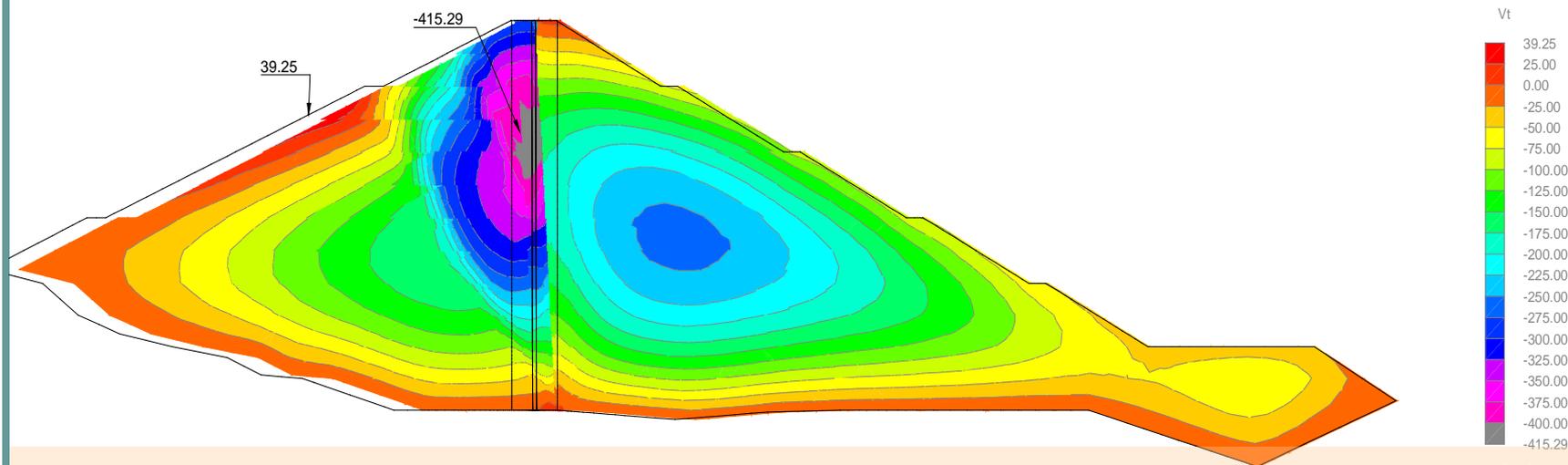




Анализ на устойчивостта и напрегнатото състояние на яз. стена с АБД (РАКОЧЕВИЦА) при земетръс



Проф. дтн. инж. Вангел Василев

Инж. Александър Вълков

Основни задачи на анализа:

1. Анализ на деформационното поведение на асфалтобетонната диафрагма на стената при сеизмични въздействия.
2. Определяне на строителното надвишение на стената.

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

Сеизмични характеристики на района на стената

Сеизмична зона Кресна е най-активната в близост до язовирната стена.

Земетресения в Европа през последните 100 -200 г.- MAX \longrightarrow генерирано в сеизмична зона Кресна-Крупник (4.4.1904г.) с MS=7.8.

Максималната плътност на хипоцентрите на реализираните земетресения в зоната е на дълбочина между 5 и 20 km.

Максималният очакван магнитуд (M) за земетресение в тази зона е в диапазона 7.5 - 8.0.

Manic(1998): $\log(A) = c1 + c2.M + c3.\log(D) + c4.D + c5.S + c6.P$

За M=7.5 и R=20км: $A_{50\%} = 0.237g$; $A_{84\%} = 0.425g$;
За M=8.0 и R=20км: $A_{50\%} = 0.347g$; $A_{84\%} = 0.623g$.

Дефиниции на земетресенията, съгласно бюлетин 72 на ICOLD (1989):

Maximum Design Earthquake (MDE) (Максимално проектно земетресение):

$$\text{PGA MDE} = 0.55g;$$

Design Earthquake (DE) (Проектно земетресение):

$$\text{PGA DE} = 0.35g.$$

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 }**.

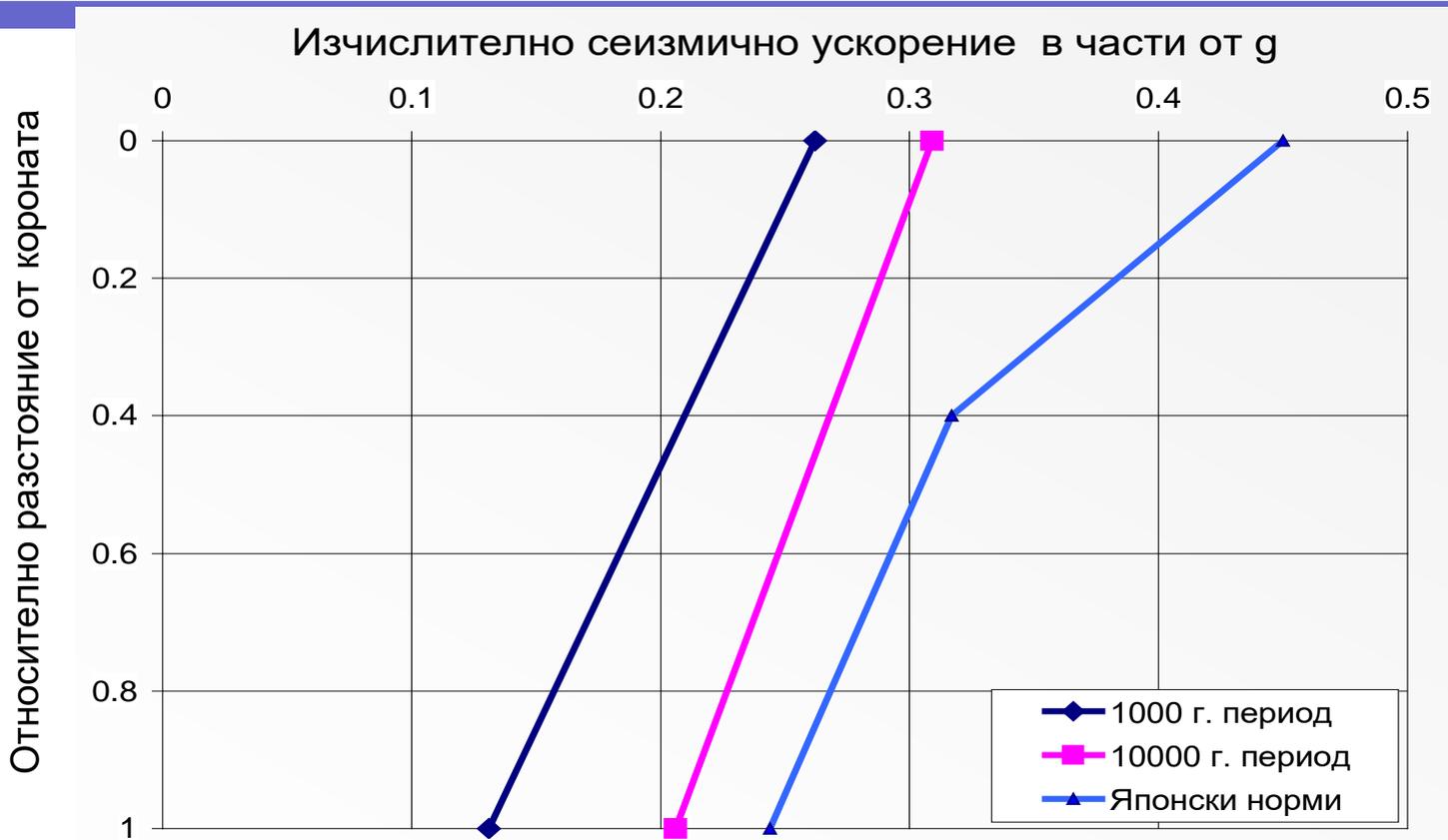
$$E = C.R.K_c Q_k$$

(Проектиране на сгради и съоръжения в земетръсни райони, София, 1994)

За особено **съчетание А** с $PGA=0.35g$, $K_c=0.131$ до $K_c=0.262$

За особено **съчетание Б** с $PGA=0.55g$, $K_c=0.206$ до $K_c=0.309$

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

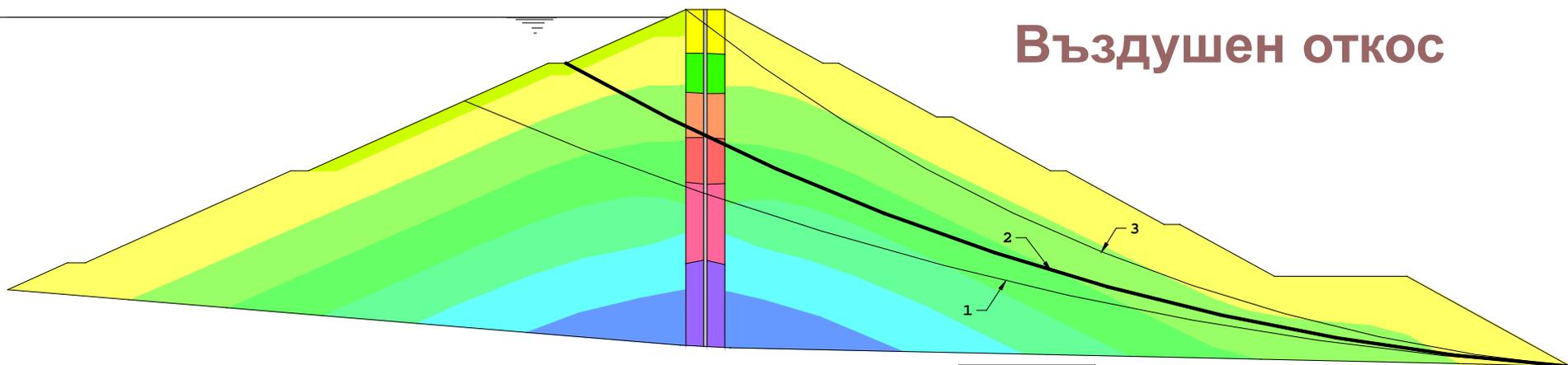


Фиг. 1 Изменение на изчислителното сеизмично ускорение по височина на стената

За особено съчетание А с $PGA=0.35g$, $K_c=0.131$ до $K_c=0.262$

За особено съчетание Б с $PGA=0.55g$, $K_c=0.206$ до $K_c=0.309$

1.1 УСТОЙЧИВОСТ НА ОТКОСИТЕ ПО МЕТОДА НА КРЪГОВОЦИЛИНДРИЧНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

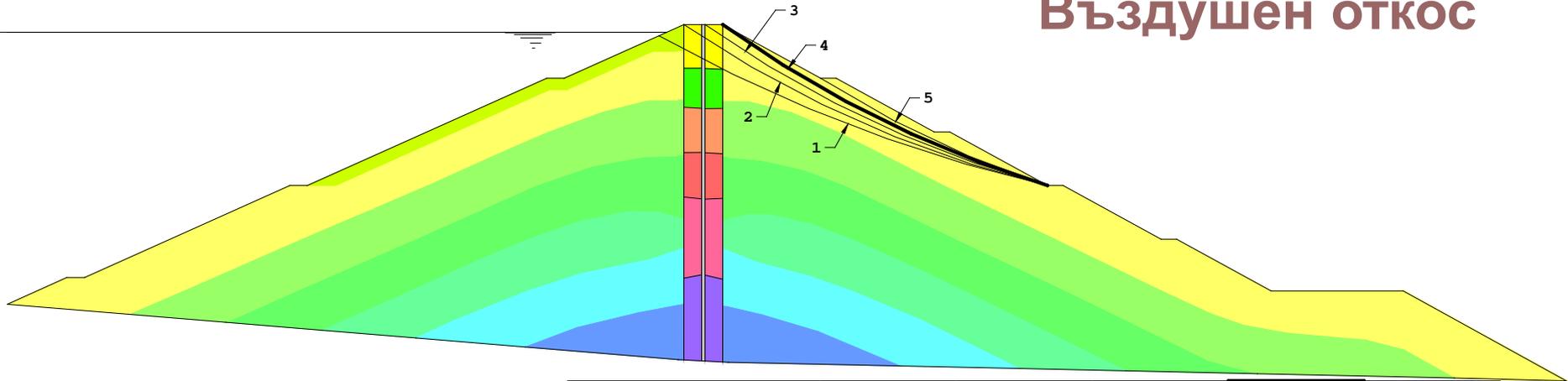


Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN	№ 1 157.4330	№ 2 113.8919	№ 3 56.4020
Основно съчетание	{ 2.4044 } [2.4002] (2.3581)	{ 2.2206 } [2.2158] (2.1671)	{ 2.2015 } [2.2012] (2.1478)
Особено съчетание А	{ 1.4734 } [1.4698] (1.4440)	{ 1.4469 } [1.4443] (1.4126)	{ 1.5247 } [1.5268] (1.4897)
Особено 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

