ANALÝZA PARAMETROV INJEKČNEJ CLONY V PODLOŽÍ PRIEHRADY VLČIA DOLINA

ANALYSIS OF PARAMETERS OF THE INJECTION CURTAIN IN THE BEDROCK OF THE VLČIA DOLINA DAM

Patrik Václavík^{*,1}

^{*}patrik.vaclavik@stuba.sk

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra geotechniky, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, Slovenská republika²

Abstrakt

Cieľom predkladaného článku je analýza parametrov injekčnej clony (IC) v podloží vodného diela Vlčia Dolina s prihliadnutím na modernejšie kritéria pre vodné tlakové skúšky (VTS). Vstupné údaje pre hodnotenie injekčnej clony boli prevzaté z výsledkov vodných tlakových skúšok. Pri návrhu parametrov injekčnej clony v dobe jej výstavby boli používané Lugeonové, príp. Jädeho kritéria. V súčasnej dobe, takmer 70 rokov od započatia prevádzky vodného diela sa pre návrh parametrov (hlĺbka) používajú novšie kritéria, ako napr. Verflove alebo Houlsbyho. Účelom predkladaného článku je najmä analýza vhodnosti použitia spomínaných kritérií (Jähde, Verfel, Houlsby) v podmienkach podložia priehrady Vlčia Dolina. Metódou konečných prvkov (MKP) bola hľadaná optimálna hlĺbka injekčnej clony.

Kľúčové slová

Priehrada, podložie, vodné tlakové skúšky, piezometrická výška, vztlak

Abstract

Goal of this article is to analyze the parameters of the curtain grouting (CG) in the bedrock of the Vlčia Dolina dam, using the modern criteria for water pressure tests (WPT). The input data for the evaluation of the CG were taken from the results of the water pressure tests. When designing the parameters of the injection screen at the time of its construction, Lugeons criteria were used. At present, 70 years after the start of operation of the waterworks, newer criteria are used for the design of parameters (depth). The purpose of the presented article is mainly the analysis of the suitability of the use of the criteria (Jähde, Verfel, Houlsby) in the conditions of the bedrock of the Vlčia Dolina dam. The finite element method (FEM) was used to find optimal depth of the curtain grouting.

Key words

Dam, bedrock, water pressure test, piezometric height, uplift pressure

1 ÚVOD

Bezpečnosť vodných stavieb, ako sú priehrady, ochranné hrádze, poldre či odkaliská, je vo svete stále aktuálnou témou. Ich úlohou je najmä protipovodňová ochrana, zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, výroba elektrickej energie, závlahy a ďalšie. Aby mohli tieto úlohy spoľahlivo plniť, je nevyhnutné venovať pozornosť funkcií protipriesakových opatrení, ktorá je bezprostredne spojená s bezpečnosťou hrádzi vodných stavieb. Ich optimálny návrh je determinovaný spoľahlivosťou inžiniersko-geologických podkladov. Osobitý význam v procese riešenia filtračných úloh má priepustnosť horninového prostredia. Pri určovaní priepustnosti skalných hornín zastávajú popredné miesto vodné tlakové skúšky (VTS). V prípade nepriaznivých výsledkov vodných tlakových skúšok sa pristupuje k nákladnému utesňovaniu podložia priehrad, najčastejšie pomocou injekčných clón.

2 STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA VODNÉHO DIELA

Vodná nádrž Vlčia Dolina bola vytvorená prehradením údolia Vlčej doliny betónovou gravitačnou priehradou [1]. Výška telesa priehrady nad terénom je 19 m, nad základovou škárou 27 m (Obr. 1). Koruna priehrady sa nachádza na kóte 512,60 m n. m. Dĺžka priehrady v korune je 137,60 m. Teleso priehrady je vytvorené 15-timi blokmi dĺžky 6 až 12 m. Návodné lice je v sklone 1 : 0,03, vzdušné v sklone 1 : 0,72. V oblasti základovej škáry majú bloky šírku 6 až 17 m, hĺbka založenia blokov pod terénom sa nachádza v rozmedzí 4 až 7 m. Bezpečnostný priepad pozostáva zo štyroch polí šírky 3,30 m, ktoré sa nachádzajú na blokoch v ľavostrannej oblasti údolnej nivy.

