

## **Posouzení průsaku a filtrační stability**

**Bečva, Lipník nad Bečvou – PPO města**

**Zhotovitel: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur**

**Objednatel: Agroprojekce Litomyšl, s. r. o.  
Rokycanova 114/IV, 566 01 Vysoké Mýto**

## **Obsah:**

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>2. POUŽITÉ PODKLADY .....</b>	<b>2</b>
2.1 GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODKLADY .....	3
2.2 HYDROLOGICKÉ PODKLADY .....	3
<b>3. METODIKA ŘEŠENÍ PRŮSAKU PPO A PODLOŽÍM .....</b>	<b>4</b>
3.2 POSOUZENÍ FILTRAČNÍ STABILITY .....	5
3.3 PORUŠENÍ HYDRAULICKÝM PROLOMENÍM.....	6
<b>4. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ.....</b>	<b>7</b>
4.1 POSOUZENÍ ŘEZU A .....	7
4.2 POSOUZENÍ ŘEZU B .....	9
4.3 POSOUZENÍ ŘEZU C .....	11
<b>5. ZÁVĚR.....</b>	<b>13</b>

# 1. Úvod

Cílem analýzy je posouzení filtrační stability a průsaku navrhovaného protipovodňového opatření města Lipník nad Bečvou, které je v současnosti připravováno ve stupni dokumentace k územnímu rozhodnutí společností Agroprojekce Litomyšl, s. r. o.

Analýza se zaměřuje zejména na tyto aspekty:

- 1) sestavení 2-D matematického modelu proudění podzemní vody ve třech zadaných svislých řezech v linii PPO (řezy A, B a C). Tyto řezy jsou vyznačeny v příloze.
- 2) simulace průsaku povodňové vlny podloží PPO do chráněného území,
- 3) odhad filtrační stability PPO,
- 4) odhad kulminačního průsaku během návrhové povodně do chráněného území na 1 m délky linie PPO.

Pro posouzení byl využit dvourozměrný neustálený model proudění podzemní vody SEEP/W kanadské společnosti GEOSLOPE (číslo licence #100375, Pavel Fosumpaur), který umožňuje simulaci průsakových poměrů jako funkci času během návrhové povodňové vlny.

## 2. Použité podklady

Pro zpracování matematického modelu průsaku podloží PPO v zadaných řezech A, B a C byly využity zejména tyto základní podklady:

- Bečva, Lipník nad Bečvou – PPO města. Dokumentace k územnímu rozhodnutí. Agroprojekce Litomyšl, s. r. o., v přípravě,
- zadané příčné řezy A, B a C v linii PPO,
- Geologický průzkum pro protipovodňové hrázky a zídky v Lipníku nad Bečvou, RNDr. František Medřík, 10/2014,
- Posouzení vhodnosti zemin pro stavbu homogenních hrází v Lipníku nad Bečvou, RNDr. František Medřík, 03/2015,
- průběh návrhové povodně s kulminací  $Q_{100}$  (Agroprojekce Litomyšl, s.r.o., 2015).

Zájmové území se nachází na okraji intravilánu města Lipník nad Bečvou. Linie protipovodňového opatření prochází na pravém břehu Bečvy a je tvořena zemními hrázkami a zídkami. Úroveň koruny opatření je dána výpočtovou hladinou  $Q_{100}$  s převýšením +0,1 m.

## 2.1 Geologické a hydrogeologické podklady

Geologické podklady byly připraveny formou geologického průzkumu, který zpracoval RNDr. František Medřík (10/2014).

Z geologického profilu je patrné, že pod terénem se nachází soudržné hlíny a jíly, které jsou reprezentovány hlínami písčitými MS, šterkovitými MG a jíly prachové CI a písčité CS. Mocnost této vrstvy soudržných zemin je poměrně malá v rozmezí 0,4 až 0,7 m a výjimečně dosahuje hodnoty až 1,7 m. Pod hlinitými vrstvami se nachází nesoudržné materiály tvořené písky a šterky s četnými vzájemnými přechody. Na základě výsledků geologického průzkumu byly pro potřeby výpočtu průsaků použity následující hodnoty součinitelů propustnosti:

**Tab. 1** Doporučené hodnoty součinitelů propustnosti (Medřík, 2014).

Jíly			Hlíny		Písky			Šterky	
CH	CI	CS	MG	MS	SC	SM	SF	GF	GP
$1 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-2}$

