

СЕИЗМИЧНИ АСПЕКТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА НАСИПНИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ



Проф. д-р инж. ВАНГЕЛ ВАСИЛЕВ

СЕИЗМИЧНИ АСПЕКТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА НАСИПНИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ

- I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения
- II. Основни типове повреди и разрушение на насипните стени при земетръс
- III. Методи за анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс
- IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на насипните стени
- V. Основни изводи и препоръки за практиката

I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (1-18)

FUJINUMA Dam - Япония (1 – 3)

Fujinuma dam (1949)	Japan	H=18.5m WL~max	Tohoku EQ, 2011 >23,000 ж.	Lf=80km	M=9.0	PHGA стена 0.315g	РАЗРУШЕНА стена 8 жертви.
---------------------	-------	-------------------	-------------------------------	---------	-------	----------------------	--

Земнонасипна хомогенна стена



- Слягане на стената вследствие земетръса и напукване на короната
- Преливане през стената и ерозия
- Загуба на устойчивост на водния откос
- Загуба на устойчивост на въздушния откос
- Вътрешна ерозия, следствие от големите деформации.

I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (2-18)

FUJINUMA Dam - Япония (2 – 3)



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (3-18)

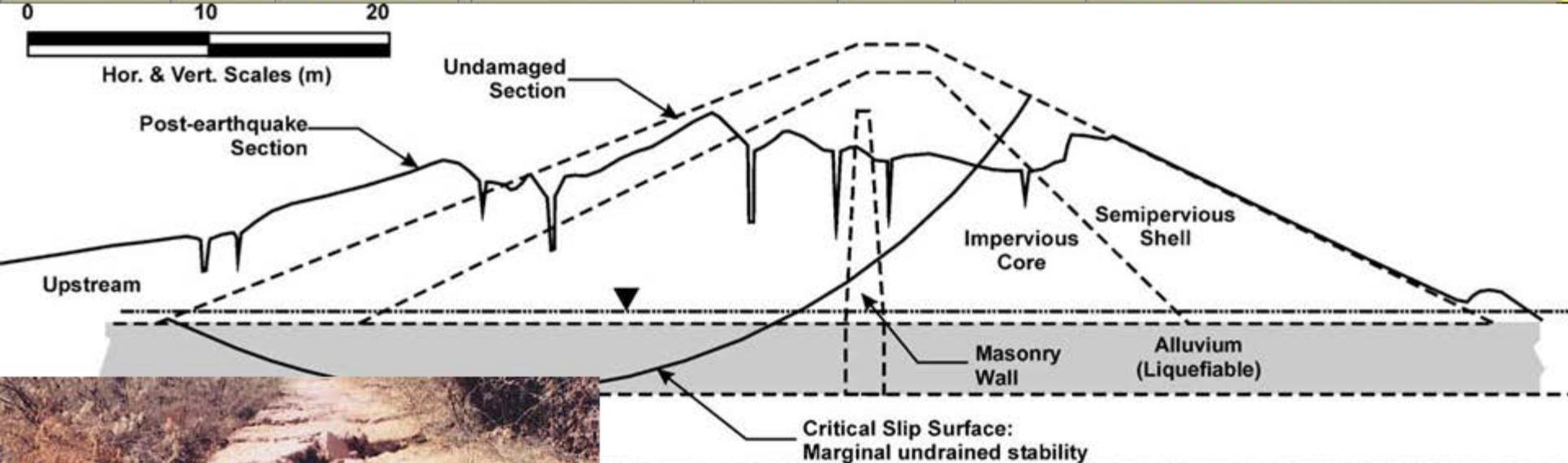
FUJINUMA Dam - Япония (3 – 3)



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (4-18)

CHANG Dam - Индия (1 – 1)

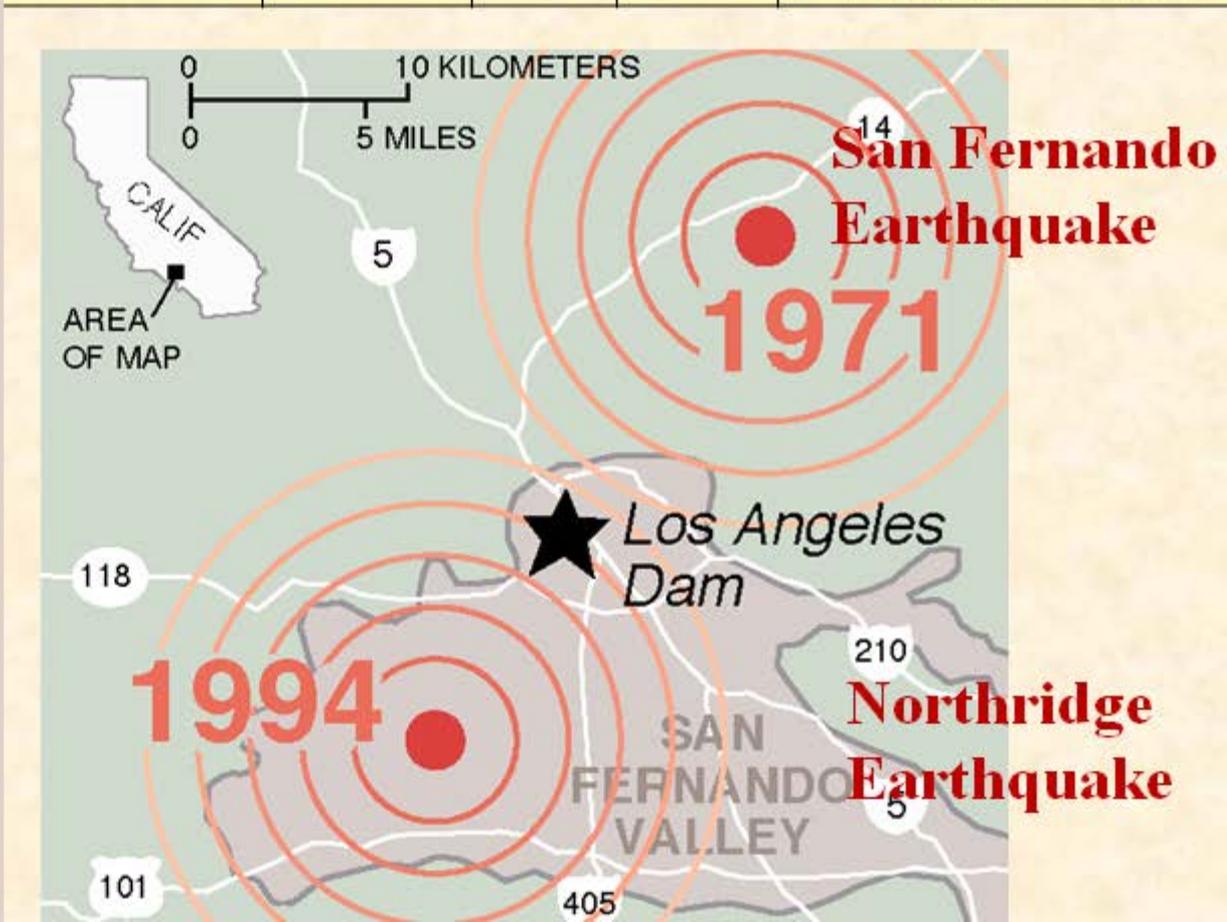
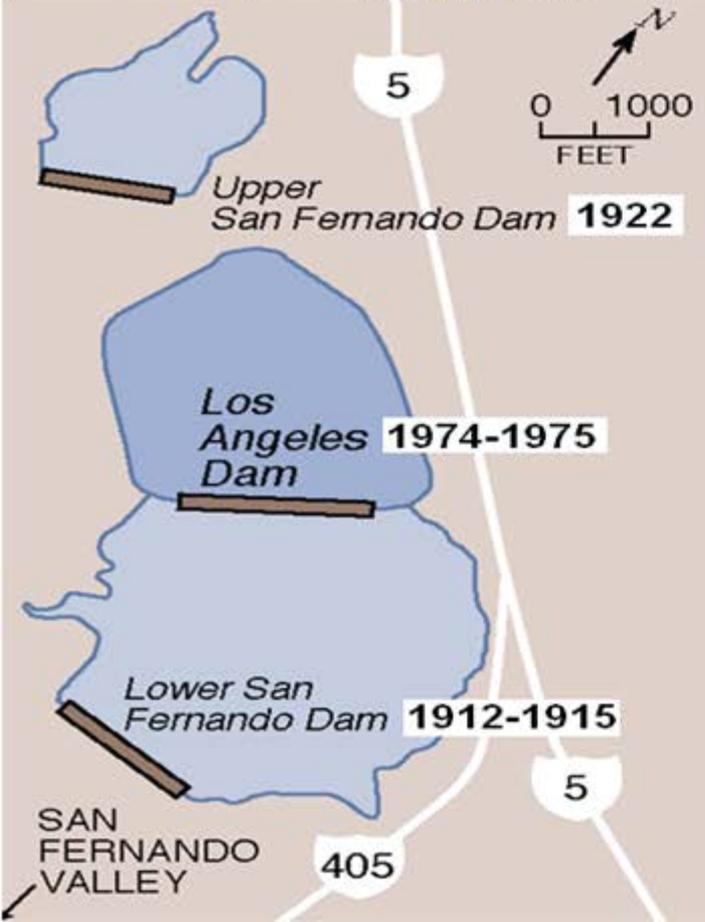
Chang Dam (1959)	India	H=15.5m WL=1/8 max WL	Bhuj EQ 2001 >20,000 ж.	Lf= 13km	M=6.9	PHGA 0.52g	РАЗРУШЕНА СТЕНА. dHкор=6.0m Втечняване на основата.
------------------	-------	-----------------------------	----------------------------	----------	-------	------------	--



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (5-18)

SAN FERNANDO Dam – USA (1– 4)

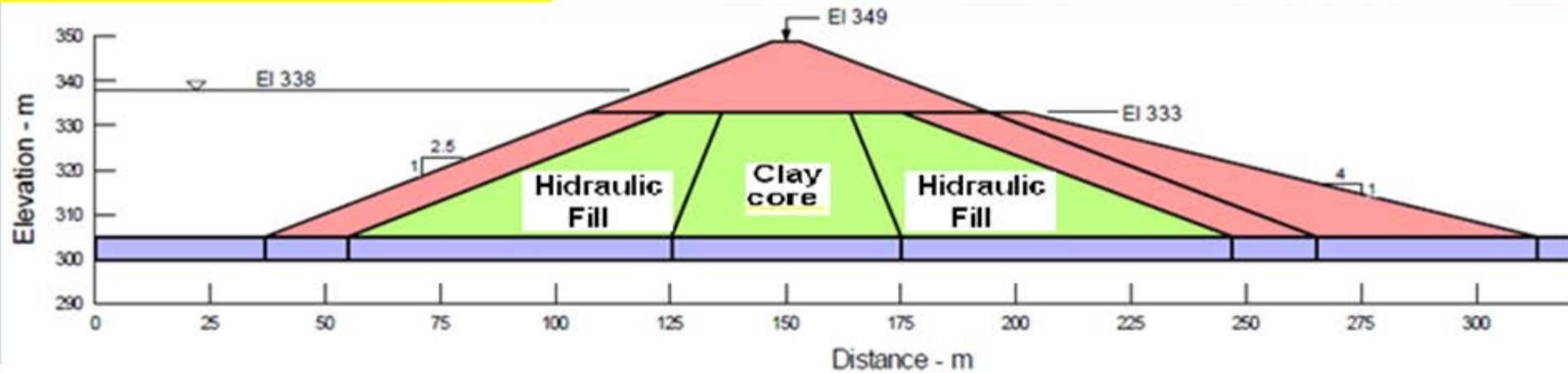
Lower San Fernando Dam (1915)	USA	H= 44m WL= -11m под корона	San Fernando Earthquake (1971)	Lf=13km	M=6.7	PHGA 0.60g	Надл. пукн. корона стена; V=9.0m, H=1.5-2.0m
-------------------------------	-----	----------------------------------	--------------------------------	---------	-------	---------------	---