Obr. 1 Schéma priečného profilu priehrady Vlčia Dolina [1].

Popis geologickej skladby podložia

Záujmové územie predstavuje komplex vulkanických a sedimentálnych hornín, pričom prevahu majú vulkanické horniny (Obr. 2). Skalný podklad priehrady tvoria v prevažnej miere amfibolity zelenej, sivozelenej až čiernej farby, s množstvom kremeňa rôznej mocnosti a s tenkými žilkami sideritu, ankeritu, magnezitu a živcov. Pokryvné vrstvy mocnosti maximálne 4 m sa skladajú zo suťových hlin, štrkov a kamenitých sutí. Výstavba priehrady v hlbokom údolí Vlčej bola sprevádzaná problémami. Za zmienku stojí napr. zosun asi 25 000 m³ horniny, ktorý vznikol pri zakladaní priehrady v pravom údolnom svahu.

Obr. 2 Geologická mapa Slovenska s vyznačením polohy priehrady Vlčia Dolina [2].

3 VODNÉ TLAKOVÉ SKÚŠKY

Vodnými tlakovými skúškami stanovujeme priepustnosť hornín. Vodné tlakové skúšky sú stále najkomplexnejšie a najvyužívanejšie metódy na určenie priepustnosti skalných hornín. Podstata skúšky spočíva vo vŕhaní vody do uzatvoreného priestoru vrtu (skúšanej etáže) pod tlakom a sledovanie množstva straty vody v posudzovanej etáži v $l \cdot min^{-1} \cdot m^{-1}$, z čoho sa následne stanoví priepustnosť horniny. Základná jednotka, v ktorej hodnotu priepustnosti uvádzame, koeficient filtrácie, je v $m \cdot s^{-1}$. Okrem stanovenia spotreby vody v jednotlivých hĺbkových úrovniach možno orientačne určiť aj charakter puklinového prostredia testovaného masívu – výplň a jej stabilitu, hodnotu tlaku, pri ktorom ešte nedochádza k deformáciám skalného podložia a pod. Pre umožnenie splnenia týchto podmienok je nutné priebeh vodných tlakových skúšok usporiadať tak, aby boli dosiahnuté výsledky spoľahlivé a nedochádzalo k obtekaniu obturátora a aby bola známa hodnota tlaku pri ktorom bola skúška realizovaná [3].

Kritéria pre vodné tlakové skúšky

Princíp vodných tlakových skúšok nespočíva iba v určení hydraulickej vodivosti, resp. koeficientu filtrácie skalného podložia, no i na zhodnotení a posúdení potreby utesnenia podložia pod stavebnými objektami ako sú napr. priehrady, prípadne iné vodné stavby. Na určenie takýchto parametrov podložia boli stanovené kritéria podľa rôznych autorov [Tab. 1], [Tab. 2]. Ich vývoj bol v časovom i priestorovom horizonte rozmanitý a nachádzali uplatnenie v rôznych podmienkach, či už hydrologických, geologických alebo geografických.

Kritérium pre vodnú tlakovú skúšku chápeme ako hodnotu straty vody, po prekročení ktorej je nutné pristúpiť k utesneniu podložia priehrady.

Tab. 1 Kritéria dovolených strát vody pri VTS - pre priehrady s výškou nad 30 m.

Autor	Kritérium prípustných strát vody pri VTS
Lugeon	1 LU resp. $0,3 l \cdot min^{-1} \cdot m^{-1}$ pri 0,3 MPa
Jähde	$0,1 - 0,5 l / min / m$ pri 0,3 MPa
Terzaghi	$0,05 l / min / m$ pri 10 kPa
Heitfeld	2,5 - 4 LU
USSR	3 LU
USA	3 - 4 LU

Pri určení prípustných strát vody pri VTS použil odlišný prístup Verfel [3]. Jeho metóda vychádzala z poznania, že priesaková dráha prúdiacej vody sa s narastajúcou hĺbkou predlžuje, čoho dôsledkom sú nižšie hodnoty gradientov vo väčších hĺbkach a teda aj menšie hydrodynamické namáhanie horninového prostredia. Obvykle sa s narastajúcou hĺbkou znižuje i rozpukanosť skalného masívu. Vzhľadom na tieto úvahy stanovil kritéria, zohľadňujúc hĺbku, v ktorej VTS realizuje [Tab. 2].

