



ИСКУСТВА ОД ГЕОТЕХНИЧКО И ГЕОДЕТСКО НАБЉУДУВАЊЕ НА ХИДРОЈАЛОВИШТЕТО „ТОПОЛНИЦА“ ВО ПЕРИОД 2016-2021

Игор Пешевски¹, Златко Богдановски², Јован Бр. Папиќ³, Сеад Абазџи⁴

Резиме

Хидројаловиштето „Тополница“ е карактеристично поради моделот на градење: во период од 30 години и достигнување на височина од 90 m, тоа е градено по низводен метод, додека во последните 15 години, односно до висина од 134 m, применет е возводен метод, што значи дека браната е лоцирана на старото јаловишно езеро. Имајќи ги предвид и другите важни елементи поврзани со неговата позиционираност – над рурално место и во сеизмичка средина - се подразбира неопходност од посебно внимание насочено кон негово набљудување. За таа цел, при проектирањето на системот за набљудување, следени се државната регулатива, меѓународните искуства и резултатите од нумеричките моделирања за надвишување на хидројаловиштето. Тој се состои од поставување и редовно следење на инклинометри, пиезометри, сеизмограми, геодетски систем и често вршење контролни теренски и лабораториски испитувања. Во овој труд се изнесуваат искуства од набљудување на највисоката хидројаловишна брана кај нас, градена со комбиниран метод, и се дава извод од наоди добиени со различни техники.

Клучни зборови: Хидројаловиште, набљудување, инклинометри, геодетски систем.

EXPERIENCES FROM GEOTECHNICAL AND GEODETIC MONITORING OF THE TAILING DAM TOPOLNICA IN THE PERIOD 2016-2021

Igor Peševski¹, Zlatko Bogdanovski², Jovan Br. Papić³, Sead Abazi⁴

Abstract

Tailing dam Topolnica is specific for its building model: in a period of about 30 years and reaching height of 90 m, it was built with downstream method, while in the past 15 years, i.e. up to height of 134 m, an upstream method was applied, thus the tailing dam is positioned over the old tailing lake. Having in mind two other important elements related to its location – placed above rural settlements and in seismic prone area, it is understood the necessity of the special attention focused on the monitoring. For that purpose, both the national regulation, international experiences and results from numerical models for the vertical expansion of the tailing dam were followed when designing the monitoring system. It consists of placing and regular monitoring of inclinometers, piezometers, seismograms, surveying system and frequent performing of control field investigations and laboratory tests on specimen. The paper aims to digest the experiences of monitoring the tallest tailing dam in our country, built with combined method, and expose the findings obtained via different techniques.

Keywords: Tailing Dam, monitoring, inclinometers, surveying system.

¹ Вонр. проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет – Скопје, pesovski@gf.ukim.edu.mk

² Вонр. проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет – Скопје, bogdanovski@gf.ukim.edu.mk

³ Вонр. проф. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет – Скопје, papic@gf.ukim.edu.mk

⁴ Доц. д-р, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Градежен факултет – Скопје, sead@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Оскултацијата на хидројаловиштата (ХЈ) подразбира визуелни набљудувања и мерења, со кои се опфаќаат геодетски, геотехнички и земјотресен надзор. ХЈ „Тополница“ на рудникот за бакар „Бучим“ во Македонија е изградено во текот на р. Тополница, над с. Тополница и во сеизмички активна средина, а со намена за депонирање на флотациската јаловина и акумулирање на проточните води на реката заради нивно користење при снабдувањето на рудникот со технолошка вода. Неговата изградба била планирана со висина од 90 m, но досега двапати е надвишувано кон возводната страна до 110 m (до почетокот на 21 век) и денешната висина од 134 m. На него уште од 1986 год. има воспоставено систем за набљудување. Главната цел е да се добијат доверливи податоци за поместувањето и притисоците што би се развиле во ХЈ и тие да се споредат со пресметаните. Исто така, отчитувањата од мерењата може да имаат важна второстепена функција во обезбедувањето јасна слика за однесувањето на ХЈ и акумулациониот простор како основа за анализите за кои било тешкотии што може да се појават при работата на ХЈ, да се преземат соодветни мерки и исклучување на секаков ризик. Трета и многу важна цел е да се унапреди техниката на проектирањето на ХЈ преку добиените сознанија за однесувањето на браните преку овие мерења. На пр., инклинометрите сигнализираат поместувања кои варираат по длабочина и по локација: едни се со занемарливи износи, додека други покажуваат поизразени деформации на материјалот во ХЈ. Набљудувањето во новоформирани услови доминантно се врши од страна на Градежниот факултет – Скопје, а за што во 2008 год. е изработен „Проект за техничко набљудување на хидројаловиштето *Тополница* на рудникот *Бучим* - Радовиш при изведба на песочна брана до 654 м.н.в.“, во согласност со „Правилникот за минимално потребните работи и мерки за техничко набљудување на браните чиешто акумулации и хидројаловишта се над населени места или стопански објекти од општ интерес“.

