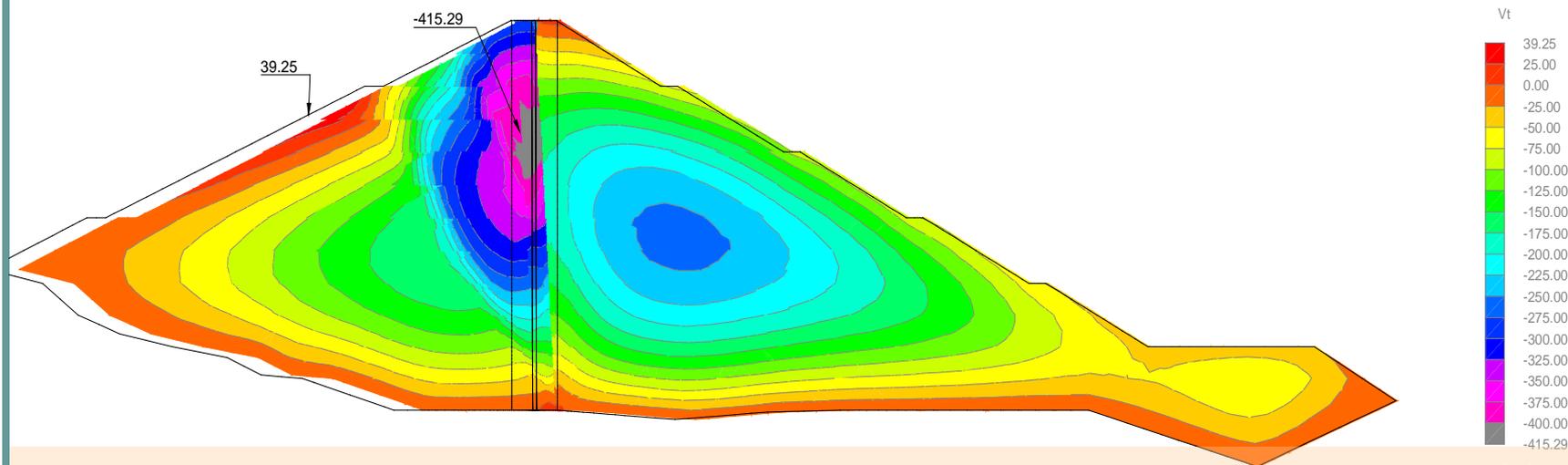




БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ВОДНИ ПРОБЛЕМИ

Анализ на устойчивостта и напрегнатото състояние на язовирна стена с АБД (РАКОЧЕВИЦА)



Проф. дтн. инж. Вангел Василев

Инж. Александър Вълков

Основни задачи на анализа:

1. Устойчивост на откосите на стената по класическите методи на хлъзгателните повърхнини и по МКЕ, за основно съчетание на действащите сили.
2. Определяне на НДС на стената по МКЕ в напречна посока – в строителен и експлоатационен период при действие на постоянни сили, с моделиране на насипването на стената на пластове и постепенното напълване на езерото.
3. Анализ на деформационното поведение на асфалтобетонната диафрагма на стената при статични въздействия.

Якостни и деформационни характеристики на материалите на стената

Табл.1

Каменен насип

| Вертикално напрежение σ_z [MPa] | Деформ. модул, ест. условия [MPa] | Деформ. модул, под вода [MPa] | Коеф.на Поасон ν | C MPa | ϕ градуси | $\gamma_{ест.вл.}$ kN/m ³ | $\gamma_{в.нас.}$ kN/m ³ | $\gamma_{под\ вода}$ kN/m ³ |
|---|---|---|----------------------------|----------|-------------------|---|--|---|
| 0.30 | 52.0 | 41.6 | 0.28 | 0.001 | 41.0 | 19.9 | 22.2 | 12.2 |
| 0.60 | 80.0 | 64.0 | 0.28 | 0.004 | 38.0 | 20.2 | 22.4 | 12.4 |
| 0.90 | 136.0 | 108.8 | 0.28 | 0.007 | 37.0 | 20.4 | 22.6 | 12.6 |
| 1.20 | 146.0 | 116.8 | 0.28 | 0.010 | 36.0 | 20.6 | 22.7 | 12.7 |

| Вертикално напрежение σ_z [MPa] | Деф орм. модул, ест. условия [MPa] | Деформ. модул, под вода [MPa] | Коеф.на Поасон ν | C MPa | ϕ градуси | $\gamma_{ест.вл.}$ kN/m ³ | $\gamma_{в.нас.}$ kN/m ³ | $\gamma_{под\ вода}$ kN/m ³ |
|---|--|---|----------------------------|----------|-------------------|---|--|---|
| 0.30 | 105.0 | 84.0 | 0.25 | 0.0005 | 43.0 | 20.0 | 22.2 | 12.2 |
| 0.60 | 131.0 | 104.8 | 0.25 | 0.0020 | 40.0 | 20.3 | 22.4 | 12.4 |
| 0.90 | 154.0 | 123.2 | 0.25 | 0.0035 | 39.0 | 20.5 | 22.6 | 12.6 |
| 1.20 | 179.0 | 143.2 | 0.25 | 0.0050 | 38.0 | 20.7 | 22.7 | 12.7 |

Табл.2

Преходни зони

Табл. 3

Асфалтобетон

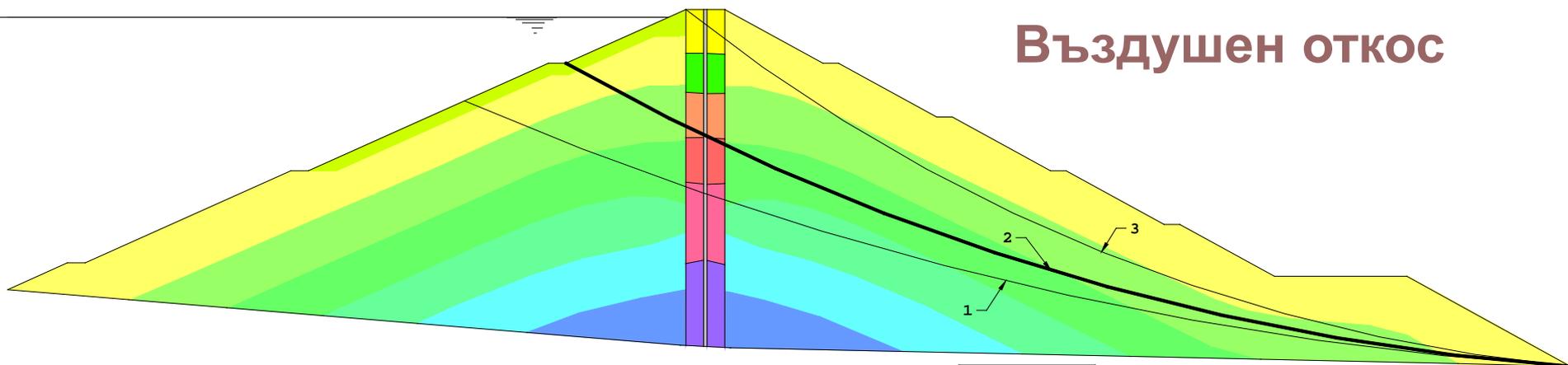
| Вертикално напрежение σ_z [MPa] | Деформ. модул, ест. условия [MPa] | Коеф.на Поасон ν | C [MPa] | ϕ [градуси] | γ [kN/m ³] | Якост на натиск R_c [MPa] | Якост на опън R_t [MPa] |
|---|---|----------------------------|------------|---------------------|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| 0.30 | 105.0 | 0.45 | 0.25 | 29.0 | 24.0 | 4.00 | 0.25 |
| 0.60 | 131.0 | 0.45 | 0.25 | 29.0 | 24.0 | 4.00 | 0.25 |
| 0.90 | 154.0 | 0.45 | 0.25 | 29.0 | 24.0 | 4.00 | 0.25 |
| 1.20 | 179.0 | 0.45 | 0.25 | 29.0 | 24.0 | 4.00 | 0.25 |

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

МЕТОДИ на ИЗСЛЕДВАНЕ:

- **метод на Fellenius** – без отчитане на силите между ламелите, препоръчван от българските норми, **в кръгли скоби (Ксиг)**;
- **метод на Krey, метод на Bishop опростен** – с отчитане само на натиска между ламелите – препоръчван от ICOLD, **в квадратни скоби [Ксиг]**;
- **метод на Morgenstern – Price** – с отчитане както на натиска, така и на променливото триене между ламелите и спазване на условията на равновесие и за сили и за моменти, **във фигурни скоби { Ксиг }**.

