

СЕИЗМИЧНИ АСПЕКТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА БЕТОННИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ



Проф. д-р инж. ВАНГЕЛ ВАСИЛЕВ

СЕИЗМИЧНИ АСПЕКТИ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА БЕТОННИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ

- I. Уязвими места на бетоновите стени**
- II. Бетонови стени, претърпели силни земетресения**
- III. Сеизмичност, предизвикана от язовира**
- IV. Мерки за повишаване на сеизмичната устойчивост на бетоновите стени**
- V. Заключениелни бележки**

I. УЯЗВИМИ МЕСТА НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ ПРИ ЗЕМЕТРЪС (1-3)

ГРАВИТАЧНИ БЕТОНОВИ СТЕНИ

- опън/срязване на бетона в стената
- опън/срязване по работни фуги
- sliding/rocking в областта на короната
- хлъзгане контакт “скала-бетон”
- обръщане-смачкване скала/бетон (смесено завъртане)

ДЪГОВИ СТЕНИ

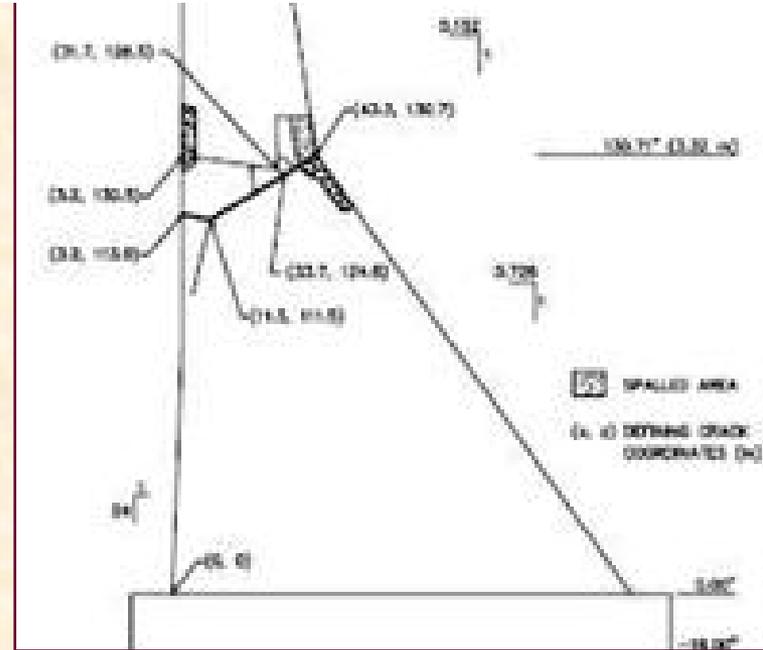
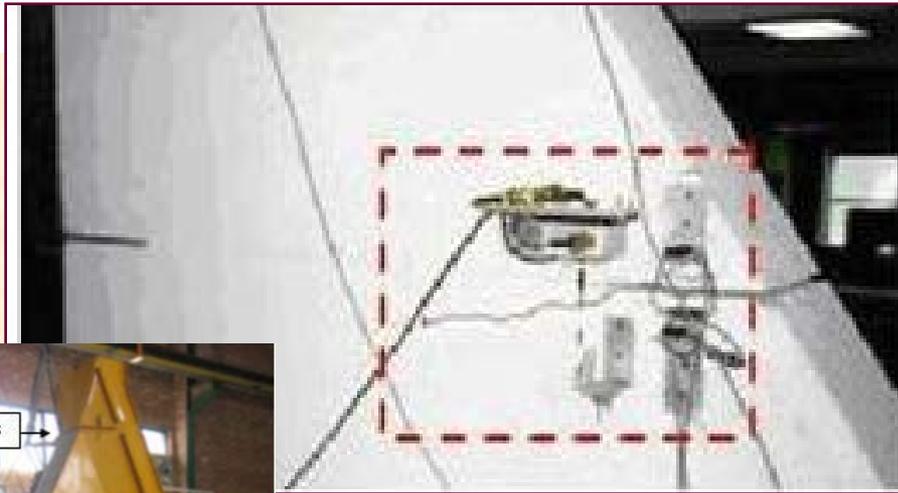
- надвишаване на динамичната якост на опън на бетона
- хлъзгане контакт “скала-бетон”
- устойчивост опорен скален блок
- отваряне на деформационни фуги

НЕБЛАГОПРИЯТНИ ФАКТОРИ:

1. Възможна деградация на бетона и скалната основа
2. Увеличени сеизмични натоварвания във времето.

