



СТАТИЧКА АНАЛИЗА НА БРАНА „КСИНГО“

Фросина Пановска¹, Олга Дојчиновска¹, Ивана Лефкова¹, Воислав Крстевски¹, Стевчо Митовски²

Резиме

Во овој труд е извршена нумеричка анализа на каменонасипната брана „Ксинго“ со бетонски екран, изградена на реката Сао Франциско во Бразил во 1994 година. Нумеричката анализа е спроведена во софтверскиот пакет Geo Studio, со примена на модулот SIGMA/W, базиран на методот на конечни елементи. Анализата ја опфаќа статичката состојба на браната по градба и при прво полнење на акумулацијата, со анализа на излезните резултати за поместувањата и напрегањата во телото на браната и во екранот.

STATIC ANALYSIS OF XINGO DAM

Frosina Panovska¹, Olga Dojchinovska¹, Ivana Lefkova¹, Voislav Krstevski¹, Stevcho Mitovski²

Summary

In the paper is performed numerical analysis on rockfill dam Xingo with concrete face, constructed on river San Francisco in Brazil in 1994 year. The analysis is performed with application of software package Geo Studio, module SIGMA/W, based on the finite element method. Analysis includes the static state of the dam after construction and at first reservoir filling by studying of the output results for the stresses and displacements in the dam body and the concrete face.

¹ Student, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of Macedonia, smitovski@gf.ukim.edu.mk

² Assist. Prof. PhD, Faculty of Civil Engineering, University “Ss. Cyril and Methodius”, Skopje, Republic of Macedonia, smitovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

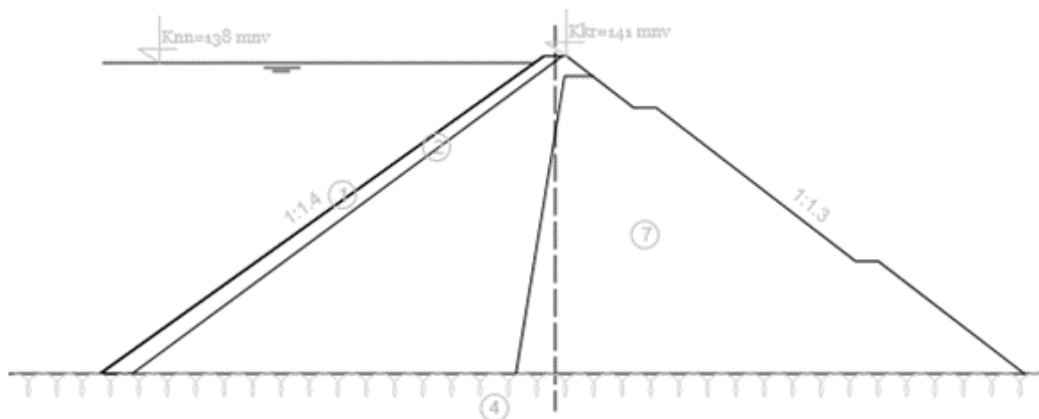
Во овој реферат е извршена анализа на состојбата напрегања-деформации на каменонасипната брана „Ксинго“ (Бразил) и дел од добиените резултати се споредени со резултатите од техничкото набљудување на браната. Оваа анализа е извршена со спроведување на вообичаените чекори при моделирањето на ваков тип конструкции, и тоа: (1) избор на напречен пресек за анализа и моделирање; (2) усвојување влезни параметри за материјалите во телото на браната; и (3) анализа на напрегањата и поместувањата за карактеристичните состојби на товарење. Статичката анализа е извршена со примена на современ нумерички пристап базиран на методот на конечни елементи, со примена на софтверот CAD за геотехничко моделирање SIGMA/W, составен модул на програмски пакет GEO-SLOPE, Канада. Во анализата е даден акцент на поместувањата - примарни големини кај насипните брани.

