

# **STABILITNÍ POSOUZENÍ HRÁZOVÝCH OBJEKTŮ**

## ***Závěrečná zpráva smlouvy o dílo***

Ev. č. smlouvy VŠB-TU Ostrava HS 2242005

### **Objednatel**

**Valbek, spol. s r.o.**

Děčínská 717/21  
400 03 Ústí nad Labem

### **Zhotovitel**

**VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství**

Ludvíka Podéště 1875/17  
708 00 Ostrava

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

říjen 2020

Řešitelský kolektiv:

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

## Obsah:

1	ÚVOD.....	5
2	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O OBJEKTU .....	7
3	CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....	8
4	ZÁVĚRY Z GEOLOGICKÉHO A HYDROGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU PROVEDENÉHO SPOLEČNOSTÍ AZ-GEO .....	9
5	STABILITNÍ A FILTRAČNÍ POSOUZENÍ PROTIPOVODŇOVÝCH HRÁZÍ.....	17
5.1	Vyhodnocení profilu č. 4 - železobetonová hráz založená na pilotách .....	21
5.2	Vyhodnocení profilu č. 5 – sypaná homogenní hráz .....	22
5.3	Vyhodnocení profilu č. 22 - železobetonová hráz založená na pilotách .....	24
6	ZÁVĚRY .....	26

## Seznam příloh:

### Příloha č. 1 výsledky modelového výpočtu k profilu 4:

- Příloha 1.1 *Profil 22 - celkový numerický model*
- Příloha 1.2 *Detail numerického modelu v místě ŽB zdi*
- Příloha 1.3 *Horizontální posuny hráze a jejího okolí po přitížení vodou – povodňový stav*
- Příloha 1.4 *Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňový stav*
- Příloha 1.5 *Celková rychlost proudění – povodňový stav*
- Příloha 1.6 *Celková rychlost proudění – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 1.7 *Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 1.8 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 1.9 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (návodní strana) – povodňový stav*
- Příloha 1.10 *Celková rychlost proudění – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav*
- Příloha 1.11 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav*
- Příloha 1.12 *Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrku a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 1.13 *Totální napětí  $\sigma_y$  – podélný řez na rozhraní štěrku a nadložních jílových vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 1.14 *Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrku a nadložních jílovitých vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 1.15 *Aktivní pórový tlak – povodňový stav*
- Příloha 1.16 *Aktivní pórový tlak ( detail) – povodňový stav*
- Příloha 1.17 *Vertikální posuny v konstrukci – předpovodňový stav*
- Příloha 1.18 *Vertikální posuny v konstrukci – povodňový stav*
- Příloha 1.19 *Horizontální posuny v konstrukci – předpovodňový stav*
- Příloha 1.20 *Horizontální posuny v konstrukci – povodňový stav*

## **Příloha č. 2. výsledky modelového výpočtu k profilu 5:**

- Příloha 2.1 *Profil 5 – celkový numerický model*
- Příloha 2.2 *Detail numerického modelu*
- Příloha 2.3 *Svislé posuny – předpokládané sednutí násypu hráze po výstavbě*
- Příloha 2.3 *Svislé posuny – předpokládané sednutí násypu hráze po výstavbě*
- Příloha 2.4 *Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňová hladina*
- Příloha 2.5 *Celková rychlost proudění – povodňová hladina*
- Příloha 2.6 *Oblasti s rychlostí nižší než kritická rychlost 0.09 m/den pro sufózní jevy- povodňová hladina*
- Příloha 2.7 *Celková rychlost proudění – pata hráze – povodňový stav*
- Příloha 2.8 *Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata hráze – povodňový stav*
- Příloha 2.9 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata hráze – povodňový stav*
- Příloha 2.10 *Celková rychlost proudění  $q$  v řezu hrází a podložím – povodňový stav*
- Příloha 2.11 *Celková rychlost proudění  $q$  a celkový průtok – svislý řez středem hráze – povodňový stav*
- Příloha 2.12 *Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 2.13 *Totální napětí  $\sigma_y$  – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 2.14 *Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 2.15 *Aktivní pórový tlak – povodňový stav*
- Příloha 2.16 *Aktivní pórový tlak ( detail) – povodňový stav*
- Příloha 2.17 *Lokalizace kritické smykové plochy ve stavu před povodní – stupeň stability  $M_{sf} = 1,56$*
- Příloha 2.18 *Lokalizace kritické smykové plochy v povodňovém stavu – stupeň stability  $M_{sf} = 1,62$*

## **Příloha 3. výsledky modelového výpočtu k profilu 22:**

- Příloha 3.1 *Profil 22 - celkový numerický model*
- Příloha 3.2 *Detail numerického modelu v místě ŽB zdi*
- Příloha 3.3 *Horizontální posuny hráze a jejího okolí po přetížení vodou – povodňový stav*
- Příloha 3.4 *Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňový stav*
- Příloha 3.5 *Celková rychlost proudění – povodňový stav*
- Příloha 3.6 *Celková rychlost proudění – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 3.7 *Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 3.8 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata piloty – povodňový stav*
- Příloha 3.9 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (návodní strana) – povodňový stav*
- Příloha 3.10 *Celková rychlost proudění – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav*
- Příloha 3.11 *Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav*
- Příloha 3.12 *Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 3.13 *Totální napětí  $\sigma_y$  – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 3.14 *Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*
- Příloha 3.15 *Aktivní pórový tlak – povodňový stav*
- Příloha 3.16 *Aktivní pórový tlak ( detail) – povodňový stav*
- Příloha 3.17 *Vertikální posuny v konstrukci – předpovodňový stav*
- Příloha 3.18 *Vertikální posuny v konstrukci – povodňový stav*
- Příloha 3.19 *Horizontální posuny v konstrukci – předpovodňový stav*
- Příloha 3.20 *Horizontální posuny v konstrukci – povodňový stav*

# 1 ÚVOD

Na základě objednávky společnosti Valbek spol. s r.o. byla provedena analýza průsakových a stabilitních poměrů ve třech objednatelem specifikovaných profilech protipovodňových objektů plánovaných v obci Lužec nad Vltavou, ve Středočeském kraji pomocí numerického modelování. Posouzení bylo provedeno s ohledem na filtrační stabilitu, ztekucení vrstev a prolomení nepropustných vrstev pro zpracování projektové dokumentace „Protipovodňová ochrana obce Lužec nad Vltavou - dokumentace pro stavební povolení“.

Identifikační údaje:

Investor: Povodí Vltavy, státní podnik  
se sídlem: Holečkova 3178/8, Smíchov, 150 00 Praha 5  
zapsaný: v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze, oddíl A, vložka 43594 IČ: 70889953, DIČ: CZ70889953

Zpracovatel PD: HG partner s.r.o.  
se sídlem: Smetanova 200, 250 82 Úvaly  
zapsaný: v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 105510 IČ: 27221253, DIČ: CZ27221253  
zastoupený: Ing. Jaroslavem Vrzákem, jednatelem společnosti

Zhotovitel IGP: Valbek, spol. s r.o.  
se sídlem: Děčínská 717/21, 400 03 Ústí nad Labem  
zapsaný: v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Ústí nad Labem v oddílu C, vložce 4487, IČ: 48266230, DIČ: CZ48266230  
zastoupený: Ing. Romanem Lennerem, jednatelem společnosti  
odpovědná osoba: Ing. Roman Králík  
osvědčení odborné způsobilosti MŽP č. 2138/2011 v oboru hydrogeologie

Zpracovatel stabilitního posouzení:

VŠB- TU Ostrava, Fakulta stavební  
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství  
Ludvíka Podéště 1875/17, 708 00 Ostrava  
Zastoupení: doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

**Poskytnuté podkladové materiály:**

1. Protipovodňová ochrana obce Lužec nad Vltavou – PD/DSP (HG Partner – Ing. Jandová 6/2020)
2. Protipovodňová ochrana obce Lužec nad Vltavou – IG a HG průzkum (Valbek s.r.o. 9/2020)

**Použitá literatura a normy:**

- [1] Istomina, V.S., 1957. Filtration Stability of Soils. Gostroizdat, Moscow, Leningrad (in Russian).
- [2] Frank et al. 2004. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules. Thomas Telford.
- [3] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

## 2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O OBJEKTU

Protipovodňová opatření se skládají ze spodní stavby a nadzemní části. V návrhu PPO jsou v předmětné lokalitě použity 3 typy konstrukcí: zemní hráz (příp. navýšení stávající), železobetonová zeď a mobilní hrazení. Spodní stavba je navržena stejná jak pro ŽB zeď, tak i pro mobilní hrazení a vychází z předběžného IG a HG průzkumu.

Vzhledem ke složitosti území je obtížné najít rovnováhu mezi utěsněním podloží při povodni a zároveň zachováním přirozených odtokových poměrů podzemní vody do řeky Vltavy při normálním stavu tak, aby nedocházelo k zamokření pozemků vlivem výstavby PPO.

### Zemní hráz

V extravilánu a v místech, kde je dostatek prostoru, je navržena homogenní sypaná hráz se šířkou v koruně 3,0 m. Koruna bude opevněna a uzpůsobena k pojezdu z důvodů údržby hráze. Sklon svahů je 1:2,5. Výška hráze bude 1,0 až 3,4 m, navýšení stávajících hrází bude o 1,0 až 2,45 m. Podle výsledků předběžného průzkumu je možné založit těleso hráze bez nutnosti realizace podzemní těsnicí clony. Předpokládá se založení hráze do hloubky 1,0 m. Tvar základové spáry je zobrazen na vzorových řezech. V patě vzdušního svahu je umístěn patní drén, který odvádí průsaky podloží a samotným tělesem hráze. Drén je tvořen celoperforovaným drenážním potrubím DN 100 s obsypem štěrku fr. 32/63. Ze strany podloží je přechod mezi drénem a stávající zeminou řešen pomocí netkané filtrační geotextilie, ze strany hráze pak přechodovým filtrem – štěrkopísek frakce 0/8, tl. min 200 mm.

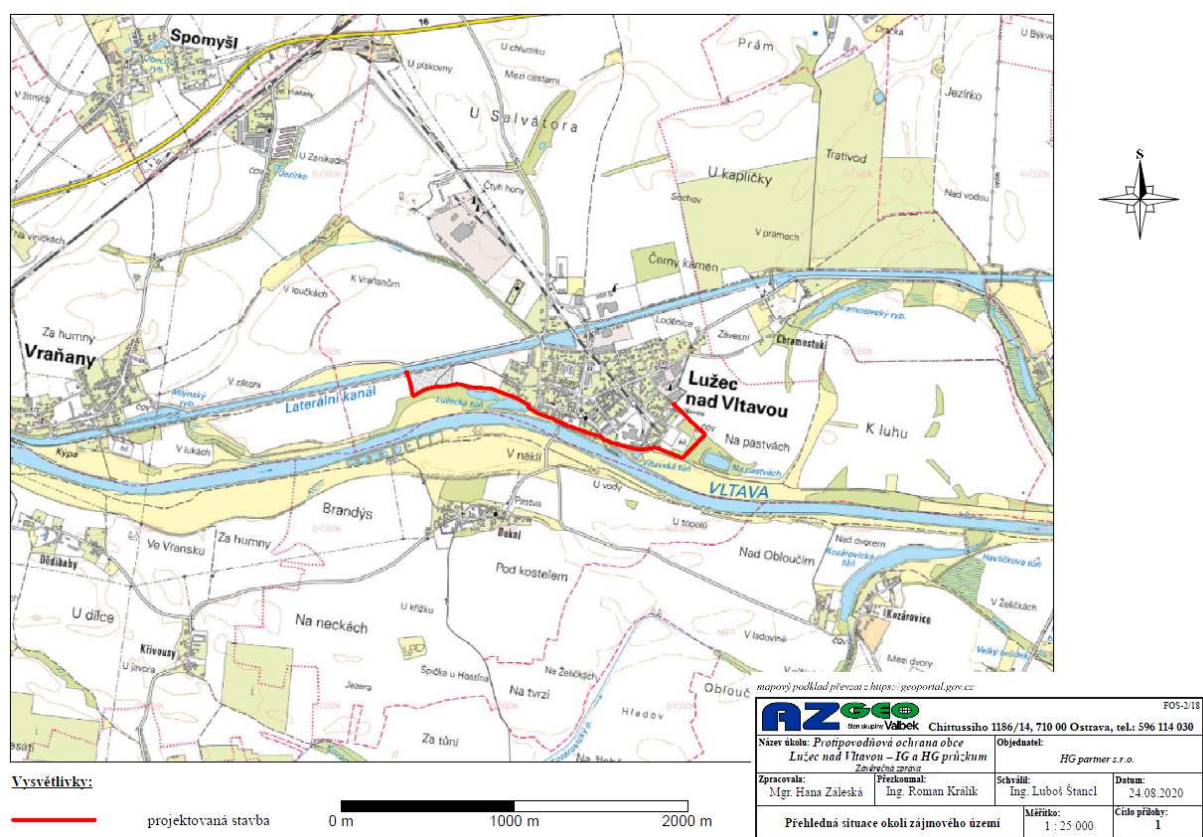
Koruna hráze bude zpevněna mlatovým povrchem tl. 0,3 m, návodní svah bude zpevněn georohoží a následně ohumusován v tl. 0,15 m a oset travním semenem. Vzdušný svah bude ohumusován v tl. 0,15 m a oset travním semenem. K odvedení vod z chráněného území za hrází jsou navrženy propustky s uzávěry (hradítka). Propustky jsou situovány do nejnižšího místa za hrází.

### ŽB zeď

V intravilánu podél komunikací a v blízkosti budov je navržena železobetonová zeď tloušťky 0,3 m a výšky 0 až 3,25 m. Povrch zdi může být upraven za použití elastických polyuretanových matric. ŽB zeď výšky 0 až 2,75 m je navržena také v úseku SO 1.01, kde bude z důvodů lepšího začlenění do krajiny z obou stran přisypána zeminou do výšky cca 0,45 m pod korunou zdi. Svah bude upraven do sklonu 1:2,2 až 2,5 a ohumusován a oset vhodným travním semenem. Podobná úprava je navržena i v úseku SO 1.03, kde bude zeď přisypána ze vzdušné strany, a to do sklonu 1:2,0 až 2,5 a taktéž bude svah ohumusován a oset.

### 3 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území se nachází ve Středočeském kraji, v okrese Mělník, v obci Lužec nad Vltavou (535028). Konkrétně jde o katastrální území Lužec nad Vltavou (k.ú. 689297) a Chramostek (č. k.ú. 689289). Lokalita se nachází na zastavěném území obce a v blízkém okolí. Terén v okolí lokality je tvořený rozsáhlou rovinou - říční nivou s pouze mírným převýšením a se zanedbatelným sklonem terénu souběžně s tokem Vltavy, tzn. přibližně k východu. Nadmořská výška se nachází v úrovni cca 160 - 165 m. n. m., byla však ovlivněna zástavbou a hospodářstvím. Zájmové územní je vymezeno na obrázku č. 1.



Obrázek č. 1 Přehledná situace okolí zájmového území (M 1:25 000) (AZ Geo)



## **4 ZÁVĚRY Z GEOLOGICKÉHO A HYDROGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU PROVEDENÉHO SPOLEČNOSTÍ AZ-GEO**

V této kapitole budou prezentovány závěry důležité pro posouzení filtrační stability navržených proti povodňových hrází vyplývajících z IG průzkumu provedeného společností AZ Geo v srpnu 2020.

### **Geomorfologické poměry**

Dle regionální geomorfologické rajonizace reliéfu ČR (Demek ed., 1987) náleží zájmová lokalita do provincie České Vysočiny, subprovincie České tabule, oblasti Středočeské tabule, celku Středočeské tabule, podcelku Mělnická kotlina a okrsku Lužecká rovina (dle jiných zdrojů i Lužecká kotlina). Území se nachází ve střední části Lužecké Kotliny, která je tvořena denudační sníženinou o ploše přibližně 55 km<sup>2</sup>. Podloží je tvořeno většinou vápnitými jíly, jílovci a prachovci. Mladší příkrov je pak tvořen čtvrtohorními fluvialními sedimenty, nanesenými akumulačními procesy toků Vltavy a Labe. Nejsvrchnější půdní horizont je pak tvořen sprašovými hlínami převážně eolického původu. Obecně je tedy oblast fluvialněeolickou říční rovinou, vytvořenou akumulací říčních sedimentů v zarovnané části středočeské tabule.

Podle hydrologického členění ČR náleží zájmové území do povodí IV. řádu toku Vltavy (číslo hydrologického pořadí 1-12-02-0950-0-00 a 1-12-02-0970-0-00) a toku Vraňansko-hořínského plavebního kanálu (číslo hydrologického pořadí 1-12-03-0020-0-00). Všechny zmíněné dílčí povodí jsou součástí nadřazeného povodí Labe.

### **Geologické poměry**

Z regionálně-geologického hlediska náleží zájmové území do tepelsko-barrandienské (Středočeské) oblasti Českého masivu. Je budována slabě až silně metamorfními horninami proterozoického stáří, jež byly zvrásněny kadomským vrásněním. Následně byly částečně překryty varisky vrásněným paleozoikem, kontinentálním permokarbonem a mořskou svrchní křídou. Geologickou stavbu horninového prostředí zájmového území můžeme rozdělit na předkvartérní podloží a kvartérní sedimentární pokryv.

Předkvartérní podloží je v širším okolí zájmového území budováno horninami druhohorního stáří (svrchní křída – střední až svrchní turon). Jedná se o marinní sedimenty české křídové pánve jizerského souvrství v labském, oháreckém, orlicko-žďárském a lužickém vývoji, zastoupené zde slínovci s polohami či konkrerci vápence, popřípadě rytmy či cykly slínovec- vápenec (jílovito-vápnité prachovce v lužickém vývoji). Svrchní vrstvy skalního podloží jsou často silně alterovány.

Kvartérní sedimenty přímo nasedají na horninové podloží a jsou v zájmovém území a v jeho nejbližším okolí zastoupeny zeminami fluvialní a v jejich nadloží místy i eolické geneze. Jedná se o převážně fluvialní štěrkovité a štěrkopísčité, silně zvodněné zeminy holocenního stáří, překryté nesouvislou vrstvou jemnozrnných jílovitých a jílovitopísčitých zemin. V jejich nadloží se nachází převážně eolické sedimenty na lokalitě zastoupené sprašemi a sprašovými hlínami také holocenního stáří, v mocnostech do 2 m. V prostoru obce jsou kvartérní zeminy často překryty polohami antropogenních navážek o proměnlivé mocnosti a nehomogenním složení. Celková mocnost kvartérního pokryvu na lokalitě činí cca 7 – 12 m.

### **Hydrogeologické poměry**

Zájmová oblast je z aspektu hydrogeologického rajónování ČR (Olmer a kol., 2002; hydroekologický informační systém VÚV T.G.M.) řazena do skupiny rajónů svrchní vrstvy 11 Kvartérní sedimenty Labe a jeho přítoků, a subrajónu 1172 Kvartér Labe po Vltavu s plochou subrajónu 293,805 km<sup>2</sup> a do skupiny rajónů základní vrstvy 45 Křída Ohře a Středního Labe po Litoměřice, a subrajónu 4530 Roudnická křída s plochou subrajónu 405,81 km<sup>2</sup>. Předpokládaný směr proudění podzemní vody je v generelu východním směrem.

### **Průzkumné práce a jejich výsledky**

Objednatelem posudku bylo v zájmové oblasti realizováno celkem 14 průzkumných vrtů, umístěných v k.ú. Lužec nad Vltavou. Pro zpracování IG a HG průzkumu byly z části využity archivní vrty nalezené v databázi ČGS – Geofond. Vrty určené pro hydrodynamické zkoušky (8 ks) byly dočasně vystrojeny PVC pažnicí o průměru 160 mm, která je v celé úrovni zastížená zvodnělou částí horninového prostředí opatřena filtrem. Během vrtných prací byla prováděna geologická dokumentace vrtného jádra a odběry vzorků zemin a podzemní vody. Z vrtného jádra bylo pro stanovení fyzikálně mechanických vlastností v průběhu vrtání odebráno celkem 19 ks porušených a 4 ks neporušených vzorků zemin. Na všech vzorcích zemin byly provedeny základní indexové zkoušky a na 3 ks ze 4 ks odebraných neporušených vzorků zemin se podařilo provést zkoušky propustnosti.

Obecný geologický profil zájmové lokality je podrobně rozpracován v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1 Schematický vrstevní sled s uvedením geotechnických typů (AZ Geo)

Stratigrafie	Litologický typ	Zatřídění dle ČSN EN ISO 14688-2	Zatřídění dle ČSN 73 6133	GT typ	Ověřená mocnost jednotlivých vrstev od - do [m]
Kvartér	Humózní hlíny	Or	O	-	0,1 – 1,2
	Antropogenní navážky	Mg	Y	<b>GT 1</b>	0,2 – 6,0
	Fluviální jíly a hlíny	siCl, saclSi, Cl, grsiCl, sasiCl	F2 CG, F4 CS, F6 CI, F7 MH	<b>GT 2</b>	0,3 – 5,0
	Fluviální štěrky	saGr, Gr, saclGr	G1 GW-Cb, G2 GP, G2 GP-Cb, G3 G-F, G3 G-F-Cb, G4 GM/G5 GC	<b>GT 3a</b>	0,5 – 11,8
	Fluviální písky	clSa, grSa, Sa,	S2 SP, S3 S-F, S4 SM,	<b>GT 3b</b>	0,3 – 11,1
Křída	Zvětralé horniny (Slinovce)	siCl, Cl, saCl, grCl, sasiCl,	R6/F6 CI, F4 CS, F2 CG, F8 CH, R5-R4	<b>GT 4</b>	Báze neověřena

#### GT 1 - Antropogenní navážky

Antropogenní navážky označené jako GT 1 byly ověřeny pouze 7 nově realizovanými vrty, a to pouze v místech předchozí stavební činnosti, kde tvoří nejsvrchnější polohy zemin, často překryté tenkou vrstvou humózních hlín. V těchto částech zájmového území byly antropogenní navážky v minulosti použity zpravidla k terénním úpravám. Celkově se jejich průzkumnými pracemi ověřená mocnost pohybuje mezi 0,2 - 6,0 m, průměrně dosahují 1,89 m, v nově realizovaných vrtech dosahují mocnosti do 3,8 m. Navážky jsou tvořeny převážně místními jílovitými (deluviálními, eluviálními) plastickými zeminami tuhé až měkké konzistence, promísenými úlomky hornin stavební sutě a cihel. V místech zpevněných ploch a jejich bezprostřední blízkosti jsou tvořeny asfaltem a makadamem.

Dle ČSN 73 6133 klasifikujeme navážky jako sypaný zemní materiál (Y) převážně charakteru hlíny nízké plastické (F5 ML), hlíny štěrkovité (F1 MG) a méně i štěrku s příměsí jemnozrnné zeminy (G3 G-F), popřípadě štěrku hlinitého (G4 GM).

#### GT 2 – Fluviální jíly a hlíny

Kvartérní pokryv je svrchu v podloží humózní vrstvy tvořen převážně fluviálními jíly a hlínami, označenými jako geotechnický typ GT 2. Tyto fluviální sedimenty se nevyskytují souvisle v celé ploše zájmového území. Jsou zastoupeny v polovině provedených průzkumných vrtů jílovitými, hlinitými a jílovito-písčitými sedimenty a byly ověřeny v mocnostech 0,3 – 5,0 m, průměrně 2,07 m. Zeminy označené jako GT 2 jsou středně až vysoce plastické, jsou zastoupeny jílovito-prachovitými, mírně písčitými sedimenty a více prachovitými zeminami, ojediněle s příměsí

polozaoblených štěrkových valounů dosahujících velikosti většinou do 3 cm v množství do 15 %. Konzistence jílovitějších vrstev těchto zemin je převážně pevná a místy tuhá. Tyto zeminy nabývají odstínů od hnědé přes hnědobéžovou, hnědorezavou, žlutobéžovou. Na základě makroskopického popisu a laboratorních analýz zařídíme zeminy dle ISO 14 688-2 jako jíl prachovitý (siCl), prach jílovito-písčitý (saciSi), jíl (Cl), jíl prachovitoštěrkovitý (grsiCl), jíl písčito-prachovitý (sasiCl). Dle ČSN 73 6133 tyto zeminy zařídíme jako jíl se střední plasticitou (F6 Cl), méně i jako jíl písčitý (F4 CS), výjimečně jako hlínu s vysokou plasticitou (F7 MH) a jíl štěrkovitý (F2 CG). V následující tabulce č.2 jsou uvedeny laboratorně stanovené i odvozené (\*) fyzikálně – mechanické charakteristiky.

*Tabulka č. 2 Geotechnické charakteristiky zemin GT 2 (AZ Geo)*

<i>Parametr</i>	<i>veličina</i>	<i>jednotka</i>	<i>rozsah</i>	<i>hodnota</i>
Zařídění	<b>F2 CG, F4 CS, F6 Cl, F7 MH / siCl, sasiCl, saciSi, grsiCl, Cl</b>			
Přirozená vlhkost	$W_n$	[%]	6.7 – 29.3	<b>18.33</b>
Vlhkost na mezi tekutosti	$W_L$	[%]	26.7 – 59.0	<b>39.79</b>
Vlhkost na mezi plasticity	$W_p$	[%]	17.1 – 31.0	<b>21.79</b>
Index plasticity	$I_p$	[%]	9.6 – 28.0	<b>18.02</b>
Stupeň konzistence	$I_c$	[1]	0.48 – 2.43	<b>1.19</b>
Zdánlivá hustota zeminy	$\rho_s$	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	2.655 – 2.729	<b>2.690</b>
Pórovitost	$n$	[%]	37.84 – 51.70	<b>44.19</b>
Stupeň nasycení	$S_r$	[%]	35.18 – 94.02	<b>62.62</b>
Filtrační součinitel dle Jákého	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	$2.4 \times 10^{-9} - 2.06 \times 10^{-7}$	<b><math>4.29 \times 10^{-8}</math></b>
Koeficient filtrace z propustoměru	$k_f$	[m.s <sup>-1</sup> ]	-	<b><math>1.5 \times 10^{-10}</math></b>

<i>Parametr</i>	<i>veličina</i>	<i>jednotka</i>	<i>rozsah</i>	<i>hodnota</i>
Efektivní soudržnost	$c_{ef}$	[kPa]	5.4 – 9.6	<b>7.5</b>
Efektivní úhel vnitřního tření	$\varphi_{ef}$	[°]	30 – 30.5	<b>30.25</b>
Efektivní soudržnost*)	$c_{ef}$	[kPa]	8 – 22	<b>12</b>
Efektivní úhel vnitřního tření*)	$\varphi_{ef}$	[°]	15 – 30	<b>24</b>
Totální soudržnost*)	$c_u$	[kPa]	60 – 80	<b>80</b>
Totální úhel vnitřního tření*)	$\varphi_u$	[°]	0 – 10	<b>0</b>
Deformační modul*)	$E_{def}$	[MPa]	5 – 12	<b>6</b>
Objemová tíha*)	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	18.5 – 21.0	<b>21</b>
Poissonovo číslo*)	$\nu$	[1]	0.35 – 0.40	<b>0.40</b>
Součinitel*)	$\beta$	[1]	0.47 – 0.62	<b>0.47</b>

*Vysvětlivky:* \*)..... odvozená hodnota

### **GT 3a - Fluviální štěrky**

Majoritně zastoupený horizont v zájmové oblasti je tvořen fluviálními štěrky označenými jako geotechnický typ GT 3a. Tento geotechnický typ byl zachycen většinou realizovaných průzkumných prací a je plošně rozšířen téměř v celém zájmovém území. Ověřená mocnost zemin GT 3a v rámci všech provedených průzkumných prací v celém zájmovém území činí cca 0,5 -

11,8 m, průměrně 6,93 m. Štěrky na lokalitě mají charakter částečně zvodněných, převážně středně ulehlých místy až ulehlých zemin s písčitou a písčito-hlinitou výplní, světle hnědé, šedohnědé, hnědé a narezavělé barvy. Tyto štěrkové vrstvy střednězrného až hrubozrného polymiktního charakteru jsou tvořeny zaoblenými, převážně křemennými valouny frakce 1-10 cm, pouze místy maximálně 20 – 30 cm (zpravidla reprezentované kameny u báze vrstvy) s výplní tvořenou středně až hrubozrnnými písky a s lokálním zahliněním.

Na základě makroskopického popisu a laboratorních rozborů dle ISO 14688-2 klasifikujeme zeminy vrstvy GT 3a jako písčitý štěrk (saGr), štěrk (Gr) a písčito-jílovitý štěrk (sacGr). Dle ČSN 73 6133 zeminu klasifikujeme především jako štěrk s příměsí jemnozrné zeminy a kamenů (G3 G-F-Cb), dále jako štěrk špatně zrněný s příměsí kamenů (G2 GP-Cb), méně i jako štěrk dobře zrněný s příměsí kamenů (G1 GW-Cb) a zeminu na rozhraní štěrku hlinitého a štěrku jílovitého (G4 GM/G5 GC).

