

# POSÚDENIE STABILITY SVAHOV OCHRANNEJ HRÁDZE RIEKY LABOREC

## ASSESSMENT OF THE SLOPE STABILITY OF LABOREC RIVER LEVEES

*Slávka Harabinová, Vlasta Ondrejka Harbul'áková, Martina Zeleňáková, Dušan Mydla*

### **Abstrakt:**

Príspevok sa venuje posúdeniu stability svahov ochrannej hrádze rieky Laborec pred a po poruche spôsobenej povodňou v roku 2010, ako aj návrhu možných sanačných opatrení. Pre komplexné posúdenie a prípadný návrh sanačných opatrení je potrebné poznať teleso hrádze (jeho tvar, sklony, výšku, šírku, a pod.), inžiniersko – geologické pomery telesa a podložia hrádze a na základe toho zvoliť správnu metódu na posúdenia stability svahov hrádze. Výpočet a posúdenie stability vzdušného svahu hrádze, ako aj návrh sanačných opatrení, bol urobený pomocou programu GEO 5. V príspevku sú prezentované rôzne varianty riešenia na zabezpečenie stability svahov vzdušnej strany hrádze rieky Laborec.

### **Abstract:**

This paper considers the failure of a levees along the right bank of the river Laborec caused by floods in 2010, addressing the assessment of the stability of the levee proposal and its possible remediation. A comprehensive assessment of the proposal and possible remedial action is necessary to know the actual barrier (shape, slope, height, width, etc.), engineering and geological condition of the body and subsoil of levee and select the correct methodology for assessing the stability of the levee. To assess the stability of the levee slope, as well as for the design of remediation measures, the calculation of stability degree was made by using GEO 5. The paper presents various solutions to ensure slope stability of protection levee of Laborec river.

**Kľúčové slová:** ochranná hrádza, stabilita svahov, porucha hrádze, sanačné opatrenia.

## **1. ÚVOD**

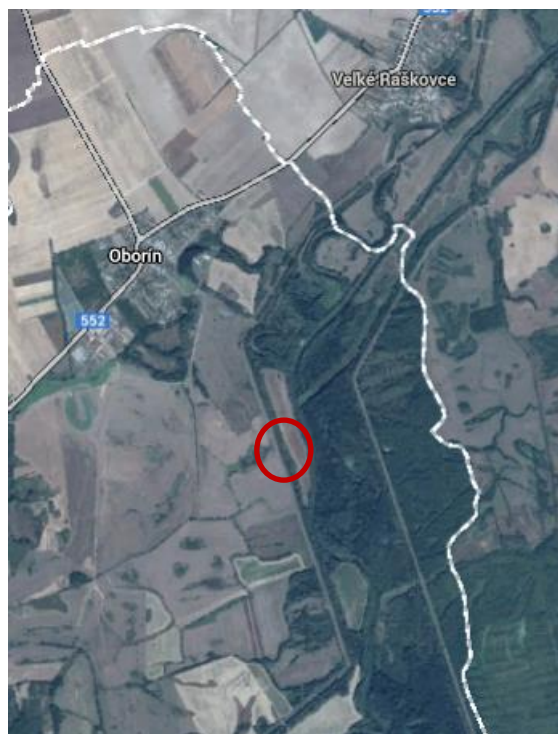
Navrhovanie ochranných hrádzi by malo zohľadňovať rôzne technické aspekty, ako aj zásah do krajiny a dopad na faunu a flóru. Riešenie by malo byť vypracované v alternatívach, pričom výsledný návrh by mal byť najvhodnejším variantom z hľadiska spoľahlivosti, ekonomickosti, efektívnosti a environmentálnej prijateľnosti [1]. Tvar priečného profilu ochrannej hrádze, väčšinou lichobežníkový, je daný požiadavkami, ako je umiestnenie hrádze, plánovaná výška hrádze, účel hrádze, ale aj stavebný materiál a charakter podložia [1]. V minulosti tvar a usporiadanie prierezu závisel na miestnych materiáloch, ktoré boli k dispozícii zo svahov koryta v blízkom okolí hrádze [2]. Sklony svahov hrádze sa navrhujú podľa zloženia zeminy, pričom návrh vychádza z posúdenia stability a tvaru priesakovej krivky, ale aj ďalších faktorov, ako je začlenenie hrádze do okolitej krajiny, údržba hrádze, dostupnosť plôch a materiálu na výstavbu [1], [3]. Pri nižších hrádzach sa navrhuje rovnaký sklon pre obe strany. Pre hrádze do 3 m je bežný sklon 1:2 až 1:2,5. Pri vyšších hrádzach sa navrhujú svahy s rozdielnym sklonom na návodnej a vzdušnej strane. Sklon hrádze po celej výške nemusí byť jednotný. V dolnej časti (pri päte) je miernejší a v hornej časti (pri korune) je strmší. Hrádze sú umelo vybudované steny, násypy alebo valy, tvorené, podobne ako