I. УЯЗВИМИ МЕСТА НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ ПРИ ЗЕМЕТРЪС (2-3)

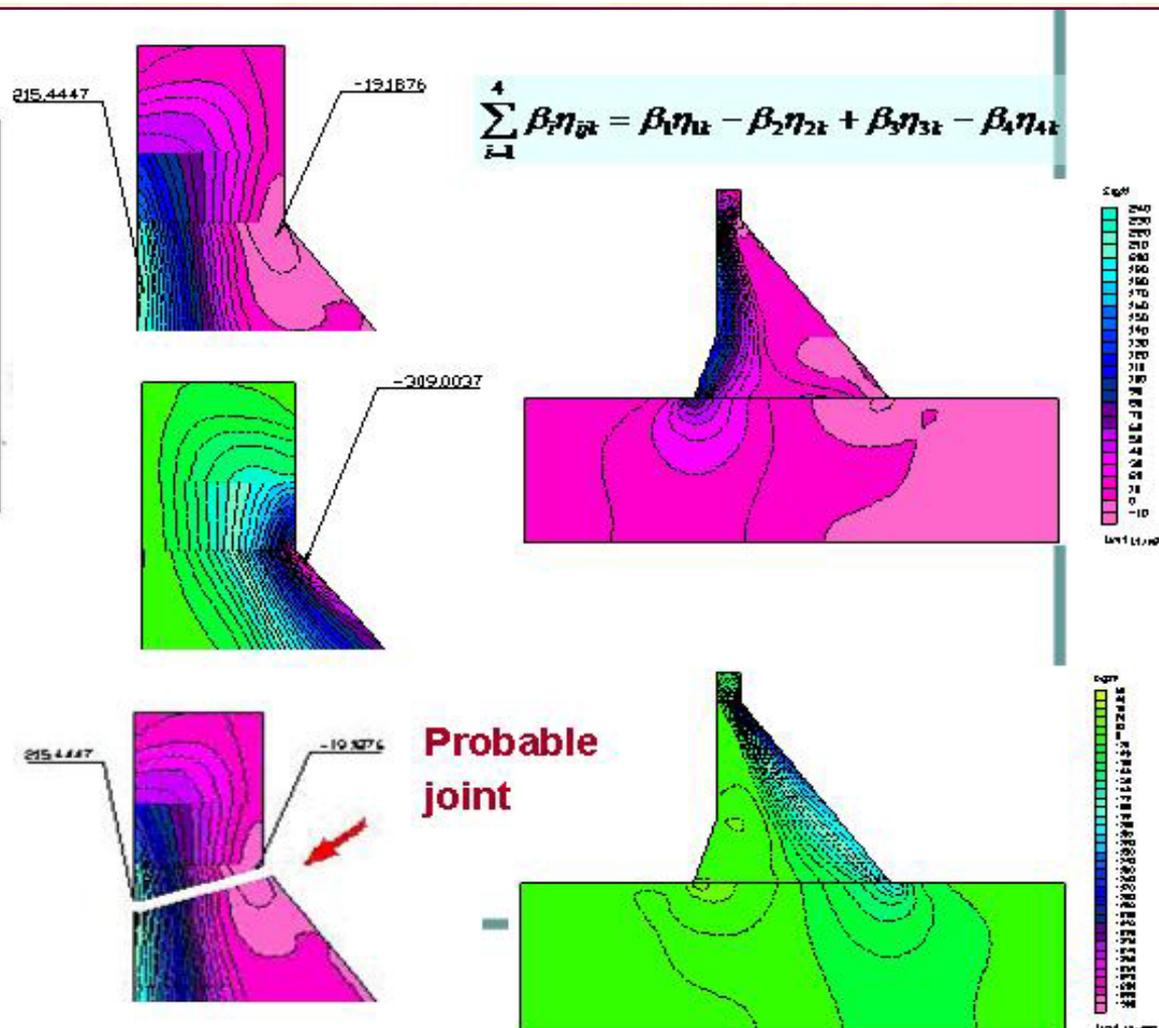
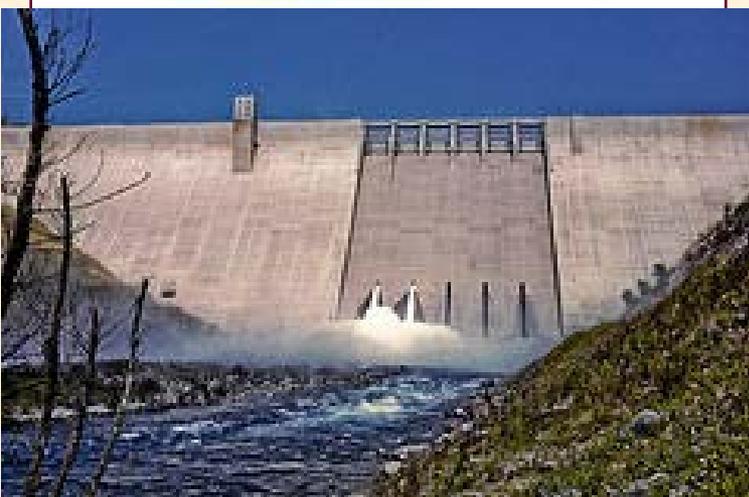
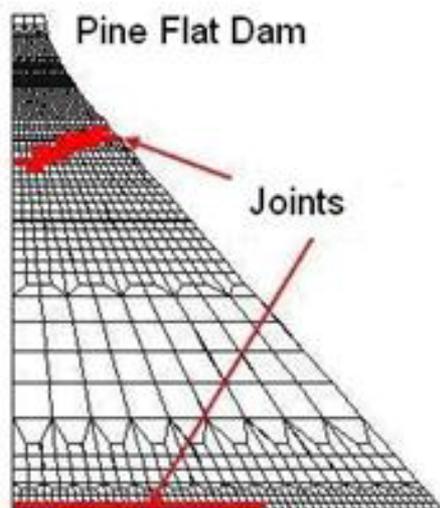
Физически модел на яз. стена КОУНА (Индия)



Физически модел на яз. стена SEFID RUD (Иран)

I. УЯЗВИМИ МЕСТА НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ ПРИ ЗЕМЕТРЪС (3-3)

Числени модели на яз. ст. PINE FLAT (USA) и ЧЕРНИ ОСЪМ (БГ)

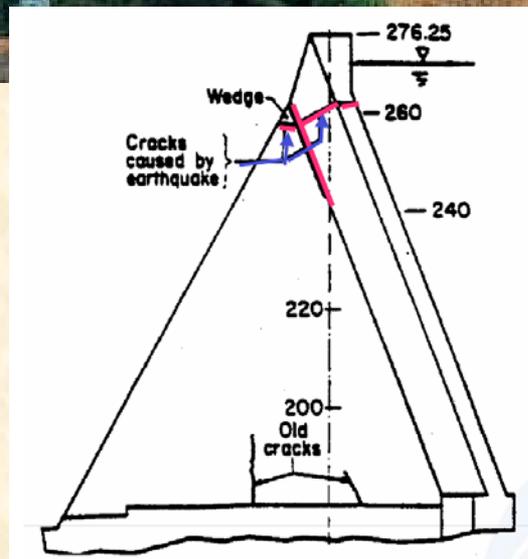
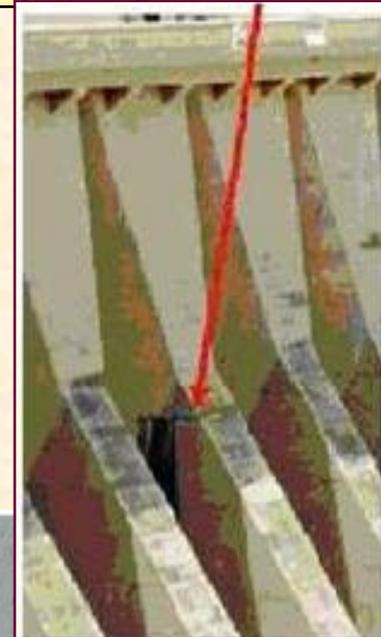


