



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

5^{ти} КОНГРЕС ЗА БРАНИ

5th CONGRESS ON DAMS

30.9÷2.10. 2021 год.
30.9÷2.10. 2021

Струга, Република С. Македонија
Struga, Republic of N. Macedonia

ОРГАНИЗАТОР

Здружение Македонски комитет за големи брани

ORGANIZED BY

Macedonian Committee on Large Dams

ИЗДАВАЧ

Здружение Македонски комитет за големи брани

PUBLISHED BY

Macedonian Committee on Large Dams

ЗА ИЗДАВАЧОТ

Проф. д-р Љупчо Петковски

Претседател на Здружение Македонски комитет
за големи брани**FOR THE PUBLISHER**

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

President of Macedonian Committee on
Large Dams**ТЕХНИЧКА ОБРАБОТКА**

Стевчо Митовски, Фросина Пановска

TECHNICAL PREPARATION BY

Stevcho Mitovski, Frosina Panovska

ЛЕКТУРА

Тања Стевановска-Цветковска

PROOFREADER

Tanja Stevanovska-Cvetkovska

ПЕЧАТЕЊЕ

Промедиа - Скопје

PRINTED BY

Promedia - Skopje

ТИРАЖ

100 примероци

PRINTING RUN

100 copies

ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНАБрана Конско во фаза на градба, поглед од
воздушна страна**COVER PHOTO**

Konsko dam in construction, aerial view

© Сите права се заштитени. Публикацијата не смее да биде преведувана или копирана во целина или во делови без писмена дозвола на издавачот.

© All rights reserved. The publication can not be translated or copied at full or any part of it without written permission from the publisher.

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

627.8.04/09(062)

621.311.21(062)

КОНГРЕС за брани (5 ; Струга ; 2021)

Зборник на трудови / 5-ти Конгрес за брани, 30.9-2.10.2021 год., Струга, Република С.

Македонија = Proceedings / 5th Congress on dams, 30.9-2.10.2021, Struga, Republic of N.

Macedonia. - Скопје : Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian
committee on large dams, 2021. - 341, [15] стр. : илустр. ; 30 см

Текст на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-4953-00-5

1. Напор. ств. насл.

а) Брани -- Акумулации -- Хидроцентрали -- Собири

COBISS.MK-ID 55029765

РЕДАКЦИСКИ ОДБОР / EDITORIAL BOARD

Проф. д-р Љупчо Петковски, Претседател на ЗМКГБ

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD, President of MACOLD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Емилија Беднарова, Претседател на Словачкиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Братислава, Словачка

Prof. Emilia Bednarova, PhD, President on Slovak Committee on Large Dams

Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Проф. д-р Хасан Тосун

Факултет за инженерство и архитектура, Универзитет во Османгази, Ескисехир, Турција

Prof. Hasan Tosun, PhD

Faculty of Engineering and Architecture, Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

Проф. д-р Алтан Абдуламит, Претседател на Романскиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Букурешт, Романија

Prof. Altan Abdulamit, PhD, President on Romanian Committee on Large Dams

Technical University in Bucharest, Romania

Проф. д-р Џорџ Дуњас, Претседател за Здружението за големи брани во Грција

Империјал Колеџ Лондон, Англија; Здружение за големи брани во Грција

Prof. George Dounias, PhD, President on Greek Committee of Large Dams

Imperial College of Science and Technology, London, UK; Greek Committee of Large Dams

Доц. д-р Андреј Крижановски

Факултет за градежништво и геодезија, Универзитет во Љубљана, Словенија

Assoc. prof. Andrej Kryžanowski, PhD

Faculty of engineering and geodesy, University in Ljubljana, Slovenia

Проф. д-р Тина Дашиќ

Градежен факултет, Универзитет во Белград, Србија

Prof. Tina Dasic, PhD

Civil Engineering Faculty, University of Belgrade, Serbia

Проф. д-р Димитар Кислиаков, Претседател на Бугарскиот комитет за големи брани

Универзитет по архитектура, градежништво и геодезија, Бугарија

Prof. Dimitar Kisliakov, PhD, President on Bulgarian Committee of Large Dams

University of Architecture, Civil engineering and Geodesy, Bulgaria

Проф. д-р Зекирија Идризи

Универзитет Мајка Тереза, Р.С. Македонија

Prof. Zekirija Idrizi, PhD

Mother Teresa University, R.N. Macedonia

Проф. д-р Благоја Голомеов

Факултет за технички и природни науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип, Р.С. Македонија

Prof. Blagoja Golomeov, PhD

Faculty of technical and natural sciences, University Goce Delchev, Shtip, R.N. Macedonia

Проф. д-р Вилос Илиос

Технички факултет, Универзитет Св. Климент Охридски во Битола, Р.С. Македонија

Prof. Vilos Ilios, PhD

Technical faculty, University Ss Clement of Ohrid, R.N. Macedonia



ПРИМЕНА НА 3D-PLAN-VIEW МОДЕЛ ЗА ФИЛТРАЦИОНА АНАЛИЗА НА ДИСКОНТИНУИРАН ДРЕНАЖЕН СИСТЕМ КАЈ БРАНИ НА НЕСТЕНОВИТИ ОСНОВИ

Љупчо Петковски¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска³

Резиме

При истражување на филтрацијата во нестеновити основи кај браните најчесто задоволителни резултати се добиваат со 2Д анализи. Меѓутоа, доколку се истражува варијанта на дисконтинуиран дренажен систем, составен од вертикални бунари кои не се преклопуваат, тогаш клучен параметар е оскиното растојание помеѓу бунарите. За определување на ова растојание е неопходен 3Д модел.

Филтрационата анализа на дисконтинуиран дренажен систем со 3Д модел мора да е за исти гранични еквипотенцијални услови и ниво на вода во приемниот дел на дренажата како и анализата со 2Д модел, која се применува за континуиран дренажен систем. 2Д анализата е неопходна за калибрирање на апроксимативен 3Д модел (Plan View), но и да може да се споредуваат добиените резултати за различните алтернативни решенија за дренажниот систем. Методологијата со примена на Plan View модел е илустрирана со анализите на филтрацијата за избор на оптимално решение за санација на неповолните појави кај браната „Лисиче“, Велес.