Tabulka č. 3 Geotechnické charakteristiky zemin GT 3a (AZ Geo)

Parametr	veličina	jednotka	rozsah	hodnota
Zatřídění	<b>G1 GW, G2 GP, G3 G-F, G4 GM, G5 GC / Gr, saGr, sacGr</b>			
Přirozená vlhkost	W <sub>n</sub>	[%]	1.00 – 10.30	<b>5.69</b>
Zdánlivá hustota zeminy	ρ <sub>s</sub>	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	2.576 – 2.703	<b>2.642</b>
Filtrační součinitel dle Jákýho	k	[m.s <sup>-1</sup> ]	2,80×10 <sup>-6</sup> – 4,08×10 <sup>-2</sup>	<b>7,30×10<sup>-3</sup></b>
Efektivní soudržnost <sup>*)</sup>	c <sub>ef</sub>	[kPa]	0 – 8	<b>0</b>
Efektivní úhel vnitřního tření <sup>*)</sup>	φ <sub>ef</sub>	[°]	30 – 44	<b>33</b>
Deformační modul <sup>*)</sup>	E <sub>def</sub>	[MPa]	60 – 390	<b>90</b>
Objemová tíha <sup>*)</sup>	γ	[kN.m <sup>-3</sup> ]	19 – 21	<b>19</b>
Poissonovo číslo <sup>*)</sup>	ν	[1]	0,20 – 0,30	<b>0,25</b>
Součinitel <sup>*)</sup>	β	[1]	0,74 – 0,90	<b>0,83</b>

Vysvětlivky: <sup>\*)</sup>..... odvozená hodnota

### GT 3b - Fluviální písky

V převažující části celého zájmového území byly průzkumnými pracemi ověřeny také vrstvy fluviálních písků, které jsou označeny jako geotechnický typ GT 3b a nepravidelně přerušují v celé ploše rozšířené mocnější vrstvy fluviálních štěrků kategorie GT 3a. Ověřená mocnost zemin GT 3b v rámci všech provedených průzkumných prací v celém zájmovém území činí cca 0,3 - 11,1 m, průměrně 3,87 m. Vrstvy fluviálních písků kategorie GT 3b mají na lokalitě charakter zvlhlých a lokálně zvodnělých, převážně středně ulehlých místy až ulehlých, polymiktních zemin, šedé, hnědé a hnědošedé barvy. Tyto fluviální písky jsou střednězrné až hrubozrné s místním výskytem polymiktních „štěrčků“ tvořených zaoblenými, převážně křemennými valouny frakce 4 - 7 cm se zastoupením cca 10 % a jsou lokálně zahliněné.

Na základě makroskopického popisu a laboratorních rozborů dle ISO 14688-2 klasifikujeme zeminy vrstvy GT 3b jako jílovitý písek (clSa), štěrkovitý písek (grSa) a písek (Sa). Dle ČSN 73 6133 zeminu klasifikujeme jako písek s příměsí jemnozrnné zeminy (S3 S-F), méně jako písek špatně zrněný (S2 SP) a výjimečně i jako písek hlinitý (S4 SM).

Tabulka č. 4 Geotechnické charakteristiky zemin GT 3b (AZ Geo)

Parametr	veličina	jednotka	rozsah	hodnota
Zatřídění	S2 SP, S3 S-F, S4 SM / Sa, grSa, clSa			
Přirozená vlhkost	$W_n$	[%]	2.7 – 24.0	<b>10.93</b>
Vlhkost na mezi tekutosti	$W_L$	[%]	-	<b>20.80</b>
Vlhkost na mezi plasticity	$W_p$	[%]	-	<b>17.60</b>
Index plasticity	$I_p$	[%]	-	<b>3.20</b>
Zdánlivá hustota zeminy	$\rho_s$	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	2.497 – 2.675	<b>2.591</b>
Pórovitost	$n$	[%]	35.09 – 41.10	<b>37.84</b>
Stupeň nasycení	$S_r$	[%]	35.18 – 94.02	<b>41.04</b>

Parametr	veličina	jednotka	rozsah	hodnota
Filtrační součinitel dle Jákyho	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	$9.0 \times 10^{-7} - 1.50 \times 10^{-3}$	<b><math>2.87 \times 10^{-4}</math></b>
Efektivní soudržnost <sup>*)</sup>	$c_{ef}$	[kPa]	0 - 10	<b>0</b>
Efektivní úhel vnitřního tření <sup>*)</sup>	$\varphi_{ef}$	[°]	28 - 35	<b>29</b>
Deformační modul <sup>*)</sup>	$E_{def}$	[MPa]	5 - 35	<b>15</b>
Objemová tíha <sup>*)</sup>	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	17.5 – 18.5	<b>17.5</b>
Poissonovo číslo <sup>*)</sup>	$\nu$	[1]	0.28 – 0.30	<b>0.30</b>
Součinitel <sup>*)</sup>	$\beta$	[1]	0.74 – 0.78	<b>0.74</b>

Vysvětlivky: <sup>\*)</sup>..... odvozená hodnota

#### GT 4 - Zvětralé horniny (Slínovce)

Vrstvy zvětralých sedimentárních hornin – slínovců, ověřené vrtnými pracemi na zájmovém území, jsou označeny jako geotechnický typ GT 4. Celková mocnost těchto horninových vrstev, které vlivem procesu alterace nabývají svrchu převážně charakteru zemin (v případě jejich silné alterace svrchní části na kontaktu s kvartérními zeminami), resp. mají stále charakter hornin (v případě jejich mírného zvětrání a navětrání hlouběji pod kontaktem s kvartérními zeminami), nebyla průzkumnými pracemi v rámci celého zájmového území ověřena. Tato vrstva byla podle požadavků objednatele pouze navrtána. Jedná se o různým stupněm alterace postižené vrstvy hornin (vápnitých jílovců-slínovců), kdy polovina až větší část horninového materiálu je zcela zvětralá R6/F a má charakter pevných až tvrdých jílovitých zemin s malým množstvím měkkých úlomků původní horniny. Některé vrstvy, které byly postiženy nižším stupněm alterace jsou tvořeny většinou již horninovým materiálem se sníženou pevností a malým množstvím zcela zvětralého materiálu charakteru jílu třídy R5 - R4. Převážně tak mají tyto zvětralé horninové vrstvy na základě laboratorních analýz svrchu charakter jílovitých prachovitých zemin a místy charakteru

štěrkovito-jílovitých zemin, šedé až modrošedé barvy. U horninových úlomků, respektive hlouběji uložených mírně zvětralých vrstev lze na základě makropetrografie předpokládat, že mají značně sníženou pevnost v prostém tlaku, která se bude pohybovat v rozmezí hodnot 0,5 - 5 MPa. Slabě zvětralé a navětralé slínovce mají zpravidla tenkou vrstevnatost se střípkovitou rozpadavostí a s výrazným zastoupením slídnaté složky.

Na základě laboratorních analýz a makroskopického popisu tyto silně alterované horninové vrstvy kategorie GT 4, dle ISO 14688-2 klasifikujeme jako horniny R6/F, které vlivem vysokého stupně alterace nabývají charakteru zemin, tj. prachovitých jíílů (siCl), jíílů (Cl), štěrkovitých jíílů (grCl) a písčito-pracovitých jíílů (sasiCl). Dle ČSN 73 6133 je klasifikujeme jako horniny třídy R6, zcela zvětralé na jíily se střední plasticitou (F6 Cl), jíily písčité (F4 CS), štěrkovité jíily (F2 CG) a jíily s vysokou plasticitou (F8 CH). Hlouběji pod zónou silné alterace pak byly průzkumnými pracemi ověřeny vrstvy mírně zvětralých a navětralých slínovců, které dle ČSN 73 6133 je klasifikujeme jako horniny tříd R5 - R4.

Tabulka č. 5 Geotechnické charakteristiky zemin GT 4 (AZ Geo)

Parametr	veličina	jednotka	rozsah	hodnota
Zatřídění	<b>R6/ F2 CG, F4 CS, F6 Cl, F8 CH / siCl, sasiCl, saCl, clGr, Cl</b>			
Přírozená vlhkost	$W_n$	[%]	8,4 – 19,6	<b>12,99</b>
Vlhkost na mezi tekutosti	$W_L$	[%]	28,7 – 57,1	<b>44,26</b>
Vlhkost na mezi plasticity	$W_p$	[%]	14,6 – 27,4	<b>21,37</b>
Index plasticity	$I_p$	[%]	14,1 – 30,4	<b>22,88</b>
Stupeň konzistence	$I_c$	[1]	1,04 – 1,52	<b>1,32</b>
Zdánlivá hustota zeminy	$\rho_s$	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	2,606 – 2,721	<b>2,673</b>
Objemová hmotnost suchá	$\rho_d$	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	-	<b>1,833</b>
Objemová hmotnost přírozená	$\rho_n$	[Mg.m <sup>-3</sup> ]	-	<b>2,024</b>
Filtrační součinitel dle Jákyho	$k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	$5,5 \times 10^{-10} - 5,3 \times 10^{-8}$	<b><math>1,72 \times 10^{-8}</math></b>
Koeficient filtrace z propustoměru	$k_f$	[m.s <sup>-1</sup> ]	$1,5 \times 10^{-10} - 3,2 \times 10^{-8}$	<b><math>6,05 \times 10^{-9}</math></b>
Efektivní soudržnost <sup>*)</sup>	$c_{ef}$	[kPa]	10 – 44	<b>14</b>
Efektivní úhel vnitřního tření <sup>*)</sup>	$\varphi_{ef}$	[°]	13 – 30	<b>21</b>
Totální soudržnost <sup>*)</sup>	$c_u$	[kPa]	60 – 90	<b>80</b>
Totální úhel vnitřního tření <sup>*)</sup>	$\varphi_u$	[°]	0 – 15	<b>0</b>
Deformační modul <sup>*)</sup>	$E_{def}$	[MPa]	4 - 25	<b>8</b>
Objemová tíha <sup>*)</sup>	$\gamma$	[kN.m <sup>-3</sup> ]	18,5 – 21,0	<b>20</b>
Poissonovo číslo <sup>*)</sup>	$\nu$	[1]	0,35 – 0,42	<b>0,40</b>
Součinitel <sup>*)</sup>	$\beta$	[1]	0,37 – 0,62	<b>0,47</b>

Vysvětlivky: \*)..... odvozená hodnota

## Hydrogeologické poměry

Mělký kvartérní hydrogeologický kolektor byl na zájmové lokalitě zastižen všemi nově realizovanými vrty. Podzemní voda je na zájmovém území vázána na propustné vrstvy štěrků GT

3a a písků GT 3b s průlinovou propustností. Tato zvodeň vyvinutá na lokalitě má převážně volnou až mírně napjatou hladinu podzemní vody. V několika případech bylo jedním vrtem naraženo více samostatných zvodní v různých hloubkových úrovních pod terénem. Propustnost vrstev soudržných zemin GT 2 se pohybuje na základě laboratorních rozborů a výpočtů v rozmezí několika řádů  $\times 10^{-7}$  -  $\times 10^{-10}$  m.s<sup>-1</sup> (dle Jetelovy klasifikace, 1973, velmi slabá až nepatrná propustnost) v závislosti na charakteru zemin. Tyto zeminy na lokalitě vytváří svrchní izolátor až poloizolátor mělké kvartérní zvodně, který zpomaluje odtok srážkových vod do hlubších vrstev horninového prostředí. Vrstvy štěrkovitých zemin GT 3a, ve kterých je na lokalitě vyvinuta hlavní mělká kvartérní zvodeň vytváří svrchní kolektor, jehož propustnost se pohybuje na základě laboratorních rozborů vzorků zemin a provedených hydrodynamických zkoušek v rozmezí řádů  $\times 10^{-2}$  -  $\times 10^{-4}$  m.s<sup>-1</sup> (dle Jetelovy klasifikace, 1973, silná až dosti silná propustnost), více zahliněné polohy potom až v řádech  $\times 10^{-5}$  -  $\times 10^{-6}$  (dle Jetelovy klasifikace, 1973, mírná až dosti slabá propustnost). Také polohy fluvialních písků GT 3b tvoří svrchní kolektor mělké kvartérní zvodně. Jeho propustnost se pohybuje na základě laboratorních rozborů vzorků písčitých zemin a provedených hydrodynamických zkoušek převážně v rozmezí řádů  $\times 10^{-4}$  -  $\times 10^{-6}$  m.s<sup>-1</sup> (dle Jetelovy klasifikace, 1973, dosti silná až dosti slabá propustnost), více zahliněné polohy potom až v řádu  $\times 10^{-7}$  (dle Jetelovy klasifikace, 1973, slabá propustnost). Hluběji uložené vrstvy zvětralých hornin GT 4 tvoří bazální izolátor mělké kvartérní zvodně, jehož hodnota se pohybuje na základě laboratorních rozborů v rozmezí řádů cca  $\times 10^{-8}$  -  $\times 10^{-10}$  m.s<sup>-1</sup> (dle Jetelovy klasifikace, 1973, nepatrná propustnost).



## 5 STABILITNÍ A FILTRAČNÍ POSOUZENÍ PROTIPOVODŇOVÝCH HRÁZÍ

Posouzení filtrační a mechanické stability hráze Lužec bylo provedeno ve třech zadavatelem specifikovaných řezech s využitím software Plaxis 2D. Tento specializovaný geotechnický software firmy PLAXIS (Holandsko) pracuje na základě numerické metody konečných prvků a umožňuje modelovat širokou škálu geotechnických problémů, včetně sdružených hydro-mechanických úloh zahrnující i ochranné hráze. Byl využit pružně-plastický Mohr-Coulombův konstitutivní model a 15ti uzlové konečné prvky.

Posouzení bylo provedeno ve třech specifikovaných řezech – v řezu sypanou homogenní hrází (profil 5) a ve dvou řezech procházejících železobetonovými hrázemi (profil 4 a profil 22):

- km 0,3000 (příčný profil 4) SO 01.3
- km 0,450 00 (příčný profil 5) SO 01.3
- km 2,100 00 (příčný profil 22) SO 4.06

Celková situace stavby s lokalizovanými výše uvedenými analyzovanými profily je uvedena na obrázku č. 2.

Numerické výpočetní modely vychází z objednatelem dodaných vstupních geometrických charakteristik sypané hráze a železobetonových konstrukcí, z lokalizace a tvaru patního drénu sypané hráze a z materiálových a filtračních charakteristik podloží v jednotlivých řezech. Jako základní podklad pro tvorbu modelu byl přijat výkresový podklad ve formátu dxf, kde byl sestaven předpokládaný geologický řez (AZ Geo). Výpočtový geotechnický model respektuje geologická rozhraní jednotlivých vrstev a členitou morfologii terénu. Výchozí výška hladiny podzemní vody byla převzata dle úrovně zastižené při IG průzkumu.

Byla modelována sdružená hydro-mechanická úloha s aplikací standardních okrajových podmínek pro mechanickou stabilitu-na svislých a na spodní hranici jsou omezeny posuny v normálovém směru, horní povrch je z hlediska deformačního volný.

Z hlediska proudění byla na obou svislých hranicích numerického modelu uvažována Dirichletova podmínka. Na svislé hranici na vzdušní straně byla zadána hydraulická hladina odpovídající původní hladině podzemní vody. Na svislé hranici na návodní straně pak byla zadána hydraulická hladina odpovídající výšce povodňové hladiny dle dodaných podkladů. Na části horní hranice modelu (terén) na návodní straně hrází byla zadána hydraulická výška odpovídající výšce povodňové hladiny. Spodní vodorovná hranice modelu byla uvažována jako nepropustná







z důvodu nízké propustnosti zemin zastižených dle průzkumu v oblasti spodní hranice modelu (koeficient propustnosti zvětralého slínovce  $k=1E^{-8}m/s$ ) – byla tedy zadána Neumannova podmínka.

Materiálové charakteristiky zemin a betonu vstupujících do modelu jsou uvedeny v následující tabulce č. 6 (charakteristické hodnoty).

Modelový výpočet byl ve všech třech řezech proveden vždy v následujících výpočetních fázích:

1. fáze pro primární napěťový stav odpovídající původnímu terénu před samotnou výstavbou hráze s původní hladinou podzemní vody na úrovni štěrkové vrstvy v podloží
2. fáze odpovídající dokončení výstavby hráze (jak sypané, tak i železobetonové s pilotovým založením) s původní hladinou podzemní vody zastiženou při průzkumu
3. fáze odpovídající výšce hladiny vody na úrovni  $Q_{100}+Q_{50Labe}$  (jak pro sypanou hráz, tak i pro železobetonové konstrukce v profilech 4 a 22)

*Tabulka 6 Materiálové charakteristiky zemin a betonu vstupujících do numerického modelu*

Identifikace		GT1 Navážka	GT 2 Fluviální jíly	GT3a Fluviální štěrky	GT4 Zvětralé horniny	Násyp hráze P.5	Beton
Barevné značení							
Objemová tíha	kN/m <sup>3</sup>	19	21	19	21	19	24
Modul pružnosti E	kN/m <sup>2</sup>	5000	6000	90.00E3	8000	70.00E3	20.00E6
Poissonovo číslo $\nu$ (nu)		0.4	0.4	0.25	0.4	0.3	0.2
Soudržnost $c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	5	7.50	1.0	14	1.6*	-
Úhel vnitřního tření $\phi$ (phi)	°	23	30.25	33	21	24*	-
Koeficient filtrace k	m/day	0.864E-3	0.864E-3	86.4	0.864E-3	0.86	-

\* ...návrhová hodnota dle NP3

Při posouzení bylo postupováno dle požadavků ČSN EN 1997-1 (EC7). Byly hodnoceny následující mezní stavy:

- 1) Posouzení vnější stability (mezní stav GEO pro sypanou hráz)
- 2) Posouzení nadzvednutí nepropustných vrstev v nadloží (mezní stav UPL)
- 3) Posouzení hydraulického prolomení (mezní stav HYD)
- 4) Posouzení filtrační stability (náchylnosti k sufozi)

### **Posouzení vnější stability (mezní stav GEO)**

Posouzení bylo provedeno dle návrhového přístupu NP3, který je v České republice doporučován pro posuzování vnější stability svahových těles. Byly tedy redukovány materiálové charakteristiky dle dílčích součinitelů dle ČSN EN 1997-1. Hodnota efektivní úhlu vnitřního tření byla redukována součinitelem  $\gamma_\phi = 1.25$  a soudržnost byla redukována součinitelem  $\gamma_c = 1.25$ .

Vyhodnocení stupně stability bylo provedeno metodou redukce pevnostních parametrů, která je standardní metodou pro kvantifikaci stupně stability. Principem této metody redukce pevnostních parametrů je provedení série výpočtů s redukovánými pevnostními charakteristikami redukčním součinitelem  $F$ , přičemž je v jednotlivých modelových výpočtech vyhodnocována konvergence numerického modelu (indikující stabilitu). Koeficient stability svahového tělesa je pak roven takovému redukčnímu součiniteli  $F$ , při kterém je ještě zaručena konvergence (tedy stabilita). Lokalizace kritické smykové plochy byla provedena na základě vyhodnocení maximálních smykových přetvoření (total deviatoric strain) a hodnoty  $M_{sf}$ .

### **Posouzení nadzvednutí nepropustných vrstev v nadloží (UPL)**

Posouzení vychází z podmínky, že k nadzvednutí málo propustného, resp. nepropustného izolátoru v nadloží dojde, pokud tlak vody na bázi izolátoru bude vyšší než jeho tíha. Dle ČSN EN 1997-1 [2] je posouzení provedeno dle vztahu:

$$u_{dst.d} \leq \sigma_{stb.d} \quad (1)$$

kde

$u_{dst. d}$  – návrhová hodnota destabilizujícího tlaku vody na bázi málo propustného izolátoru v nadloží

$\sigma_{stb.d}$  - návrhová hodnota celkové tíhy stropního málo propustného izolátoru

Posouzení vychází z výsledků vyhodnocených napěťových poměrů na rozhraní štěrků a málo propustných jílovitých zemin v podloží. Výpočet proudění a odpovídajících hodnot totálních napětí a pórových tlaků využívá průzkumem stanovené koeficienty filtrace v podložních zeminových vrstvách. Dle ČSN EN 1997-1 [2] je uvažována hodnota dílčího součinitele pro nepříznivé destabilizující zatížení  $\gamma_{G, dst}=1.0$  a hodnota dílčího součinitele pro příznivé stabilizující zatížení  $\gamma_{G, stb}=0.9$ .

### Posouzení hydraulického prolomení (HYD)

K hydraulickému prolomení dochází, pokud průsakové síly zredukují efektivní objemovou tíhu zeminy na nulovou hodnotu, dochází ke ztekucení zemin. Na rozdíl od sufoze se do pohybu nedostávají jen jemnozrnné částice, ale celý objem zeminy. Dle ČSN EN 1997-1 [2] je základním vztahem pro posouzení tohoto stavu podmínka:

$$S_{dst.d} \leq G'_{stb.d} \quad (2)$$

$$\gamma_{G, dst} \gamma_w i \leq \gamma_{G, stb} \gamma_{ef} \quad (3)$$

kde

$S_{dst.d}$  – návrhová hodnota destabilizující průsakové síly [kN]

$G'_{stb.d}$  – návrhová hodnota stabilizující efektivní vlastní tíhy [kN]

$\gamma_{G, dst}$  - dílčí součinitel pro nepříznivou destabilizující průsakovou sílu

$\gamma_{G, stb}$  - dílčí součinitel pro příznivé stabilizující zatížení

$i$  – hydraulický gradient působící na vzdušné straně konstrukce

$\gamma_{ef}$  - efektivní objemová tíha zeminy pod dnem konstrukce na vzdušné straně konstrukce

Dle ČSN EN 1997-1 je uvažována hodnota dílčího součinitele pro nepříznivé destabilizující zatížení  $\gamma_{G, dst}=1.35$  a hodnota dílčího součinitele pro příznivé stabilizující zatížení  $\gamma_{G, stb}=0.9$ .

### Posouzení filtrační stability (náchylnosti k sufozi)

Posouzení vychází z porovnání aktuálního gradientu  $i_{akt.}$  s gradientem kritickým  $i_{krit.}$ :

$$i_{akt.} \leq i_{krit.} \quad (4)$$

Hodnota kritického gradientu byla přijata dle Istominy (Istomina, 1957) v závislosti na čísle nestejnozrnatosti  $C_u$  následovně:

pro  $C_u$  menší než 10:  $i_{krit.} = 0.4$

pro  $C_u$  v intervalu 10 až 20:  $i_{krit.} = 0.2$

pro  $C_u$  větší než 20:  $i_{krit.} = 0.1$

Na základě kritického gradientu byla pak stanovena odpovídající kritická filtrační rychlost dle Darcyho vztahu. Tato kritická filtrační rychlost pak byla porovnána s aktuální filtrační rychlostí stanovenou modelem.

### 5.1 Vyhodnocení profilu č. 4 - železobetonová hráz založená na pilotách

Výstupy z modelu jsou dokladovány v příloze č. 1. Železobetonová hráz výšky 3.2 m se základovým pásem šířky 0.7 m a výškou 0.7 m je založena na převrtávaných pilotách Ø0.6 m délky 5.0 m. Schématický příčný řez je uveden na obr. 3. Numerický model profilu 4 a jeho detail je zobrazen v příloze 1.1 a 1.2. Zvedání ŽB konstrukce po nastoupaní hladiny vody na povodňovou úroveň dosahuje hodnoty cca 1 cm (Příloha 1.18), horizontální posun koruny stěny pak cca 3 cm (Příloha 1.20).

Další výsledky modelování použité pro následné posouzení jednotlivých mezních stavů jsou uvedeny v následujících přílohách č.1.3-1.20.

#### Posouzení nadzvednutí nepropustných vrstev v nadloží - mezní stav UPL – profil č. 4

Model indikuje při povodňové hladině proudění štěrkovými vrstvami v podloží. (Příloha 1.4 a 1.5). Modelově byl vyhodnocen tlak vody na rozhraní štěrku a jílu v nadloží (destabilizující zatížení) (Příloha 1.12) a hodnoty totálního svislého napětí na tomto rozhraní (stabilizující zatížení) (Příloha 1.13). Obě hodnoty byly v souladu s doporučení EC7 následně upraveny dílčími koeficienty  $\gamma_{G,dst}=1.0$  a  $\gamma_{G,stb}=0.9$  a porovnány (Příloha 1.14). Výsledky modelování dokumentují, že do vzdálenosti **cca 19 m od osy hráze překračují na rozhraní štěrku a jílu výpočtové hodnoty tlaku vody odpovídající výpočtové hodnoty totálních napětí. V tomto úseku není dle modelu splněna podmínka dle vztahu (1) pro nadzvednutí** málo propustných jílovitých vrstev v nadloží štěrku v dílčí oblasti na vzdušní straně hráze.

#### Posouzení hydraulického prolomení – mezní stav HYD – profil č. 4

Posouzení hydraulického prolomení v důsledku vzestupného proudění na vzdušní straně bylo provedeno na základě vztahu (3). Hloubka stěny včetně pilotového základu pod terénem je dle podkladů 6 m. Hladina vody na vzdušné straně hráze vystoupala dle modelového výpočtu na povrch vzdušné strany hráze. Na návodní straně se předpokládá výška hladiny na úrovni koruny hráze. Rozdíl hladin mezi návodní a vzdušnou stranou hráze je tedy cca 3 m. Odpovídající hydraulický gradient je tedy:  $i=3/(2*6)=0.25$ .

Návrhová hodnota destabilizující tíhy odpovídá  $\gamma_{G,dst} \cdot \gamma_w \cdot i = 1.35 \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.25 = 3,37 \text{ kN/m}^3$ , a návrhová hodnota tíhy zeminy pod vodou (stabilizující tíha)  $\gamma_{G,stb} \cdot \gamma_{ef} = 0.9 \cdot 9 \text{ kN/m}^3 = 8,1 \text{ kN/m}^3$ .

**Je tedy splněna podmínka, že destabilizující síla je nižší než stabilizující. Na základě vyhodnocených modelových výsledků k hydraulickému porušení nedojde.**

#### **Posouzení filtrační stability (náchylnosti k sufozi) – profil č. 4**

Posouzení filtrační stability bylo provedeno porovnáním aktuální a kritické rychlosti proudění ve vrstvě štěrků, v níž model indikoval pole proudění (Příloha 1.4). Maximální rychlost proudění dosahuje hodnoty cca 12 m/den (v místech kolem paty piloty) (Příloha 1.4). Této rychlosti odpovídá aktuální hydraulický gradient 0.14. Z laboratorního rozboru vzorku provedeného v rámci průzkumu (křivka zrnitosti GT3) vyplývá, že číslo nestejnozrnitosti zastižených štěrků  $C_u$  je vyšší než 20. Tedy kritický hydraulický gradient odpovídá hodnotě 0.1 a odpovídající kritická rychlost ve štěrcích pro vznik sufoze nabývá dříve stanované hodnoty 8.64 m/den. Aktuální rychlost proudění v oblasti kolem paty piloty je tedy vyšší než kritická rychlost proudění, tedy dle modelových výpočtů ve vrstvě štěrků kolem paty piloty může docházet k lokálním sufozním jevům.

#### **5.2 Vyhodnocení profilu č. 5 – sypaná homogenní hráz**

Výstupy z modelu jsou dokladovány v příloze č. 2. Schématický příčný řez je uveden na obr. 4. Numerický model profilu 5 a jeho detail je zobrazen v příloze 2.1 a 2.2. Výška sypané hráze nad úrovní původního terénu je 2.84 m. Vzhledem k tomu, že není dosud rozhodnuto o materiálu pro výstavbu sypané hráze, byl po domluvě s projektantem uvažován jako materiál pro stavbu hráze štěrk hlinitý GM. Jeho pevnostní parametry ani křivka zrnitosti nejsou známy a celé posouzení sypané hráze je tedy provedeno pro dále uvedené mechanické charakteristiky materiálu hráze, které odpovídají štěrku hlinitému dle dříve platné normy ČSN 731001. Zadavatelem posudku byly specifikovány pouze požadavky na koeficient filtrace materiálu sypané hráze  $1 \text{ E}^{-5} \text{ m/s}$ .

Model indikoval sedání hráze po dokončení výstavby cca. 6 cm (Příloha 2.3). Další výsledky modelování použité pro následné posouzení jednotlivých mezních stavů jsou uvedeny v následujících přílohách (2.4-2.18).

#### **Posouzení vnější stability (mezní stav GEO) – profil č. 5**

Za přijatých výše uvedených charakteristik materiálu hráze (reálný materiál pro výstavbu hráze dosud není znám) dosahuje stupeň stability  $F$  sypané hráze ze štěrku jílovitého ve stavu před nastoupaním povodňové hladiny hodnoty  $F=1.6$  (Příloha 2.17). Kritická smyková plocha je lokalizována na návodní straně hráze směrem k řece, kde se předpokládá budoucí nástup 100leté povodňové vody. Kritická smyková plocha má kruhový tvar, prochází patou hráze a její korunou.

Ve fázi aktivace 100leté vody model kvantifikuje prakticky identický stupeň stability hráze  $F=1.6$  (Příloha 2.18). Kritická smyková plocha se přesouvá z návodní strany hráze na vzdušnou. Kritická

smyková plocha prochází patou vzdušné strany hráze a dále se propaguje směrem ke koruně hráze.