2. СИСТЕМИ ЗА СЛЕДЕЊЕ

Системот за набљудување на јаловиштето се состои од визуелни набљудувања и мерења. Во проектот за следење се дефинирани методите и постапките за набљудување, бројот и видот на инструментите и опремата, распоредот на мерните места, обемот и динамиката на мерењето, како и критериумите за оценка на дозволените промени на мерните големини. Мерења во определени временски интервали се вршат на нивото на водата во акумулацијата, нивото на водата во пиезометрите, капацитетот на водата во колекторот и во изворите, инклинациите во инклинометрите, геодетски мерења и мерење на сеизмичката активност. Поради обемот на податоците и ограничениот простор, во продолжение се дава осврт за геодетски и геотехнички следења, со акцент на мерни места J и T означени на слика 1.

2.1 ТЕРЕНСКИ ГЕОТЕХНИЧКИ МЕРЕЊА

По постигнувањето на максималната висина на јаловиштето во мај 2012 година, системот за набљудување е дополнет и се состои од пет инклинометри за следење на хоризонталните деформации во телото на ХЈ и шест пиезометри за следење на нивото на подземните води и порните притисоци. Нивната диспозиција може да се види на слика 1, а карактеристиките во табела 1.

Табела 1. Позиционираност на инклинометрите

Ознака на инклинометар	Профил	Кота на горен раб на инклинометарска цевка [masl]	Должина [m]
J1	0+180	630.73	58
J2	0+260	643.76	66
J3	0+360	653.00	85
J4	0+360	625.00	54
J5	0+460	642.94	70

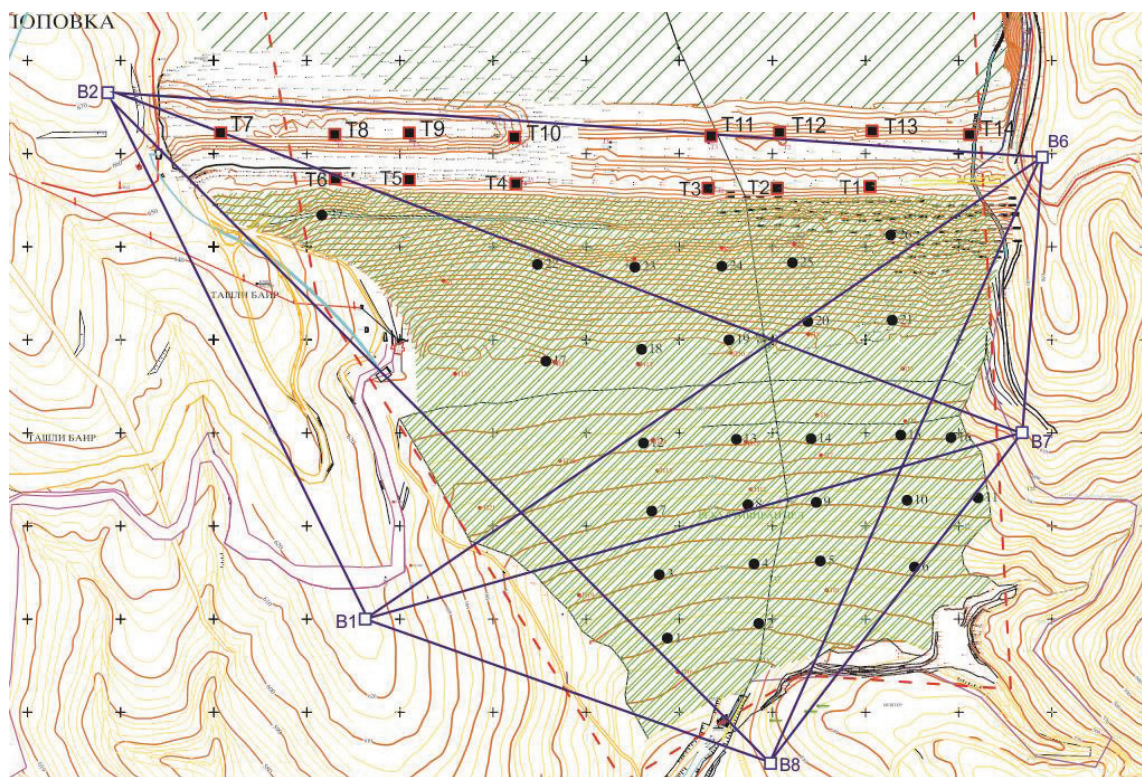
GS 09 (слика 2). Сите се карактеризираат со точност на мерење на базните вектори од $3 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$.