Клучни зборови: анализа на филтрација, вертикална дренажа, 3Д-Plan-View модел

ПРИМЕНА НА 3D-PLAN-VIEW МОДЕЛ ЗА ФИЛТРАЦИОНА АНАЛИЗА НА ДИСКОНТИНУИРАН ДРЕНАЖЕН СИСТЕМ КАЈ БРАНИ НА НЕСТЕНОВИТИ ОСНОВИ

Ljupcho Petkovski¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska³

Summary

At research of the seepage in soil foundations at dams most often satisfying results are obtained by 2D analysis. But, if there is a case of discontinuous drainage system, composed of vertical wells that are not overlapping, then key parameter is the axis distance between the wells. For determination of such distance is required 3D model.

The seepage analysis for discontinuous drainage system by 3D model must be carried out for same boundary conditions and water elevation at the entrance part of the drainage, as well as analysis by 2D model, that is applied for continuous drainage system. The 2D analysis is necessary for calibration of the approximative 3D model or Plan View model, but also to be compared the output results for various alternative solutions for the drainage system. The methodology by application of Plan View model is illustrated by the seepage analysis for choice of optimal solution for restoration of the unfavorable occurrences at dam Lisiche, Veles.

Key words: seepage analysis, vertical drainage, 3D-plan-View model

¹ Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, petkovski@gf.ukim.edu.mk

² Assoc. Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, smitovski@gf.ukim.edu.mk

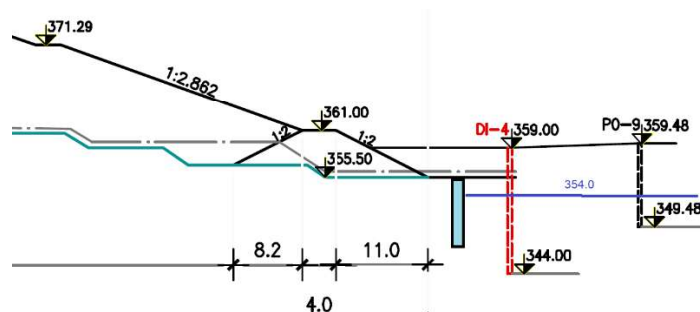
³ Assist. MSc, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД, НЕПОВОЛНА ФИЛТРАЦИЈА КАЈ БРАНАТА „ЛИСИЧЕ“, ВЕЛЕС

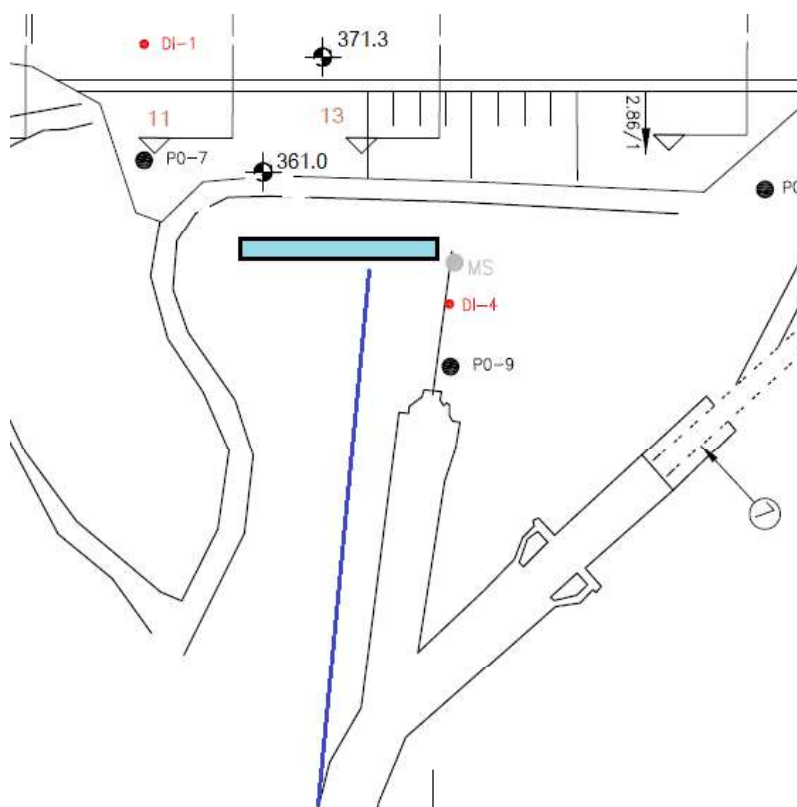
Насипната брана „Лисиче“ претставува земјена зонирана брана со централно глинено јадро со филтерски преодни слоеви, со узводно тело од камен и плиоценски материјал и низводно потпорно тело од плиоценски материјал. Инженерско-геолошкиот и хидрогеолошкиот профил на преградното место се хетерогени, така што на левата страна се застапени компактни карпести маси: мермери, микашисти, гнајсеви, додека на десната страна преовладуваат плиоценски седименти, а на многу поголема длабочина се јавуваат микашисти и мермери. Поради исклучителната хетерогеност на геолошкиот профил во оска на преградното место, во левиот дел браната е фундирана на карпеста средина, со инјекциона галерија и инјекциона завеса, а во десниот дел таа е фундирана со длабок глинен чеп во плиоценските слоеви.

Со 2Д филтрациона анализа на браната за изведената состојба (Петковски Љ., Танчев Љ., Митовски С. 2009.05), во десниот дел на браната фундирана на нестеновата основа, беше согледано дека поради геометријата на хетерогената средина во основата, во непосредна близина на површината се натрупуваат значајни вредности на хидрауличките градиенти кои ја надминуваат минималната граница на казуалната филтрациона јакост $J_k = 0.20$. Затоа, беше препорачано изведба на дренажна конструкција низводно од браната со која ќе се пренасочи струењето на подземната вода во хоризонтален правец. Имено, кај изградената брана „Лисиче“ не е рационално да се интервенира во основата под водонепропустливото тело (глиненото јадро) и неповолната филтрација во основата, најекономично може да се санира со објекти за надградба на постојната дренажна конструкција, но лоцирани низводно од браната.