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

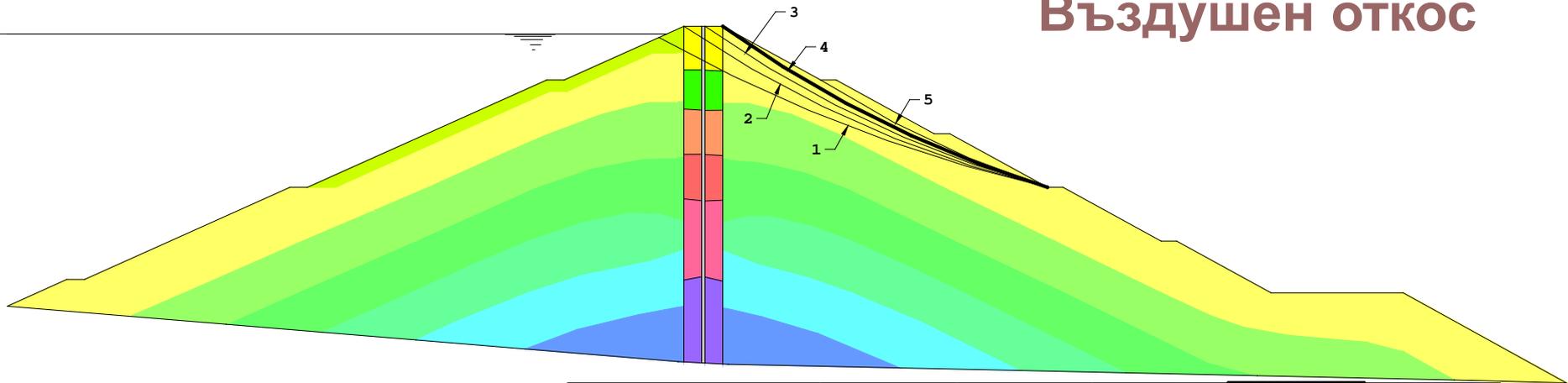


| Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN | № 1 157.4330 | № 2 113.8919 | № 3 56.4020 |
|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 2.4044 } [2.4002] (2.3581) | { 2.2206 } [2.2158] (2.1671) | { 2.2015 } [2.2012] (2.1478) |
| Особено съчетание А | { 1.4734 } [1.4698] (1.4440) | { 1.4469 } [1.4443] (1.4126) | { 1.5247 } [1.5268] (1.4897) |
| Особено съчетание Б | { 1.3113 } [1.3078] (1.2848) | { 1.3016 } [1.2985] (1.2700) | { 1.3764 } [1.3771] (1.3437) |
| Ср. критично ускорение | 0.4272 g | 0.4373 g | 0.4929 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.1931 g 1.4716 ka | 0.1921 g 1.4639 ka | 0.1813 g 1.3810 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.2549 g 1.2358 ka | 0.2541 g 1.2320 ka | 0.2455 g 1.1905 ka |

Фиг. 2 Въздушен откос – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през основната стъпка

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

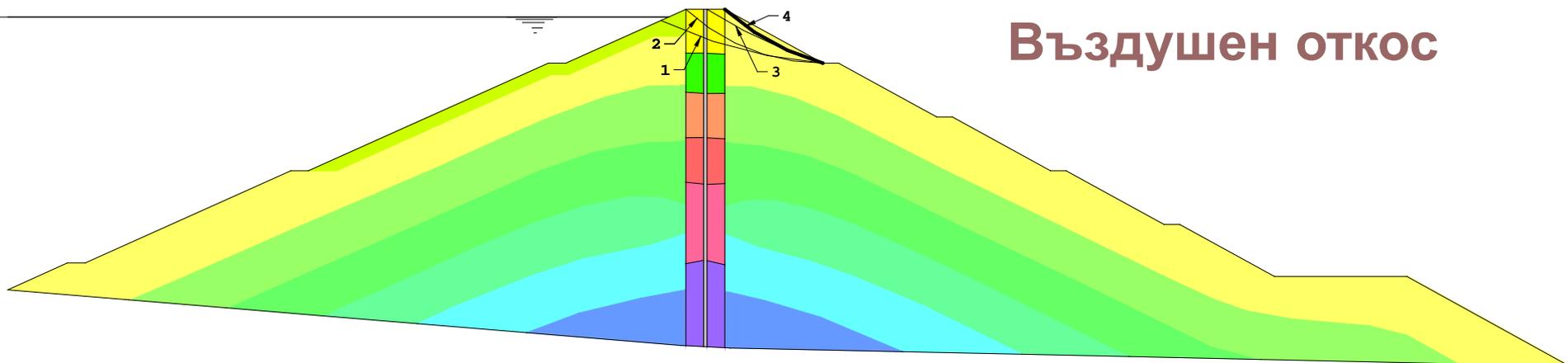
Въздушен откос



| Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN | № 1 15.1446 | № 2 10.5364 | № 3 7.4812 | № 4 4.7792 | № 5 2.8776 |
|--|--|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 2.1082 } [2.1096] (2.0933) | { 1.9737 } [1.9747] (1.9564) | { 1.8419 } [1.8420] (1.8260) | { 1.8221 } [1.8222] (1.8106) | { 1.8144 } [1.8145] (1.8058) |
| Особено съчетание А | { 1.3516 } [1.3508] (1.3403) | { 1.3194 } [1.3188] (1.3066) | { 1.2496 } [1.2485] (1.2376) | { 1.2455 } [1.2441] (1.2362) | { 1.2507 } [1.2490] (1.2430) |
| Особено съчетание Б | { 1.2505 } [1.2496] (1.2399) | { 1.2259 } [1.2252] (1.2138) | { 1.1621 } [1.1609] (1.1508) | { 1.1570 } [1.1555] (1.1482) | { 1.1596 } [1.1580] (1.1524) |
| Ср. критично ускорение | 0.4636 g | 0.4548 g | 0.4072 g | 0.4003 g | 0.3977 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.2347 g 1.7884 ka | 0.2321 g 1.7683 ka | 0.2299 g 1.7519 ka | 0.2262 g 1.7236 ka | 0.2211 g 1.6845 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.2876 g 1.3942 ka | 0.2855 g 1.3842 ka | 0.2838 g 1.3759 ka | 0.2809 g 1.3618 ka | 0.2768 g 1.3423 ka |

Фиг. 3 Въздушен откос – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през през трета берма (отдолу-нагоре)

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ



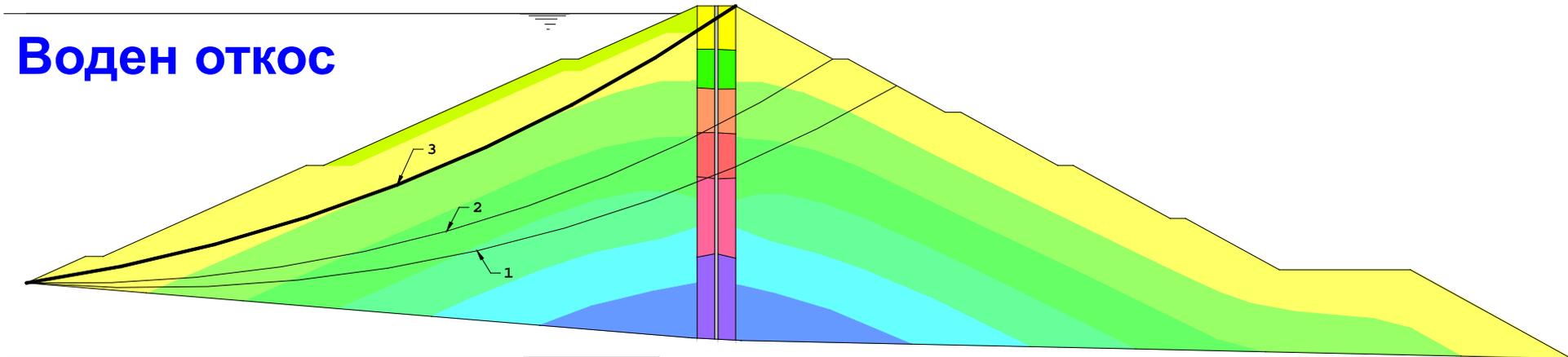
Въздушен откос

| Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN | № 1 4.5764 | № 2 3.2583 | № 3 1.1242 | № 4 0.6508 |
|--|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 3.0497 } [3.0556] (3.0207) | { 2.4263 } [2.4327] (2.3653) | { 1.8167 } [1.8171] (1.8083) | { 1.6342 } [1.6344] (1.6118) |
| Особено съчетание А | { 1.6444 } [1.6444] (1.6257) | { 1.5380 } [1.5400] (1.4974) | { 1.2036 } [1.2020] (1.1961) | { 1.1280 } [1.1266] (1.1109) |
| Особено съчетание Б | { 1.5096 } [1.5098] (1.4926) | { 1.4354 } [1.4373] (1.3975) | { 1.1300 } [1.1285] (1.1230) | { 1.0630 } [1.0617] (1.0469) |
| Ср. критично ускорение | 0.6064 g | 0.6231 g | 0.4049 g | 0.3531 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.2531 g 1.9288 ka | 0.2521 g 1.9206 ka | 0.2536 g 1.9322 ka | 0.2509 g 1.9116 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.3020 g 1.4644 ka | 0.3012 g 1.4603 ka | 0.3024 g 1.4661 ka | 0.3003 g 1.4558 ka |

Фиг. 4 Въздушен откос – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през през пета берма (отдолу-нагоре)

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Воден откос

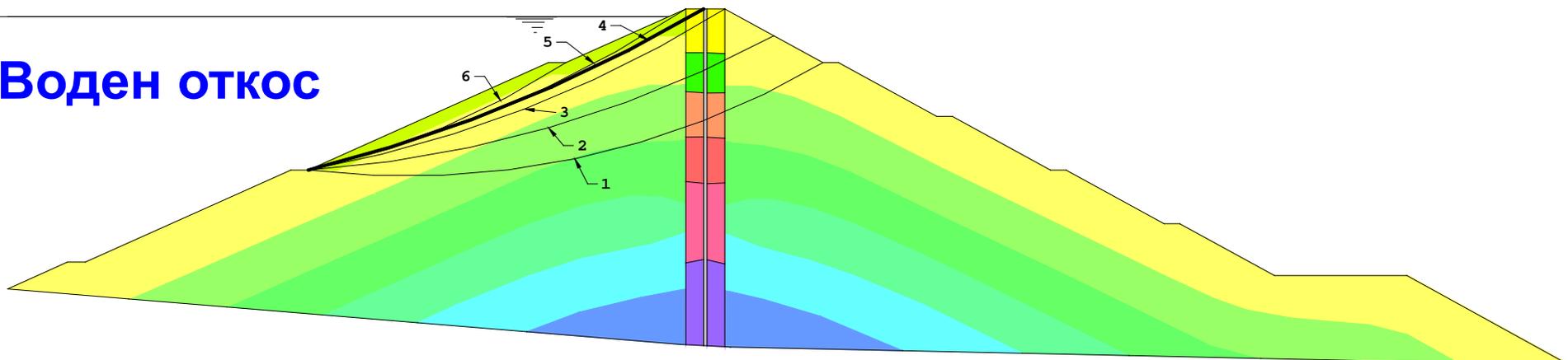


| Хлъзгателна повърхнина Тегло на кл. тяло, MN | № 1 143.3278 | № 2 108.1844 | № 3 40.4324 |
|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 4.4145 } [4.4166] (4.1010) | { 3.1579 } [3.1571] (2.9075) | { 2.1845 } [2.1838] (2.0103) |
| Особено съчетание А | { 1.6952 } [1.6951] (1.5739) | { 1.4355 } [1.4353] (1.3218) | { 1.1659 } [1.1651] (1.0725) |
| Особено съчетание Б | { 1.4315 } [1.4307] (1.3284) | { 1.2385 } [1.2375] (1.1396) | { 1.0284 } [1.0271] (0.9455) |
| Ср. критично ускорение | 0.4268 g | 0.3654 g | 0.2780 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.2006 g 1.5280 ka | 0.2032 g 1.5483 ka | 0.2053 g 1.5645 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.2607 g 1.2640 ka | 0.2628 g 1.2741 ka | 0.2645 g 1.2822 ka |