priehradné hrádze, z miestnych materiálov, zo zeminy alebo kameňa a stavebného materiálu, vybudované okolo relatívne rovného, nízko ležiaceho územia na ochranu pred povodňami. Sú to vodné stavby, ktoré vymedzujú priestor na zachytenie povodňových prietokov na tokoch a pritom plnia funkciu protipovodňového líniového prvku v systéme protipovodňovej ochrany [2]. V súčasnosti dochádza na našom území k častým povodňovým stavom. Povodne sa stávajú výrazným faktorom v urbanizovanej krajine. Intenzita a frekvencia zrážok, ale aj topenie snehu, ktoré sú schopné vyvolať extrémny odtok a následne povodeň, sa na Slovensku v posledných rokoch výrazne zvýšili. Povodne majú ničivé účinky a spôsobujú škody ľudskej spoločnosti. Sú spojené s vysokými vodnými stavmi a extrémnymi prietokmi vody v korytách. Povodne sú spojené aj s rýchlymi eróznymi procesmi, pri ktorých dochádza k deštrukcii pôdneho fondu a následne môžu nastať aj zosuvy premáčanej pôdy, a to nielen na svahoch pri vodných tokoch. V roku 2010 zasiahli rozsiahle povodne väčšinu územia Slovenskej republiky. Na väčšine povodňou postihnutého územia to boli najväčšie povodne za posledných 50 rokov.

## 2. CHARAKTERISTIKA RIEŠENÉHO ÚZEMIA – OCHRANNÁ HRÁDZA LABORCA

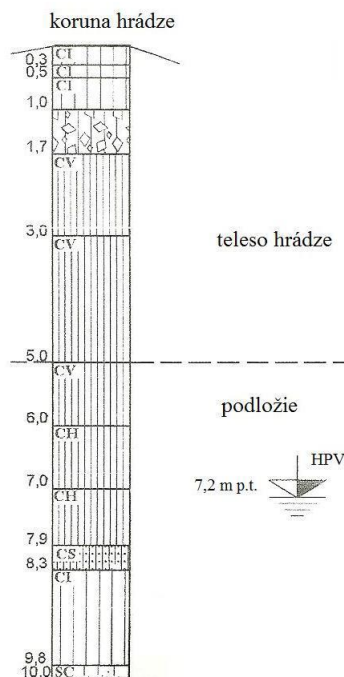
Laborec je slovenská rieka dlhá 129 km, preteká regiónom Zemplín takmer celým jeho územím zo severu na juh. Plocha povodia Laborca je 4 522,5 km<sup>2</sup>, pričom na ľavostranné povodie pripadá 4 076,7 km<sup>2</sup> a na pravostranné 445,8 km<sup>2</sup>. Tento markantný rozdiel je podmienený morfológiou povodia a tým, že Laborec prijíma väčší ľavostranný prítok Uh, ktorý svojou plochou podstatne zväčšuje ľavostranné povodie. Zároveň aj tým, že na pravej strane Laborca si vytvoril koryto skoro rovnobežne tečúci tok Ondava [4].

Zaujímavé územie je pravobrežná hrádza rieky Laborec južne od obce Odorín (Obr. 1). Bola vybudovaná v 1964 a patrí do komplexu úpravy vodohospodárskych pomerov východoslovenskej nížiny, ktoré prebiehali od 1961 do 1968.



