

Izbor metoda geofizičkih ispitivanja za potrebe definisanja trenutnog stanja brane na primjeru akumulacije „Drenova“ kod Prnjavora, Bosna i Hercegovina

DEJAN A. PETROVIĆ, DOO IPIN Institut za primijenjenu geologiju i
vodoinženjering, Bijeljina, Bosna i Hercegovina
ORCID: 0009-0005-3688-2804

NIKOLA Ž. NIKOLIĆ, DOO IPIN Institut za primijenjenu
geologiju i vodoinženjering, Bijeljina, Bosna i Hercegovina
ORCID: 0009-0004-0261-8776

JASENKO A. ČOMIĆ, Georad DOO, Tuzla, Bosna i Hercegovina
ORCID: 0009-0000-2012-8093

Stručni rad
UDC: 550.8.04(497.6)
624.131.537(497.6)

DOI: 10.5937/tehnika2406685P

Zbog svoje važnosti i funkcije koju imaju, brane, nasipi i slični hidrotehnički objekti zahtevaju konstantno održavanje što između ostalog podrazumeva proveru i praćenje njihovog stanja. Geofizička istraživanja ne narušavaju postojeće stanje ovakvih objekata, brza su i jeftina, a daju važne informacije o zonama nestabilnosti, mestima povećane saturacije vodom, prisustvu pukotina i uopšteno o nepovoljnim uslovima koji ugrožavaju sigurnost i funkcionalnost brana i nasipa. Primena geofizičkih metoda u kombinaciji sa geotehničkim istraživanjima predstavlja jedan od najefikasnih načina definisanja trenutnog stanja brana, nasipa i sl. U ovom radu su prikazani rezultati geofizičkih i geotehničkih istraživanja čiji je cilj bio definisanje trenutnog stanja brane na akumulaciji „Drenova“ kod Prnjavora, Bosna i Hercegovina.

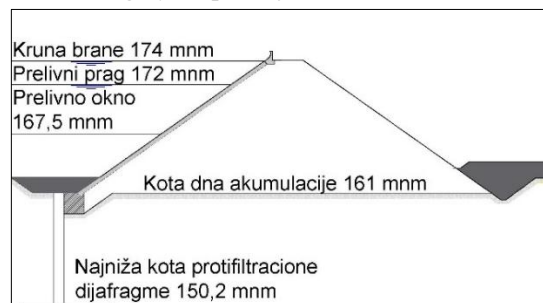
Ključne reči: geofizička istraživanja, geotehnička istraživanja, brana

1. UVOD

Akumulacija „Drenova“ je višenamenska akumulacija kod grada Prnjavora u Republici Srpskoj (slika 1), koja je izgrađena 1978. godine, prvenstveno sa namenom zaštite od poplava nizvodnog područja zbog bujičnog karaktera reke Vijake. Nakon izgradnje brane, akumulacija je duži vremenski period korišćena i kao izvoriste za vodosnabdevanje grada Prnjavora, zbog skromnih rezervi pitke vode na području opštine. Nivo održavanja brane bio je zadovoljavajući u početnom periodu, ali u poslednjih 25 godina nije ispunjavao propisane standarde za visoke brane [1]. Brana „Drenova“ je brana od kamenog nabačaja sa uzvodnim betonskim ekranom (slika 2). Ova brana ima građevinsku visinu od 15 m i ukupnu dužinu od 320 m. Centralni deo brane „Drenova“ je fundiran na aluvijalnim sedimentima, a bokovi većim dijelom na serpentinima [2].



Slika 1 - Geografska pozicija brane Drenova



Slika 2 - Pregradni profil brane Drenova [2]

Adresa autora: Dejan Petrović, DOO IPIN Institut za primijenjenu geologiju i vodoinženjering, Bijeljina, Vidoždanska 48, Bosna i Hercegovina

e-mail: dejanpetrovic@institutipin.com

Rad primljen: 03.07.2024.

Rad prihvaćen: 05.09.2024.