За надминување на неповолната филтрација во основата под браната „Лисиче“ во 2015 година беше согледана санациона мерка со дренажна конструкција низводно од дренажната ножица (со круна на 361 м.н.в.) по целата нејзина должина од 150.0 м, практично од профилите бр. 10 до бр. 16. Со користење на најновите геотехнички податоци за браната и за основата во 2018 година е усвоено дека за неповолната филтрација во десниот дел на основата под браната „Лисиче“ е критичен потегот десно од инјекционата завеса и со максимална височина на браната над теренот. Тоа е потегот со должина од 50.0 м помеѓу профилите бр. 11 (+ 318.79) и бр. 13 (+ 368.79). Затоа, во предметна анализа е усвоено токму на тој потег да се предвиди приемниот дел на дренажната конструкција (дренажен ров или систем од дренажни бунари), оддалечен 2.0-3.0 м од низводната ножица на постојната дренажна призма со круна на 361.0 м.н.в. (слика 1.1). Одведувањето на водата од таа дренажна конструкција за прием на водата од филтрацијата во основата под браната може да биде на најниска кота 353.8 мнв, во регулираното корито, низводно од каналот на темелниот испуст (слика 1.2), со што во приемниот дел на дренажата би се одржувало водно ниво на 354.0 м.н.в.



Сл. 1.1. Профил бр. 13 на браната „Лисиче“, низводен дел, со дренажа вкопана во основата, оддалечена 3.0 м низводно од постојната дренажна призма



Сл. 1.2. Ситуација низводно од браната „Лисиче“, со нова дренажа во основата, со должина од 50.0 м (на потезот помеѓу профилите бр. 11 и бр. 13) и одводен цевковод со испуст во регулираното корито на кота 354 м.н.в.

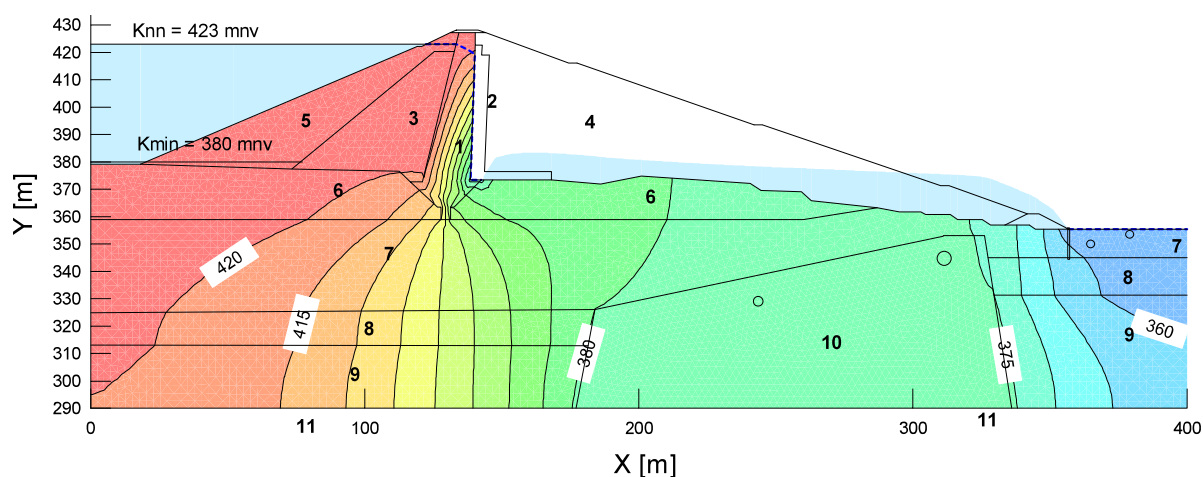
2. ДРЕНАЖНА КОНСТРУКЦИЈА, АЛТЕРНАТИВИ И ПОТРЕБНА ДЛАБОЧИНА

За дренажната конструкција се анализирани две варијанти: алтернатива бр. 1 – континуиран дренажен ров и алтернатива бр. 2 – вертикални бунари што не се преклопуваат. За алтернатива бр.1, според расположливата механизација на фирмите во Р. С. Македонија, е предвиден систем од споени дренажни бунари, кои наизменично би се изведувале, сè до оформувањето континуирана дренажа. Дренажните бунари со дијаметар ($2r$) и длабочина (H) би се копале машински, од плато на кота 355.5 м.н.в, оформено низводно од постојната дренажна призма. Во зависност од дијаметарот на бунарот ($2r$), потребно е да се предвиди оскиното растојание помеѓу бунарите ($2x$), така што минималното релативно преклопување ($2y/2r$) да биде 50 %. Оптималната варијанта со дренажен ров е најекономичното решение, каде што влијание ќе има и вкупната длабочина на дупчење на бунарите, што зависи од вкупниот број бунари, кој е најмал за варијантата со најголем дијаметар на дренажниот бунар. За алтернативата бр. 2, во зависност од оскиното растојание помеѓу бунарите што не се преклопуваат, можни се повеќе подваријанти. За алтернативата со дисконтинуирана дренажна конструкција, очигледно е дека поскапо решение се добива со смалување на оскиното растојание меѓу бунарите. Затоа, кај оваа алтернатива треба да се определи максималното оскино растојание кое предизвикува иста депресија на линијата на водозаситување во основата под браната (како алтернативата бр. 1 со континуиран ров), меѓутоа, во пресек, по средината помеѓу два соседни бунари.

