

Proračun seizmičke otpornosti betonske brane *Grančarevo*

Radenko Pejović, Radivoje Mrdak, Ratimir Živaljević, Olga Mijušković

Ključne riječi

betonska brana
Grančarevo,
numerički model,
linearni proračun,
nelinearni proračun,
potres

Key words

Grančarevo concrete
dam,
numerical model,
linear analysis,
non-linear analysis,
earthquake

Mots clés

barrage en béton de
Grančarevo,
modèle numérique,
analyse linéaire,
analyse non-linéaire,
tremblement de terre

Ключевые слова

бетонная плотина
Гранчарево,
числовая модель,
линейный расчёт,
нелинейный расчёт,
землетрясение

Schlüsselworte

Betonstaumauer
Grančarevo,
numerisches Modell,
lineare Berechnung,
unlineare Berechnung,
Erdbeben riječi

R. Pejović, R. Mrdak, R. Živaljević, O. Mijušković

Izvorni znanstveni rad

Proračun seizmičke otpornosti betonske brane *Grančarevo*

U radu su prikazani dijelovi rezultata proračuna stabilnosti i sigurnosti betonske lučne brane Grančarevo koji je izrađen na Građevinskom fakultetu u Podgorici. Za proračun su primijenjena dva numerička modela: za linearno i nelinearno ponašanje materijala. Obadva modela utemeljena su na pretpostavci interakcije tijela brane s okolinom (stijenom i vodom u akumulaciji). Proračun je proveden sa svrhom utvrđivanja stvarnog ponašanja brane pri statičkim i dinamičkim djelovanjima.

R. Pejović, R. Mrdak, R. Živaljević, O. Mijušković

Original scientific paper

An analysis of seismic resistance of the Grančarevo concrete dam

Some results obtained by calculating stability and safety of the Grančarevo concrete arch dam, as conducted at the Faculty of Civil Engineering in Podgorica, are presented. Two numerical models are used in the analysis: one for the linear and the other for the non-linear behaviour of materials. Both models take into account the interaction between the dam body and its surroundings (rock mass and water in the storage reservoir). This analysis was conducted in order to determine the actual behaviour of the dam when subjected to static and dynamic actions.

R. Pejović, R. Mrdak, R. Živaljević, O. Mijušković

Ouvrage scientifique original

L'analyse de la résistance sismique du barrage en béton de Grančarevo

Quelques résultats du calcul de stabilité et de sécurité du barrage en béton de Grančarevo, réalisé par la Faculté de génie civil de Podgorica, sont présentés. Deux modèles numériques ont été utilisés dans l'analyse: un pour le comportement linéaire et l'autre pour le comportement non-linéaire des matériaux. Les deux modèles prennent en compte la relation entre le corps du barrage et ses alentours (la masse rocheuse et l'eau de la retenue). Cette analyse a été faite afin de déterminer le comportement réel du barrage soumis aux actions statiques et dynamiques.

P. Пейович, P. Мрдак, P. Живалевич, O. Миошковић

Оригинална научна работа

Расчёт сейсмостойкости бетонной плотины Гранчарево

В работе показаны части результатов расчёта устойчивости и надёжности бетонной арочной плотины Гранчарево, выработанного на Строительном факультете в Подгорице. Для расчёта применены две числовых модели: для линейного и нелинейного поведения материала. Обе модели основываются на предположении взаимодействия тела плотины с окружающей средой (горной породой и водой в водохранилище). Расчёт проведён с целью установления настоящего поведения плотины при статических и динамических воздействиях.

R. Pejović, R. Mrdak, R. Živaljević, O. Mijušković

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

Berechnung der seismischen Beständigkeit der Betonstaumauer Grančarevo

Im Artikel präsentiert man Teile der Ergebnisse der Berechnung der Stabilität und Sicherheit der Betonbogenstaumauer Grančarevo die an der Fakultät für Bauwesen in Podgorica durchgeführt wurde. Für die Berechnung wurden zwei numerische Modelle angewendet: für lineares und unlineares Verhalten des Materials. Beide Modelle sind auf der Annahme der Interaktion des Staumauerkörpers mit der Umgebung (Fels und Wasser im Stausee) begründet. Die Berechnung hatte zum Ziel das wirkliche Verhalten der Staumauer bei statischen und dynamischen Einwirkungen festzustellen.