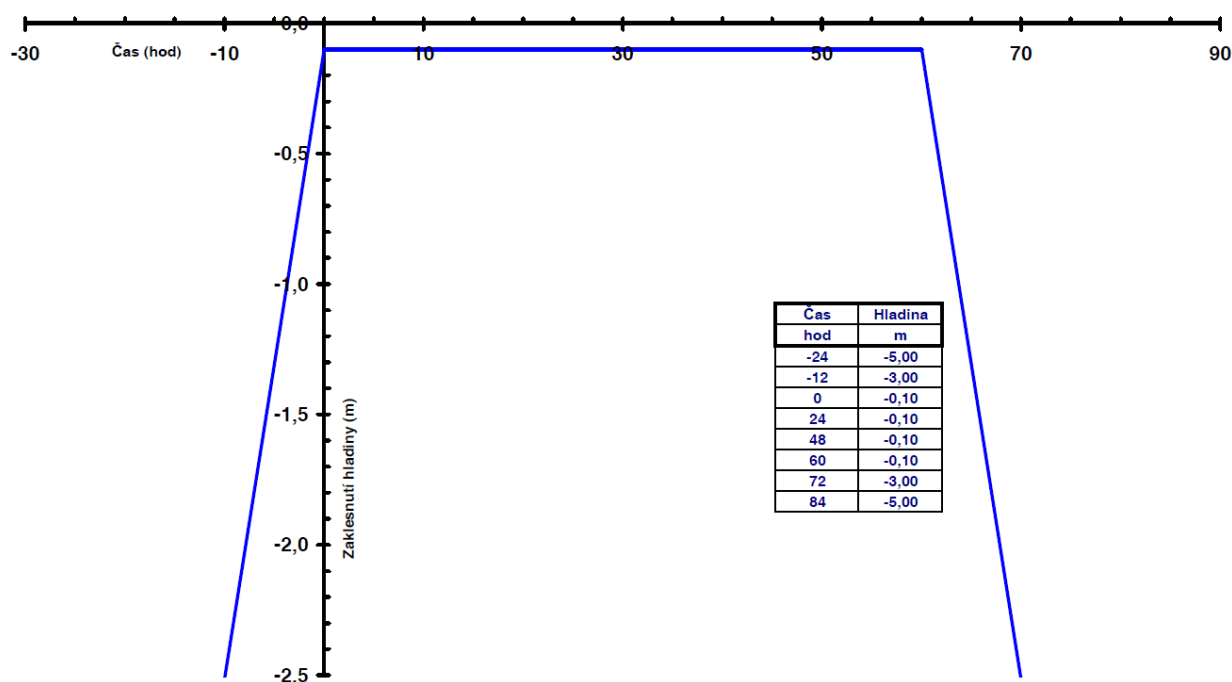
Jako materiál ochranné hráze bude použita soudržná zemina charakteru nízko až středně plastických písčitých jílu CS. Vhodnost tohoto materiálu do homogenních hrází hodnotí norma ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“ jako velmi vhodné.

## 2.2 Hydrologické podklady

Pro posouzení průsaku a stability podzemní části PPO byl využit neustálený matematický model proudění podzemní vody SEEP W. Nutným vstupem je znalost průběhů hladiny návrhové povodně v Bečvě. Na následujícím obr. 1 je znázorněn průběh návrhové povodně jako zaklesnutí pod korunou PPO (koruna PPO je v úrovni  $\pm 0,000$  m). Z průběhu na obr. 1 vyplývá, že doba zatížení PPO povodní je cca 3 dny.

### Zaklesnutí hladiny pod korunou hrázky

akce: PPO Lipník nad Bečvou



Obr. 2.3 Průběh hladiny při povodni PV<sub>100</sub>.

## 3. Metodika řešení průsaku PPO a podloží

Pro analýzu proudění v podloží PPO byl využit 2D matematický model SEEP W kanadské společnosti GEO-SLOPE International Ltd. Produkt patří k celosvětově nejpoužívanějším a vyznačuje se dobrou stabilitou a robustností.

Program SEEP W řeší proudění podzemní vody metodou konečných prvků a umožňuje výpočet jak v ustáleném, tak v neustáleném režimu. Dále umožňuje výpočet nasyceným a nenasyceným půdním prostředím. Pro analýzu průsaku v rámci akce PPO Lipník nad Bečvou byl využit přístup nenasyceného neustáleného proudění, kdy neustálená okrajová podmínka byla dána právě průběhem návrhové povodně. Tento přístup umožňuje plně vystihnout propagaci povodňové vlny zemním prostředím v závislosti na čase. Výsledky jsou pak spolehlivější a odpovídají lépe realitě, než při využití ustáleného nasyceného modelování.

### 3.2 Posouzení filtrační stability

Obsahem tohoto posudku je vyhodnocení hydraulických gradientů v oblasti výtoku průsakové vody do volna v okolí vzdušní paty PPO, popř. v oblasti výtoku vody do drénu a porovnání těchto gradientů s kritickou hodnotou. Při překročení kritického hydraulického gradientu hrozí vyplavování jemných částic materiálu násypu, čímž vznikají nebezpečné preferenční cesty, které mohou vést až ke ztrátě stability. Dále byly testovány hydraulické gradienty v podloží PPO v oblasti pod základovou spárou podzemních stěn.