Stupeň vnější stability hráze před nastoupením povodňové hladiny na úroveň stoleté vody i po něm dosahuje hodnoty  $F = 1.6$ . Tato hodnota je vyšší než normou požadovaná hodnota 1.5 pro stacionární filtrační proudění (dle ČSN 752410 – příloha D). **Hráz z hlediska vnější stability vyhovuje.**

#### **Posouzení nadzvednutí nepropustných vrstev v nadloží - mezní stav UPL – profil č. 5**

V hrázi byl projektantem specifikován koeficient filtrace pro materiál hráze  $1.E^{-5}$  m/s. Model indikuje při povodňové hladině proudění přes těleso hráze do místa patního drénu a dále proudění ve vrstvě podložních štěrků (Příloha 2.4 a 2.5). Mezi těmito vrstvami je z výsledků IG průzkumu lokalizována vrstva fluviálních jííl s nízkou propustností. Modelově byl vyhodnocen tlak vody na rozhraní štěrků a jííl (destabilizující zatížení) (Příloha 2.12) a hodnoty totálního svislého napětí na tomto rozhraní (stabilizující zatížení) (Příloha 2.13). Obě hodnoty byly následně upraveny dílčími koeficienty dle EC7  $\gamma_{G.dst}=1.0$  a  $\gamma_{G.stb}=0.9$  a graficky srovnány (Příloha 2.14). Výsledky modelování dokumentují pro přijatá vstupní data nepřekročení podmínky pro porušení typu UPL v celém analyzovaném řezu. Tlak vody na tomto rozhraní je nižší než odpovídající totální napětí. Nejnižší rozdíl mezi výpočtovou hodnotou tlaku vody a výpočtovou hodnotou totálního napětí na specifikovaném rozhraní pod vzdušnou stranou hráze dosahuje hodnoty cca 12 kPa. Dle modelového výpočtu nedojde tedy k nadzvednutí málo propustných jílovitých vrstev na celém analyzovaném rozhraní.

#### **Posouzení hydraulického prolomení – mezní stav HYD – profil č. 5**

Model neidentifikoval proudění ve vzestupném horizontálním směru, nehrozí tedy hydraulické prolomení (ztekucení) zeminy.

#### **Posouzení filtrační stability (náchylnosti k sufozi) – profil č. 5**

Posouzení filtrační stability bylo provedeno porovnáním aktuální a kritické rychlosti proudění v dané zeminové vrstvě, která odpovídá aktuálnímu a kritickému gradientu a příslušným koeficientům filtrace. Vzhledem k tomu, že nejsou známy vlastnosti materiálu pro stavbu hráze, tedy ani jeho zrnitostní složení, bylo přijato kritérium kritického gradientu pro vnitřní erozi  $i_{krit.} = 0.1$  odpovídající koeficientu nestejnozrnatosti  $C_u$  materiálu vyšším než 20 (posouzení na straně bezpečnosti) (Istomina, 1957). Vzhledem k přijatému koeficientu filtrace materiálu hráze  $k = 1E^{-5}$  m/s je kritickou rychlostí  $v_{krit.}$  pro vznik sufoze hodnota:

$$v_{krit.} (materiál hráze) = i_{krit.} \times k = 0.1 \times 0.00001 \text{ m/s} = 1.E^{-6} \text{ m/s} = 0.09 \text{ m/den}$$

V místě patního drénu dosahují rychlosti proudění hodnoty 16 m/den (Příloha 2.4), přičemž jasně převažuje horizontální složka. Totální průtok do místa drenážního potrubí o průměru 10 cm byl modelově vyhodnocen 0.734 m<sup>3</sup>/den/m. V místě drénu je nutno zamezit vhodným obsypovým materiálem a aplikací geotextilie eliminaci případných sufozních projevů a vyplavování zeminového materiálu do drenážního potrubí, popř. podloží.

V samotném tělese hráze nejsou rychlosti proudění rovnoměrné, klesají od patního drénu směrem k návodní straně hráze. Výjimku tvoří lokální zvýšení rychlosti v místě přechodu od vyšší k nižší celkové mocnosti hráze (kontaktní spára není rovnoběžná) (Příloha 2.5, 2.7, 2.8 a 2.9). Výsledky modelování ukazují, že do cca 2/3 šířky hráze ve směru od vzdušné strany hráze dosahují rychlosti proudění hodnot vyšších, než je výše stanovená kritická rychlost. Hodnot nižších je modelově dosaženo pouze na části přiléhající k návodní straně hráze (Příloha 2.6). **Tyto výsledky rychlosti proudění indikují možnost lokální vnitřní eroze (sufoze) v dílčí části tělesa hráze přiléhající ke vzdušní straně hráze. Je však nutno poznamenat, že výsledky je nutno posuzovat v kontextu přijatého koeficientu filtrace materiálu hráze. V případě, že bude mít reálný materiál koeficient filtrace odlišný, nemají uvedené výsledky ani závěry týkající se posouzení sufoze vypovídající hodnotu.**

Model neukazuje vysakování vody z podloží na vzdušní straně hráze. Rovněž model neindikoval proudění v kontaktním málo propustném jílovitém podloží samotné hráze (koeficient filtrace podložních jílu je 1E<sup>-8</sup> m/s).

Pokud se týká proudění ve vrstvě štěrků, dochází dle modelu k horizontálnímu proudění s rovnoměrnou rychlostí max. cca 1.5 m/den (Příloha 2.10). Této rychlosti odpovídá hydraulický gradient  $i_{akt.} = 0.017$  ( $k = 0.001$  m/s). Z dodaných podkladových materiálů vyplývá, že číslo nestejnozrnatosti  $C_u$  je vyšší než 20. Tedy kritický hydraulický gradient opět odpovídá hodnotě 0.1. Odpovídající kritická rychlost proudění nabývá pro tento materiál hodnoty:

$$v_{krit.} (štěrky) = i_{krit.} \times k = 0.1 \times 0.001 \text{ m/s} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 8.64 \text{ m/den}$$

Z porovnání aktuální rychlosti proudění (1.5 m/den) a kritické rychlosti proudění (8.64 m/den) ve vrstvě štěrků vyplývá, že **vrstva štěrků není dle modelového výpočtu ohrožena vnitřní sufozí.**

Model indikoval celkový průtok ve středovém svislém řezu hrází 0.7616 m<sup>3</sup>/den/m (Příloha 2.11).

### 5.3 Vyhodnocení profilu č. 22 - železobetonová hráz založená na pilotách

Výstupy z modelu jsou dokladovány v příloze č. 3. Železobetonová hráz výšky 3.0 m se základovým pásem šířky 0.7m a výškou 0.7m je založena na převrtávaných pilotách Ø0.6 m délky 5.0 m. Schématický příčný řez je uveden na obr. 5. Model profilu 22 a jeho detail je zobrazen



v příloze 3.1 a 3.2. Zvedání ŽB konstrukce po nastoupení hladiny vody na povodňovou úroveň dosahuje hodnoty cca 2 cm (Příloha 3.18), horizontální posun koruny stěny pak cca 3 cm (Příloha 3.20).

Další výsledky modelování použité pro následné posouzení jednotlivých mezních stavů jsou uvedeny v následujících přílohách č. 3.3-3.20.

### **Posouzení nadzvednutí nepropustných vrstev v nadloží - mezní stav UPL – profil č. 22**

Model indikuje při povodňové hladině proudění štěrkovými vrstvami v podloží (Příloha 3.4 a 3.5). Modelově byl vyhodnocen tlak vody na rozhraní štěrků a jílu v nadloží (destabilizující zatížení) (Příloha 3.12) a hodnoty totálního svislého napětí na tomto rozhraní (stabilizující zatížení) (Příloha 3.13). Obě hodnoty byly následně upraveny dílčími koeficienty  $\gamma_{G.dst}=1.0$  a  $\gamma_{G.stb}=0.9$  a graficky srovnány (Příloha 1.14). Výsledky modelování dokumentují pro přijatá vstupní data nepřekročení podmínky pro porušení typu UPL v celém analyzovaném řezu. Tlak vody na tomto rozhraní je nižší než odpovídající totální napětí. Nejnižší rozdíl mezi výpočtovou hodnotou tlaku vody a výpočtovou hodnotou totálního napětí na specifikovaném rozhraní pod vzdušnou stranou ŽB hráze dosahuje hodnoty cca 8 kPa, dle výpočetního modelu nedojde tedy k nadzvednutí málo propustných jílovitých vrstev na celém analyzovaném rozhraní.

### **Posouzení hydraulického prolomení – mezní stav HYD – profil č. 22**

Posouzení hydraulického prolomení v důsledku vzestupného proudění na vzdušní straně bylo provedeno na základě vztahu (3). Hloubka stěny včetně pilotového základu pod terénem je dle podkladů 6 m. Hladina vody na vzdušné straně hráze vystoupala dle modelového výpočtu na povrch vzdušné strany hráze. Na návodní straně se předpokládá výška hladiny na úrovni koruny hráze. Rozdíl hladin mezi návodní a vzdušnou stranou hráze je tedy cca 3 m a odpovídající hydraulický gradient je tedy:  $i=3/(2*6)=0.25$ .

Návrhová hodnota destabilizující tíhy odpovídá  $\gamma_{G.dst} \cdot \gamma_w \cdot i = 1.35 \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.25 = 3,37 \text{ kN/m}^3$ , a návrhová hodnota tíhy zeminy pod vodou (stabilizující tíha)  $\gamma_{G.stb} \cdot \gamma_{ef.} = 0.9 \cdot 9 \text{ kN/m}^3 = 8,1 \text{ kN/m}^3$ .

Je tedy splněna podmínka, že destabilizující síla je nižší než stabilizující, **na základě modelově vyhodnocených výsledků k hydraulickému porušení nedojde.**

### **Posouzení filtrační stability (náchylnosti k sufozi) – profil č. 22**

Posouzení filtrační stability bylo provedeno porovnáním aktuální a kritické rychlosti proudění ve vrstvě štěrků, v níž model indikoval pole proudění (Příloha 3.4). Maximální rychlost proudění dosahuje hodnoty cca 14 m/den (v místech kolem paty piloty) (Příloha 3.4), této rychlosti odpovídá

aktuální hydraulický gradient 0.16 ( $k=0.001\text{m/s}$ ). Z dodaných podkladových materiálů vyplývá, že číslo nestejnozrnatosti zastižených štěrků  $C_u$  je vyšší než 20, tedy kritický hydraulický gradient odpovídá hodnotě 0.1 a odpovídající kritická rychlost ve štěrcích pro vznik sufoze nabývá dříve stanovené hodnoty 8.64 m/den. Aktuální rychlost proudění v oblasti kolem paty piloty je tedy vyšší než rychlost kritická, **tedy dle modelových výpočtů ve vrstvě štěrků kolem paty piloty může docházet k lokálním sufozním jevům.**

## 6 ZÁVĚRY

Zhodnocení výsledků matematického modelování sdružené úlohy filtrační a mechanické stability protipovodňové hráze.

### **Závěry pro výpočetní profil č. 4:**

- Modelový výpočet indikuje možnost nadzvednutí (mezní stav UPL) málo propustných jílovitých vrstev v nadloží štěrků v dílčí oblasti na vzdušní straně ŽB hráze do vzdálenosti cca 19,0 m.
- Na základě vyhodnocených modelových výsledků nedojde k hydraulickému porušení (překročení mezního stavu HYD) ve vrstvě štěrků v místě profilu č. 4.
- Dle modelových výpočtů ve vrstvě štěrků kolem paty piloty může docházet k lokálním sufozním jevům.
- Vypovídací hodnota modelových výpočtů a z nich vyplývající závěry jsou platné pro uvedené geometrické a materiálové charakteristiky použité v numerickém modelu.

### **Závěry pro výpočetní profil č. 5:**

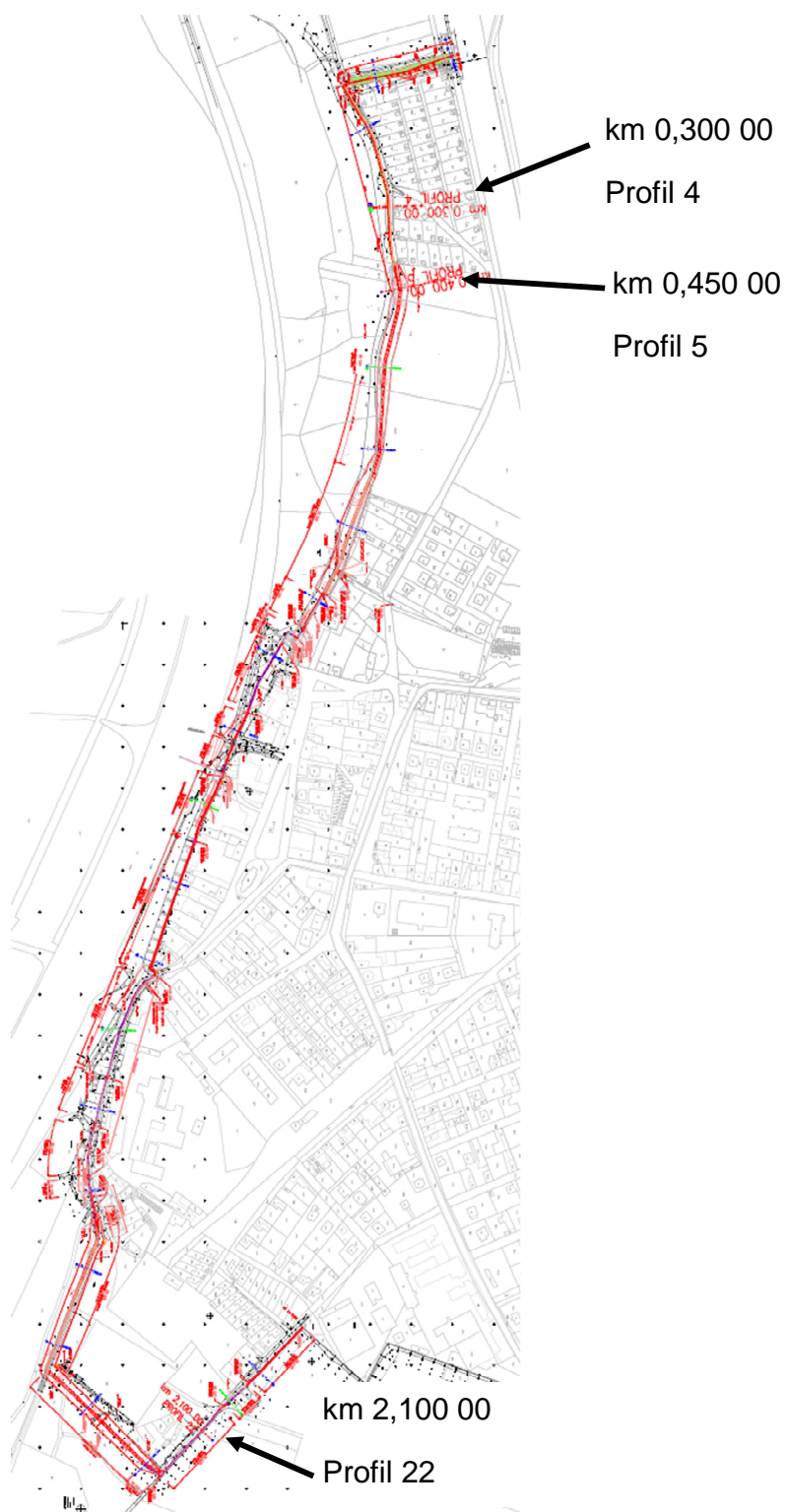
- Vypočtený stupeň stability dosahuje hodnoty  $F=1.6$ , sypaná hráz tedy vyhovuje z hlediska vnější stability. Reálné vstupní parametry a požadavky na materiál hráze nebyly určeny v zadání a vypočtený stupeň stability proto platí pouze pro použitý materiál násypu uvažovaný v modelu – štěrk hlinitý a přijaté vstupní charakteristiky. V případě použití jiného materiálu musí být provedena kontrola stability hráze.
- Dle modelového výpočtu nedojde k nadzvednutí málo propustných jílovitých vrstev na celém analyzovaném rozhraní mezi štěrkovou a jílovitou vrstvou v podloží sypané hráze (nedojde k překročení mezního stavu UPL).
- Výsledky modelování indikují možnost lokální vnitřní eroze (sufoze) v dílčí části tělesa hráze přiléhající ke vzdušní straně hráze. Je však nutno poznamenat, že výsledky je nutno

posuzovat v kontextu přijatého koeficientu filtrace materiálu hráze. V případě, že bude mít reálný materiál koeficient filtrace odlišný, nemají uvedené výsledky ani závěry týkající se posouzení sufoze vypovídající hodnotu a je nutno provést přepočet pro reálné charakteristiky materiálu hráze.

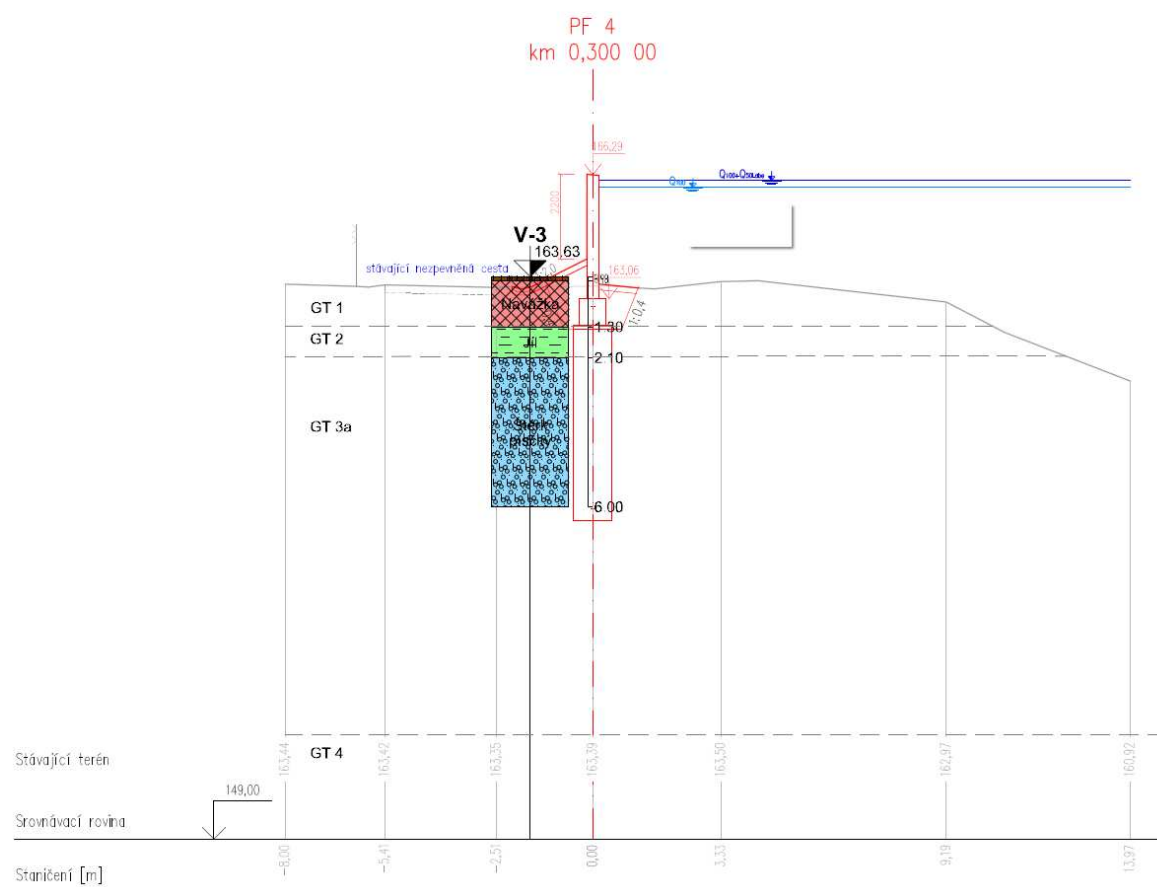
- Vrstva štěrků není dle modelového výpočtu ohrožena vnitřní sufozí.
- Vypovídací hodnota modelových výpočtů a z nich vyplývající závěry jsou platné pro uvedené geometrické a materiálové charakteristiky použité v numerickém modelu.

#### **Závěry pro výpočetní profil č. 22:**

- Modelový výpočet neindikuje nadzvednutí (mezní stav UPL) méně propustných jílovitých vrstev v nadloží štěrků v dílčí oblasti na vzdušní straně ŽB hráze v místě profilu č.22.
- Na základě vyhodnocených modelových výsledků nedojde k hydraulickému porušení (překročení mezního stavu HYD) ve vrstvě štěrků v místě profilu č. 22.
- Dle modelových výpočtů ve vrstvě štěrků kolem paty piloty může docházet k lokálním sufozním jevům.
- Vypovídací hodnota modelových výpočtů a z nich vyplývající závěry jsou platné pro uvedené geometrické a materiálové charakteristiky použité v numerickém modelu.

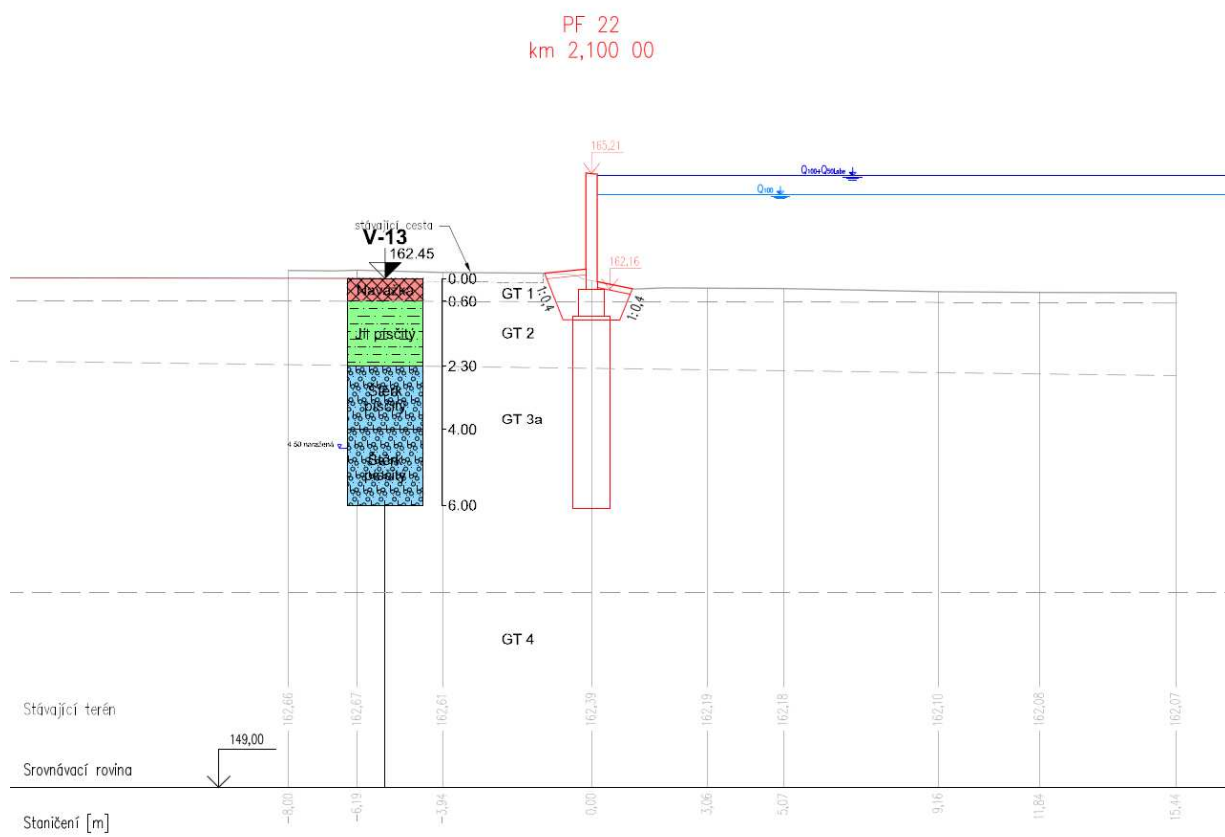


Obr. 2 Celková situace stavby



Obr. 3 Příčný řez profil č. 4 km 0.300 00





Obr. 5 Příčný řez profil č. 22 km 2.100 00

Přílohová část  
HS 2242005

***STABILITNÍ POSOUZENÍ HRÁZOVÝCH OBJEKTŮ***

Seznam příloh:

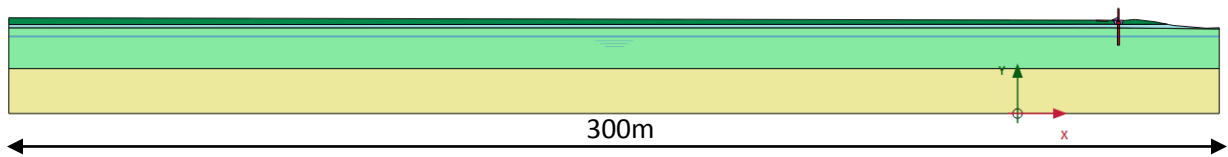
Příloha č. 1 výsledky modelového výpočtu k profilu 4

Příloha č. 2 výsledky modelového výpočtu k profilu 5

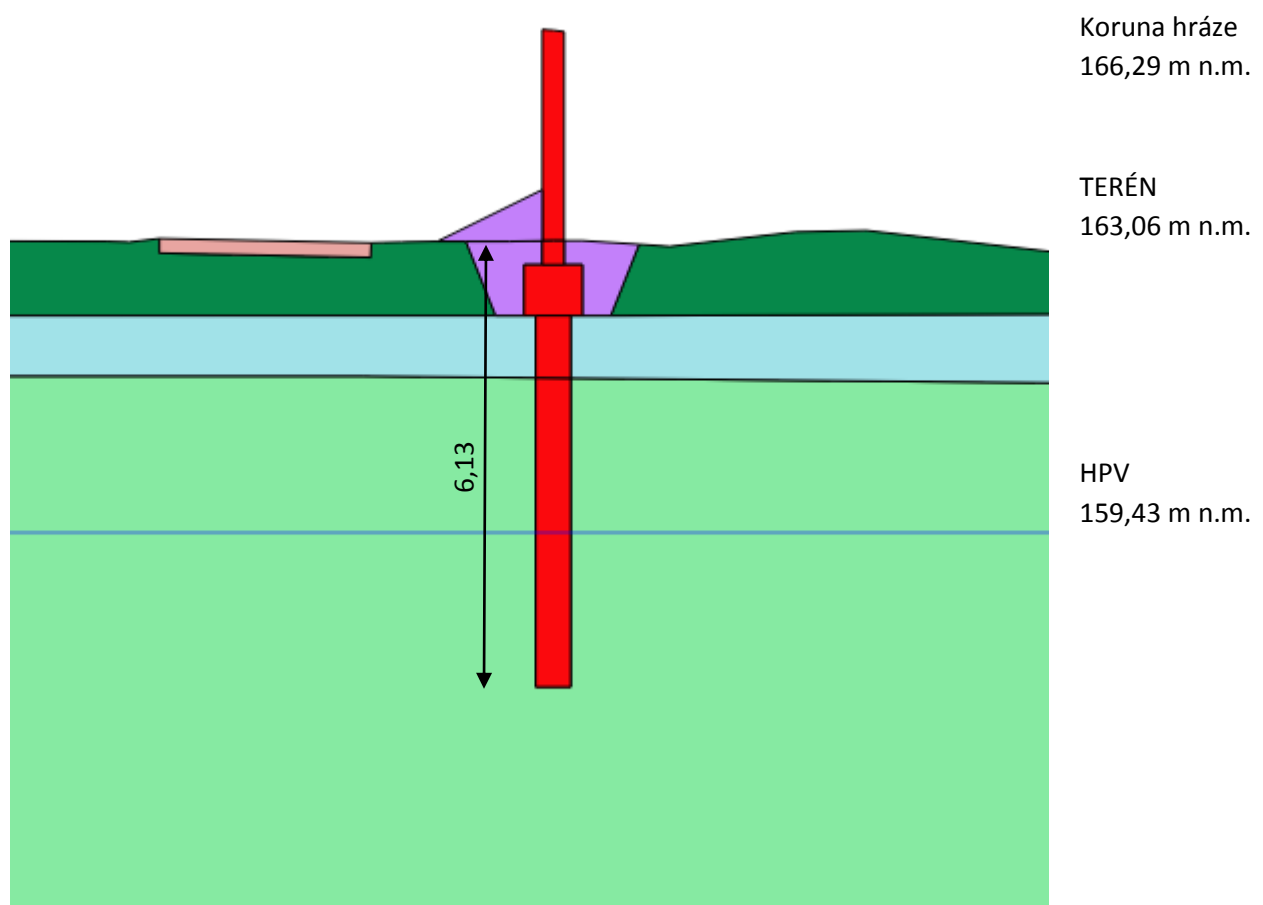
Příloha č. 3 výsledky modelového výpočtu k profilu 22