II. БЕТОНОВИ СТЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(1-8)

Sefid Rud Dam - Иран

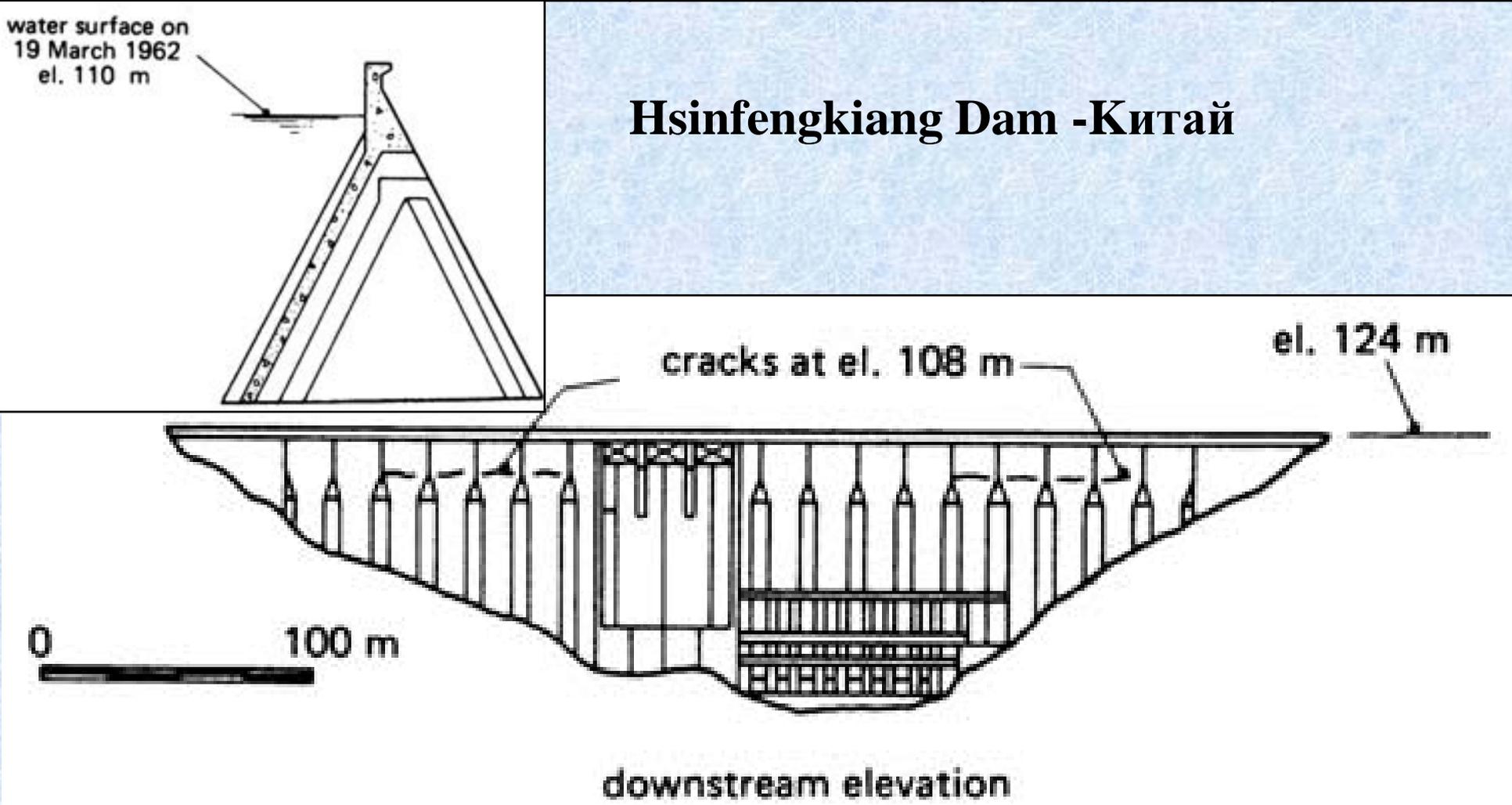
Sefid Rud (1962)	Iran	H=106.0m	Lk=417m	Manjil Jun 21, 1990	Lf=До стената	M=7.7	PHGA 0.77g	Хор. пукн. корона стена
---------------------	------	----------	---------	------------------------	------------------	-------	---------------	----------------------------



II. БЕТОНОВИ СЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ - ПРИМЕРИ

(2-8)

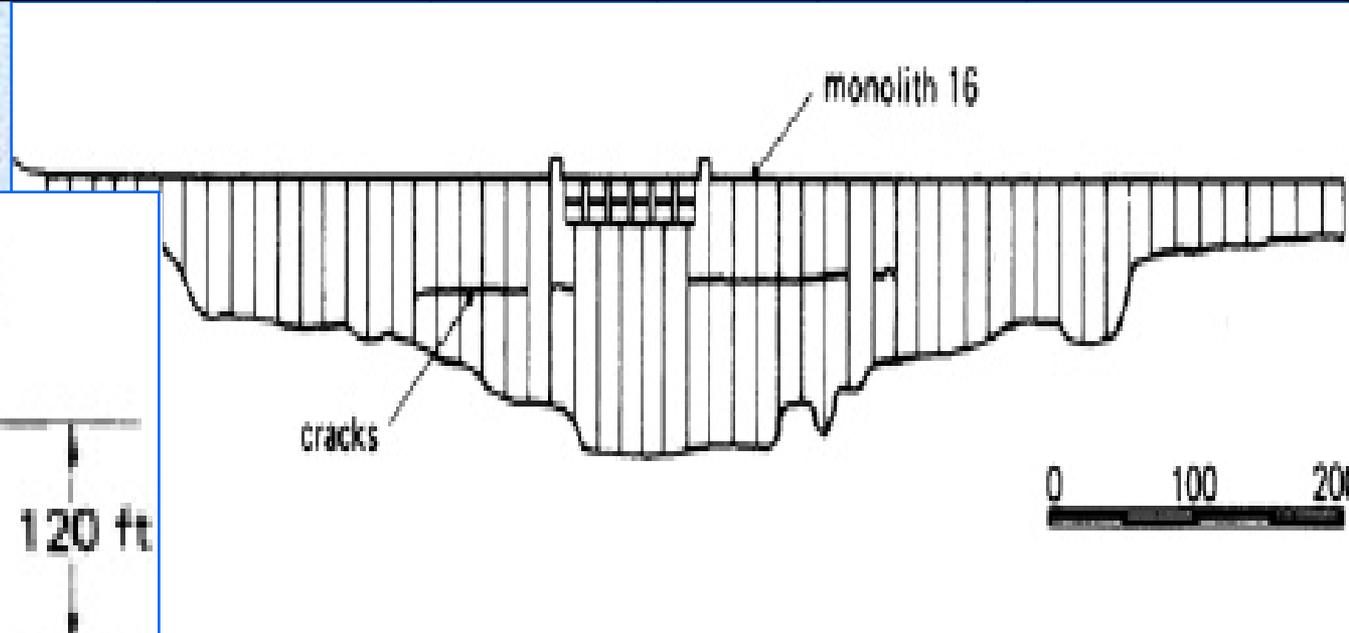
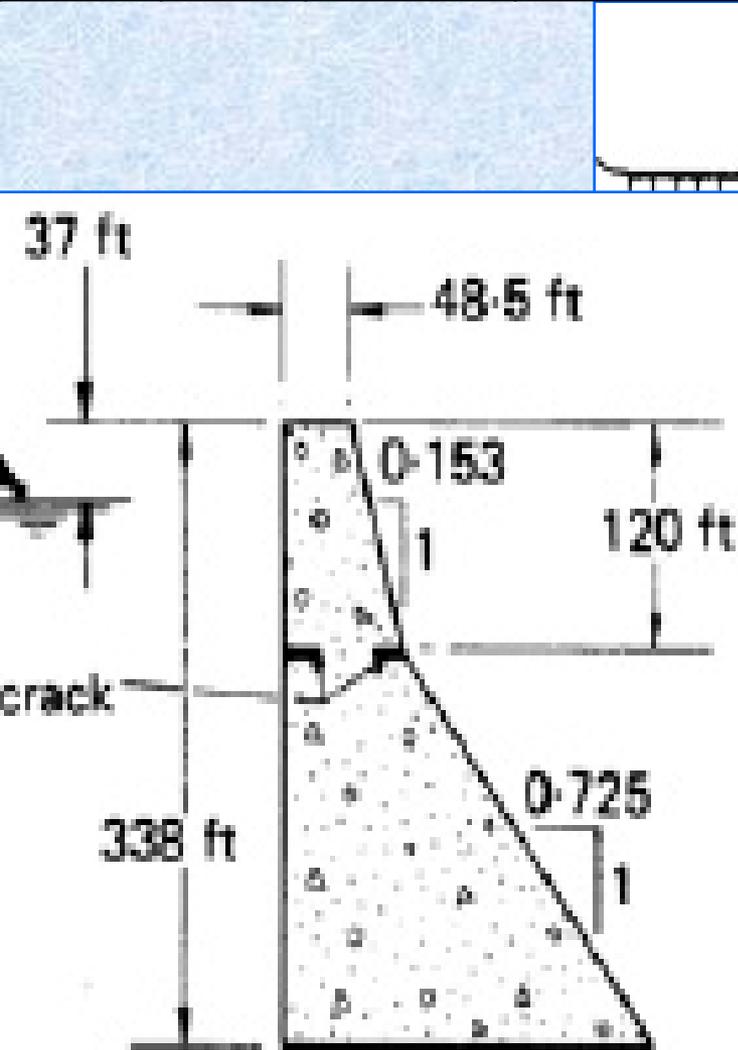
Hsinfeng kiang 1959	China	H=105m	Lk=440 m	Reservoir Mar 19, 1962	Lf= 1.1km	M=6.1	PGA 0.54g(κ)	Хор. пукн. корона стена
------------------------	-------	--------	-------------	---------------------------	--------------	-------	-----------------	----------------------------



