

ČPV ZÁŘÍ 2016 BÍLÁ DESNÁ

PROTRŽENÍ PŘEHRADY NA BÍLÉ DESNÉ Z DNEŠNÍ HO POHLEDU

Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.

Abstract:

Předložený příspěvek je vypracován na základě z výsledků dodatečného průzkumu a výzkumu prováděného v roce 1996 s cílem přispět k výkladu příčin protržení hráze Bílá Desná. Výstupem těchto prací byl nový pohled na příčiny protržení hráze Bílá Desná, presentovaný na semináři k 80 letému výročí protržení hráze. V předloženém příspěvku se znovu stručně rekapituluje hlavní okolnosti, které vedly k havárii a podrobně se rozebírá hlavní z nich a sice sufoze tělesem hráze.

1. Rekapitulace dosavadních znalostí o příčinách havárie hráze Bílá Desná

Přehrada na Bílé Desné byla sypanou zemní homogenní hrází o výšce hráze nad úrovní základové spáry 15 m a šířce v základu 53 m. K jejímu protržení došlo dne 19. září 1916, cca rok po jejím dokončení a prvním naplnění.

Na příčiny protržení této přehrady byla, zejména v letech bezprostředně po havárii, řada dosti protichůdných názorů. (Gebauer, Marquarst, Fridrich, Gretzki, Huber, Kluger, Thum, Brandt, Vahner, Grohman (in Smrčka 1917, Rozsypal 1996).

Tyto názory komplexně hodnotil A. Smrčka. Ve své práci z roku 1917 uvedl řadu dalších nedostatků v projektu i ve vlastním provádění prací. Byly to:

- nedostatečně velká šířka hráze v základě umožňující nepříjemnou rychlost prosakující vody v jejím podloží
- nevhodný materiál použitý do tělesa hráze z hlediska jeho těsnících vlastností
- ke zhutnění jednotlivých vrstev došlo dostatečně pouze na jejich povrchu
- špatně umístěný výpustný objekt (věž), který protíná těsnění hráze na návodní straně pod hladinou vody
- chybné založení výpustné štoly na pilotový rošt umožňující diferenciální sedání tělesa hráze a tudíž i vznik příčných trhlin v jejím tělese.
- uspořádání betonových objektů v hrázi, které znemožňovalo řádné hutnění v jejich okolí
- nevodotěsná štětová těsnicí stěna, realizovaná v návodní patě, beraněná do kamenitého materiálu
- založení výpustné štoly pod hladinu podzemní a rozvolnění okolního materiálu
- nedostatečné zhutňování ukládané zeminy v důsledku 40 cm vrstev na rozdíl od tehdy většinou doporučovaných 15 cm.

Pozdější autoři již většinou vycházeli z výčtu příčin havárie hráze, tak jak je uváděl Smrčka.

Např. Šimek, nebo Žák, (oba 1996

V publikaci mezinárodní organizace pro Velké přehrady ICOLD, stále je jako zásadní příčina havárie hráze na Bílé Desné uvedeno nedostatečné zhutňování materiálu hráze a jako vedlejší příčina pak nevhodné projektové řešení.

2. Rekapitulace původních poznatků o geologii, vlastnostech zemin a stavebního provedení z doby stavby hráze.

2.1. Geologické poměry přehradního místa

Z dostupných informací lze shrnout, že v obou údolních svazích se vyskytuje písčité hlína svahových uloženin a žulového eluvia ve formě písčitých a balvanovitých sutí nepravidelné mocnosti. Místa jsou i výchozy pevných žulových bloků. Vlastní dno údolí je přehloubené, vyplněné náplavem písčitého štěrku s balvany, místy i s polohami jemného hlinitého písku. (Podle některých autorů je to morénový materiál z místního zalednění.) Největší mocnost údolních uloženin byla v době po havárii udávána hodnotou 16 m od povrchu terénu. Jinde bylo uváděno zjištění, že ani 5 m pod základovou spárou štolý spodní výpusti nebyl zastižen skalní podklad. Smrčka (1917) uváděl, že ani v 10 m šachtách nebylo dosaženo na nepropustný skalní podklad.