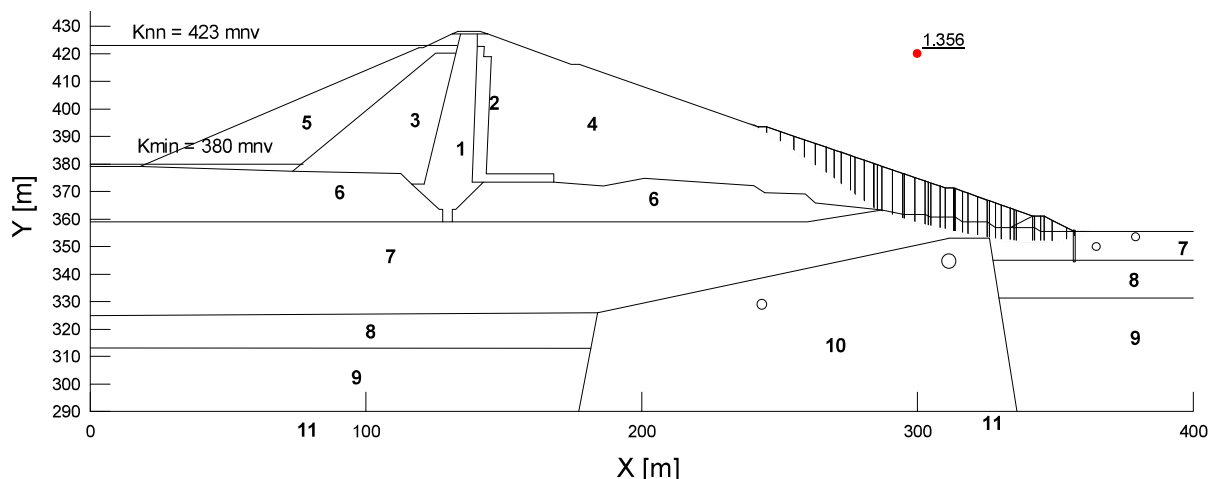
За двете алтернативи прво треба да се определи длабочината на бунарите, со која се обезбедува задоволителна промена на правецот на струењето на подземната вода

(приближно хоризонтален, кон бунарскиот систем), со кој се добива прифатлива стабилност на браната (според проектантските прописи) при долготрајно товарење, каде што дозволениот коефициент на сигурност против подножично лизгање на низводната косина изнесува $K_{S, \text{doz}} = 1.5$.

Во продолжение се прикажани мрежата на екипотенцијални линии (Connor J.J., Brebbia C.A., 1980. „Geo-Slope SEEP/W ver. 8.16, 2016.“) и критичната површина на лизгање (Geo-Slope SLOPE/W ver. 8.16, 2016., Wieland M., 2018.06) за варијанта бр. 1, слики 2.1 и 2.2 (постојна состојба, без дренажен ров) и за варијанта бр. 7, слики 2.3 и 2.4 (дренажен ров со кота на дно на 348.5 м.н.в. или со длабочина од 7.0 м и гравитационо одведување на водата во дренажата до кота 354.0 м.н.в.). Варијантата бр. 7 е оптималното решение за дренажниот ров зашто е добиена за минималната длабочина на вертикалната дренажа ($H = 7.0$ м) со која е задоволен техничкиот критериум за сигурност $K_S = 1.505 > K_{S, \text{doz}} = 1.5$.



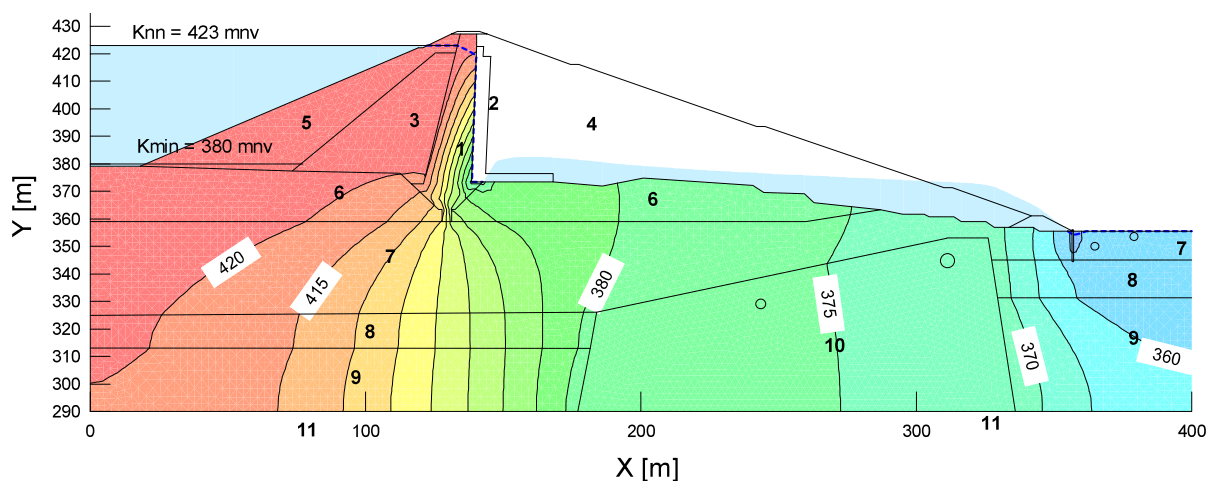
Сл. 2.1. Мрежа на екипотенцијални линии, $\phi = Z + hw$ [m], за ниво на горна вода на 423.0 м.н.в, ниво на долна вода 355.5 м.н.в, без вертикална дренажа за санација на неповолната филтрација (варијанта 1)