2. ИЗБОР НА НАПРЕЧЕН ПРЕСЕК

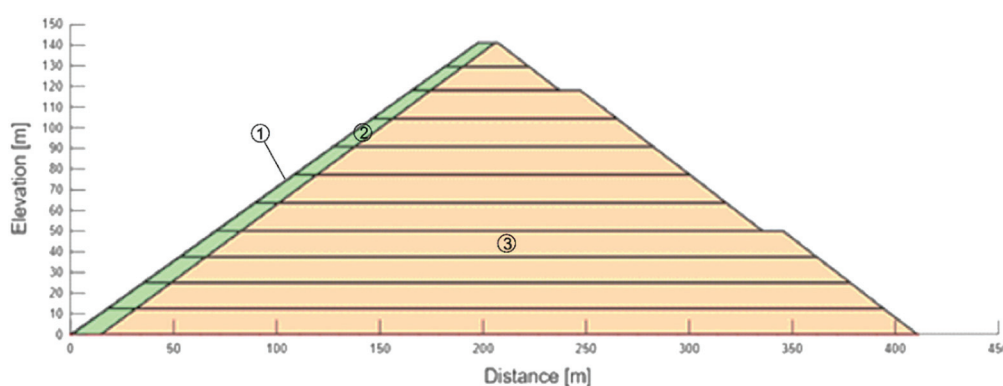
Браната „Ксинго“ е каменонасипна брана со бетонски екран, со конструктивна висина од $H_k=141.0$ m, должина на круната од 850.0 m, додека, пак, волуменот на телото на браната изнесува 12,900,000 m³. Бетонскиот екран има дебелина која варира од $d=0.3$ m во круната до $d=0.7$ m во основата. Низводно од екранот се поставени два филтерски слоја, во функција на преодни зони од екранот до потпорното тело на браната. Дебелината на првиот филтерски слој се движи од 4 m во круната до 6 m во основата, додека, пак, дебелината на вториот филтерски слој изнесува 4 m во круната, а 8 m на контактот со темелите. Телото на браната е изведено од дробина од гранит, со тоа што може да се подели на две зони според големината на максималниот дијаметар на зрно. Спротивводната зона е со D_{max} од 0,4 m, додека, пак, низводната зона е со D_{max} од 2 m. Изведена е зона од валјан бетон на низводната косина за да се обезбеди цврста преливна површина во случај на потопување на веќе изведениот дел.

При моделирањето на браната е усвоен максималниот напречен пресек (слика 1), соодветно поедноставен, кој се состои од бетонски екран, еден преоден слој со дебелина еднаква на сумарната дебелина од двата преодни слоја, т.е. дебелина од 8 m во круната и 14 m во дното, додека потпорното тело на браната претставува една зона. Заради дополнително поедноставување на моделот, зоната од телото со валјан бетон е изоставена од нумеричкиот модел, како зона со занемарливо влијание на состојбата напрегања и деформации. Имено, при изработка на моделот се користени три типа материјали: бетон (за екран), дробина од нештетена гранитна карпа (за филтер) и гранит (за тело на брана), соодветно прикажани на слика 2. При вршење на анализата, основата под браната е третирана како недеформабилна, така што поместувањата на јазлите во двата правци x и y се фиксирани. Тука би сакале да спомнеме дека наведените поедноставувања немаат значајно влијание врз анализата и врз излезните резултати, а воедно ја поедноставуваат нумеричката пресметка.

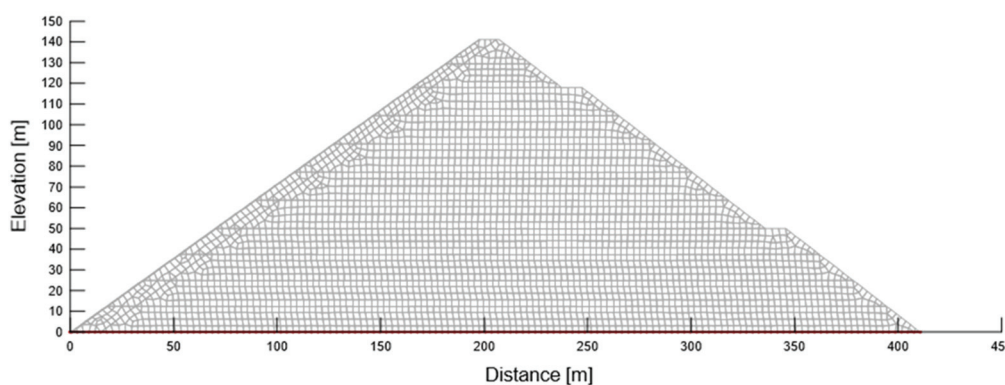
На слика 3 е прикажан дискретизиранитеот напречен пресек на браната со мрежа од конечни елементи. При дискретизацијата се користени квадрилателарни и триаголници конечни елементи. Бројот на јазлите во нумеричкиот модел изнесува $N=3380$, додека вкупниот број на елементи изнесува $E=3298$ (слика 3).