Autori: Prof. dr. sc. **Radenko Pejović**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Ratimir Živaljević**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Radivoje Mrdak**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Olga Mijušković**, dipl. ing. građ. Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, Crna Gora

1 Uvod

Brana *Grančarevo* izgrađena je prije 35 godina kao prvi dio hidroenergetskog sustava na rijeci Trebišnjici. Nalazi se 18 km nizvodno od izvora i oko 17 km uzvodno od Trebinja.

Osnovne karakteristike brane jesu:

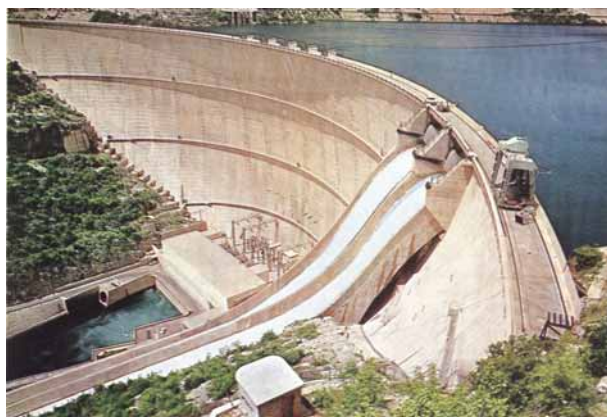
- građevinska visina 123,0 m
- debljina u vrhu 4,6 m
- debljina u dnu 26,9 m
- duljina u kruni po ekstradosu 439,3 m
- obujam tijela brane 377.000 m³
- broj blokova 31
- korisni obujam 1114 x 10⁶m³

Praćenje pogonskog stanja brane tijekom njezine eksploatacije obavlja posebna služba koju je osnovao korisnik građevine i ona kontinuirano radi. Ova služba promatra konstrukciju brane i okolnog terena na 465 mjernih mjesta. Promatranja obuhvaćaju i praćenje seizmičkih pojava u široj okolini brane i inducirane seizmičnosti u području akumulacije.

U 1979. i 1980. godini Institut za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju Univerziteta Kiril i Metodije iz Skoplja obavio je analitička istraživanja seizmičke otpornosti i stabilnosti brane *Grančarevo*.

Rezultati tehničkog promatranja i istraživanja brane korisno su poslužili za prilagodbu proračunskog modela i uspoređivanje mjerenih i proračunskih rezultata.

Proračun je proveden s ciljem da se utvrdi i analizira stvarno ponašanje brane pri djelovanju statičkih i dinamičkih utjecaja, procijeni stabilnost brane pri maksimalnim mogućim potresima i utvrde dopuštene granične vrijednosti naprezanja i pomaka.



Slika 1. Brana *Grančarevo*

2 Proračunski modeli

Analiza ponašanja visokih lučnih brana, u koje se svrstava i brana *Grančarevo*, podrazumijeva dvije vrste proračuna koje su posljedica različitih kriterija za projektiranje i sigurnost građevine. Prvi se odnosi na uobičajene eksploatacijske uvjete i djelovanje potresa Z1 za koje, kao kriterij stabilnosti, nisu dopuštene pojave pukotina, uz pretpostavku da se materijal pri naprezanju ponaša kao linearno elastičan. Druga je razina procjena stabilnosti građevine za ekstremne uvjete i djelovanje potresa Z2 za koji se dopuštaju i velika oštećenja izuzev onih koja ugrožavaju globalnu stabilnost građevine, pri čemu se dopušta da dijelovi konstrukcije prelaze u plastično područje deformiranja. Za branu *Grančarevo* izrađena su dva proračunska modela za linearni i nelinearni proračun.