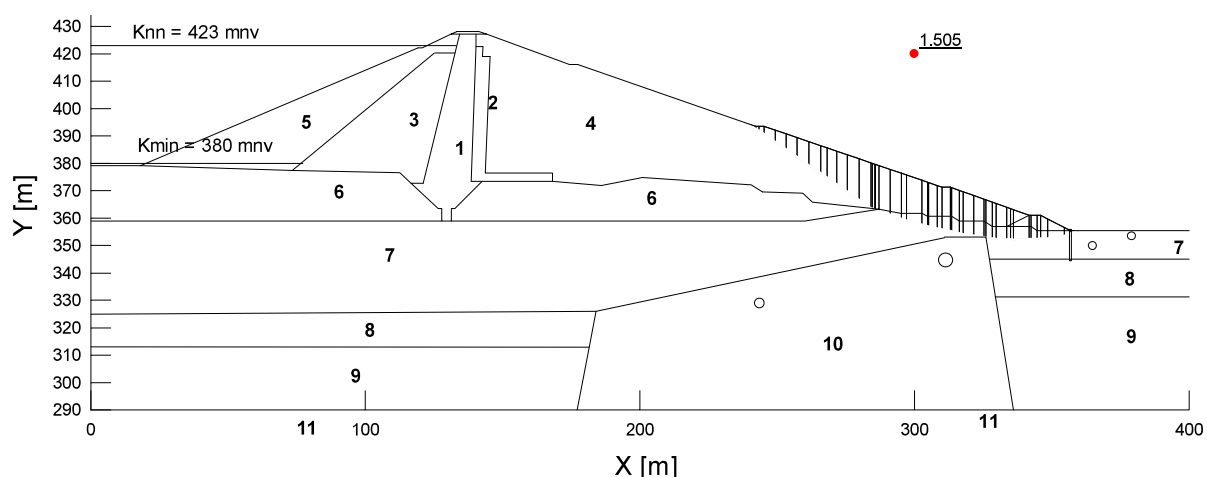
Сл. 2.2. Состојба на полна акумулација ($Z_{gv} = 423$ mnv), критична подножична површина на лизгање ($p=1001$), без вертикален дрен, коефициент на сигурност $K = 1.356$ (метод на Morgenstern-Price), варијанта 1

Зголемувањето на коефициентот на сигурност од $K_S = 1.356$ за варијанта бр. 1 (постојна состојба) на $K_S = 1.505$ за варијанта 7 (со вертикален дрен со длабочина 7.0 м

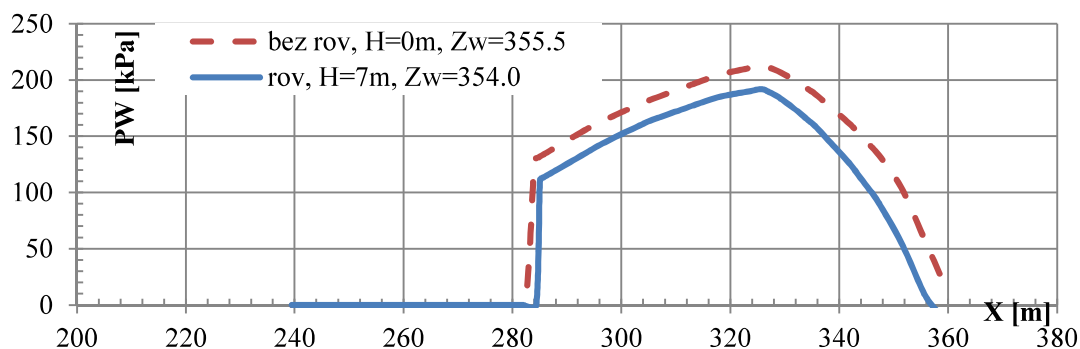
и одвод на 354.0 м.н.в.) се должи на смалувањето на порниот притисок кај варијанта 7, споредено со варијанта бр.1, прикажано на [слика 2.5](#).



Сл. 2.3. Мрежа на еквипотенцијални линии, $\phi = Z + hw$ [m], за ниво на горна вода на 423.0 м.н.в, ниво на долна вода 355.5 м.н.в, за бунар со длабочина 7.0 м и за ниво на вода во бунар 348.5 м.н.в (варијанта 7)



Сл. 2.4. Состојба на полна акумулација ($Z_{gv} = 423$ mnv), критична подножична површина на лизгање ($p=1001$), со вертикален дрен длабок 7 м и водно ниво 354.0 м.н.в, коефициент на сигурност $K = 1.505$ (метод на Morgenstern-Price), варијанта 7

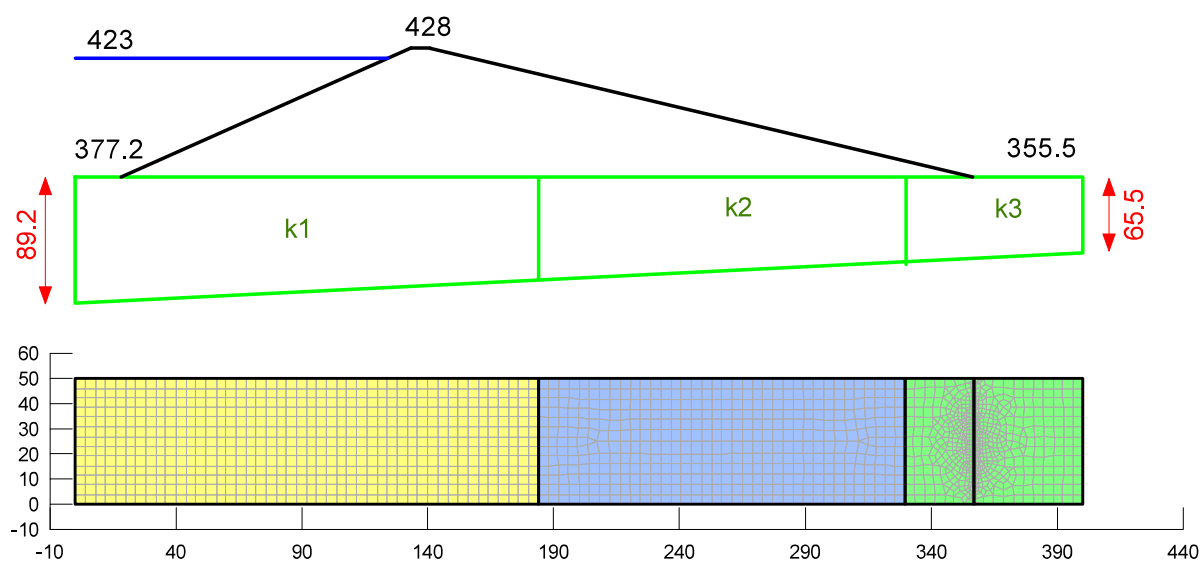


Сл. 2.5. Распределба на порните притисоци по критичната подножична површина на лизгање ($p=1001$), за состојба на полна акумулација, за варијанта без вертикален дрен и за варијанта со вертикален дрен длабок 7 м и водно ниво 354.0 м.н.в.