Při proudění podzemní vody je element  $V$  namáhán svou tíhou, tíhou vody a proudovým tlakem. Tečná napětí z dalších úvah vyloučíme (výpočet je na straně bezpečnosti). Při kritickém hydraulickém gradientu se zemina právě začíná dostávat do vzhledu:

$$i_c \cdot \gamma_v \cdot V = (\gamma_{sat} - \gamma_v) \cdot V$$

kde  $i_c$  je kritický hydraulický gradient,  
 $\gamma_v$  ... měrná tíha vody [kN],  
 $\gamma_{sat}$  ... měrná tíha saturované zeminy [kN].

Měrná tíha vysušené zeminy  $\gamma_d$  je:

$$\gamma_d = (1 - n) \cdot \gamma_s$$

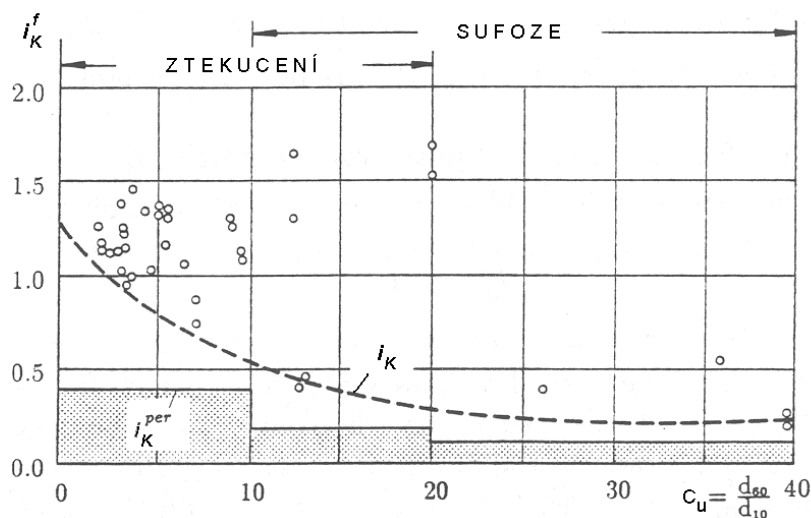
Měrná tíha saturované zeminy  $\gamma_{sat}$  je:

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + n \cdot \gamma_v$$

Zdánlivá tíha zrn je přibližně  $\gamma_s \cong 27 \text{ kN.m}^{-3}$  a pórovitost  $n = \text{cca } 30\%$ .

Hodnota kritického hydraulického gradientu je tudíž  $i_c = 1$  až  $1,2$ . Mezní stav filtrační stability proti porušení sufózním jevům a vzniku preferenčních cest je dán vztahem:  $i \leq i_c$ . Přes tyto skutečnosti uvádí literatura pro sufozně ohrožené materiály podstatně menší hodnoty kritických hydraulických gradientů.

Za obecně velmi konzervativní kritérium je považován soubor kritérií dle Istominy (1957). Hodnoty kritických gradientů autorka uvádí v závislosti na čísle nestejnozrnnosti  $C_u = d_{60}/d_{10}$ . Hodnoty přípustných gradientů autorka doporučuje volit ještě nižší na straně bezpečnosti. Vzhledem ke krátkodobému charakteru zatížení vycházíme z přípustného gradientu nesoudržných zemin hodnotou  $0,3$  až  $0,4$ .



Pro hlinité soudržné materiály jsou hodnoty kritických gradientů naopak významně vyšší, v rozmezí cca 1,0 až 2,0.

Posouzení filtrační stability proto musí být vždy provedeno individuálně s přihlédnutím k charakteru materiálu, kterým proudí podzemní voda.

### 3.3 Porušení hydraulickým prolomením

Pro posouzení hydraulického prolomení vztlakem na stropní izolátor (méně propustnou vrstvu) v chráněném území za PPO je použita rovnice podle mezních stavů:

$$n_1 \cdot n_2 \cdot \gamma_v \cdot (H_{\max} - K) \leq n_3 \cdot \gamma_z \cdot (K_t - K)$$