Diferencijalna jednačba kretanja sustava brana-temelj-rezervoar za diskretni model konačnih elemenata predstavlja sustav simultanih jednačbi ovisnih o vremenu i ona ima sljedeći oblik:

$$\begin{bmatrix} M' & \rho G^T \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{P} \\ \ddot{U} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C' & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{P} \\ \dot{U} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K' & 0 \\ -G & K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P \\ U \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F' \\ F \end{Bmatrix}$$

gdje su M , C i K matrice masa, prigušenja i krutosti podstrukture brana-temelj, a M' , C' i K' odgovarajuće matrice podstrukture rezervoara. Vektori \ddot{u} , \dot{u} i u predstavljaju ubrzanje, brzinu i pomak, a \ddot{p} , \dot{p} i p odgovarajuće veličine hidrauličnih tlakova u čvorovima mreže konačnih elemenata. Pomaci i hidrodinamički tlakovi osnovne su nepoznanice. Spregnute su interakcijskim matricama G i G^T . Njihov je broj jednak broju stupnjeva slobode u čvorovima diskretne strukture. Slobodni su članovi F' i F vektori sila koje nastaju kao rezultat pomaka tla zbog djelovanja potresa.

U posebnim o načinu definiranja seizmičkog djelovanja kao vanjskog utjecaja i njegovoga širenja kroz područje temelja razlikujemo dva modela, i to: model bez mase temelja i model s masom temelja.

U specijalnim slučajevima kad je $G = 0$ sustav se raspada na dva nezavisna sustava: prvi u kome su nepoznati hidraulični tlakovi i drugi u kome su nepoznati pomaci. Ovo rješenje nameće prikaz hidrodinamičkih tlakova kao pripojenu virtualnu masu vode pričvršćenu na uzvodno lice brane. Ako se pretpostavi da je voda idealizirana kao nestišljiva, virtualna masa ne ovisi o kretanju tla.

Uz pretpostavku o nedeformabilnosti temelja (dno rezervoara) problem se reducira i svodi na problem interakcije brane i rezervoara.

3 Model za linearni proračun

Za linearni seizmički proračun sustava brana-temelj-rezervoar izrađen je proračunski model koji je osnovan simultanom interaktivnom sustavu brana-temelj-rezervoar uporabom trodimenzijskih konačnih elemenata. Dinamički je proračun proveden uz pretpostavku temelja bez mase, nestlačive vode u rezervoaru i nulte vrijednosti interakcijske matrice ($G = 0$). Hidrodinamički tlak tretiran je kao djelovanje pridodane virtualne mase vode pričvršćene na uzvodno lice brane. Izrađeni su proračunski modeli za maksimalnu razinu vode u akumulaciji od 400,65 m (2,35 m niže od krune brane) i minimalnu razinu vode u akumulaciji od 348 m (55 m niže od krune brane). Radi prilagodbe modela provedeni su proračuni i za razine vode u akumulaciji od 392 m i 371 m za koje postoje eksperimentalni rezultati.

Za diskretizaciju tijela brane i temelja upotrijebljeni su trodimenzijski elementi elastičnog kontinuuma s 24 stupnja slobode. Brana je izvedena od nearmiranog betona kao niz vertikalnih konzolnih blokova koji su međusobno vezani kontaktnim spojnica. Po vertikali je izvedena u slojevima od lučnih segmenata gdje je obavljen prekid u betoniranju i na taj je način oblikovana horizontalna spojnica. Diskretizacija tijela brane izvedena je po vertikalnim i horizontalnim spojnica. Za tijelo brane usvojena je debljina elemenata jednaka četvrtini debljine brane. Pri konstrukciji proračunskog modela pazilo se da se mjerna mjesta na brani poklapaju s čvorovima mreže ili da su u neposrednoj blizini čvorova.

Proračunska duljina temelja ispod rezervoara jest: sa uzvodne strane brane $2H$, a s nizvodne strane $0,5 H$. Za temelj su upotrijebljeni elementi prizmatičnog oblika s postupnim povećanjem dimenzija elementa sa ulazajem u stijensku masu.

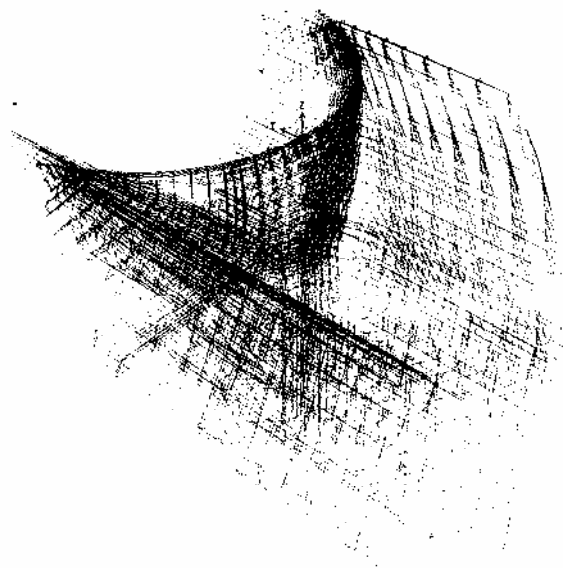
Prigušenje u proračunskom modelu usvojeno je kao zamjenjujuće viskozno prigušenje s koeficijentom prigušenja $0,05$ i kreće se u granicama koje su utvrđene za ovaj tip.

