |
|---|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|
| $\beta$ [°]                                 | $\varphi$ [°] |        |        |        |        |        |        |                  |        |
|   | 15            | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     | 45     |                  |        |
| 0   | 0.7457        | 0.6133 | 0.5111 | 0.4280 | 0.3587 | 0.3001 | 0.2499 | $\alpha$ [-]     | 0.32   |
| 5   | 0.9931        | 0.7043 | 0.5688 | 0.4678 | 0.3871 | 0.3206 | 0.2647 | $S$ [-]          | 1.00   |
| 10  | 1.0550        | 0.9752 | 0.6603 | 0.5230 | 0.4238 | 0.3459 | 0.2825 | $r$ [-]          | 2.00   |
| 15  | 1.0550        | 1.0458 | 0.9457 | 0.6127 | 0.4756 | 0.3791 | 0.3046 | $k_h$ [-]        | 0.1600 |
| 20  | 1.0550        | 1.0458 | 1.0228 | 0.9047 | 0.5614 | 0.4267 | 0.3340 | $k_v$ [-]        | 0.0800 |
| 25  | 1.0550        | 1.0458 | 1.0228 | 0.9862 | 0.8528 | 0.5070 | 0.3766 | $\theta$ [°]     | 9.8658 |
| 30  | 1.0550        | 1.0458 | 1.0228 | 0.9862 | 0.9367 | 0.7911 | 0.4502 | $\omega$ [°]     | 0.0000 |
| 35  | 1.0550        | 1.0458 | 1.0228 | 0.9862 | 0.9367 | 0.8755 | 0.7208 |                  |        |
| 40  | 1.0550        | 1.0458 | 1.0228 | 0.9862 | 0.9367 | 0.8755 | 0.8037 |                  |        |



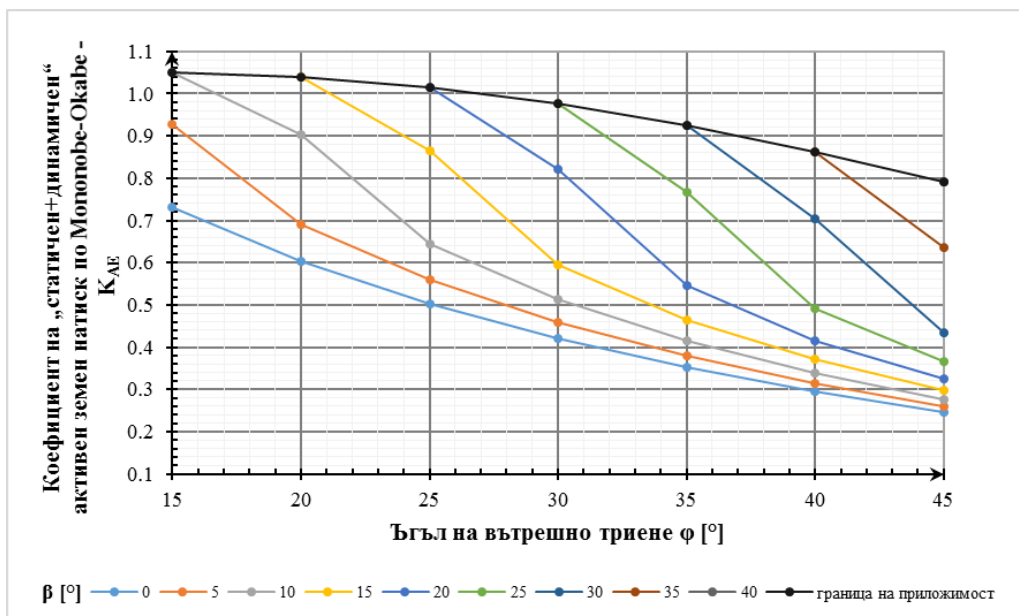
Фиг. 1. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