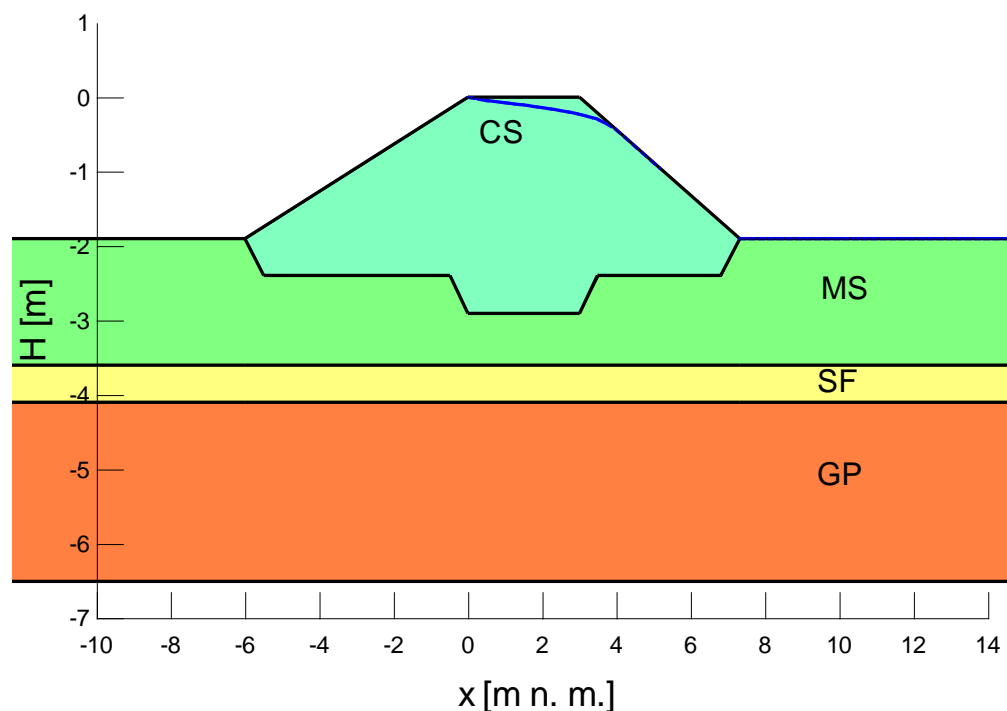
- kde
- $n_1$  součinitel významu konstrukce ( $n_1=1,1$ ),
  - $n_2$  součinitel spolehlivosti zatížení hydrostatickým tlakem ( $n_2=1,0$ ),
  - $n_3$  součinitel spolehlivosti přetížení stropního izolátoru ( $n_3=0,9$ ),
  - $\gamma_v$  měrná tíha vody ( $\gamma_v = 10 \text{ KN/m}^3$ ),
  - $\gamma_z$  měrná tíha stropního izolátoru ( $\gamma_z = 19 \text{ KN/m}^3$ ),
  - $H_{\max}$  hydraulická (piezometrická výška) pod stropním izolátorem (m n.m.),
  - $K$  kóta báze stropního izolátoru (m n.m.),
  - $K_t$  kóta terénu (m n.m.).

Mezní stav porušení stropního izolátoru hydrostatickým vztlakem je do výpočtu zaváděn v případě výskytu relativně nepropustných nebo málo propustných nadložních vrstev v chráněném území za linií PPO.

## 4. Výsledky řešení

### 4.1 Posouzení řezu A

Schematické znázornění řezu A je uvedeno na následujícím obr. 2.



**Obr. 2** Schéma řezu A.

Hodnota vztaku na bázi krycí hlinité vrstvy MS je 3,5 m.

Mocnost krycí vrstvy je 1,7 m.