U oktobru 2022. godine sprovedena su istraživanja sa ciljem da se definiše trenutno stanje brane na aku-

mulaciji „Drenova“. U okviru tih istraživanja izvršena su geofizička i geotehnička ispitivanja profila brane „Drenova“.

Geofizička istraživanja obuhvatila su elektrometrijsku i seizmometrijsku metodu. Duž profila brane dužine 320 m, sprovedena su merenja tehnikom elektrometrijskog profiliranja, kao i postupkom seizmometrijske refrakcije.

Nakon završenih geofizičkih ispitivanja izvedeno je 5 istražnih bušotina kroz telo brane, odnosno do ulaska u čvrstu stensku masu, sa pratećim kartiranjem nabušenog materijala i terenskim ispitivanjima tokom bušenja (izvođenja standardnih penetracionih opita - SPT). Iz istražnih bušotina uzeti su uzorci i laboratorijski obrađeni.

Cilj ovog rada je sistematizacija rezultata svih izvedenih geofizičkih i geotehničkih istraživanja kako bi se prikazalo trenutno stanje brane na akumulaciji „Drenova“ kod Prnjavora.

2. METODE ISTRAŽIVANJA

Autori ovog rada su kroz primene geofizičkih i geotehničkih metoda istraživanja definisali stanje brane na akumulaciji „Drenova“. Od primenjenih metoda korišćene su dve dobro poznate geofizičke metode (elektrometrijska i seizmometrijska), kao i metode standardnih geotehničkih ispitivanja.

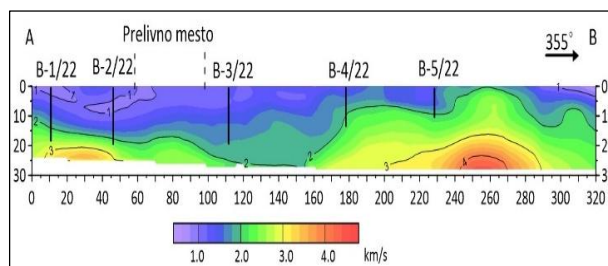
2.1. Geofizičke metode

Na kruni brane „Drenova“, u dužini od 320 m elektrometrijskom metodom izvršeno je merenje parametara električnog polja, odnosno merenje specifične električne otpornosti – SEO. Na osnovu razlike u otpornostima različitih materijala odnosno litoloških sredina definisan je elektrometrijski model brane. Razlike u otporima tumače se kao razlike u sadržaju vlage unutar slojeva tla, gde zone relativno većeg otpora imaju manji sadržaj vlage od područja relativno nižeg otpora. Generalno ova metoda daje dobre rezultate pri definisanju područja povećane saturacije vodom, što je od izuzetne važnosti za brane i druge hidrotehničke objekte.

Rezultat elektrometrijskih istraživanja je formiranje geofizičkog modela po izabranom elektrometrijskom parametru i njegovo prevođenje u namjenski model u vidu distribucije geoloških parametara, kao što su poroznost, salinitet, sadržaj gline, itd. Elektrometrijska merenja mogu biti izvedena u vidu 1D sondiranja i 2D profiliranja. Na lokaciji brane „Drenova“ izvedena su merenja tehnikom elektrometrijskog profiliranja (2D). Ova tehnika se zasniva na merenjima električnih svojstava stena. Različite stene pokazuju različita električna svojstva, te se njihovim određivanjem i interpretacijom mogu dobiti saznanja o građi i sastavu ispitivanog područja [3].

Postoji veliki broj različitih elektrodnih dispozitiva koji se koriste prilikom elektrometrijskih istraživanja. Četiri dispozitiva koja imaju najširu primjenu u istraživanjima električne otpornosti su: Wenner-ov, Schlumberger-ov, dipolni i pol-pol dispozitiv. Najvažnija svojstva dispozitiva su: osetljivost rasporeda na vertikalne i horizontalne promene otpornosti, horizontalna pokrivenost i dubinski zahvat [4].