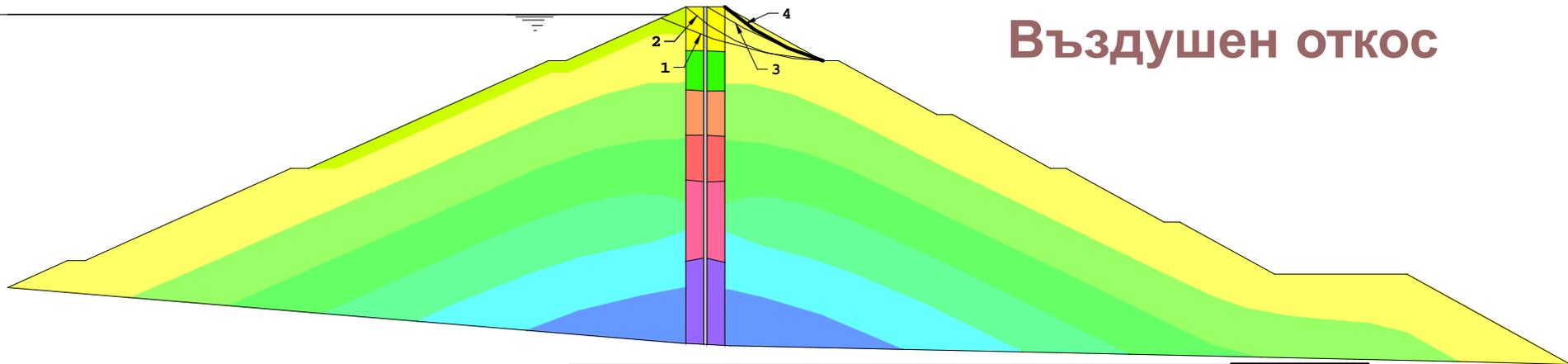
Въздушен откос



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



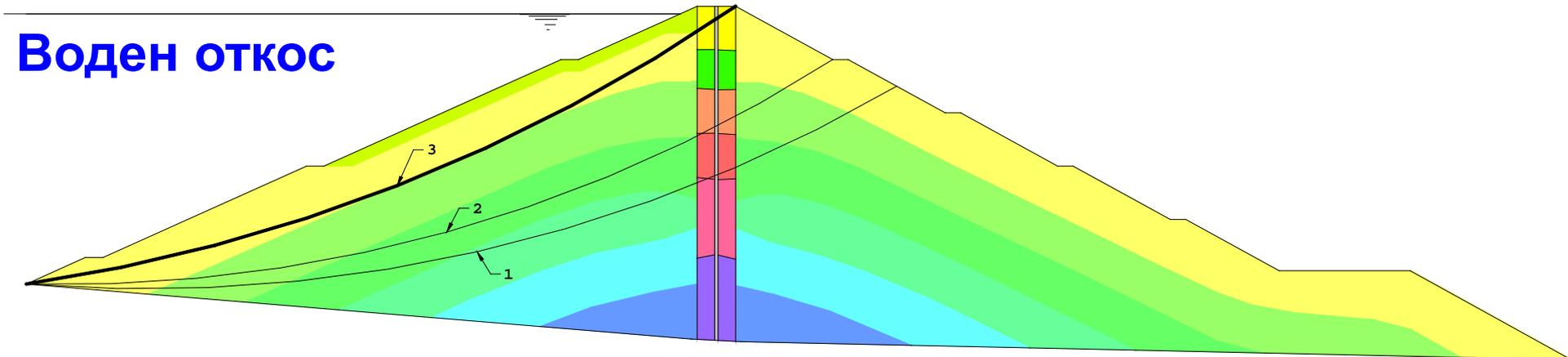
Въздушен откос

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

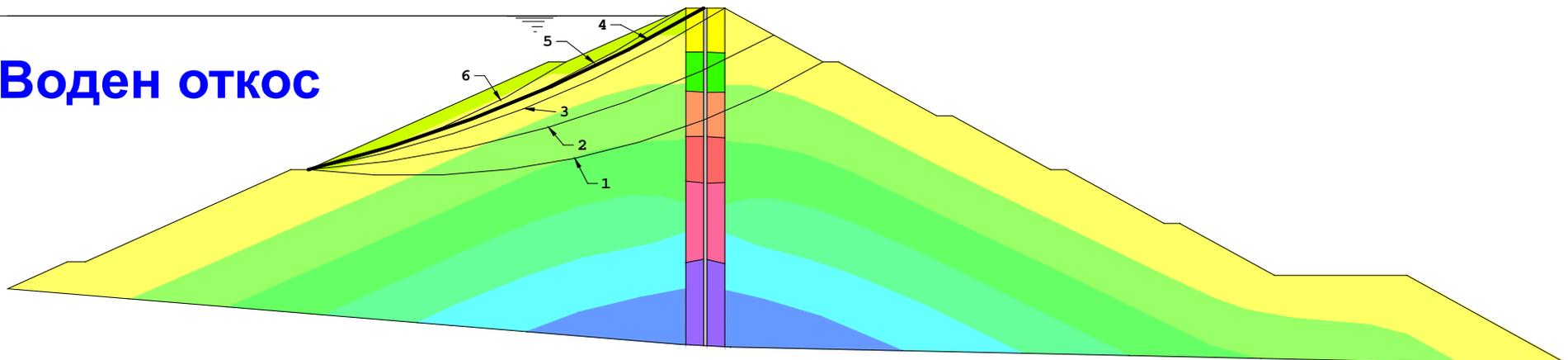


Хлъзгателна повърхнина Тегло на кл. тяло, MN	№ 1 143.3278	№ 2 108.1844	№ 3 40.4324
Основно съчетание	{ 4.4145 } [4.4166] (4.1010)	{ 3.1579 } [3.1571] (2.9075)	{ 2.1845 } [2.1838] (2.0103)
Особено съчетание А	{ 1.6952 } [1.6951] (1.5739)	{ 1.4355 } [1.4353] (1.3218)	{ 1.1659 } [1.1651] (1.0725)
Особено 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

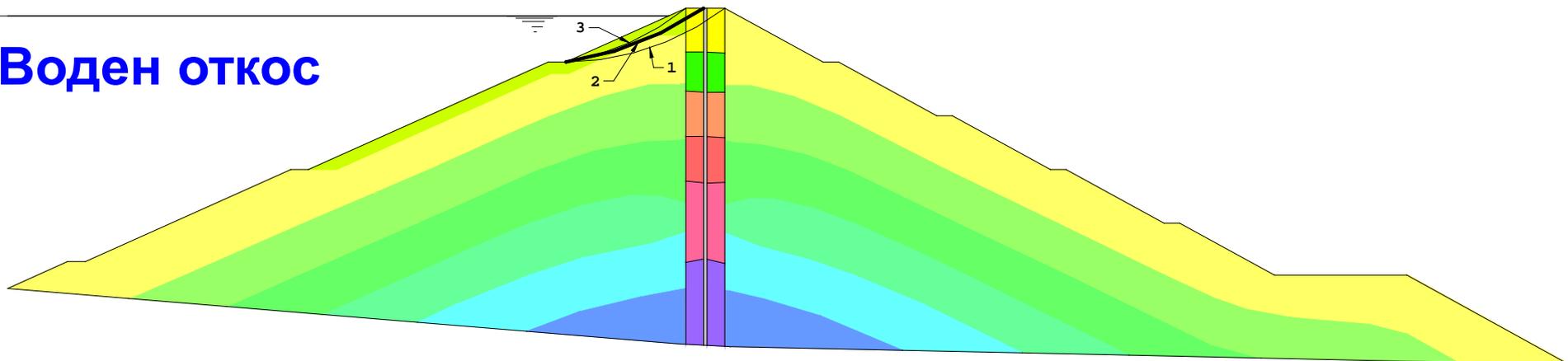


Хлъзгателна повърхнина Тегло на хл. тяло, MN	№ 1 55.4435	№ 2 31.6614	№ 3 14.6545	№ 4 9.3484	№ 5 8.2957	№ 6 4.9010
Основно съчетание	{ 5.2281 } [5.2292] (4.8326)	{ 3.1868 } [3.1867] (3.0285)	{ 2.2813 } [2.2809] (2.1551)	{ 2.1517 } [2.1508] (2.0577)	{ 2.1545 } [2.1539] (2.0145)	{ 2.1065 } [2.1052] (1.8661)
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

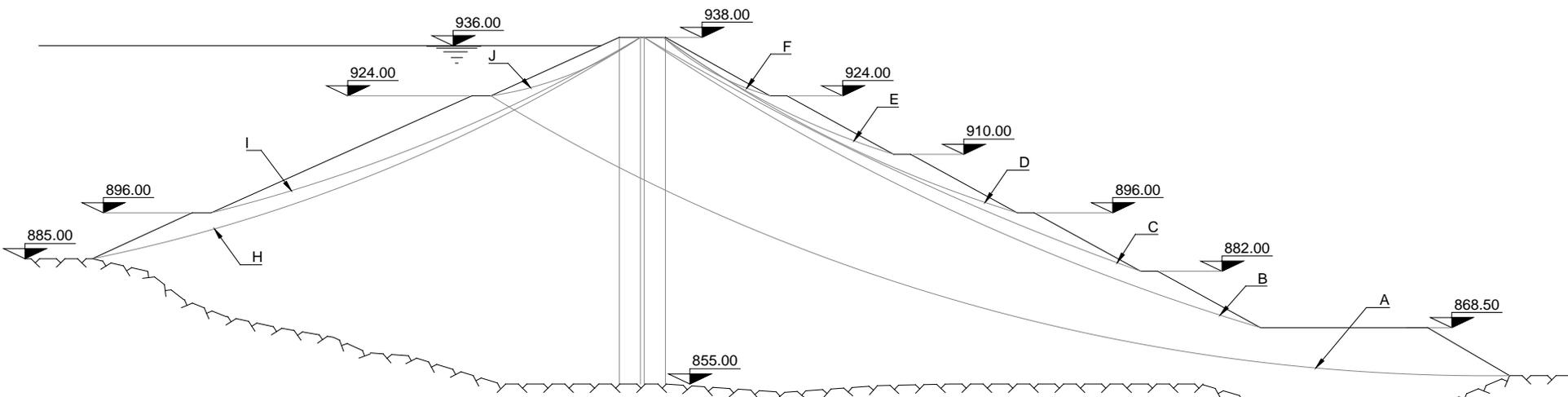
Основни изводи относно устойчивостта на откосите