2.2. Materiál hráze

Násypový materiál pro hrázové těleso byl získáván v zátopě. Byl použit jak pro stabilizační část, tak i pro návodní těsnicí vrstvu a utěšňování podloží mezi základovými bloky štolý a pro těsnicí rýhu před návodní patou. (V podkladech je zmiňována jáma 4 m hluboká a 8 m široká před návodní patou hráze).

Hodnocení vhodnosti stavebních zemin se v původních znaleckých posudcích liší. Sypanina byla považována za vhodnou i méně vhodnou, s ohledem na předpokládanou malou vodotěsnost. Ta však nebyla před stavbou nikde zjišťována. Kromě pokusné vsakovací zkoušky ve vykopané jámě. Při ní byl zjištěn za den pokles hladiny o 3 cm.

Hráz byla homogenní. Návodní strana byla chráněna vrstvou hlinitější zeminy. Aby byla dosažena vyšší nepropustnost byla tato „těsnicí“ zemina smíchaná s vápenným mlékem.

Zemina použitá do hráze, podle dnešních kritérií, na základě nově provedené orientační zkoušky propustnosti a s pomocí křivek zrnitosti získaných během stavby a těsně po havárii, představovala materiál málo propustný až propustný, vhodný ke stavbě hráze při pečlivém zónování zemin v tělese. Jeho koeficient propustnosti, vyjde-li se z analogie k stejně zrnitým materiálům v hrázi Josefův Důl, je okolo 10^{-5} - 10^{-6} m/sec.

2.3. Stavební provedení

Zhutňování

Zhutňování hráze bylo prováděno po vrstvách 40 cm mocných a to tří tunovým válcem. Uvádí se, že zhutňováním se při stavbě stlačila nasypaná vrstva zeminy ze 40 na 30 cm. Účinnost zhutňování se ale jinak při sypání hráze nekontrolovala. Celkově naměřené sednutí koruny hráze od podzimu r.1914 do r. 1916 bylo pouze 96 mm (Smrčka 1917).

Výpustní objekt

Ve stěně podlaze a později i v klenbě štolý byly popisovány 2 trhliny ve vzdálenosti cca 7 a 13 m od vstupu do šoupátkové komory a 3. trhlina v místě zesílení klenby štolý před šoupátkovou věží (od vzdušné strany).

První 2 trhliny vznikly v podlaze štol již během stavby. Voda jimi prosakovala trvale v poměrně značném množství a to v závislosti na stavu hladiny v nádrži. Průsaky betonem objektu činily až 3-4 l/sek., v jednom případě až 5 litrů /sek. Třetí trhlina byla objevena až po katastrofě v listopadu r. 1916 spolu s vodorovnými, až 7 m dlouhými trhlínami ve stěnách štol. Rovněž se uvádělo, že měřená deformace dna štol v místě trhliny byla 23 mm. Do září 1916 se nezvětšovala, ale po protržení činila 40 mm.

Analýze příčin zjištěných poruch základového výpustního objektu, nebyla v získaných původních posudcích věnována zvláštní pozornost přesto, že se o nich všechny zmiňují.

3. Doplnění chybějících geotechnických dat

Znalosti o inženýrskogeologických poměrech v přehradním profilu Bílá Desná a znalosti o geotechnických vlastnostech přítomných hornin, byly doplněny geotechnickým průzkumem a výzkumem provedeným v roce 1996.

Využity byly poznatky z geotechnického průzkumu pro přehradu na Kamenici v Josefově dole (Bureš - Sušický 1976, Bureš 1979), která je v analogických inženýrskogeologických poměrech v sousedním údolí.