Слика 1. Максимален напречен пресек на брана „Ксинго“: (1) бетонски екран (2) филтерски слој (3) потпорно тело (4) карпеста основа.



Слика 2: Распоред на материјали во телото на брана „Ксинго“: (1) АБ екран (2) филтерски слој (3) потпорно тело на брана.



Слика 3: Дискретизација на напречниот пресек на браната со мрежа на конечни елементи, број на јазли $N=3380$, број на елементи $E=3298$.

3. ИЗБОР НА ВЛЕЗНИ ПАРАМЕТРИ ЗА СТАТИЧКА АНАЛИЗА НА БРАНАТА

Прва, а воедно и најкомплексна, задача кај нумеричките анализи за состојбата напрегања-деформации на браните е усвојување на геотехничките параметри на материјалите. Геотехничките параметри на материјалите се усвоени врз основа на

податоци од литература [1, 2]. Анализата во модулот SIGMA/W е спроведена со примена на генерализираниот Хуков закон [3], т.е. применет е линеарен конститутивен закон за материјалите во телото на браната и за бетонот, во согласност со можностите на студентската верзија на програмот Geo Studio.

Табела 1: Геомеханички параметри на усвоените материјали во телото на браната

материјал	E [kPa]	γ [kN/m ³]	μ
бетон	31,500,000	24.0	0.2
дробен гранит	80,000	21.0	0.3
гранит	80,000	21.0	0.3

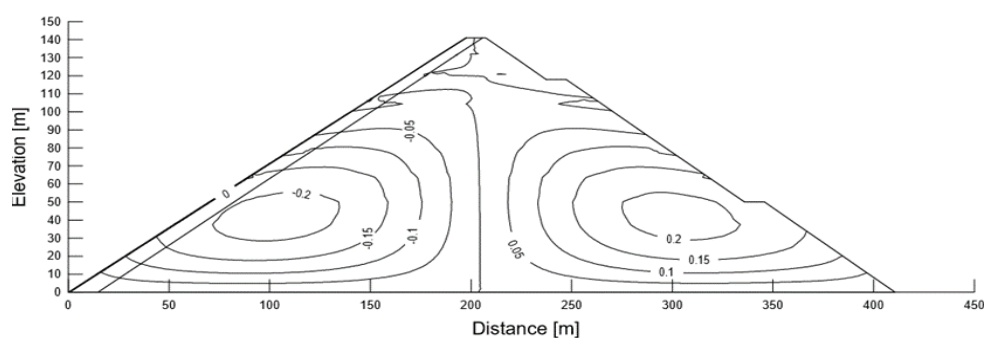
Вообичаено се применуваат спојни елементи на контактот на екранот со бетонскиот темел или плоча во основата поради опасност од диференцирано слегнување на темелот и на насипот под екранот, а со цел да се избегне појава на „лажни“ напрегања на затегнување бидејќи целиот спој е напрегнат на притисок. Во конкретниов случај, како што е веќе наведено, користена е студентска верзија на програмот Geo Studio, во која не е овозможена примената на ваков тип елементи.