Слика 2. ГНСС мерна технологија користена при геодетските мерења

При изведувањето на самите мерења, користени се истите ГНСС приемници на истите точки од МТМ (слика 3), односно контролните точки по телото на браната во секоја серија мерења, со што е елиминирана евентуалната појава на грешки заради разлики во фазните центри на ГНСС антените од приемниците. Изведувањето е спроведено во согласност со статичката метода со релативно позиционирање врз основа на симултано мерење на сите точки од МТМ, а за точките по телото на браната, исто така, е извршена статичка метода на позиционирање со опсервација од по 15 min на секоја од точките.

Врз основа на ГНСС позиционирањето во сите серии мерења, определени се координатите на точките од МТМ и мрежата на контролни точки по телото на браната во Светскиот геодетски систем (WGS 84). За таа цел, најпрво е извршено израмнување на базните вектори на мерењата, а потоа, врз основа на специјално подготвени трансформациски параметри за областа, е извршена трансформација на координатите од Светскиот геодетски датум во Државниот координатен систем.



Слика 3. Распоред на микротригонометриската мрежа и мрежата на контролни точки

Имајќи ја предвид релативно помалата точност на ГНСС позиционирањето за определување на вертикалните компоненти од деформациите во однос на хоризонталните деформации, во рамки

на геодетските деформациски мерења на браната од ХЈ „Тополница“ применета е методата на прецизен геометриски нивелман со нивелирање на принцип на затворени полигони. За таа цел, во рамки на нултата геодетска оскултација изведена во октомври 2016 година воспоставена е нивелманската мрежа на браната, којашто се состои од три референтни (основни) репери во близина на браната, две точки од МТМ и 39 точки по телото на браната.

Самата постапка на нивелирање во нивелманската мрежа за сите серии мерења е извршена со прецизниот нивелмански инструмент Leica DNA03 и специјални прецизни инварски летви со баркодирана поделба. Инструментот има декларирана точност од 0.3 mm/km, со што во целост ги задоволува стандардите за примена во ваков вид геодетски деформациски мерења.