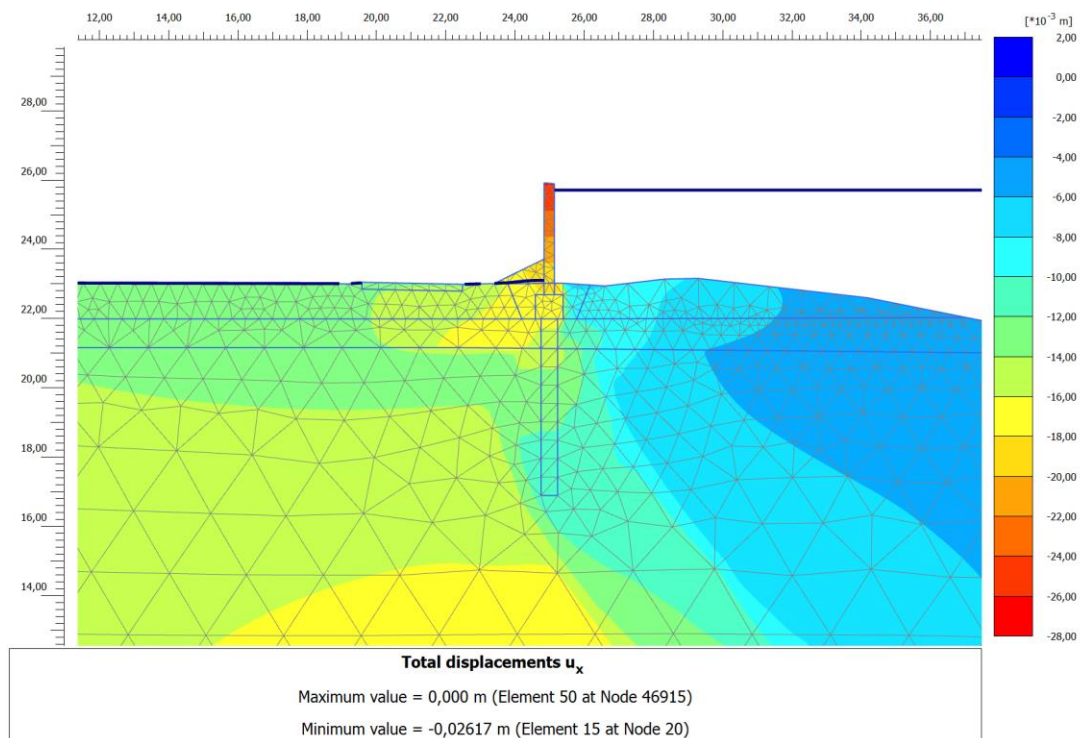
# PŘÍLOHA č.1 – výpočtový profil č. 4



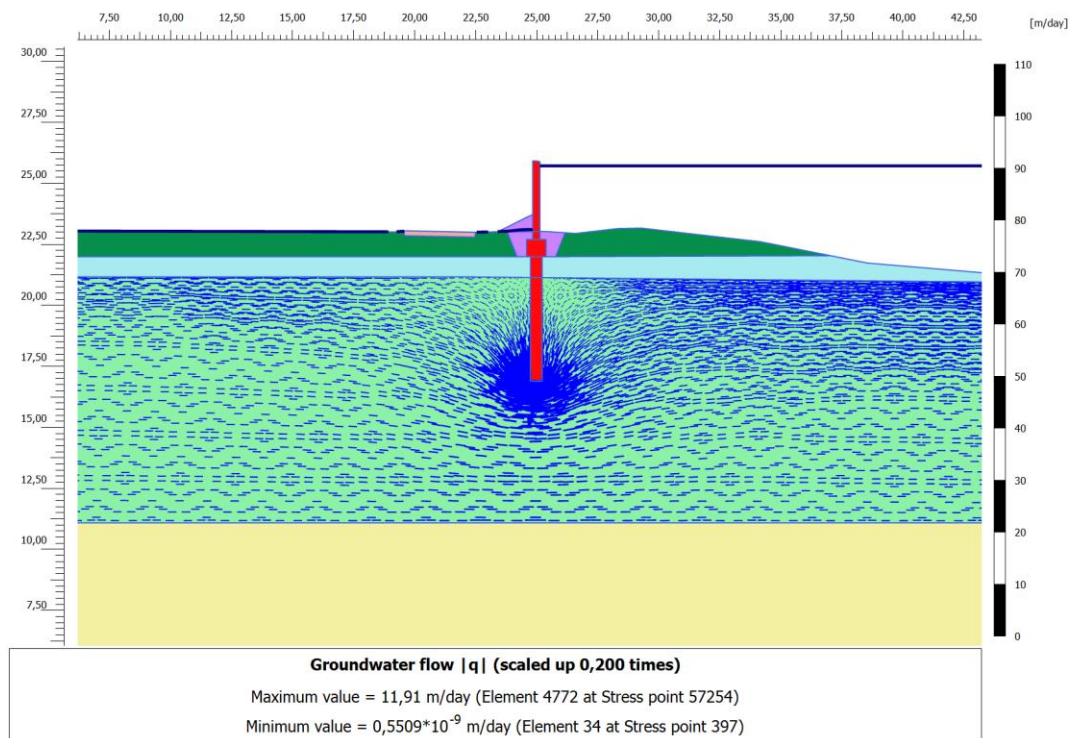
Příloha 1.1 *Profil 4 – celkový numerický model*



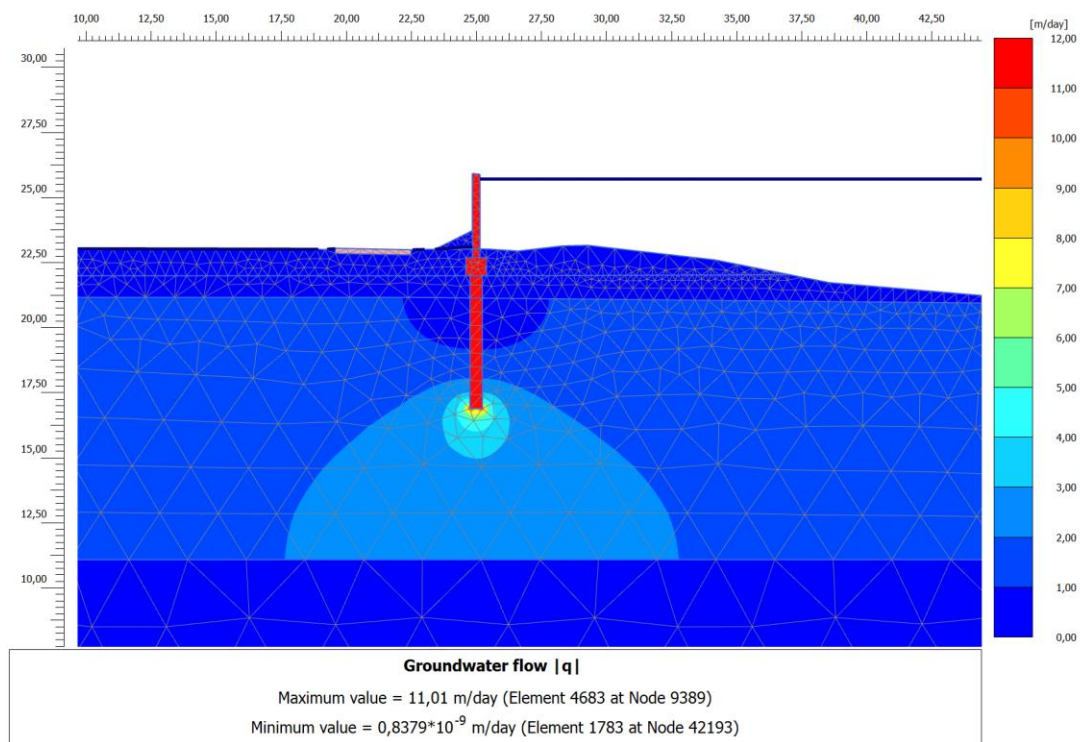
Příloha 1.2 *Detail numerického modelu v místě ŽB zdi*



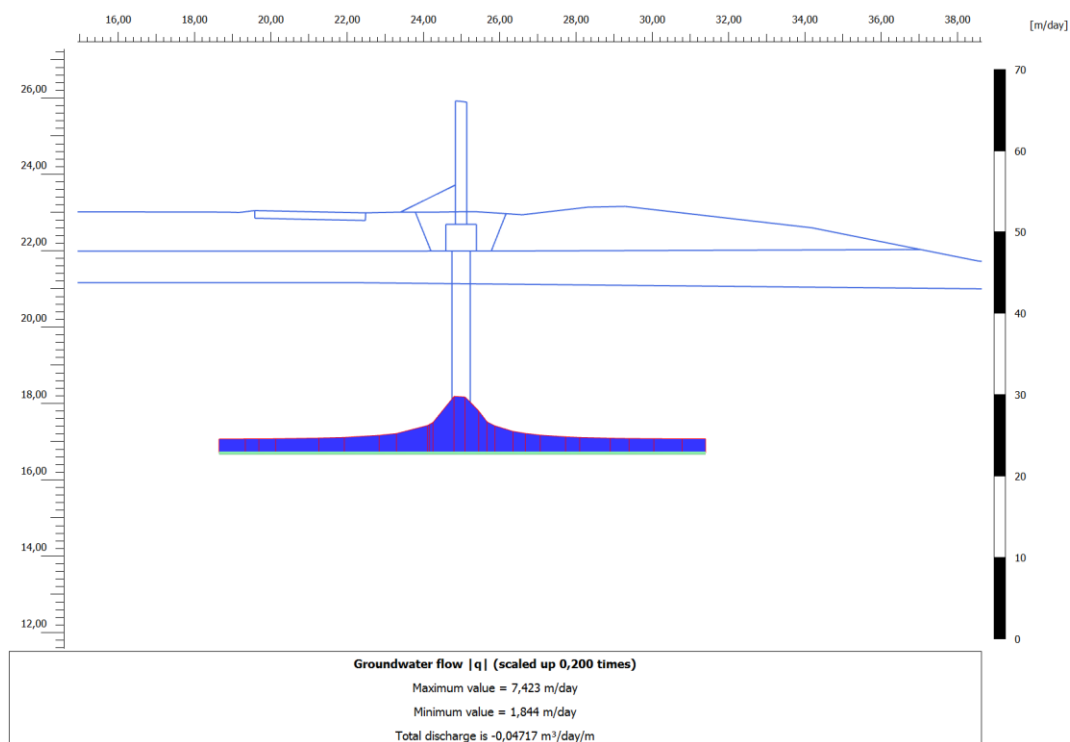
Příloha 1.3 Horizontální posuny hráze a jejího okolí po přetížení vodou – povodňový stav



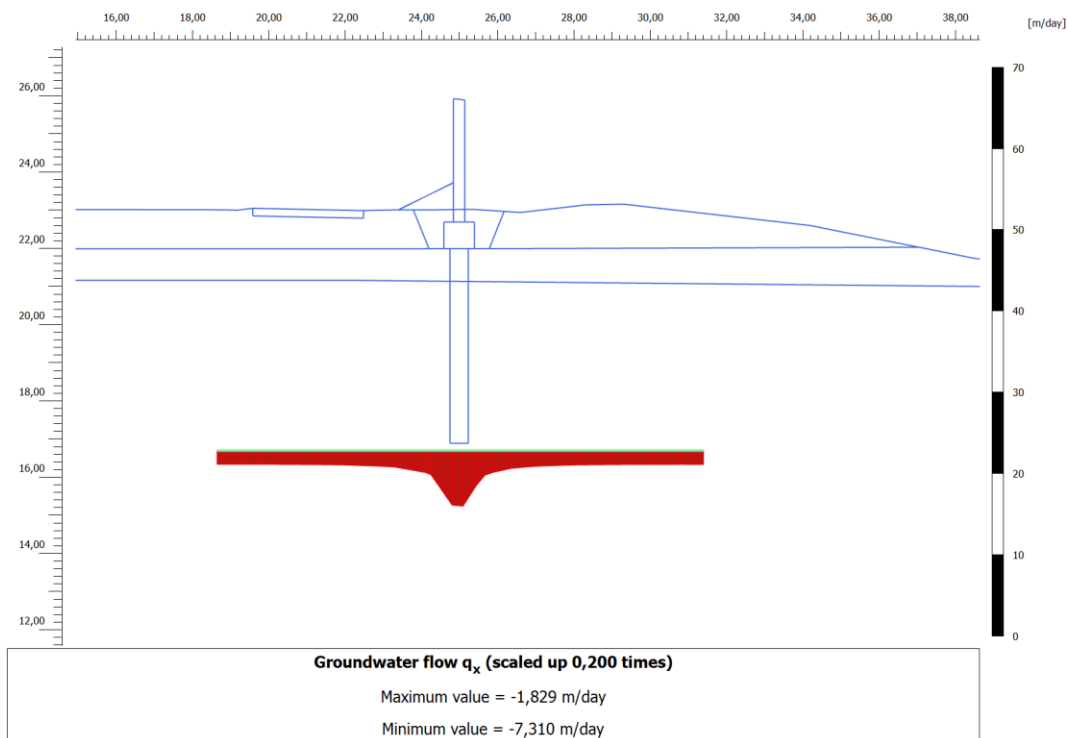
Příloha 1.4 Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňový stav



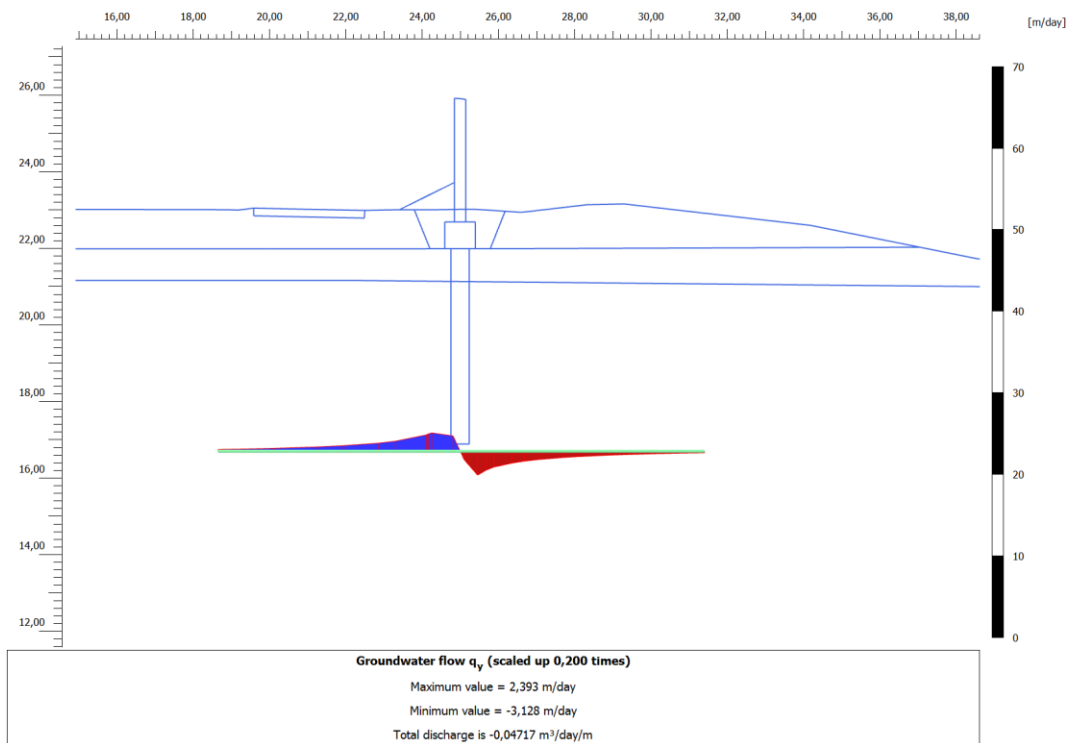
Příloha 1.5 Celková rychlost proudění – povodňový stav



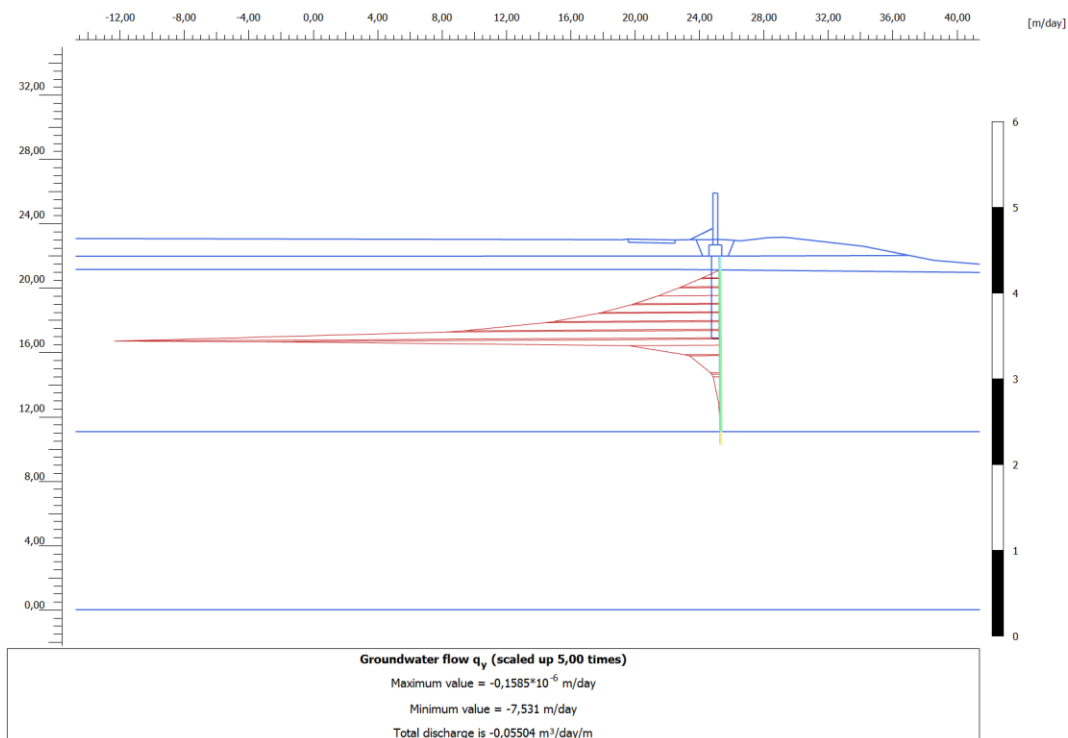
Příloha 1.6 Celková rychlost proudění – pata piloty – povodňový stav



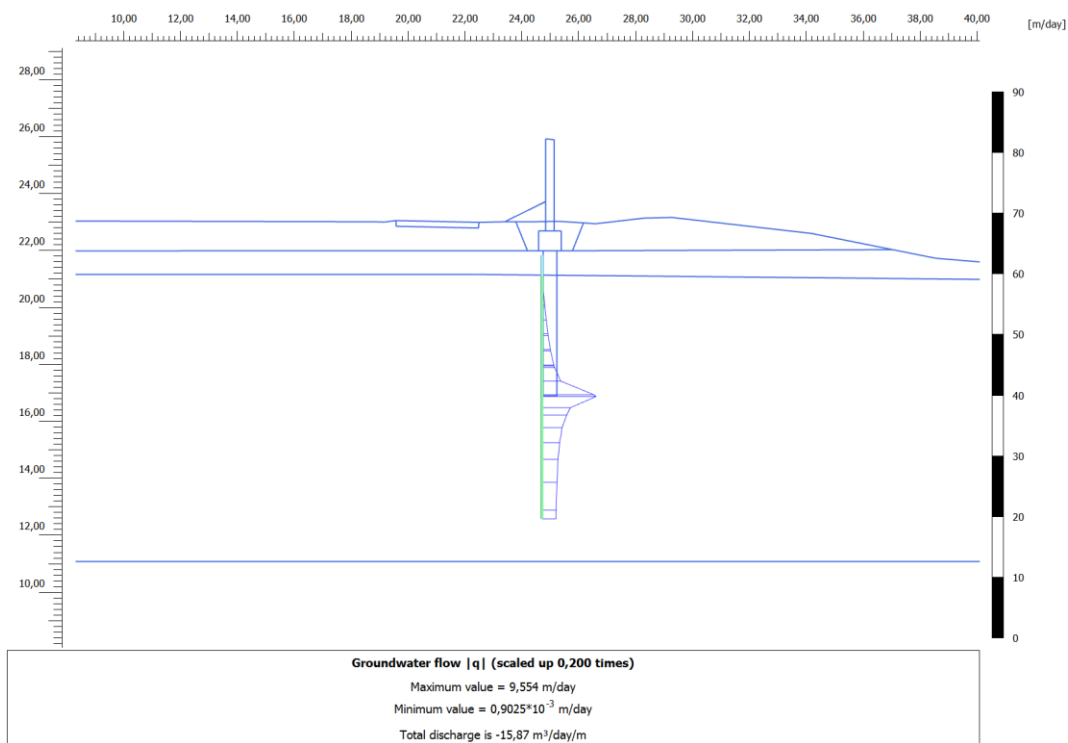
Příloha 1.7 Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata piloty – povodňový stav



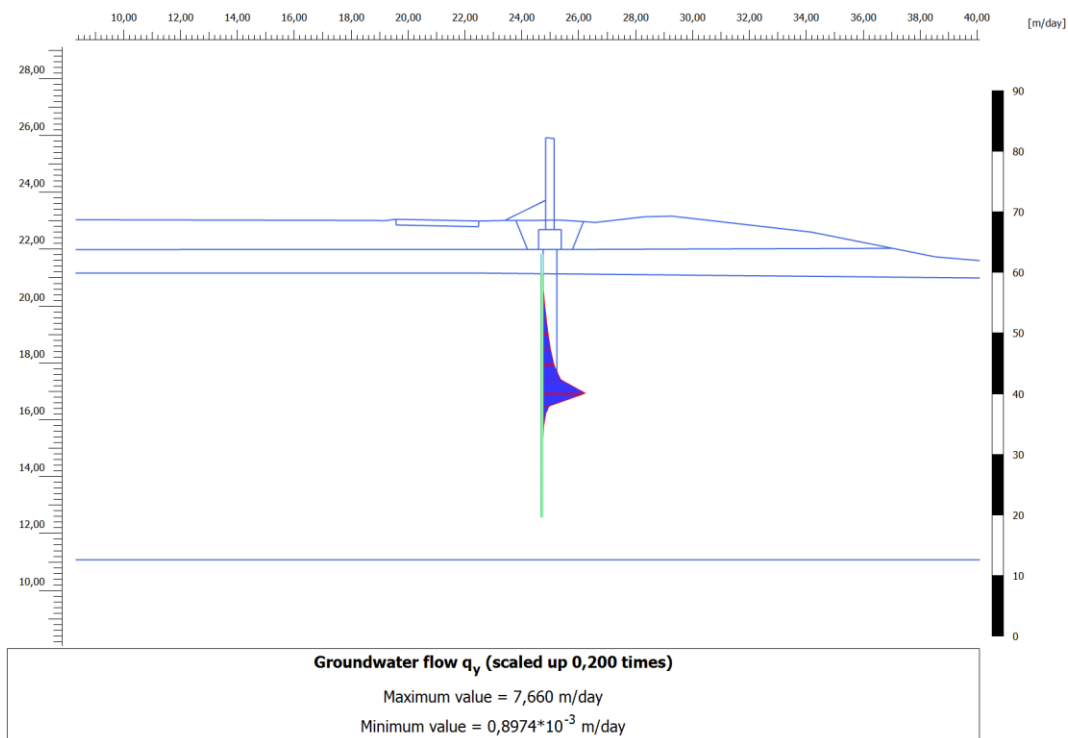
Příloha 1.8 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata piloty – povodňový stav



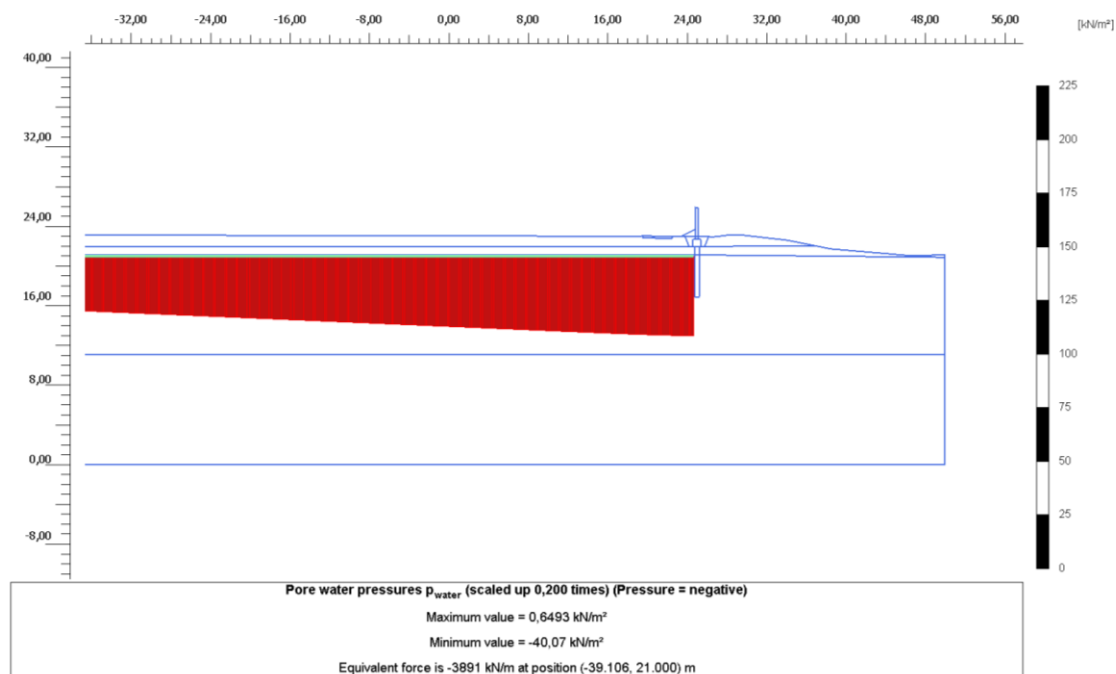
Příloha 1.9 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (návodní strana) – povodňový stav



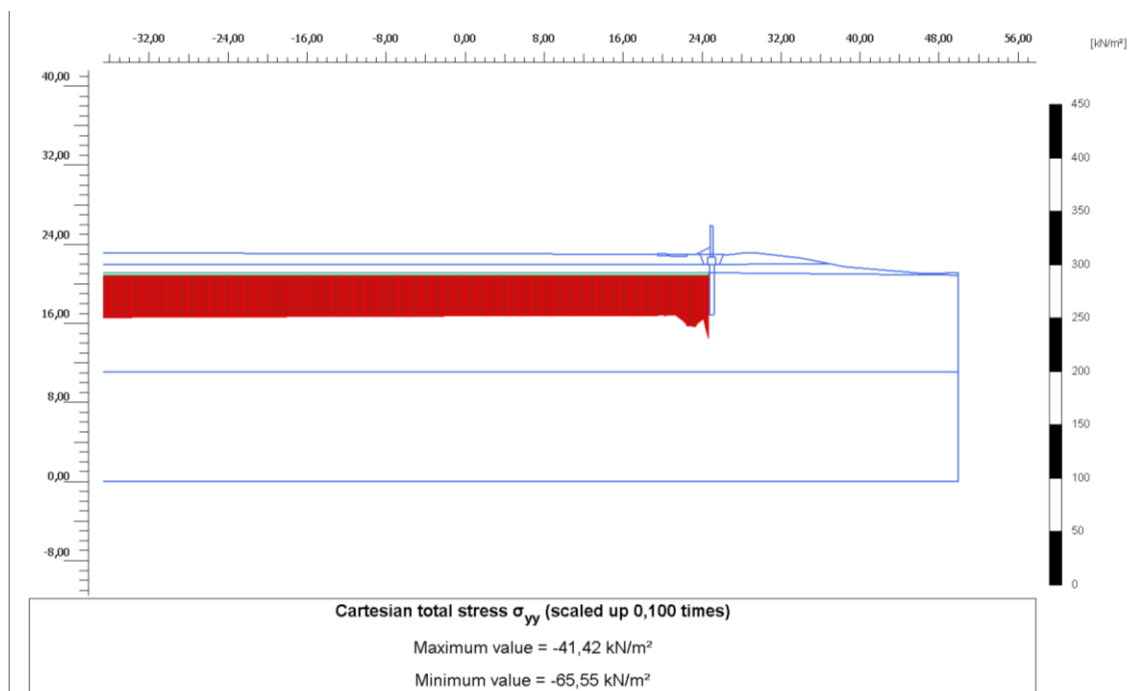
Příloha 1.10 Celková rychlost proudění – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav



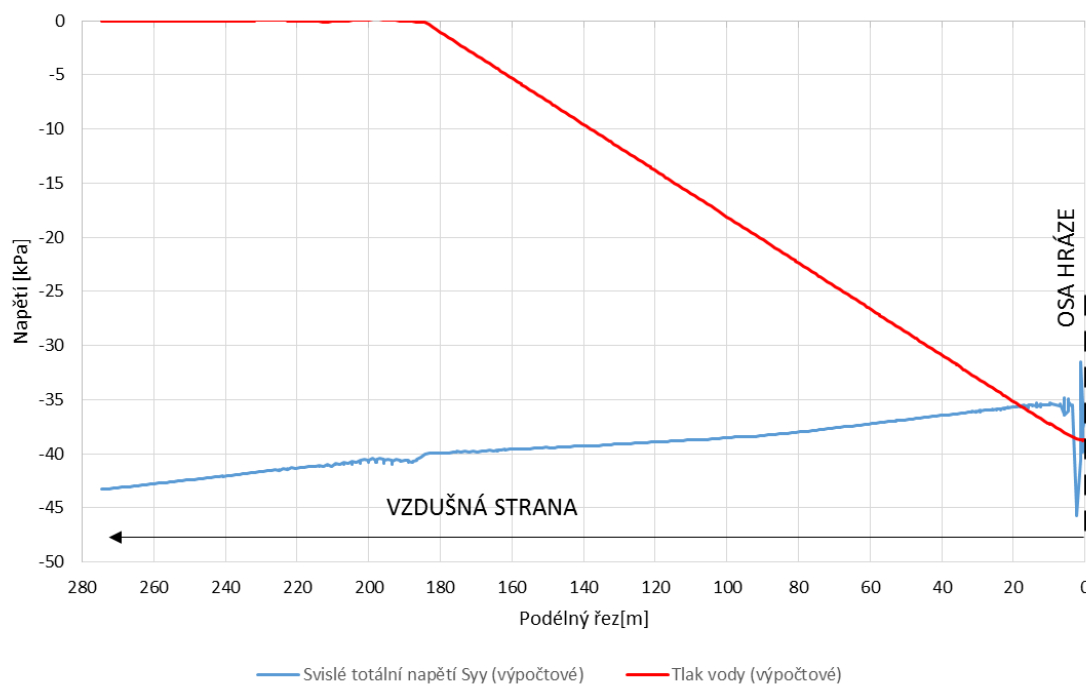
Příloha 1.11 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav



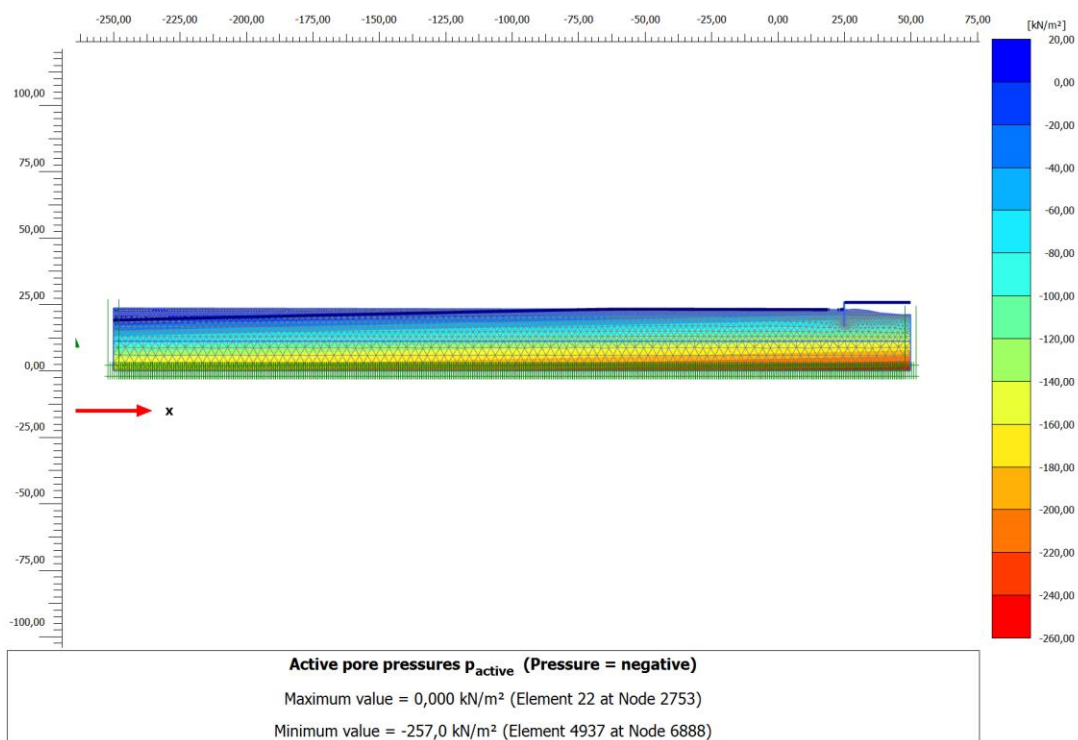
Příloha 1.12 Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílovitých vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav



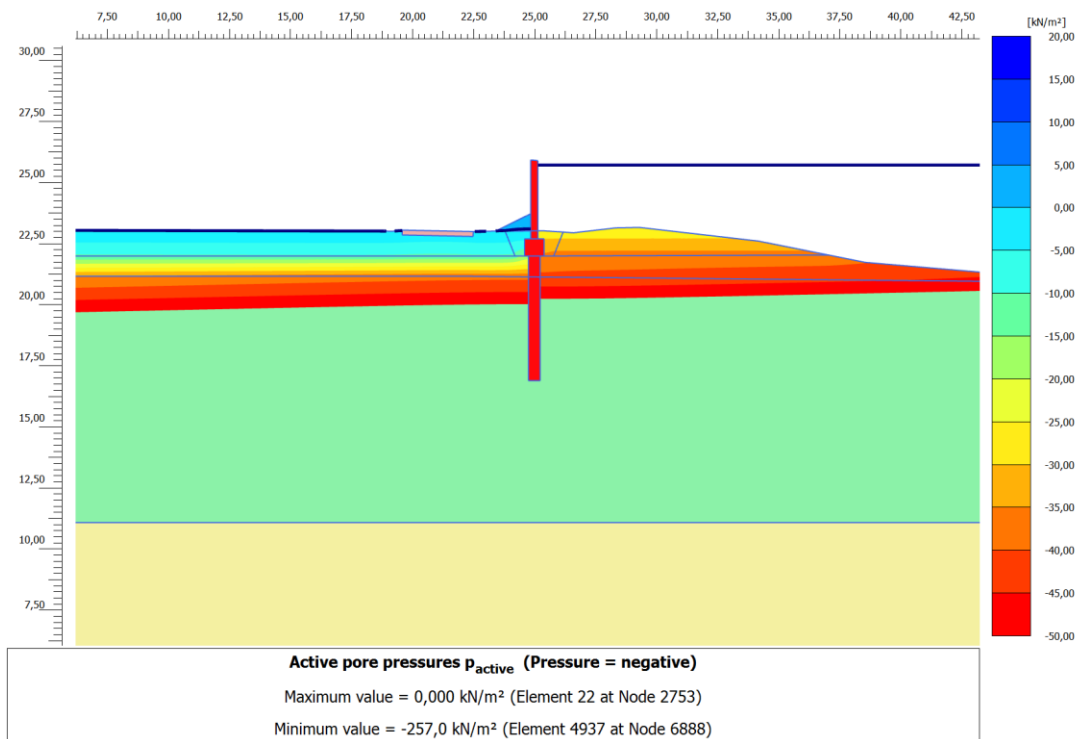
Příloha 1.13 Totální napětí  $\sigma_y$  – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílovitých vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav



Příloha 1.14 Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrků a nadložních jílovitých vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav

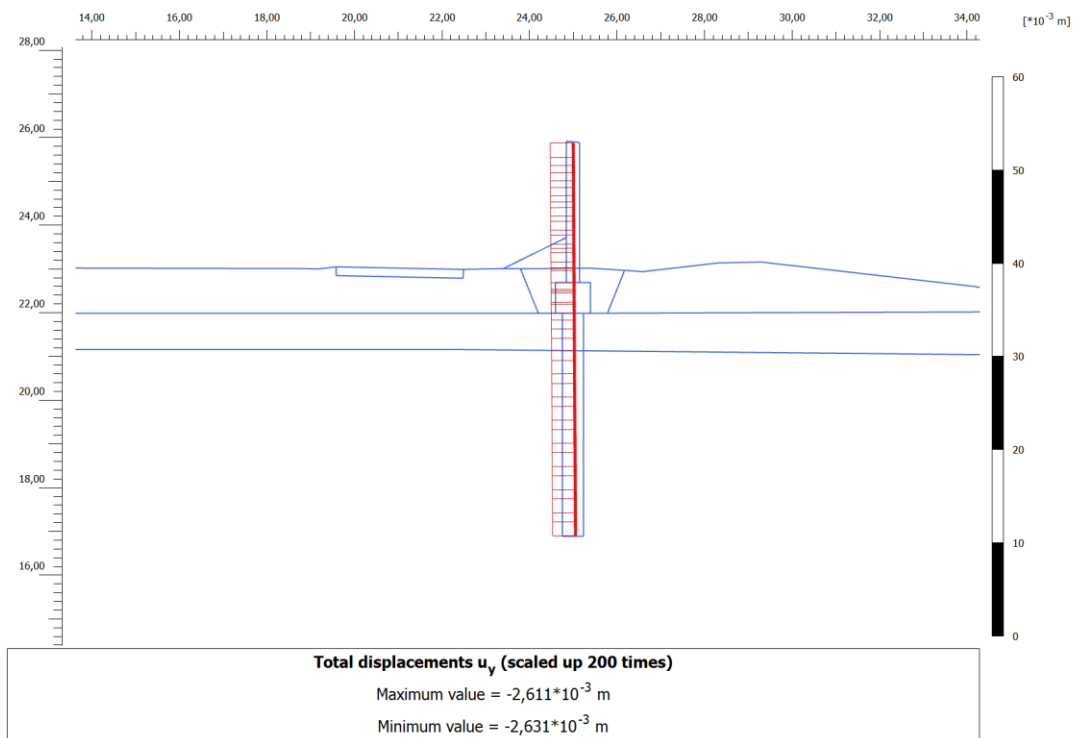


Příloha 1.15 Aktivní pórový tlak – povodňový stav

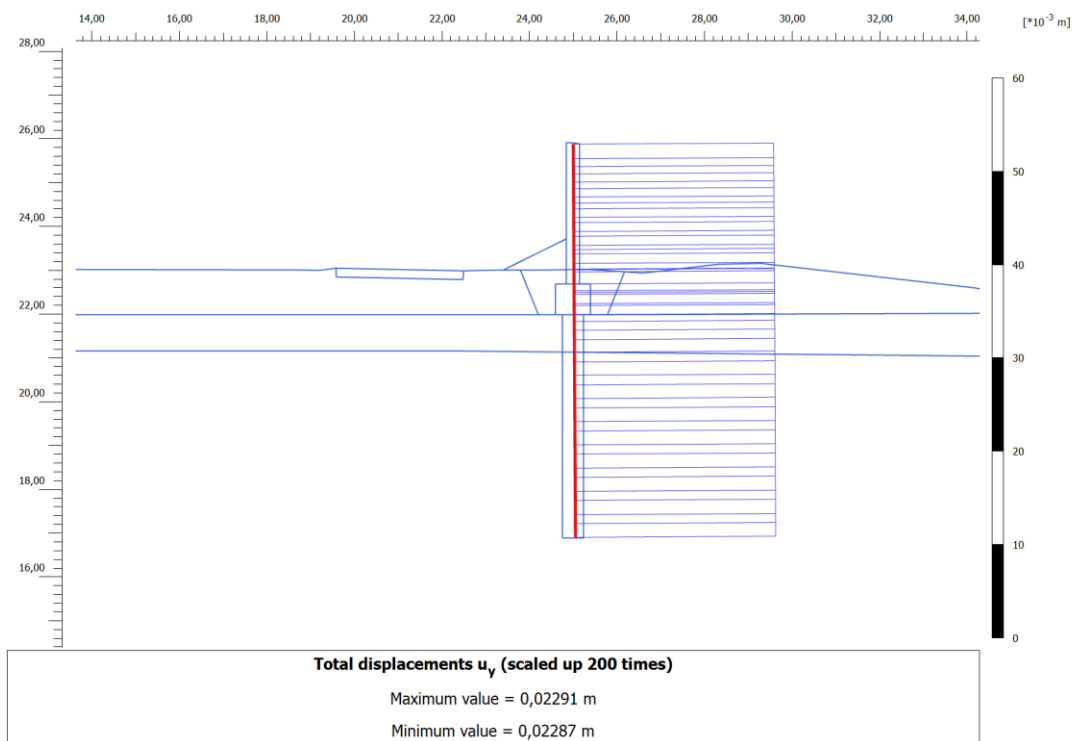


Příloha 1.16 Aktivní pórový tlak (detail) – povodňový stav

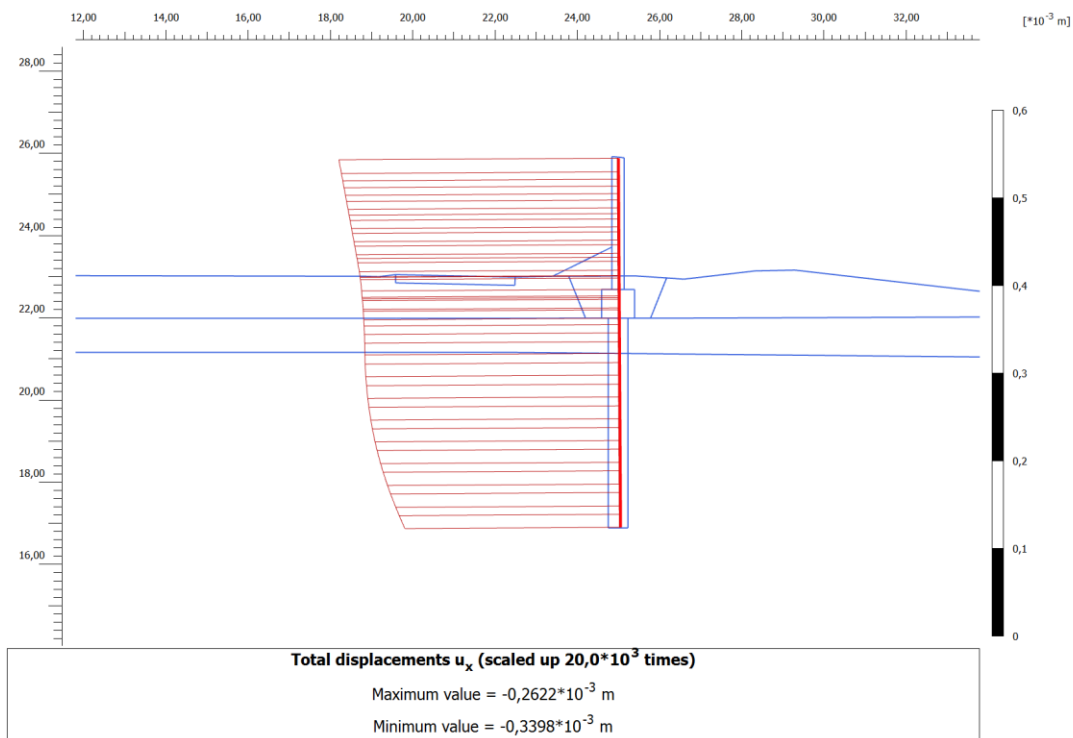




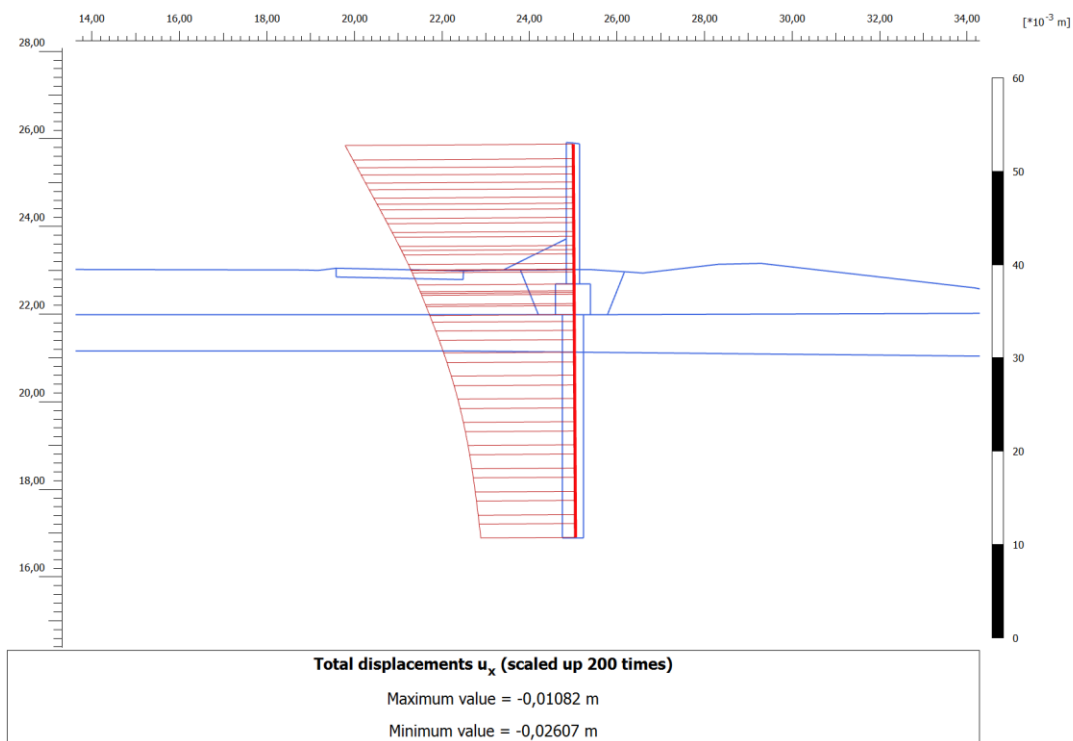
Příloha 1.17 Vertikální posuny v konstrukci – předpovodňový stav



Příloha 1.18 Vertikální posuny v konstrukci – povodňový stav

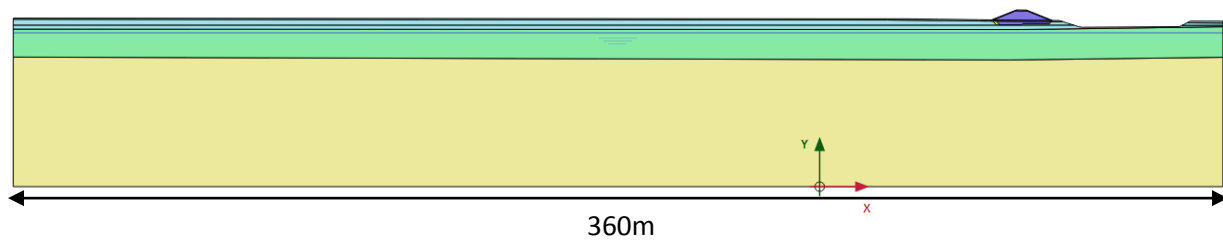


Příloha 1.19 Horizontální posuny v konstrukci – předpovodňový stav

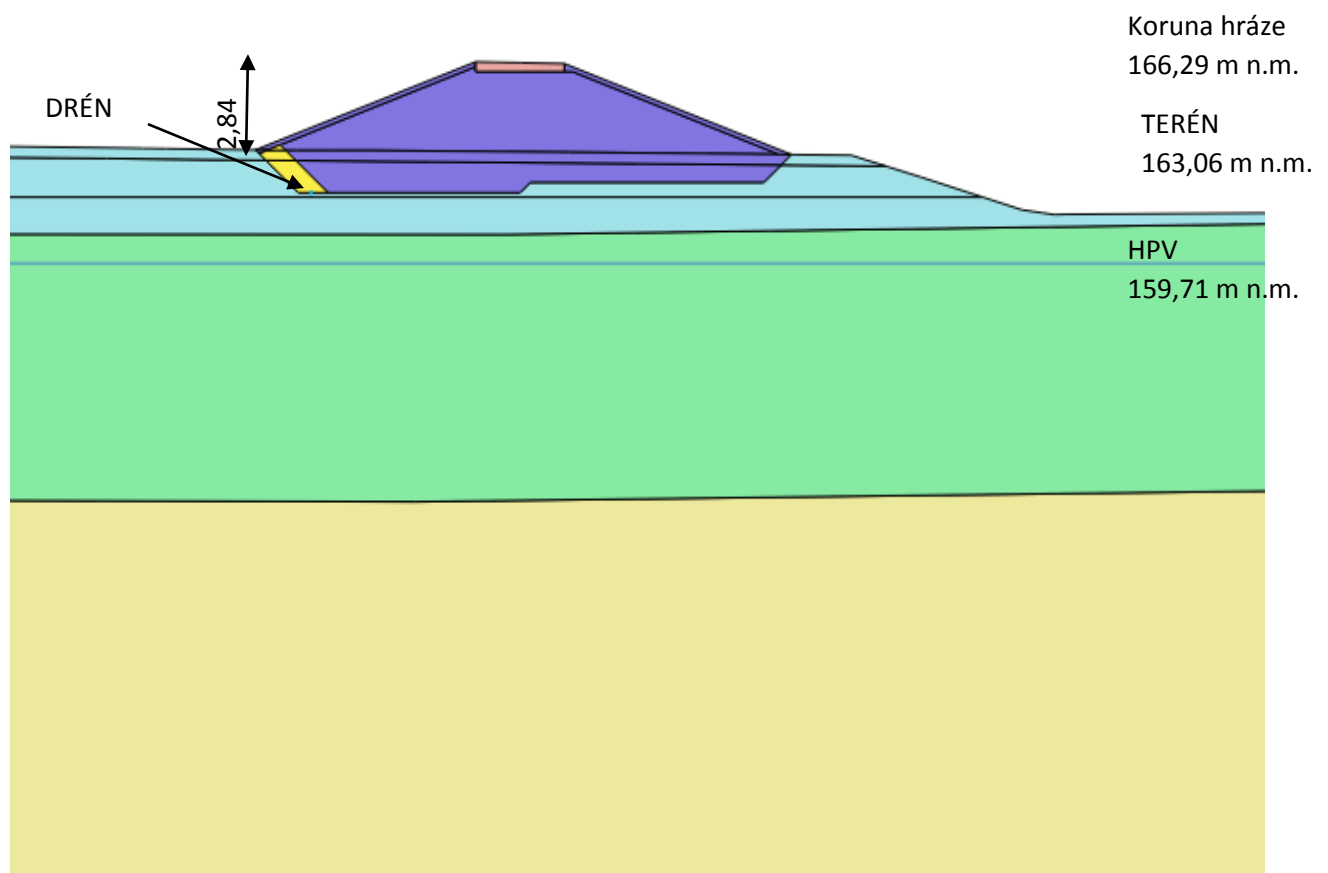


Příloha 1.20 Horizontální posuny v konstrukci – povodňový stav

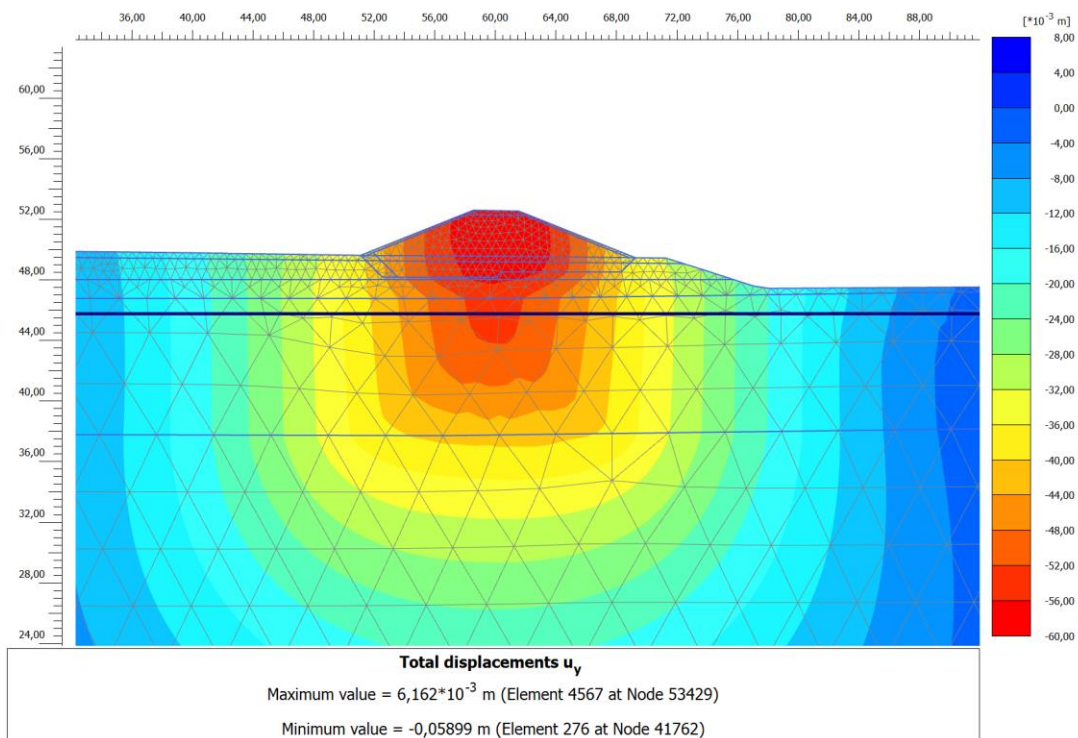
## PŘÍLOHA č.2 – výpočtový profil č. 5



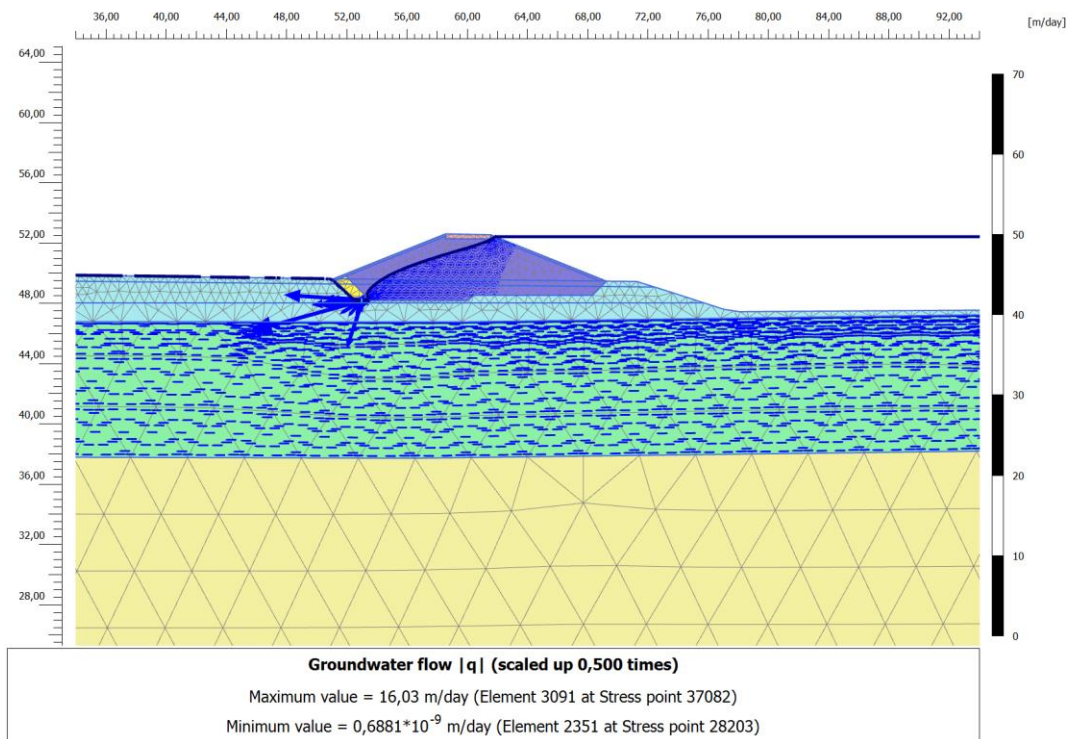
Příloha 2.1 Profil 5 – celkový numerický model