4. АНАЛИЗА НА НАПРЕГАЊАТА И НА ДЕФОРМАЦИИТЕ

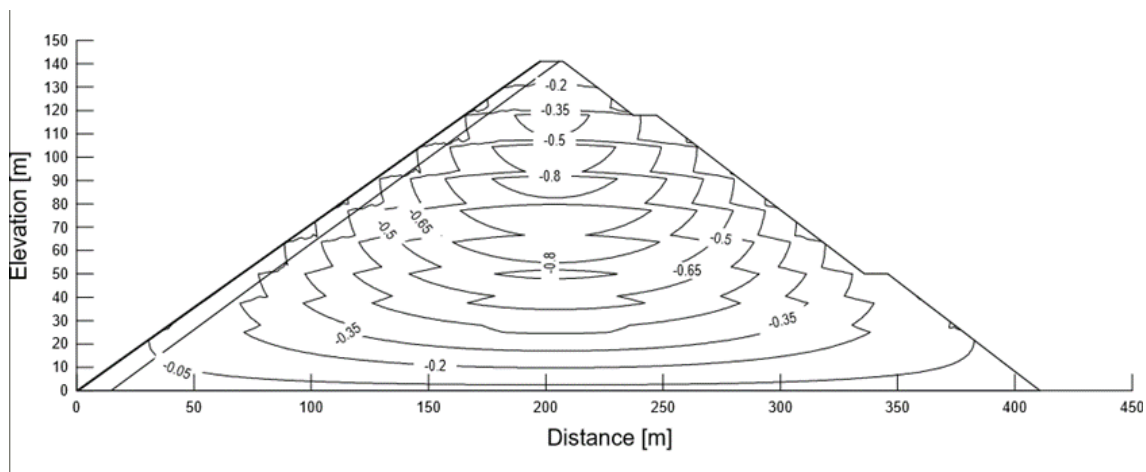
4.1 Состојба на градба на браната

Состојбата на градбата на браната е симулирана во 10 фази (10 временски инкременти од нумеричкиот модел). Во секоја фаза се аплицирани еден слој од насипан материјал од телото на браната, еден филтерски слој и слој од бетонски екран. Добиените вредности за кумулативните (сумарните) и парцијалните поместувања во вертикален и хоризонтален правец се вообичаени за каменонасипните брани со оваа висина, со што претставуваат потврда за апроксимациите во анализата кои се однесуваат на конститутивните модели на материјалите и за дискретизацијата на реалниот напречен пресек [4, 5, 6].

Максималните хоризонтални поместувања се јавуваат во близина на косините од низводното и спротивводното потпорно тело, со максимална вредност од 0.2 m, прикажани со изолинии на слика 4 (вредностите означени со „-“ кај вертикалните поместувања означуваат слегнување, а кај хоризонталните означуваат поместување кон спротивната косина). Максималните слегнувања (вертикални поместувања) се јавуваат во средишниот дел на браната, приближно на 60 % од висината на браната и изнесуваат 0.80 m (слика 5).

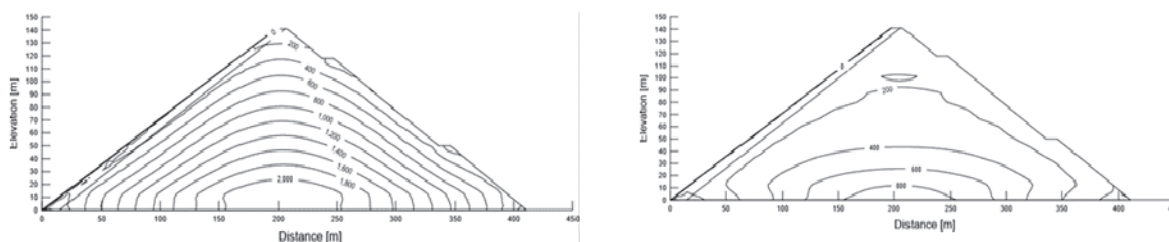


Слика 4. Хоризонтални поместувања во браната по градба ($X=(0.0-0.2m)$)



Слика 5: Вертикални поместувања во телото на браната по градба ($Y=0.0-0.8\text{m}$).

Изолониите на максималните и на минималните нормални напрегања во браната за состојба по градба (слика 6) се карактеризираат со појава на максимални вредности во долниот централен дел на браната, со вредност од 2 МРа за максималните главни напрегања и 0.8 МРа за минималните главни напрегања. Добиените резултати и распределбата на напрегањата во телото на браната за состојба по градба се во рамки на очекуваните вредности за брани со бетонски екран и со ваква висина.