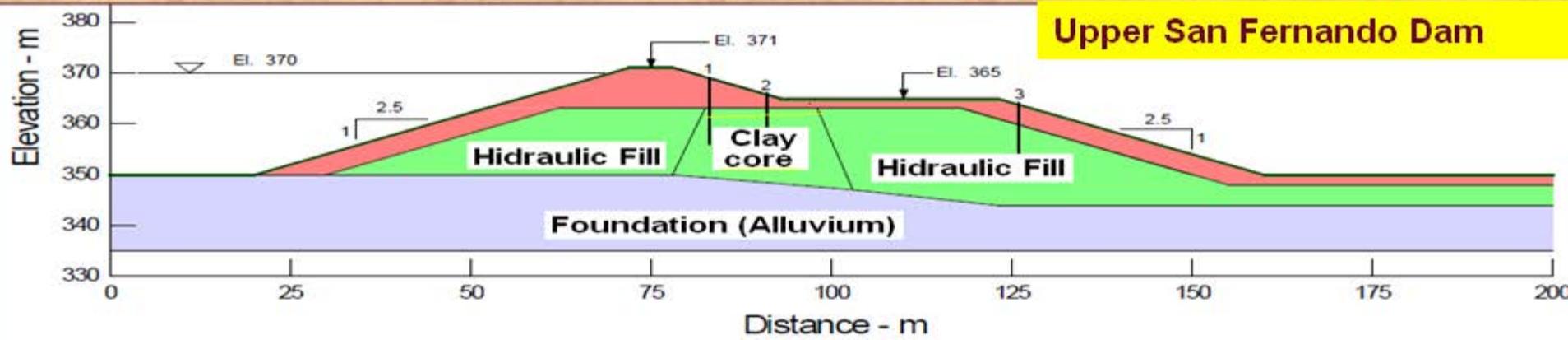
I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (6-18)

SAN FERNANDO Dam – USA (1– 4)

Lower San Fernando Dam, 1971



Upper San Fernando Dam



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (7-18)

SAN FERNANDO Dam – USA (3– 4)

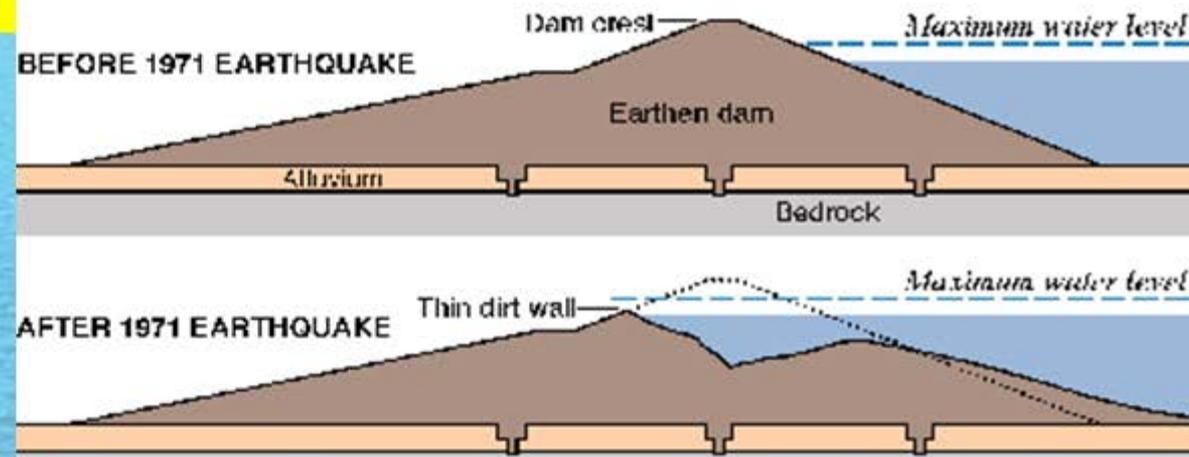
Евакуирани 80 000 души



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (8-18)

SAN FERNANDO Dam – USA (4 – 4)

Lower San Fernando Dam, 1971



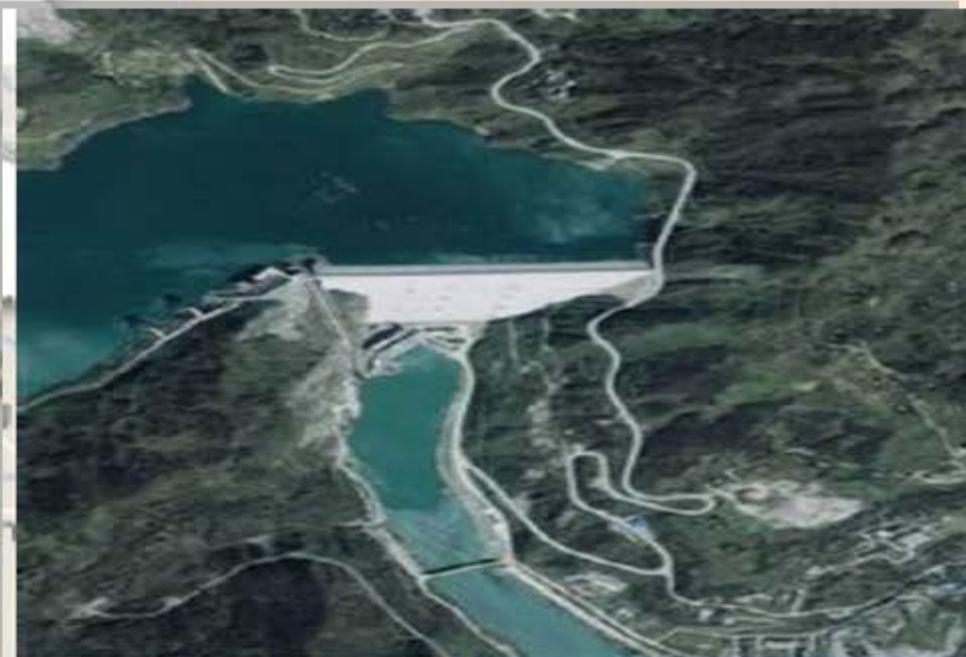
Понижение на кота корона с 9m !!!



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (9-18)

ZIPINGPU Dam – Китай (1– 4)

ZIPINGPU Dam, 2001	Китай	H=156m WL = 0.67 max NWL	Wenchuan (2008) 80 000 убити	Lf=17km	M=7.9	PHGA ~1g Crown >2.0g	Пукн. и слягане 70cm корона стена; деформ. 1000m ² долна част възд. откос ; 15 - 20cm отваряне фуги.
CFRD							



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (11-18)

ZIPINGPU Dam – Китай (3 – 4)



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (12-18)

ZIPINGPU Dam – Китай (3 – 4)



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни
заметресения (13-18)

ZIPINGPU Dam - Китай (4 – 4)

Свличане на земни маси в язовира



I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (14-18)

Насипни яз. стени, РАЗРУШЕНИ при земетресение (1-2)

Язовирна стена	Държава	Височина H [m]	Лкор [m]	Име земетресение	Разст. до разлома [km]	M	PHGA Мах хор. уско-рение	Причина за РАЗРУШЕНИЕ
Sheffield Dam (1917) ED	USA	7.5 WL=5m	229	Santa Barbara EQ 1925	10.5	6.3	0.15g	ВТЕЧНЯВАНЕ на основата. Свличане на откосите.
Hosorogi Dam (?) ED	Japan	8.5 WL=?	?	Fukui EQ 1948	7.8	7.3	?	Свличане на откосите. Прорив.
Hayagakenuma Ichirigoya Gamano-sawa ?	Japan	12.0 7.3 10.3 WL=?	?	Tokachi EQ 1968	?	?	?	Свличане на откосите. Прорив.

I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (15-18)

Насипни яз. стени, РАЗРУШЕНИ при земетресение (2-2)

Язовирна стена	Държава	Височина H [m]	Лкор [m]	Име земетресение	Разст. до разлома [km]	M	PHGA Max хор. ускорение	Причина за РАЗРУШЕНИЕ
Chang Dam (1959) ED	India	15.5 WL=2m	110	Bhuj EQ 2001	13.0	6.9	0.52g	ВТЕЧНЯВАНЕ на основата. Свличане на откосите.
Fujinuma Dam (1949) ED	Japan	18.5 WL~max	133	Tohoku EQ 2011	80.0	9.0	0.315g	Слягане на стената. Загуба уст. откоси. Прорив.

- Основни фактори**
- ▶ Тип: Земнонасипни
 - ▶ Височина: H = 7.0 – 18.5m
 - ▶ Възраст: > 55г.
 - ▶ Магнитуд: M > 6.0

I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (16-18)

Причини за разрушение на насипните стени в света, 2000г.

Mode of failure	No. of cases		% failures (where known)		Average frequency of failure ($\times 10^{-3}$)	
	All failures	Failures in operation	All failure	Failures in operation	All failures	Failures in operation
Overtopping and appurtenant						
Overtopping	46	40	35.9	34.2	4.1	3.6
Spillway-gate	16	15	12.5	12.8	1.4	1.3
Subtotal	62	55	48.4	47.0	5.5	4.9
Piping						
Through embankment	39	38	30.5	32.5	3.5	3.4
Through foundation	19	18	14.8	15.4	1.7	1.6
From embankment into foundation	2	2	1.6	1.7	0.18	0.18
Subtotal	59	57	46.1	48.7	5.3	5.1
Slides						
Downstream	6	4	4.7	3.4	0.54	0.36
Upstream	1	1	0.8	0.9	0.09	0.09
Subtotal	7	5	5.5	4.3	0.63	0.45
Earthquake-liquefaction	2	2	1.6	1.7	0.18	0.18
Unknown mode	8	7				
Total no. of failures	136	124			12.2 (1.2%)	11.1 (1.1%)
Total no. of failures where mode of failure known	128	117				
No. of embankment dams	11 192	11 192				

По Foster et. al.

