

PRŮSAKY HRÁZEMI MALÝCH VODNÍCH NÁDRŽÍ

SMALL WATER RESERVOIR DAM'S SEEPAGE

Karel VRÁNA^{1,✉}, Václav David²

¹*KV+MV AQUA, s.r.o., Dominova 15, 158 00 Praha 5*

²*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6*
[✉]*vrana@kvmaqua.cz*

Abstract

The article informs about procedures and equations for calculating seepage of homogenous and nonhomogeneous dams (small reservoirs), and for assessment of depression curve. Furthermore, this article mentions particular problems related to seepage of dams. Significant problems can be seepages along constructions of small reservoir. This article involves technical prevention for elimination of this issue.

Keywords: small water reservoir dam, seepage

1 ÚVOD

Průsaky tělesem zemní hráze jsou běžnou záležitostí u každé nádrže, záleží pouze na jejich intenzitě. Dobře navrženými hrázemi voda prosakuje, dochází k trvalému nasycení zeminy hráze vodou, což chrání hráz jednak před vysycháním s možností vzniku preferenčních cest pro proudění vody, jednak před případnou destrukční činností hlodavců.

Průsaky podložím hráze je možno omezit nebo případně i zcela zrušit technickými opatřeními, jedná se však o opatření náročná na realizaci i finančně nákladná, a pokud je to možné, je účelné se lokalitám se značně propustným podložím hráze vyhnout. Propustný materiál se může vyskytovat i ve dně nádrže a těsnění celé plochy zátopy je mimo rámec běžných limitů na výstavbu malé vodní nádrže.

Výrazně nebezpečnější jsou obvykle průsaky kolem odpadního potrubí výpusti nádrže, protože zde se může docházet k vyplavování zeminy na celou šířku tělesa hráze s možností prolomení hráze, a tím vytvoření vlny tzv. „zvláštní povodně“.

2 PRŮSAKY TĚLESEM HRÁZE

Způsob výpočtu průsaku tělesem zemní hráze se liší podle toho, zda se jedná o hráz homogenní nebo o hráz nehomogenní, a to se středním (jádrovým) těsněním nebo s návodním těsněním. Pokud je hráz na propustném podloží, je třeba do výpočtu průsaku zahrnout i vodu proudící pod tělesem hráze. Výpočet průsaku hrázi a podložím se provádí odděleně a průsakové množství je dáno součtem obou hodnot. Zjednodušená metoda podle Kudina běžně používaná v inženýrské praxi byla u nás publikována například Šálkem et al. [2].

Jedná se tedy o tyto možné případy:

- homogenní hráz na nepropustném i propustném podloží,
- nehomogenní hráz na nepropustném i propustném podloží (střední těsnění),
- nehomogenní hráz na nepropustném i propustném podloží (návodní těsnění),
- průsak podložím hráze.

Ve všech případech se jedná zejména o výpočet průsakového množství tělesem hráze, určuje se tzv. specifický průsak, tj. množství prosakující vody na 1 m délky hráze.

2.1 Homogenní hráz na nepropustném podloží

Specifický průsak homogenní hrázi na nepropustném podloží se stanoví dle rovnice 1.

$$q_h = K \cdot \frac{H^2}{2 \cdot L} \quad (1)$$

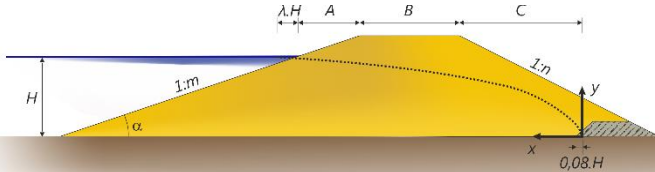
kde q_h je specifický průsak na 1 m délky hráze ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$), K je součinitel hydraulické vodivosti materiálu hráze ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), H je výška vody v nádrži nad úrovní patního drénu – hydraulický spád (m) a L je vodorovná délka průsakové dráhy (m), které je dána vztahem dle rovnice 2.