Б) Воден откос

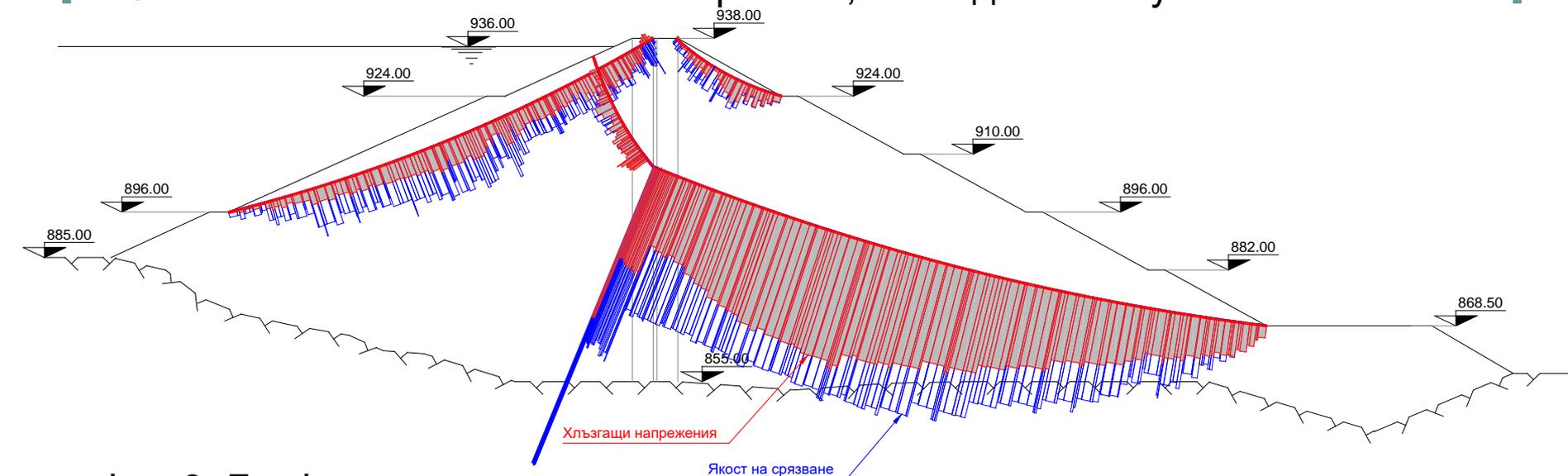
1. При **основно съчетание** на натоварванията водният откос има минимален коефициент на сигурност **2.01 – 2.18** (с/у 1.25-1.40).
2. За **случая А на особено съчетание** ($R=1000g$) минималният коефициент на сигурност е равен на **1.05 – 1.10**, при изискван от нормите $K_{сиг}=1.10 – 1.20$.
3. За **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



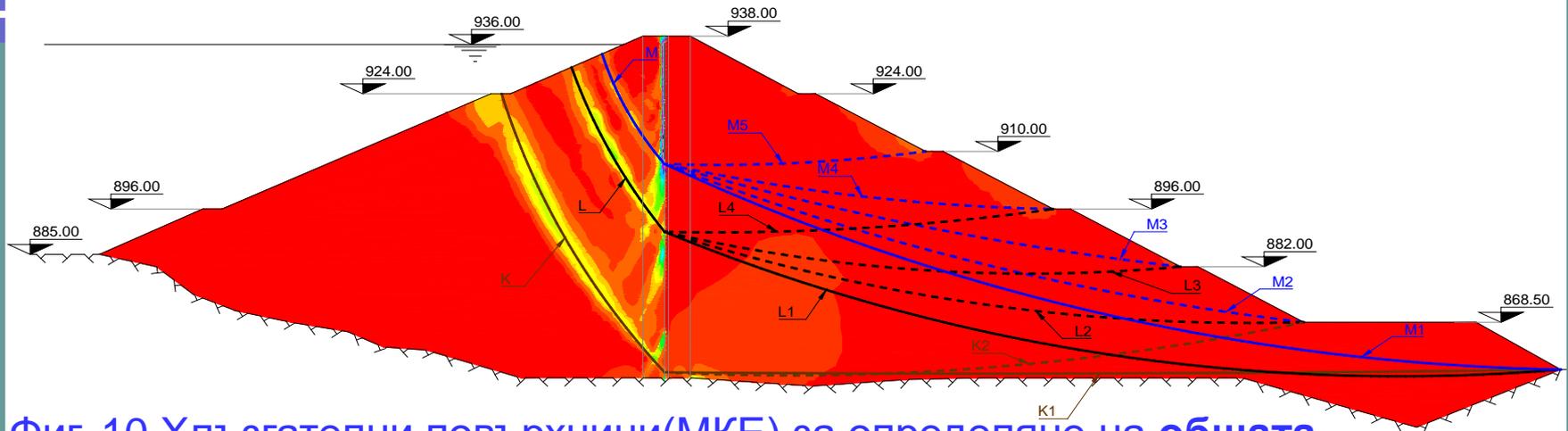
Фиг. 9 Графично представяне на задържащите и хлъзгащите усилия

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

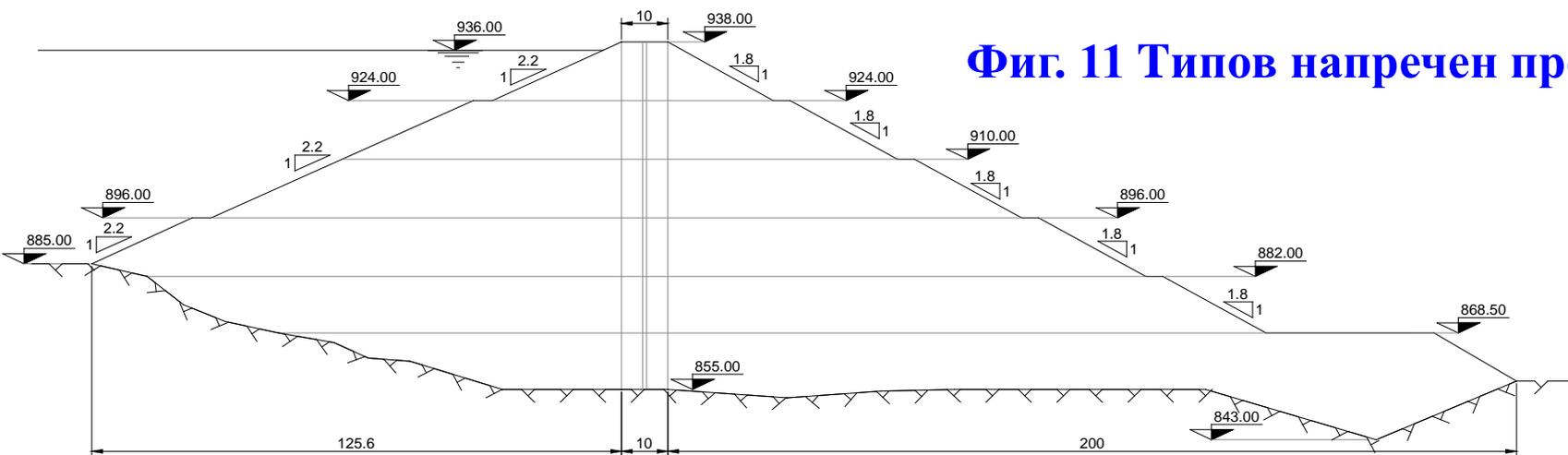


Фиг. 10 Хлъзгателни повърхнини(МКЕ) за определяне на **общата** устойчивост на стената

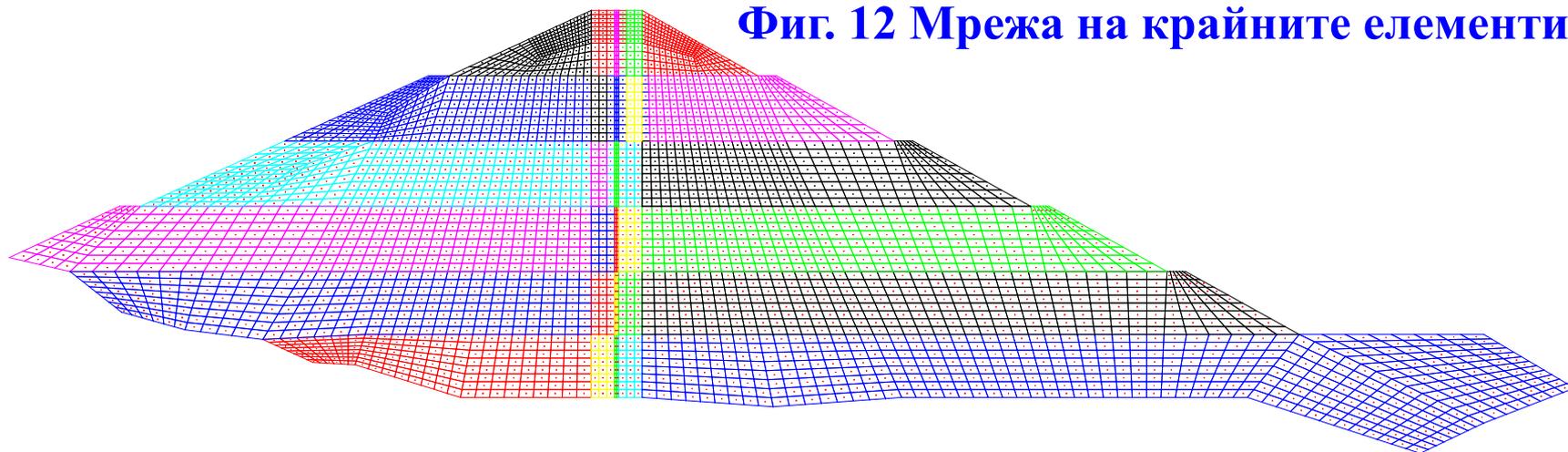
Съчетание на товари	Повърхнина										
	K1	K2	L1	L2	L3	L4	M1	M2	M3	M4	M5
Основно	2.711	2.811	2.208	2.182	2.434	3.078	2.146	2.040	2.199	2.473	3.293
	3.114	3.338	2.293	2.294	2.636	3.651	2.201	2.103	2.306	2.681	4.019
Особено А	2.177	2.253	1.676	1.611	1.756	2.182	1.562	1.440	1.501	1.646	2.139
	2.320	2.433	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.