Stupeň bezpečnosti na hydraulické prolomení krycí vrstvy:  $SF = 0,76$

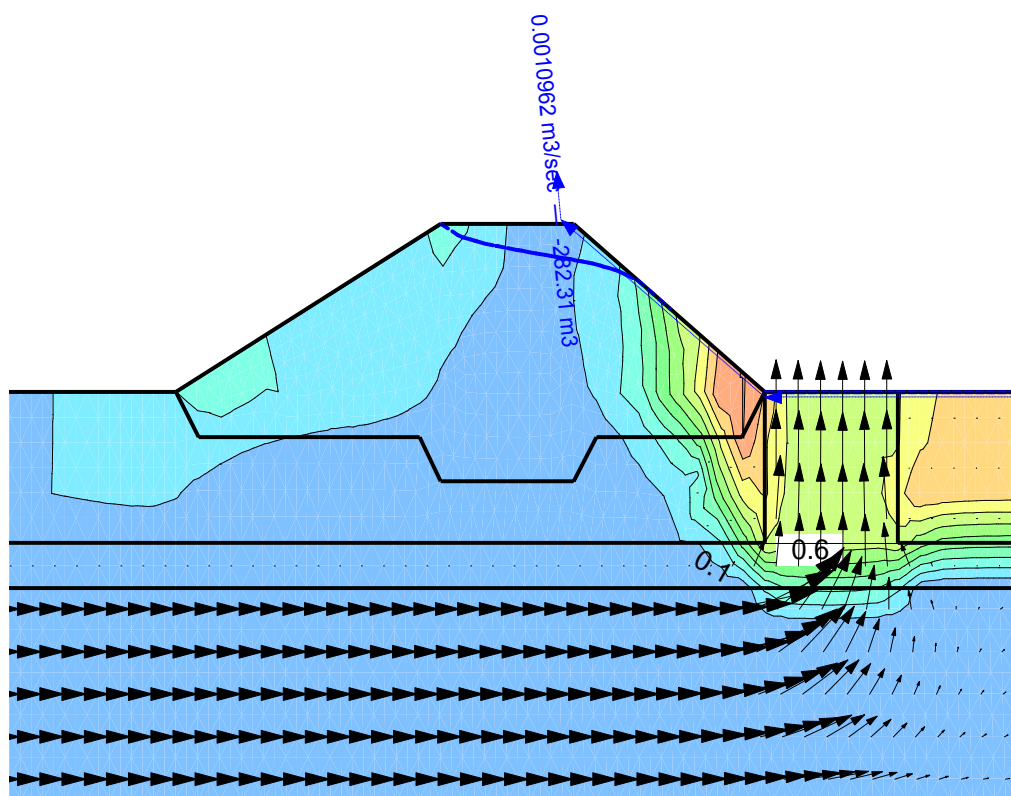
-> hrozí prolomení krycí vrstvy

Pro případ prolomení krycí vrstvy byla posouzena hodnota hydraulického gradientu a průsaku do chráněného území při kulminaci povodně. Výsledek analýzy je znázorněn na obr. 3.

Hydraulický gradient na vzdušní patě: 0,6

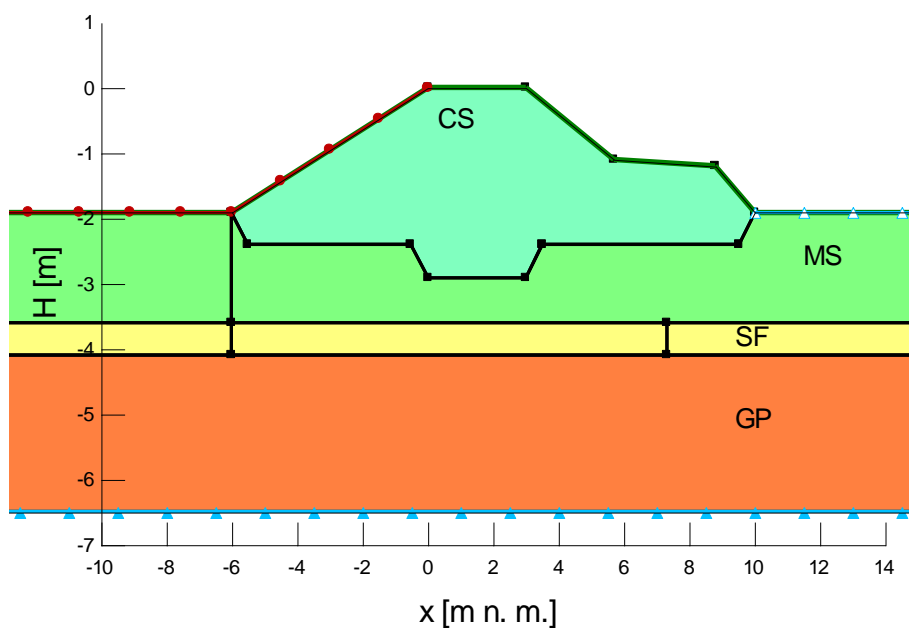
Max. průsak do chráněného území:  $1,0 \text{ l.s}^{-1}$  na 1m PPO





**Obr. 3** Řez A po hydraulickém prolomení hlinité vrstvy na vzdušní patě. Vektory rychlostí a izolinie hydraulických gradientů.

Na základě poměrně nepříznivých výsledků byl projektantem upraven vzorový příčný řez ochrannou hrází. Návrh uvažuje realizaci přísypu na vzdušní patě s cílem přitížení a zamezení rizika hydraulického prolomení. Situaci dokumentuje obr. 4.



**Obr. 4** Výpočetní schéma upraveného hráze profilu A pomocí přitěžovacího přísypu na vzdušní patě.

#### Profil pod přísypem:

Hodnota vztlaku na bázi krycí hlinité vrstvy MS je 2,9 m.

Mocnost krycí vrstvy je  $1,7 + 0,5 = 2,2$  m.

Stupeň bezpečnosti na hydraulické prolomení krycí vrstvy:  $SF = 1,18$

-> nehrozí prolomení krycí vrstvy

#### Profil na vzdušní patě přísypu:

Hodnota vztlaku na bázi krycí hlinité vrstvy MS je 2,7 m.