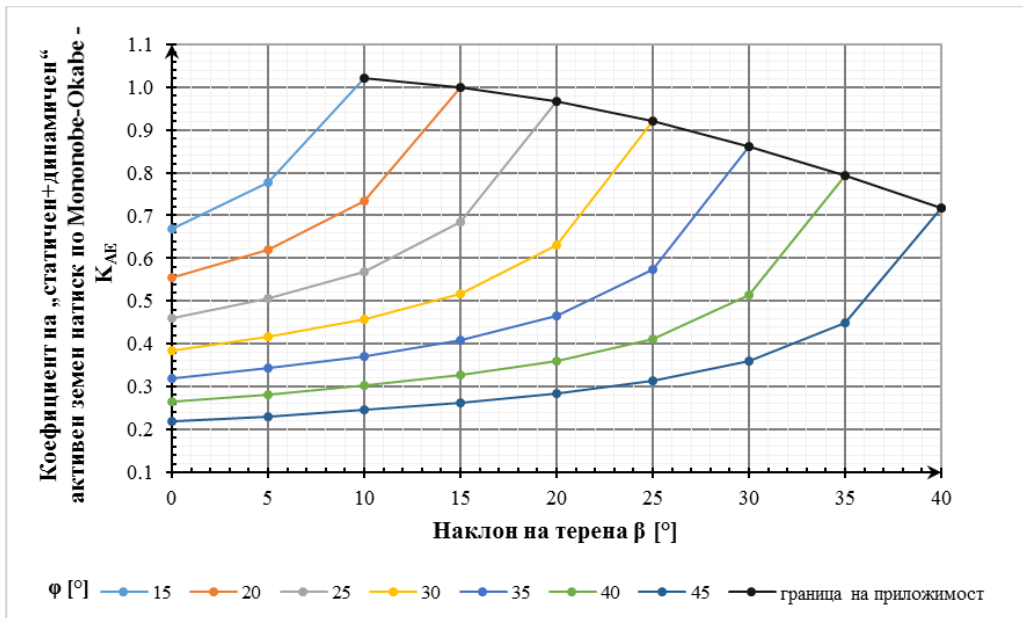
Фиг. 2. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



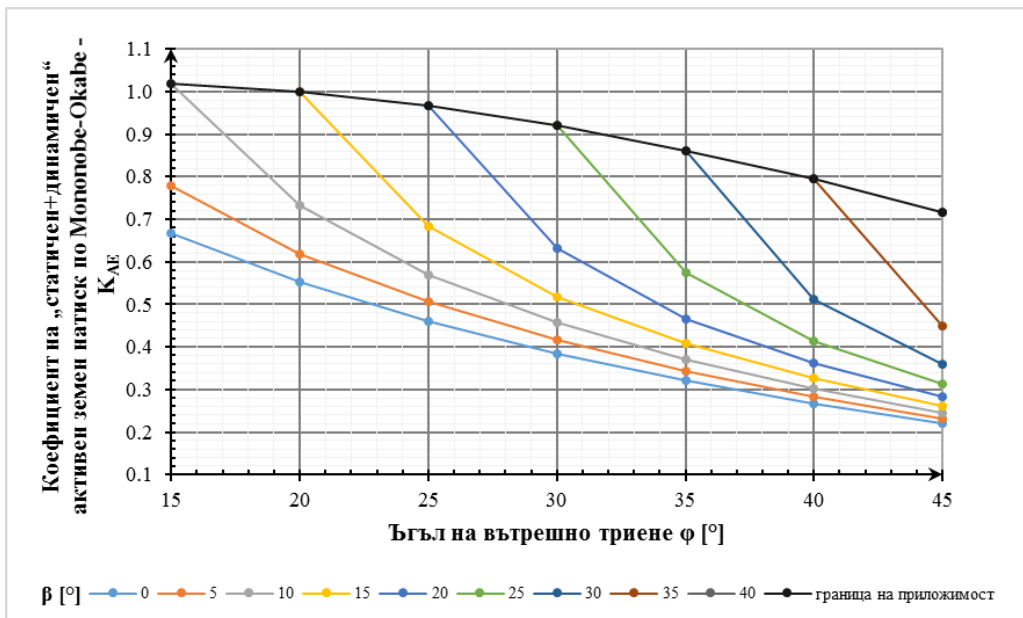
Фиг. 3. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,5$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