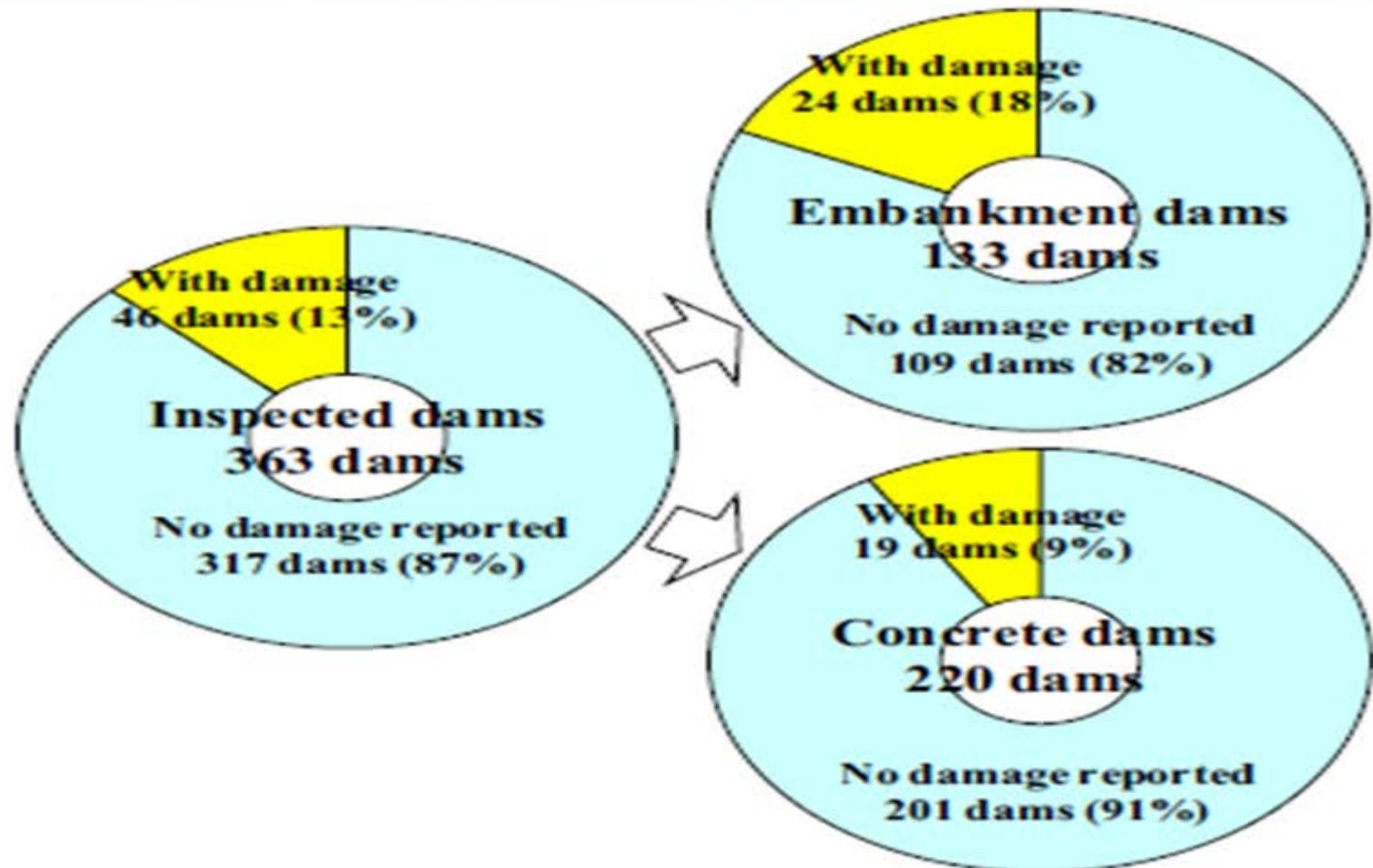
I. Насипни язовирни стени, претърпели силни земетресения (17-18)

Причини за разрушение на насипните стени на USBR, 2013

Cause	Failures	Incidents	Total
Embankment Piping	23	14	37
Foundation Piping	11	43	54
Overtopping	18	7	25
Flow Erosion	14	17	31
Gate Failure	1	3	4
Sliding	5	28	33
Deformation	3	29	32
Slope Protection Damage	0	13	13
Deterioration	2	3	5
Faulty Construction	0	3	3
Earthquake Instability	0	3	3
TOTAL	77	163	240
Earthquake Instability %	0	1.84	1.25

I. Насипни язовирни стени, претърпели силни заметресения (18-18)

Поведение на язовирни стени по време на земетресение
ТОНОКУ, 2011(M=9.0) (по материали на JCOLD)



II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (1-10)

Сеизмични ефекти върху насипните язовирни стени:

- Променливо, разнопосочно натоварване във времето;
- Промяна на якостно-деформационните характеристики (намаляване на якостта на срязване, разуплътняване на материала);
- Пукнатини, слягане на основата и тялото на стената (води до преливане и ерозия);
- Втечняване на несвързаните материали в тялото и основата;
- Прогресиращо натрупване на пластични деформации;
- Постоянни (невъзвратими) деформации;
- Повишаване на хорното налягане;
- Увеличение на сеизмичното ускорение по височина;
- Стръмни брегове и нерегулярен надлъжен профил засилват сеизмичните ефекти.

► КОМБИНАЦИЯ ОТ СЕИЗМИЧНИ ЕФЕКТИ!!!

II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (2-10)

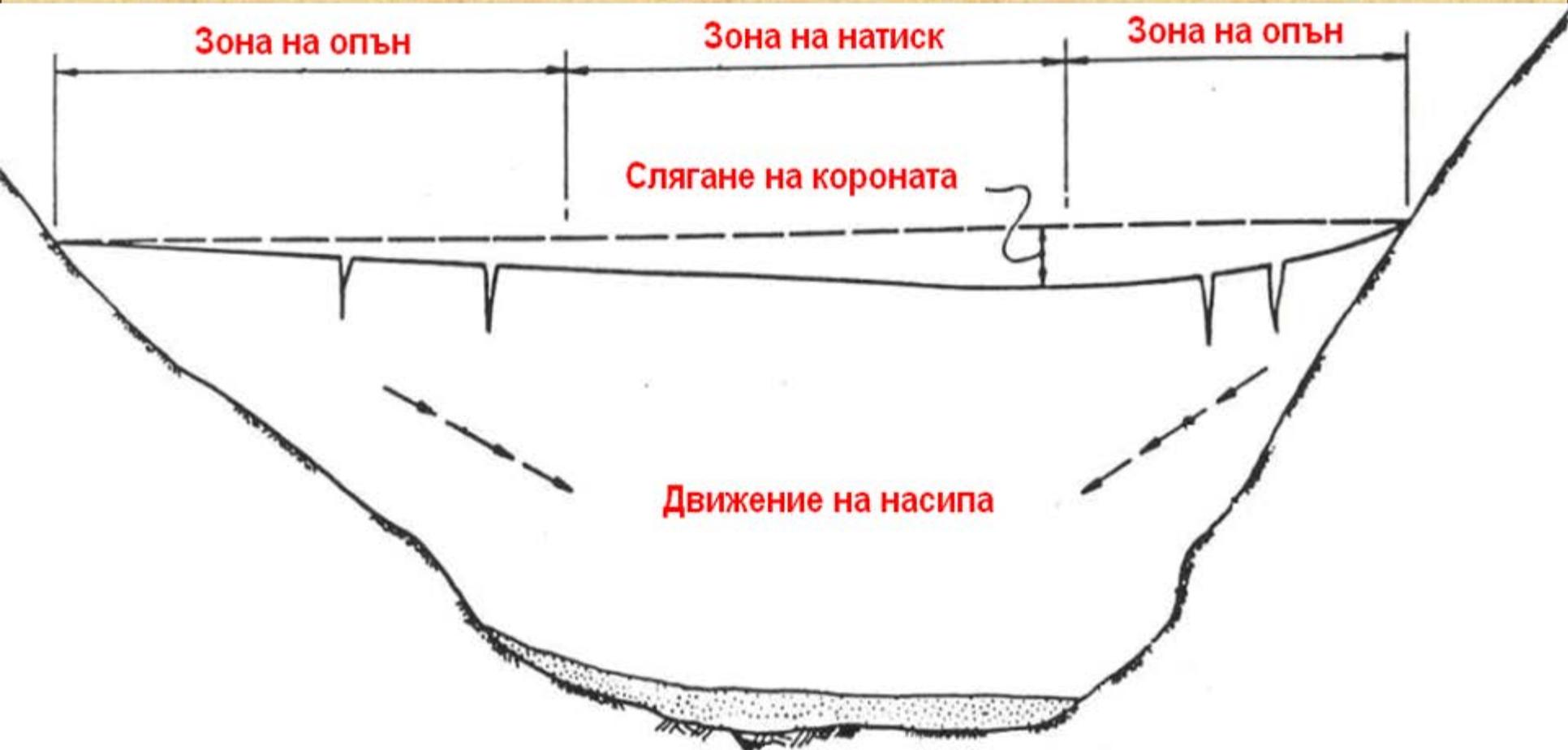
Сеизмични повреди и разрушение на насипните стени:

- Нарушение целостта на тялото на стената вследствие разломни движения в основата;
- Намаляване на запаса срещу преливане вследствие слягане на короната или тектонски движения в основата;
- Загуба на устойчивост на откосите при земетръс;
- Свличане на части от тялото или основата на стената;
- Филтрация през тялото на стената или основата по формирани сеизмични пукнатини;
- Преливане през стената от слягане или сеизмична вълна;
- Преливане през стената от свличане на земни маси в язовира;
- Втечняване на основата или тялото на стената.

► КОМБИНАЦИЯ ОТ СЕИЗМИЧНИ ПОВРЕДИ!!!

II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (3-10)

Деформационни условия **ПРЕДИ** земетръс.



II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (4-10)

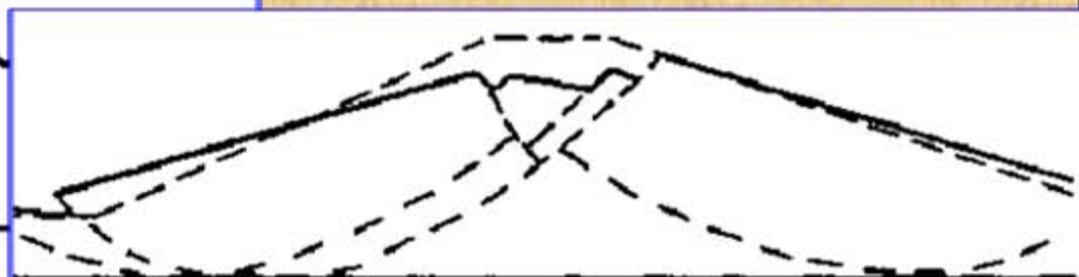
Деформации на стената **ПО ВРЕМЕ** на земетръс.



$T = T_1$ →



$T = T_2$ ←



$T = T_3$ →

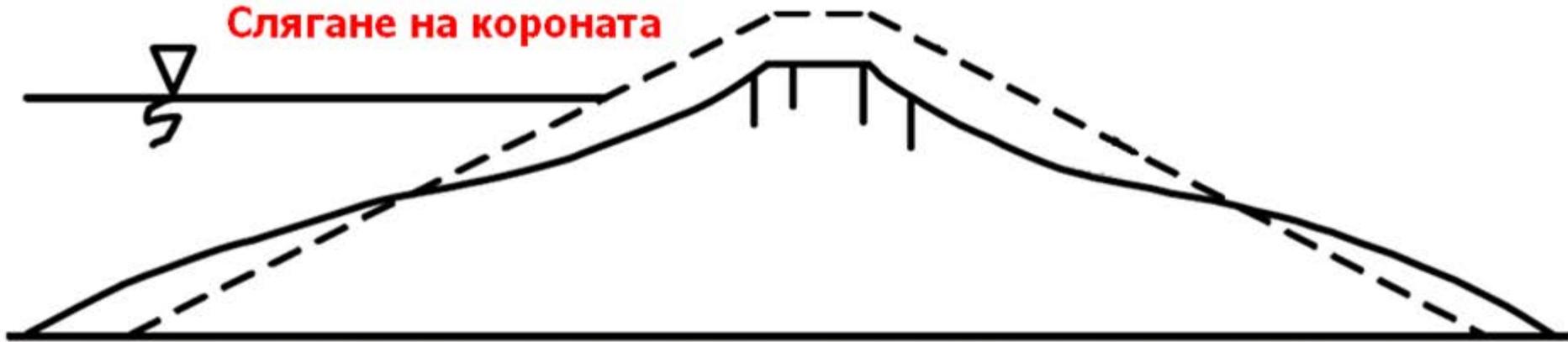


След време $T = T_i$

II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (5-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс

Слягане на короната

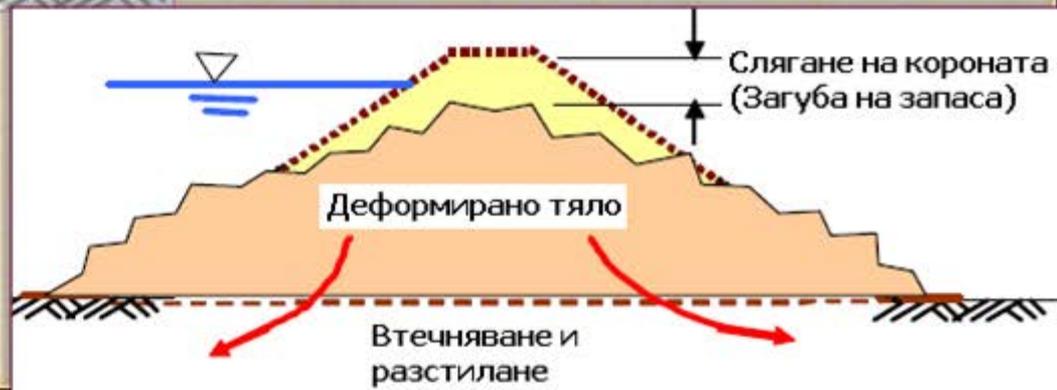
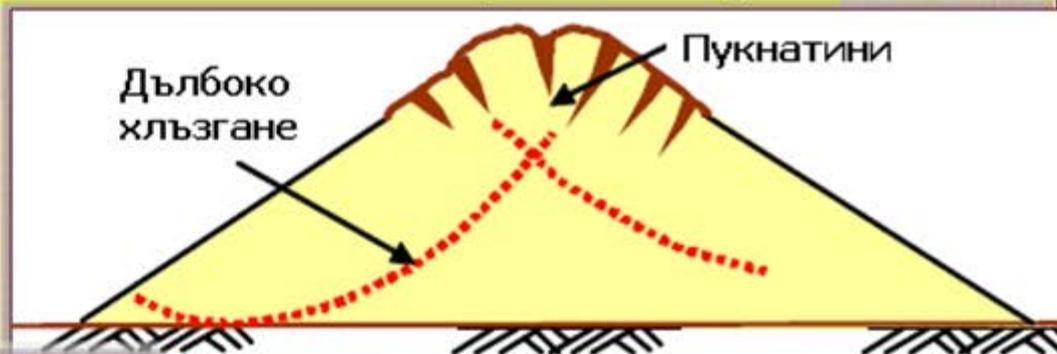


Неустойчив откос



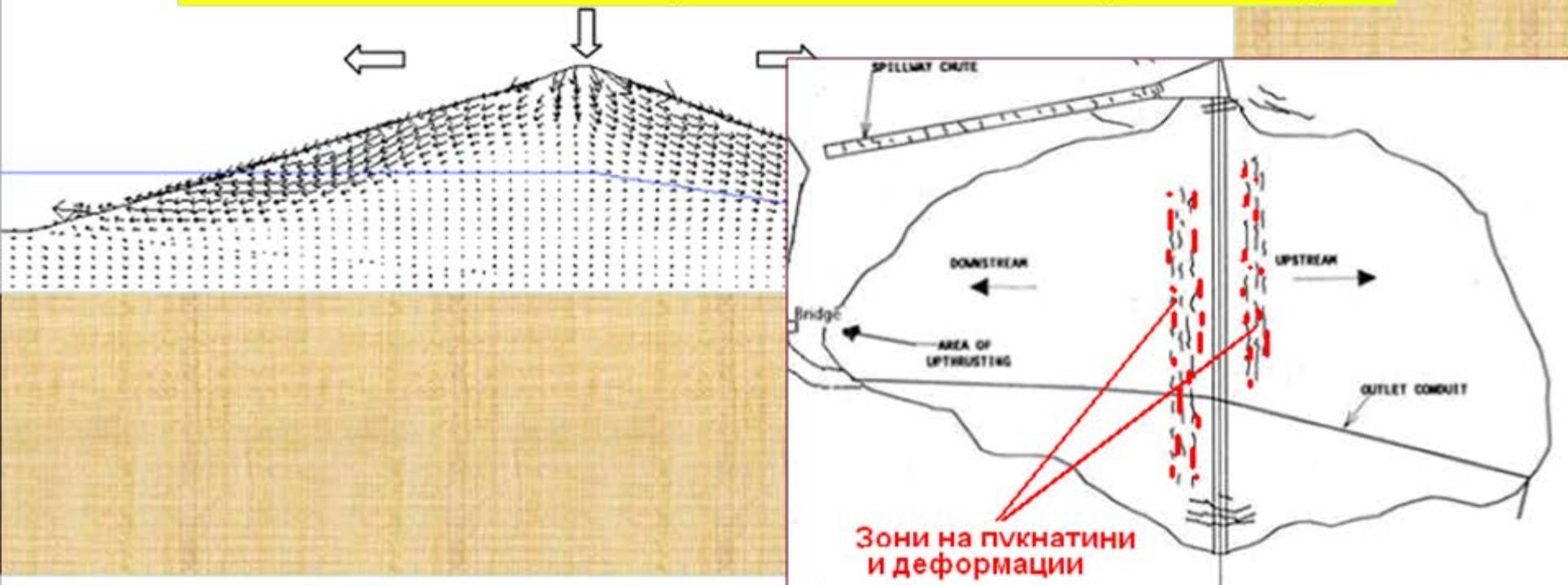
II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (6-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс

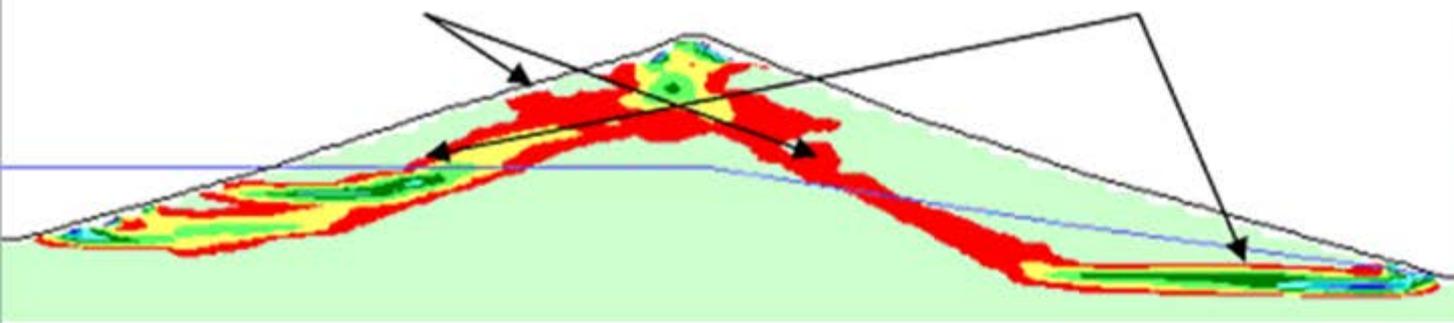


II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (7-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс



Деформация на срязване



II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (8-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс



2001 Bhuj EQ, India, $M=6.9$



II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (9-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс



2008 Wenchuan EQ, China, M=7.9

2001 Bhuj EQ, India, M=6.9



II. Основни типове ефекти, повреди и разрушение на насипните стени при земетръс (10-10)

Основни типове повреди по стената при земетръс

1971 San Fernando EQ, $M=6.7$

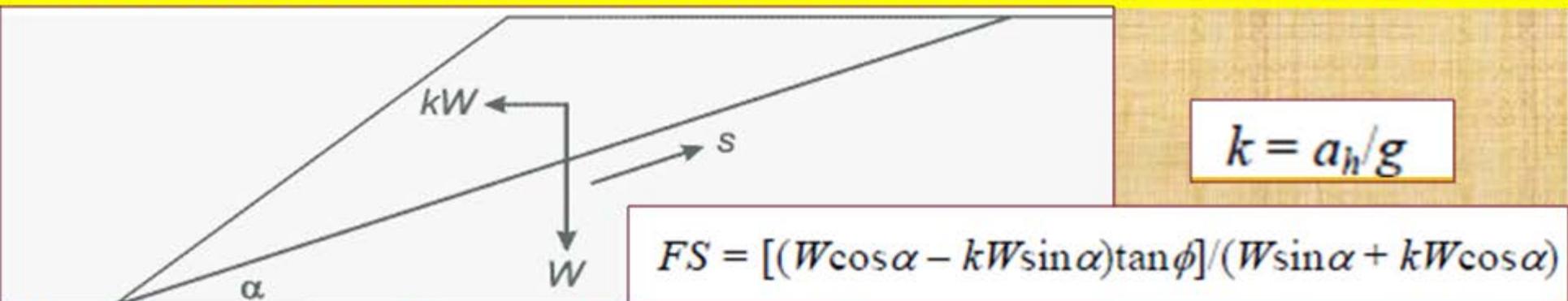


III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (1-12)

- 1. ПСЕВДОСТАТИЧЕН АНАЛИЗ (Pseudo-static analysis).**
- 2. ПСЕВДОДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ (Pseudo-dynamic analysis).**
- 3. АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНИЯТА И ДЕФОРМАЦИИТЕ (Stress-deformation analysis).**
- 4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ(невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis).**

III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (2-12)

1. ПСЕВДОСТАТИЧЕН АНАЛИЗ (Pseudostatic analysis) (1-2)



Investigator	Recommended pseudostatic coefficient (k)	Recommended (FS)	Calibration conditions
Terzhagi (1950)	0.1 (R-F = IX) 0.2 (R-F = X) 0.5 (R-F > X)	> 1.0	Unspecified
Seed (1979)	0.10 (M = 6.50) 0.15 (M = 8.25)	> 1.15	< 1 m displacement in earth dams
Marcuson (1981)	$0.33-0.50 \times \text{PGA}/g$	> 1.0	Unspecified
Hynes-Griffin and Franklin (1984)	$0.50 \times \text{PGA}/g$	> 1.0	< 1 m displacement in earth dams
California Division of Mines and Geology (1997)	0.15	> 1.1	Unspecified; probably based on < 1 m displacement in dams

III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (3-12)

1. ПСЕВДОСТАТИЧЕН АНАЛИЗ (Pseudostatic analysis) (2-2)

Избор на k : $k = \text{const. ?}$
 $k = f(H) ?$

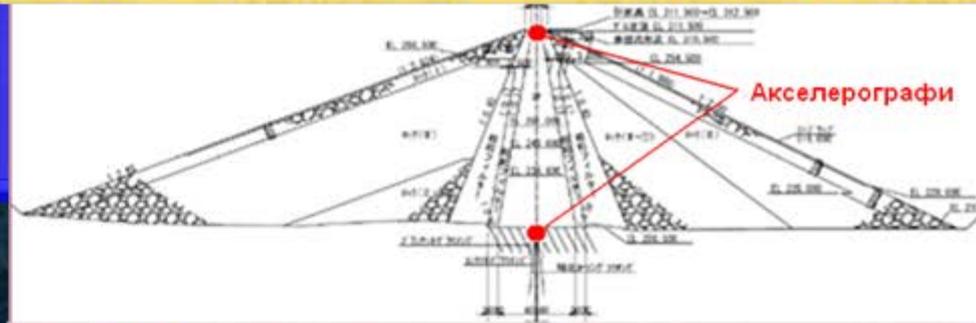


SURIKAMIGAVA Dam-Япония

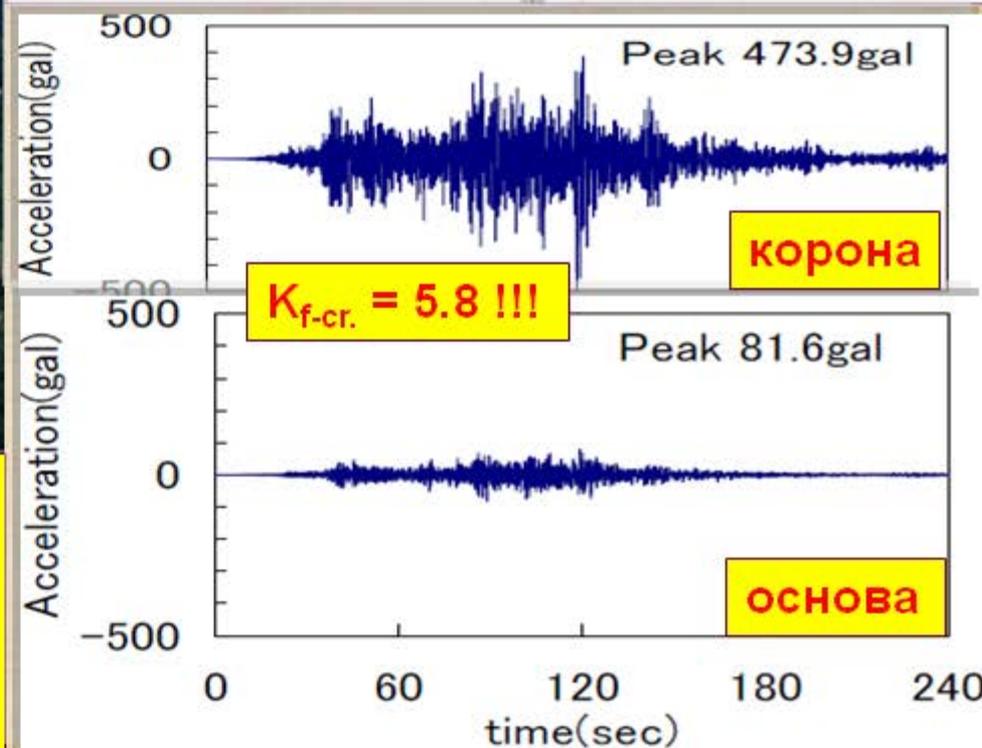
RFD, $H=52.5\text{m}$ (2006г.), Tohoku EQ, 2011

$L_f=80\text{km}$, $M=9.0$, $PHGA\sim 0.09\text{g}$,

Незначителни повреди.