Слика 6: Максимални нормални напрегања (лево) и минимални нормални напрегања (десно) во браната по градба

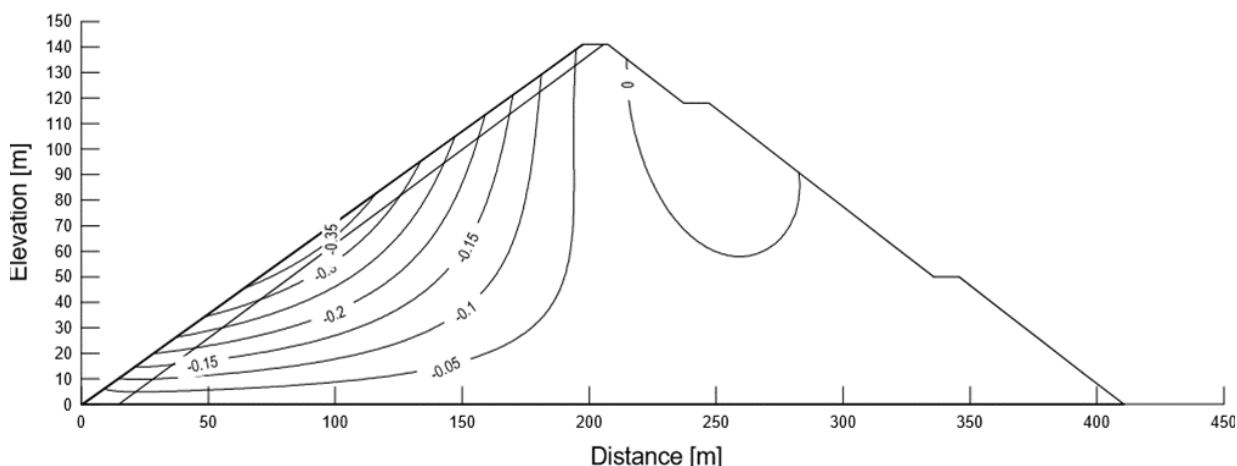
4.2 Состојба по прво полнење на акумулацијата

Состојбата на полнење на акумулацијата во нумеричкиот модел е симулирана во 1 временски инкремент, до кога на нормално ниво $K_{nn}=138,0 \text{ mnv}$.

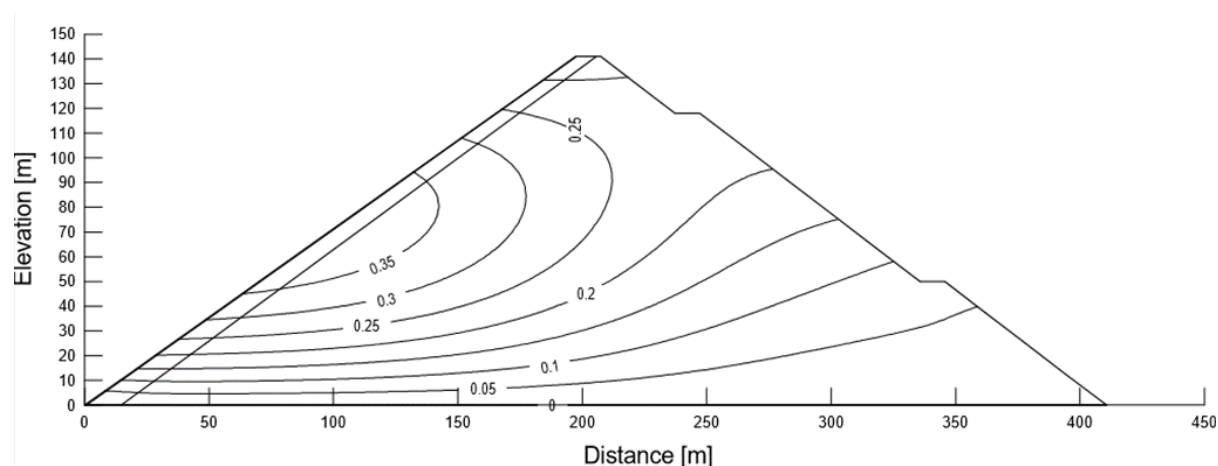
На слика 7 и слика 8 се прикажани изолониите на парцијалните поместувања за состојба по првото полнење на акумулацијата, т.е. дадени се поместувањата предизвикани само од ефектот на водата. Најголемите вертикални поместувања (слегнувања) се јавуваат во близина на средишниот дел од екранот со вредност 0.35 m, додека најголемите хоризонтални поместувања се јавуваат во близина на возводната косина со вредност 0.35 m.