Фиг. 5 **Воден откос** – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през през основната стъпка

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Воден откос

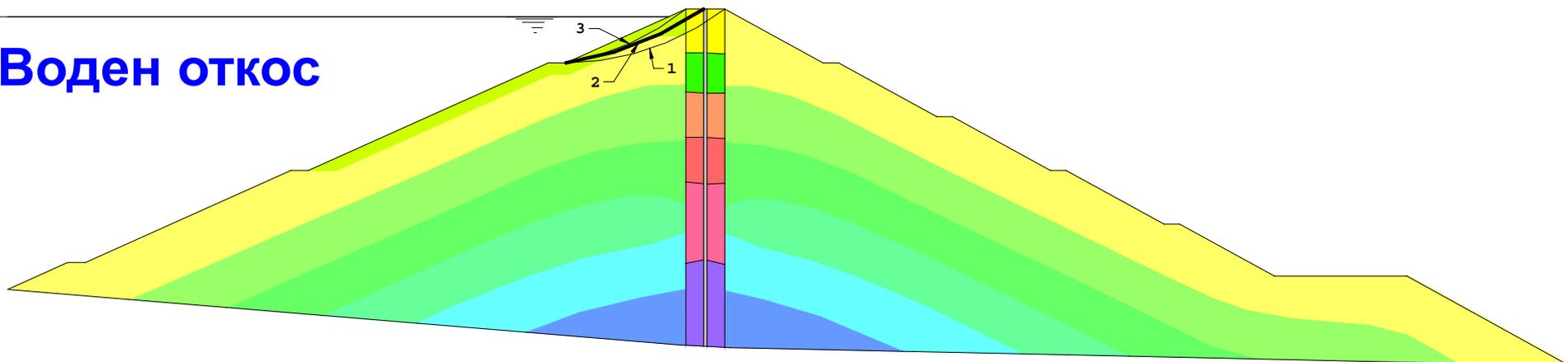


| Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN | № 1 55.4435 | № 2 31.6614 | № 3 14.6545 | № 4 9.3484 | № 5 8.2957 | № 6 4.9010 |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 5.2281 } [5.2292] (4.8326) | { 3.1868 } [3.1867] (3.0285) | { 2.2813 } [2.2809] (2.1551) | { 2.1517 } [2.1508] (2.0577) | { 2.1545 } [2.1539] (2.0145) | { 2.1065 } [2.1052] (1.8661) |
| Особено съчетание А | { 1.7614 } [1.7587] (1.6253) | { 1.3826 } [1.3801] (1.3116) | { 1.1537 } [1.1516] (1.0881) | { 1.1018 } [1.0992] (1.0517) | { 1.1089 } [1.1065] (1.0348) | { 1.1157 } [1.1127] (0.9864) |
| Особено съчетание Б | { 1.5177 } [1.5153] (1.4003) | { 1.2223 } [1.2200] (1.1594) | { 1.0353 } [1.0333] (0.9763) | { 0.9893 } [0.9870] (0.9443) | { 0.9934 } [0.9912] (0.9270) | { 0.9971 } [0.9945] (0.8816) |
| Ср. критично ускорение | 0.4843 g | 0.3864 g | 0.3023 g | 0.2776 g | 0.2772 g | 0.2739 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.2260 g 1.7218 ka | 0.2313 g 1.7623 ka | 0.2314 g 1.7634 ka | 0.2307 g 1.7579 ka | 0.2274 g 1.7326 ka | 0.2210 g 1.6841 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.2807 g 1.3609 ka | 0.2849 g 1.3812 ka | 0.2850 g 1.3817 ka | 0.2844 g 1.3790 ka | 0.2818 g 1.3663 ka | 0.2768 g 1.3421 ka |

Фиг. 6 **Воден откос** – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през през втора берма(отдолу нагоре)

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Воден откос



| Хлъзгателна повърхнина Тегло на кл. тяло, MN | № 1 3.7871 | № 2 1.9169 | № 3 1.0904 |
|--|--|--|--|
| Основно съчетание | { 2.8159 } [2.8159] (2.6223) | { 2.2768 } [2.2747] (2.1459) | { 2.2808 } [2.2809] (2.0939) |
| Особено съчетание А | { 1.3665 } [1.3638] (1.2701) | { 1.1648 } [1.1612] (1.0955) | { 1.1733 } [1.1708] (1.0748) |
| Особено съчетание Б | { 1.2416 } [1.2391] (1.1540) | { 1.0634 } [1.0602] (1.0002) | { 1.0705 } [1.0682] (0.9807) |
| Ср. критично ускорение | 0.4296 g | 0.3353 g | 0.3385 g |
| съчет. А - средно уск. нарастване от основата | 0.2519 g 1.9194 ka | 0.2522 g 1.9218 ka | 0.2506 g 1.9093 ka |
| съчет. Б - средно уск. нарастване от основата | 0.3011 g 1.4597 ka | 0.3013 g 1.4609 ka | 0.3000 g 1.4546 ka |

Фиг. 7 **Воден откос** – Ксиг за хлъзгателни повърхнини, преминаващи през през трета берма(отдолу нагоре)

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Основни изводи относно устойчивостта на откосите

А) Въздушен откос

1. При **основно съчетание** на натоварванията въздушният откос има минимален коефициент на сигурност **1.61 – 1.63** (с/у 1.25-1.40).
2. За **случая А на особено съчетание** ($R=1000г.$) минималният коефициент на сигурност е равен на **1.11 – 1.13**, при изискван от нормите $K_{сиг}=1.10 – 1.20$.
3. За **случая Б на особено съчетание** ($R=10000г.$) коефициентът на сигурност има стойност, равна на **1.05 – 1.06**.
4. Общо за въздушния откос може да се каже, че при така избраните наклони и якостни характеристики на насипа той е устойчив и са удовлетворени изискванията на нормите.



1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

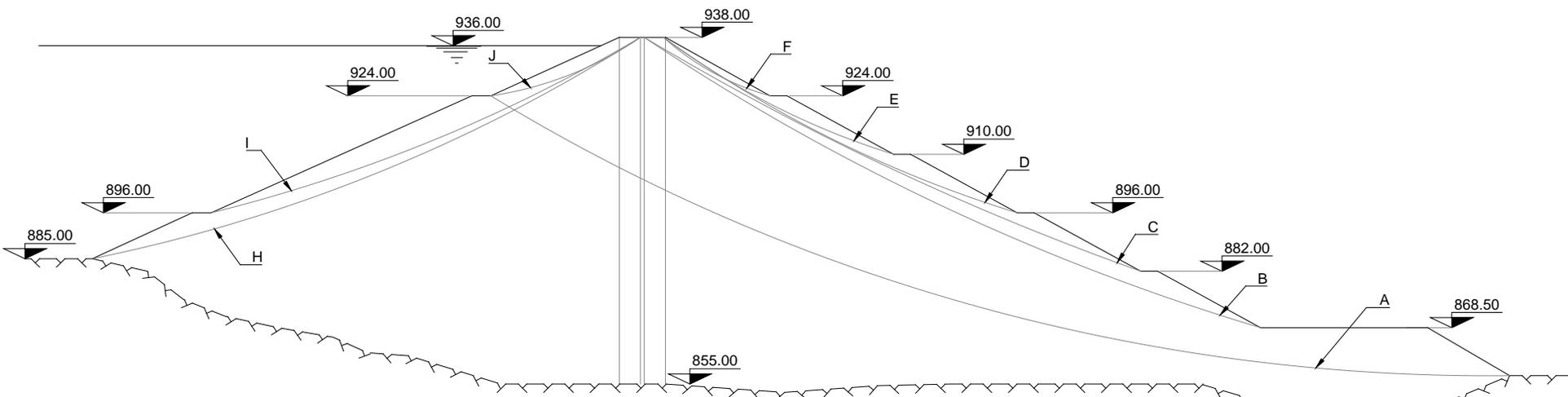
Основни изводи относно устойчивостта на откосите