II. БЕТОНОВИ СЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(3-8)

Коуна (1963)	India	H=103m	Lk=853m	Коуна Dec 11, 1967	Lf=3.0km	M=6.5	PHGA 0.63g(κ)	Пукн. водна и суха стр. кор.
-----------------	-------	--------	---------	-----------------------	----------	-------	------------------	---------------------------------

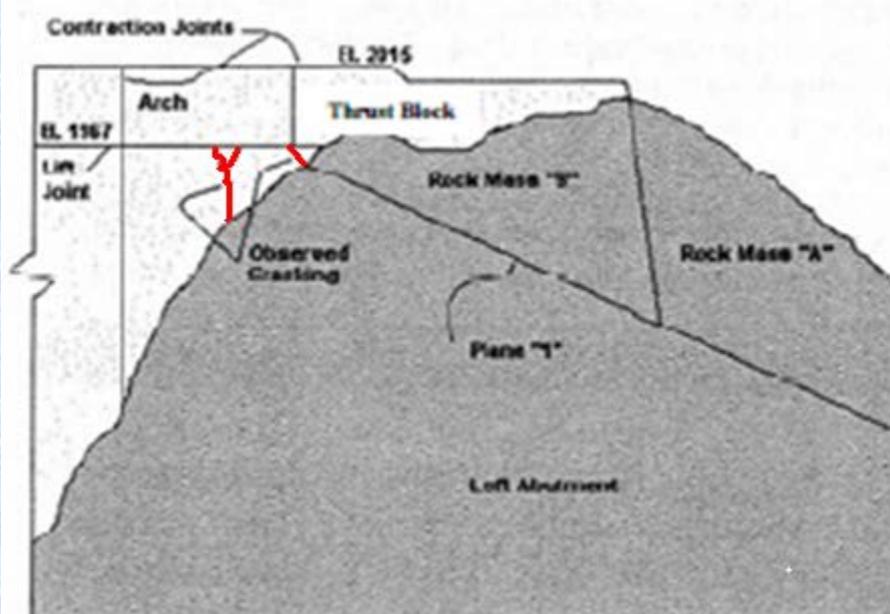


Коуна Дам - Индия

II. БЕТОНОВИ СТЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(4-8)

Pacoima (1929)	USA	H=113 m	Lk=180 m	San Fernando Feb 09, 1971	Lf=5km	M=6.6	PGA 0.6 –0.8g	Няма пук. дъги, Отв. фуга дъга- оп.блок
				Northridge Jan 17,1994	Lf=18km	M=6.8	0.53g 2.3g кор.	Отв. фуга 2” м/у дъгата и оп. блок