Na kruni brane „Drenova“ merenja elektrometrijskom metodom izvedena su tehnikom elektrometrijskog profiliranja korišćenjem Wenner-ovog dispozitiva. Multielektrodno rastojanje iznosilo je 5 m, a multielektrodni dispozitiv sadržao je 60 elektroda. Na osnovu izmerenih i izračunatih vrednosti električnih otpornosti, izveden je elektrometrijski profil koji je prikazan na slici 3.



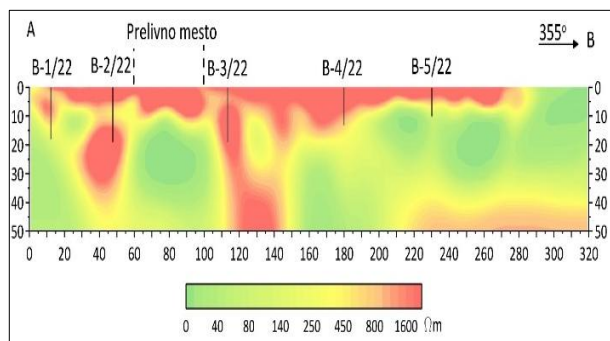
Slika 3 - Elektrometrijski profil [8]

Seizmometrijska merenja izvedena su postupkom seizmometrijske refrakcije po kruni brane odnosno po istom profilu kao i elektrometrijska ispitivanja. Seizmometrijska metoda generalno zasnovana je na pojavi da se seizmički talasi prostiru različitim brzinama kroz sredine sa različitim fizičko-mehaničkim svojstvima [5]. Na osnovu toga je moguće proceniti područje i dimenzije mehaničke dezintegracije te definisati različite zone povećane saturacije vodom kao i položaj procedne linije.

Seizmometrijska refrakcija [6] zasniva se na merenju vremena širenja elastičnih seizmičkih talasa, od izvora do geofona, kroz geološke strukture pod površinom. Talasi se odbijaju i lome na granicama materijala različitih gustina i deformacijskih svojstava. Seizmometrijski talas se generiše na površini terena udarcem čekića ili vibratorom. Dolazak talasa na površinu detektuje se pomoću mernih senzora – geofona. Postavljanjem geofona duž određenog pravca dobija se 2D profil brzina širenja talasa. Pažljivim odabirom rasporeda geofona i dužine profila omogućavamo dobru rezoluciju po dubini i širini istražnog prostora. Na taj se način jasno mogu odrediti konture geoloških formacija i dubina do kontakata materijala različitih mehaničkih svojstava. Rezultati refrakcionih seizmometrijskih ispitivanja prikazani su u obliku 2D modela po parametru brzina prostiranja elastičnih talasa duž trase ispitivanog profila. Obrada podataka refrakcionih merenja izvedena je savremenom $\Delta T-V$

metodom inverznog modeliranja. Po njoj je iteracijama dobijen model raspodele brzina ispod svakog geofon-skog mesta koji najbolje zadovoljava terenske podatke.

Za potrebe refrakcionih merenja korišćeni su geofoni rezonantne frekvencije od 10 Hz. Refrakciona ispitivanja su izvedena sa međugeofonskim rastojanjem od 5 m, te je dubina zahvata bila oko 25 m, a na osnovu razlike u brzinama elastičnih talasa izdvojene su sredine različitih elastičnih karakteristika. Na osnovu svega navedenog formiran je 2D model (slika 4) distribucije brzina po profilu brane Drenova.



Slika 4 - Seizmometrijski profil [8]

2.2. Geotehnička ispitivanja

Na krani brane su izvedena i geotehnička istraživanja, odnosno izvedeno je pet istražnih bušotina u kojima su izvođena „In situ“ istraživanja u vidu standardnih penetracionih opita, a u toku bušenja uzimani su i uzorci koji su laboratorijski obrađeni. Bušenje u čvrstim stenskim masama je vršeno DTH metodom sa korišćenjem komprimovanog vazduha za iznošenje nabušenog materijala.

U glinovitim sedimentima bušenje je vršeno rotacionom metodom bušenja, korišćenjem duple jezgrene cijevi za potrebe jezgrovanja nabušenog materijala. Identifikacija nabušenog materijala se vršila kontinuirano tokom bušenja. Takođe, tokom bušenja vršena su geotehnička „In-situ“ ispitivanja, odnosno sprovedene su standardne penetracione probe (SPT) na bušotinama na osnovu čega je tlo definisano na terenu.