Mocnost krycí vrstvy je 1,8 m (terén za hrází stoupá)

Stupeň bezpečnosti na hydraulické prolomení krycí vrstvy:  $SF = 1,04$

-> nehrozí prolomení krycí vrstvy

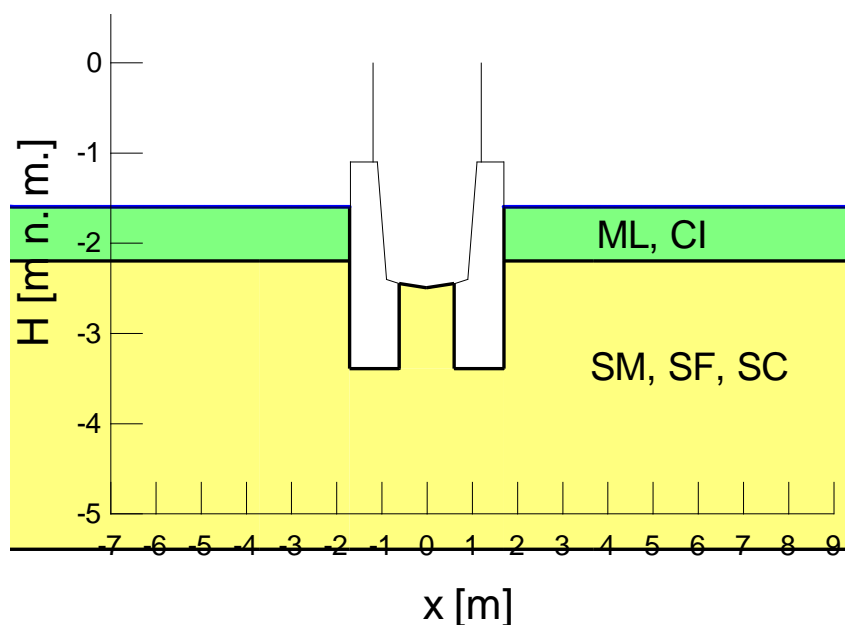
#### **Závěr:**

V případě prolomení krycí hlinité vrstvy na vzdušní patě ochranné hráze hrozí poměrně silný průsak podzemní vody do chráněného území. Z důvodu podchycení tohoto průsaku a zajištění filtrační stability doporučuji zřídit na vzdušní patě dren opatřený filtrem.

Pro zamezení rizika hydraulického prolomení krycí vrstvy na vzdušní patě se jako vhodné opatření jeví realizace přítěžovacího přísypu mocnosti 0,5 m dle návrhu projektanta.

## **4.2 Posouzení řezu B**

Schematické znázornění řezu B je uvedeno na následujícím obr. 4.



**Obr. 4** Schéma řezu B.

Hodnota vztlaku na bázi krycí hlinité vrstvy ML je 2,1 m.

Mocnost krycí vrstvy je 0,6 m.

Stupeň bezpečnosti na hydraulické prolomení krycí vrstvy:  $SF = 0,44$

-> hrozí prolomení krycí vrstvy

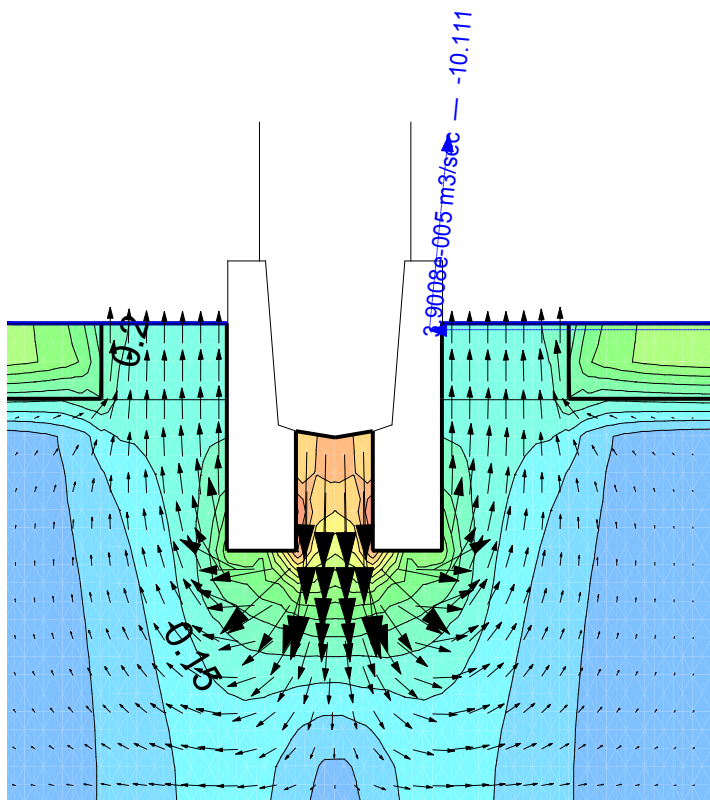
Pro případ prolomení krycí vrstvy byla posouzena hodnota hydraulického gradientu a průsaku do chráněného území při kulminaci povodně. Výsledek analýzy je znázorněn na obr. 5.