Tab. 2 Kritéria dovolených strát vody pri VTS podľa Verfla.

Qdov (l. min-1. m-1)	Skúšobný tlak (MPa)	Hĺbka pod základovou škárou (m)
0,5	0,3	0 - 10
1,5	0,3	10 - 20
2,5	0,3	20 - 30
4,0	0,3	30 - 50
6,0	0,3	> 50

Analýza výsledkov vodných tlakových skúšok

Úlohou analýzy výsledkov VTS bolo najmä porovnať namerané straty vody s hodnotiacimi kritériami podľa Jähdeho, Houlsbyho a Verfla. Prezentované hodnoty strát pri VTS v podmienkach priehrady Vlčia Dolina boli prevzaté z dokumentácie, ktorá bola spracovaná pri rekonštrukcii injekčnej clony v roku 1978 [4], [5]. Grafická analýza výsledkov bola spracovaná pre podložie všetkých blokov telesa priehrady. Pre ilustráciu dokumentujem na Obr. 3 dokumentované výsledky, prislúchajúce podloziu pod blokom priehrady č.6. Vodorovná os zodpovedá stratám vody pri VTS (l/ min/ bm pri tlaku 0,30 MPa), vertikálna os prezentuje hĺbku skúšanej etáže pod základovou škárou. Súvislými čiarami sú vynesené kritéria podľa Jähdeho (zelenou farbou), Houlsbyho (žltou farbou) a Verfla (červenou farbou). Prerušovanými čiarami sú vykreslené výsledky strát vody vo vrtoch I-6-1 a I-6-5, v ktorých boli realizované VTS pod daným blokom.

Obr. 3 Porovnanie strát vody pri VTS s kritériami podľa Verfla, Houlsbyho a Jähdeho v podloží bloku 6 [6].

4 POSÚDENIE VHODNOSTI KRITÉRIÍ PRE VTS METÓDOU KONEČNÝCH PRVKOV

Pre posúdenie optimálnej hĺbkynjekčnej clony v podloží priehrady Vlčia Dolina a súčasne aj pre overenie vhodnosti kritérií pre VTS bola zvolená metóda konečných prvkov (MKP). Voľba metódy vyplynula z charakteru úlohy, ktorý vyžaduje podrobnú analýzu parametrov filtračného prúdenia v oblasti injekčnej clony. V teoretickej

rovine sa jedná o rovinný problém. Riešenie bolo uskutočnené vo vertikálnej rovine. Matematické riešenie úloh ustáleného filtračného prúdenia v rovine vyplýva z rovnice (1) odvodenéj z rovnice kontinuity a Darcyho filtračného zákona [7]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = -q, \quad (1)$$

kde h je piezometrická výška (m), k_x , k_y súčiniteľ filtrácie v smere osí x , y (m. s-1), q - prítok respektíve odtok vody z riešenej oblasti (m. s-1).

K analýze zadanej úlohy bol využitý software Geostudio, modul Seep/ W, nakoľko umožňuje riešenie úloh filtračného prúdenia MKP v horizontálnej i vertikálnej rovine s tlakovou i voľnou hladinou. Pri riešení filtračného pohybu podložíom betónovej priehrady boli použité Dirichletova a Neumanova okrajová podmienka. Koefficient filtrácie podložia priehrady, ako najdôležitejší faktor pre návrh injekčnej clony, bol stanovený z výsledkov VTS podľa viacerých autorov a to: Dupuit, Verigin, Moye a Hoek – Bray [9]. Hodnoty uvažované vo výpočtoch sú zakomponované do Obr. 4.

Obr. 4 Vývoj piezometrických výšok a) bez injekčnej clony b) pri hĺbke IC 20 m, s fortifikačnou injektážou do hĺbky 3 m [6].