Б) Воден откос

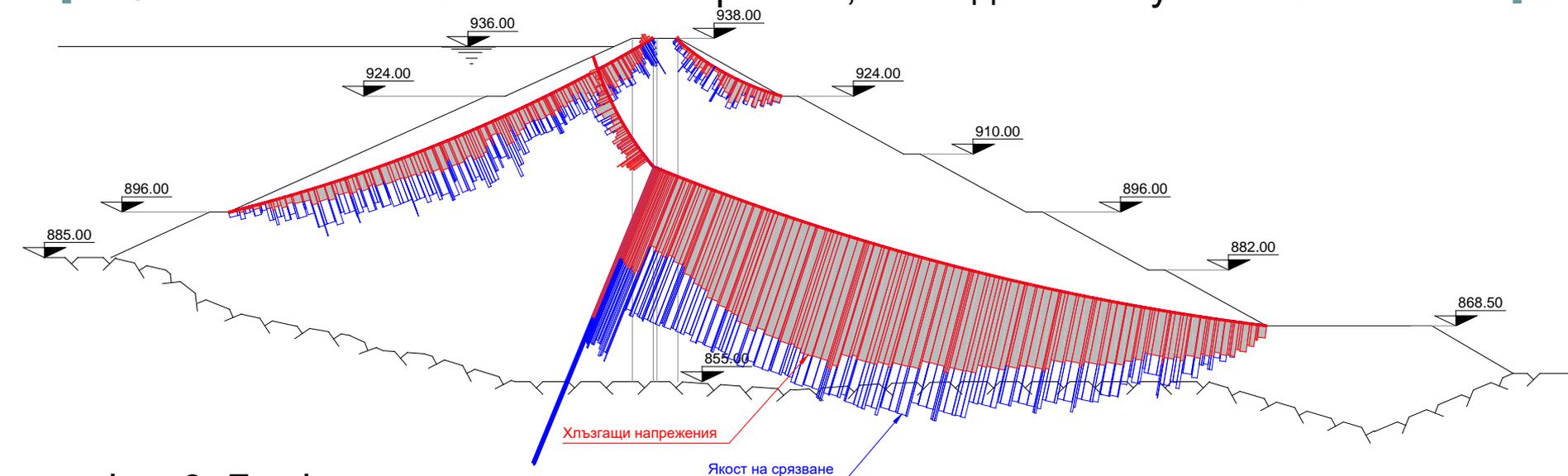
1. При **основно съчетание** на натоварванията водният откос има минимален коефициент на сигурност **2.01 – 2.18** (с/у 1.25-1.40).
2. За **случая А на особено съчетание** ($R=1000g$) минималният коефициент на сигурност е равен на **1.05 – 1.10**, при изискван от нормите $K_{сиг}=1.10 – 1.20$.
3. За **случая Б на особено съчетание** ($R=10000g$) коефициентът на сигурност има стойност, равна на **0.95 – 0.99**.
4. Получените стойности на $K_{сиг}$ за водния откос са задоволителни за етапа на изследване, при така избраните наклони и якостни характеристики на насипа и методи на анализ.

Съображения: българските норми - препоръки на ICOLD ($K_{сиг} \approx 1.0$ - деформационен анализ - знакопроменлив товар-МКЕ.

1.2 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ



Фиг. 8 Най-опасни хлъзгателни повърхнини, изследвани на устойчивост и по МКЕ



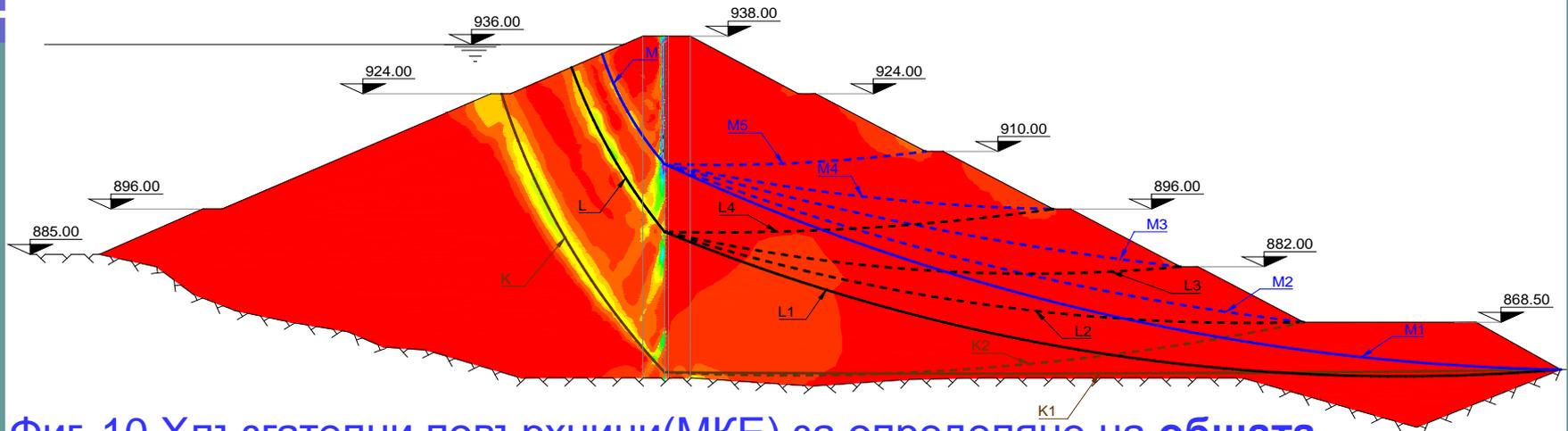
Фиг. 9 Графично представяне на задържащите и хлъзгащите усилия

1.2 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

| Съчетание на товари | Повърхнина | | | | | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E | F | H | I | J |
| Метод на ламелите със сили с променлив наклон между тях (Моргенщерн-Прайс) | | | | | | | | | |
| Основно | 2.221 | 1.837 | 1.828 | 1.822 | 1.798 | 1.634 | 2.118 | 2.152 | 2.277 |
| Особено А | 1.447 | 1.283 | 1.255 | 1.245 | 1.216 | 1.128 | 1.124 | 1.102 | 1.165 |
| Особено Б | 1.302 | 1.183 | 1.163 | 1.157 | 1.136 | 1.063 | 0.996 | 0.989 | 1.063 |
| Метод на крайните елементи с интегриране на напреженията. | | | | | | | | | |
| Основно | 2.240 | 1.895 | 1.886 | 1.908 | 1.828 | 1.702 | 2.146 | 2.087 | 2.024 |
| Особено А | 1.554 | 1.335 | 1.275 | 1.276 | 1.210 | 1.117 | 1.144 | 1.087 | 1.157 |
| Особено Б | 1.472 | 1.262 | 1.198 | 1.197 | 1.134 | 1.045 | 1.075 | 1.035 | 1.139 |

Табл. 4 Коефициент на сигурност за най-опасните 9 хлъзгателни повърхнини, за всеки от трите основни изчислителни случая на натоварване.

1.3 ОБЩА УСТОЙЧИВОСТ НА ЯЗОВИРНАТА СТЕНА ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

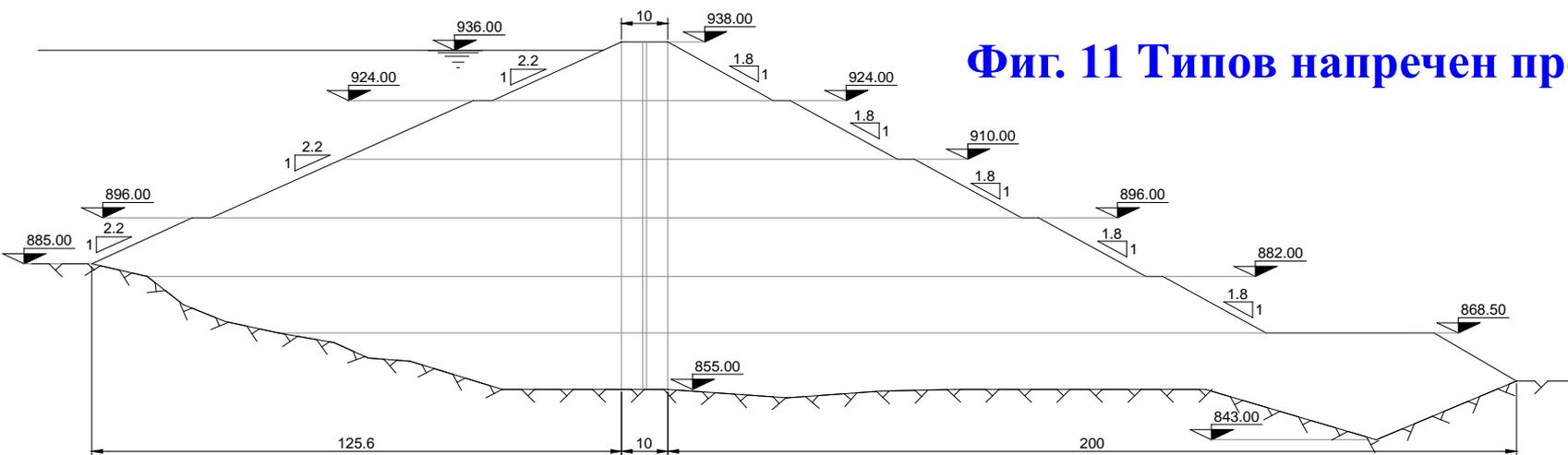


Фиг. 10 Хлъзгателни повърхнини(МКЕ) за определяне на **общата** устойчивост на стената