На слика 9 и слика 10 се прикажани изолониите на кумулативните вертикални и хоризонтални поместувања по полнењето на акумулацијата. Најголемото хоризонтално поместување се јавува под екранот и изнесува 0.4 m, додека најголемото вертикално поместување повторно се јавува некаде на средина од висината на браната со вредност од 0.9 m. По полнењето на акумулациониот простор, од споредбата на добиените големини и распределбата во однос на состојбата по градба на браната, се забележува дека товарот од водата има значително влијание врз хоризонталните поместувања на браната, а незначително влијание врз вертикалните поместувања. Истото може да се

забележи и со споредба на изолиниите на хоризонталните и на вертикалните поместувања, пред и по полнење на акумулацијата. Имено, изолиниите на вертикалните поместувања пред и по полнење на акумулацијата се речиси идентични, додека кај хоризонталните, од состојба на симетричност на изолиниите пред полнење на акумулацијата, се забележува поместување на максималните деформации кон низводната косина.



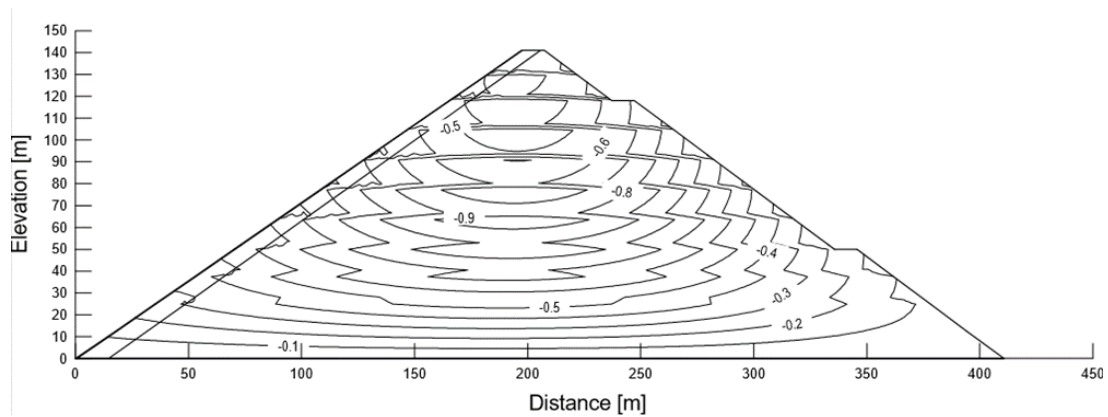
Слика 7: Парцијални вертикални поместувања по првото полнење на акумулацијата $Y=(0.0 \div 0.35)$ m.



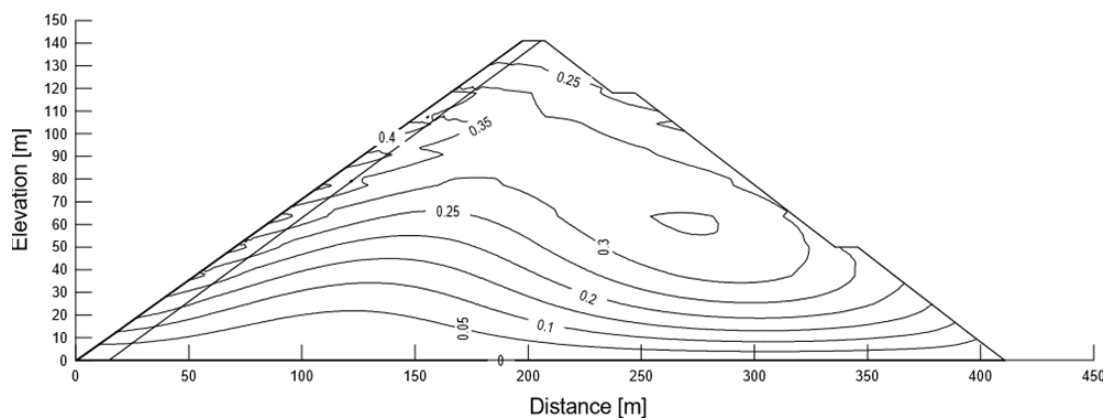
Слика 8: Парцијални хоризонтални поместувања по првото полнење на акумулацијата $X=(0.0 \div 0.35)$ m.