Usvojena shema elemenata proračunskog modela za linearni proračun prikazana je na slici 2.

Kontrola i prilagodba proračunskog modela obavljani su kontrolom njegovih dinamičkih karakteristika usporedbom numeričkih i eksperimentalnih rezultata.

Eksperimentalnim ispitivanjem brane *Grančarevo* prisilnim vibracijama izmjerene su dinamičke karakteristike. Mjerene su rezonantne frekvencije za vibracije u pravcu kanjona (radijalna komponenta) i poprečno na kanjon (tangencijalna komponenta), vlastiti oblici i prigušenje. Ispitivanja su izvršena za dvije razine vode u akumulaciji u vrijeme izvođenja eksperimenta, i to:

- razina I. 8,00 m niže od krune brane
- razina II. 29,00 m niže od krune brane



Slika 2. Proračunski model brane *Grančarevo* za linearni proračun

U tablici 1. je prikaz vrijednosti vlastitih frekvencija i odgovarajućih prigušenja za prvih pet oblika koji su izmjereni pri eksperimentalnom ispitivanju brane. Za smanjenu razinu vode u akumulaciji registrirano je povećanje vlastite frekvencije za sve oblike osciliranja. Registrirano je i smanjenje amplitude relativnih pomaka što pokazuje da voda u akumulaciji djeluje kao amortizer. Proračunske vrijednosti vlastitih frekvencija za radijalnu komponentu dane su tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Vlastite frekvencije i prigušenja za radijalnu komponentu (izmjerene vrijednosti)

Frekvencije/prigušenja za razne razine		oblik 1	oblik 2	oblik 3	oblik 4	oblik 5
(Hz)	za I.	2,700	3,725	5,625	7,130	8,160
(Hz)	za II.	3,008	5,120	5,900	7,600	/
Prig. (%)	za I.	1,190	1,910	1,310	2,070	1,670
Prig. (%)	za II.	1,180	2,340	1,100	2,430	/

Tablica 2. Vlastite frekvencije za radijalnu komponentu (proračunane vrijednosti)

Frekvencije za razne razine		oblik 1	oblik 2	oblik 3	oblik 4	oblik 5
(Hz)	za I.	2,572	3,714	4,960	5,000	6,246
(Hz)	za II.	2,708	3,766	5,005	5,045	6,317

Na osnovi uporedbe rezultata provedenog seizmičkog proračuna brane i eksperimentalnih rezultata, može se zaključiti da je odabrani proračunski model brane pogodan i dovoljno točan za iznalaženje dinamičkih karakteristika i statičkog i dinamičkog odziva sklopa brana-temelj-rezervoar.

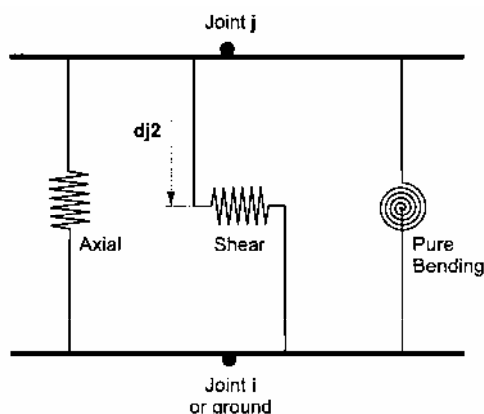
Eksperimentalnim ispitivanjima i rezultatima proračuna potvrđena je teorijska pretpostavka da voda u akumulaciji utječe kao pridodana masa tijelu brane. Mala razina prigušenja utvrđena eksperimentalnim istraživanjima može se objasniti niskom razinom pobude u tijeku eksperimenta.