Standardni penetracioni opiti [7] (Standard penetration test, skraćeno SPT) se izvodi u prethodno izbušenoj i očišćenoj bušotini. Na dno bušotine, odnosno na kraj bušačih šipki se montira standardizovana „penetraciona kašika (cilindar) koja se spusti na dno bušotine a potom udarcima malja propisane težine (63,5 kg) i visine pada (76 cm), pobija u dno bušotine. Pri tom se meri broj udaraca N, potreban za tri sukcesivna prodiranja od po 15 cm. Tako dobijeni rezultati ispitivanja SPT-a su poslužili za procenu parametara čvrstoće i relativne zbijenosti nekoherentnih materijala prema postojećim korelacijama, te uspostavljanje neposrednih korelacija sa rezultatima laboratorijskih ispitivanja.

Laboratorijska ispitivanja su izvedena po standardnim uputstvima za laboratorijska ispitivanja tla i stena. Izvršena su sledeća laboratorijska ispitivanja:

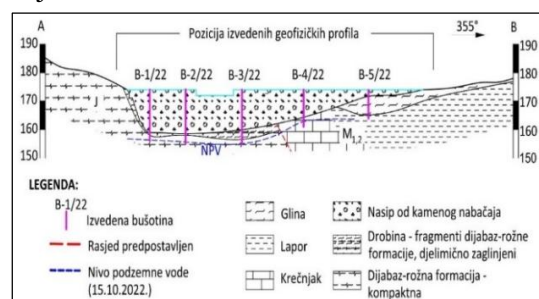
- Određivanje konzistencije tla - Aterbergove granice (BAS CEN ISO/TS 17892-12),
- Određivanje vlažnosti (BAS CEN ISO/TS 17892-1),
- Određivanje zapreminske težine (BAS CEN ISO/TS 17892-2),
- Određivanje modula stišljivosti (BAS CEN ISO/TS 17892-5),
- Određivanje ugla unutrašnjeg trenja i kohezije direktnim smicanjem (BAS CEN ISO/TS 17892-10).

Tokom bušenja je praćena pojava podzemne vode, a nakon završenih radova je izvršeno i merenje nivoa podzemne vode.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na profilu brane „Drenova“ izvedena su geofizička istraživanja elektrometrijskom i seizmometrijskom metodom, odnosno njihovim standardnim postupcima i tehnikama. Elektrometrijska metoda sprovedena postupkom elektrometrijskog profiliranja je otkrila dve glavne zone: jednu sa relativno velikim otporima, što ukazuje na manje vlažne materijale, i drugu sa relativno niskim otporima, karakterističnu za glinovite materijale i potencijalno rasedne zone (slika 3). Telo brane pokazuje relativno velike otpornosti sa malim varijacijama, osim na mestima gde prolaze cevovodi.

Seizmometrijska metoda sprovedena postupkom seizmometrijske refrakcije je pokazala različite brzine širenja seizmičkih talasa, što ukazuje na varijacije u kompaktnosti i zbijenosti materijala (slika 4). Brzine seizmometrijskih talasa unutar tela brane kreću se od 1 do 1,5 km/s i povećavaju se sa dubinom, što odgovara očekivanoj kompaktnosti materijala. Nema značajnih anomalija koje bi ukazivale na ozbiljna oštećenja ili curenja.



Slika 5 - Inženjerskogeološki profil [8]

U okviru geotehničkih istraživanja na krani brane izvedeno je 5 istražnih bušotina (slika 5) različitih dubina (tabela 1). Istražnim bušenjem je potvrđeno da je

telo brane izgrađeno od kamenog nabačaja, te da se u podini nalaze stene dijabazrožne formacije, krečnjaka i lapora. Geotehnička istraživanja su pokazala da je materijal brane vrlo zbijen, stabilan, i da ne postoji značajno curenje vode iz akumulacije. Nivo podzemne vode u bušotinama je ispod nivoa vode u akumulaciji, što potvrđuje odsustvo prodiranja vode. Ovi rezultati sugerisu da je stanje brane „Drenova“ trenutno stabilno, bez indikacija značajnih strukturnih problema ili erozije.