Obr. 1 Situácia riešeného územia [5]

Na výpočet a posúdenie stability svahov je potrebné poznať presný geologický profil ochrannej hrádze, ktorý bol zistený pomocou prieskumných prác. Geologický profil telesa hrádze a podložia hrádze je uvedený na obr. 2. Geotechnické parametre zemín nachádzajúcich sa v telese ako aj v podloží hrádze boli zistené laboratórnymi skúškami [4].



Obr. 2 Geologický profil telesa hrádze a podložia hrádze v mieste poruchy [4]

Hrádza je postavená ako homogénna, pričom na jej výstavbu je použitý materiál z blízkeho okolia. Výška telesa hrádze je do 5 m. Z hľadiska využívania ju chápeme ako hlavnú ochrannú hrádzu. Hladina podzemnej vody bola zistená v hĺbke 7,2 m pod korunou hrádze. Ide o vodu presakujúcu z polôh pieskov, ktoré sa overili v hĺbke 10,0 m pod korunou hrádze. Pri vysokých vodných stavoch v toku Laborca môže hladina podzemnej vody vystúpiť až po úroveň terénu.

Podľa informácií od správcu povodia bol dňa 21.5.2010 pozorovaný zosuv vzdušného svahu pravobrežnej ochrannej hrádze rieky Laborec v km 3,4 v dĺžke približne 20 m s poklesom zeminy o cca 30 cm. K deformáciám na existujúcom zosuve dochádzalo aj v ďalších dňoch. Dňa 25.5.2010 boli trhliny na zosuve zasypané Bentovetom K (bentonit) [4].

V dňoch 2.6. až 5.6. 2010 dochádzalo k ďalším poklesom zeminy. Dňa 2.6. 2010 došlo k zväčšeniu trhliny a k ďalšiemu poklesu koruny hrádze a vzdušného svahu hrádze o cca 30 cm bez viditeľného zosuvu zeminy. Dňa 3.6.2010 nastal pokles koruny hrádze a vzdušného svahu o ďalších približne 10 cm. Rozšírenie trhliny pokračovalo dňa 4.6.2010 o ďalší pokles koruny a vzdušného svahu hrádze o ďalších cca 20 cm. V tomto štádiu bol spojený so zosunutím zeminy a rozširovaním zosuvu na obidve strany pozdĺž hrádze. Hladina v rozhodujúcom vodočte o 20:00 hod. dosiahla výšku pre vyhlásenie III. stupňa povodňovej aktivity, ktorý bol následne vyhlásený. Hladina vody bola približne 1 m od koruny hrádze v mieste zosuvu. V čase obhliadky poruchy dňa 27.7.2010, hrana odlúčenej plochy pretínala korunu hrádze, ktorá bola porušená v dĺžke cca 26 m. Pokles hrádze v mieste odlúčenej hrany bol 30 až 40 cm [4].

Príčinami vzniku poruchy boli s najväčšou pravdepodobnosťou [6]:

- materiál použitý na výstavbu hrádze – íly s veľmi vysokou plasticitou (CV), ktoré sú pre homogénne hrádze málo vhodné, pretože ich pevnosť pri nasýtení vodou je malá a veľmi ťažko sa zhutňujú,
- dlhotrvajúce extrémne vysoké vodné stavy na Laborci – zatopenie územia v medzihradnom priestore, ktoré umožnili dlhodobé sýtenie zemín telesa hrádze.

Výsledkom týchto dvoch činiteľov bola následne strata pevnosti a vznik poruchy ochrannej hrádze.



Obr. 3 Pohľad na poruchu hrádze na vzdušnej strane

Obrázok 3 zachytáva súčasný stav porušenej časti hrádze. Pohľad na poruchu je z koruny hrádze smerom od obce Oborín. Na pravej strane (vzdušná strana hrádze) je vidno zosunutý svah. Od roku 2010, kedy porucha vznikla je hrádza kompletne zatrávnená, a preto sa dá identifikovať len podľa nepravidelnosti svahu. Koruna hrádze bola odvtedy dorovnaná pre plynulosť komunikácie. Vzhľadom na to, že k povodni a teda aj zosuvu došlo už pred 4 rokmi sa v hrádzi vytvoril nový napätostný stav a tento svah možno v súčasnosti považovať za „zastabilizovaný“. V prípade ďalšej povodne podobného alebo väčšieho rozsahu by táto stabilita bola opäť narušená.