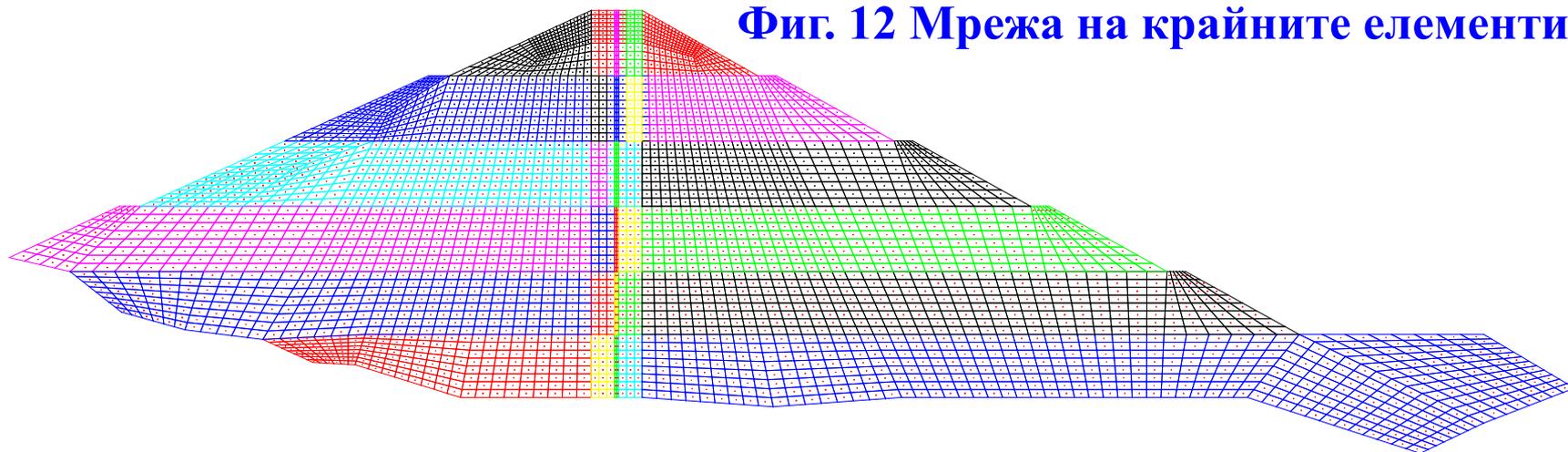
| Съчетание на товари | Повърхнина | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | K1 | K2 | L1 | L2 | L3 | L4 | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| Основно | 2.711 | 2.811 | 2.208 | 2.182 | 2.434 | 3.078 | 2.146 | 2.040 | 2.199 | 2.473 | 3.293 |
| | 3.114 | 3.338 | 2.293 | 2.294 | 2.636 | 3.651 | 2.201 | 2.103 | 2.306 | 2.681 | 4.019 |
| Особено А | 2.177 | 2.253 | 1.676 | 1.611 | 1.756 | 2.182 | 1.562 | 1.440 | 1.501 | 1.646 | 2.139 |
| | 2.320 | 2.433 | 1.690 | 1.626 | 1.800 | 2.293 | 1.572 | 1.483 | 1.617 | 1.897 | 2.513 |
| Особено Б | <u>2.107</u> | <u>2.182</u> | <u>1.606</u> | <u>1.538</u> | <u>1.674</u> | <u>2.078</u> | <u>1.487</u> | <u>1.365</u> | <u>1.419</u> | <u>1.554</u> | <u>2.020</u> |
| | 2.224 | 2.331 | 1.614 | 1.546 | 1.705 | 2.157 | 1.493 | 1.403 | 1.564 | 1.777 | 2.427 |
| а,сr [g] | 2.191 | 2.512 | 0.954 | 0.854 | 0.985 | 1.523 | 0.775 | 0.637 | 0.655 | 0.763 | 1.259 |

2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

- СТРОИТЕЛЕН ПЕРИОД- СТАТИЧНИ ТОВАРИ ВЪРХУ СТЕНАТА;
- ЕКСПЛОАТАЦИОНЕН ПЕРИОД- СТАТИЧНИ И СЕИЗМИЧНИ ТОВАРИ ВЪРХУ СТЕНАТА.

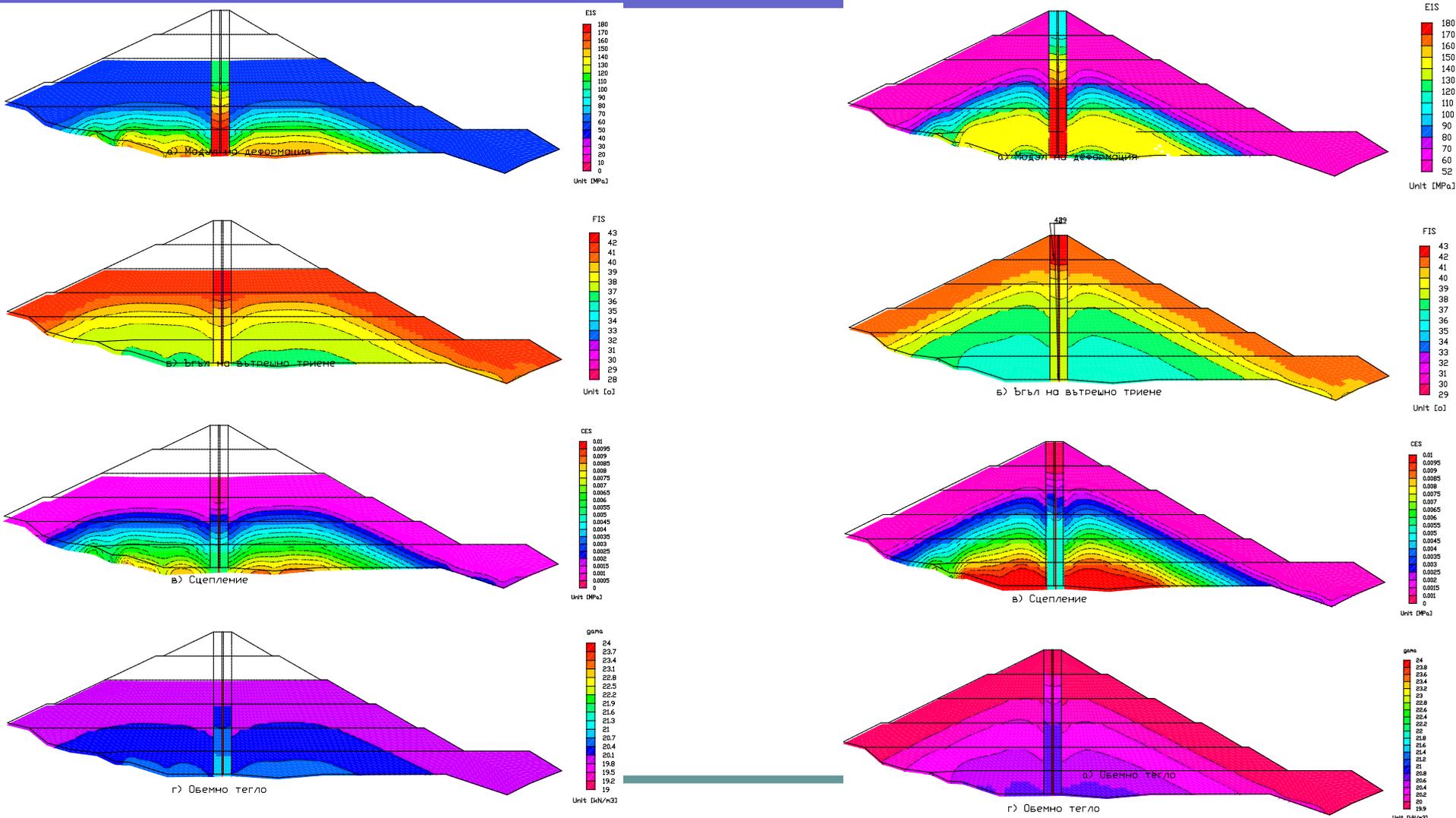


Фиг. 11 Типов напречен профил



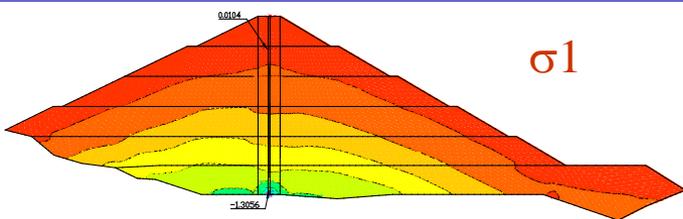
Фиг. 12 Мрежа на крайните елементи

2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (строителен период)

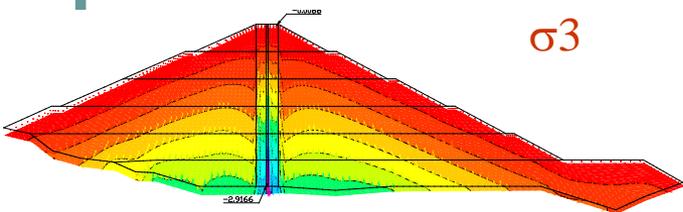
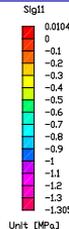


Фиг.13 Характеристики на насипа = $f(\sigma)$

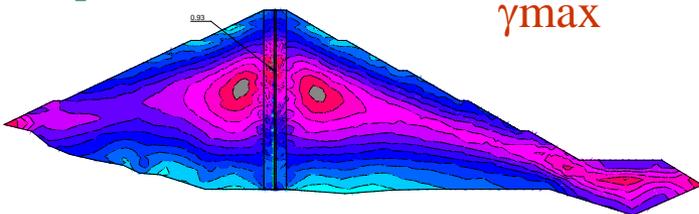
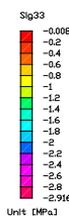
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (строителен период)



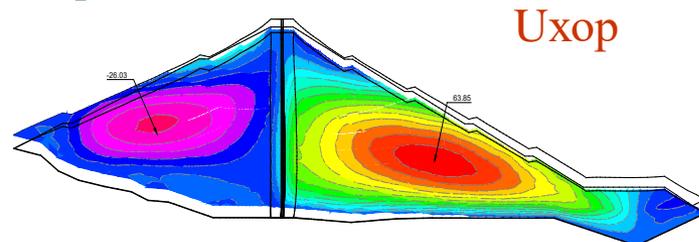
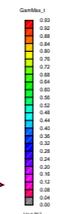
σ_1



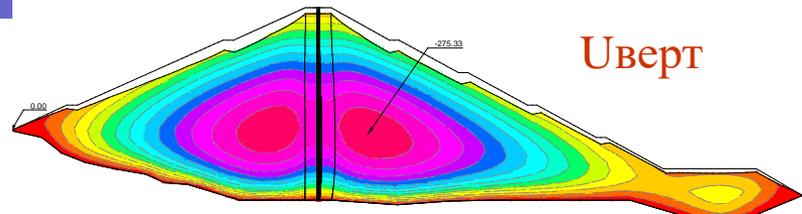
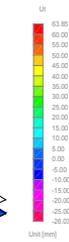
σ_3