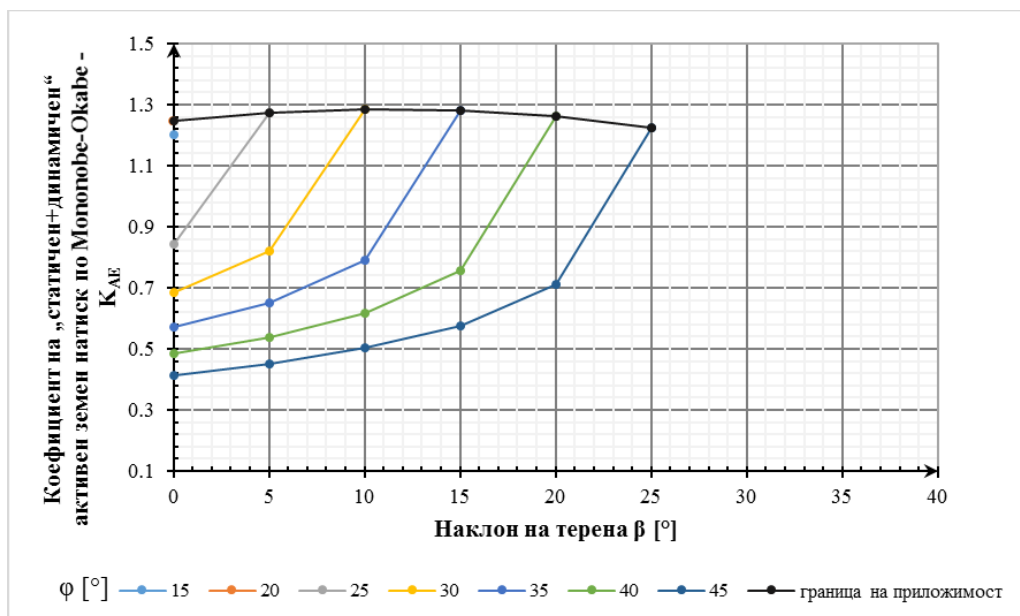
Фиг. 4. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,5$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



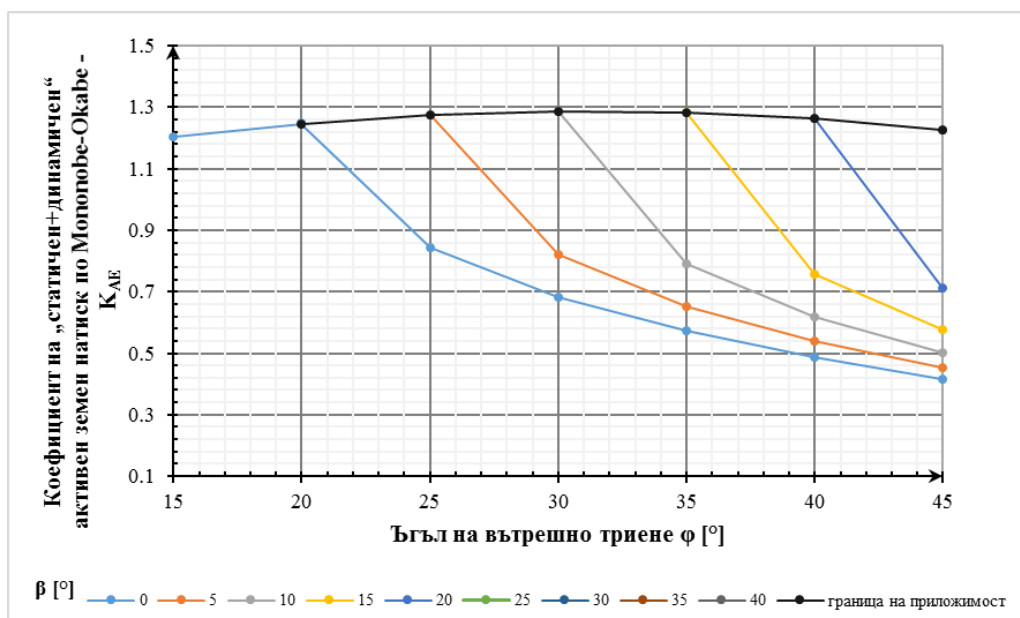
Фиг. 5. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 2,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