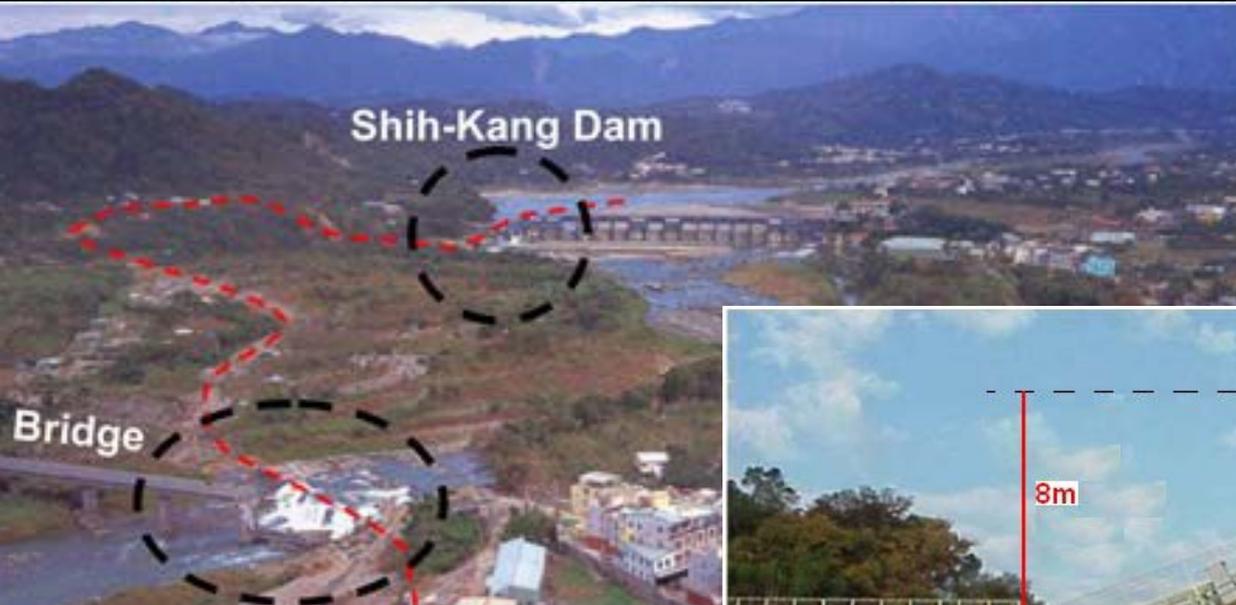
Расоима Дам – САЩ



II. БЕТОНОВИ СТЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(5-8)

Shih Kang (1977)	Taiwan	H=25.2m	Lk=357 m	Chi Chi Sep 21, 1999	Lf=0	M=7.6	PHGA h0.51g v0.53g	8-9m верт. разместване
---------------------	--------	---------	-------------	-------------------------	------	-------	--------------------------	---------------------------



II. БЕТОНОВИ СТЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(6-8)

Язовирна стена (ГРАВИТАЧНА)	Държава	Височина H [m]	Дължина корона [m]	Име земетресение	Разст. до разлома [km]	Магнитуд	PGA Max хор. уско- рение	Описание повреди
Lower Crystal Springs (1890)	USA	47.0	183	San Francisco Apr 18, 1906	0.4	8.3	0.52 ÷ 0.68g	Няма повреди
Williams (1895)	USA	21.0	27	Loma Prieta Oct 17, 1989	9.7	7.1	0.60g	Няма повреди
Bear Valley (1912, 1988)	USA	28.0	110	Big Bear Jun 29, 1992	14.5	6.6	h0.57g v0.21g	Няма повреди
Gohonmatsu Masonry dam (1900)	Japan	33.0	110	Kobe Jan 17, 1995	1.0	7.2	0.83g	Няма повреди
Mingtang (1990)	Taiwan	82.0	-	Chi Chi Sep 21, 1999	12	7.6	0.40 ÷ 0.50g	Няма повреди
Miyatoko (1993)	Japan	48.0	-	Tohoku Mar 11, 2011	135	9.0	0.32g	Няма повреди

II. БЕТОНОВИ СЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ

ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(7-8)

Язовирна стена (ГРАВИТАЧНА)	Държава	Височина H [m]	Дължина корона [m]	Име земетресение	Разстояние до разлома [km]	Магнитуд	PGA (Max хор. ускорение)	Описание повреди
Kasho (1989)	Japan	46.4	174	WestTottori Oct 6, 2000	3-8	7.3	0.54 g(o) 2.09 g(κ)	Пукнатини по контр. кула на короната
Uh	Japan	14.0	34.0	WestTottori Oct 6, 2000	1-3	7.3	1.16g	Малки пукнатини
Takou (2007)	Japan	77.0	322	Tohoku Mar 11, 2011	109	9.0	0.38g(o) 2.04g (κ)	Пукн. по опори на затв. на короната
Koyna (1963)	India	103.0	853	Koyna Dec 11, 1967	3.0	6.5	0.63g(κ)	Пукн. водна и суха страна корона, непр. блок
Hsinfengkian g (1959)	China	105.0	440	Reservoir Mar 19, 1962	1.1	6.1	0.54(κ)	Хор. пукн. корона стена
Sefid Rud (1962)	Iran	106.0	417	Manjil Jun 21, 1990	До стена	7.7	077g	Хор. пукн. корона стена
Shih Kang (1977)	Taiwan	25.2	357	Chi Chi Sep 21, 1999	0	7.6	h0.51g v0.53g	8-9m верт. разместване

II. БЕТОНОВИ СТЕНИ, ПРЕТЪРПЕЛИ СИЛНИ

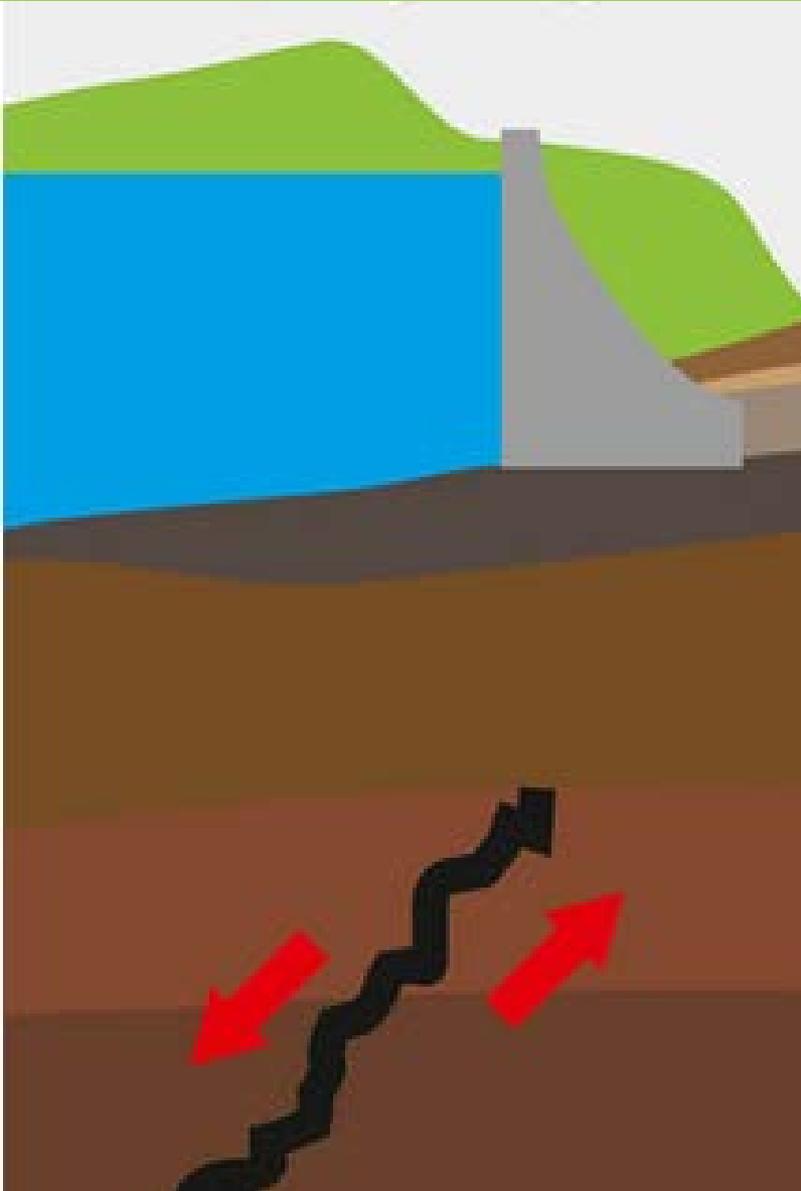
ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ-ПРИМЕРИ