Horizontální délka průsakové dráhy na obrázku 1 je dána vztahy popsány rovnicemi 2 a 3.

$$L = \lambda \cdot H + A + B + C \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{m}{1 + 2 \cdot m} \quad (3)$$

kde m je kotangens úhlu α svíraného rovinou návodního líce hráze a vodorovnou rovinou (jmenovatel sklonu vyjádřeného jako 1 : m).



Obr. 1 Schéma průsaku homogenní hrázi na nepropustném podloží.

Depresní křivka má tvar paraboly s vrcholem v ose patního drénu a rovnice má tvar vyjádřený rovnicí 4.

$$y^2 = \frac{H^2}{L} \cdot x \quad (4)$$

kde x je vodorovná vzdálenost od osy patního drénu (m), kladná hodnota je od osy směrem k vodě, y je svislá vzdálenost v místě x od nepropustného podloží (m).

Voda, prosakující tělesem hráze, se soustřeďuje v objektu patního drénu. Patní drén je tvořen lomovým kamenem a drenážním potrubím, které odvádí prosáklou vodu do koryta toku pod hrázi. Určení průběhu depresní křivky v tělese hráze je podkladem pro návrh rozměrů patního drénu, protože nejmenší vzdálenost depresní křivky od vzdušního líce hráze by neměla být menší než 0,80 m, aby nedocházelo v zimním období k promrzání vody v hrázi, a tím k případnému narušování těsnosti hrázového tělesa.

2.2 Nehomogenní hráz se středním těsněním na nepropustném podloží

Při řešení průsaku tělesem nehomogenní hráze se středním těsněním záleží na poměru součinitelů hydraulické vodivosti materiálů hráze a těsnění vyjádřeného výrazem 5.

$$\frac{K_h}{K_j} \quad (5)$$

kde K_h je součinitel hydraulické vodivosti zeminy hráze ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), K_j je součinitel hydraulické vodivosti materiálu středního těsnění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

V případě, že je tento poměr menší než 100, je možno nahradit střední šířku těsnícího prvku t_s (průměr šířky v patě t_{j1} a v koruně t_{j2}) tzv. náhradní šířkou těsnění t_n dle rovnice 6.

$$t_n = \frac{K_h}{K_j} \cdot t_s \quad (6)$$

Tím dojde k teoretickému prodloužení hráze a průsaková délka L je nahrazena délkou L_n vyjádřenou rovnicí 7.

$$L_n = \lambda \cdot H + A + B + t_n - t_s + C \quad (7)$$

Výpočet průsaku je pak prováděn jako v případě homogenní hráze s touto délkou průsakové křivky s tím, že pro takto prodlouženou hráz se uvažuje hodnota součinitele hydraulické vodivosti K_h . Průsak takovouto hrází se pak stanoví dle rovnice 8.

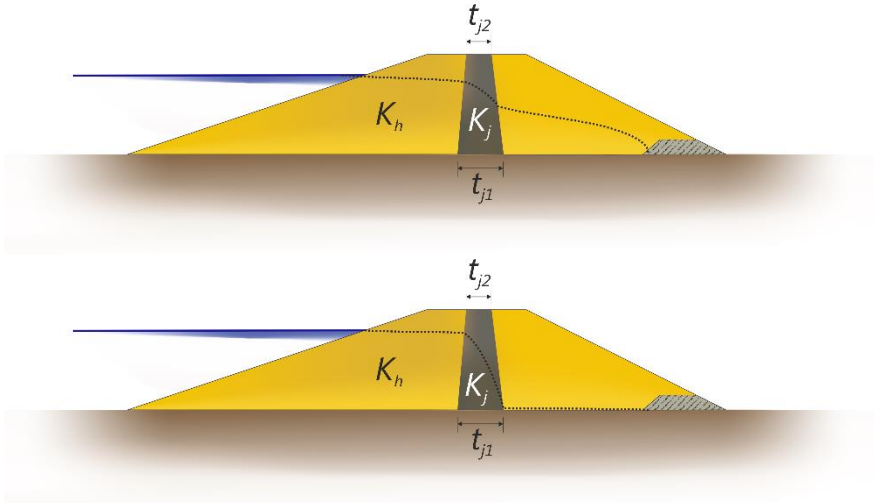
$$q_h = K_h \cdot \frac{H^2}{2 \cdot L_n} \quad (8)$$