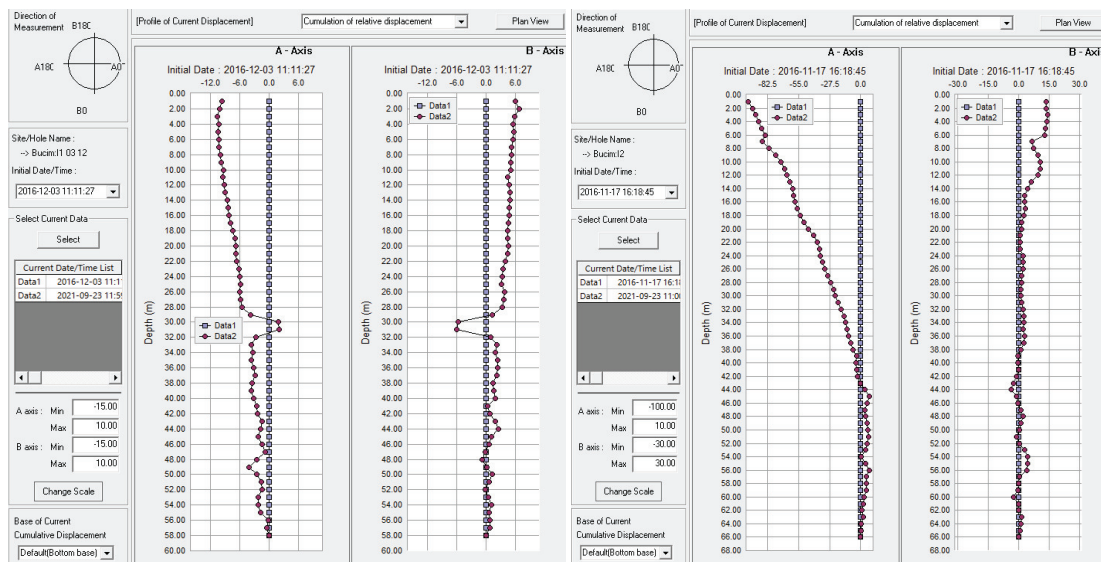
Израмнувањето на нивелманската мрежа е извршено по пат на индиректните мерења, а како параметар на точноста се истакнува средната грешка на единица тежина која се движи меѓу сериите мерења од 0,29 – 0,42 mm/km.

3. РЕЗУЛТАТИ ОД СИСТЕМОТ ЗА НАБЉУДУВАЊЕ

Резултатите од повеќедецениското набљудување на ХЈ се изнесени во редовни наменски месечни, полугодишни и годишни извештаи доставувани до службите на рудникот. Во рамките на овој труд ќе се даде споредба на мерењата извршени со геодетски и геотехнички методи направени во периодот 2016-2021 год., со осврт на поместување на врвот на инклинометарските цевки.

3.1 ИНКЛИНОМЕТРИ

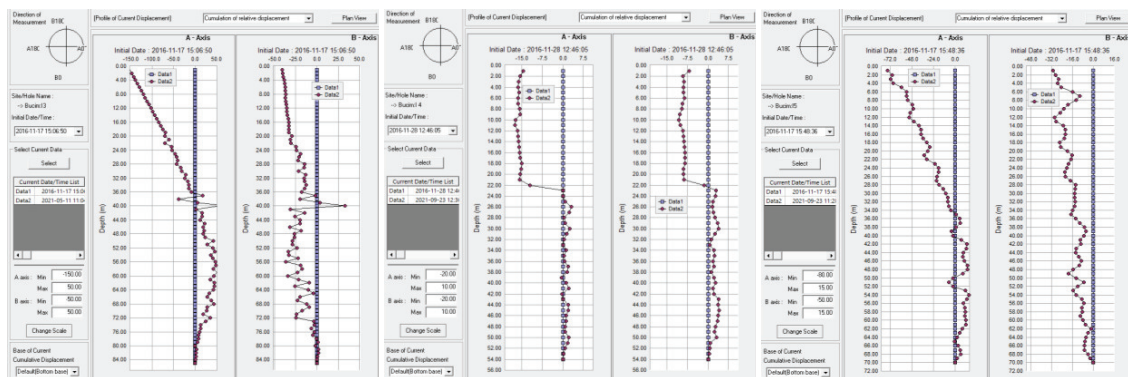
На слика 4 се прикажани дијаграми на вкупни поместувања на инклинометрите J1 и J2.



Слика 4. Вкупни релативни поместувања на инклинометрите J1 и J2 во периодот 2016-2021 г.

Во разгледуваниот период, на врвот на инклинометарската цевка J1 се забележани поместувања во износ до 11 mm во правец А и 7 mm во правец Б. Притоа, оние во правец А се со насока кон хидројаловиштето.

Трендот на поместувања во инклинометарот J2 е речиси константен низ годините, со тоа што поместувањата во правец А се доминантни и изнесуваат 100 mm за 5 години, додека во правец Б не надминуваат 14 mm.



Слика 5. Вкупни релативни поместувања на инклинометрите J3, J4 и J5 во периодот 2016-2021 г.