3. ФИЛТРАЦИОНА АНАЛИЗА СО 3D-PLAN-VIEW МОДЕЛ

Клучен параметар за алтернативата бр. 2 со дисконтинуирана дренажа е оскиното растојание помеѓу бунарите. За определување на ова растојание се користи условот да се постигне иста депресија на линијата на водозаситување во основата под браната (како варијантата со континуиран ров), меѓутоа, во средината помеѓу два соседни бунари. Депресијата во средината помеѓу соседните бунари е истражувана со апроксимативна 3Д анализа (слика 3.1), односно Plan-View анализа со различна дебелина на водоносниот слој во основата на браната и со 50.0 м во надолжен правец. Оваа филтрациона анализа е со исти гранични филтрациони еквипотенцијални услови и ниво на вода во дренажата како и претходната 2D-View анализа, со должина од 1.0 м надолжно, за да може да се споредуваат добиените резултати.

Основата под браната е со променлива длабочина и е хетерогена. За да се добие што пореална слика за струењето на подземната вода, основата е поделена на 3 сегменти, каде што струењето ќе биде нормално на различните сегменти и ќе биде третирано со Plan-View анализа, со различни коефициенти на пермеабилност: k_1 , k_2 и k_3 . Сите три сегменти се состојат од различни слоеви со различен коефициент на филтрација (k_i) и со височина (H_i). Доминантното струење во еден сегмент е паралелно со слоевите, односно во секој од сегментите коефициентот на филтрација ќе биде еднаков на аналоген хоризонтален коефициент на водопропустливост: $k_x = \Sigma (H_i * k_i) / \Sigma (H_i)$.



Сл. 3.1. Скица и Plan-View модел за варијанта бр. 7, со вертикален дрен длабок 7 м и водно ниво 354.0 м.н.в, каде што основата под браната е дискретизирана со 1,818 тродимензионални конечни елементи, поврзани во 1,892 јазли

4. КАЛИБРИРАЊЕ НА 3D-PLAN-VIEW МОДЕЛ

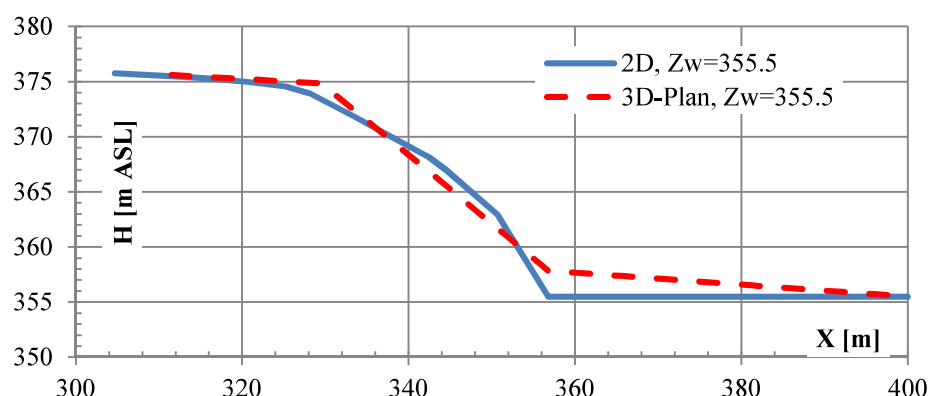
Филтрационата анализа на струењето на подземната вода со примена на 3D-PlanView модел е апроксимативна анализа и за да може да се користи за определување на клучниот параметар на алтернативата бр. 2 - оскиното растојание помеѓу дренажните бунари - претходно треба да се потврди регуларноста на овој модел. Регуларноста на 3D-PlanView модел за струењето во основата под браната „Лисиче“ се потврдува преку споредба на резултатите за специфичното филтрационно протекување (q) и потенцијалниот притисок

($H=Z+h$) кај теренската линија со 2D-View моделот за алтернатива бр.1. За да биде споредбата валидна, треба да се однесува за исти гранични еквипотенцијални услови, за слична геометрија и за осреднети коефициенти на филтрација за хетерогените хоризонтални слоеви.

Првото сценарио за споредба се однесува за варијанта 1 на алтернатива 1, односно без дренажен ров, или за вредност на потенцијалниот притисок во ножицата на дренажната призма од 355.5 м.н.в, односно за порен притисок $P_w = 0.0$ kPa. Филтрационите протекувања од првата споредба се систематизирани во [табела 4.1](#). Вредностите на потенцијалниот притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, се прикажани на [слика 4.1](#).

Таб. 4.1. Споредба на филтрациони протекувања, за варијанта 1 на алтернатива 1, добиени со 2Д и 3Д модели

Zw	355.5 mnv			
Q (3D)	80.629	m ³ /d/50m	0.933	l/s/50m
q (3D)	1.613	m ³ /d/m	0.019	l/s/m
q (2D)	1.328	m ³ /d/m	0.015	l/s/m



Сл. 4.2. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, за варијанта 1 на алтернатива 1 ($Z_w = 355.5$ mnv), добиени со 2Д и 3Д модели