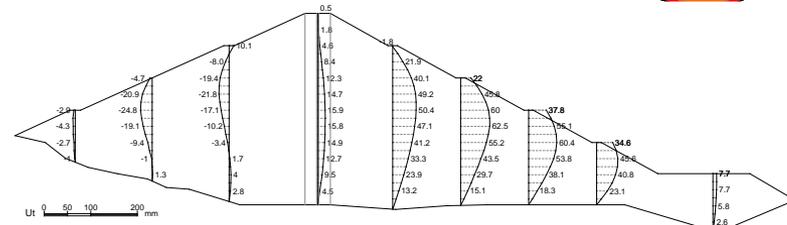
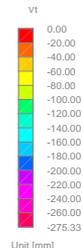
γ_{max}



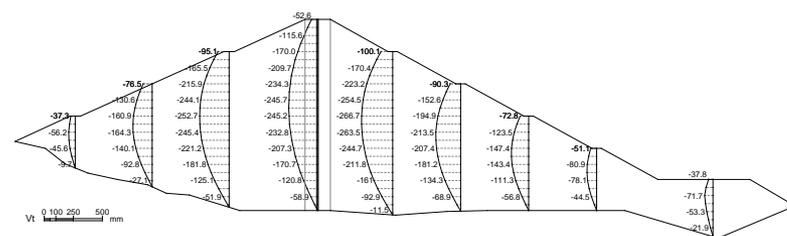
U_{xop}



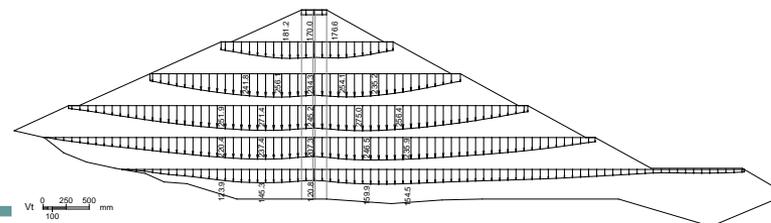
U_{vert}



Диаграми на U_{xop} . по вертикални сечения



Диаграми на U_{vert} . по вертикални сечения



Диаграми на U_{vert} . по вертикални сечения

Фиг.14 Параметри на НДС в строителен период

2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (строителен период) ОСНОВНИ ИЗВОДИ

1. В контакта между каменните призми и преходните зони се наблюдава т.н. “сводов ефект” на верт. напрежения. Затова, тези напрежения в най-ниската част на призмите са равни на 1.30 МПа, което е с 23% по-малко от $\gamma H_{\max} = 1.60 - 1.7$ 0МПа.

2. Максималните стойности на главните нормални напрежения в призмите са: $\sigma_1 = 0.50 - 0.60$ МПа, $\sigma_3 = 1.20 - 1.40$ МПа. Поради сводовия ефект тези напрежения в преходните зони са по-високи и в една ограничена зона, в областта на основната фуга достигат стойности $\sigma_1 = 0.90 - 1.00$ МПа, $\sigma_3 = 1.80 - 2.00$ МПа.

3. МАХ сумарни хоризонтални премествания в насипа на водната призма са насочени срещу течението и достигат стойност от **26.03 mm**, а във въздушната призма стойността им е **63.85 mm** и са насочени по посока на течението на реката.

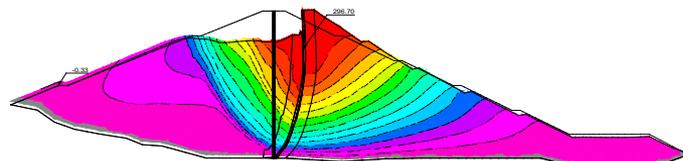
4. Максималните вертикални премествания в насипа достигат стойност от около **276 mm**, като тази стойност е разположена малко по-високо от точката, която лежи на 1/3 от височината на стената.

5. Максималните стойности на хоризонталните и вертикалните напрежения в асфалтобетонната диафрагма се наблюдават в най-ниската и част, в близост до контакта с основната скала, натискови са и достигат стойности $\sigma_x = 1.30$ МПа, $\sigma_y = 2.92$ МПа като тези стойности са локализирани в зона с размери 20 x 40-50см и веднага след това намаляват почти наполовина.

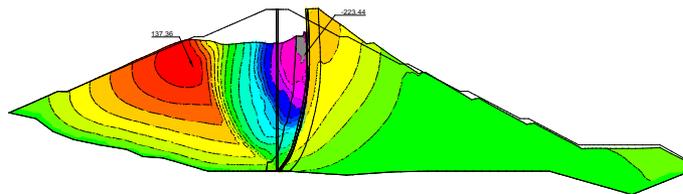
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

(експлоатационен период)

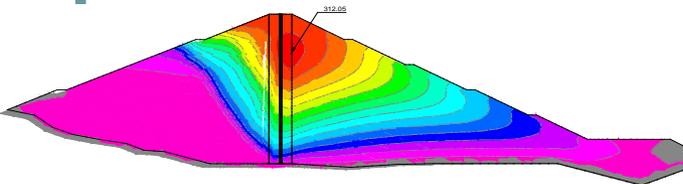
1 – во пълнене на язовира



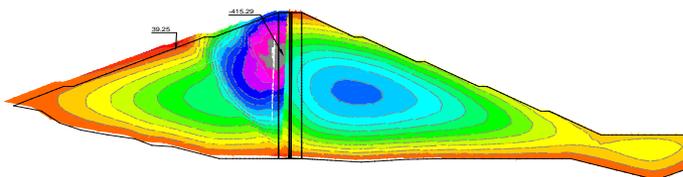
Uhor само от воден натиск



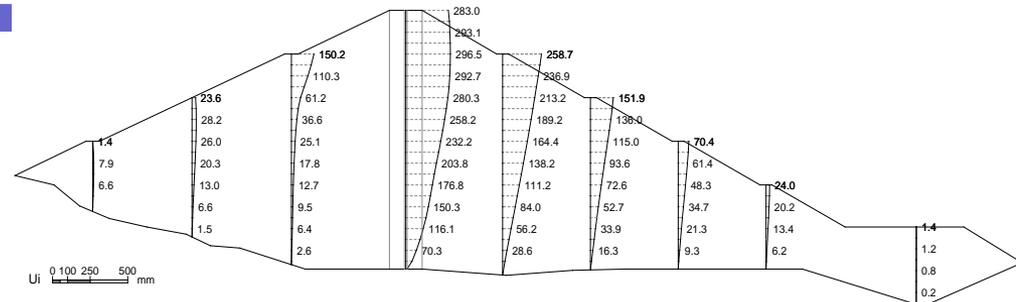
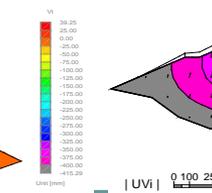
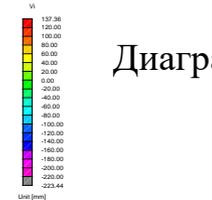
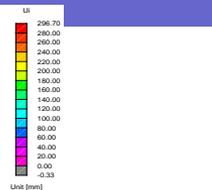
Uvert само от воден натиск



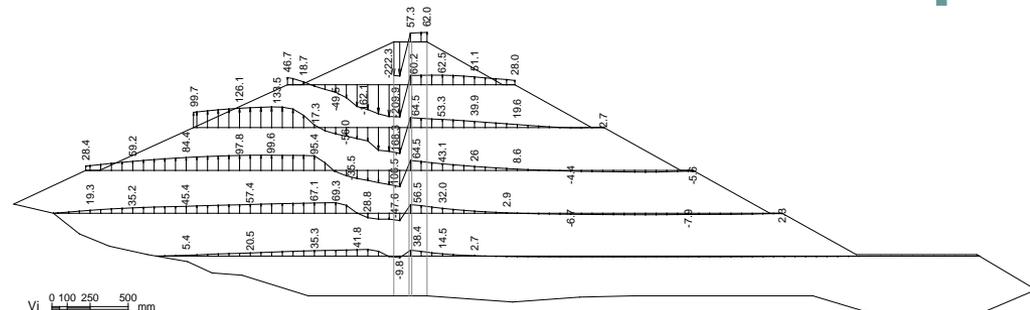
Uhor от воден натиск и G



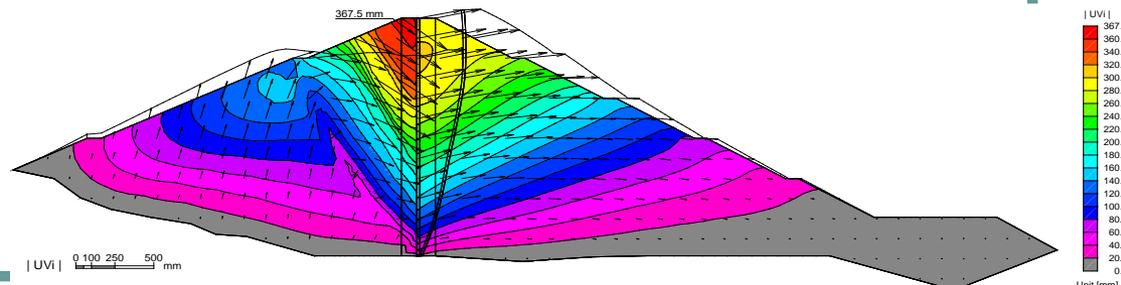
Uvert от воден натиск и G



Диаграми на Uhor по вертикални сечения само от W



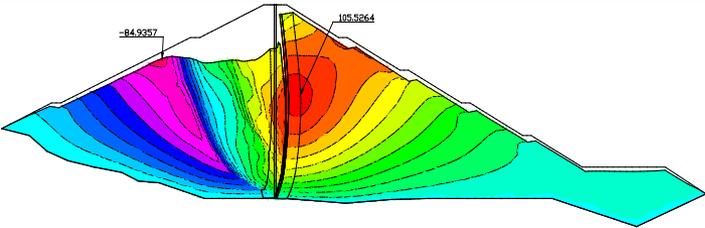
Диаграми на Uvert по хоризонтални сечения само от W