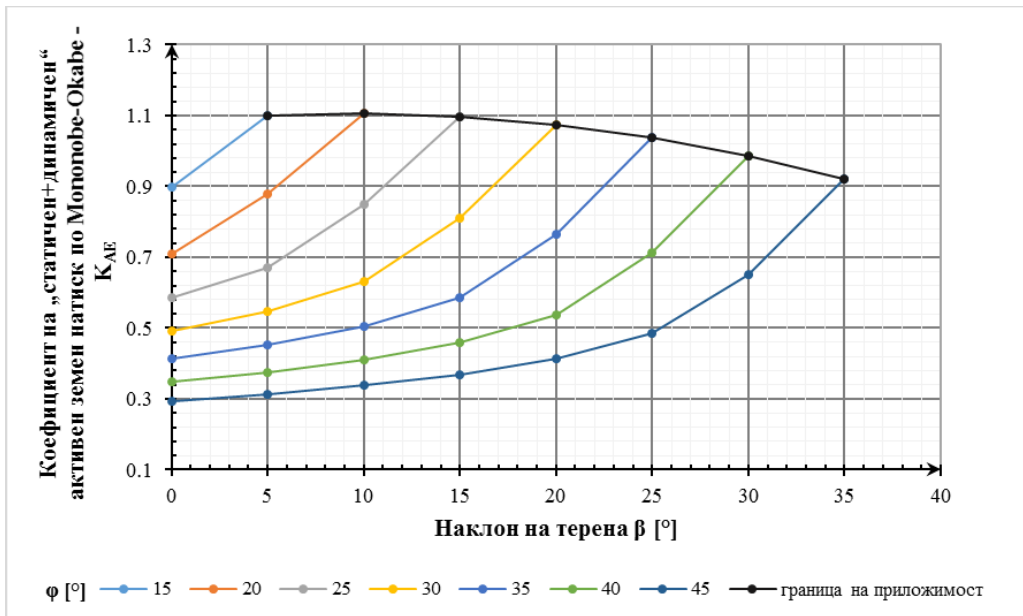
Фиг. 6. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 2,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



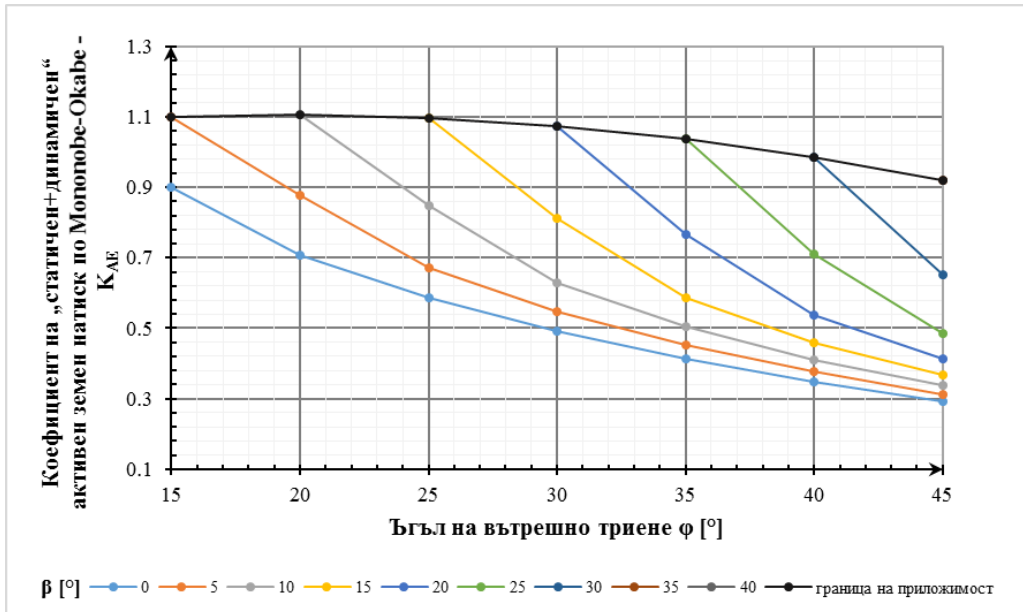
Фиг. 7. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\varphi$ , при  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