4 Model za nelinearni proračun

Model za nelinearni proračun izrađen je prema načelu da je brana izvedena od nearmiranog betona kao niz vertikalnih konzolnih blokova. Blokovi su međusobno vezani nearmiranim kontaktnim spojnica koje ne preuzimaju vlačno naprezanje pa su potencijalno mjesto za pojavu pukotina. Prelazak iz linearnog u nelinearno područje deformiranja nastaje zbog premašaja vlačne čvrstoće betona u spojnica. Od početnog monolitnog stanja tijelo brane će se transformirati u niz blokova s nelinearnim vezama duž spojnica. Zbog relativno malih naprezanja napona u stijeni ne dolazi do pukotina pa je temelj tretiran kao linearno elastičan i pri nelinearnom proračunu.

Za nelinearni proračun sustava upotrijebljen je modificirani model brane koji je uporabljen za linearni proračun. Modifikacija se sastoji u unošenju u model nelinearnih elemenata. Oni su postavljeni u dvije vertikalne spojnice između elemenata gdje su u linearnom modelu proračunana najveća vlačna naprezanja.

Za simulaciju relativnih pomaka primijenjeni su kontaktni elementi tipa nelinearnih opruga koji su ugrađeni u čvorovima mreže konačnih elemenata duž vertikalnih spojnica u području i u okolini područja u kojima su se pojavila vlačna naprezanja. Svaki nelinearni element sastavljen je od šest opruga, za svaku od šest unutrašnjih deformacija od kojih je nelinearna horizontalna opruga okomita na spojnicu. Odnos naprezanja-deformacija ovih opruga je međusobno nezavisan. Na slici 3. pokazane su opruge za tri deformacije: u smjeru pomaka, poprečnu i čisto savijanje u ravnini 1-2.



Slika 3. Nelinearni element u ravnini 1-2

5 Proračunske karakteristike materijala

5.1 Beton

Za kratkotrajna djelovanja za beton brane usvojene su sljedeće karakteristike materijala:

- modul elastičnosti $E = 33000 \text{ MPa}$
- Poissonov omjer $\nu = 0,15$
- volumenska masa betona $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- toplinski koeficijent betona $\alpha_t = 10^{-5}/\text{K}$

Za dugotrajna djelovanja definiran je korigirani efektivni modul elastičnosti betona preko kojega se uključuje utjecaj puzanja betona pri dugotrajnim djelovanjima, pri čemu je usvojena algebarska veza između naprezanja i deformacija za beton.

Za proračun su usvojene sljedeće korigirane vrijednosti modula elastičnosti:

- za fazu izgradnje i utjecaje od vlastite težine $E_b^* (t = \infty) = 16500 \text{ MPa}$
- za fazu eksploatacije i utjecaje od vode u akumulaciji $E_b^* (t = \infty) = 19000 \text{ MPa}$.

5.2 Stijena

- modul elastičnosti $E_s = 80\,000 \text{ MPa}$
- Poissonov omjer $\nu = 0,20$
- volumenska masa stijene $\gamma = 2610 \text{ kg/m}^3$

5.3 Opterećenja

Statički utjecaji i deformacije proračunani su od sljedećih opterećenja i njihovih mjerodavnih kombinacija:

- vlastite težine (VT)
- hidrostatičkog tlaka (H)
- potresa (Z1) i (Z2).

Utjecaji hidrostatičkog tlaka proračunani su za kotu maksimalnog uspora 400,6 m n.m (H1), kotu minimalne radne razine 348,06 m n.m (H2) i karakterističnu kotu uspora 390 m n.m, jer je na osnovi oskultacija utvrđeno da za kote akumulacije veće od 380 m n.m. proradi lučni sustav ponašanja brane. Posebno je proveden proračun za praznu akumulaciju.

Imajući na umu činjenicu da je utjecaj temperature na tijelo brane važan, ovaj je proračun proveden za šest karakterističnih temperaturnih stanja, i to:

- maksimalni uspor vode 400,65 m n.m. u kombinaciji s maksimalnim temperaturama (ljetni režim – T1) i minimalnim temperaturama (zimski režim – T2)
- minimalni uspor vode 348 m n.m. u kombinaciji s maksimalnim temperaturama (ljetni režim – T3) i minimalnim temperaturama (zimski režim – T4)

- prazna akumulacija u kombinaciji s maksimalnom temperaturom (ljetni režim – T5) i minimalnom temperaturom (zimski režim – T6).