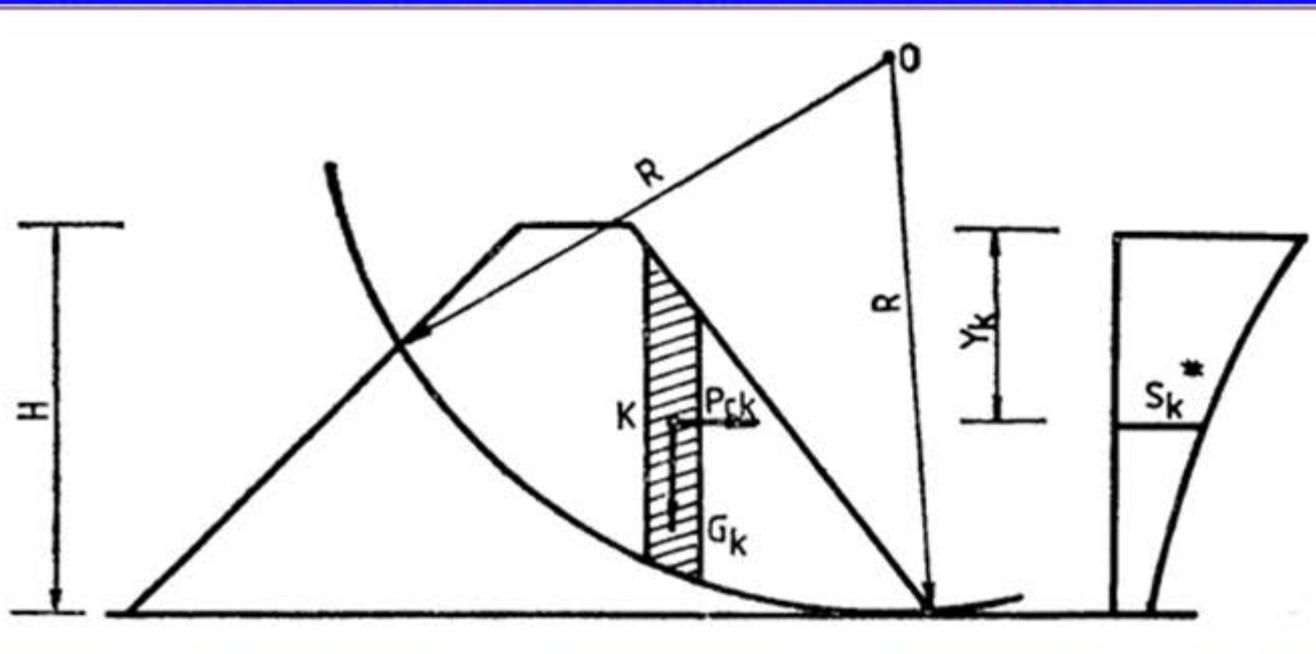


Акселерографи



III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (4-12)

2. ПСЕВДОДИНАМИЧЕН АНАЛИЗ (Pseudo-dynamic analysis)



$$P_{ck} = G_k S_k^*$$

$$S_k^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_{ik}^*)^2}$$

$$S_{ik}^* = f(PGA, T_i, \eta_{ik})$$

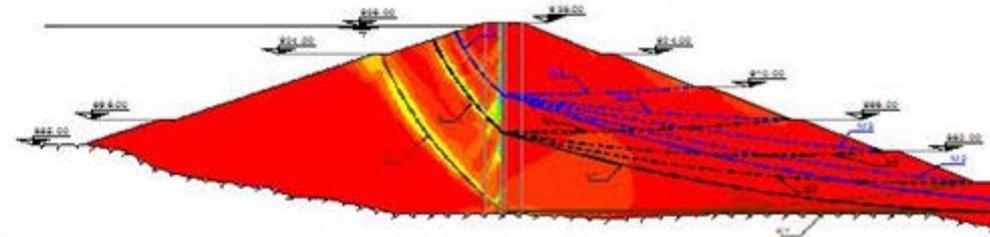
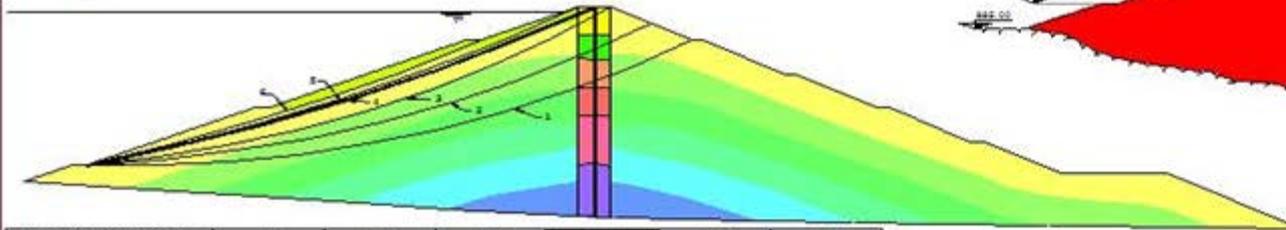
III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (5-12)

3. АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНИЯТА И ДЕФОРМАЦИИТЕ (Stress-deformation analysis - FEM, BEM, FDM) - 1

Яз. стена "РАКОЧЕВИЦА"

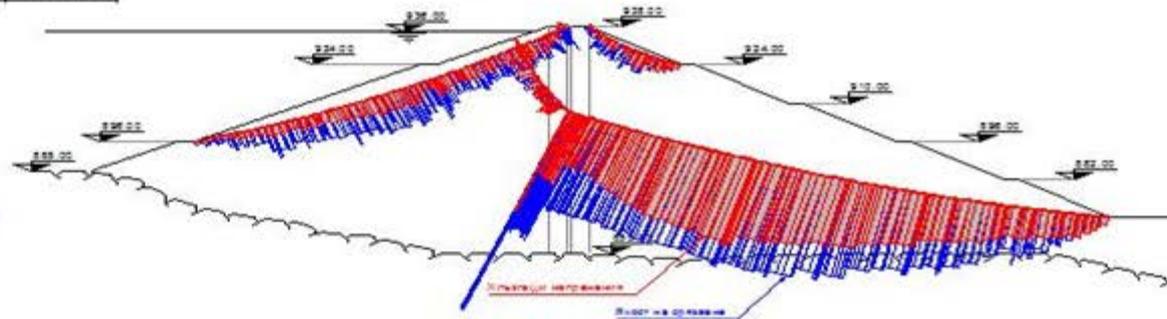
Safety Factor for the Up-stream Slope

Global Stability Analysis of the Dam



Секционна позиция Табла на кв. метр, м/с	Ф 1 24.8233	Ф 2 43.5544	Ф 3 38.7345	Ф 4 20.3833	Ф 5 14.1240	Ф 6 8.3433
Средна деформация	0.2470	0.4224	0.2490	0.1570	0.1000	0.1000
Средна деформация А	0.2470	0.4224	0.2490	0.1570	0.1000	0.1000
Средна деформация Б	0.2470	0.4224	0.2490	0.1570	0.1000	0.1000
Ср. крутизна издържан	0.2822	0.3224	0.2804	0.1666	0.1071	0.1000

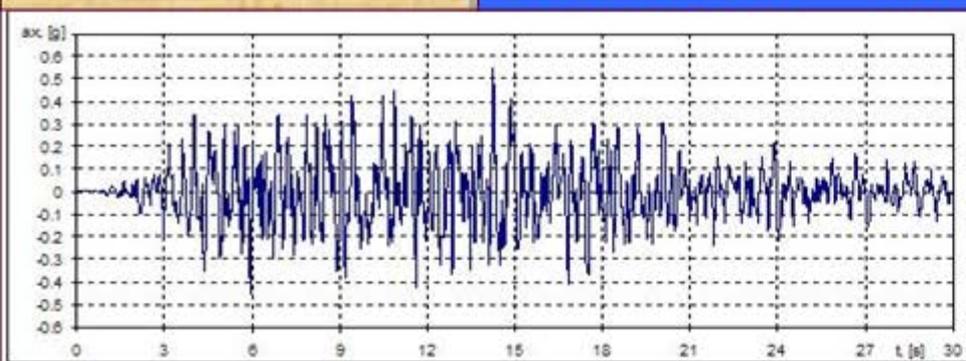
Slope Stability Analysis by FEM



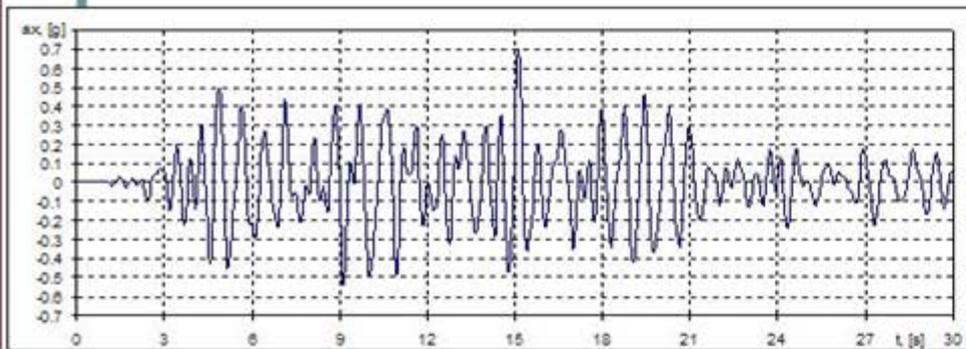
III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (6-12)

3. АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНИЯТА И ДЕФОРМАЦИИТЕ (Stress-deformation analysis - FEM, BEM, FDM) - 2

Яз. стена "РАКОЧЕВИЦА"