Инклинометарот J3 е специфичен по тоа што е лоциран во профил каде што ХJ брана е највисока, со што е најдолг и највисоко позициониран. Воедно, непосредно пред примената на новата софистицирана опрема за мерење на инклинометрите, истиот е надвишен во текот на 2015 год. за 6 m, што делумно го закривува и го отежнува воспоставувањето директна корелација со поранешните мерења. Низ годините тој доживеал деформации во правец А кои благо растат во двете насоки (и низводно и возводно) речиси по целата должина, па во горните 2/3 тие се насочени возводно, додека долната третина е закривена низводно. Со нив, на врвот се формира вкупно поместување од 151 mm за периодот 2016-2021 год., со кои овој дел од ХJ се класифицира во многу бавно свлечиште. Не само поради изразените деформации, туку и поради смолкнувањето во зоната 36-40 m, а со тоа и очекуваниот прекин во понатамошни мерења, препорачано е во негова близина да се вгради нова цевка, што е сторено во втората половина на 2021 година. Во правец Б, вкупните поместувања на врвот изнесуваат 41 mm.

Формата на деформациите и длабочините на кои се јавуваат нешто поизразени поместувања кај инклинометарот J4 е слична на оние на J1, што е и разбирливо бидејќи се позиционирани на слична ката. Во однос на мерењето во 2016 год., врвот на инклинометарот се поместил за 15 mm во правец А и 7 mm во правец Б. Притоа, оние во правец А се насочени возводно.

Поместувањата на врвот на инклинометарот J5 во периодот 2016-2021 год. во правец А се 75 mm (инкременталните наизменично се јавуваат двонасочно: возводно и низводно), а во правец Б се 31 mm. Како што беше случај и кај другите цевки, вкупните поместувања во правец А се возводно насочени.

Изводот од сумарните прегледи на поместувањата во разгледуваниот период е даден во табела 2.

Табела 2. Преглед на регистрирани поместувања на инклинометрите во период 2016-2021 год.

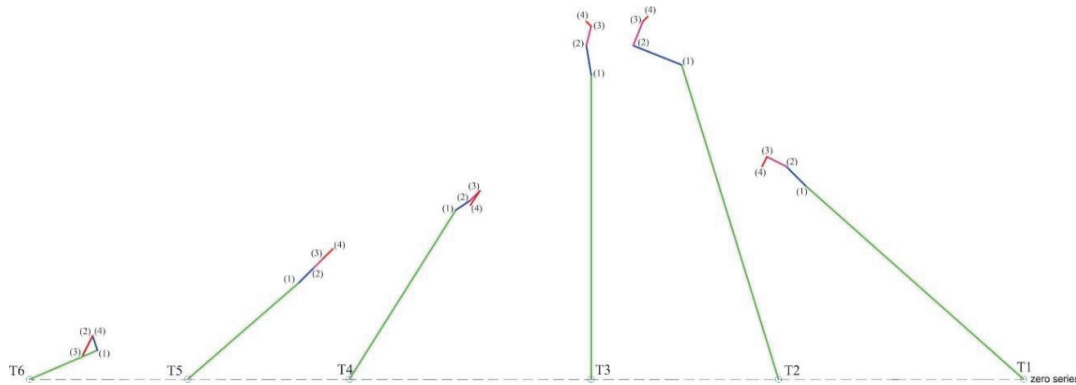
Ознака	Профил	Кота на горен раб	Должина	Прираст на поместувања на врвот на инклинометарска цевка во период 2016-2021 год. [mm]		
				А	Б	Вкупно
	[m]	[м.н.в.]	[m]			
J1	0+180	630.73	58	11	7	13
J2	0+260	643.76	66	100	14	101
J3	0+360	653.00	85	151	41	156
J4	0+360	625.00	54	15	7	16
J5	0+460	642.94	70	75	31	81

3.2 ГЕОДЕТСКИ МЕРЕЊА

Положбените и висинските деформации на контролните точки по телото на браната се добиваат со споредба на резултатите од актуелна серија мерења со вредностите од претходните серии

мерења. Треба да се нагласи дека хоризонталниот геодетски датум на точките е дефиниран преку правоаголните координати на микротригонометриската точка B_2 , а нејзината надморска височина е искористена за дефинирање на висинскиот датум на мрежата.