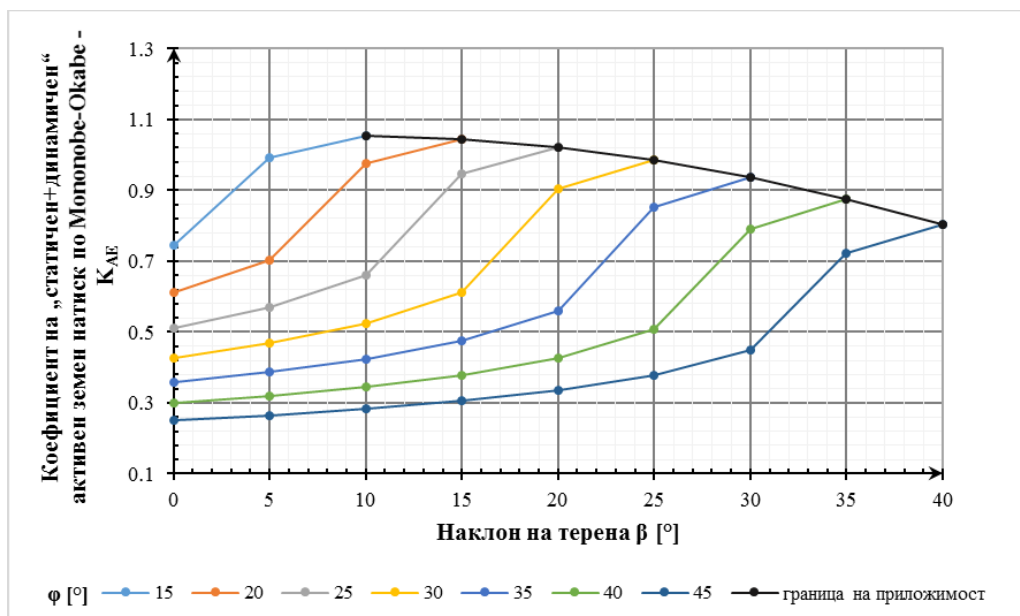
Фиг. 8. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\varphi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



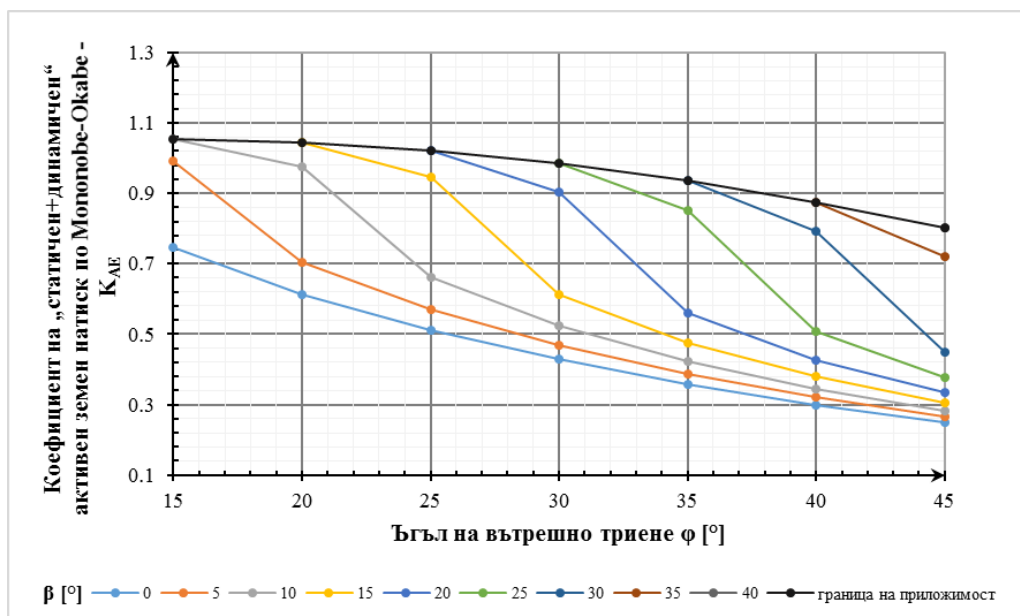
Фиг. 9. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$ , при  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,5$  и  $\omega = 0^{0\circ}$ “