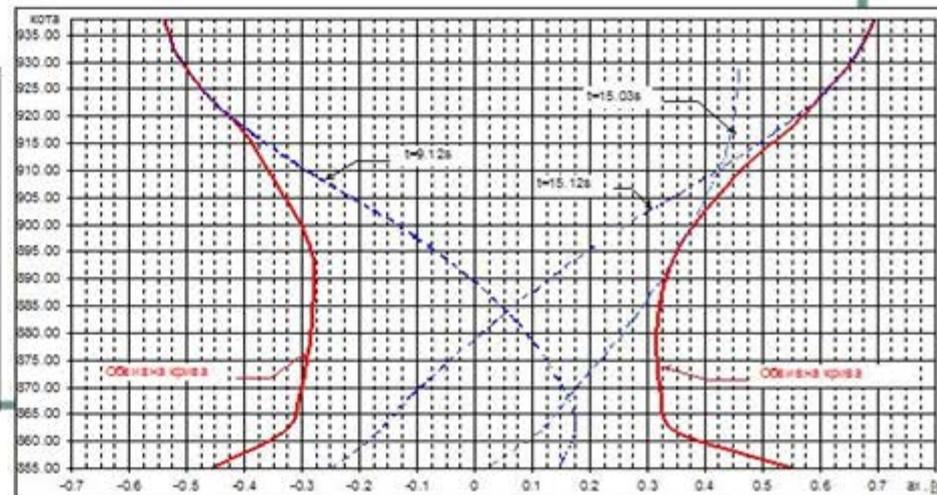


Accelerogram in the base of the dam



Acceleration on the crown of the dam

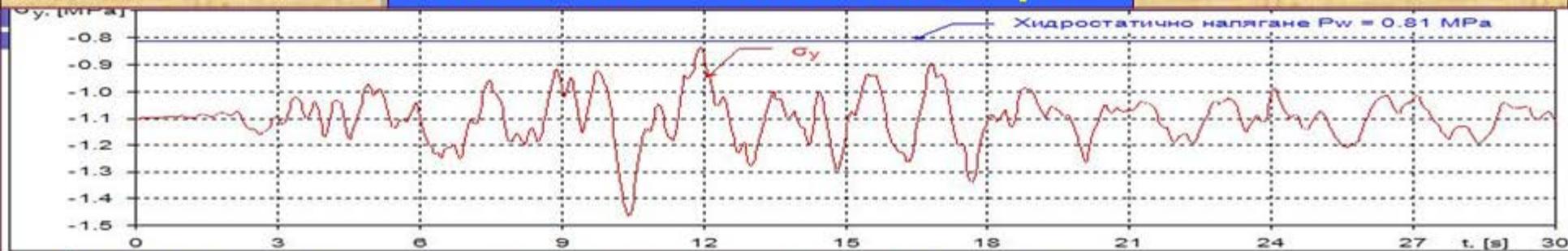
Accelerations on the height of the dam for R=10000 years.



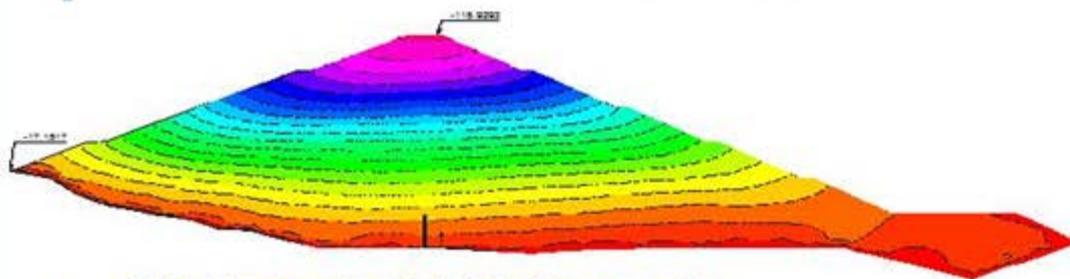
III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (7-12)

3. АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНИЯТА И ДЕФОРМАЦИИТЕ (Stress-deformation analysis - FEM, BEM, FDM) - 3

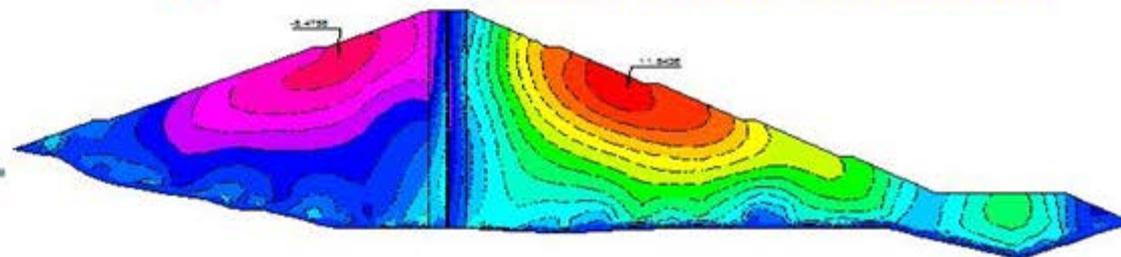
Яз. стена "РАКОЧЕВИЦА"



Vertical stress in the contact diaphragm-foundation. Comparison with the hydrostatic pressure



Seismic horizontal displacements



Seismic vertical displacements

III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (8-12)

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ (невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis) - 1

4.1 Опростени методи: Newmark method (1965);
Makdisi and Seed (1978);
Jibson (2007);
Bray and Travasarou (2007).

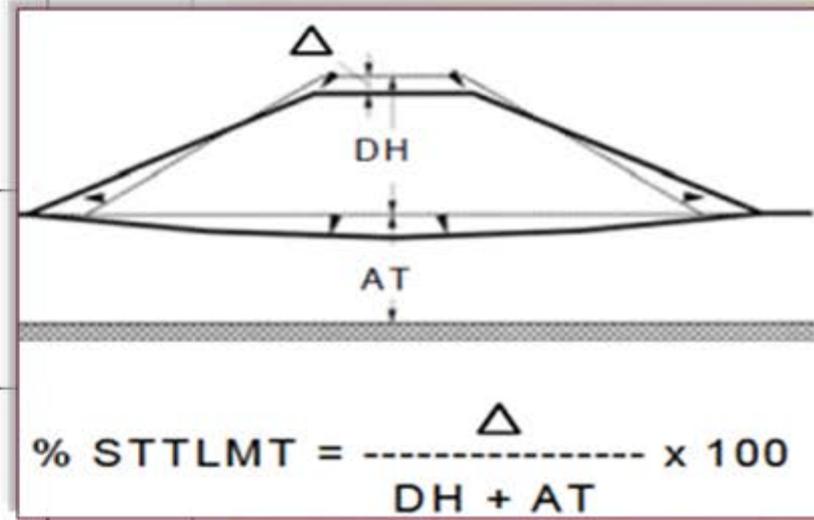
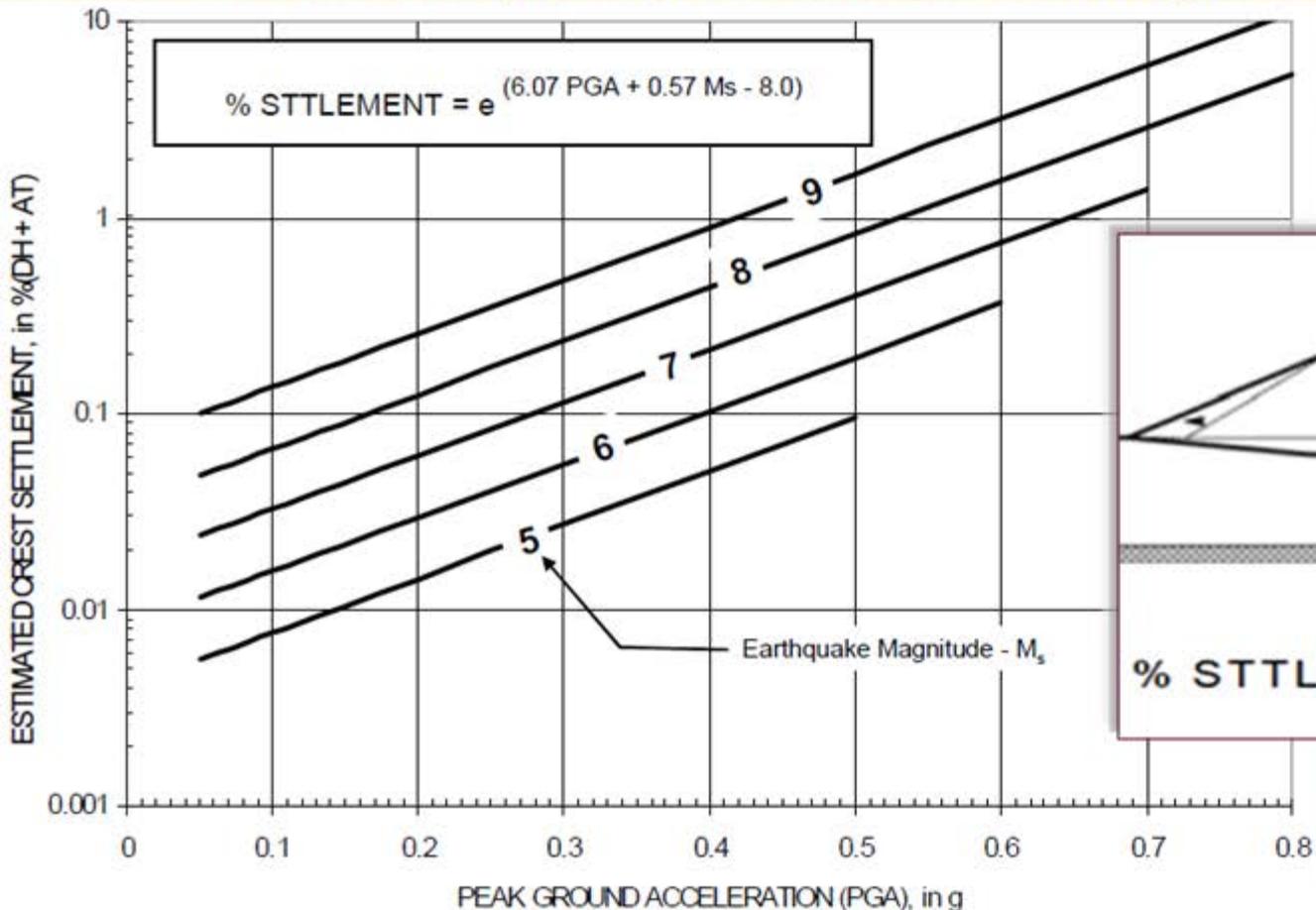
► **Jibson (2007):** $\log D_n = -2.710 + \log \left[\left(1 - a_c / a_{max} \right)^{2.335} \times \left(a_c / a_{max} \right)^{-1.478} \right] + 0.424 M$

► **Bray and Travasarou (2007):** $\ln D = -1.10 - 2.83 \ln (k_y) - 0.333 (\ln (k_y))^2 + 0.566 \ln (k_y) \ln (S_a (1.5 T_s)) + 3.04 \ln (S_a (1.5 T_s)) - 0.244 (\ln (S_a (1.5 T_s)))^2 + 1.50 T_s + 0.278 (M - 7)$ при $T_s = 0.05$ to $2s$

III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (9-12)

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ (невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis) - 2