Použité metody průzkumu byly:

- Geofyzikální měření (geoelektrika a seismika)
- Měření georadarem
- Penetrační sondování, (Těleso hráze na Bílé Desné i v Josefově dole)
- Odběr porušených vzorků zemin z hráze (zkoušky zrnitosti a propustnosti)

Dále bylo provedeno:

- Přehodnocení dostupných poznatků o vlastnostech zemin hráze a okolí v průběhu výstavby, havárie a šetření jejich příčin.
- Matematické modelování přetváření tělesa hráze a jejího podloží během výstavby
- Studie proudění vody v tělese hráze
- Přepočet koeficientu filtrace na základě informací z vsakovací zkoušky v hrázi v roce 1916

4. Shrnutí výsledků provedených průzkumu a výzkumu v roce 1996

- Prokázalo se, že přehradní profily hrází na Bílé Desné a v Josefově dole mají analogické inženýrskogeologické poměry. V obou místech sahá hloubka nezvětralého skalního podkladu do značných hloubek.
- Jednoznačně lze mít za to, že primární příčinou poruchy hráze nebylo nedbalé zpracování (nedostatečné zhutnění) nevhodného, příliš propustného materiálu, ale sufoze, která se odehrála pod hrází v jejím podloží, či na kontaktu podloží, vlastní hráze a výpustě štol.
- Příčinou sufoze byl příliš velký hydraulický gradient, vyplývající z projektu, ke kterému navíc přistoupily predisponované filtrační cesty především podél tělesa

výpustné štol, budované pod hladinou vody. Ty byly navíc významně zkracované trhlinami v jejím ostění, kterými do štol proudilo nezanedbatelné množství vody. Z analýzy průsakových čar tělesem hráze a zejména pod hrází a z orientačních výpočtů rychlostí průsaků a množství prosakující vody pod hrází vyplynula nepříjemně velká průsaková rychlost a velká erozní síla pronikající vody zespoda do tělesa hráze. Podmínky pro interní sufozi byly proto v tělese hráze mimořádně příznivé.

- Modelovým výpočtem proudové sítě bylo indikováno, že špatně dimenzované bylo i návodní těsnění. Dlouhodobě by nevydrželo soustředěný tlak do něho prosakující vody a poruchy hráze v důsledku interního proudění vody by později nastaly i při neexistenci ostatních negativních faktorů.
- Provedené zkoušky, analogické srovnávání s přehradou Josefodol a parametrické výpočty prokázaly, že materiál, z kterého byla hráz Bílá Desná nasypána, je obdobný typ, jaký byl s úspěchem použit pro hráz v Josefodolu. Při vhodném zpracování je velmi dobře použitelný. Zkoušky penetrace ukázaly, že moduly přetvárnosti materiálů hráze v Josefodolu a v Desné se podstatně neliší. Propustnosti materiálu hráze na Bílé Desné jsou podobné jako na materiálu v Josefově Dole. (Koeficient filtrace je řádově okolo 10^{-6} m/sec). Za předpokladu dobré funkce návodního těsnění kombinovaného s injekční clonou by byla nepropustnost tělesa hráze zcela dostatečná
- Provedený geofyzikální průzkum potvrdil hypotézu o velké hloubce skalního podkladu (až 25 m) pod bází hráze a o relativně velké stlačitelnosti výplně dna údolí (aluviální náplavy, případně rozložené eluvium). Podélnou osou údolí navíc pravděpodobně probíhá významný zlom, který způsobuje, že na obou stranách údolí může být hloubka skalního podkladu v jiné hloubce. Nevylučuje se tak jako jedna z dalších možných příčin poruch hrází i její diferenciální sednutí nad oběma stranami tohoto zlomu.
- Modelový výpočet MKP ukázal, že stlačení vlastního těla hráze bylo v rozsahu 40 - 80 mm. To je pro hráz takového typu a výšky zcela přijatelné. Z celkové hodnoty sednutí koruny hráze (okolo 300 mm) proběhlo téměř 80% stlačením jejího podloží (20 - 25 cm). Toto sednutí bylo nulové na návodní i vzdušné patě a bylo největší pod korunou hráze, respektive obslužnou věží posazené na výpustní štol. S ohledem na mocnost stlačujícího se podloží se pilotový rošt ukázal jako zcela neúčinný. Štola zákonitě popraskala v centrální části, do které již při nízkých hladinách napouštění začala vnikat voda. Tím se dále zkrátila průsaková dráha vody pod hrází na přibližně polovinu. Vzrostl tak nepříjemně velký hydraulický spád daný výškou nádrže a délkou průsaku vodní částice od vstupu k výstupu z průsakové dráhy.