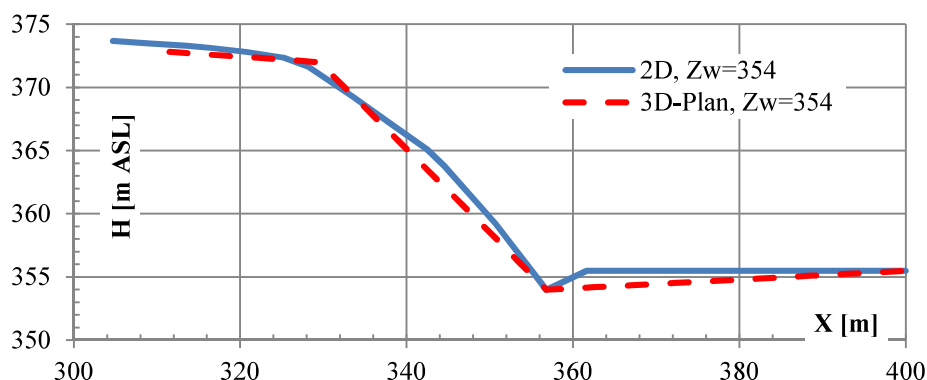
Второто сценарио за споредба се однесува за варијанта 7 на алтернатива 1, односно со дренажен ров со длабочина 7.0 м, со вредност на потенцијалниот притисок во ножицата на дренажната призма од 354.0 м.н.в, односно со спуштање на водното ниво во вертикалната дренажа за 1.5 м. Филтрационите протекувања од првата споредба се систематизирани во [табела 4.2](#). Вредностите на потенцијалниот притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, се прикажани на [слика 4.2](#).

Таб. 4.2. Споредба на филтрациони протекувања, за варијанта 7 на алтернатива 1, добиени со 2Д и 3Д модели

Zw	354 mnv			
Q (3D)	98.019	m ³ /d/50m	1.134	l/s/50m
q (3D)	1.960	m ³ /d/m	0.023	l/s/m
q (2D)	1.693	m ³ /d/m	0.020	l/s/m

Од споредбата на резултатите за специфичното филтрационо протекување и потенцијалниот притисок кај теренската линија на двата модели за филтрациона анализа,

2D-View и 3D-PlanView, за алтернатива бр. 1, за двете сценарија за споредба, може да се констатира дека со апроксимативниот модел 3D-PlanView (со усвоените претпоставки за геометријата и коефициентите на филтрација) се добиваат приближно еднакви резултати како и со точниот модел 2D-View. Затоа, моделот 3D-PlanView може да се примени за филтрациона анализа на алтернативата бр. 2 - со дисконтинуирана вертикална дренажа, односно со дренажни бунари на одредено растојание (каде што моделот 2D-View е неприменлив).



Сл. 4.2. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, за варијанта 7 на алтернатива 1 ($Z_w = 354.0$ mnpv), добиени со 2Д и 3Д модели

Од споредбата на резултатите за специфичното филтрационо протекување и потенцијалниот притисок кај теренската линија на двата модели за филтрациона анализа, 2D-View и 3D-PlanView, за алтернатива бр. 1, за двете сценарија за споредба, може да се констатира дека со апроксимативниот модел 3D-PlanView (со усвоените претпоставки за геометријата и коефициентите на филтрација) се добиваат приближно еднакви резултати како и со точниот модел 2D-View. Затоа, моделот 3D-PlanView може да се примени за филтрациона анализа на алтернативата бр. 2 - со дисконтинуирана вертикална дренажа, односно со дренажни бунари на одредено растојание (каде што моделот 2D-View е неприменлив).

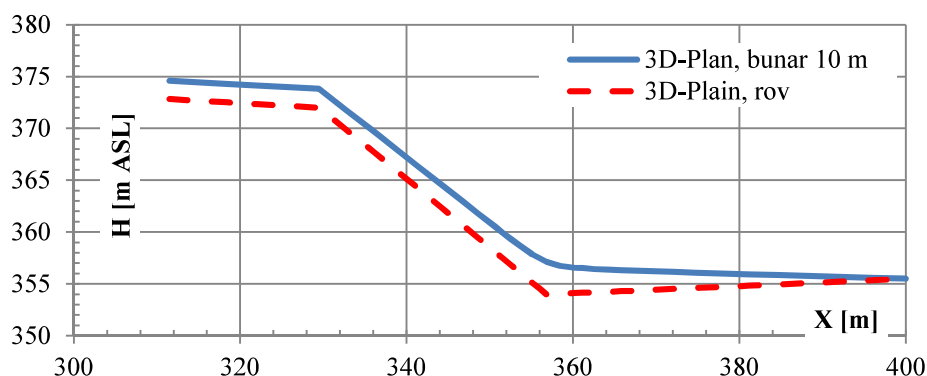
5. ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ПОТРЕБНОТО РАСТОЈАНИЕ МЕЃУ БУНАРИТЕ СО КАЛИБРИРАН 3D-PLAN-VIEW МОДЕЛ

За алтернативата бр. 2 со бунари кои не се преклопуваат, очигледно е дека поскапо решение се добива со смалување на оскиното растојание. Затоа, кај оваа алтернатива треба да се определи максималното оскино растојание кое предизвикува иста депресија на линијата на водозаситување во основата под браната (како алтернативата бр. 1 со континуиран ров), меѓутоа, во пресек по средината помеѓу два соседни бунари. Затоа се разгледани одреден број варијанти почнувајќи со големо оскино растојание и доколку не задоволува, во следната варијанта растојанието е намалено.

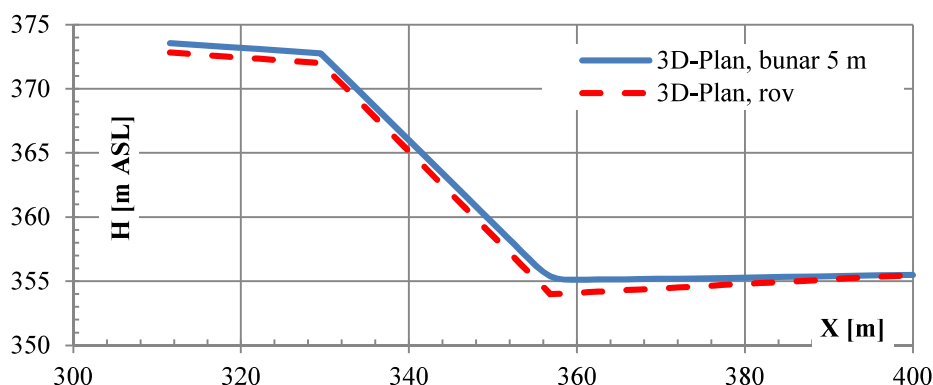
Првата варијанта на алтернатива бр. 2 е со оскино растојание од 10.0 м. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, за варијанта 1 на алтернатива 2 (со бунари на 10 м) и за алтернатива 1 (со ров), добиен со 3Д модел, е прикажан на [слика 5.1](#).