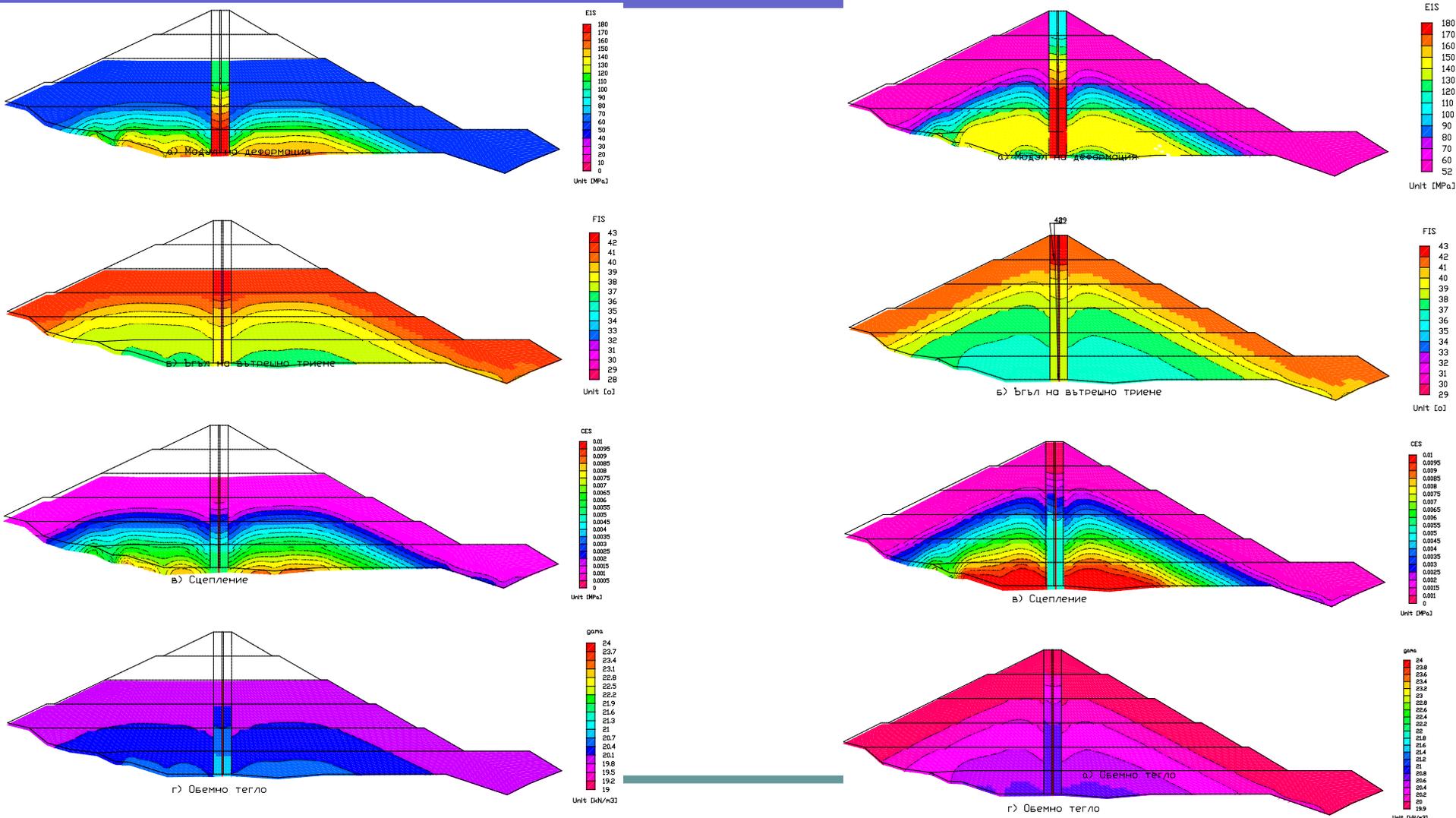


Фиг. 11 Типов напречен профил



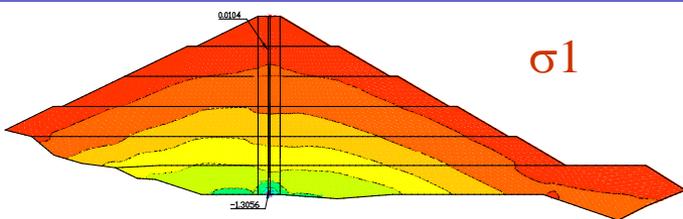
Фиг. 12 Мрежа на крайните елементи

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

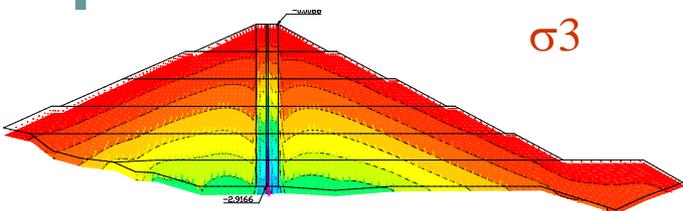
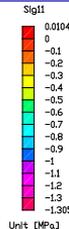


Фиг.13 Характеристики на насипа = $f(\sigma)$

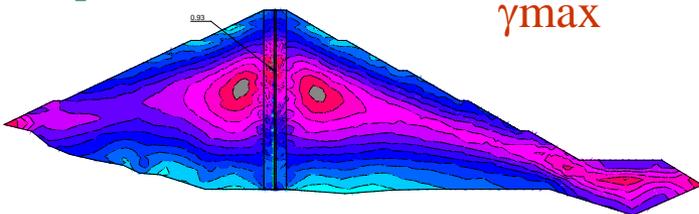
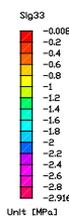
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (строителен период)



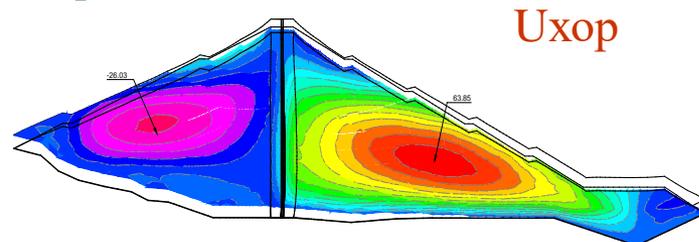
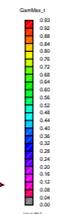
σ_1



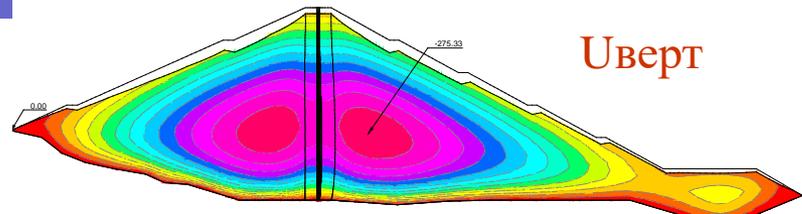
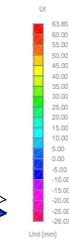
σ_3



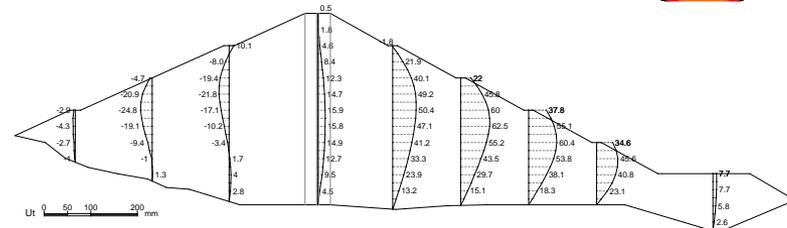
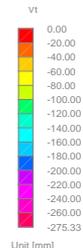
τ_{max}



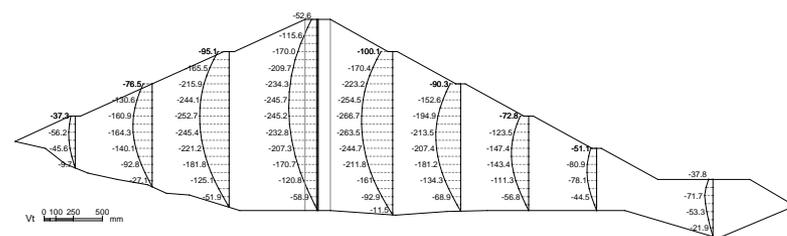
U_{xop}



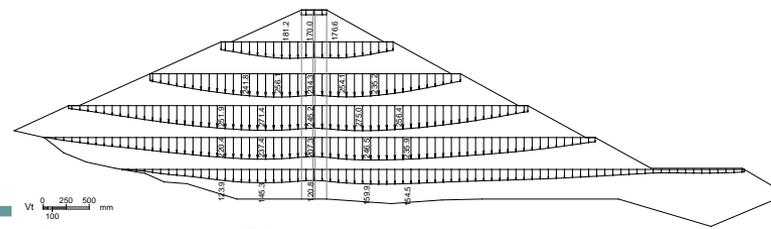
U_{vert}



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 МРа, което е с 23% по-малко от $\gamma H_{\max} = 1.60 - 1.7$ 0МРа.

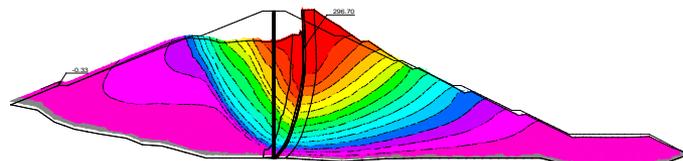
2. Максималните стойности на главните нормални напрежения в призмите са: $\sigma_1 = 0.50 - 0.60$ МРа, $\sigma_3 = 1.20 - 1.40$ МРа. Поради сводовия ефект тези напрежения в преходните зони са по-високи и в една ограничена зона, в областта на основната фуга достигат стойности $\sigma_1 = 0.90 - 1.00$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

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.

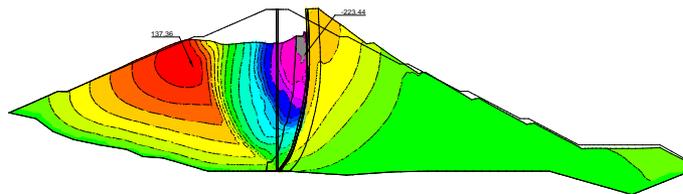
4. Максималните вертикални премествания в насипа достигат стойност от около **276 mm**, като тази стойност е разположена малко по-високо от точката, която лежи на 1/3 от височината на стената.

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 $\sigma_x = 1.30$ МРа, $\sigma_y = 2.92$ МРа като тези стойности са локализирани в зона с размери 20 x 40-50см и веднага след това намаляват почти наполовина.

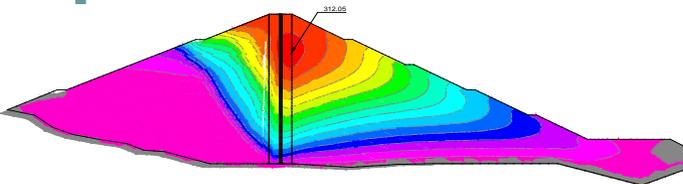
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (експлоатационен период) 1 – во пълнене на язовира



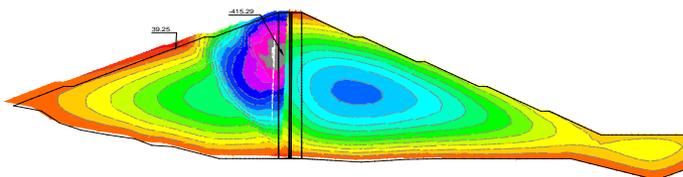
Uhor само от воден натиск



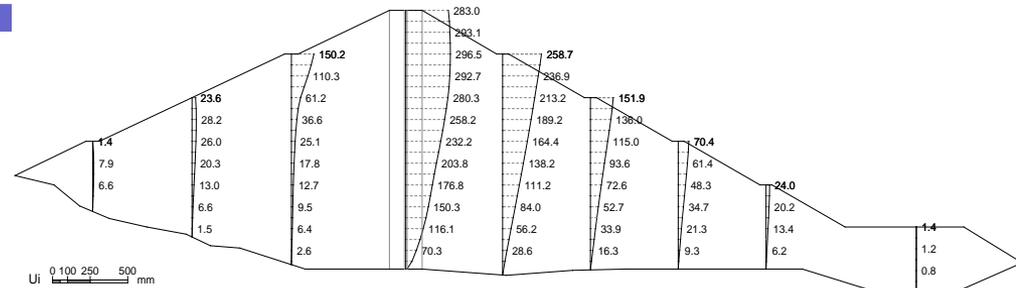
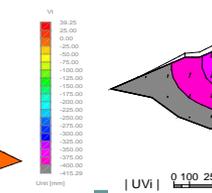
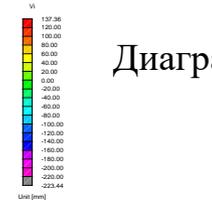
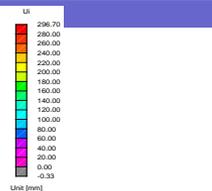
Uvert само от воден натиск