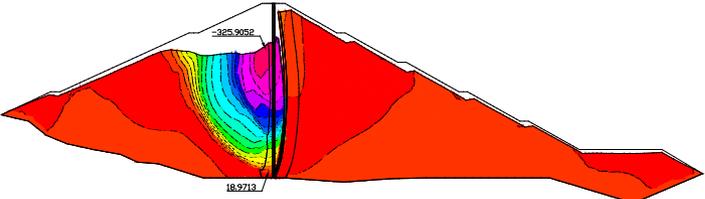
Вектори на преместванията при първо пълнене на езерото

Фиг.15 Параметри на НДС в експлоатационен период -1-во пълнене на язовира

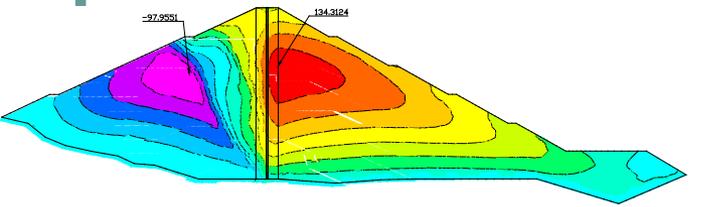
СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (експлоатационен период) Изпразване на язовира



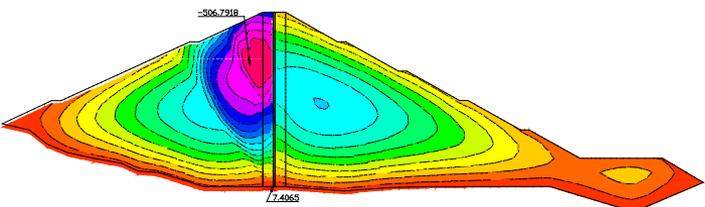
Ухор от 1-во пълнене-празнене



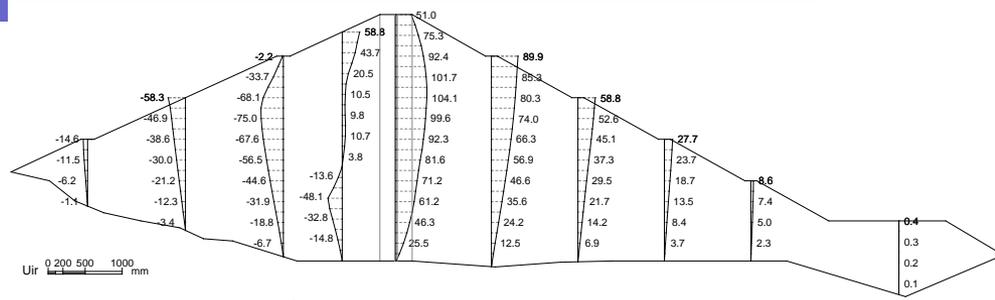
Уверт от 1-во пълнене-празнене



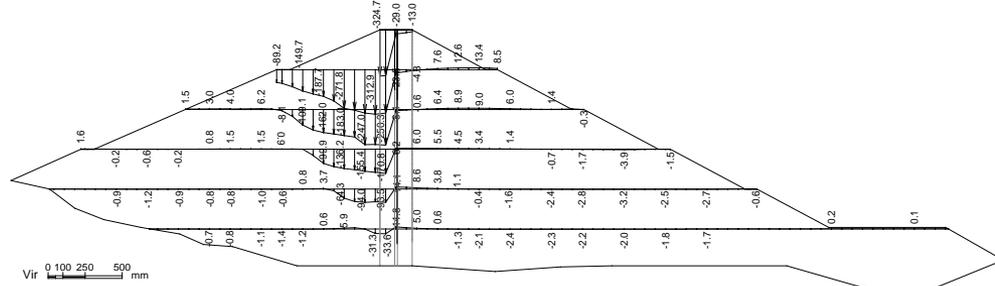
Ухор сумарно след празненето



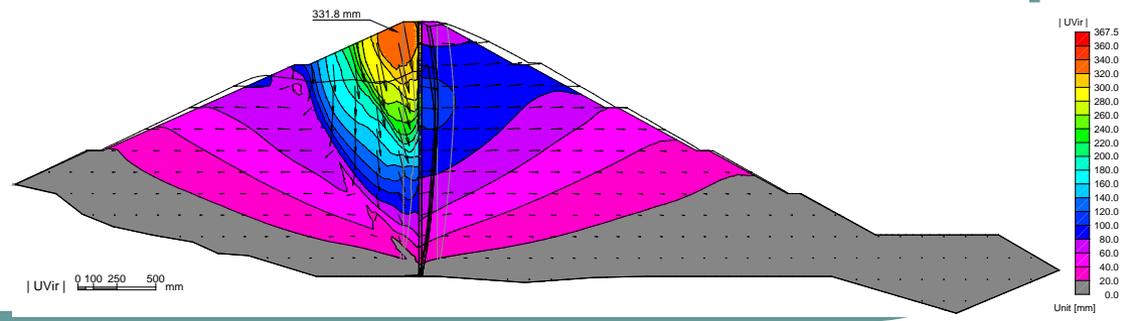
Уверт сумарно след празненето



Диаграми на Ухор от 1-ви цикъл пълнене-празнене



Диаграми на Уверт от 1-ви цикъл пълнене-празнене



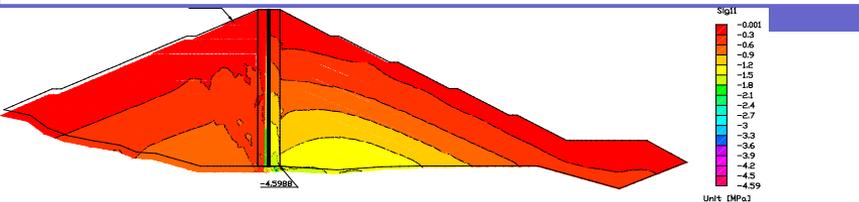
Вектори на преместванията в края на изпразване на езерото

Фиг.16 Параметри на НДС в експл. период – след изпразване на язовира

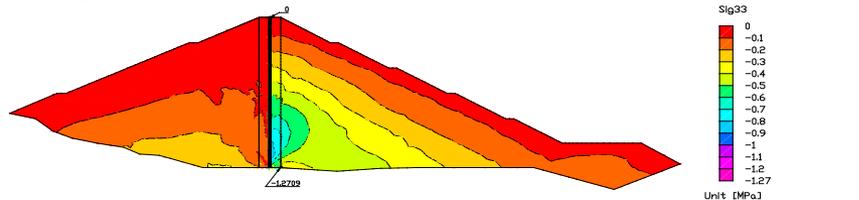
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