Фиг. 10. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ ,  $r = 1,5$  и  $\omega = 0^{0\circ}$ “



Фиг. 11. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$  и ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$ , при  $\alpha = 0,32, S = 1,0, r = 2,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “



Фиг. 12. Номограма за „Определяне на коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  (статичен + динамичен) въз основа на ъгъла на вътрешно триене на почвата зад подпорната конструкция  $\phi$  и на ъгъла на наклона на терена зад подпорната конструкция  $\beta$ , при  $\alpha = 0,32, S = 1,0, r = 2,0$  и  $\omega = 0^{\circ}$ “

## Изводи

Настоящата статия разгледа и анализира получените числени стойности за коефициента на активен земен натиск  $K_{AE}$  по *Mononobe-Okabe*, при отчитане на влиянието на зададени комплексни параметри. Направени са изводи и препоръки за две основни комбинации на параметрите: 1)  $\alpha = 0,23$ ,  $S = 1,0$ , при вариране на  $r = 1,0; 1,5; 2,0$ ; 2)  $\alpha = 0,32$ ,  $S = 1,0$ , при вариране на  $r = 1,0; 1,5; 2,0$ . Разработени и оформени са номограми, позволяващи бързо и точно отчитане на коефициента  $K_{AE}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.eurocodeapplied.com/design/en1998/mononobe-okabe>, посетен на 18.02.2019.
2. БДС EN 1998-5:2005 Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия. Част 5: Фундаменти, опорни конструкции и геотехнически аспекти.
3. БДС EN 1998-1/NA Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия Част 1: Общи правила, сеизмични въздействия и правила за сгради, Национално приложение.
4. *Илов, Г. и колектив*. Ръководство по Геотехника, разработено съгласно изискванията на Еврокод 7. Геотехническо проектиране, изд. КИИП, София 2012.

# THE INFLUENCE OF COMPLEX PARAMETER VALUES ON THE MONONOBE-OKABE EARTH PRESSURE COEFFICIENT FOR ACTIVE STATE – PART TWO

L. Mihova<sup>1</sup>, I. Sulay<sup>2</sup>, N. Kerenchev<sup>3</sup>

*Keywords:* Mononobe-Okabe method, dynamic earth pressure coefficient, earthquake analysis

## ABSTRACT

The paper aims to analyze and estimate the computed values of the *Mononobe-Okabe* dynamic earth pressure coefficient for active state, taking into account the influence of given input parameters, such as: inclination angle of the backfill surface –  $\beta$ ; design value of the friction angle of soil –  $\varphi$ ; wall back surface inclination angle –  $\omega$ ; design value of the friction angle between the soil and the wall –  $\delta$ ; auxiliary angle –  $\theta$ ; reference peak ground acceleration –  $\alpha$ ; soil parameter, depending on the subsoil class –  $S$ ; factor, affecting the horizontal seismic coefficient –  $r$ , etc.

Nomograms have been designed, allowing the approximate graphical computation of the *Mononobe-Okabe* dynamic earth pressure coefficient for active state at given input parameter values.

---

<sup>1</sup> Lena Mihova, Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: l\_mihova@yahoo.com

<sup>2</sup> Irena Sulay, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Road Construction”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: irenasulay@abv.bg

<sup>3</sup> Nikolay Kerenchev, Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kerenchev@hotmail.com