На слика 11 е прикажана дефлексијата на бетонскиот екран за состојба на полна акумулација, каде што може да се забележи дека максималната вредност се јавува апроксимативно на средината по должината на екранот, со вредност 0.7 m.

Начинот на деформирање на екранот е во согласност со резултатите од мерењата за поместувања во екранот на браната „Ксинго“ [6], при што максималната измерена вредност на дефлексијата на екранот изнесува 0.3 m, лоцирана, исто така, на средината на екранот (слика 11). Од споредбата на пресметаните и измерените големини за дефлексијата на екранот, може да се забележи дека начинот на деформирање е доста сличен, при што се добиени поголеми вредности за поместувањата со нумеричкиот модел.



Слика 9: Кумулативни вертикални поместувања во телото на браната по првото полнење на акумулацијата ($Y=0.0-0.9\text{m}$).



Слика 10: Кумулативни хоризонтални поместувања во телото на браната по првото полнење на акумулацијата ($X=0.0-0.4\text{m}$).



Слика 11. Деформации во бетонскиот екран на браната „Ксинго“, прикажани со две криви. Едната е добиена со мерни вредности од вистинските поместувања во екранот, веднаш по првото полнење на акумулацијата во 1994 година, а другата крива е добиена со нумеричката анализа на браната.

5. ЗАКЛУЧОК

„Нема модел кој е апсолутно точен, но може да е многу корисен“ - Вох, G.

Рамнинската анализа на состојбата напрегања - деформации на каменонасипната брана „Ксинго“ е извршена во модулот SIGMA/W, дел од софтверскиот пакет GeoStudio. Нумеричкиот модел е направен врз основа на максималниот напречен пресек на браната, дискретизиран во мрежа од 3298 конечни елементи поврзани со 3380 јазлови точки. При статичката анализа се опфатени два товарни случаи: (1) состојба веднаш по градба; (2) состојба по првото полнење на акумулацијата до кота 138 м.н.в.

Следниве заклучоци може да се извлечат од извршената статичка анализа на браната „Ксинго“: (1) добивање реална слика и веродостојни резултати за напрегањата и поместувањата во телото на браната може да се постигне со симулацијата на градбата на браната во инкременти (слоеви) и со постапно (инкрементално) нанесување на товарот од водата; (2) вредностите добиени за вертикалните и за хоризонталните поместувања за состојба по градба и при полнење на акумулацијата се вообичаени и во рамките на дозволените за ваков тип брани; (3) максималната пресметана дефлексија на бетонскиот екран се јавува на средина од неговата должина, со вредност 0.7 m, поголема од измерената вредност, која изнесува 0.3 m (потребна е дополнителна калибрација на моделот во однос на измерените вредности за дефлексијата на екранот, со примена на нелинеарен конститутивен закон за материјалите и задавање на товарот од водата во инкременти), додека начинот на деформирање на екранот во согласност со измерените и пресметаните вредности е доста сличен.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fell R., MacGregor P., Stapledon D. Bell G., Foster M. “Geotechnical Engineering of Dams”, 2nd Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, London, UK, 2015.
- [2] Companhia Hidro Eletrica do Sao Francisco – CHESF, „Displacements of the Xingo concrete face rockfill dam - Brazil“, Souza, R.J.B., Vasconcelos, A.A., Cavalcanti, A.J.C., Brazil
- [3] User’s guide for program SIGMA/W, version 4 (1998), GEO-SLOPE, Canada
- [4] Cruz, P. (2008), „A partial Review of Barry Cooke and James Sherard 1987 Papers on Concrete Face Rockfill Dams (CFRD)“, Soils and Rocks, Vol.31, N.2
- [5] Танчев, Љ. „Статичка анализа на насипни брани“, НИО, ‘Студентски збор’, Скопје, 1989
- [6] Paulo Teixeira da Cruz, Bayardo Materon, Manoel De Souza Freitas Jr., “Concrete Face Rockfill Dams”, CRC Press, London, UK, 2013.