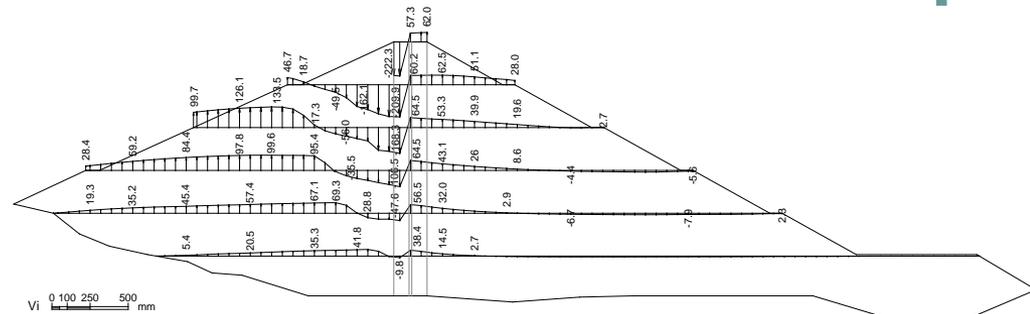
Uhor от воден натиск и G



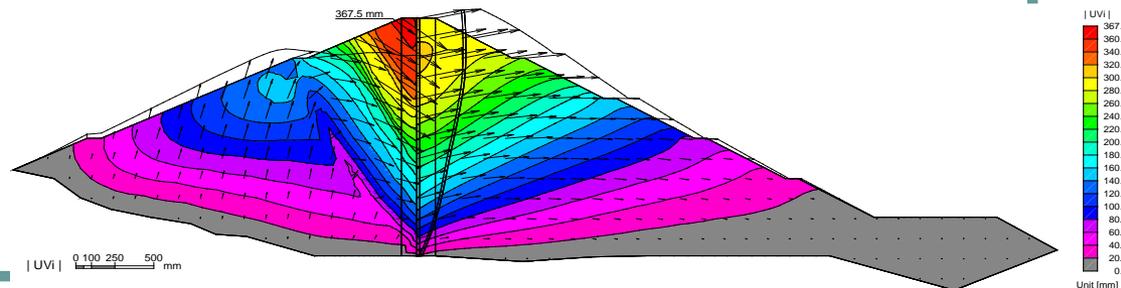
Uvert от воден натиск и G



Диаграми на Uhor по вертикални сечения само от W



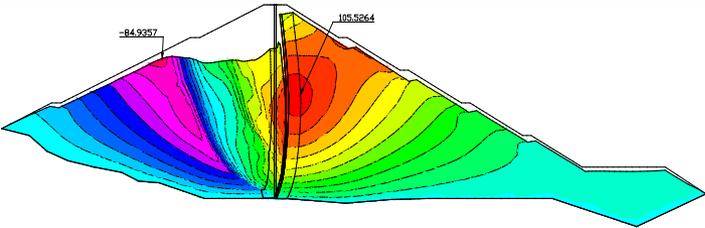
Диаграми на Uvert по хоризонтални сечения само от W



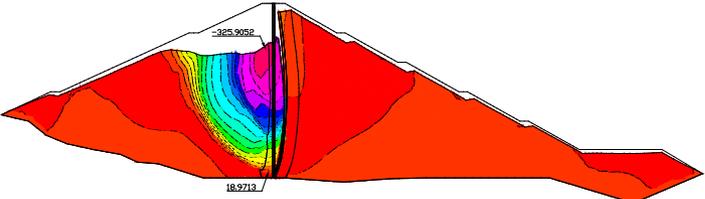
Вектори на преместванията при първо пълнене на езерото

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

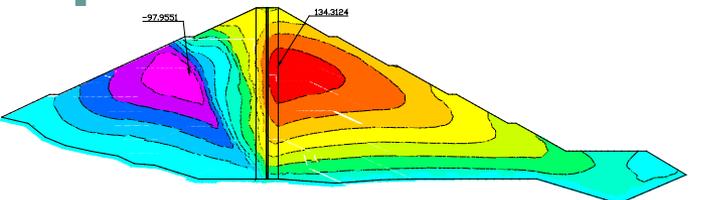
СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ (експлоатационен период) Изпразване на язовира



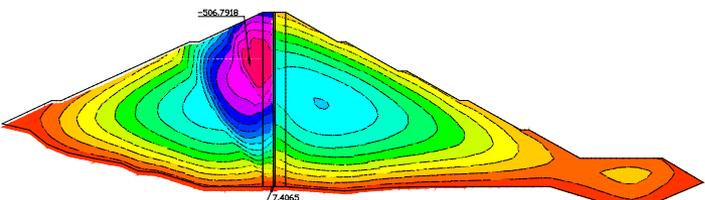
Ухор от 1-во пълнене-празнене



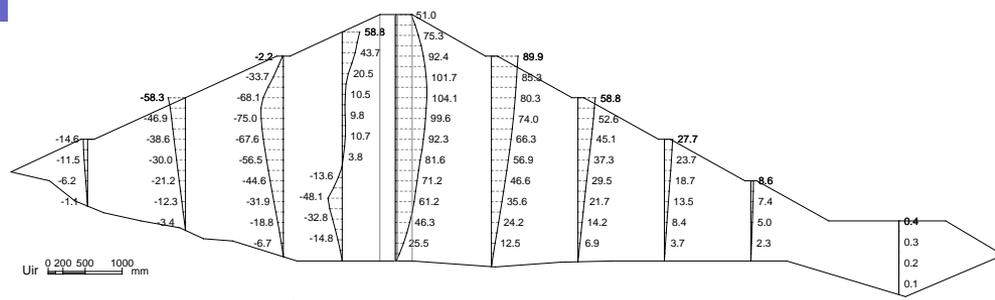
Уверт от 1-во пълнене-празнене



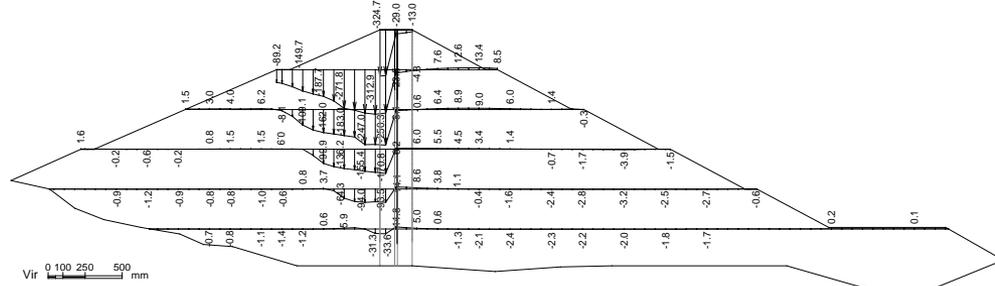
Ухор сумарно след празненето



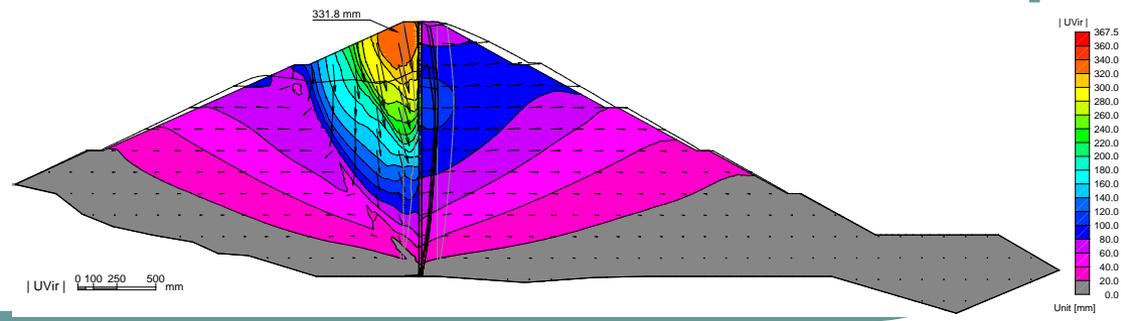
Уверт сумарно след празненето



Диаграми на Ухор от 1-ви цикъл пълнене-празнене



Диаграми на Уверт от 1-ви цикъл пълнене-празнене



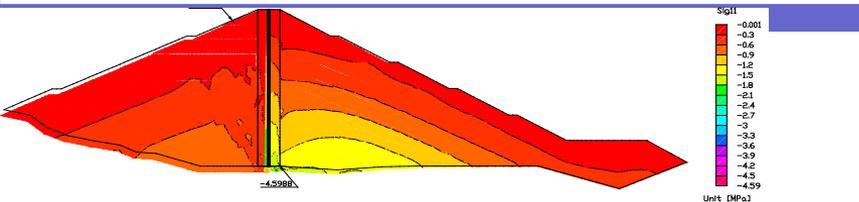
Вектори на преместванията в края на изпразване на езерото

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

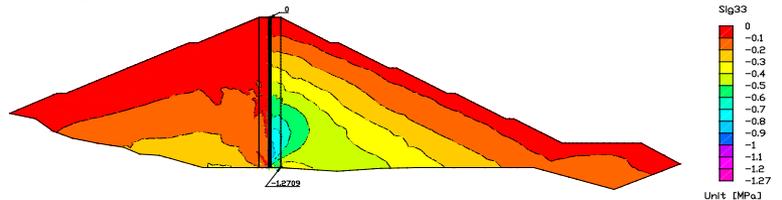
2 СТАТИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