5. Rozbor příčin sufoze (vnitřní eroze)

5.1. Obecné podmínky pro vznik sufoze

Podle Kezdiho (1974) existují 4 podmínky pro vznik tohoto typu porušení:

- proudící voda v zemině
- nesoudržné zeminy
- možnost odtoku vyplaveného materiálu

- schopnost zeminy vytvořit strop nad vznikajícím kanálem

Vnitřní eroze obvykle probíhá následujícím způsobem: Množství vody, která prosakuje v důsledku hydraulického spádu, se koncentruje do predisponovaných míst. Tam se unášecí síla prosakující vody zvětšuje. Dosáhne-li dostatečné hodnoty, začnou se vyplavovat nejjemnější součástky zeminy. S postupným vyplavováním se zvětšuje množství proudící vody i její rychlost a celý proces tak akceleruje. Vnitřní eroze postupuje od vzdušného líce hráze a šíří se směrem proti proudění vody. Tím se zkracuje dráha prosakování, respektive v tomto stadiu, již proudění. Dochází tak k zvětšování hydraulického spádu a celý proces se dále velmi urychluje.

Vnitřní eroze je usnadněna tam, kde voda prosakuje místy s výrazně nižší napjatostí a kde je menší zhutnění. Tam jsou menší intergranulární síly mezi zrny zeminy a ta proto snadněji podléhá erozi. Jestliže tlak vody překročí velikost intergranulární síly na styku zrn se objeví tahové napětí. Když tato napětí překročí tahovou pevnost zeminy, ta se poruší, což je další příspěvek k progresivnímu urychlení vnitřní eroze.

Jestliže totální napětí v zemině na kontaktu s betonovou konstrukcí nebo zeminou podloží je menší než proudový tlak vody v tomto místě, zemina se může separovat od betonové konstrukce. Tato separace umožňuje přístup vody a vznik další erozní dráhy. Erozní tunel postupuje od vzdušného líce směrem do hráze. V okamžiku, kdy dorazí k návodní straně, stane se proudění vody souvislým. Rychlosti a unášecí síly se začnou progresivně zvětšovat. Od tohoto okamžiku je totální protržení hráze otázkou několika hodin i méně.

Všechny tyto podmínky jsou na rozhraní propustného podloží hráze na Bílé Desné a její bázi splněny. Vznik erozních cest tunelů zde mohl být dále podporován:

- nehomogenitou podloží i tělesa vlastní hráze co se týče propustnosti a zrnitosti, která tak přispívala ke koncentraci vnitřní eroze do některých míst
- rozvolněním podloží podél výkopu pro výpustnou štolu
- nedokonale zhutněnou zeminou hráze v blízkosti výpustné štol
- místy s nižší napjatostí pod klenbovým účinkem projevujícím se na styku podloží a stěnami výpustné štol nebo nad oblastmi mírně zhutněnými.

U Bílé Desné byl zaznamenán výtok vody z erozního tunelu na vzdušné straně 18.9. 1916 v 15.30 hod. odpoledne, kdy z tělesa hráze vyvěral pramen vody silný prst. V 15.55 hod. tryskala již voda takovou silou, že dělníci, snažící se v šoupátkové komoře o úplné otevření spodní výpusti, museli utéci. V 16.15 hod. se pak začala postupně propadávat dlažba na návodním svahu až cca v 16,45 hod. se propadla zcela. Zůstala jen vrchní část ve tvaru mostu, ale i ta se brzo propadla a vytvořila se průrva v hrázi široká 40 m (Smrčka 1917).

To svědčí pro hypotézu, že hlavní příčinou porušení byla vnitřní eroze, nikoliv nedostatečné zhutnění. Proudící voda s velkým hydraulickým spádem byla k predisponovaným místům jak v tělese hráze, tak podél výpustního objektu, přivedena především velmi propustným podložím.

Jinými slovy, by k havárii došlo a hráz by se protrhla i v případě dobrého zhutnění a neexistence vad projektu vyplývajících z nevhodného polohového i výškového umístění výpustné štol.