Hydraulický gradient na vzdušní patě: 0,2

Max. průsak do chráněného území:  $0,04 \text{ l.s}^{-1}$  na 1m PPO

#### Závěr:

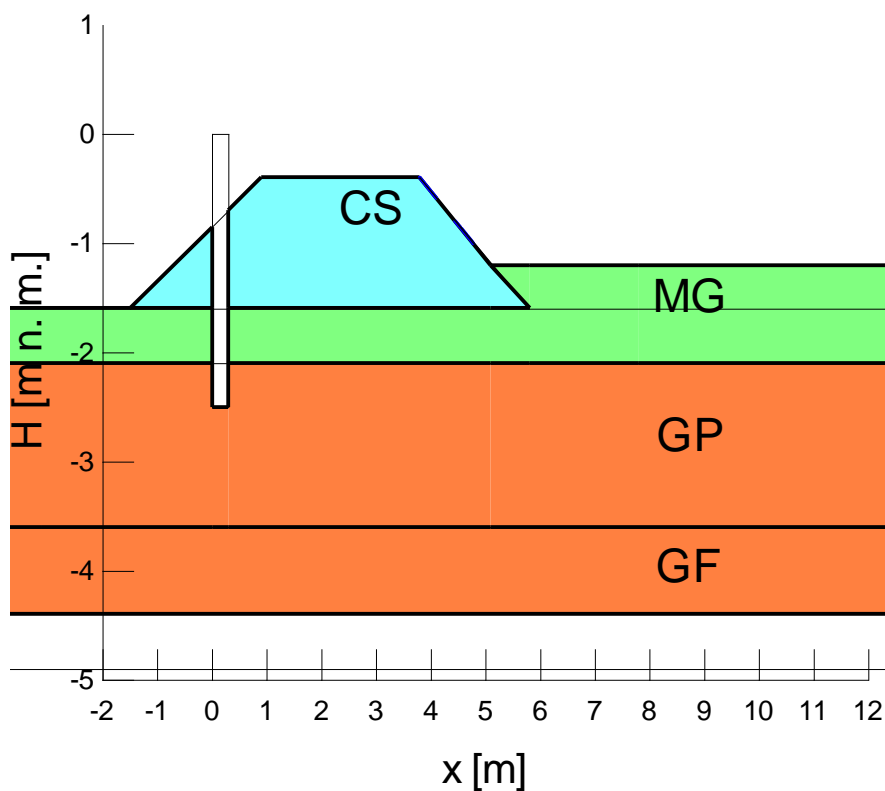
V případě prolomení krycí hlinité vrstvy na vzdušní patě ochranné hráze dojde k průsaku podzemní vody do chráněného území o poměrně malé intenzitě. Ztráta filtrační stability na patě vzdušního líce PPO nehrozí vzhledem k přípustné hodnotě hydraulického gradientu.



**Obr. 5** Řez B po hydraulickém prolomení hlinité vrstvy na vzdušní patě. Vektory rychlostí a izolinie hydraulických gradientů.

### 4.3 Posouzení řezu C

Schematické znázornění řezu C je uvedeno na následujícím obr. 6.



**Obr. 6** Schéma řezu C.

Hodnota vztlaku na bázi krycí hlinité vrstvy MG je 2,1 m.

Mocnost krycí vrstvy je 0,9 m.