Razine maksimalnih horizontalnih ubrzanja za različite povratne periode dao je Republički seizmološki zavod u Podgorici, i to:

- za povratni period od 200 godina 0,10008 g;
- za povratni period od 1000 godina 0,1325 g.

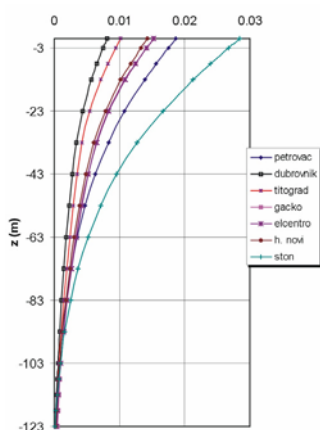
Osim ovih rezultata seizmičke parametre za lokaciju brane *Grančarevo* istraživao je i IZIIS iz Skoplja 1981. godine. Na osnovi ovih istraživanja usvojene su sljedeće razine maksimalnih ubrzanja:

- za projektni potres (Z1) 0,25 g
- za maksimalno mogući potres (Z2) 0,40 g

Za linearni seizmički proračun upotrijebljene su spektralna metoda i izravni dinamički proračun, a za nelinearni proračun izravni dinamički proračun. Dinamička proračun proveden je za sedam spektara: Titograd - 2, Dubrovnik, Gacko, Ston, Petrovac, Herceg Novi i El Centro 1940. Na osnovi dobivenih rezultata zbog ovih potresa kao reprezentativan usvojen je akcelerogram potresa Petrovac.

6 Rezultati proračuna

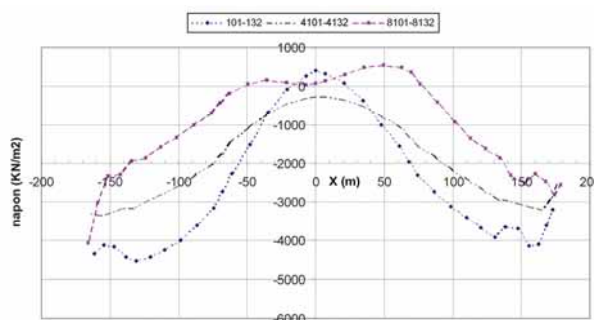
Sa σ_{zz} označeni su radijalni, a sa σ_{tt} tangencijalna normalna naprezanja. Normalno tlačno naprezanje ima negativan, a vlačno naprezanje pozitivan predznak. Radijalni pomaci su pozitivni ako su usmjereni nizvodno, a negativni ako su usmjereni uzvodno. U ovome radu je zbog ograničenog opsega prikazan mali dio najzanimljivijih rezultata proračuna.



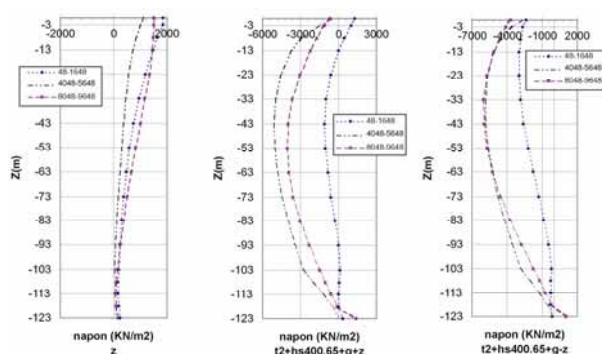
Slika 4.

Na slici 4. su usporedno prikazani radijalni pomaci centralne konzole 17 od potresa Z1 za navedenih sedam spektara za slučaj linearnog proračuna dobivenog spektralnom metodom. Iz ovog se dijagrama lako uočava da su utjecaji vrlo različiti za pojedine tipove potresa. Za

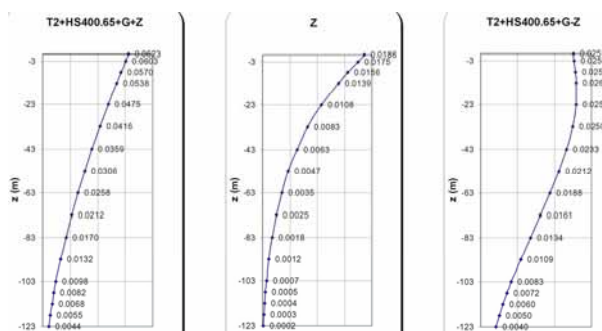
dalju analizu je kao reprezentativan usvojen potres Petrovac.