Со првата варијанта за бунарите (алтернатива 2) не се добива сличен резултат за линијата на сатурација како за алтернатива 1 (со ров). Затоа, истражена е втора варијанта на алтернатива бр. 2 со оскино растојание од 5.0 м. Потенцијален притисок во

низводниот дел на браната, во контакт со теренот, за варијанта 2 на алтернатива 2 (со бунари на 5 м) и алтернатива 1 (со ров), добиен со 3Д модел, е прикажан на [слика 5.2](#).

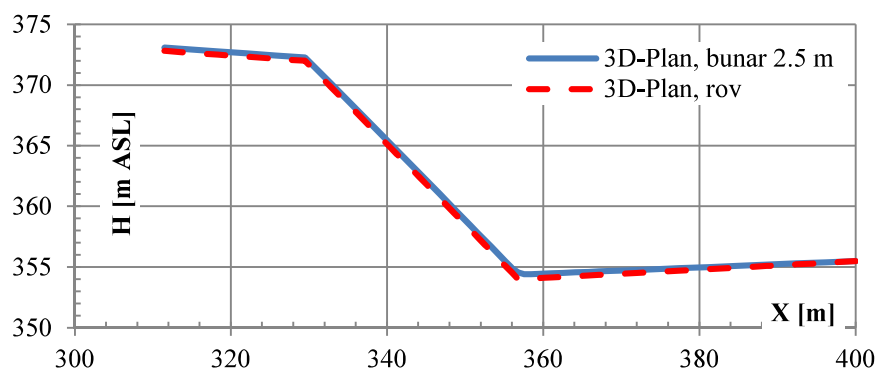


Сл. 5.1. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, добиен со 3Д модел, за алтернатива 1 (ров) и за варијанта 1 (бунари на 10 м) на алтернатива 2.



Сл. 5.2. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, добиен со 3Д модел, за алтернатива 1 (ров) и за варијанта 2 (бунари на 5 м) на алтер. 2.

Со втората варијанта за бунарите (алтернатива 2) не се добива сличен резултат за линијата на сатурација како за алтернатива 1 (со ров). Затоа е истражена трета варијанта на алтернатива бр. 2 со оскино растојание од 2.5 м. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, за варијанта 3 на алтернатива 2 (со бунари на 2.5 м) и алтернатива 1 (со ров), добиен со 3Д модел, е прикажан на [слика 5.3](#).



Сл. 5.3. Потенцијален притисок во низводниот дел на браната, во контакт со теренот, добиен со 3Д модел, за алтернатива 1 (ров) и за варијанта 3 (бунари на 2.5 м) на алтер. 2.

Со третата варијанта за бунарите (алтернатива 2) се добива сличен резултат за линијата на сатурација како за алтернатива 1 (со ров). Затоа, варијанта 3 на алтернатива бр. 2 (со оскино растојание од 2.5 м) е усвоена како најповолна, односно најекономична варијанта која го исполнува техничкиот критериум.

6. ЗАКЛУЧОК

Доколку вертикалната дренажна конструкција е систем од бунари кои не се преклопуваат (алтернатива бр. 2), тогаш клучен параметар е оскиното растојание помеѓу бунарите. За определување на ова растојание се користи условот да се постигне иста депресија на линијата на водозаситување во основата под браната (како варијантата со континуиран ров), меѓутоа, во средината помеѓу два соседни бунари. Депресијата во средината помеѓу соседните бунари е истражувана со апроксимативна 3Д анализа, односно Plan-View анализа со различна дебелина на водоносниот слој во основата на браната и со 50.0 м во надолжен правец. Оваа филтрациона анализа е со исти гранични филтрациони еквипотенцијални услови и ниво на вода во дренажата како и 2D-View анализата (применета за алтернатива бр. 1), со должина од 1.0 м надолжно, за да може да се споредуваат добиените резултати. Варијанта бр. 3 на алтернатива бр. 2 (со оскино растојание помеѓу бунарите од 2.5 м) е усвоена како најповолна, односно најекономична варијанта која го исполнува техничкиот критериум за алтернативата бр. 2.

Најекономична варијанта за алтернатива бр. 1 (континуиран дренажен ров со длабочина $H=7.0$ м и со преклопени бунари) е варијантата бр. 1 со 84 бунари со дијаметар 0.7 м. Најекономична варијанта за алтернатива бр. 2 (дисконтинуиран дренажен ров со длабочина $H=7.0$ м, но со непреклопени бунари со дијаметар 0.7 м) е варијантата бр.3 и со растојание помеѓу бунарите од 2.5 м. Со споредба на најекономичните варијанти на алтернативите 1 и 2, усвоена е алтернативата бр. 2, со која се минимизира чинењето на санацијата на дренажниот систем на браната „Лисиче“, Велес.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петковски Љ., Танчев Љ., Митовски С. 2009.05 „СТАТИЧКА АНАЛИЗА НА НАСИПНИ БРАНИ НА НЕСТЕНОВИТА ОСНОВА“, реферат, II конгрес на Македонски комитет за големи брани, мај, Струга, Зборник, "STATIC ANALYSIS OF EMBANKMENT DAMS ON NON-ROCK FOUNDATION", II Congress of the Macedonian Committee on Large Dams, May, Struga, Proceedings, p. 65-74
- [2] Connor J.J., Brebbia C.A., 1980. "Finite Element Techniques for Fluid Flow", Newnes-Butterworths
- [3] Geo-Slope SEEP/W ver. 8.16, 2016. " Seepage analysis", GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada
- [4] Geo-Slope SLOPE/W ver. 8.16, 2016. "Stability analysis", GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada
- [5] Wieland M., 2018.06, "Application of Pseudo-Static Sliding Stability Analysis in Seismic Design and Safety Evaluation of Embankment Dams", 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, 18-21.June.2018