Naopak, postupné prosakování vody zemním tělesem po nedostatečném zhutnění v průběžných vrstvách je nepravděpodobné. Pokud by tomu tak bylo, tak by totiž docházelo k

postupnému plošnému zamokřování vzdušného líce. To by způsobovalo v čase se podstatně pomaleji zvětšující plošné sesouvání promáčené zeminy na vzdušném líci.

5.2. Trhliny v tělese výpustné štoly

Trhliny v tělese výpustné štoly, které lze ještě dnes pozorovat, vznikly ještě v průběhu výstavby hráze. Smrčka (1917). Příčina vzniku trhlin je v původních materiálech nevysvětlena, s výjimkou Gebauera (Smrčka 1917), který uvádí, že došlo k natočení výpustního objektu v důsledku dutin pod hrází.

Trhliny ve štole se objevily již krátce po dohotovení a přisypání pouze 2 m silnou vrstvou zeminy. To je alarmující a svědčí o nedostacích jejího založení a neúčinnosti pilotového roštu. Trvalé průsaky čisté vody těmito trhlinami a betonem objektu až 5 litrů/sek. musely nutně vést ke vzniku rozsáhlých sufózních kaveren v okolí štoly.

Kvalita betonů byla špatná, což dokazují sintrové povlaky až centimetr silné a krápníky ve všech trhlinách a pracovních spárách ve stěnách i klenbě štoly, popisové již v r. 1916 a do dnes patrné. Síla stěn štoly neodpovídá zcela projektu. Podle vizuální prohlídky současného stavu - neboť v puklině v rohu mezi stěnou a podlahou štoly byla v době rekognoskace tloušťka betonu asi 40 cm (podle projektu by měla být 80 cm). Ke vzniku této trhliny, již bylo prostrčit ruku, mohlo snad dojít současným působením eroze průtokem v dnešním korytě a chemickým účinkem hladových vod v kombinaci s mrazem. To rovněž svědčí o špatné kvalitě betonu (Trhliny viz fotodokumentace).

O velikosti jedné z trhlin a průsaků z ní svědčí i to, že v době před katastrofou byla utěšňována dubovými klíny. Nevysvětlené je i podélné porušení betonu decimetr širokou trhlínou mezi podlahou a stěnou štoly, o níž je zmínka výše.

Z dodatkového průzkumu prováděného pro účely této studie jednoznačně vyplývá, že příčinou vzniku trhlin v tělese štoly bylo nerovnoměrné sednutí až 25 m mocného, relativně stlačitelného podloží v důsledku přetížení hrází a zejména koncentrovanou hmotností vstupní věže. Tomuto diferenciálnímu sednutí poměrně krátké piloty nemohly zabránit.

5.3. Analýza proudění vody pod hrází Bílá Desná

U hráze Bílá Desná je na první pohled patrné, že průsaková dráha v podloží hráze je, s ohledem na vysokou propustnost podloží, neúnosně krátká. V důsledku toho je hydraulický gradient nepříjemně vysoký. Na to poukazuje i Smrčka (1917), neboť podle jím uváděného Blighova vzorce by měla být v základové spáře šířka hráze 72 až 108 m (podle toho jaký typ zeminy se uvažuje). Skutečná šířka základu hráze na Bílé Desné byla však jen 53 m. Rychlost i množství prosakující vody pod hrází byly proto kritickým rizikovým faktorem a proto i předmětem matematického modelování.

Výpočet rychlosti a množství prosakující vody pod hrází Bílá Desná.

Výpočty rychlosti a množství prosakující vody byly provedeny parametricky pro různé kombinace hodnot koeficientů propustnosti přítomných materiálů, t.j.

- návodní těsnění
 - materiál zemní hráze
 - štěrkové náplavy v podlaží hráze.
- Hodnoty koeficientu filtrace „K“ pro návodní těsnění, byly voleny vždy o řád vyšší, než hodnoty pro materiál zemní hráze.