Slika 5.



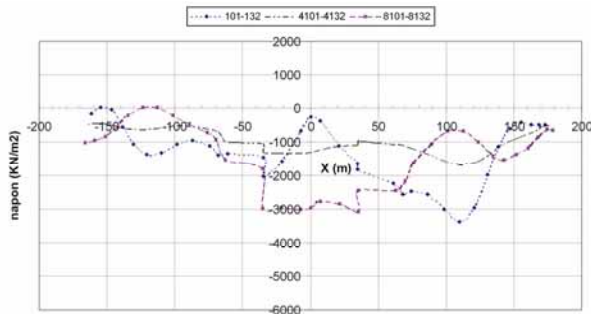
Slika 6.



Slika 7.

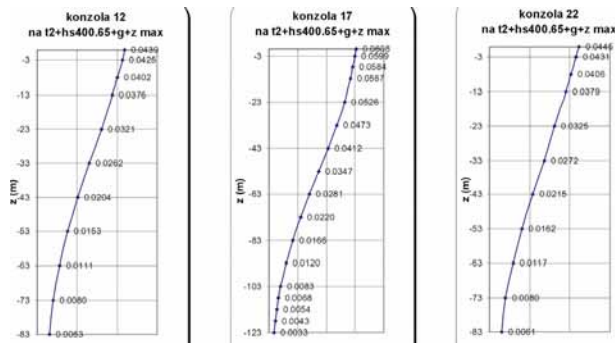
Karakteristični rezultati proračuna za linearno-dinamičku analizu od mjerodavnih kombinacija (vlastite težine, hidrostatičkog tlaka, temperature i potresa tipa Z1) dani su na slikama 5., 6. i 7. Slika 5. predstavlja promjenu normalnih σ_{tt} napreznja duž luka na koti 400 za nizvodno lice (oznaka romb) uzvodno lice (oznaka križići) i os luka (isprekidana crta-točka/linija). Slika 6. predstavlja promjenu normalnog σ_{zz} napreznja po visini centralne konzole. Oznake dijagrama su iste kao i na slici 5. Na slici 7. prikazan je dijagram radijalnih pomaca centralne konzole 17.

Karakteristični rezultati proračuna za nelinearni dinamički proračun za mjerodavne kombinacije (vlastite težine, temperature i potresa tipa Z2) dani su na slikama 8., 9. i 10. Na slici 8. predstavljen je promjena normalnih σ_{tt}



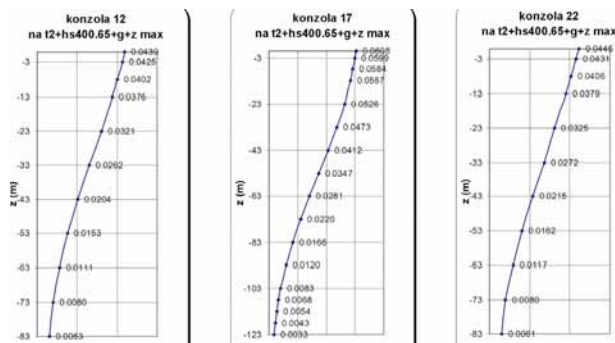
Slika 8.

napreznja duž luka na koti 400 za ista opterećenja i na isti način kao i na slici 5. za linearni dinamički proračun.



Slika 9.

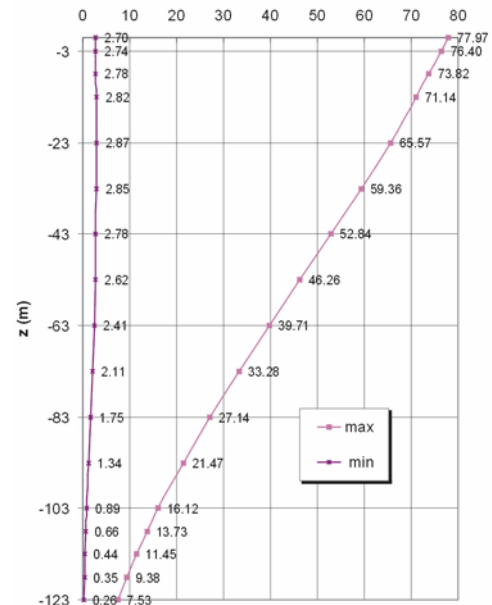
Slika 9. predstavlja promjenu σ_{zz} normalnih napreznja duž centralne konzole 17 s istim opterećenjem i na isti način kao i na slici 6. Na slici 10. prikazani su radijalni pomaci, centralne konzole za ista opterećenja kao i na slici 7.