### 3. POSÚDENIE STABILITY SVAHOV OCHRANNEJ HRÁDZE

V dôsledku porušenia rovnováhy dochádza často k nadmerným deformáciám a zosunom prirodzených svahov ako aj svahov umelých zemných telies a výkopov. Porušenie môže byť vyvolané vzrastom aktívnych činiteľov (napr. zaťažením svahu stavebným objektom, vzrastom vlastnej tiaže zeminy zvýšením vlhkosti, vznikom priesakového tlaku vody a pod.) alebo poklesom pasívnych činiteľov (napr. znížením šmykovej pevnosti zeminy v dôsledku napučievania po odľahčení v záreze, zhoršením konzistencie súdržných zemín zvýšením vlhkosti, podkopením päty svahu a pod.) [7]. Každý svah musí byť preto navrhnutý tak, aby sa zabezpečila jeho stabilita.

V súčasnosti sa používajú viaceré spôsoby výpočtu stability svahov, ktoré vychádzajú z rovnováhy síl, momentov alebo z rovnováhy energie. Najčastejšie sú to výpočty vychádzajúce z predpokladu, že porušenie nastane po určitej šmykovej ploche (Pettersonova, Bishopova a

Sarmova metóda). Tvar šmykovej plochy závisí predovšetkým od fyzikálno-mechanických charakteristík zemin, resp. od ich usporiadania v profile.

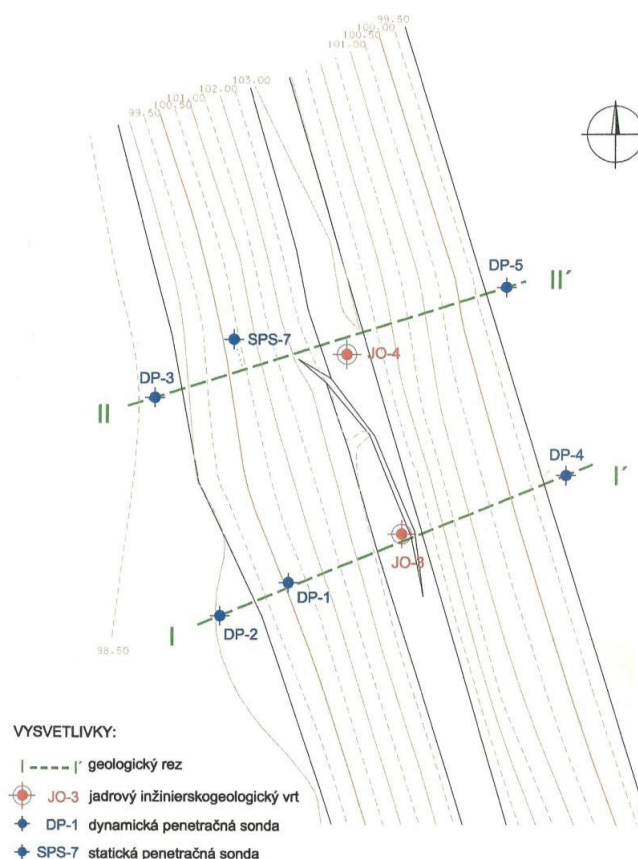
Výpočet a posúdenie stability svahov ochrannej hrádze Laborec bol realizovaný pomocou programu Stabilita svahov, ktorý je podprogramom GEO 5 od firmy FINE s.r.o. [8]. Vzhľadom nato, že teleso hrádze je tvorené jemnozrnnými zeminami, je predpoklad, že vytvorená šmyková plocha bude kruhového tvaru, a preto bola na výpočet a posúdenie stability svahov hrádze použitá Pettersonova a Bishopova metóda.

Uvedenými výpočtovými metódami bol zistený minimálny stupeň stability pre kritickú šmykovú plochu pre všetky navrhnuté varianty riešenia. Výpočet bol realizovaný v súlade so slovenskými normami, ktoré sú v súčasnosti platné. Stupeň stability svahu je možné definovať ako pomer síl prispievajúcich k stabilite, k silám znižujúcich stabilitu, teda pomer aktívnych a pasívnych síl. Výpočet stability svahov bol urobený v súlade s STN EN 1997 [9]. Vypočítaný stupeň stability bol porovnaný s limitnou hodnotou stupňa stability.