- Hodnoty „K“ pro šterkové náplavy v podloží hráze byly voleny o 1 až 2 řády nižší, než zvolená propustnost tělesa zemní hráze.

Výpočty provedl v SG Geotechnika s využitím programu Oasys profesor Trevor Orr z Univerzity of Dublin. Ze studie vyplynulo několik závažných závěrů:

- V návodním těsnění dochází podle výpočtu k tak velkým tlakům prosakující vody, že pevnost těsnění by byla pravděpodobně překročena a voda by mohla postupně vnikat do hráze přímo z nádrže.
- Proudové čáry prosakující vody pod hrází probíhají podle modelu klenbovitě vzhůru. To by mělo za následek tendenci proudící vody pronikat z podzákladí hráze do jejího jemnozrnějšího tělesa. Jsou tak vytvořeny dobré podmínky pro vyplavování jemných částic vnitřní erozí, zejména tam, kde různými nehomogenitami v tělese hráze jsou proto vytvořeny podmínky.
- Rychlost prosakující vody pod hrází činila podle modelového výpočtu, v závislosti na zvolených hodnotách koeficientu filtrace na:
 - vzdušné patě okolo 2 mm/sec.
 - pod hrází okolo 0,8 - 1,6 mm/sec.
 - vzdušná pata okolo 1,8 - 3,5 mm/sec.

To by představovalo hodnoty průsaků cca od 1 - 3,5 litrů/sec. Zajímavé je, že tyto hodnoty přibližně korespondují s množstvím vody, které v průběhu plnění hráze vytékalo z trhlin stěn ve středu výpustné štol.

Uvažuje-li se, že by voda touto rychlostí prosakovala v úseku širokém minimálně 50 m s mocností 3 m, t.j. přibližně 150 m², pak by celkové množství prosakující vody pod hrází mohlo dosahovat hodnot 450 - 500 litrů/sec. Při koncentraci takového množství prosakující vody do predisponovaných míst, by již vznikla poměrně velká unášecí síla vody, která může snadno ve vhodných podmínkách vyvolat interní erozi.

Z analýzy průsakových čar tělesem hráze a zejména pod hrází a z orientačních výpočtů rychlostí průsaků a množství prosakující vody pod hrází, tedy vyplývá nepříjemně velká rychlost a erozní síla pronikající vody zespoda do tělesa hráze.

Průsakové čáry indikované matematickým modelem se zpod hráze mírně zvedají do jejího tělesa a tak přispívají k vnitřní erozi jejího materiálu.

5.4. Shrnutí úvah o významu sufoze pro havárii hráze Bílá Desná

Vnitřní eroze přitom byla nepochybně predisponovaná podél výpustní štol několika faktory, a to především:

- vyplavením jemnozrných částic zeminy do výkopu pro výpustnou štolu během její výstavby. (Štola byla pod hladinou vody, a tudíž bylo nutno čerpat vodu z výkopu)
- pravděpodobným menším zhutněním v bezprostřední blízkosti stěn štol a vytvořením klenbového efektu a pod ním menší napjatosti. (Důsledek je menší kontaktní síla mezi zrny zeminy a tudíž menší odolnost vůči vnitřní erozi).
- Zkrácením filtrační dráhy vnikáním prosakující vody trhlami do tubusu výpustné štol

Další predispozici pro vnitřní erozi mohl způsobit fakt, že kvalita materiálu (propustnost, zhutnění), ukládaného do hráze neselektivním způsobem, zřejmě kolísala.

Sendvičová struktura zemního tělesa v důsledku 40 cm vrstev hutněných relativně lehkým válcem sama o sobě nebyla problémem z hlediska deformačního chování, ale vnitřní erozi mohla usnadňovat.

Výše uvedené nehomogenity umožnily koncentraci proudění vody do predisponovaných míst. Tím došlo k významnému zvětšení rychlosti proudění vody, přesahující hodnoty teoretických výpočtů a i k podstatnému zvětšení její erozní síly.

To následně nevyhnutelně v tělese hráze Bílá Desná způsobilo klasickou sufozi. Po propojení jednotlivých predisponovaných míst sufozním kanálem a jejího dosažení návodní strany hráze pak již mohlo během několika desítek minut dojít k celkovému kolapsu hráze.