(8-8)

Язовирна стена (ДЪГОВА)	Държава	Височина Н [m]	Дължина корона [m]	Име земетресение	Разст до разлома [km]	Магнитуд	PHGA (Мах хор. ускорение)	Описание повреди
Gibraltar (1920, 1990)	USA	52.0	183	Santa Barbara Jun 29, 1925	?	6.3	>0.30g	Няма повреди. Мод RCC 1990
Ambiesta (1956)	Italy	59.0	145	Gemona-Friuli May 6, 1976	20	6.5	0.36g на д. оп. блок	Няма повреди
Shapai RCC (2003)	China	132.0	250	Wenchuan May 12, 2008	32	8.0	0.25g-0.50g	Няма повреди
Pacoima (1929)	USA	113.0	180	San Fernando Feb 09, 1971 Northridge Jan 17, 1994	5 18	6.6 6.8	0.6 –0.8g 0.53g 2.3g кор.	Няма пук. дъги, Отв. фуга дъга-оп.блок Отваряне фуга 2” м/у дъгата и оп. блок
Rapel (1968)	Chile	111.0	270	Santiago Mar 03, 1985 Maule Feb 27, 2010	45 232	7.8 8.8	0.31g 0.302g	Няма повреди стена. Повреди по прел. и водовз. кула. Напукана настилка път по короната
Techi (1974)	Taiwan	185.0	290	Chi- Chi Sep 21, 1999	85	7.6	0.50g 0.86g кор	Локални пукн. корона стена

III. Предизвикана от язовира сеизмичност

ICOLD: Reservoir- triggered seismicity (RTS) (1-2)



1. $RTS = f(\text{faults})$

2. $RTS = f(Hd, V)$

3. Силови фактори (G, U)

4. Снижаване якостта на срязване на тектонската зона

III. Предизвикана от язовира сеизмичност

ICOLD: Reservoir- triggered seismicity (RTS) (2-2)

Име язовир	Държава	Воден стълб Н (m)	Обем (x10 ⁶ m ³)	Магнитуд
Aswan	Egypt	90	160,000	5.2
Benmore	New Zealand	96	2,040	5.0
Eucumbene	Australia	106	4,761	5.0
Hoover	USA	191	36,703	5.0
Kariba	Zambia	122	160,368	6.25
Koyna	India	100	2,780	6.3
Kremasta	Greece	120	4,750	6.2
Marathon	Greece	60	41	5.7 5.0
Oroville	USA	204	4,400	5.7
Porto Columbia	Brazil	50	3,760	5.1
Swift	USA	116	932	5.0
Srinagarind	Thailand	133	17,745	5.9
Hsingfen gkiang	China	105	13,896	6.0

$$P_{RTS}(M > 5.7, H_d > 100 \text{ m}) = 0.015 \text{ (Wieland)}$$

IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ

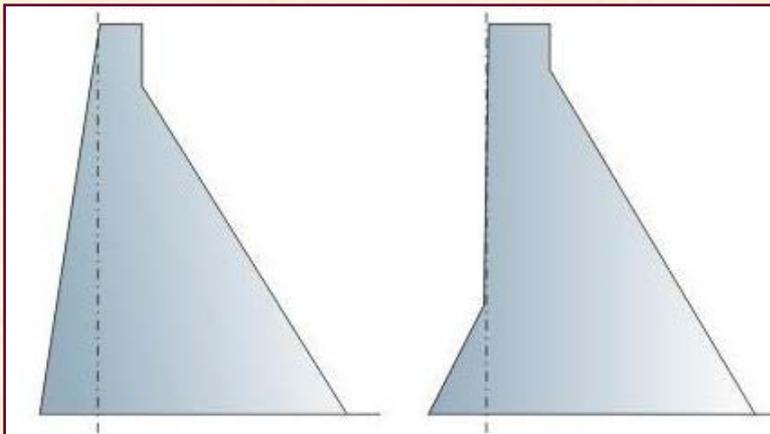
(1-5)

СЪЩЕСТВУВАЩИ СТЕНИ

- Временно ограничение на водното ниво в язовира – пример яз. БЕЛИ ИСКЪР
- Постоянно ограничение на водното ниво в язовира
- Добавяне на опорни блокове и/или контрафорси във въздушната страна
- Инжекционни и анкерни укрепителни работи в тялото и основата на стените

НОВИ СТЕНИ

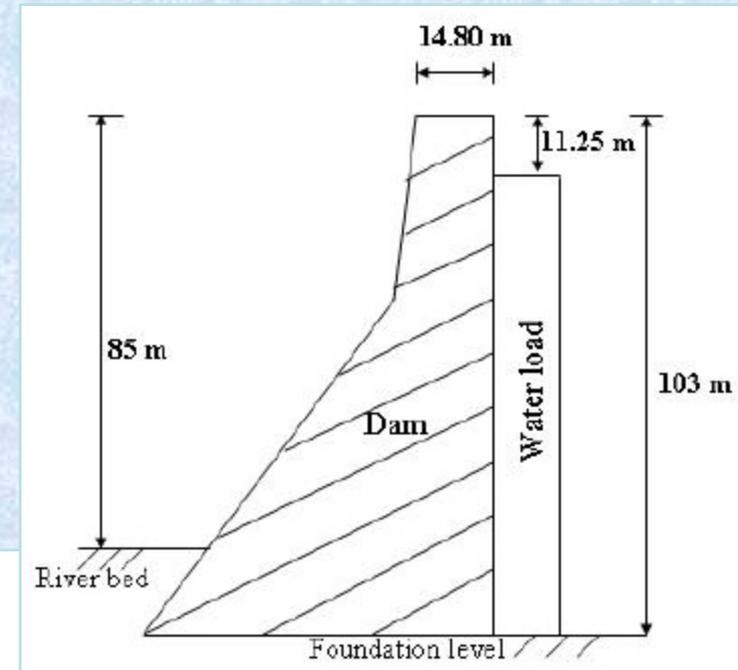
- **ГРАВИТАЧНИ** – два откоса на $1/3H$; $V/H=0.8$; 3D



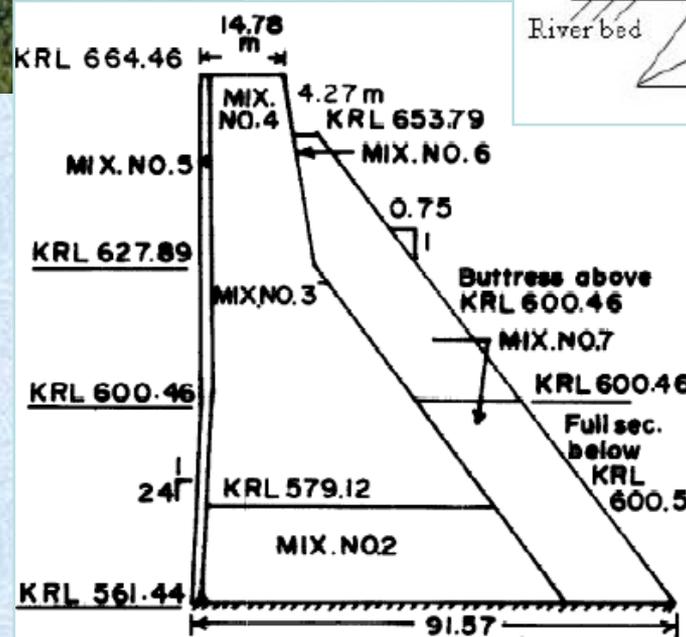
- **ДЪГОВИ** – избягване на прекалено тънки дъги, щтраби.

IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ

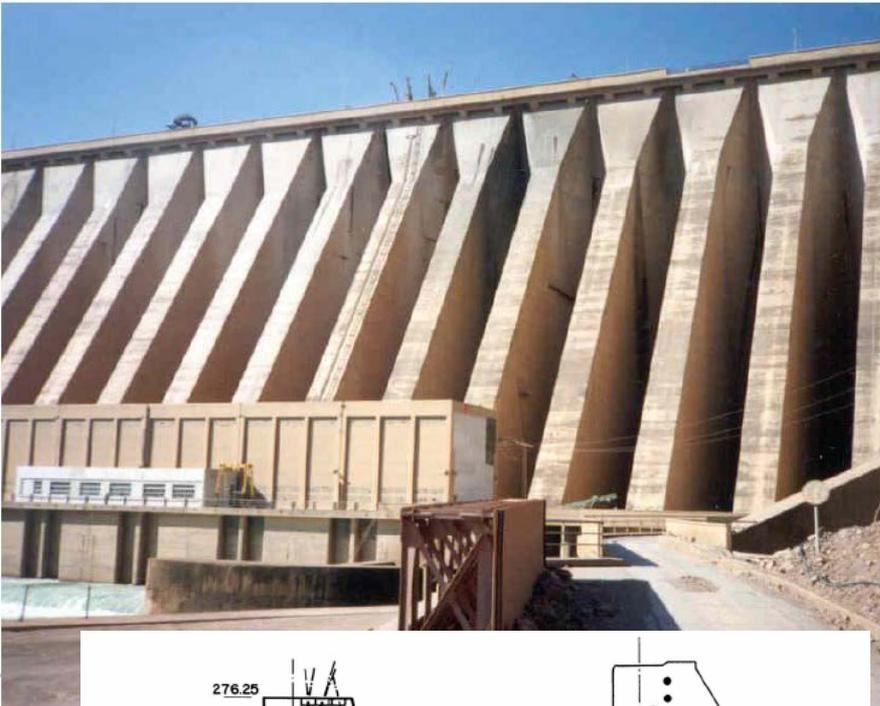
(2-5)



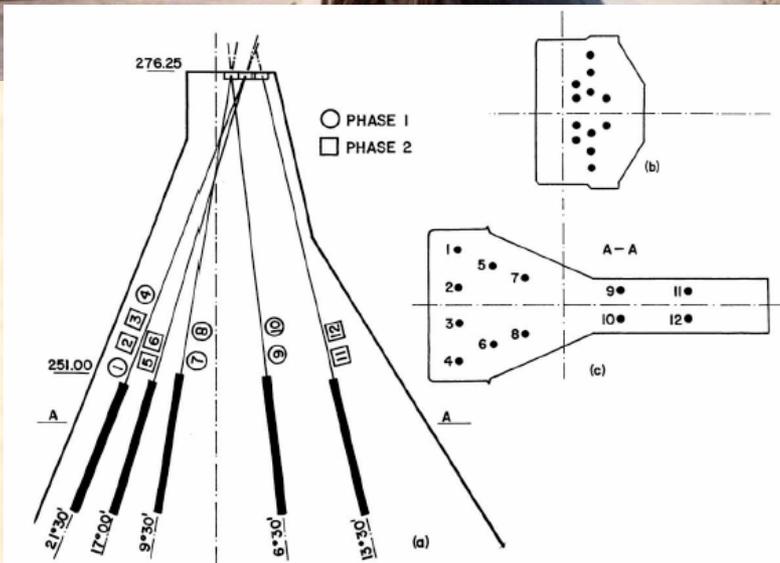
Коуна Дам, Индия
Укрепване с
контрафорси



IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ (3-5)



Sefid Rud Dam, Иран
Укрепване с напрегнати анкери (12бр. на блок, 100MN)



IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ

(4-5)