Stupeň bezpečnosti na hydraulické prolomení krycí vrstvy:  $SF = 0,67$

-> hrozí prolomení krycí vrstvy

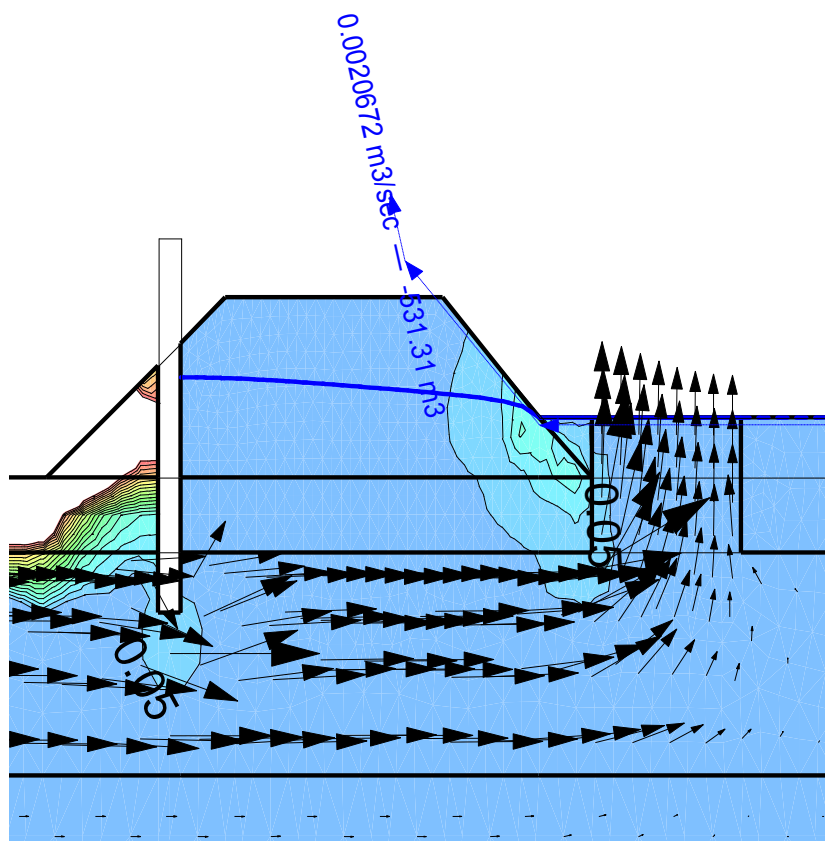
Pro případ prolomení krycí vrstvy byla posouzena hodnota hydraulického gradientu a průsaku do chráněného území při kulminaci povodně. Výsledek analýzy je znázorněn na obr. 7.

Hydraulický gradient na vzdušní patě: 0,05

Max. průsak do chráněného území:  $2,0 \text{ l.s}^{-1}$  na 1m PPO

#### **Závěr:**

V případě prolomení krycí hlinité vrstvy na vzdušní patě ochranné hráze hrozí poměrně silný průsak podzemní vody do chráněného území. Z důvodu podchycení tohoto průsaku doporučuji zřídit na vzdušní patě drén opatřený filtrem.



**Obr. 3** Řez C po hydraulickém prolomení hlinité vrstvy na vzdušní patě. Vektory rychlostí a izolinie hydraulických gradientů.

## 5. Závěr

Cílem analýzy bylo posouzení průsaku a filtrační stability linií PPO města Lipník nad Bečvou ve třech zadaných řezech (A, B a C) dle návrhu DUR. Výsledky dospěly k těmto závěrům:

- 1) Vzhledem k malé mocnosti nepropustných povodňových hlín a vysoké propustnosti podložních štěrkopísků, lze očekávat během trvání návrhové povodně Q100 aktivaci plné hodnoty vztlakové síly na úrovni báze povodňových hlín. Výpočty prokázaly, že je reálné hydraulické prolomení vrstvy povodňové hlíny s průnikem podzemní vody na terén v místě vzdušní paty PPO.
- 2) Po prolomení krycí vrstvy povodňové hlíny dojde k průsaku podzemní vody do chráněného území. Hodnoty tohoto průsaku jsou poměrně vysoké a činí v případě řezů A a C mezi 1 až 2 l.s<sup>-1</sup> na 1 m linie PPO. Takto vysoká hodnota průsaku je dána zejména velkou propustností podložních štěrků a štěrkopísků, jejichž součinitel propustnosti byl geologickým posudkem zhodnocen v řádech 10<sup>-3</sup> až 10<sup>-2</sup> m.s<sup>-1</sup>.
- 3) Pro eliminaci rizika hydraulického prolomení krycí vrstvy v případě profilu A lze doporučit realizaci přítěžovacího přísypu na vzdušní patě o mocnosti 0,5 m dle návrhu projektanta.
- 4) V případě řezu B se jedná o realizaci nábrežních zídek podél přítoku Bečvy (drobný vodní tok Loučka). Geologický posudek zde zastihl v podloží písčité vrstvy a po hydraulickém prolomení nadložních hlín nastane technicky dobře zvládnutelný průsak o velikosti 0,04 l.s<sup>-1</sup> na 1 m linie PPO (na každou stranu Loučky).
- 5) Filtrační stabilita je dle výpočtu ohrožena po hydraulickém prolomení v případě řezu A.
- 6) Z důvodu podchycení průsaku a zajištění filtrační stability doporučuji zřídit na vzdušní patě PPO drén opatřený filtrem.

V Brozanech nad Ohří, dne 21. května 2015

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

## Příloha – situace posuzovaných řezů A, B a C