Tabela 1. Konačne dubine bušenja istražnih bušotina na kruni brane Drenova [8]

Oznaka bušotine	Dubina (m)
B-1/22	18
B-2/22	19
B-3/22	19
B-4/22	13
B-5/22	10

3. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je predstavio rezultate geofizičkih i geotehničkih istraživanja koja su sprovedena s ciljem definisanja trenutnog stanja brane „Drenova“ kod Prnjavora, Bosna i Hercegovina. Kombinovano korišćenje seizmometrijske refrakcije i elektrometrijskog profiliranja omogućava precizno otkrivanje anomalija, zona nestabilnosti i područja sa povećanom saturacijom vode. Rezultati istraživanja pokazali su da nema značajnih strukturnih problema ili curenja unutar brane, što ukazuje na njenu stabilnost i integritet. Geotehnička istraživanja, uključujući istražno bušenje, opite standardne penetracije, kao i laboratorijska ispitivanja, potvrdila su nalaze geofizičkih metoda, dajući potpunu sliku stanja brane.

Ova kombinacija metoda pokazala se efikasnom u oceni stanja hidrotehničkih objekata, pružajući visok nivo pouzdanosti i preciznosti u interpretaciji rezultata. Preporučuje se primena ovakvih integrisanih metoda i u budućim istraživanjima kako bi se osigurala sigurnost i stabilnost sličnih infrastrukturnih objekata.

LITERATURA

- [1] Novaković V, Petrović D, Nikolić N, *Projekat detaljnih geofizičkih, geotehničkih i hidrogeoloških istraživanja na prostoru brane Drenova, Opština Prnjavor*, DOO IPIN, Bijeljina 2022.
- [2] Vinterfeld S. i drugi, *Studija analiza stanja i prijedlog mjera za sanaciju brane, uspostavljanje sistema monitoringa i upravljanja branom i akumulacijom Drenova*, Zavod za vodoprivredu doo, Bijeljina, 2017
- [3] Everett E. M, *Near-Surface Applied Geophysics*, Cambridge university press, New York, USA, 2013
- [4] Lowrie W. *Fundamentals of Geophysics, second edition*, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich
- [5] Reynolds M. J, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, West Sussex, England, 1997
- [6] Philip Kearey Michael Brooks Ian Hill *An Introduction to Geophysical Exploration*, third edition, Blackwell Science Ltd, Oxford, 2002
- [7] Obradović R, Najdanović N. *Mehanika tla u inženjerskoj praksi*, Rudarski Institut, Beograd, 1999
- [8] Novaković V, Petrović D, Nikolić N, *Elaborat o izvedenim detaljnim geofizičkim, geotehničkim i hidrogeološkim istraživanjima na prostoru brane Drenova, Opština Prnjavor*, DOO IPIN, Bijeljina 2022

SUMMARY

SELECTION OF GEOPHYSICAL METHODS FOR DEFINING THE CURRENT STATE OF THE DAM ON THE EXAMPLE OF THE DRENOVA RESERVOIR NEAR PRNJAVOR, BOSNIA AND HERZEGOVINA

Due to their importance and function, dams, embankments and similar hydrotechnical facilities require constant maintenance, which, among other things, involves checking and monitoring their mechanical condition. Geophysical surveys do not damage the existing condition of such objects, they are quick and cheap, and they provide important information about zones of instability, places of increased water saturation, the presence of cracks and, in general, about unfavorable conditions that threaten the safety and functionality of dams and embankments. The application of geophysical methods in combination with geotechnical research is one of the most effective ways of defining the current state of dams, embankments, etc. This paper presents the results of geophysical and geotechnical investigations, the goal of which was to define the current state of the dam at the Drenovo reservoir near Prnjavor, Bosnia and Herzegovina.

Key Words: *geophysical research, geotechnical research, dam*