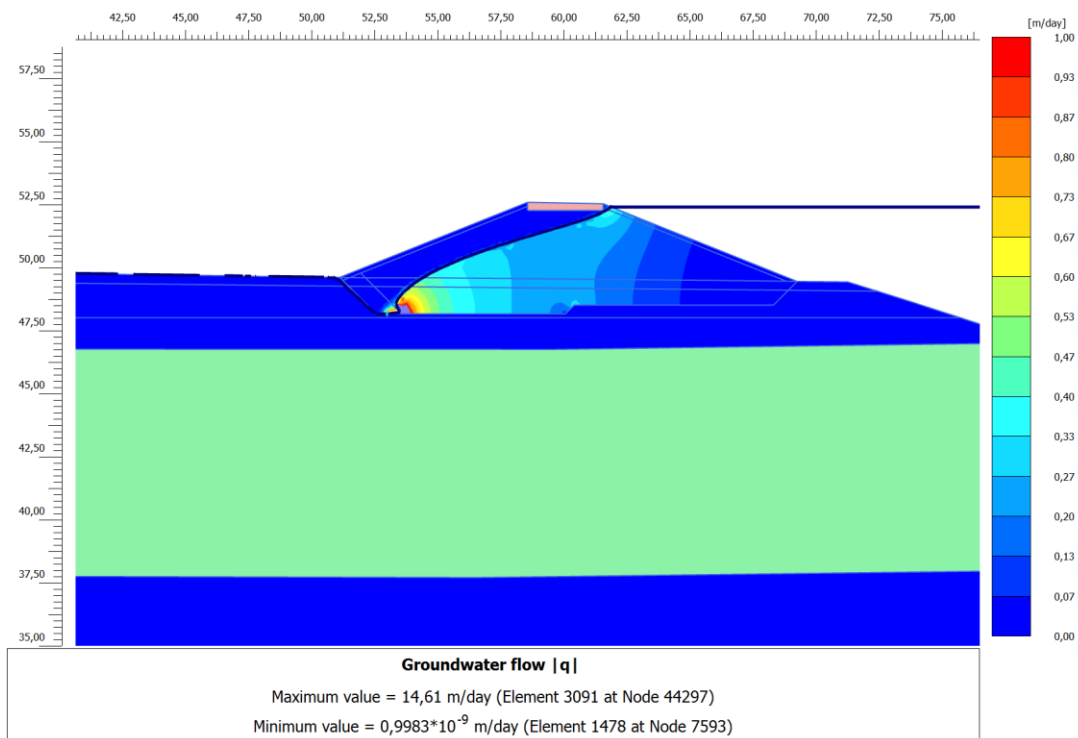
Příloha 2.2 Detail numerického modelu



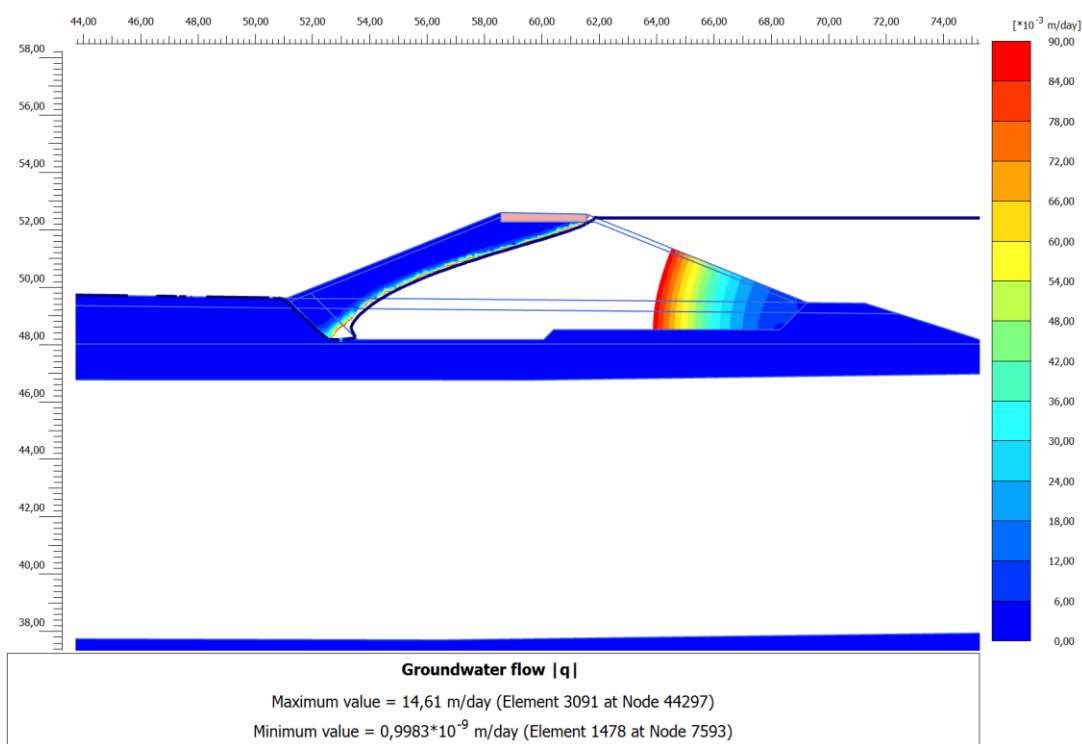
Příloha 2.3 Svislé posuny – předpokládané sednutí násypu hráze po výstavbě



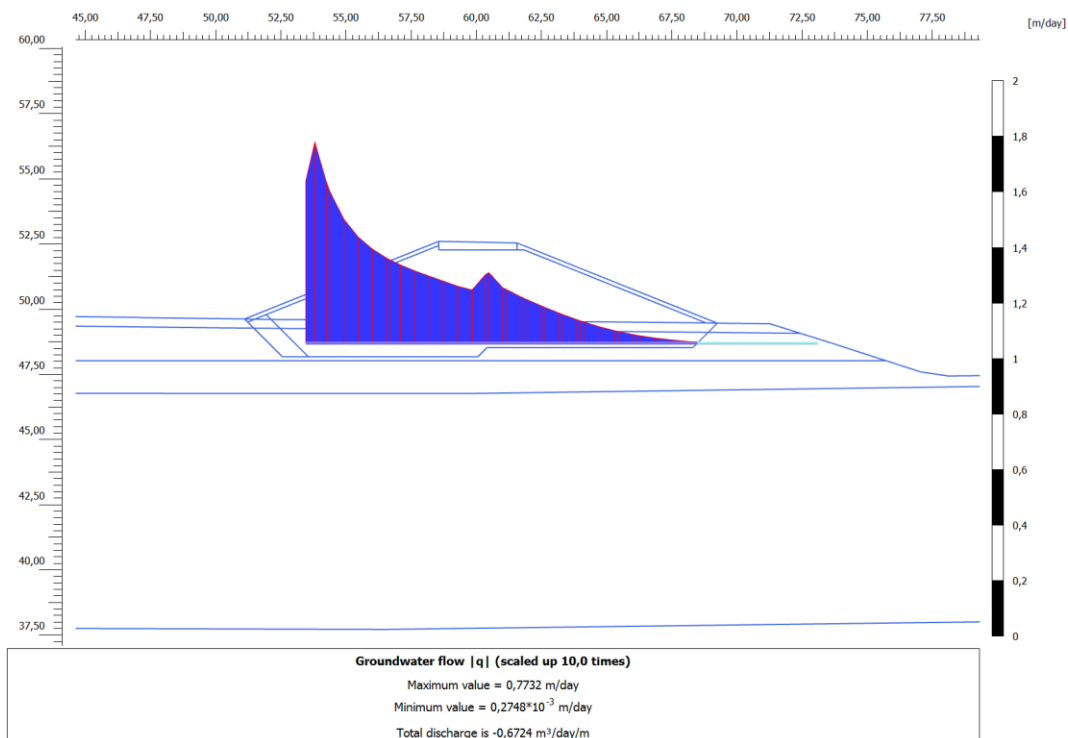
Příloha 2.4 Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňová hladina



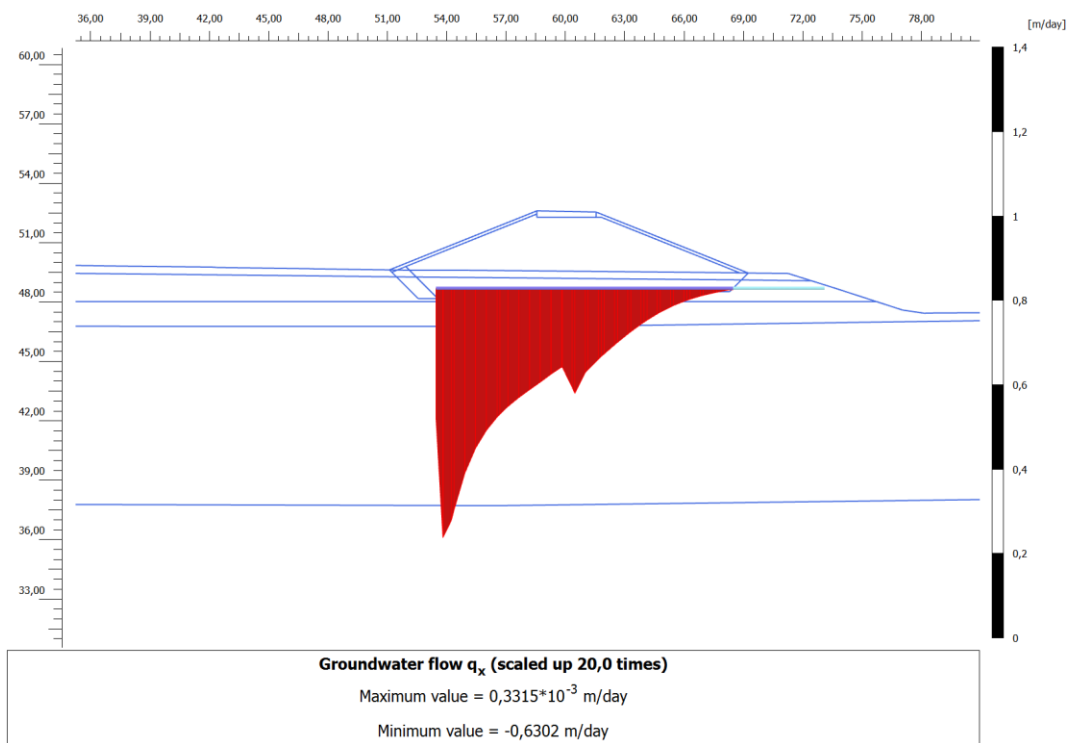
Příloha 2.5 Celková rychlost proudění – povodňová hladina



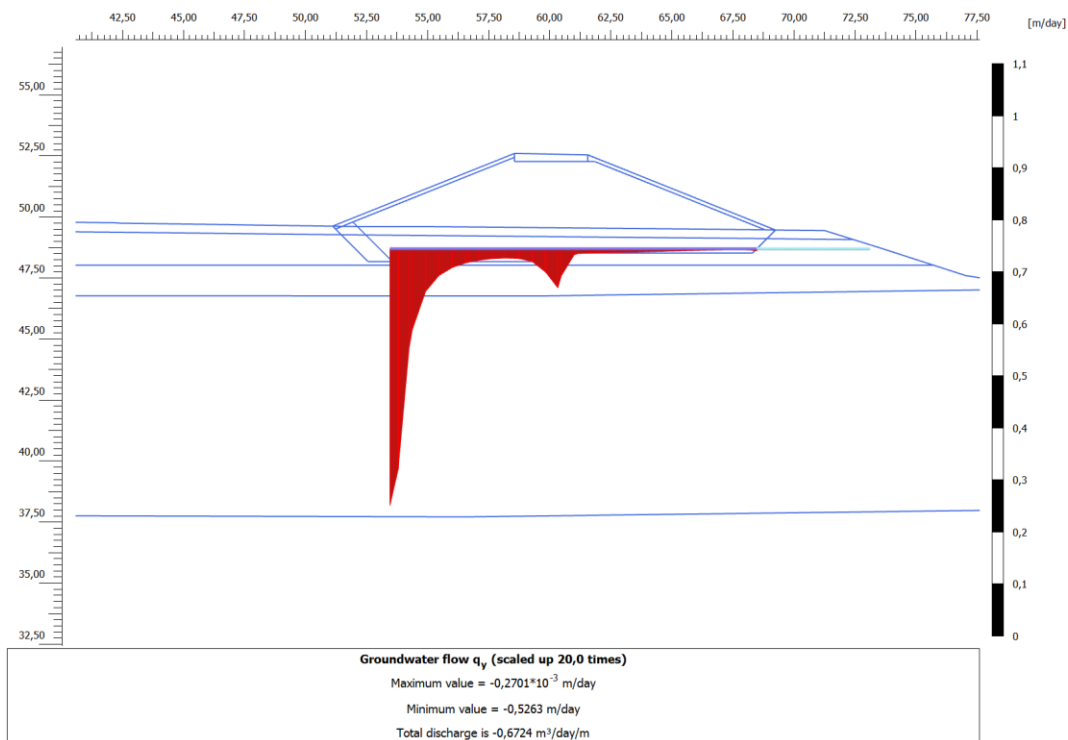
Příloha 2.6 Oblasti s rychlostí nižší než kritická rychlost 0.09 m/den pro sufózní jevy- povodňová hladina



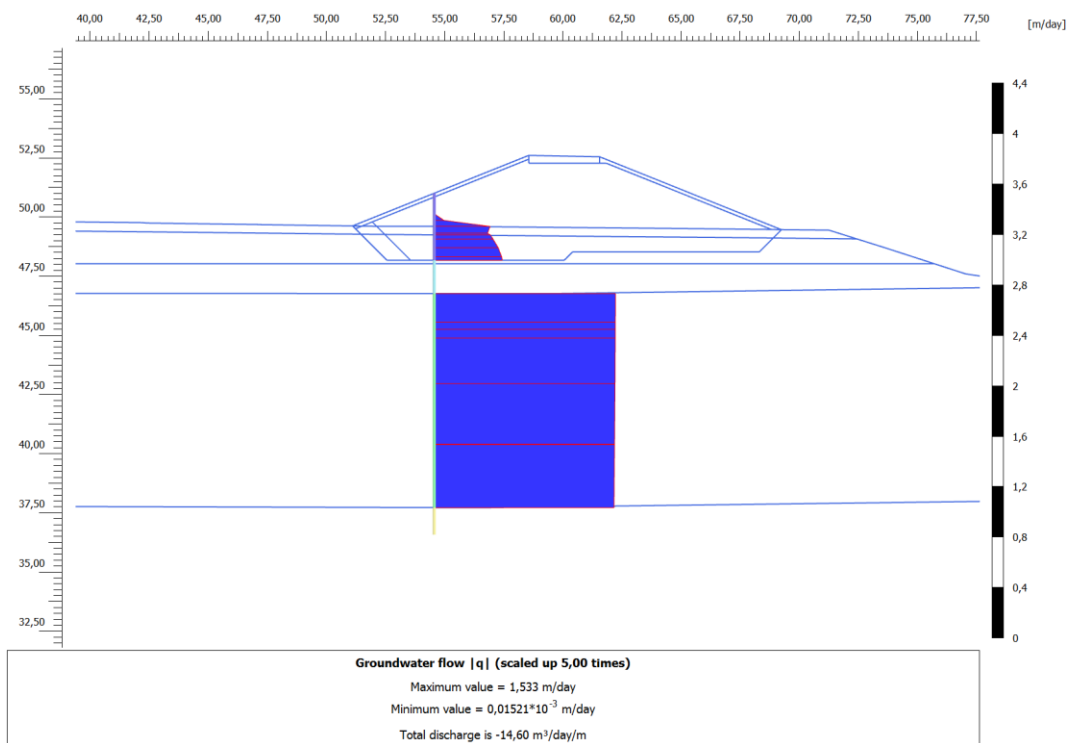
Příloha 2.7 Celková rychlost proudění – pata hráze – povodňový stav



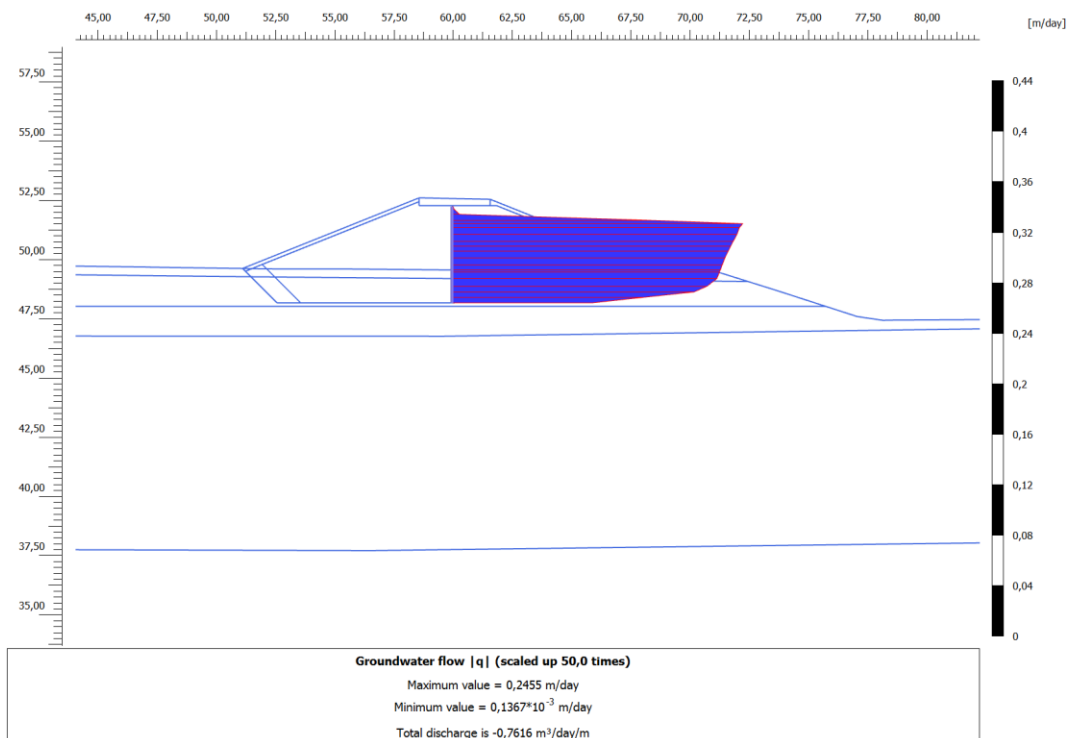
Příloha 2.8 Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata hráze – povodňový stav



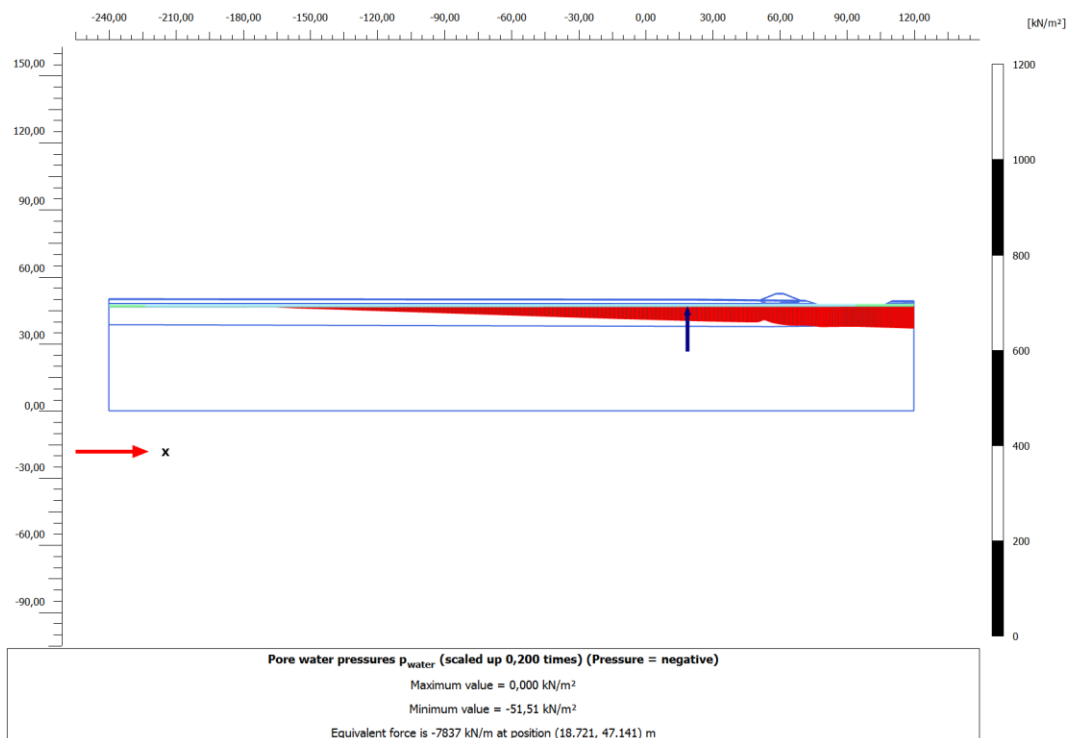
Příloha 2.9 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata hráze – povodňový stav



Příloha 2.10 Celková rychlost proudění  $q$  v řezu hrází a podloží – povodňový stav

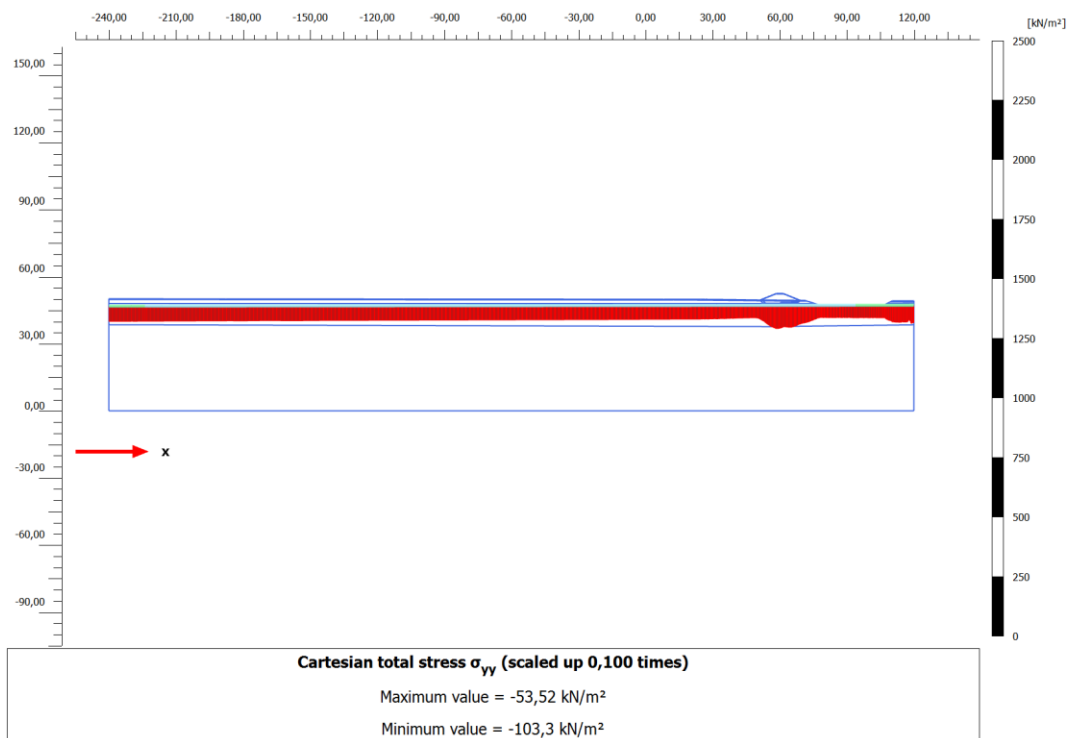


Příloha 2.11 Celková rychlost proudění  $q$  a celkový průtok– svislý řez středem hráze – povodňový stav

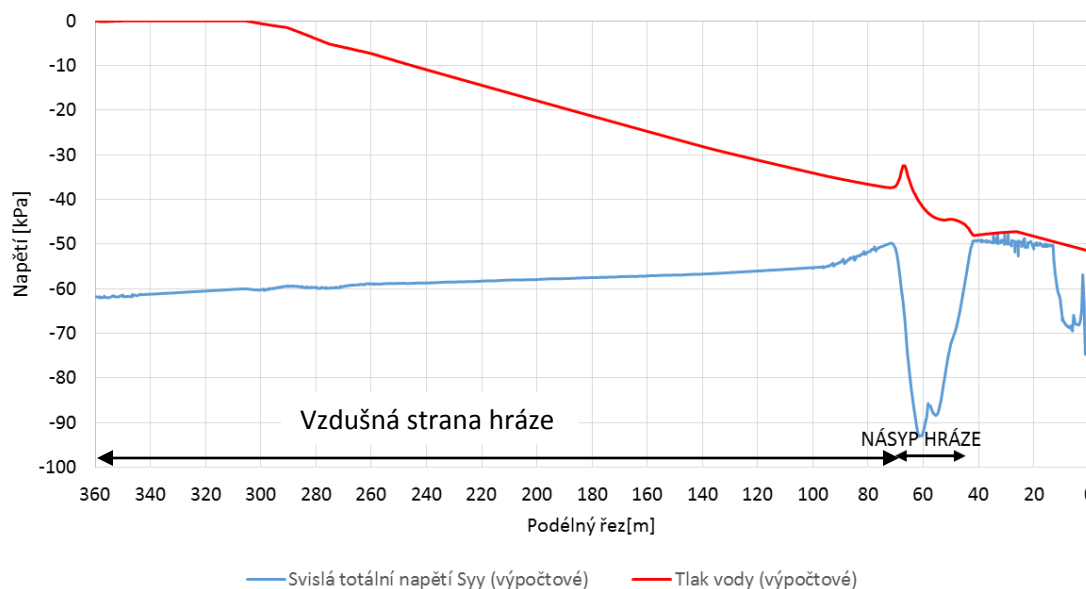


Příloha 2.12 Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev ( rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav

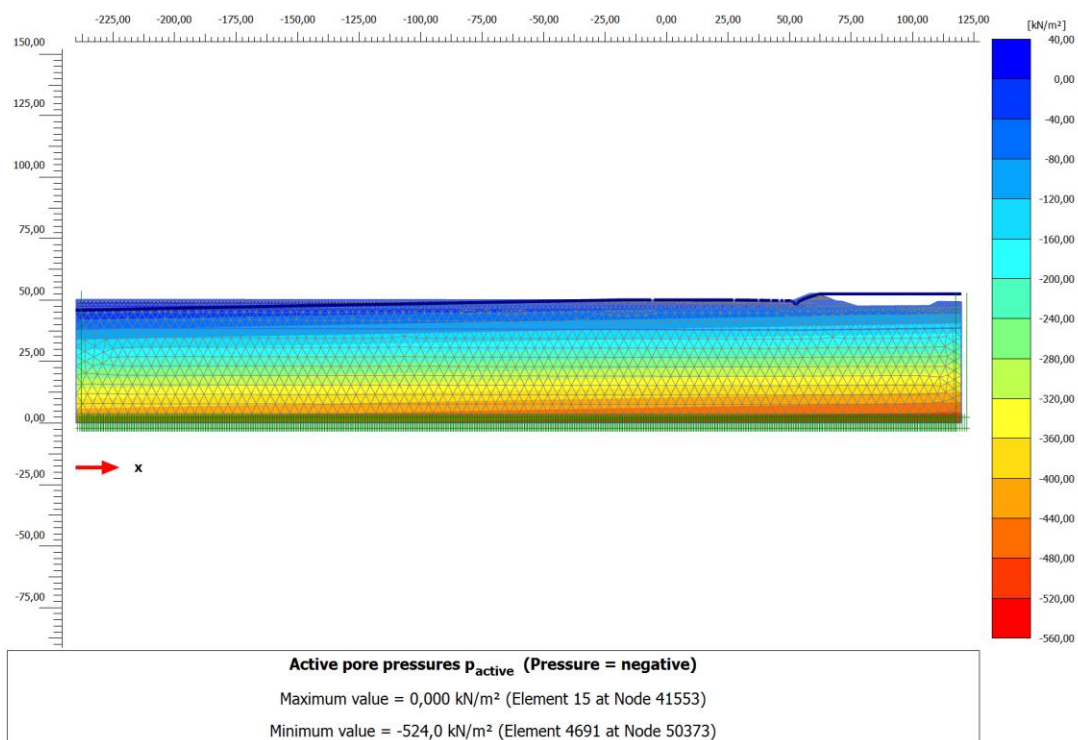




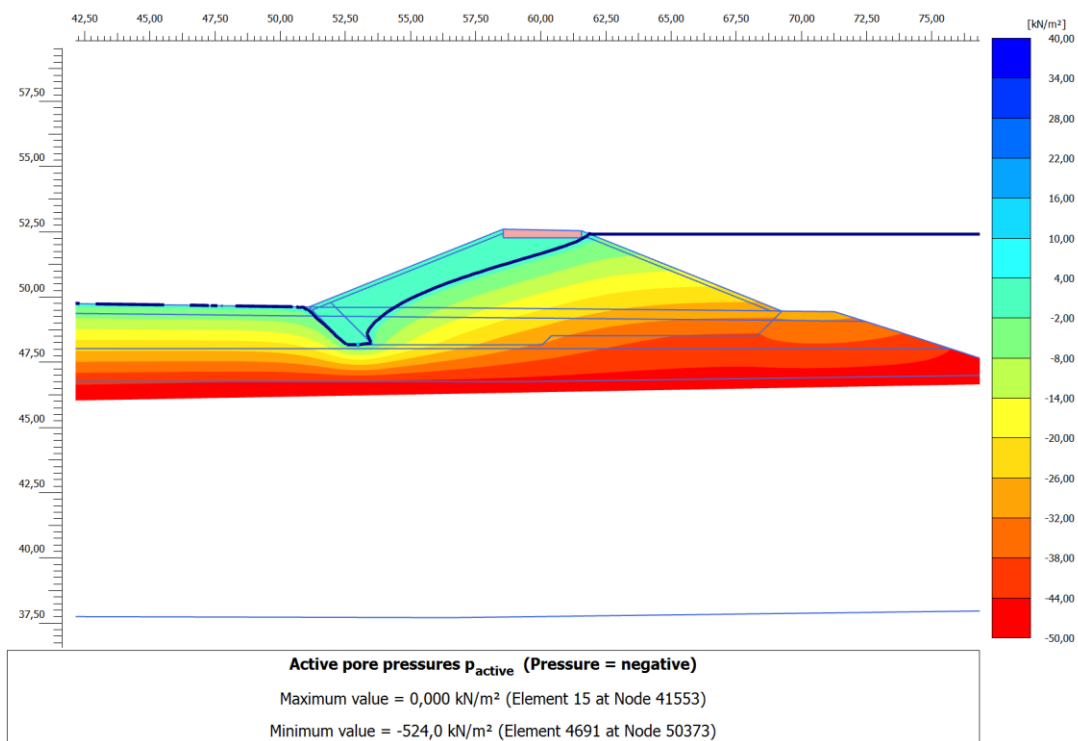
Příloha 2.13 Totální napětí  $\sigma_y$  – *podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav*