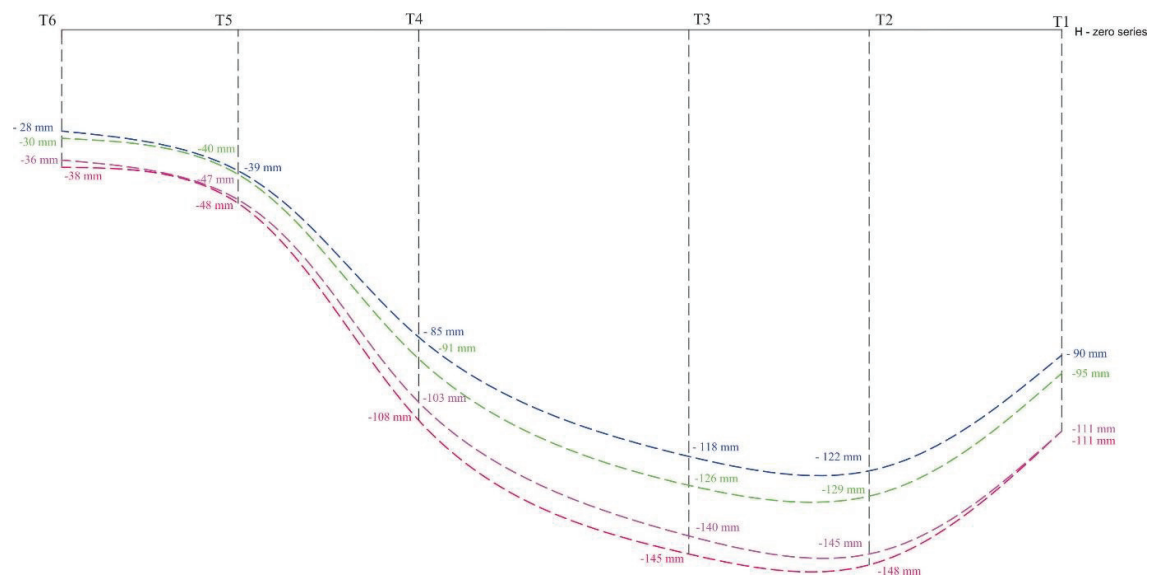
За воспоставување корелација со геотехничките мерења, во рамките на овој труд се презентирани дел од резултатите од деветтата серија на геодетски деформациски мерења (2021) и мерењата од нултата оскултација (2016).



Слика 6. Графичка интерпретација на хоризонталните поместувања од серија (0) до серија (4) за точките T1-T6

Максималните положбени деформации во однос на нултата серија се јавуваат во мерните точки на круната на браната. Притоа, максимална деформација е регистрирана во точка T_{12} и изнесува 81 mm , додека деформации поголеми од 40 mm се регистрирани и во точките T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_{10} , T_{11} , T_{13} и T_{14} . Имајќи предвид дека инклинометрите се поставени во околина на точките T_2 , T_3 и T_4 , се изнесуваат износите само за нив: $T_2=80 \text{ mm}$, $T_3=74 \text{ mm}$ и $T_4=44 \text{ mm}$. Во секој случај, правецот на линеарните деформации во точките од круната на браната и од првата берма е нормален на круната на браната со насока кон север, односно кон акумулацијата.

Максималните висински деформации на површината на јаловиштето во однос на нултата серија мерења повторно се регистрирани на мерните точки од круната на браната: максималното слегнување е регистрирано во точката T_{11} и изнесува -159 mm .



Слика 7. Графичка интерпретација на вертикалните поместувања од серија (0) до серија (4) за точките T1-T6

4. ЗАКЛУЧОЦИ

Врз основа на мерењата на деформациите на инклинометрите, како и анализите на презентираниите резултати, може да се заклучи дека инклинометарските мерења претежно покажуваат поместувања. Впечатливо е тоа дека најголем дел од должината на цевките се поместени возводно, т.е. кон хидројаловиштето, што би сигнализирало одредено слегнување на свежиот материјал нанесен врз ХЈ материјал пред последното надвишување. Во периодот 2016-2021 год., на површината на теренот, кај Ј1 и Ј4 се воочени поместувања со износи од 13 mm и 16 mm, соодветно, односно од по 81 mm и 101 mm кај инклинометрите Ј2 и Ј5. Максималното поместување е регистрирано со Ј3 и изнесува 156 mm. Впечатливо е тоа дека на најголемите длабочини претежно не се регистрираат поместувања, што сугерира дека во зоните на порано нанесената јаловина, каде што и се лоцирани најдлабоките делови на цевките, материјалот најверојатно е солидно стабилизиран и зацврснат.