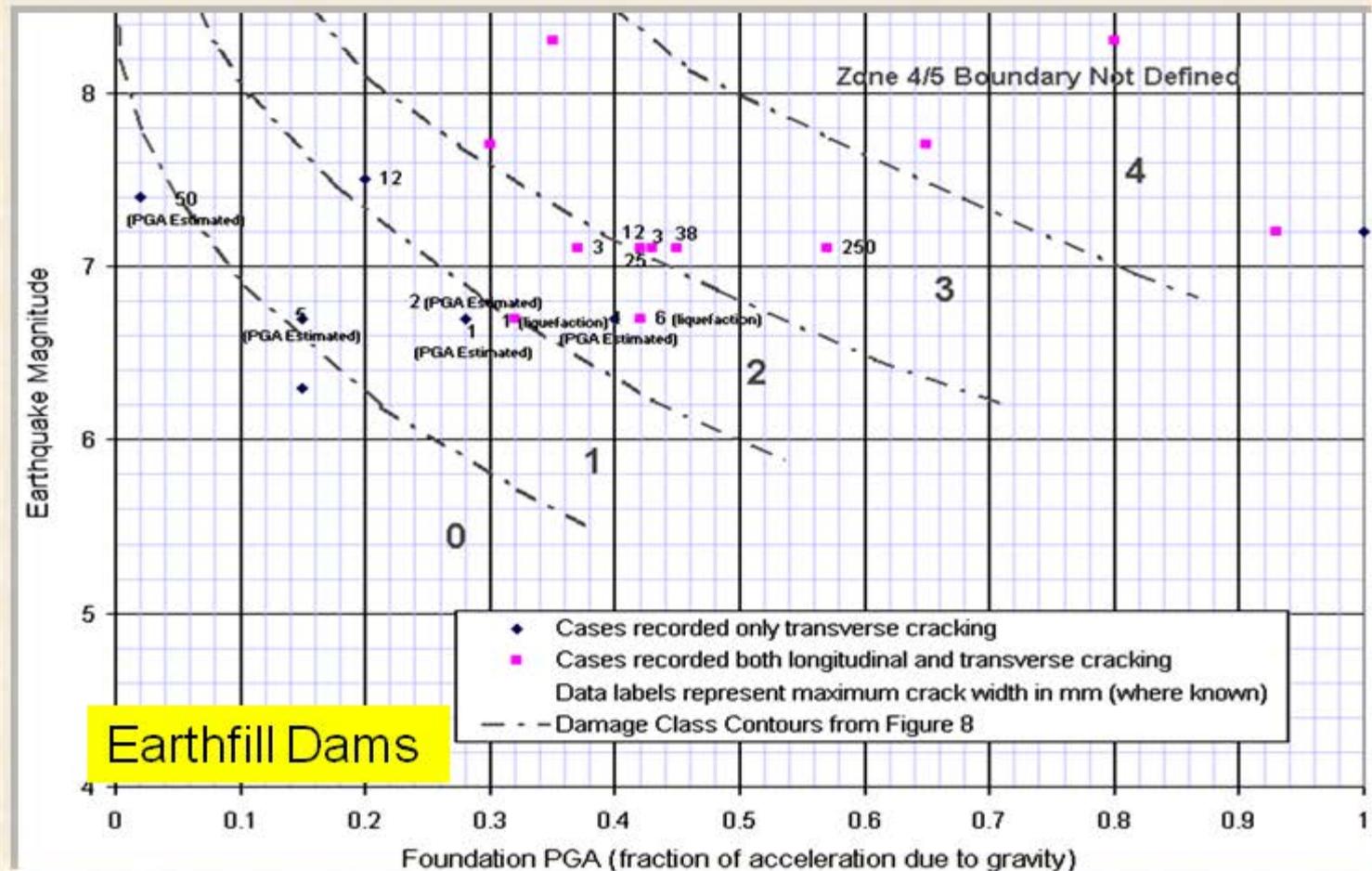
4.2 Емпирични методи: Swaisgood (1998, 2003, 2014)



III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (10-12)

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ (невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis) - 3

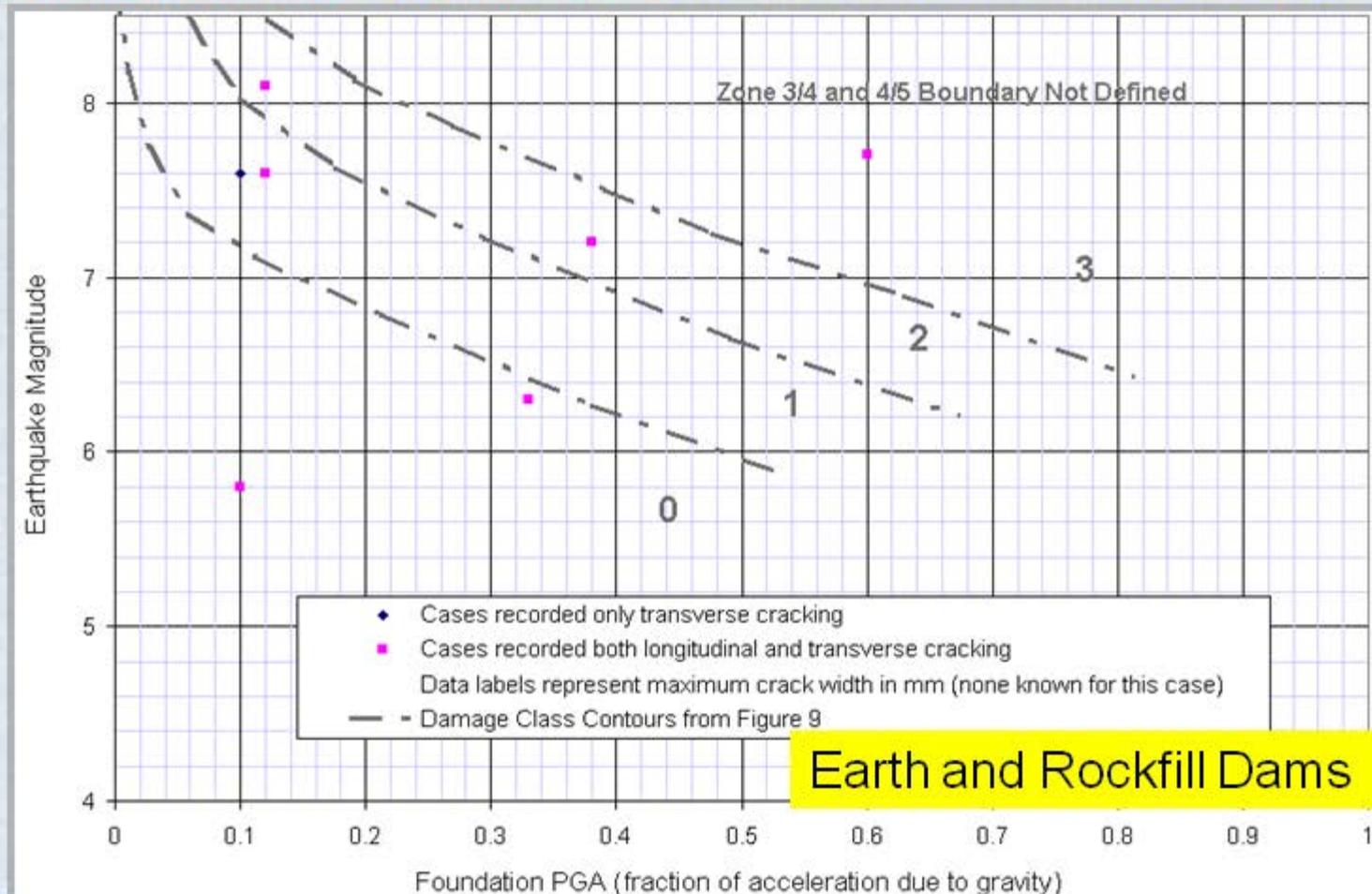
4.2 Емпирични методи: Pells and Fell (2003, 2015)



III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (11-12)

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ (невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis) - 4

4.2 Емпирични методи: Pells and Fell (2003, 2015)



III. Методи на анализ и прогноза на поведението на насипни стени при земетръс (12-12)

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОСТОЯННИТЕ (невъзвратими) ПРЕМЕСТВАНИЯ (Permanent- displacement analysis) - 5

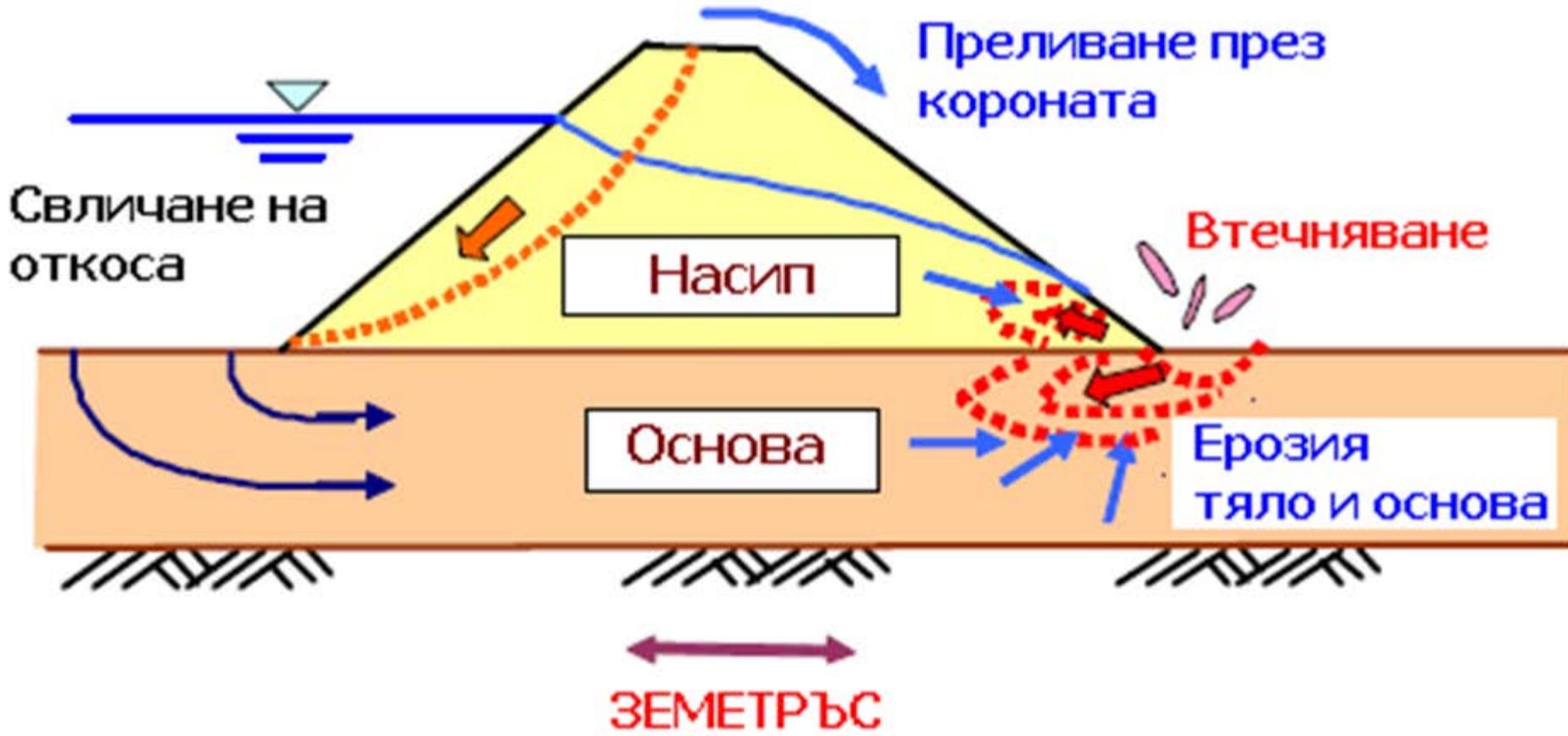
4.2 Емпирични методи: Pells and Fell (2003, 2015)

Damage Class		Maximum Longitudinal Crack Width ⁽¹⁾ (mm)	Maximum Relative Crest Settlement ⁽²⁾ (percent)
Number	Description		
0	No or Slight	< 10	< 0.03
1	Minor	10 to 30	0.03 to 0.2
2	Moderate	30 to 80	0.2 to 0.5
3	Major	80 to 150	0.5 to 1.5
4	Severe	150 to 500	1.5 to 5
5	Collapse	> 500	> 5

Notes: (1) Maximum likely crack width is taken as the maximum width of any longitudinal crack that occurs.
 (2) Maximum relative crest settlement is expressed as a percentage of the structural height.