Posúdenie stability svahov hrádze bolo urobené na vzdušnej strane hrádze, t.zn. v mieste poruchy hrádze, v piatich priečných rezoch (v km 3,4 až 4,0). Výpočet stability svahov vzdušnej strany hrádze bol realizovaný v niekoľkých variantoch.

### Variant I a II

Prvý výpočet bol urobený pre pôvodný stav hrádze, t.zn. pred povodňou v roku 2010 (Variant I), ďalší výpočet bol realizovaný pre povodňový stav, ktorý vznikol v roku 2010 (Variant II). Vzhľadom na umiestnenie sond (Obr. 4) bol pre posúdenie stability svahov hrádze v priečných rezoch 70 a 72 uvažovaný IG profil podľa jadrového vrtu JO-3, a pre rezy 74 a 76, IG profil podľa jadrového vrtu JO-4. Výsledky výpočtu uvedených variantov, pre zvolené priečne rezy, sú uvedené v tab. 1 a 2.



Obr. 4 Rozmiestnenie sond v riešenom území

Na základe výpočtov a výsledkov uvedených v tabuľke 1 a 2 je vidieť, že stabilita svahov ochrannej hrádze nevyhovovala z hľadiska posúdenia stability svahu už pred povodňovou situáciou (Variant I), okrem priečného rezu č. 72. K porušeniu stability svahu by síce nedošlo, pretože všetky vypočítané stupne stability sú väčšie ako 1, ale tieto výsledky poukazujú na nutnosť riešenia sanácie svahu, pravdepodobne nielen v úseku, kde je už svah porušený po povodni.

Tab.1 Vypočítané stupne stability pre zvolené priečne rezy Variant I

Označenie variantu	Označenie priečného rezu	Použitá metóda	Vypočítaný stupeň stability	Požadovaný stupeň stability ( $F_s > 1,5$ )
Variant I	70	Petterson	1,43	nevyhovuje
		Bishop	1,54	vyhovuje
	72	Petterson	1,54	vyhovuje
		Bishop	1,66	vyhovuje
	74	Petterson	1,24	nevyhovuje
		Bishop	1,32	nevyhovuje
	76	Petterson	1,33	nevyhovuje
		Bishop	1,43	nevyhovuje

Tab.2 Vypočítané stupne stability pre zvolené priečne rezy Variant II

Označenie variantu	Označenie priečného rezu	Použitá metóda	Vypočítaný stupeň stability	Požadovaný stupeň stability ( $F_s > 1,5$ )
Variant II	70	Petterson	0,96	nevyhovuje
		Bishop	0,99	nevyhovuje
	72	Petterson	1,02	nevyhovuje
		Bishop	1,06	nevyhovuje
	74	Petterson	0,85	nevyhovuje
		Bishop	0,85	nevyhovuje
	76	Petterson	0,90	nevyhovuje
		Bishop	0,91	nevyhovuje

Variant II, ktorý zohľadňoval povodňovú situáciu preukázal, že hrádza počas zaliatia vodou až po korunu hrádze je nestabilná a náchylná na poruchy (vo všetkých posudzovaných priečných rezoch je  $F_s < 1,0$ ), čo potvrdilo situáciu z roku 2010.

#### 4. NAVRHNUTÉ SANAČNÉ OPATRENIA

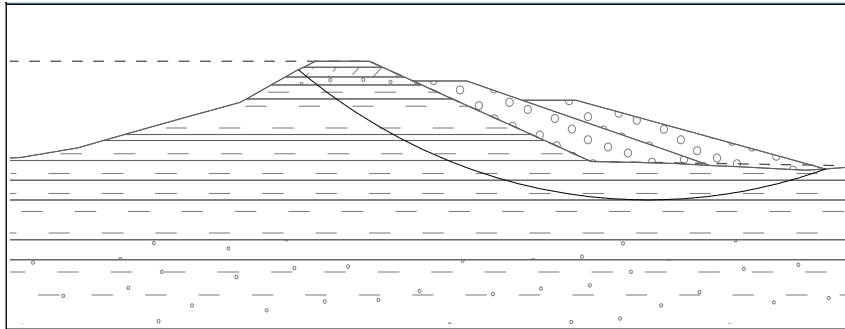
Návrh sanačných opatrení bol urobený vzhľadom na dostupnosť materiálov použitých na sanáciu ako aj finančnú nenáročnosť tohto riešenia.