Slika 10.

Na temelju provedenih proračuna, rezultata oskultacija i valjanih propisa, definirane su granične vrijednosti napreznja i pomaka u okviru kojih bi se trebale kretati ove veličine u eksploatacijskim uvjetima. Granične su vrijednosti za normalna tlačna napreznja 8,75 MPa, a za normalna vlačna napreznja 1,30 MPa.

Linije graničnih (minimalnih i maksimalnih) vrijednosti pomaka centralne konzole dane su na slici 11. Do sada registrirane ekstremne vrijednosti pomicanja vrha centralne konzole bile su najmanje 3,0 mm, a najviše 70,9 mm.



Slika 11.

7 Zaključak

Dinamički odziv proračunskog modela, dobiven zbog djelovanja potresa različitoga frekventnog sastava, kreće se u veoma širokim granicama, što ukazuje na veliku važnost istraživanja seizmičkih parametara mikrolokacije.

Proračun brane provedeni su na modelima kojima je obuhvaćena interakcija tijela brane s okolnim terenom i akumulacijom, što je omogućilo realno spoznavanje ponašanja brane pri različitim djelovanjima. Gornju su konstataciju potvrdili rezultati promatranja brane koji su pokazali dobru suglasnost s proračunskim rezultatima.

Napreznja u tijelu brane za slučaj djelovanja potresa tipa Z1 (0,250) u kombinaciji s ostalim opterećenjima su manja od dopuštenih. Zbog djelovanja potresa tipa Z2 (0,4 g), u kombinaciji s ostalim opterećenjima, glavna normalna vlačna napreznja su veća od dopuštenih. Područje najvećih glavnih vlačnih napreznja je u gornjoj trećini brane u području oko centralne konzole. Pokazano je da brana pri ovom intenzitetu potresa ulazi u nelinearno područje deformiranja, trpi oštećenja, ali da pritom nije ugrožena njezina stabilnost.

Granične vrijednosti napreznja i pomaka predstavljaju vrijednosti unutar kojih je brana sigurna. U slučaju premašaja definiranih graničnih vrijednosti služba za promatranje mora hitno reagirati i ustanoviti uzroke. Eventualni se premašaji mogu dopustiti ako se proračunom dokaže odgovarajuća stabilnost brane.

Rezultati provedenih proračuna i rezultati promatranja pokazuju da brana *Grančarevo* u postojećem stanju i u postojećim uvjetima eksploatacije posjeduje odgovarajuću sigurnost za statičke i dinamičke utjecaje.

LITERATURA

- [1] Mrdak R.; Pejović R.; Kovačević V.; Janjević S.: *Uticaj proračunskog modela na rezultate statičke i dinamičke analize lučne brane*, I kongres Jugoslovenskog društva za visoke brane, 1997., str. 267.-275.
- [2] Pejović R.; Mrdak R.; Kovačević V.: *Uticaj deformacijskih karakteristika stijene na rezultate statičke i dinamičke analize visoke lučne brane*, I kongres Jugoslovenskog društva za visoke brane, 1997., str. 257.-265.
- [3] *Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim uslovima* (nacrtni) Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1985.
- [4] Sekulović M.; Pejović R.; Mrdak R.: *Earthquake response of high arch dams*, XI European Conference on Earthquake Engineering, Pariz, 1998.
- [5] Sekulović M.; Pejović R.; Mrdak R.: *Analysis of earthquake safety of a large arch dam*, 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Auckland, 2000.
- [6] Sekulović M.; Mrdak R.; Pejović R.; Mijušković O.: *Analysis of seismic response of high arch dam on basis of energy balance*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Canada, Vancouver, 2004.
-