Врз основа на геодетските деформациски мерења што се спроведени од 2016 до 2021 г., може да се заклучи дека избраните методи за определувањето на положбените и висинските деформации по површината на браната се во согласност со стандардните и бараната точност за ваков тип објекти. Максималните положбени деформации на последната серија мерења (декември 2021) во однос на нултата серија (2016 год.) се јавуваат во мерните точки на круната на браната. Максимална деформација е регистрирана во точка Т₁₂ и изнесува 81 mm, додека за точките во околина на инклинометрите изнесуваат Т₂=80 mm, Т₃=74 mm и Т₄=44 mm. Повеќето на линеарните деформации во точките од круната на браната и од првата берма е нормален на круната на браната со насока кон акумулацијата.

Имајќи ги предвид изнесените податоци од мерењата во периодот 2016-2021 год., може да се констатира следното по однос на поместувањата на врвот на инклинометарските цевки регистрирани со геотехнички методи и поместувањата во нивната околина измерени со геодетски набљудувања:

- Инклинометарот J-1 е лоциран далеку под геодетската точка Т₂, а регистрираните поместувања им се соодветно 13 mm и 80 mm;
- J-2 е поставен под точката Т₃, а измерените поместувања им се соодветно 101 mm и 74 mm;
- J-3 е помеѓу точките Т₃ и Т₄, а поместувањата им се соодветно 156 mm, 74 mm и 44 mm;
- Инклинометарот J-4 се наоѓа далеку под Ј3 и кај него е регистрирано поместување од 16 mm;
- Ј5 е под Т4 (поместена 44 mm), а со него е измерено поместување на врвот на цевката 81 mm.
- Ј1 и Ј4 покажуваат зони на поместувања на иста ката.

Одредените постојни разлики на регистрираните поместувања во разгледуваниот петгодишен период се должат на недоволната близина на поставеност на геодетските и геотехничките мерни точки, што оневозможува воспоставување цврста врска и блискост помеѓу наодите. Сепак, за истакнување е тоа дека, без оглед која метода се разгледува и применува, сите регистрирани поместувања се – возводно насочени.

Делумно влијание имаат и околните услови. Така, на пр., инклинометрите J-1 и J-4 се во материјал над првичната ХЈ брана, во која материјалот е збиен, а се лоцирани во пошумен дел на косината, поради што се јавуваат помали деформации од оние измерени геодетски. Токму и извесното закривување кај дијаграмите на поместувања во нивните најгорни делови е можно да се должи на позитивното влијание на вегетативниот коренов систем врз стабилноста на косините.

Со оглед на јасното совпаѓање на насоките (кон север) и сличноста на рангот на износи на поместувања на површината на теренот според различни методи, со кои се зафаќа голема површина, се препорачува да се продолжи со постојната динамика на набљудувања, но и да се прошири со други методи на набљудување, со што ќе се дава редовна потврда за стабилноста на најголемото хидројаловиште во Македонија, кое, секако, е лоцирано и надградувано во мошне специфични услови.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ACE INSTRUMENTS: GeoPro V.3.0 – Software for vertical inclinometer system, 2006
- [2] J. Papic, I. Peshevski, Zl. Bogdanovski, B. Susinov: “Monitoring of Tailings Dam Built Over Tailings Pond”, 11th International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics, London, 2022
- [3] Основен проект за јаловиштето Тополница на рудникот Бучим, Радовиш, за песочна брана до кота 654 мнв, Градежен факултет – Скопје, 2005
- [4] Правилник за минимално потребните работи и мерки за техничко набљудување на браните чии акумулации и хидројаловишта се над населени места или стопански објекти од општ интерес, Службен весник на РМ, 2002
- [5] Проект за техничко набљудување на хидројаловиштето „Тополница“ на рудникот „Бучим“ - Радовиш при изведба на песочна брана до 654 м.н.в., Градежен факултет – Скопје, 2008