Ako prvý spôsob sanačného opatrenia na zabezpečenie stability svahov vzdušnej strany ochrannej hrádze bolo navrhnuté priťaženie päty svahu. Stabilizačný prísyp z miestneho materiálu je jednoduchý na realizáciu a dostupnosť materiálu. Z toho vyplýva aj finančná nenáročnosť tohto riešenia. Najčastejším miestnym materiálom sú íly s veľmi vysokou plasticitou, tuhej konzistencie (CV,t). Tento materiál je málo vhodný až nevhodný, ale vzhľadom na fakt, že celá hrádza bola doposiaľ budovaná z miestnych (ľahko dostupných)

materiálov, bol ako jeden z variantov pre návrh sanačného opatrenia použitý tento, aj keď nie vhodný materiál **Variant III - A**.

Ako druhú alternatívu **Variant III - B** bol zvolený materiál zo širšieho okolia hrádze, a to íly so strednou plasticitou, tiež tuhej konzistencie (CI,t), ktoré sú vhodnejšie na zhotovenie stabilizačného prísypu, lebo sa dajú lepšie zhutniť. Pre porovnanie bola zvolená aj tretia možnosť a to štrk dobre zrnový, uľahnutý (GW,u), **Variant III - C**, ktorý je pre zhotovenie stabilizačného prísypu najvhodnejší.

Po modelovaní rôznych tvarov a výšok stabilizačného prísypu na vzdušnej strane bol navrhnutý ako najvhodnejšie riešenie dvojité prísyp z rovnakého materiálu. Prvý prísyp je znížený od koruny hrádze o meter a je v sklone približne 1:3,2 a druhý prísyp je znížený skoro o 2 m od koruny hrádze a je v sklone 1:4. Hladina vody pri návrhu uvedeného sanačného opatrenia bola uvažovaná v dvoch úrovniach. Najprv bola uvažovaná ako pri Variante I, t.zn. zohľadňovala stav pred povodňovou situáciou. Ďalšie výpočty boli urobené s uvažovaním výšky hladiny vody ako pri Variante II, t.zn. pri povodňovom stave (obr.4). Týmto spôsobom sme chceli overiť stabilitu navrhnutých sanačných opatrení v prípade ďalšej povodňovej situácie. Vzhľadom na veľké množstvo výsledkov je v nasledujúcom texte uvedené slovné zhodnotenie zistených stupňov stability a ich porovnanie s požadovaným stupňom stability.



Obr. 3 Šmyková plocha – Variant III-C [5]

Cieľom návrhu stabilizačného prísypu pri päte na vzdušnej strane hrádze bolo dosiahnuť stupeň stability väčší ako 1,5 a tým zlepšiť samotnú stabilitu svahu hrádze. Návrh troch možností riešenia stabilizačného prísypu (Variant III.- A až C), v rámci ktorých sa menil materiál použitý na tento prísyp, mal poukázať na zlepšenie stability pri použití vhodnejších zemín. Na základe realizovaných výpočtov a posúdení je zrejmé, že stabilizačný prísyp (Variant III- B a C) je síce jedným z možných sanačných opatrení (okrem Variantu III-A), ale pravdepodobne nebude postačovať pre riešenie stability vzdušnej strany hrádze počas prípadnej ďalšej povodňovej situácie. Pri modelovaní takejto novej povodňovej situácie, podobnej tej z roku 2010, kedy hladina vody dosiahla korunu hrádze, sa toto opatrenie nepreukázalo dostatočné.

## 5. ZÁVER

Ochranné hrádze patria k významným stavbám a preto je potrebné venovať veľkú pozornosť nielen výberu materiálov určených na ich výstavbu, ale aj samotnému návrhu a posúdeniu týchto stavieb. Vzhľadom na ich význam je prvoradou podmienkou, od návrhu po realizáciu, bezpečnosť a spoľahlivosť počas celej ich životnosti.