V případě, že poměr K_h/K_j je větší než 100, počítá průsak se hrází pouze pro délku průsakové dráhy odpovídající střední šířce těsnícího prvku dle vztahu vyjádřeného rovnicí 9.

$$q_h = K_j \cdot \frac{H^2}{2 \cdot t_s} \quad (9)$$

Pro stanovení průběhu depresní křivky platí v prvním případě pro výpočet bodů křivky vztah uvedený pro homogenní hráz s tím, že vodorovné souřadnice se volí v rozmezí 0 až L_n a v rámci středního těsnění se redukují body v rozmezí t_n na šířku t_s . V druhém případě se předpokládá výrazně vyšší propustnost zeminy hráze oproti střednímu těsnění, a tomu odpovídá vodorovný průběh depresní křivky na návodní i vzdušné straně hráze a strmý pokles v těsnícím prvku.

Porovnání tvaru depresních křivek pro obě varianty poměru mezi hydraulickou vodivostí materiálu hráze a těsnění je znázorněno na obrázku 2.



Obr. 2 Schéma průsakové křivky pro nehomogenní hráz se středním těsnícím jádrem - malý rozdíl hydraulických vodivostí materiálu hráze a těsnícího jádra (nahore), velký rozdíl hydraulických vodivostí (dole).

V případě návodního těsnícího prvku se specifický průsak na 1 m délky hráze určí dle rovnice 10.

$$q_h = K_j \cdot \frac{(1 + m^2)^2 \cdot H^2 - m^2 \cdot t_j^2}{2 \cdot t_j \cdot (1 + m^2)} \quad (10)$$

2.3 Průsak propustným podložím hráze

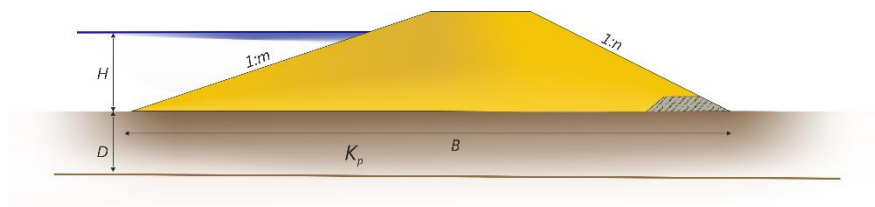
Specifický průsak podložím na 1 m délky hráze q_p se určí dle rovnice 11.

$$q_p = K_p \cdot \frac{H}{B} \cdot \frac{D}{a} \quad (10)$$

kde K_p je součinitel hydraulické vodivosti podloží ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), H je hloubka vody v nádrži (m), B je šířka hráze v patě (m), D je mocnost propustného podloží (m) a a je součinitel charakterizující zakřivení trajektorií prosakující vody podložím závisující na poměru B/D dle tabulky 1. Geometrické parametry pro výpočet průsaku pod hrázi jsou znázorněny na obrázku 3.

Tab. 1 Závislost parametru a na poměru B/D .

B/D	20	5	4	3	2	1
a	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87



Obr. 3 Geometrické parametry průsaku pod tělesem hráze.

Výsledný průsak hrázi a podložím se získá součtem obou hodnot, případně využitím pouze větší hodnoty, pokud je mezi oběma hodnotami výrazný rozdíl.

2.4 Poznámky k výpočtům průsaku tělesem hráze a jejím podložím

Všechny výpočty průsaků vody tělesem hráze a jejím podložím udávají hodnoty specifického průsaku, tj. průsaku na 1 m délky hráze. Někdy se celkový průsak určuje vynásobením specifického průsaku délkou hráze. Tento postup je pochopitelně zcela chybný, protože hloubka vody se po délce hráze mění od nuly při obou zavázáních hráze do maximální hodnoty v místě výpusti, stejně tak se mění i délka průsakové dráhy L . Přesnější výpočet by znamenal rozdělení hráze např. na proužky délky 1 m, výpočet průsakového množství v každém proužku a výsledný průsak by byl součtem těchto dílčích hodnot.