Výstupy získané na základe numerických výpočtov MKP sú graficky zobrazené na Obr. 5. Hodnoty piezometrických výšok sú odčítané z oblasti tesne za injekčnou clonou v blízkosti základovej škáry. Z výsledkov je zrejme, že redukcia injekčnej clony sa najvýraznejšie prejavuje do hĺbky približne 20 m. Prehlbovanie IC nad túto hodnotu neprináša ďalšiu redukciiu vztlakov, tento výsledok potvrdzuje Verflove kritérium.

Obr. 5 Vývoj piezometrických výšok v závislosti od hĺbky IC – blok 6.

5 ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov, na ilustrovanom príklade posúdenia injekčnej clony v podloží bloku v údolnej nive priehrady Vlčia Dolina vyplýva, že optimálna hĺbka injekčnej clony najviac konvertovala ku kritériám podľa Verfla. Získané výsledky potvrdzujú, že kritéria odstupňované s hĺbkou pod základovou škárou sú opodstatnené a najlepšie vystihujú potrebu utesnenia podložia priehrady. Súčasne treba poznamenať, že možnosti numerického modelovania MKP predstavujú významné miesto v hľadaní optimálnych parametrov protipriesakových opatrení v súbore vodných stavieb. Ich spoľahlivosť je však determinovaná spoľahlivosťou vstupných údajov – poznania geologickej skladby podložia.

Pozoruhodné je aj poznanie, že skutočné parametre IC v podloží priehrady Vlčia dolina sú vo veľmi dobrej zhode s novšími kritériami, konkrétne s kritériami podľa Verfla. Tento fakt súčasne potvrdzuje mimoriadne schopnosti, poznatky a skúsenosti vodohospodárov, priehradárov, geológov a d., ktorí stáli pri zrode takých vodných diel, akým je priehrada Vlčia Dolina [Obr. 6] ale aj Palcmanská Maša, Orava, Nosice a i. Sú to vodné stavby, vybudované v 50-tych až 70-tych rokoch minulého storočia, bez akéhokoľvek využitia výpočtovej techniky. V súčasnosti si projektovanie takýchto významných inžinierskych (hydrotechnických) konštrukcií bez dostupných programov a počítačovej techniky nevieme predstaviť.

Obr. 6 Vodné dielo Vlčia Dolina [Foto: Uhorščák, Ľ.].

Použité zdroje

- [1] Bednárová, E. Lukáč, M. Minárik, M. Bakaljarová, M. Lipták, B. Miščík, M. Panenka, P. Stoličný, J. Priehradné staviteľstvo na Slovensku: Originality. Mil'níky. Zaujímavosti. Bratislava : KUSKUS,s.r.o., 2010. ISBN 978-80-970428-0-6.
- [2] Vodné dielo Dobšiná - priehrada Vlčia Dolina hydrogeolog. prieskum. Žilina : IGHP n. p. závod Žilina, 1978.
- [3] Minasny, B., Contrasting soil penetration resistance values acquired from dynamic and motor operated penetrometers, 2012, Geoderma vol. 177-178, p. 57-62.
- [4] Vodné dielo Dobšiná - priehrada Vlčia Dolina hydrogeolog. prieskum. Žilina : IGHP n. p. závod Žilina, 1978.
- [5] VD DOBŠINÁ priehrada vo Vlčej Doline inž. geolog. prieskum. s.l. : IGHP n. p. závod Žilina, 1978.
- [6] Václavík, P. Prehodnotenie parametrov injekčnej clony na vodnom diele Vlčia Dolina. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2020.
- [7] T. S. Darcy, F. Fuan. Groundwater and the environment, The 2nd Annual Environmental Rngineering Workshop, Groundwater modeling case studies. 1996.
- [8] Geostudio 2016 - user manual. Alberta, Canada : GEO-SLOPE International Ltd, 2016.
- [9] Lukáč, M. Bednárová, E. . Nádrže a priehrady: Navrhovanie a prevádzka. s.l. : STU v Bratislave, 2001. ISBN 80-227-1518-2.