(експлоатационен период

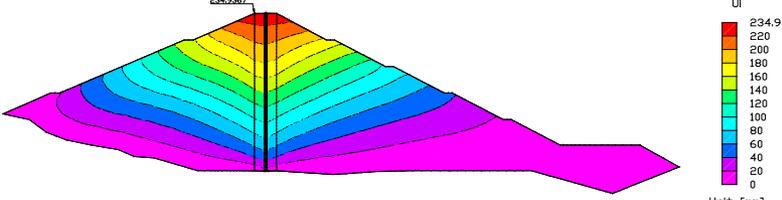
2 – ро пълнене на язовира



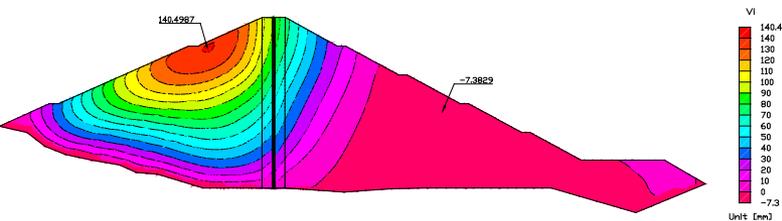
σ_1 – при второ пълнене на езерото



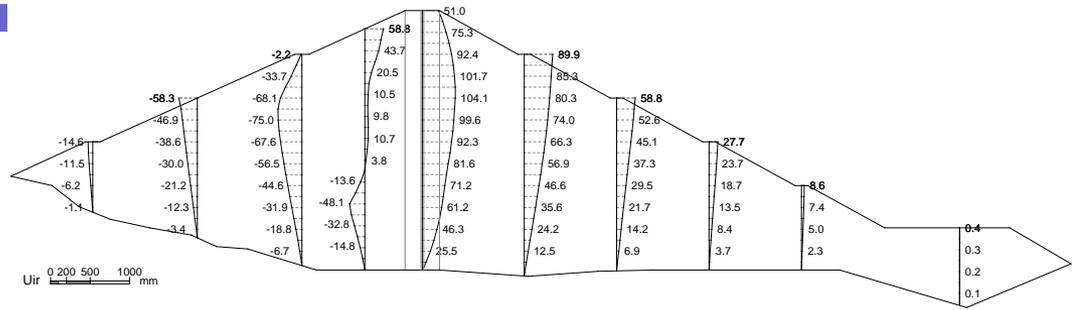
σ_3 – при второ пълнене на езерото



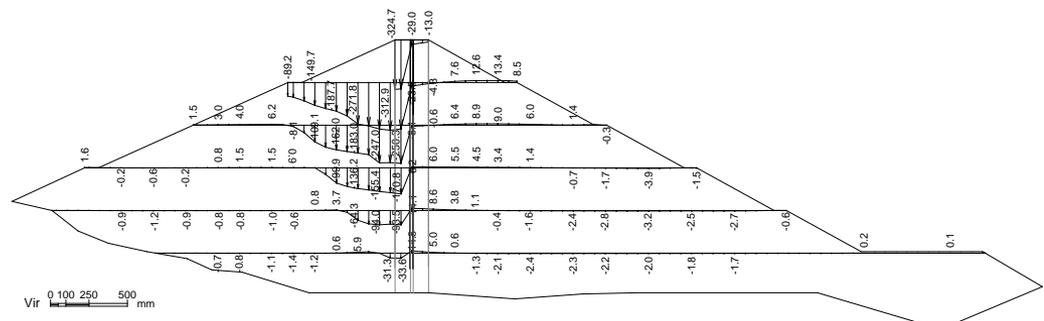
Ux – само от W – при 2-ро пълнене



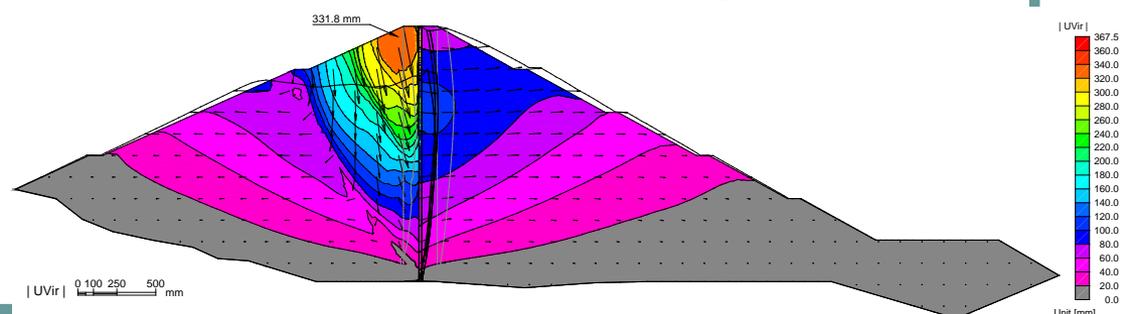
Uv – само от W – при 2-ро пълнене



Диаграми на Ux – само от 2-ро пълнене



Диаграми на Uv – само от 2-ро пълнене

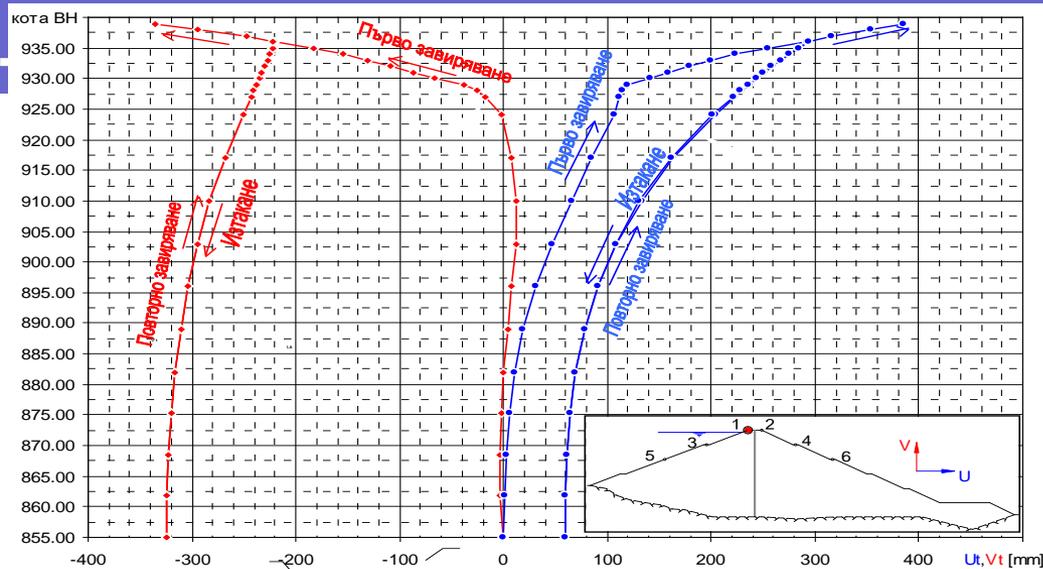


Вектори на преместванията при 2-ро пълнене на езерото

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

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

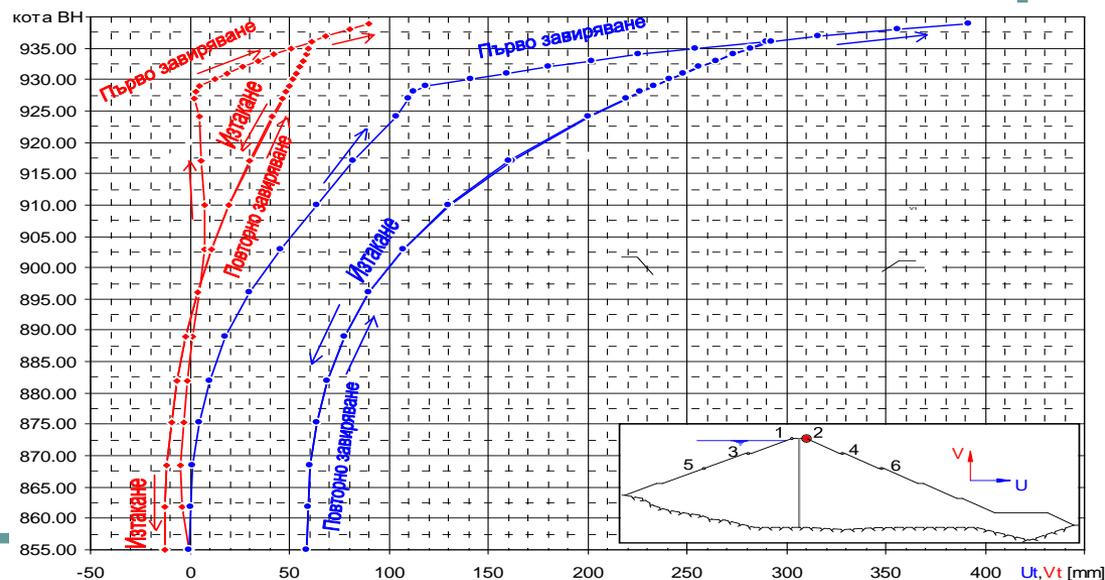
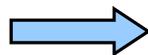
(експлоатационен период)



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.

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

3.1 КВАЗИСТАТИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ

- Сеизмичните сили по височина са определени за първите 4 форми на собствено трептене на стената (разглеждана като конзола).
- Сеизмичното натоварване върху стената се определя по спектралната теория.

$$E_{ijk} = C.R.K_c \beta_i \eta_{ijk} Q_k$$

$$\eta_{ik} = X_{ik} \frac{\sum_{j=1}^n Q_j \cdot X_{ij}}{\sum_{j=1}^n Q_j X_{ij}^2}$$

$$T_i = \frac{2\pi}{a_i c_s} \frac{H}{\sqrt{1 + \left(\frac{i\pi H}{a_i \Omega L_0} \right)^2}}$$

$$S_{ijk} = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_{ijk}^2}$$

НДС на стената е анализирано за 3 случая на особено съчетание:

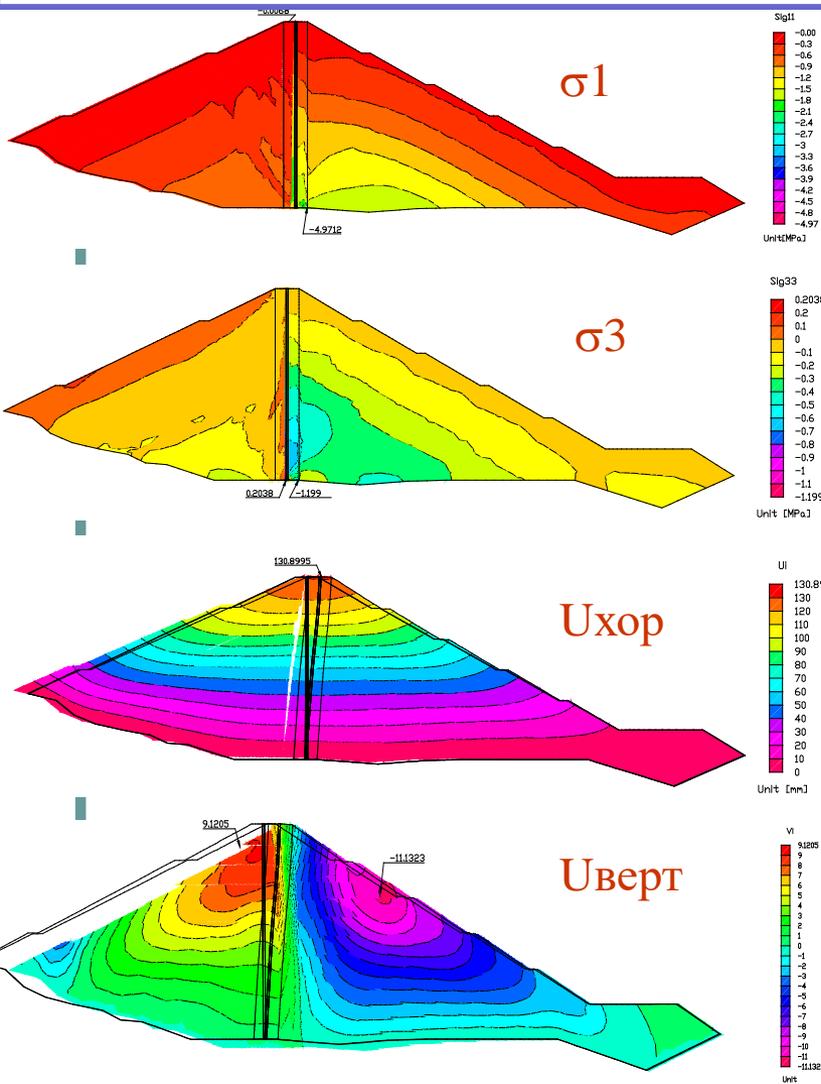
■ **особено съчетание А:** за PGA=0.35g, с 1000 г. период на възвръщане, ускорение на короната $a_{\max} = 0.262g$, получено от PGA чрез редуциране посредством C.R=0.375;

■ **особено съчетание Б:** за PGA=0.55g с период на възвръщане от 10000 г., ускорение на короната $a_{\max} = 0.309g$, получено от PGA чрез редуциране посредством C.R=0.375;

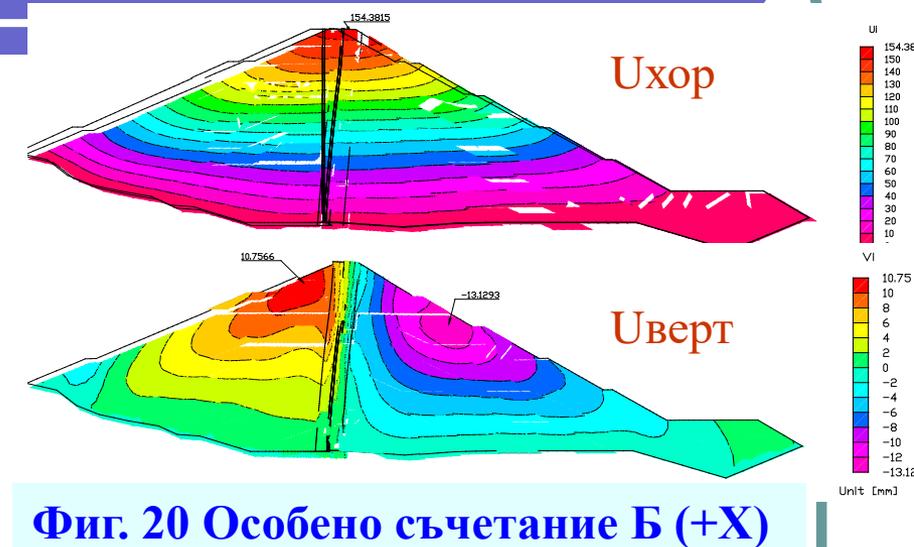
■ **особено съчетание В:** за PGA с 1000 г. период на възвръщане, ускорение на короната $a_{\max} = 0.463g$, получено по методиката на ВНИИГ, 1977г.