Hodnota součinitele hydraulické vodivosti K je však určována buď laboratorním měřením odebraných neporušených vzorků zeminy, nebo odvozením této hodnoty ze zrnitostního rozboru porušeného vzorku zeminy. Odběr vzorků zeminy se provádí buď z rostlého terénu v zemníku, výjimečně ze

zhutněného násypu tělesa hráze v průběhu provádění. Určení propustnosti půdy ze zeminy v zemníku může být ovlivněno heterogenitou zeminy v místě odběru, preferenčními cestami apod., odběr zeminy ze zhutněného násypu hráze pak kvalitou a stupněm zhutnění zeminy v místě odběru.

Vzhledem k těmto nepřesnostem je třeba považovat vypočtenou hodnotu průsakového množství pouze za orientační s platností v mezích řádu výsledku. Proto je možno pro výpočet průsaků hrází použít s dostatečnou přesností doporučené hodnoty součinitele hydraulické vodivosti zeminy K podle dvoupísmenného kódu zeminy, stanoveného dle zrnitostního rozboru. Tyto hodnoty uvádí následující tabulka (z hodnot tabulky je patrný velký rozptyl možných hodnot K pro některé skupiny zemín).

Tab. 1 Orientační hodnoty součinitele K

Skupina	$K(\text{m.s}^{-1})$	Skupina	$K(\text{m.s}^{-1})$
GW	$5 \cdot 10^{-4}$ až $7 \cdot 10^{-5}$	S - F	$1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-7}$
GP	$5 \cdot 10^{-4}$ až $6 \cdot 10^{-5}$	SM	$1 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
G - F	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-8}$	SC	$1 \cdot 10^{-7}$ až $5 \cdot 10^{-10}$
GM	$8 \cdot 10^{-5}$ až $8 \cdot 10^{-10}$	ML	$5 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
GC	$1 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-9}$	CL	$1 \cdot 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
SW	$5 \cdot 10^{-5}$ až $4 \cdot 10^{-6}$	MH	$8 \cdot 10^{-9}$ až $1 \cdot 10^{-10}$
SP	$2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-6}$	CH	$4 \cdot 10^{-7}$ až $2 \cdot 10^{-10}$

Reálné hodnoty průsakového množství tělesem hráze je možno získat měřením odtoků vody z patního drénu, avšak i zde dochází ke změně průsakových množství v čase. Nejvyšších hodnot může průsak dosahovat po prvním naplnění nádrže, kdy ještě dochází ke konsolidaci tělesa hráze, postupně by se mělo průsakové množství snižovat a stabilizovat.

Měření průsakového množství, vytékající z patního drénu se měří při pravidelných prohlídkách vodního díla, s vyšší četností po uvedení vodního díla do provozu (cca 1 x týdně), postupně se četnost snižuje (1 x za měsíc až za 2 měsíce). Při měření se pozoruje jednak trend průsakového množství (stabilní, snižující se množství během času, pozvolna se zvyšující nebo nárazový růst – může indikovat poruchu tělesa hráze), jednak vizuálně zakalení průsakové vody.

Pro možnost měření průsakového množství, vytékajícího z patního drénu do koryta toku pod hrází je třeba již v rámci projektu a realizace provést technickou úpravu vyústění patních drénů. Odvodňovací potrubí patního drénu se provádí buď z poloděrované kameniny nebo v současné době z plastového potrubí. Výhodou plastového potrubí je jeho malá hmotnost, snadné spojování, nižší cena a možnost vytvoření vtokových otvorů vrtačkou přímo na stavbě, nevýhodou je nutná opatrnost při realizaci kamenné rovnaniny patního drénu, aby nedošlo k proražení

plastového potrubí. Vyústění potrubí do odpadního koryta pod hrází musí být pro možnost objemového měření průsakového množství jednak minimálně 100 mm nad hladinou (možnost umístění měrné nádoby pod výtok), jednak přesah výtokového potrubí by měl být minimálně 50 mm přes líc opevnění koryta. Z důvodu možného poškození výtoků plastového drenážního potrubí je vhodné v poslední části drénu nahradit plastové potrubí potrubím ocelovým.