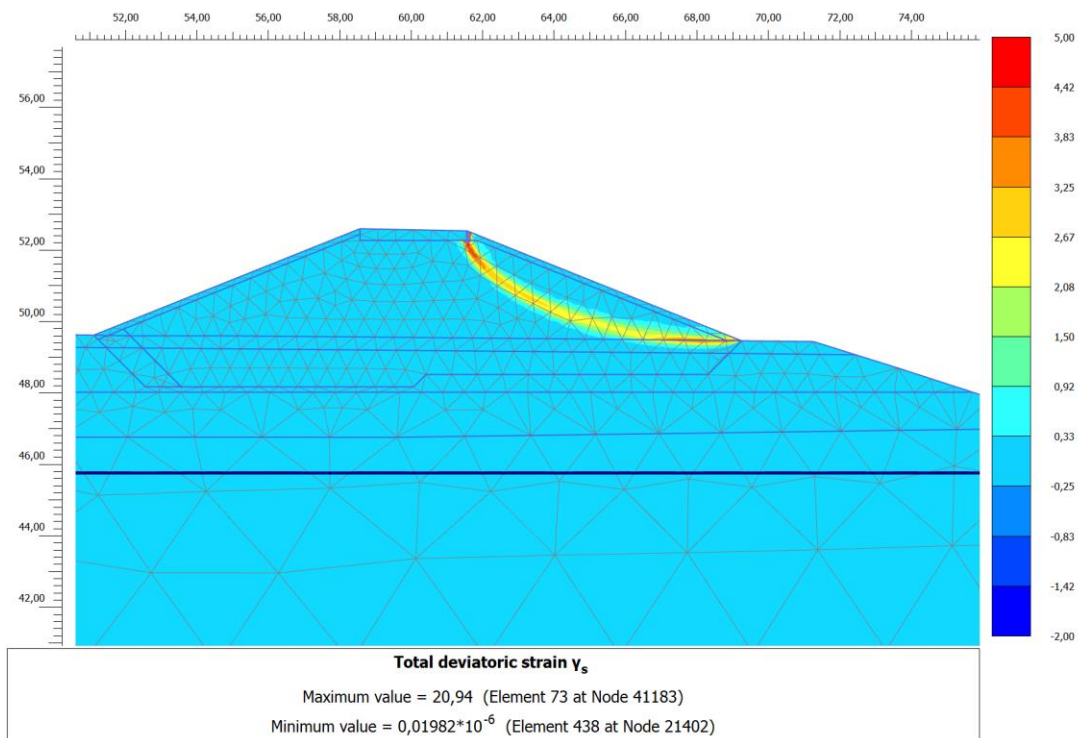
Příloha 2.14 Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav



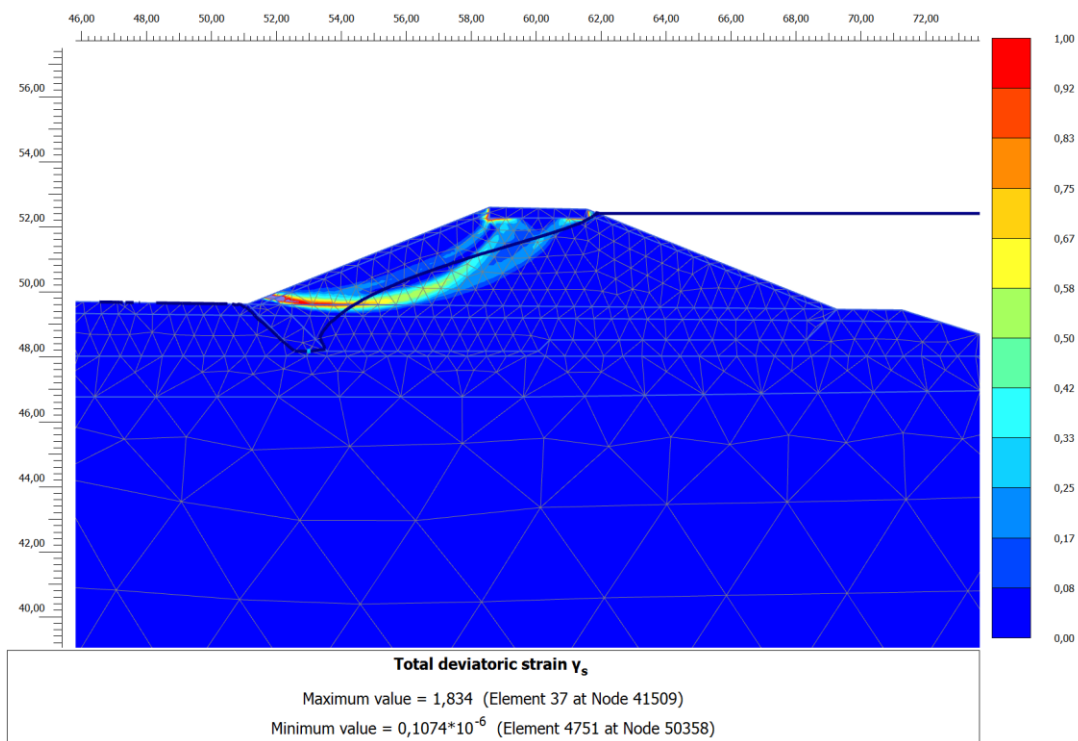
Příloha 2.15 Aktivní pórový tlak – povodňový stav



Příloha 2.16 Aktivní pórový tlak ( detail) – povodňový stav

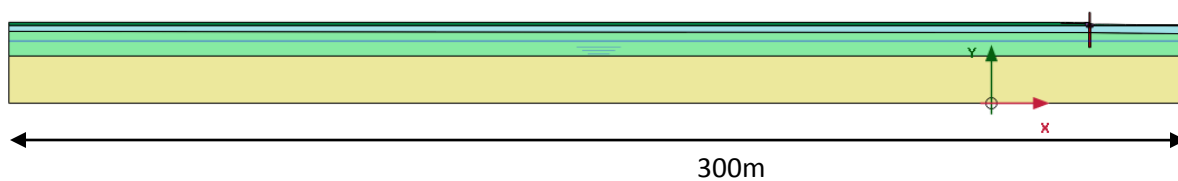


Příloha 2.17 Lokalizace krivické smykové plochy ve stavu před povodní – stupeň stability  $Msf = 1,56$

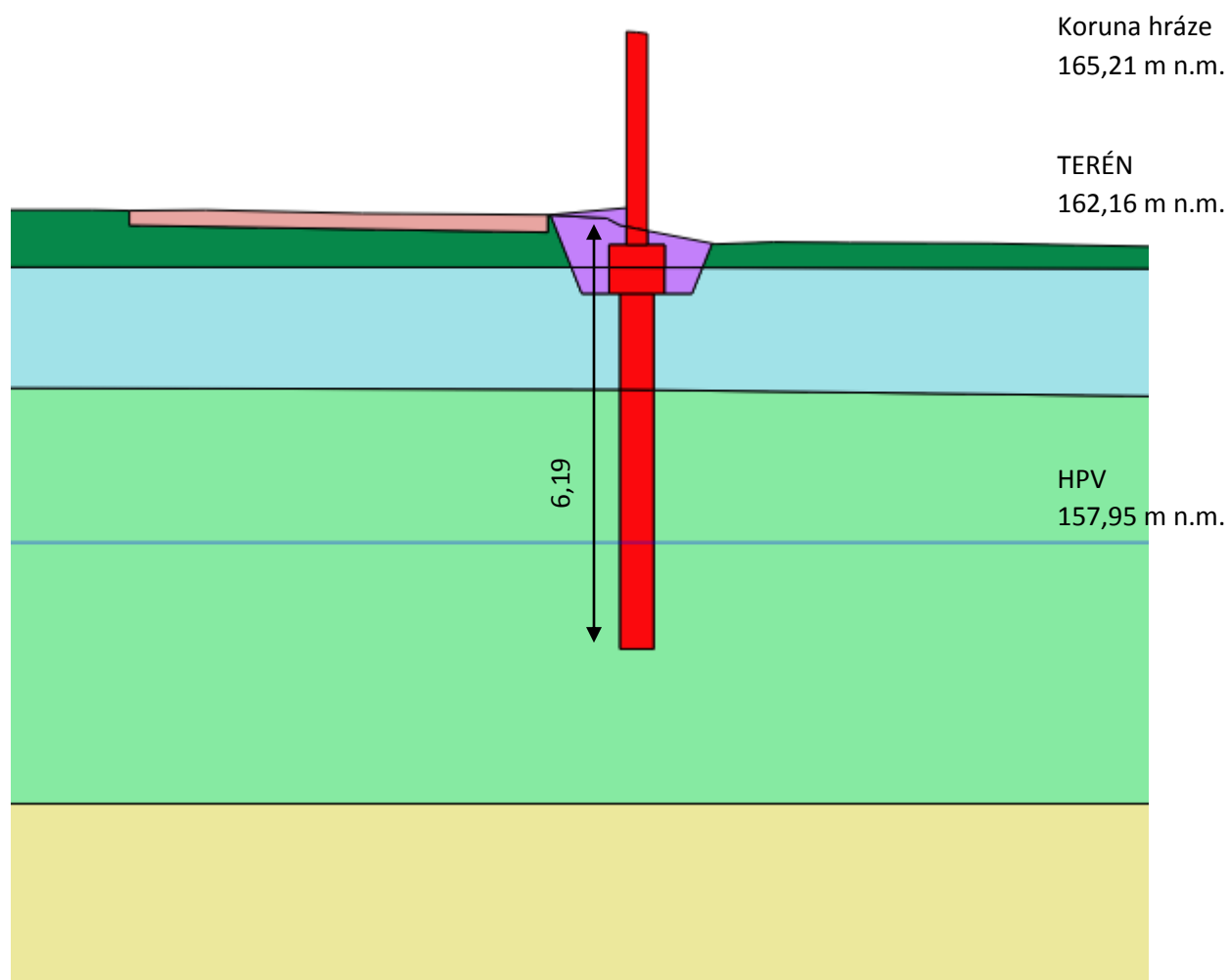


Příloha 2.18 Lokalizace kritické smykové plochy v povodňovém stavu – stupeň stability  $Msf = 1,62$

### PŘÍLOHA č.3 – výpočtový profil č. 22

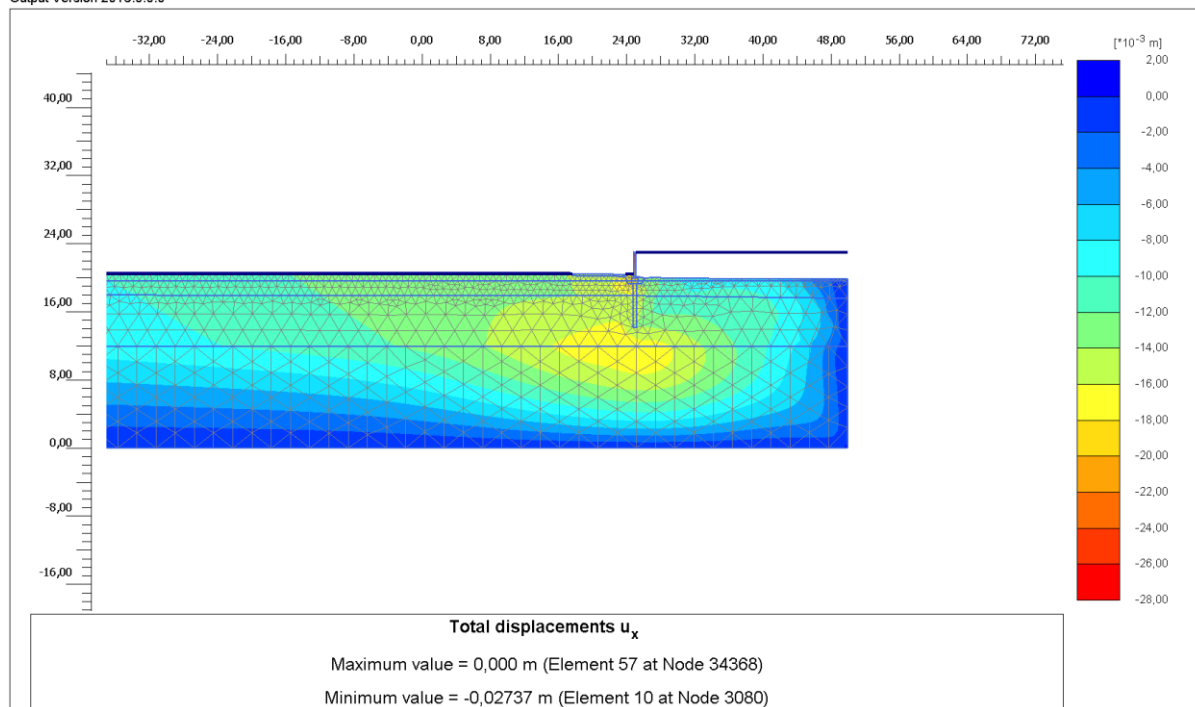


Příloha 3.1 *Profil 22 - celkový numerický model*



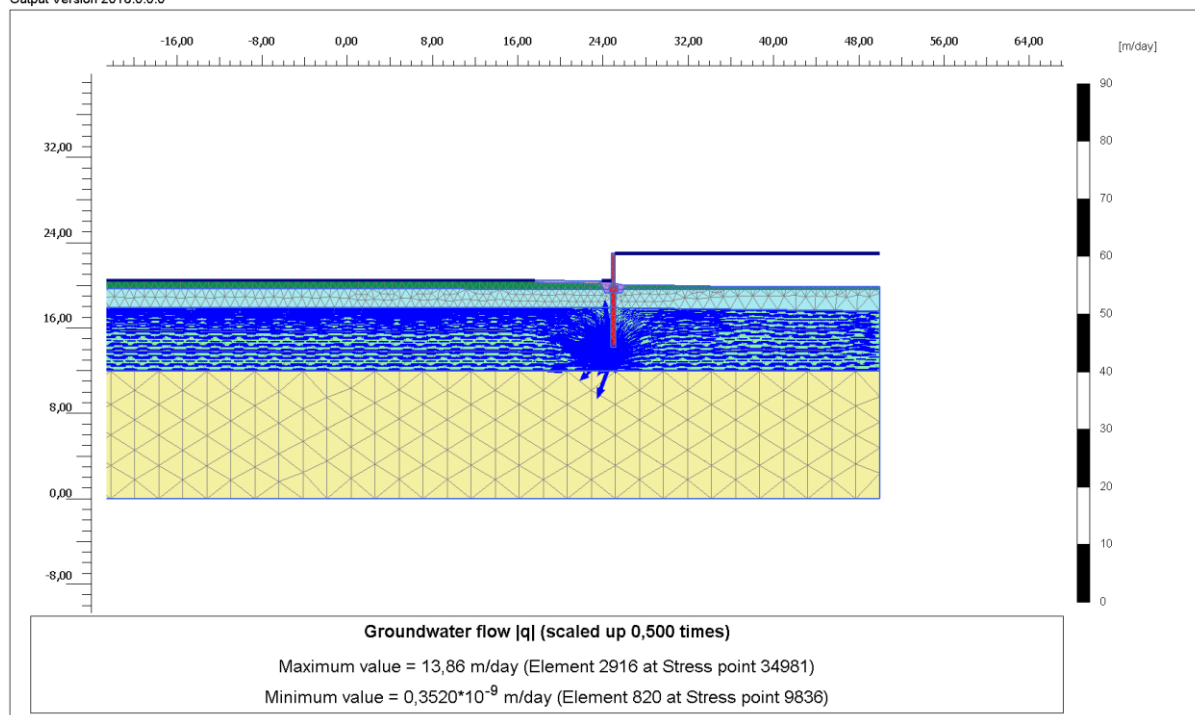
Příloha 3.2 *Detail numerického modelu v místě ŽB zdi*

Output Version 2018.0.0.0



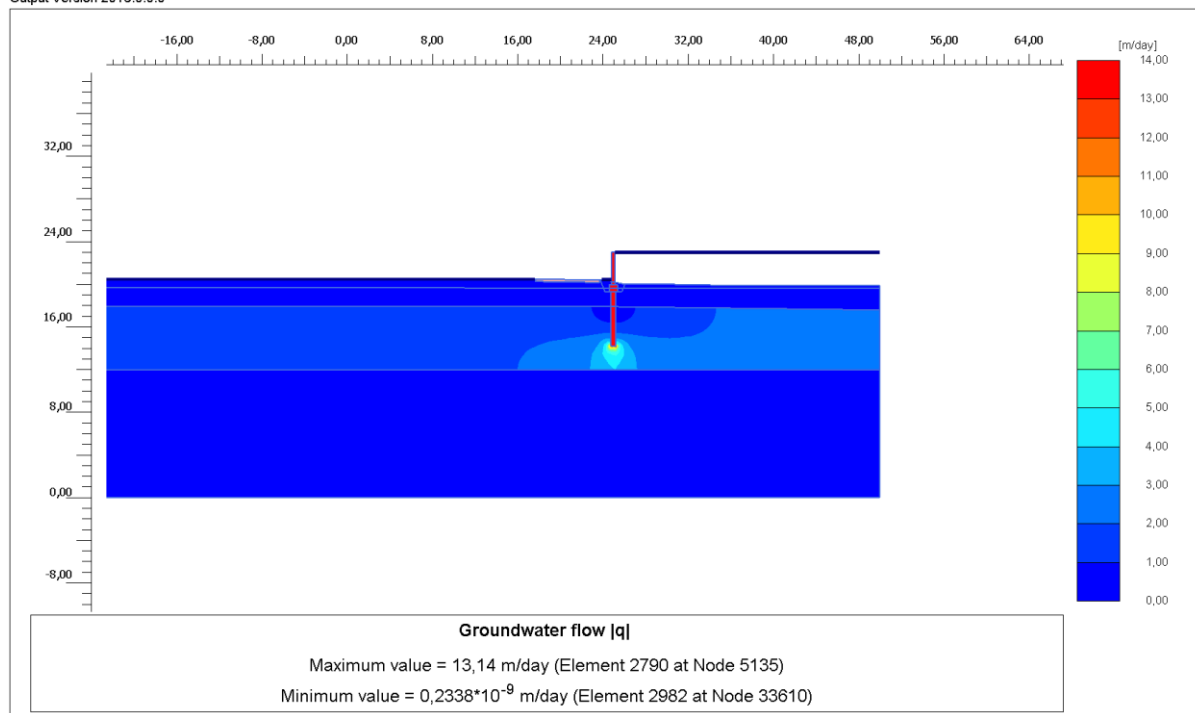
Příloha 3.3 Horizontální posuny hráze a jejího okolí po přetížení vodou – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



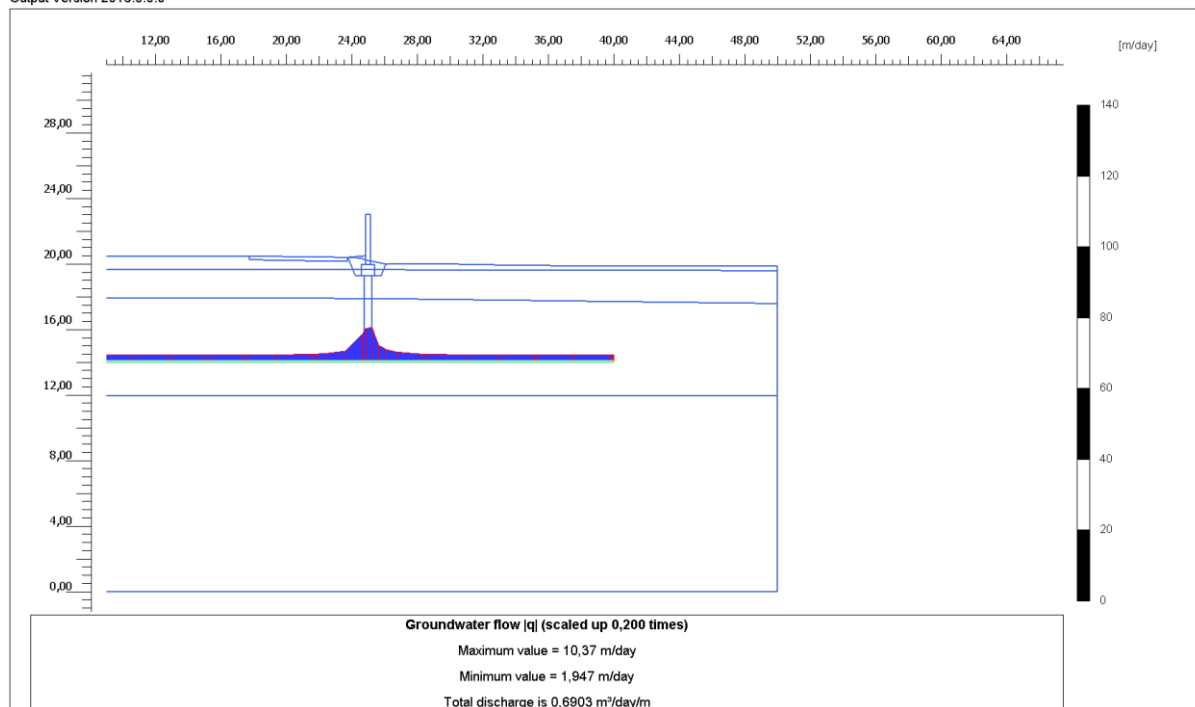
Příloha 3.4 Směry a velikosti celkové rychlosti proudění – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



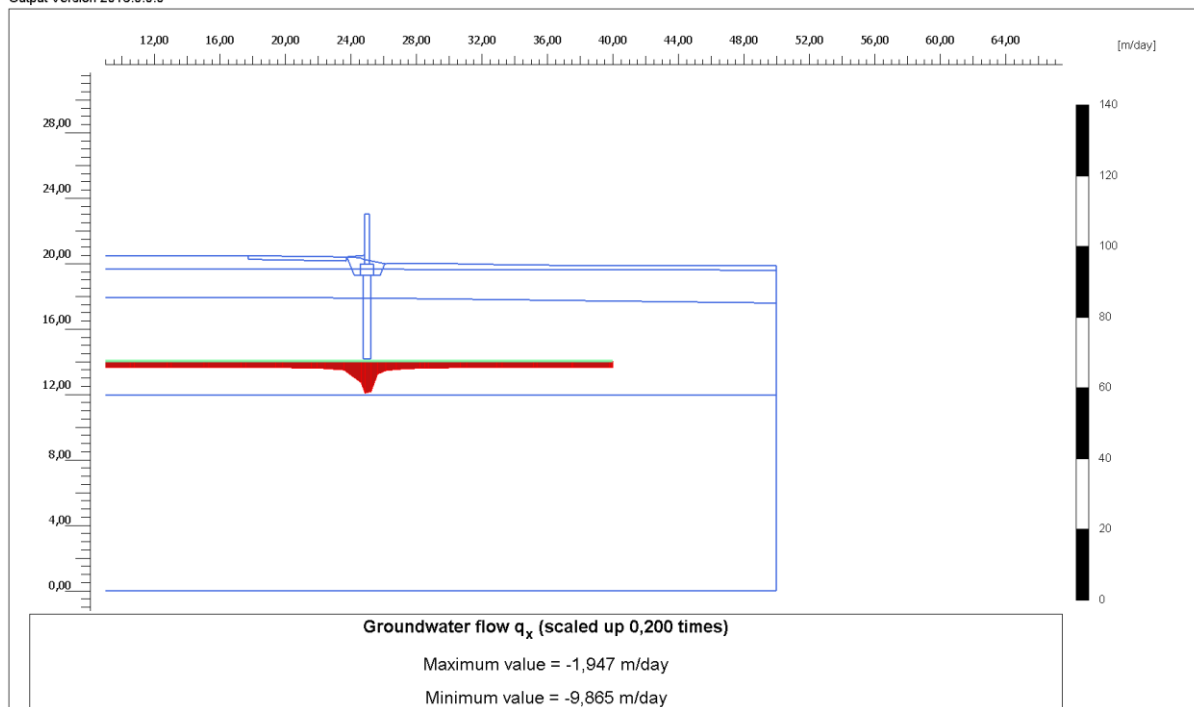
Příloha 3.5 Celková rychlost proudění – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



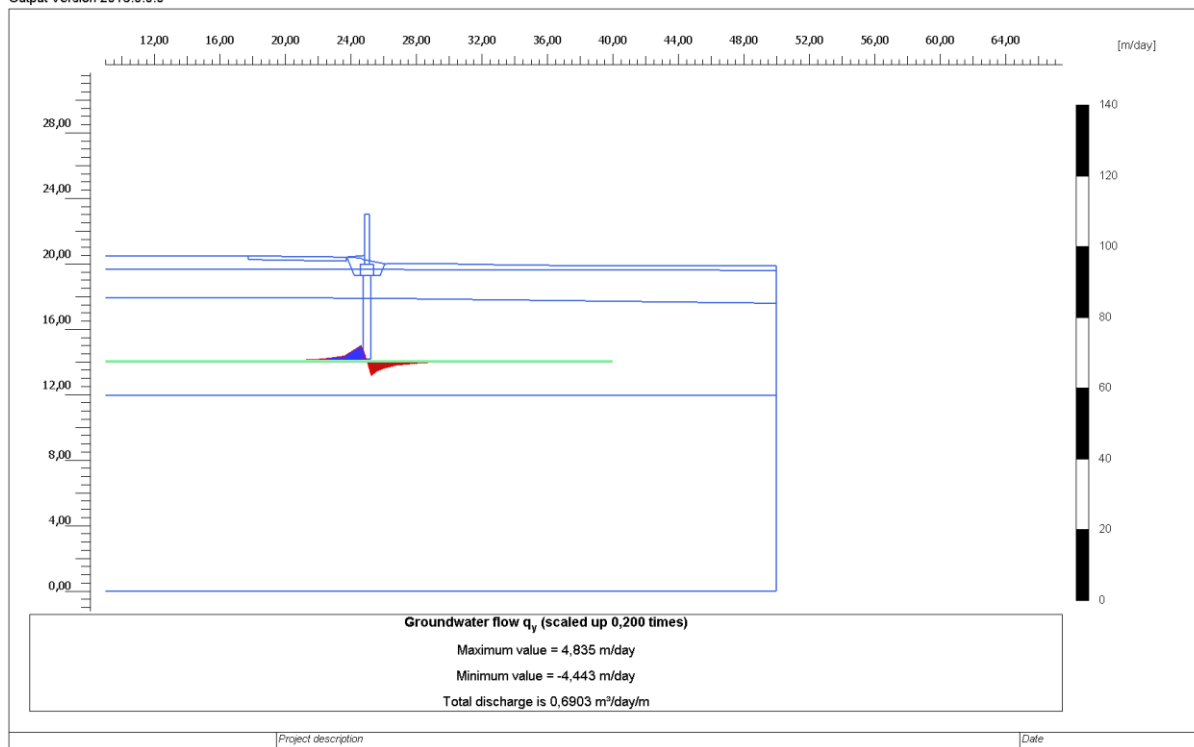
Příloha 3.6 Celková rychlost proudění – pata piloty – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



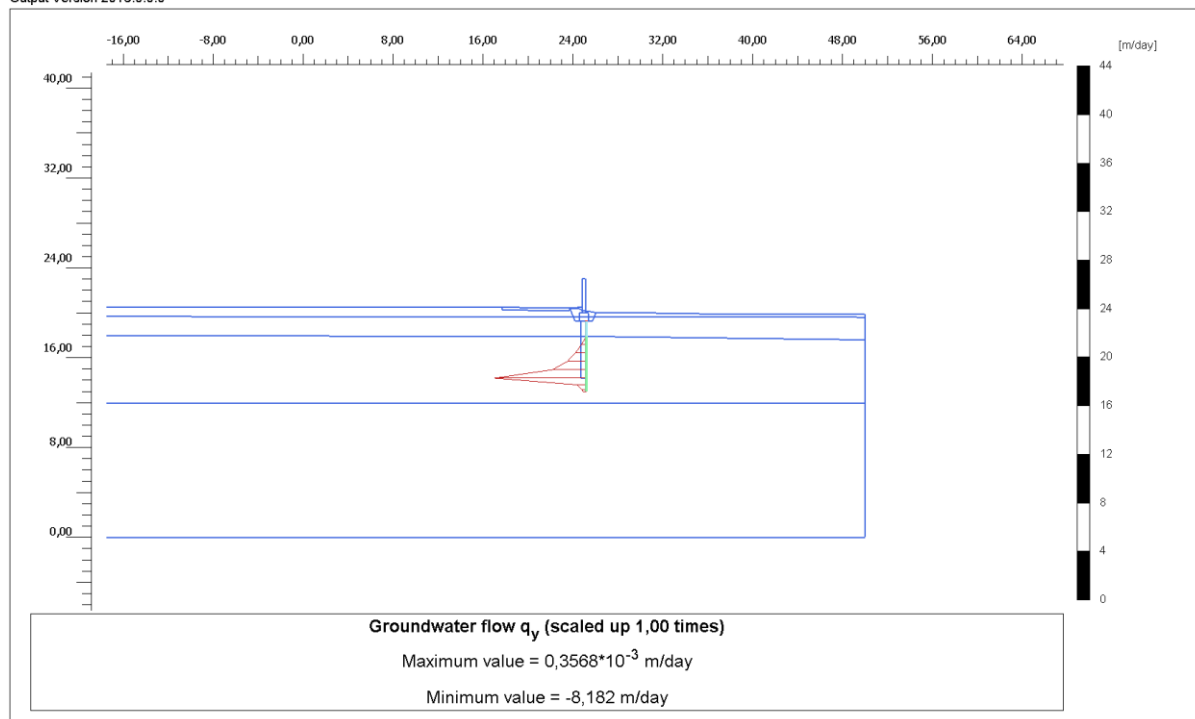
Příloha 3.7 Rychlost proudění v horizontálním směru  $q_x$  – pata piloty – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