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

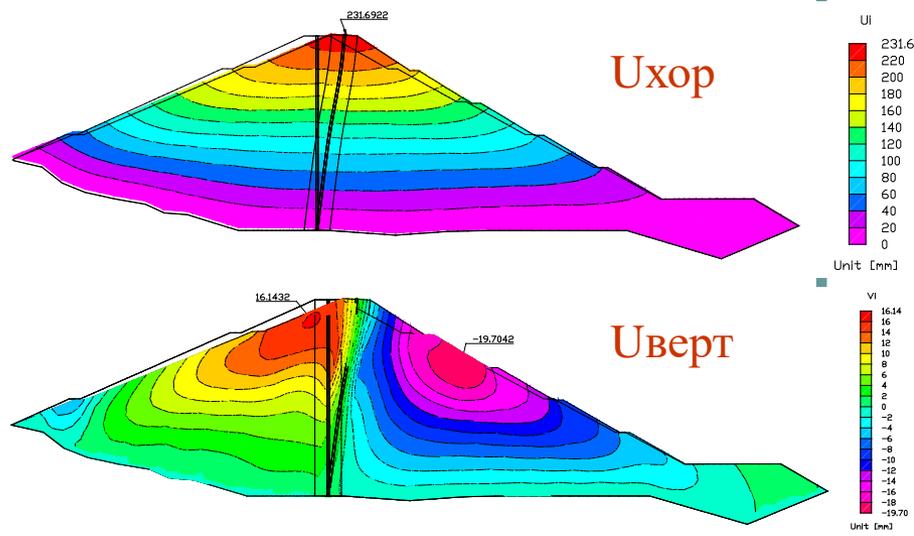
3.1 КВАЗИСТАТИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ



Фиг. 19 Особено съчетание А (+Х)



Фиг. 20 Особено съчетание Б (+Х)



Фиг. 21 Особено съчетание В (+Х)

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

3.1 КВАЗИСТАТИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ-Основни изводи

- При земетръс в стената се наблюдава увеличение на нормалните напрежения с около 6%, а на тангенциалните напрежения с около 25%.
- Хоризонталните и вертикалните напрежения в диафрагмата са натискови по цялата и височина и се изменят отгоре надолу както следва: $\sigma_x = 0.10 \text{ MPa} - 1.00 \text{ MPa}$, а $\sigma_y = 0.10 \text{ MPa}$ до 1.60-1.80 MPa в контакта между диафрагмата и основата.
- Вертикалните напрежения по целия контакт на диафрагмата с основата са натискови, с минимална стойност откъм водната страна 0.94 MPa, което е по-високо от налягането на водата (0.81 MPa) при НВРВН,
- Тангенциалните напрежения в диафрагмата остават сравнително ниски и при сеизмични въздействия при пълен язовир - максималната им стойност от 0.40 MPa се достига в долната част на диафрагмата, в близост с контактната фуга.
- Хоризонталните деформации в диафрагмата, дължащи се на сеизъм са най-високи в долната и част и достигат мах стойност от 0.10-0.11 %.



3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

3.1 КВАЗИСТАТИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ – Основни изводи

• Срязващите деформации в диафрагмата при пълен язовир и сеизъм се увеличават, като в контактната зона само деформациите от сеизъм достигат 0.28 % (0.50% при съчетания Б и В), но те също не представляват проблем за водоплътността на диафрагмата.

• съчетание А: Ухор на короната - 131 mm; слягане в призмите –10-11mm

• съчетание Б: Ухор на короната - 155 mm; слягане в призмите –16-17 mm

• съчетание В: Ухор на короната - 232 mm; слягане в призмите –19-20 mm.

■ Основното заключение, което може да се направи, е че стената и нейните елементи удовлетворяват критериите за устойчивост на язовирните стени при сеизмични въздействия. Най-уязвим елемент се явява връхната част на стената в близост до короната, по-точно от първа берма до короната и поради това е препоръчително на тази зона да се обърне специално внимание при подбора на материала за насип. Той трябва да е добре уплътнен, с висока якост на срязване.

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

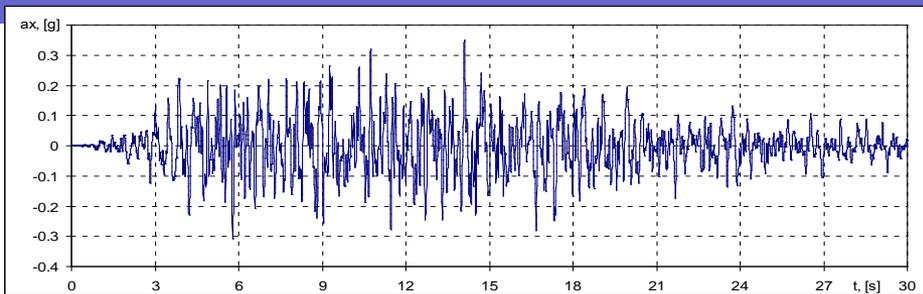
3.2 ЛИНЕЕН ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ

Извършен е “Time History Analysis” за три изчислителни случая. И за трите случая е използвана синтезирана акселерограма, като същата е мащабирана веднъж за проектното земетресение с период на възвръщане 1000 г., с максимално ускорение на скалната основа, равно на $0.35g$ и втори път за проверочното земетресение ($R=10000g$, $a_{\max} = 0.55 g$).

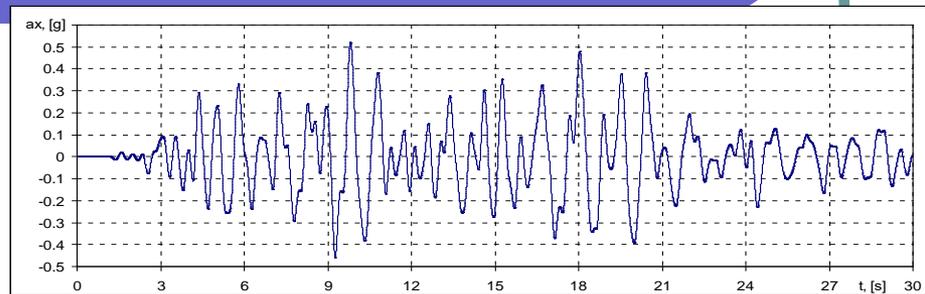
- Сеизмичен анализ на стената при земетресение с $R=1000g$ и $M_{\text{дин}}=2 * E_{\text{стат}}$.
- Сеизмичен анализ на стената при земетресение с $R=1000g$ и $M_{\text{дин}}=6 * E_{\text{стат}}$.
- Сеизмичен анализ на стената при земетресение с $R=10000g$ и $M_{\text{дин}}=6 * E_{\text{стат}}$.

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

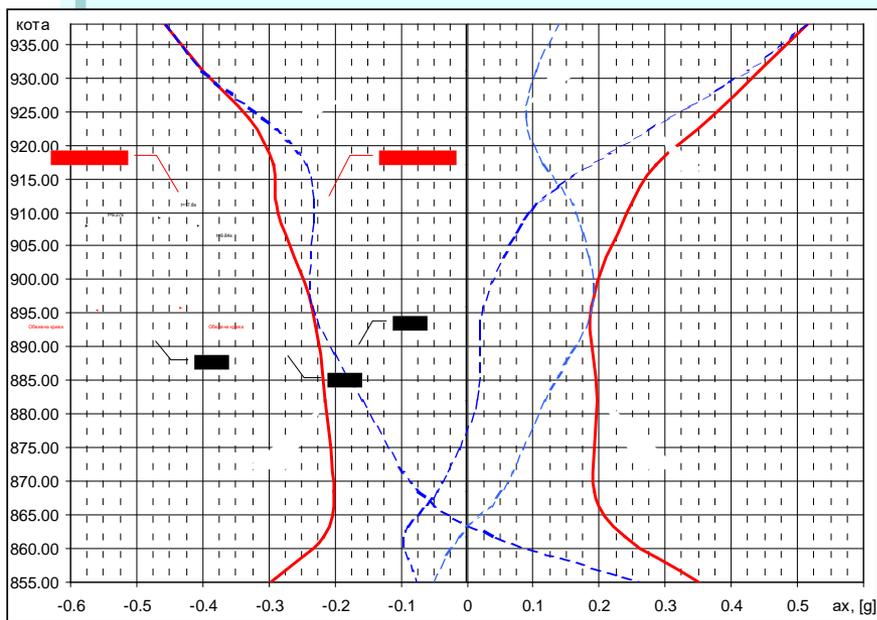
3.2 ЛИНЕЕН ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ



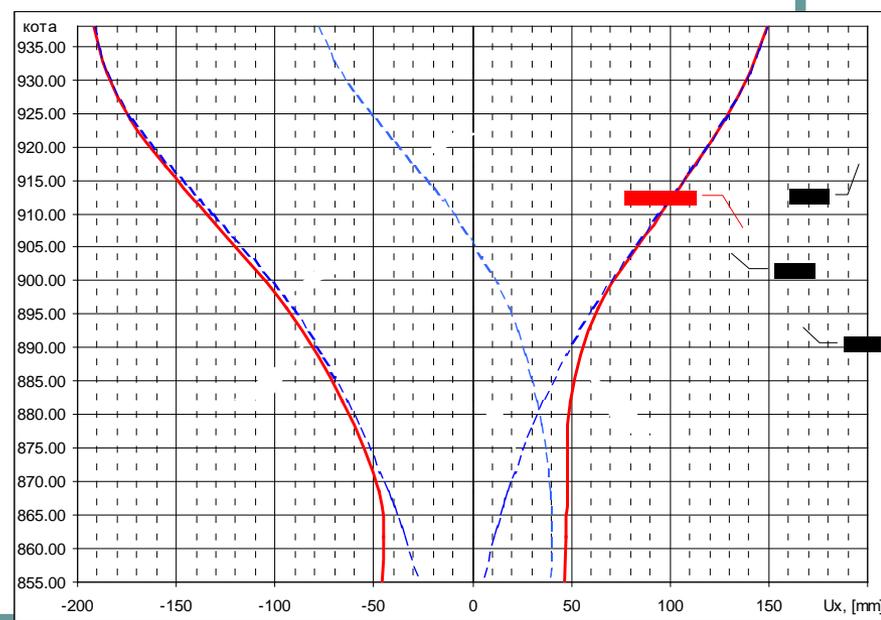
Фиг. 22 Акселерограма в основата на стената, $R=1000g$, $M_{дин}=2 \cdot E_{стат}$.