Pokud je těleso hráze založeno na propustném podloží, je třeba navrhnout opatření k ochraně nádrže jednak před únikem vody, jednak před možným vyplavováním půdních částic z podloží, a tím v kritickém případě prolomení tělesa hráze. Možné způsoby snížení průsaku vody propustnějším podložím tělesa hráze vycházejí ze vztahu pro výpočet průsakového množství podložím, tj. snížení parametrů v čitateli vzorce, nebo zvýšení parametrů ve jmenovateli zlomku. Obecně se jedná o prodloužení průsakové dráhy v podloží hráze. Řešení je buď předsazený těsnící koberec na dně nádrže před hrází, těsnící clona u paty návodního svahu nebo nejčastěji používaný prvek – zavazovací ostruha v ose hráze buď na celou šířku údolí, nebo ve střední části, kde jsou obvykle nivní propustnější usazeniny. Pokud je možno ovlivnit výběr hrázového profilu, je vhodnější vybrat profil s málo propustným nebo nepropustným podložím hráze.

Patní drén je třeba v případě propustného podloží prohloubit do podloží tak, aby odváděl nejen vodu prosáklou tělesem hráze, ale i podložím hráze. Tímto způsobem se zajistí i podchycení průsaku pod základovou spárou hráze a ochrání se pata vzdušního líce hráze před vyplavováním částic zeminy v tomto místě.

Možné průsaky tělesem hráze nebo jejím podložím je možno zjistit vizuálně při pravidelných prohlídkách vodního díla např. při výkonu činnosti technicko-bezpečnostního dohledu. Menší průsaky je možno indikovat pohledem z hráze do podhrází, kde v zimním období v místech průsaků vlivem teplejší prosakující vody taje sníh, v letním suchém období je zde zelená, případně až mokřadní vegetace. Při vyšší intenzitě průsaku je možno pod hrází nalézt místa se stojatou vodou, v horším případě s průtokem vody.

3 PRŮSAKY PODÉL KONSTRUKCÍ V TĚLESE HRÁZE

Nebezpečnější jsou průsaky tělesem hráze podél funkčních objektů – výpustí a odpadů od výpustí a bezpečnostních přelivů a průchodů odpadů od přelivů tělesem hráze. Jedná se o konstrukce, které procházejí hrází kolmo na její osu a v těchto místech je navíc hráz oslabena.

U výpustných zařízení je možným problémovým místem jednak napojení výpustí (zpravidla požeráku) na odpadní potrubí od výpusti. Napojení odpadního potrubí na šachtu požeráku musí být dlouhodobě vodotěsné a pružné, protože v případě netěsnosti by docházelo k prosakování vody podél vnějšího pláště

potrubí. Prosakující voda vyplavuje zemní částice podél potrubí a po delší době by mohlo dojít k prolomení tělesa hráze v profilu odpadního potrubí. Nebezpečnost tohoto jevu se umocňuje tím, že výpustné zařízení je umístěno vždy v nejhlubším místě nádrže, tím je zde největší tlak vody na hráz a prolomení hráze by způsobilo rychlé a úplně vyprázdnění celého objemu nádrže. Proto je třeba na utěsnění spoje použít pružný tmel s dlouhodobým účinkem pružnosti, zcela nevhodné je těsnění stavební pěnou. Vhodným řešením je využití požeráku se zabetonovaným nátrubkem stejného materiálu a profilu jako bude odpadní potrubí do zadní stěny šachty přímo od výrobce a na tento nátrubek pak napojit hrdlem plastové potrubí nebo přivařit potrubí ocelové.

Druhým problémovým místem může být průchod odpadního potrubí od výpusti tělesem hráze. Ochrana proti možnému průsaku vody podél potrubí je technické řešení uložení odpadního potrubí. Na vyrovnanou základovou spáru se vybetonuje deska v požadovaném podélném sklonu pro uložení potrubí. Zemina pod touto podkladní deskou musí být zhutněna, vyrovnána a případné skalní výčnělky odstraněny, aby nedošlo k zlomení podkladní desky a průhybu či zlomení potrubí. Nepřípustné je lože ze šterkopísku nebo jiného propustného materiálu pod betonovou podkladní deskou, protože tak by se vytvořila průsaková dráha. Na tuto desku se uloží odpadní potrubí a obetonuje (vhodnější je armovaný beton). Boční stěny obetonování jsou v mírném sklonu (cca 5 : 1 až 10 : 1), nikdy svislé nebo dokonce v negativním sklonu, aby při hutnění zeminy tělesa hráze došlo k dobrému navázání zeminy na beton. Pro lepší napojení obou materiálů se doporučuje těsně před navážením násypu hráze natřít betonové konstrukce na styku se zeminou roztokem jílového mléka.