6. Závěr:

Průzkum a výzkum prováděný v roce 1996 umožnil označit některé dlouho tradované primární příčiny havárie hráze Bílá Desná za nesprávné. Jsou to:

- Vznik příčných trhlin v tělese hráze v důsledku nerovnoměrného sednutí hráze, nad a mimo výpustnou štolu, v důsledku minimalizace sednutí štoly jejím založením na pilotovém roštu
- Nedokonalé zhutňování tělesa hráze.
- Postupné prosakování vody zemním tělesem po nedostatečném zhutnění v průběžných vrstvách.

Z dnešního pohledu byly příčinou havárie hráze na Bílé Desné absence dostatečného geotechnického průzkumu a z toho vyplývající elementární chyby projektu. Ten mimo jiné nevzal v úvahu velkou mocnost stlačujících se vrstev pod tělesem hráze a jejich nepříjemnou propustnost s následným nebezpečím sufoze.

Posuzují-li se příčiny havárie z hlediska doby, ve které nastala, tak šlo o součinnost nepříznivých faktorů, které vybočovaly z do té doby nashromážděných empirických zkušeností a poznatků ze stavění takovýchto hrází. Příčinu havárie proto nelze jednoznačně přičítat vyložené chybě či nedbalosti jejich stavitelů.

Skutečnost, že k poruchám zemních hrází dochází ve světě i v posledních letech však připomíná, že při podcenění spolupůsobení hráze s jejím přírodním a horninovým prostředím, riziko poruch existuje stále a je třeba mu vždy věnovat mimořádnou pozornost.

Literatura:

BUREŠ V. 1979, VD Josefův Důl, dozor, archiv, Stavební Geologie Praha

BUREŠ V. - SUŠICKÝ Z. 1976, Závěrečná zpráva o inženýrsko geologickém průzkumu pro vodní dílo Josefův důl, Archiv Stavební Geologie Praha

BUREŠ V. 1995, Posouzení zemin v tělese boční hráze VD Josefův Důl. Archiv SG Geotechnika

DOKLADOVÉ MATERIÁLY SOUDNÍCH PROCESŮ (znalecké posudky, výpovědi svědků) - archiv Povodí Labe, Jablonec n. Nisou

DUNCAN J. M. 1996, Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes, Journal of Geotechnical Engineering, Jul. 1996, Vol. 122 No. 7, p. 577-597

GEBAUER E. 1917, Wasserwirtschaft str. 70

CHLUM A. 1978, Vodní dílo Josefův důl, Informační publikace Min. LVH ČSR

ICOLD 1995, Accidents of Dams, Statistical analysis

ROZSYPAL A. 1996. Protržení přehrady na Bílé Desné s pohledu dnešní geotechniky. Seminář ČPV k 80 výročí protržení

ROZSYPAL A. 2006 Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné, kapitola „Pozdější průzkumy příčin katastrofy“ str. 109-117),

ROZSYPAL A. 2006, Proč se protřhla přehrada na Bílé Desné? Jizerské hory 9/2006

SMRČEK A. 1917, O bezpečnosti zemních hrází a příčinách katastrofy na Bílé Desné. Knižnice Svět a práce. Česká matice technická, Praha svazek 1

ŠIMEK, M. 1996, Bílá Desná Dam Failure 80th Anniversary

ŽÁK a kol. 2006, Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné, Knijy 555, Město Desná

Na průzkumu příčin protržení hráze Bílá Desná v roce 1996 spolupracovali:

ing.V. Bureš, mechanika zemin, propustnost, Výpočet MKP provedl RNDr. P.Nešvara. Výpočet interní eroze provedl prof. Trevor Orr z Univerzity of Dublin, měření penetrací na provedl ing.R.Cink a geofyzikální měření RNDr. R. Votoček a RNDr.J. Domanský. Měření radarem provedl za účasti techniků polních zkoušek RNDr. J. Kujal. Všichni, pokud není uvedeno jinak SG Geotechnika (dnes Arcadis Geotechnika)