Príspevok je zameraný na riešení stability svahov a návrh sanačných opatrení na PB ochrannej hrádzi rieky Laborec, kde v roku 2010 došlo k povodni a následkom toho aj k zosuvu vzdušného svahu hrádze v 3,4 až 4,0 km. Na posúdenie stability vzdušného svahu hrádze pred a po povodni, ako aj pre návrh sanačných opatrení bol urobený výpočet stupňa stability v niekoľkých variantoch (pôvodný stav, povodňový stav a sanačné opatrenia - stabilizačným prísypom s použitím rôznych materiálov). Navrhnuté a posúdené sanačné opatrenia boli volené s cieľom čo najviac využiť miestny dostupný materiál a navrhnuť tak predovšetkým finančne a časovo nenáročné riešenia na zabezpečenie stability svahov vzdušnej strany hrádze Laborec.

Ako už bolo spomenuté vo variantoch III B a III C sa síce podarilo navrhnuť riešenie, ktoré zlepšilo požadovaný stupeň stability, ale pri modelovaní prípadných ďalších povodňových stavov, by ani takto navrhnuté sanačné opatrenia neboli postačujúce.

Uvedené a vypočítané varianty riešenia stability svahu hrádze analyzujú niekoľko možností, ako riešiť a zlepšiť stabilitu vzdušného svahu hrádze po povodni. Vzhľadom na fakt, že teleso hrádze je zhotovené z jemnozrnných zemín triedy F8, t.j. z nevhodných zemín bude potrebné zaoberať sa aj sanačnými opatreniami, ktorými by sa prípadne dala zlepšiť stabilitu celej hrádze. Ide však už o finančne a časovo náročnejšie riešenia, ktorým sa v budúcnosti chceme zaoberať.

## POĎAKOVANIE

Príspevok bol spracovaný vďaka podpore projektu VEGA 1/0609/14.

## ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] ZÁKON NR SR č. 50/1976 Z.z. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon)
- [2] ZELENÁKOVÁ M. a kol.: *Design, performance and operation of selected water structure*. 2012. Košice: TU.
- [3] ŠVECOVÁ A., ZELENÁKOVÁ M.: *Vodné stavby*. 2005. Košice: TU.
- [4] ONDREJKA J., SYČEVOVÁ M.: *Oborín – PB hrádza Laborca zosuv v km 3,4 km: Záverečná správa*. Košice, 2010. 12 s.
- [5] Mapy Google. Dostupné na internete: <https://www.google.sk/maps/place/Obor%C3%ADn/@48.5092966,21.8653623,11963m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x4738d766ce4bb395:0x400f7d1c69770a0>
- [6] VARGOVÁ, M.: *Posúdenie stability svahov na vybranej ochrannej hrádzi*. Košice: TU, SvF. 2013.
- [7] PANULINOVÁ, E.: *Šmyková pevnosť*. [online]. Košice: TU, SvF, [cit. 2013-16-1]. Dostupné na internete: <http://people.tuke.sk/kamila.kotrasova/zPP11/MODULY/M3/zg03.pdf>
- [8] Stabilita svahu – Výpočet stability svahu. [online]. [cit. 2013-1-5]. Dostupné na internete: <http://www.fine.cz/geotechnicky-software/stabilita-svahu/>
- [9] STN-EN 1997-1, Eurokód 7: 2005: Navrhovanie geotechnických konštrukcií, Časť 1: Všeobecné pravidlá.



## **AUTORI**

Ing. Slavka Harabinová, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

e-mail: [slavka.harabinova@tuke.sk](mailto:slavka.harabinova@tuke.sk)

Ing. Vlasta Ondrejka Harbuláková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00, Košice

e-mail: [vlasta.harbulakova@tuke.sk](mailto:vlasta.harbulakova@tuke.sk)

doc. Ing. Martina Zelenáková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Vysokoškolská 4, 042 00, Košice

e-mail: [martina.zelenakova@tuke.sk](mailto:martina.zelenakova@tuke.sk)

Ing. Dušan Mydla

Slovenský vodohospodársky podnik š.p., Odštepny závod Košice

Ďumbierska 26, 042 00 Košice

e-mail: [dusan.mydla@svp.sk](mailto:dusan.mydla@svp.sk)