K hutnění násypu hráze podél stěn objektů je třeba použít ručního hutnění, protože válce pro hutnění tělesa hráze jednak nedosáhnou až těsně k objektům, jednak by tyto konstrukce mohly poškodit.

Zásada pro sklon obetonování odpadního potrubí od výpusti platí i pro sklon vnějších stěn konstrukcí procházejících hrázi, např. žlabů, které odvádějí vodu od bezpečnostních přelivů.

Kromě tohoto opatření je vhodné zejména u větších profilů odpadů od výpusti nebo bezpečnostních přelivů prodloužit možnou průsakovou dráhu podél vnějšího líce odpadů vybudováním zavazovací žebra v ose hráze. Toto žebro je spojeno s obetonováním potrubí nebo otevřeného odpadu, vedeno na obě strany od podélné osy konstrukce. Sklony tohoto žebra jsou ve sklonu, platí zde stejné zásady jako pro obetonování odpadního potrubí od výpusti.

Oprava uvedených problémů vyžaduje nejprve dokonalé určení příčiny a dle toho pak navrhnout způsob opravy. Pokud např. došlo netěsnosti spojů odpadního potrubí od výpusti ke vzniku kaverny v tělese hráze, je zcela neúčinné zavezení vzniklé kaverny zeminou, protože problém se bude brzy znovu opakovat.



Obr. 4 Kaverna v tělese hráze (Foto S.Žatecký).

4 ZÁVĚR

Jak bylo výše uvedeno, vypočtené hodnoty průsaků mají vzhledem k nejistým hodnotám součinitele hydraulické vodivosti spíše orientační charakter a přesnost v rozmezí jednoho řádu. Reálné hodnoty je pak možno získat v rámci měření prosakující vody z patního drénu.

Vzhledem k možným závažným důsledkům průsaků vody tělesem hráze, zejména průsakem okolo konstrukcí objektů je nutné, aby vlastník vodního díla prováděl sám orientační kontroly vzdušního líce hráze, případně si zjednal na tuto činnost odbornou firmu. Orientační kontrola vzdušního svahu a podhrází však není časově ani odborně náročná a včasné zjištění případných výronů vody z hráze může zabránit i případné havárii hráze. Pro snadnou vizuální kontrolu hráze je však potřebné udržovat vzdušní svah hráze sekáním travin a odstraňovat náletové stromy a keře.

Literatura

- [1] CABLÍK, Jan. *Základy stavby rybníků a hospodářských nádrží*, Praha. SZN, 1960, 311 s.
- [2] ŠÁLEK, Jan; MIKA, Zdeněk; TRESOVÁ, Anna. *Rybníky a účelové nádrže*, Praha. SNTL, 1989, 267 s. ISBN 80-03-00092-0
- [3] VRÁNA, Karel. *Rybníky a účelové nádrže, příklady*, Praha. Vydavatelství ČVUT, 1993, 91 s. ISBN 80-01-01793-1
- [4] VRÁNA, Karel; BERAN, J. *Rybníky a účelové nádrže*, skriptum, Praha. Vydavatelství ČVUT, 2005, 150 s. ISBN 80-01-02570-5
- [5] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*. Praha. Vydavatelství ÚNMZ, 2011, 48 s.

Poděkování

Článek vznikl v rámci řešení výzkumného projektu NAKI II DG16P02M036 „Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví“, který je financován Ministerstvem kultury ČR. Poděkování patří kolegovi Ing. Stanislavu Žateckému (Vodní díla – TBD a.s.) za poskytnutí fotografií, týkajících se popisované problematiky. Výběr těchto fotografií bude využit při ústní prezentaci na konferenci.