(експлоатационен период

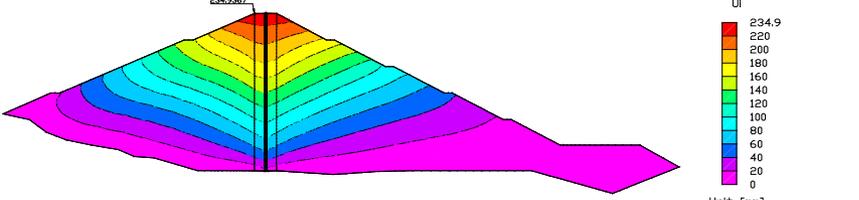
2 – ро пълнене на язовира



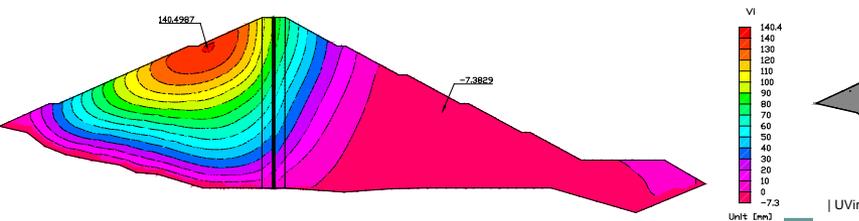
σ_1 – при второ пълнене на езерото



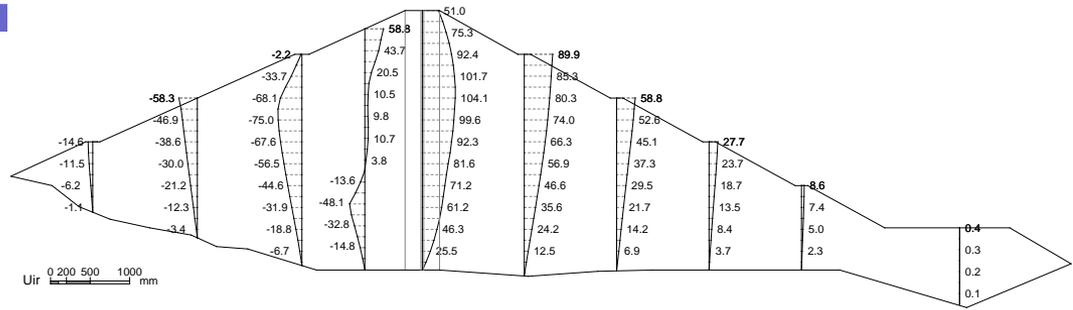
σ_3 – при второ пълнене на езерото



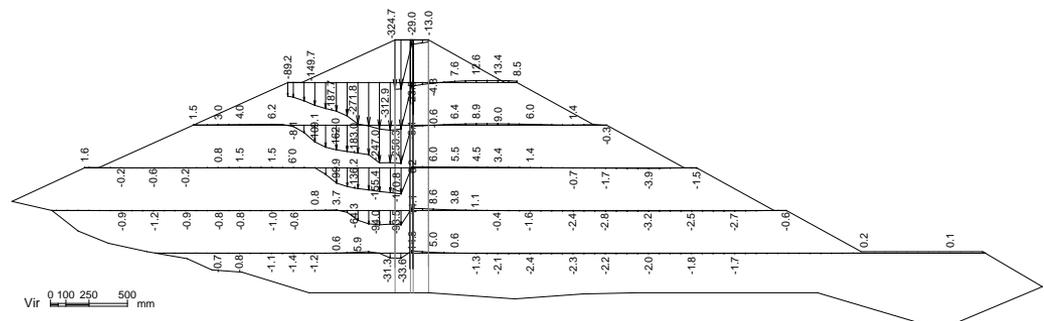
Ux – само от W – при 2-ро пълнене



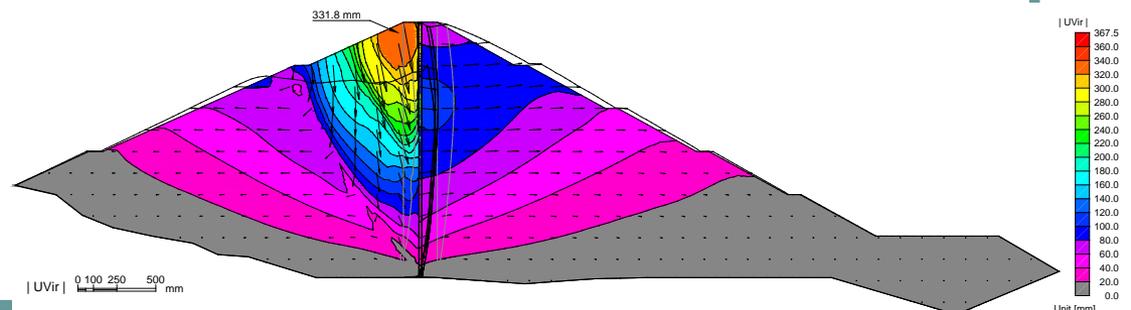
Uv – само от W – при 2-ро пълнене



Диаграми на Ux – само от 2-ро пълнене



Диаграми на Uv – само от 2-ро пълнене

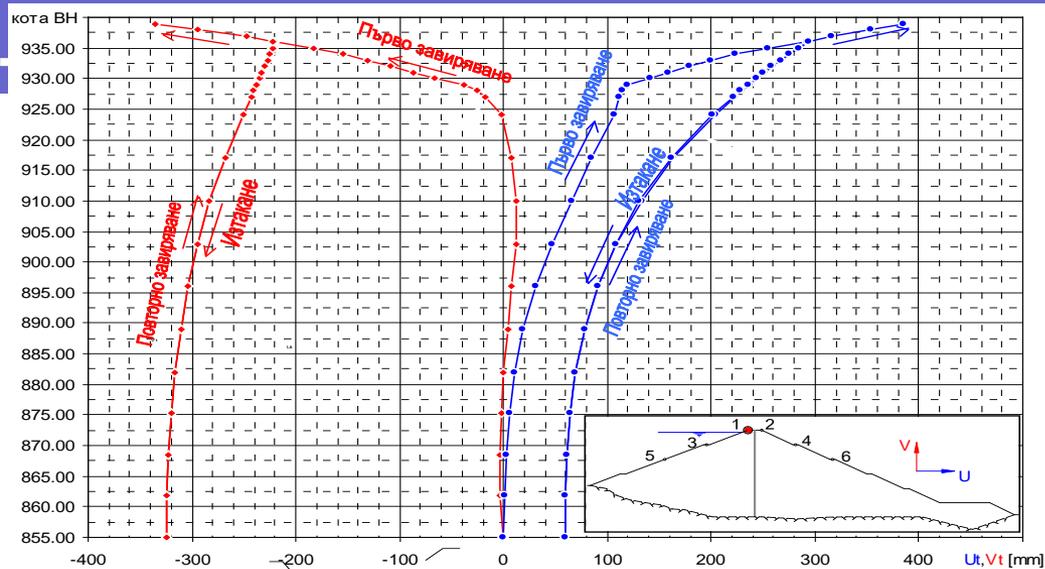


Вектори на преместванията при 2-ро пълнене на езерото

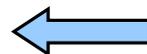
Фиг.17 Параметри на НДС в експлоатационен период -2-ро пълнене на язовира

2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

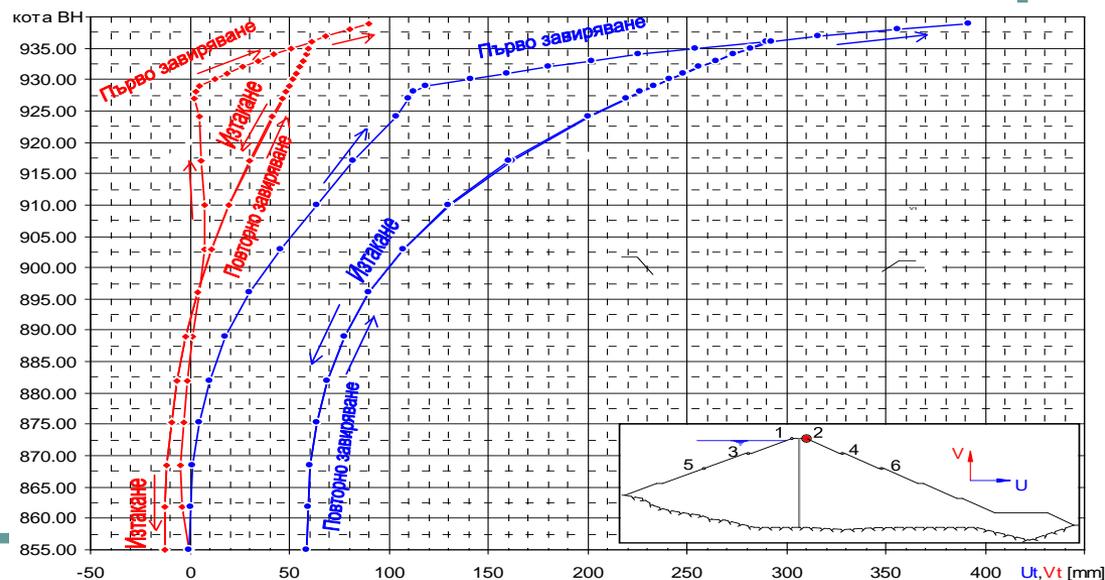
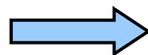
(експлоатационен период)



Диаграми на хоризонталните и вертикалните премествания на **точка 1** за един цикъл пълнене – изтакане - пълнене на езерото



Диаграми на хоризонталните и вертикалните премествания на **точка 2** за един цикъл пълнене – изтакане - пълнене на езерото



Фиг. 18 Диаграми на преместванията за един цикъл пълнене – изтакане – пълне

Основни изводи относно НДС на стената за експлоатационния период

1. И в експлоатационния период се наблюдава т.н. "сводов ефект" на вертикалните напрежения, като при пълен язовир той е само от страна на въздушната призма. МАХ вертикални напрежения във въздушната призма са около **1.5 МРа**.
2. МАХ деформации са в насипа, а не в диафрагмата. Максималните срязващи деформации в насипа се локализируют в горната третина на стената, в контакта на между преходните зони и диафрагмата.
3. МАХ хоризонтални премествания в насипа, предизвикани от първото напълване на езерото и само от действието на водния натиск върху диафрагмата са насочени към въздушната страна и достигат **297 mm**.
4. Сумарните хоризонтални премествания в края на 1-то пълнене на язовира, включващи и преместванията, получени от строителството, достигат **312 mm**, като тази стойност е разположена на височина, равна на $\frac{3}{4}$ от височината на стената.
5. МАХ верт. премествания по време на 1-то напълване са **224 mm** и са в областта на короната пред диафрагмата. Деформирането на насипа във водната призма пред диафрагмата е съпроводено от "отлепване" на диафрагмата от прех. зона, което предизвиква движение на насипа вертикално надолу и по посока на възд. страна.
6. Сумарните вертикални премествания в края на първото напълване на езерото до кота НВРВН достигат стойност от около **417 mm**.



Основни изводи относно НДС на стената за експлоатационния период

7. След първото напълване и изпразване на язовира се реализират необратими деформации в тялото на язовирната стена и при следващите напълвания на езерото деформирането на стената ще има почти еластичен характер.

8. При пълен язовир хоризонталните и вертикалните напрежения в асфалтобетонната диафрагма са натискови по цялата и височина и се изменят отгоре надолу както следва: $\sigma_x = 0.10 \text{ MPa} - 0.80 \text{ MPa}$, а $\sigma_y = 0.10 \text{ MPa}$ до **1.60-1,80 MPa** в контакта между диафрагмата и скалната основа.

9. Вертикалните напрежения по целия контакт на диафрагмата с осн. скала са по-големи от налягането на водата (**0.81 MPa**) пред диафрагмата при НВРВН в езерото и се изменят от **1.01 MPa** под водния ръб до **1.92 MPa** под въздушния ръб.

10. Тангенциалните напрежения в диафрагмата по цялата ѝ височина са ниски и при пълен язовир не надвишават стойност от **0.30 MPa**.

11. Срязващите (и вертикалните) деформации в диафрагмата при пълен язовир имат най-високи стойности в същата контактна зона, както и хоризонталните, но те също са ниски - **0.39%** и не са проблем за водоплътността на диафрагмата.

12. Под въздействието на водния натиск диафрагмата се огъва в посока на въздушния откос, като преместването в контактната фуга е минимално - във водния и ръб **17.3 mm**, а във въздушния - **15.7 mm**, докато максималните премествания са на кота корона и достигат стойност от **283 mm** при първо пълнене на язовир.