Weber Arch Dam, САЩ

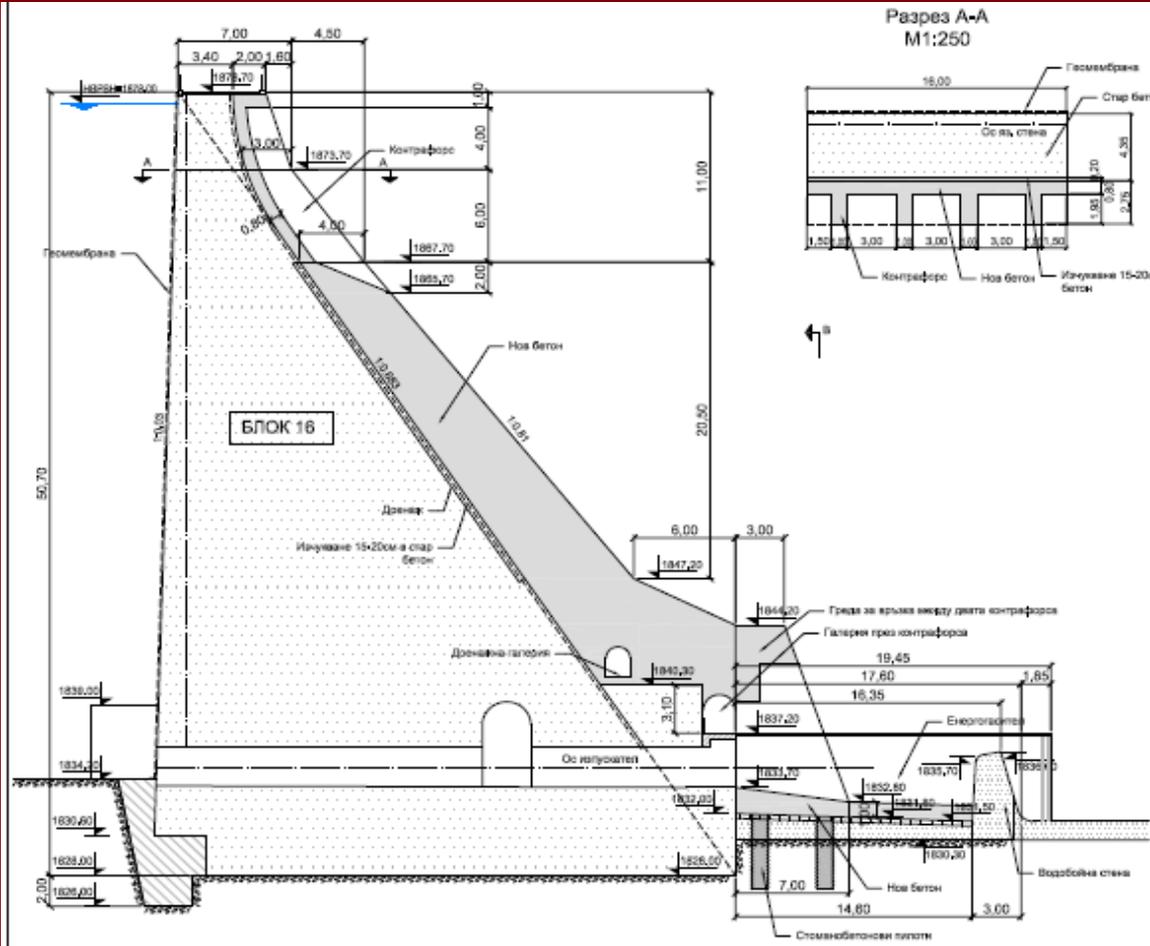
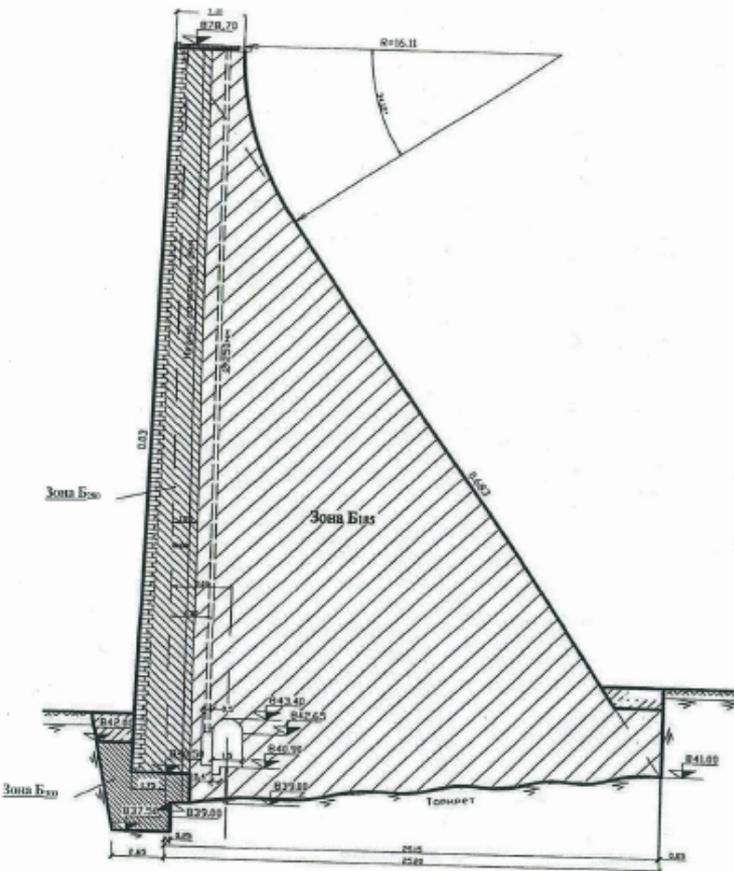
**Укрепване от въздушната страна с
опорни блокове от валиран бетон**

IV. МЕРКИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА СЕИЗМИЧНАТА УСТОЙЧИВОСТ НА БЕТОНОВИТЕ СТЕНИ (5-5)

Яз. стена «Бели Искър», България

Проект за укрепване с опорен блок и контрафорси

Напречен профил на яз. стена "Бели Искър"



V. ЗАКЛЮЧИТЕЛНИ БЕЛЕЖКИ

ОБЩИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

- Общо взето бетоновите язовирни стени понасят добре земетръс;
- Напуквания в областта на короната не довеждат непременно до нарушаване на водоплътния фронт;
- Значително увеличение на ускорението по височина от основата към короната на стената;
- Активен разлом в обсега на язовира може да доведе до RTS.

ЕКСПЕРТНИ КОЛИЧЕСТВЕНИ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

- Стени с $H \leq 100\text{m}$ и $PGA \leq 0.20\text{g}$;
- Стени с $H \leq 100\text{m}$ и $PGA = 0.30\text{g} - 0.50\text{g}$;
- Стени с $H > 150\text{m}$ и $PGA = 0.30\text{g} - 0.50\text{g}$;
- Влияние на водното ниво в язовира.

V. ЗАКЛЮЧИТЕЛНИ БЕЛЕЖКИ

ЗАКЛЮЧЕНИЯ ОТНОСНО ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА БЕТОНОВИТЕ ЯЗОВИРНИ СТЕНИ В БЪДЕЩЕ

- Относно нивата на сеизмичност и нормативната база в България
- 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.

Използвана литература

Faccioli E. et al., Fault rupture–foundation interaction: selected case Histories, *Bull Earthquake Eng*, August, 2008.

Hansen, K., Nuss, L. (2013), Seismic upgrades for concrete dams – then and now, *ASDSO Journal of Dam Safety*, vol.11 iss.4, 2013.

Hinks, J. et al. (2012), Seismic Behaviour of Dams, Int. Symp. on dams for a changing world, Kyoto, Japan, June 5, 2012 E.

ICOLD Com. on Seismic Aspects of Dam Design RESERVOIRS AND SEISMICITY STATE OF KNOWLEDGE, 2004

ICOLD (2011) “Reservoirs and Seismicity - State of Knowledge”, *Bulletin 137, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, International Commission on Large Dams (ICOLD), Paris.*

ICOLD (2014) “Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Guidelines”, *Bulletin 148, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, International Commission on Large Dams (ICOLD), Paris.*

Nuss, L.K. et al. (2012), Shaken, but not stirred, Earthquake performance of concrete dams.

Wieland M (2012) “Seismic Design and Performance Criteria for Large Storage Dams”, *Proc. 15th World Conf. on Earthquake Engng, Lisbon, Portugal, Sep. 24-28.*

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, Aug. 24-29, 2014.*

Геогр. справочник, Най-страшните земетресения в България, по *Earthquakes of $M \geq 6,0$ on the territory of Bulgaria** (G.Mardirosyan et.al., 2010).