Damage Class		Probability of Transverse Cracking	Maximum Likely Crack Width at the Crest (mm)
Number	Description		
0	No or Slight	0.001 to 0.01	5 to 20
1	Minor	0.01 to 0.05	20 to 50
2	Moderate	0.05 to 0.10	50 to 75
3	Major	0.2 to 0.25	100 to 125
4	Severe	0.5 to 0.6	150 to 175

IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на насипните стени (1-8)



IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на насипните стени (2-8)

Конструктивни мерки (1-2):

- Укрепване на откосите с материал с голяма якост на срязване;
- По-полегати откоси във връхната част на стената;
- Уширяване на короната;
- Укрепване на основата в петите на откосите;
- Контрафорси в тялото на стената и основата от едрозърнест материал или баластра;
- Хоризонтални антисеизмични пояси от едрозърнест материал;
- Подмяна на части от тялото на язовирните стени;

IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на насипните стени (3-8)

Конструктивни мерки (2-2):

- Повишаване на запаса от НВН до кота корона;
- Стопери на пукнатини и филтри против вътрешна ерозия;
- Подходящо разположени дренажи с оглед понижаване на депресионната линия;
- Допълнително уплътнение на части от стената и основата;
- Инжекции в контактните зони на насипа с бетонови конструкции и основата;
- Адекватно оразмеряване на преливно-изпускателната система.

IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на насипните стени (4-8)

Неконструктивни мерки:

- Временно ограничение на водното ниво в язовира;
- Постоянно ограничение на водното ниво в язовира;
- Изграждане на системи за ранно предупреждение;
- Актуализиране на аварийните планове;
- Временна или постоянна евакуация на хора;
- Инспекция след земетръс (USSD Guidelines, 2003):

$M \geq 4.0$, $R=40\text{km}$;

$M \geq 5.0$, $R=80\text{km}$;

$M \geq 6.0$, $R=120\text{km}$;

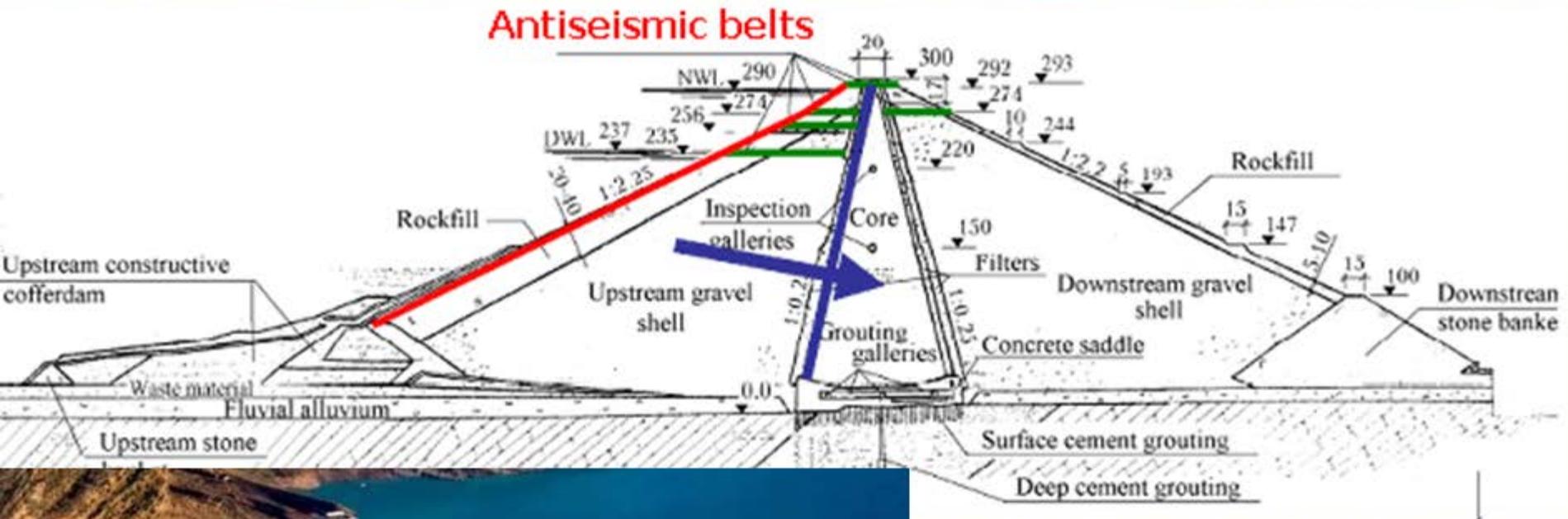
$M \geq 7.0$, $R=200\text{km}$;

$M \geq 8.0$, $R=320\text{km}$ (незабавна инспекция).

IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА НАСИПНИТЕ СТЕНИ

(5-8)

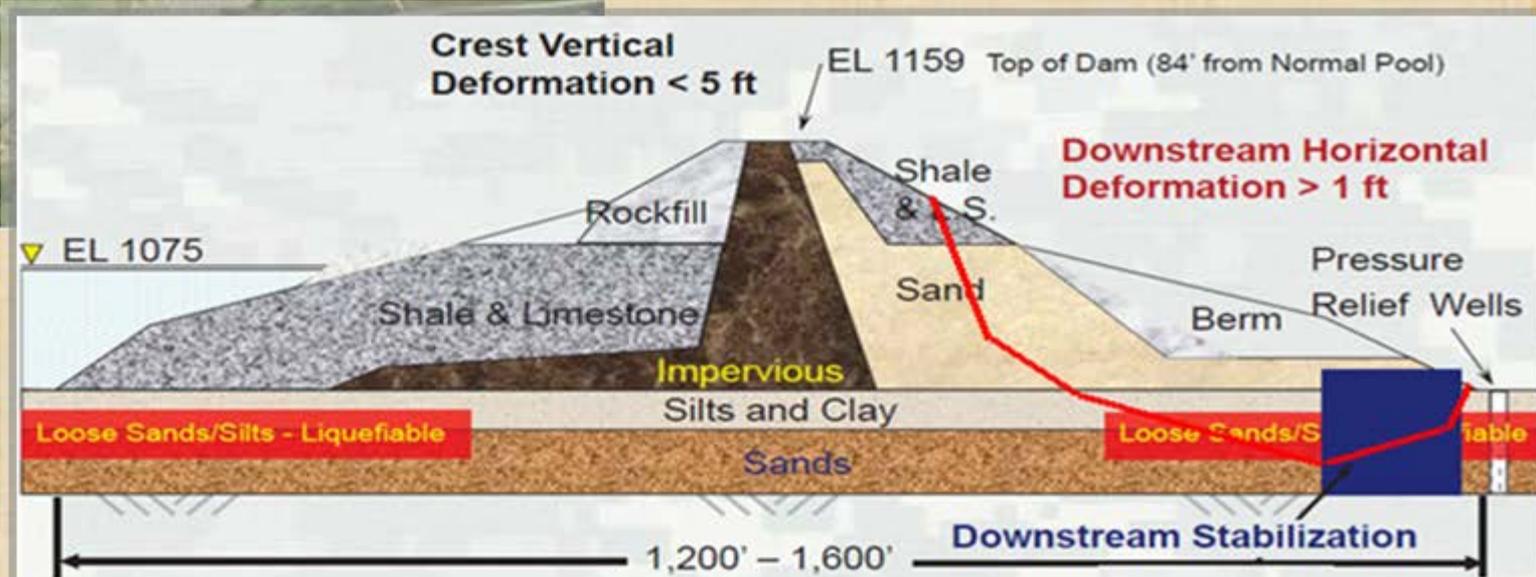
▶ Антисеизмични пояси – яз. стена Нурек (300m)



IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА НАСИПНИТЕ СТЕНИ

(6-8)

► Бентонитова стена, възд. откос – Tuttle Creek Dam(43m)



IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА НАСИПНИТЕ СТЕНИ

(7-8)



► Възстановяване на короната

► Повишаване на запаса с парапет



(USACE, 2004)

IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА НАСИПНИТЕ СТЕНИ

(8-8)

▶ Третиране на
надлъжни пукнатини



▶ Рехабилитация на
короната



V. Основни изводи и препоръки за практиката

V.1 ОБЩИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

- Основни сеизмични повреди: напукване, странично разширение, слягане на короната;
- Общо взето насипните язовирни стени понасят добре земетръс;
- Напуквания в областта на короната и стената не водят непременно до разрушение;
- Значително увеличение на ускорението по височина от основата към короната на стената;
- Язовир с голям обем или висок напор пред стената може да доведе до RTS.

V. Основни изводи и препоръки за практиката

V.2 ЕКСПЕРТНИ КОЛИЧЕСТВЕНИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

► Кога(кои) насипни стени са УЯЗВИМИ при земетръс?

- Стени с елементи или основа от водонаситени пясъкливи почви
- Стени от насип чрез хидравлично намяване
- Стени от недобре уплътнени насипи
- Земнонасипни стени с $H \leq 30m$
- Стени с малък запас над кота НВРВН
- Стръмни откоси във връхната част на стената
- Тънки ядра и тънки филтърни зони
- Тектонски разлом в обсега на стената.

V. Основни изводи и препоръки за практиката

V.2 ЕКСПЕРТНИ КОЛИЧЕСТВЕНИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

► Кога(кои) насипни стени са УСТОЙЧИВИ при земетръс?

- Добре уплътнени, без втечняващи се почви в тялото и основата
- Основата е от глинести почви или скала ($M = 6.0-8.0$, $PHGA=0.30g-0.80g$)
- $PHGA \leq 0.15g$ за земнонасипни стени и $\leq 0.30g$ за каменонасипни стени
- $K_{static} \geq 1.5$ за всички хлъзг. повърхнини
- Запасът е равен на 3-5% от H стена.

► Кои методи за анализ са най-подходящи?

V. Основни изводи и препоръки за практиката

V.3 ОТНОСНО ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА НАСИПНИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ В БЪЛГАРИЯ В БЪДЕЩЕ

- Нива на сеизмичност и нормативна база в РБ
- Необходимост от текуща оценка на сеизмичния риск за язовирните стени поради:
 - актуализиране на сеизмичния hazard;
 - промени в стените вследствие минали земетресения;
 - развитие на критериите при асеизмично проектиране;
 - нарастване на сеизмичния риск във времето;
 - евентуална деградация на материалите на основата и тялото на стената.

Исползвана литература

USSD, Observed Performance of Dams During Earthquakes, USSD, 2014.

Jibson, Methods for assessing the stability of slopes during earthquake, 2011.

BRAY, J. D., Seismic Performance Considerations for Dams and Reservoirs, 2012.

R. Singh and D. Roy, Estimation of Earthquake-Induced Crest Settlements of Embankments, American J. of Engineering and Applied Sciences 2 (3), 2009.

USBR, 2012, Methods to Evaluate Seismic Risks for Embankments.

NARITA, K. (2000), Design and Construction of Embankment Dams Dept. of Civil Eng., Aich. Inst. of Technology.

Yamaguchi et al., Safety inspections and seismic behavior of embankment dams during 2011 Tohoku, EQ, Soil and foundations, 2012, 52(5).

Tani, Shigeru. 2000, Earthquake Damage to Fill Dams in Japan, JARQ 34, 39-48(2000).

Francke C. Walberg, CASE STUDY- SEISMIC RETROFIT OF TUTTLE CREEK DAM, 2012

Swaigood, J. Embankment dam deformations caused by earthquakes, *Proc., 2003 Pacific Conf. on EQ Eng., New Zealand.*

USACE, Seismic Risks for Embankments, 2015.

Wieland, M., Chen Houqun, Lessons learnt from the Wenchuan earthquake, International Water Power, 2009.

Wieland, M. (2011), Seismic Aspects of Large Dams, Poyry PPT.

Wieland, M. (2014) "Seismic hazard and seismic design and safety aspects of large dam projects", *Proc. Second European Conf. and Earthquake Engng, Istanbul, Turkey, 2014.*

Wieland, M. (2009) CONCRETE FACE ROCKFILL DAMS IN HIGHLY SEISMIC REGIONS.

R. Singh and D. Roy. (2009), Estimation of Earthquake-Induced Crest Settlements of Embankments, American J. of Engineering and Applied Sciences 2 (3).