Фиг. 23 Ускорение на короната на стената



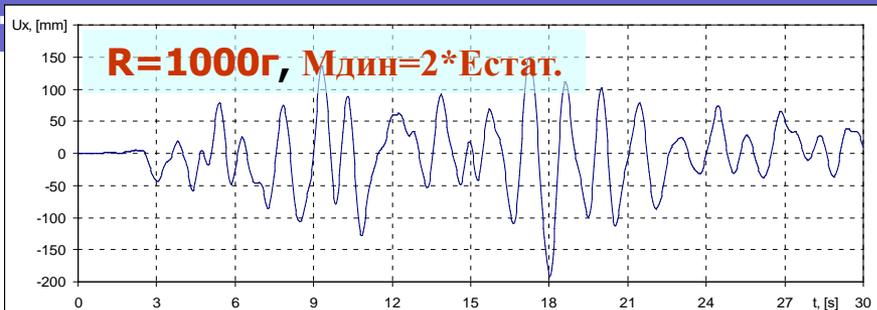
Фиг. 24 Ускорения по височина на стената



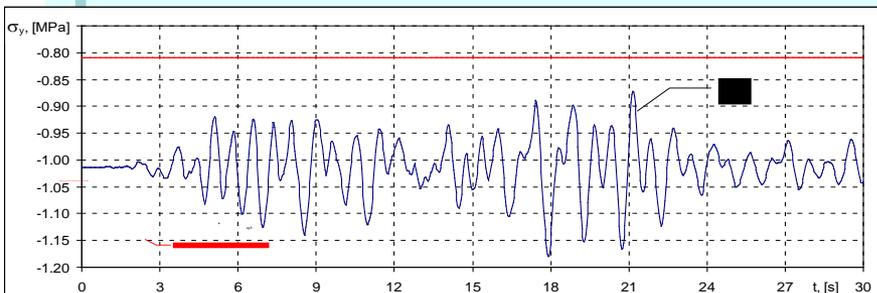
Фиг. 25 Хоризонтални премествания по височина на стената

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

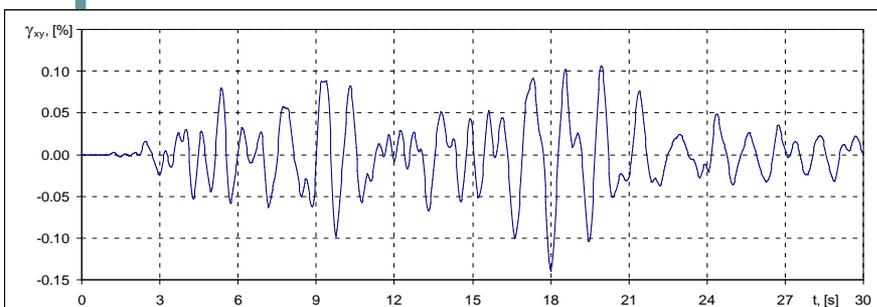
3.2 ЛИНЕЕН ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ



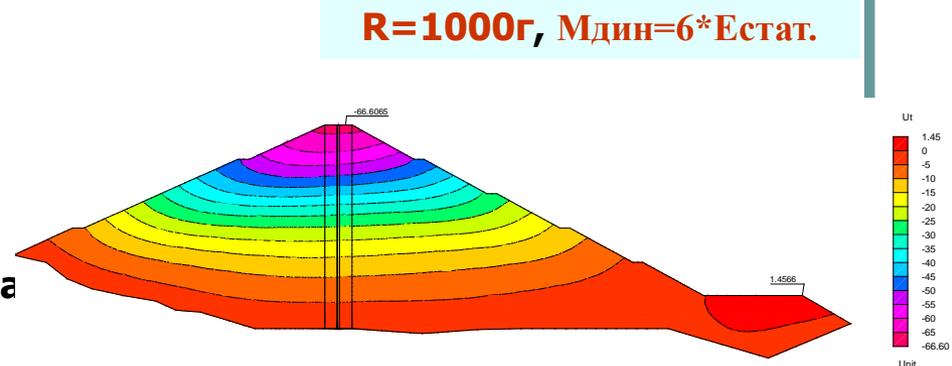
Фиг. 26 Хоризонтални премествания на короната



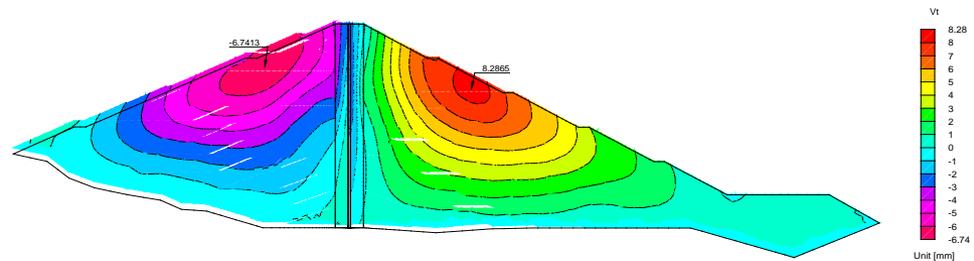
Фиг. 27 Вертикално напрежение във водната стъпка на диафрагмата в контакта ѝ с основата.



Фиг.28 Срязващи деформации в диафрагмата на кота 910



Фиг. 29 Изолинии на хоризонталните премествания само от сеизъм



Фиг. 30 Изолинии на вертикалните премествания само от сеизъм

3 СЕИЗМИЧЕН АНАЛИЗ НА НДС НА ЯЗ. СТЕНА “РАКОЧЕВИЦА” ПО МКЕ

3.2 ЛИНЕЕН ДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ ПО МКЕ

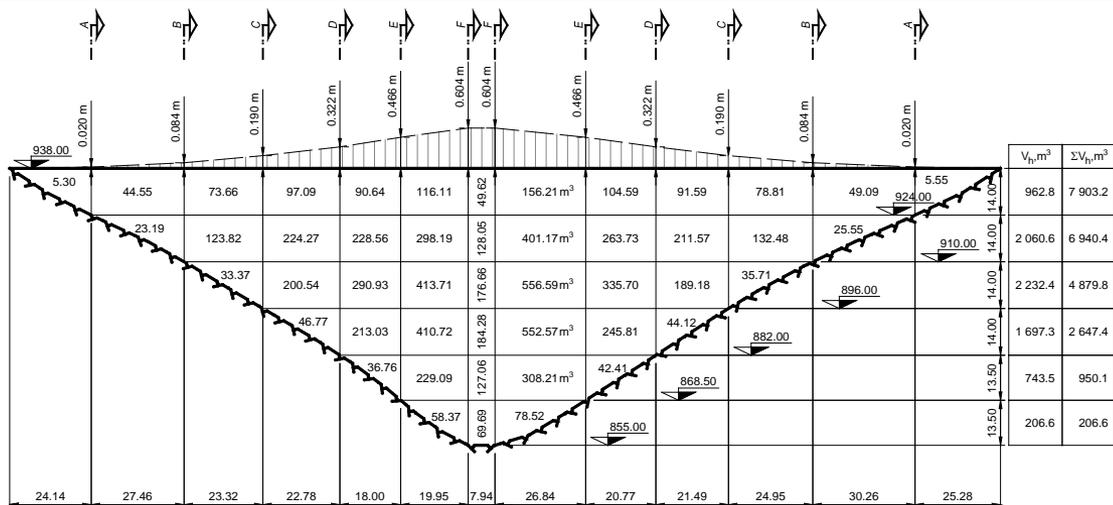
Изводи за поведението на стената въз основа на динамичния анализ:

- Изменение на максималното ускорение по височина на стената от **0.35g** в основата до около: 1) **0.52g** в короната, получено в 9.27сек.; 2) **0.51g** / 9.03 и 15 сек.), 3) от **0,5g** до около **0.70g** в короната, получено в 15.03сек.;
- **Максимално хоризонтално преместване на короната**, равно на: 1) **190mm**, 18.03сек. след началото на земетресението; 2) **102mm**, 9.87сек. след началото на земетресението; 3) **156mm**, 10.02сек. след началото на земетресението;
- **Максимално хоризонтално преместване на основната скала**: 1) равно на около **46 mm**, се получава в два момента от земетресението - на 7 и 13 сек.. от началото му; 2) около **47 mm**, в два момента - на около 10 и 12.5сек.; 3) около **93 mm**, в два момента - между 10 и 11сек.;
- **Вертикалните напрежения в контактната фуга на диафрагмата със скалата** остават натискови по време земетресението(0.81MPa), като достигат мин. стойност: 1) между 17-та и 22-та секунда; 2) около 16сек. и 3) в 12 сек. ;
- **Максималните срязващи деформации в диафрагмата** се получават на кота 910.00, т.е. на височина 55m от основата, но не надвишават стойност от 0.15%, което е далеч от това, което може да понесе асфалтобетона.

4 ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТРОИТЕЛНОТО НАДВИШЕНИЕ ПО МКЕ

Обемът на строителното надвишение се определя от четири компонента на деформациите на системата ”основа-язовирна стена”:

- деформации на основата вследствие теглото на стената;
- деформации на тялото на стената по време на строителство;
- деформации на тялото на стената при напълване на язовирното езеро;
- реологични деформации на тялото на стената по време на експлоатация.



Легенда: V_h - сумирано по профили надвишение за всеки хоризонт;
 $\Sigma V_h m^3$ - Сумиран по височина обем за донасипване.

Фиг. 32 Обеми на надвишенията (донасипването) по хоризонти между изчислителните профили и сумарно

4 ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СТРОИТЕЛНОТО НАДВИШЕНИЕ ПО МКЕ

Обемът на насипа за строителното надвишение (за каменните призми и преходните зони) е равен на сумата от следните парциални обеми:

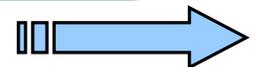
- обем за компенсиране на слягането на тялото на стената **по време на строителство** -7891 m³;
- обем за компенсиране на слягането на тялото на стената **вследствие завиряването на езерото** – 292 m³;
- обем за компенсиране слягането на тялото на стената **вследствие реологични деформации на материалите на насипа** – 1973 m³.

Така **общият обем на насипа** за строителното надвишение (за каменните призми и преходните зони) **е равен на 10156 m³.**

Обемът само на допълнителния насип, който трябва да се направи с оглед гарантиране на проектния профил на стената по време на експлоатация, е равен на разликата от общия обем и вече реализирания по време на строителството обем, а именно $10156 \text{ m}^3 - 7891 \text{ m}^3 = \mathbf{2265 \text{ m}^3}$.

5 . ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

1. Определените по числен път напрежения и деформации в тялото на стената са в границите на нормалните за този тип язовирни стени при приетите в проекта геометрични параметри на типовия напречен профил на язовирната стена и якостно-деформационни характеристики на тялото на стената и асфалтобетонната диафрагма.
2. При приетите деформационни характеристики на преходните зони и асфалтобетона, не трябва да се очакват проблеми с водоплътността на асфалтобетонната диафрагма както при статични, така и при сеизмични въздействия върху язовирната стена, тъй като получените по числен път напрежения и деформации в асфалтобетона са значително по-ниски от допустимите.
3. Откосите на язовирната стена имат изисквания според нормите запас в коефициента на сигурност както при статични, така и при сеизмични въздействия върху язовирната стена.



5 . ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

4. Параметрите на НДС на стената зависят силно от заложените в числените модели якостно-деформационни х-ки на насипа и диафрагмата. Затова е препоръчително да се извършат допълнителни изследвания с цел определяне на споменатите х-ки, при условия максимално близки до тези, при които материалите се намират в тялото на стената и това обикновено се прави на опитен участък.
5. Поради високата сеизмичност на района е препоръчително да се направи микросеизмична оценка на створа на стената, за да се определят точно параметрите на сеизмичното въздействие, необходими за анализа на стената.
6. Като се има предвид сложното взаимодействие и обвързаност на факторите, от които зависи сигурността на стената по време на експлоатация, е препоръчително да се направи анализ на нейното поведение при актуализираните якостно-деформационни х-ки на материалите и параметри на сеизмичното въздействие.