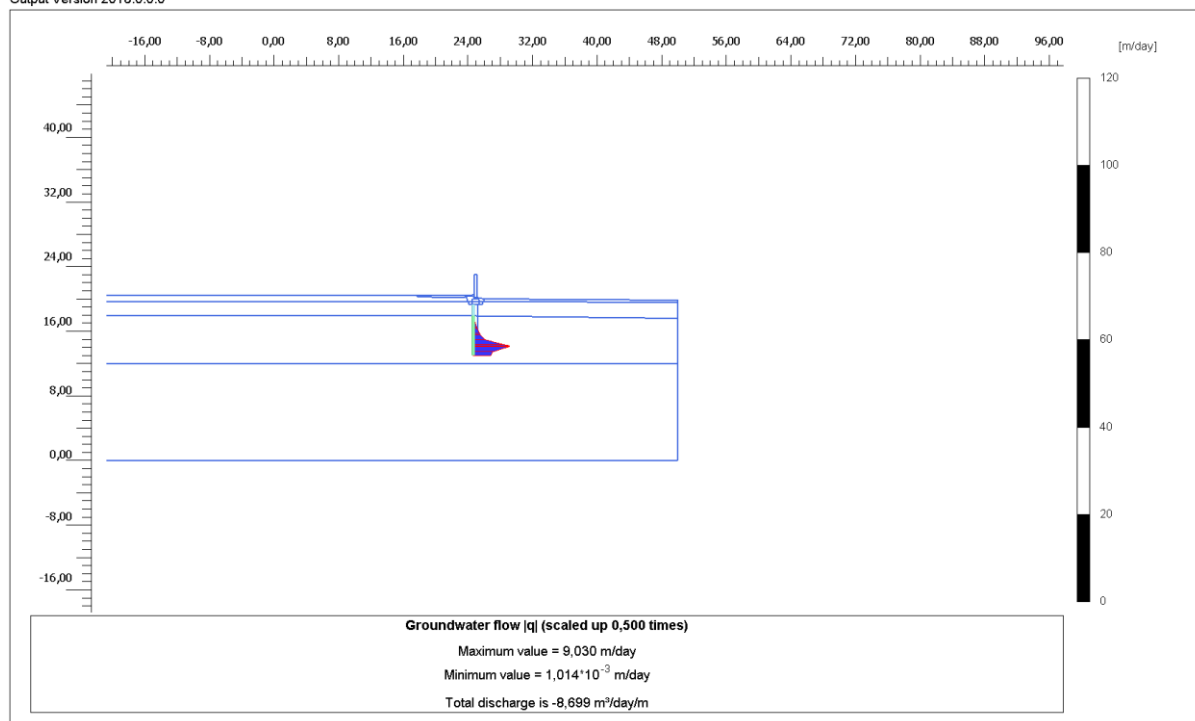
Příloha 3.8 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – pata piloty – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



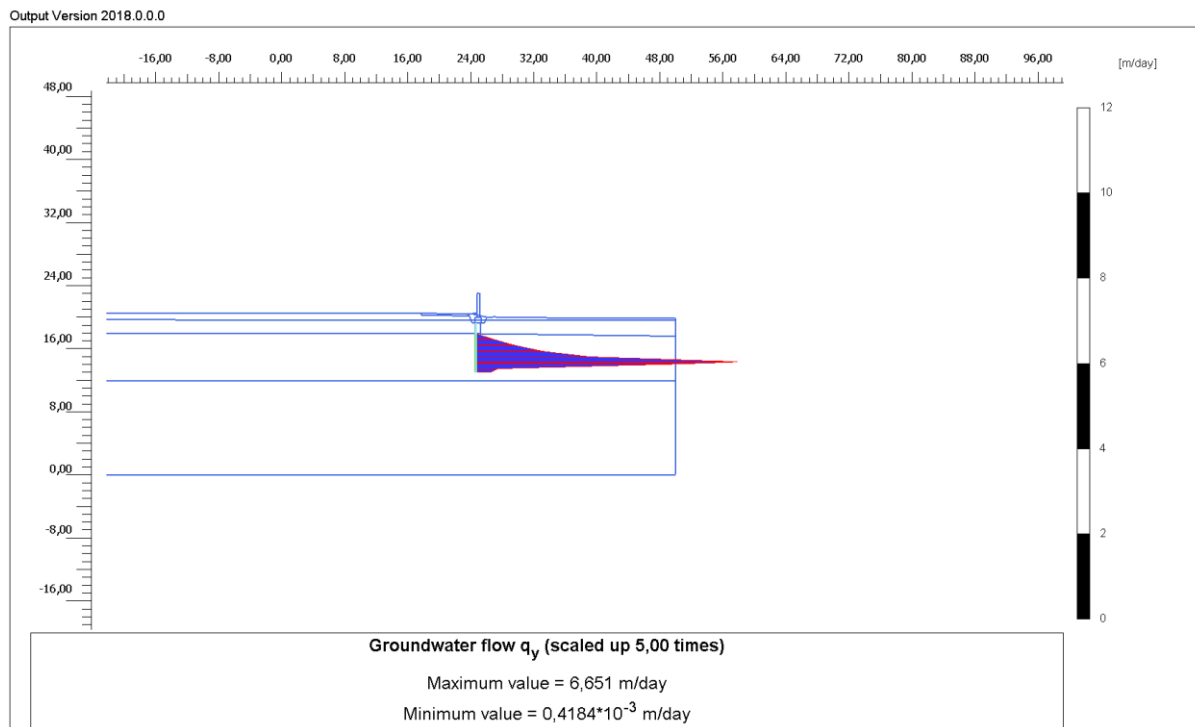
Příloha 3.9 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (návodní strana) – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0

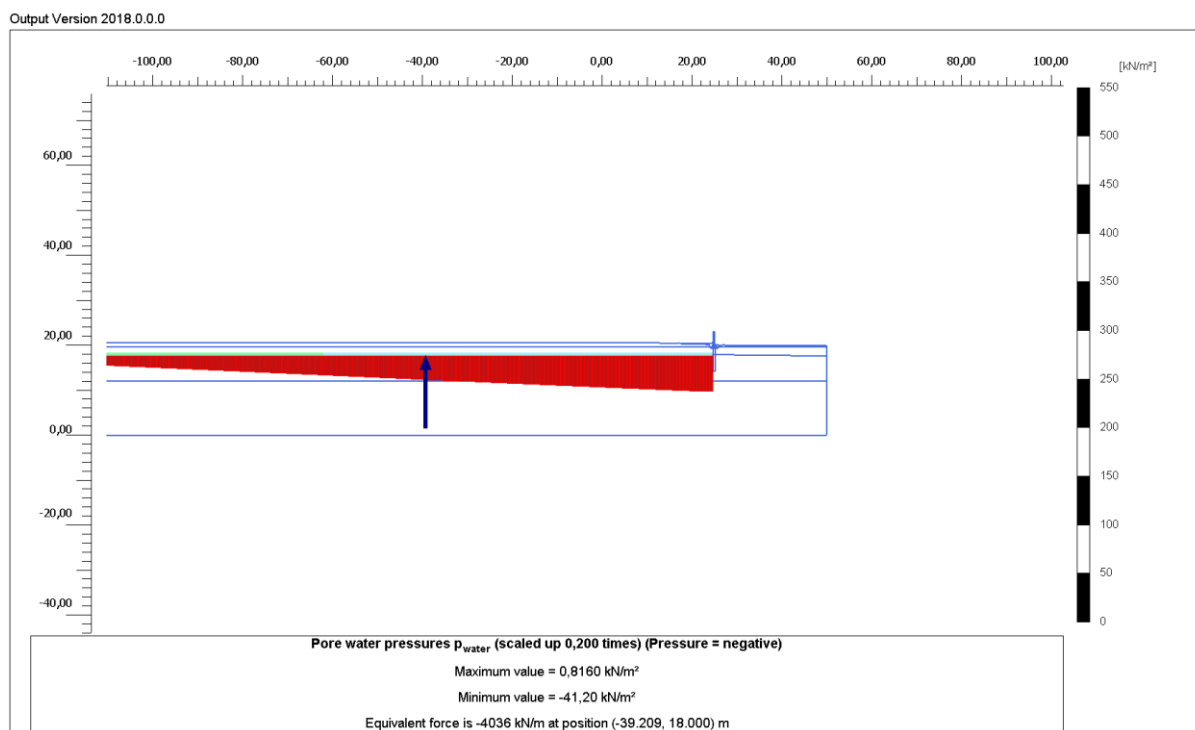


Příloha 3.10 Celková rychlost proudění – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav

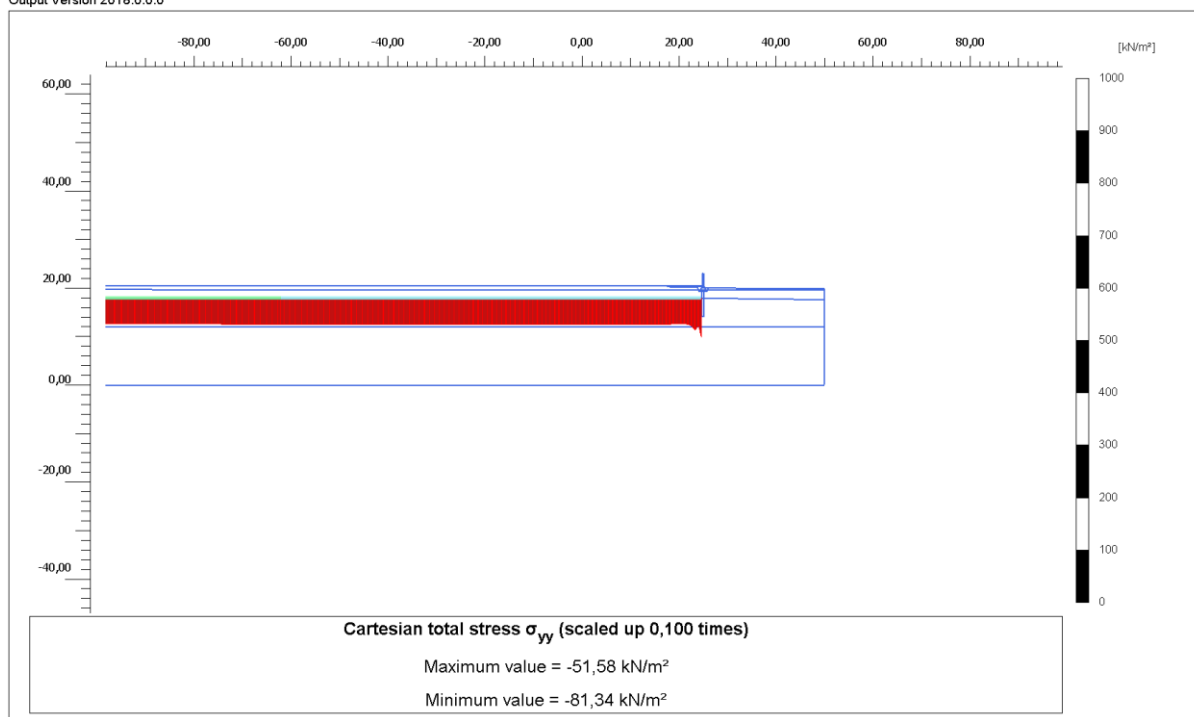




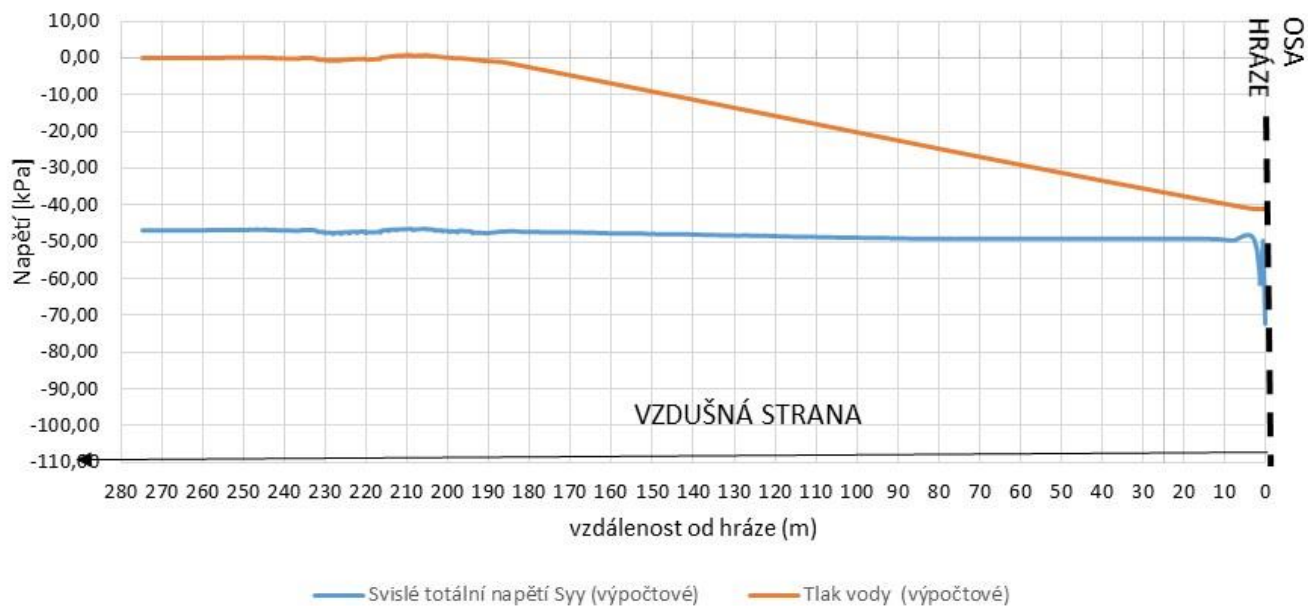
Příloha 3.11 Rychlost proudění ve vertikálním směru  $q_y$  – podél piloty (vzdušná strana) – povodňový stav



Příloha 3.12 Tlak vody – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav

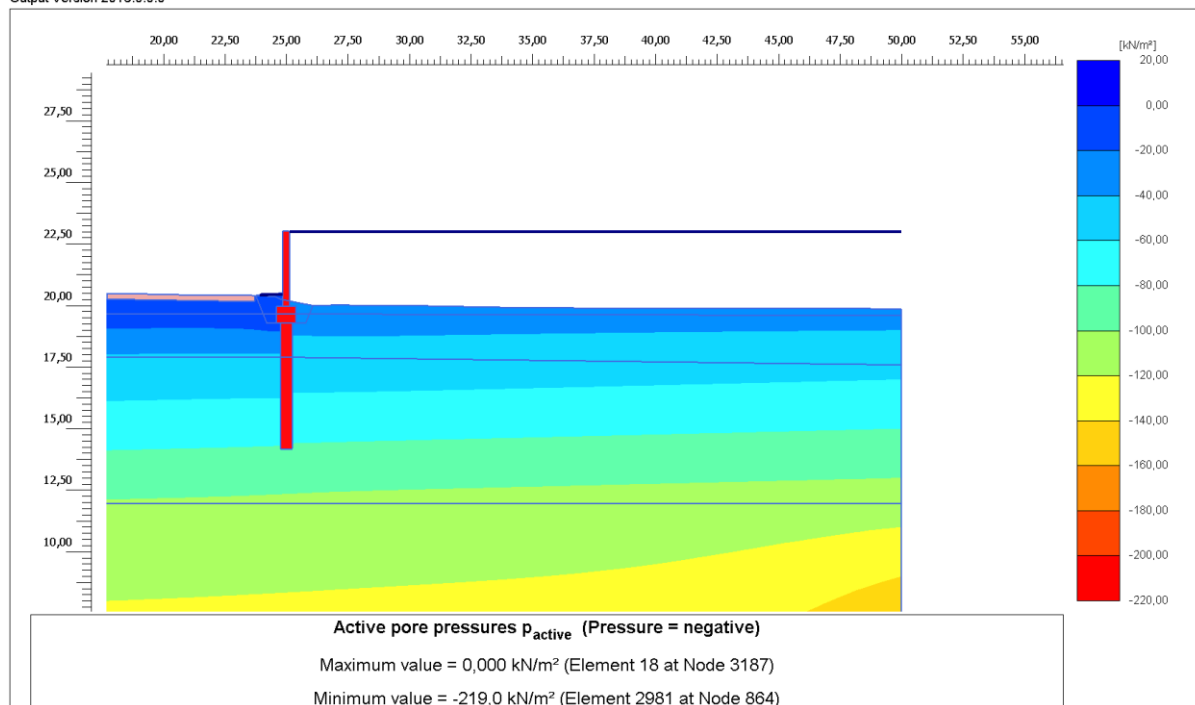


Příloha 3.13 Totální napětí  $\sigma_y$  – podélný řez na rozhraní štěrků a nadložních jílových vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav



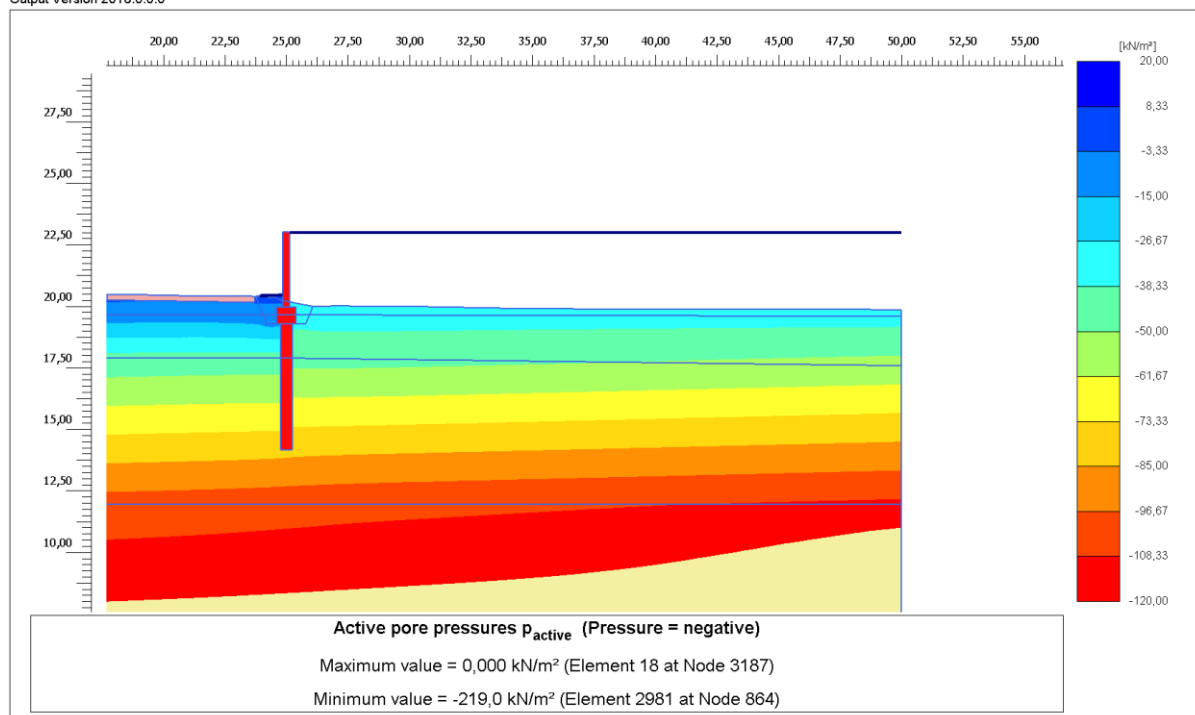
Příloha 3.14 Srovnání tlaku vody a svislých totálních napětí v podélném řezu na rozhraní štěrků a nadložních jílovitých vrstev (rozhraní GT2/GT3a) – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0

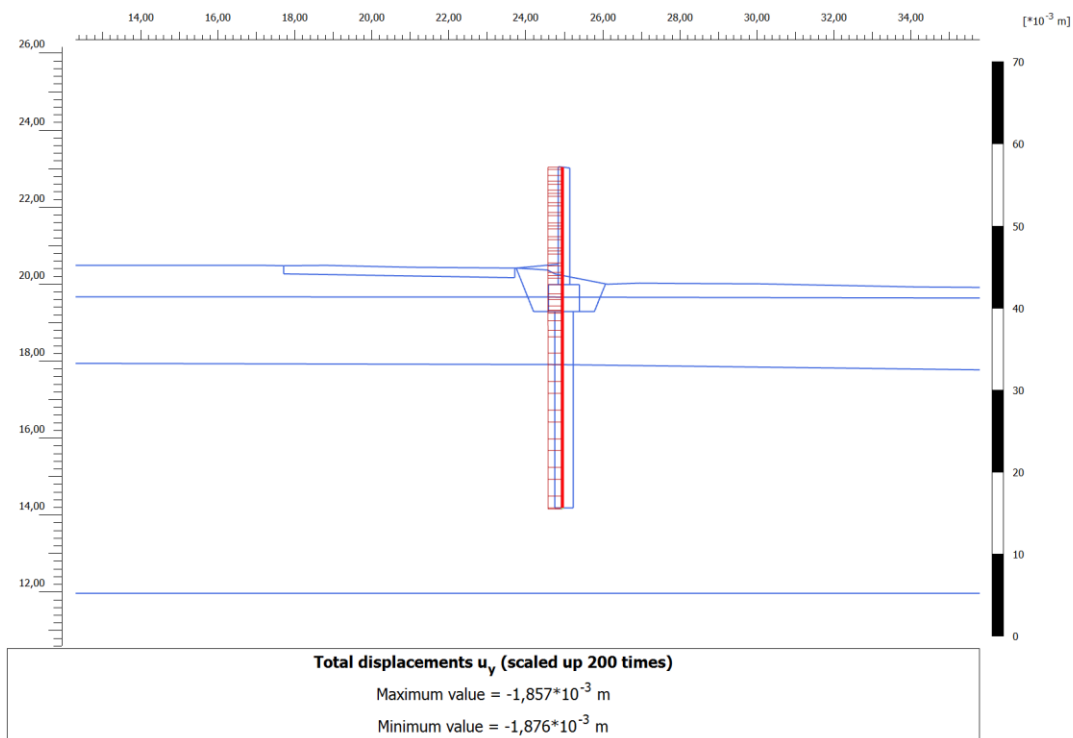


Příloha 3.15 Aktivní pórový tlak – povodňový stav

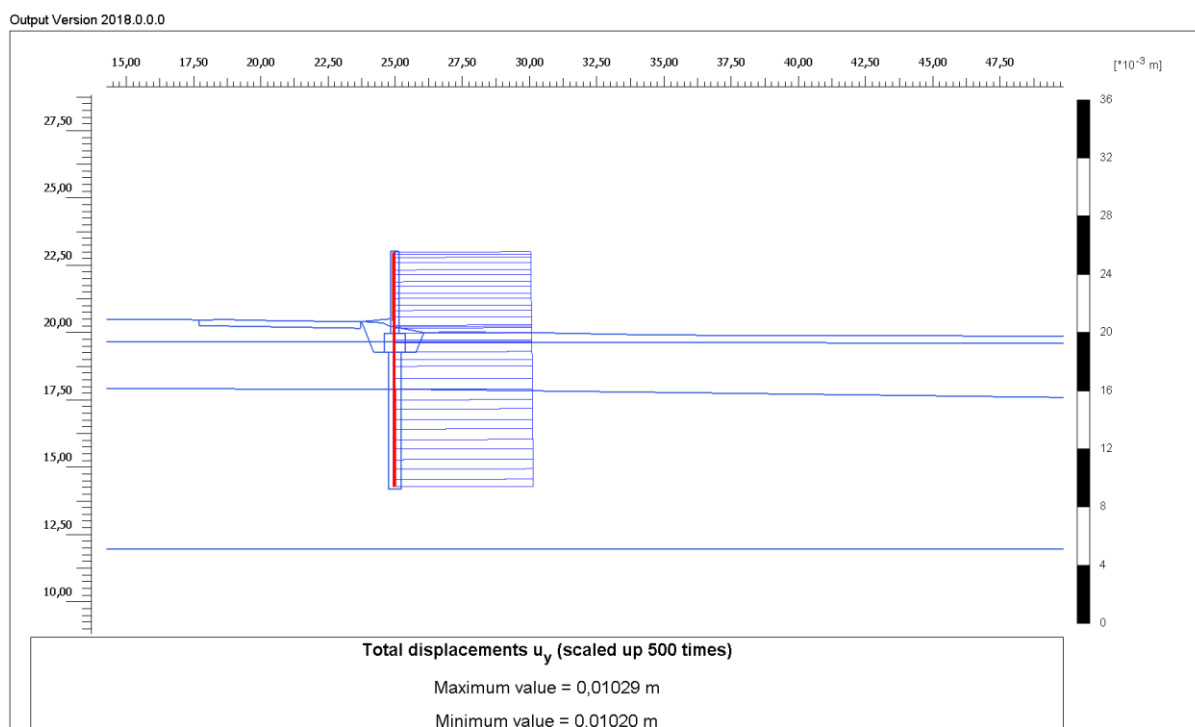
Output Version 2018.0.0.0



Příloha 3.16 Aktivní pórový tlak ( detail) – povodňový stav

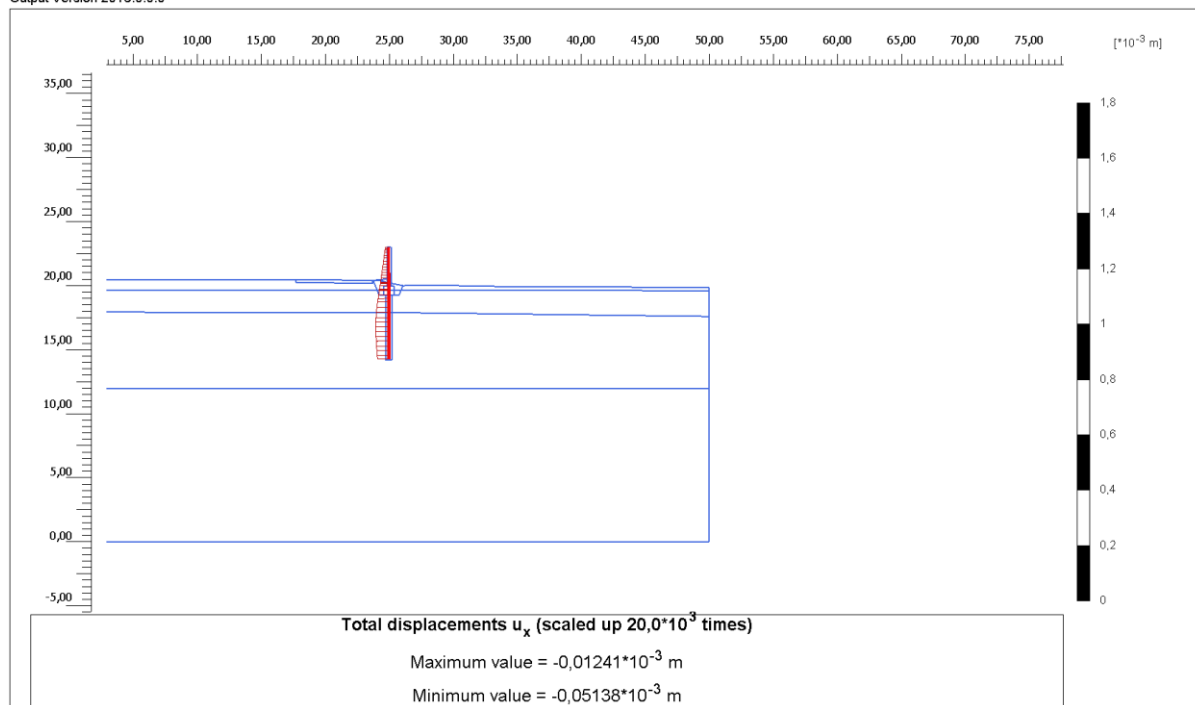


Příloha 3.17 Vertikální posuny v konstrukci – předpovodňový stav



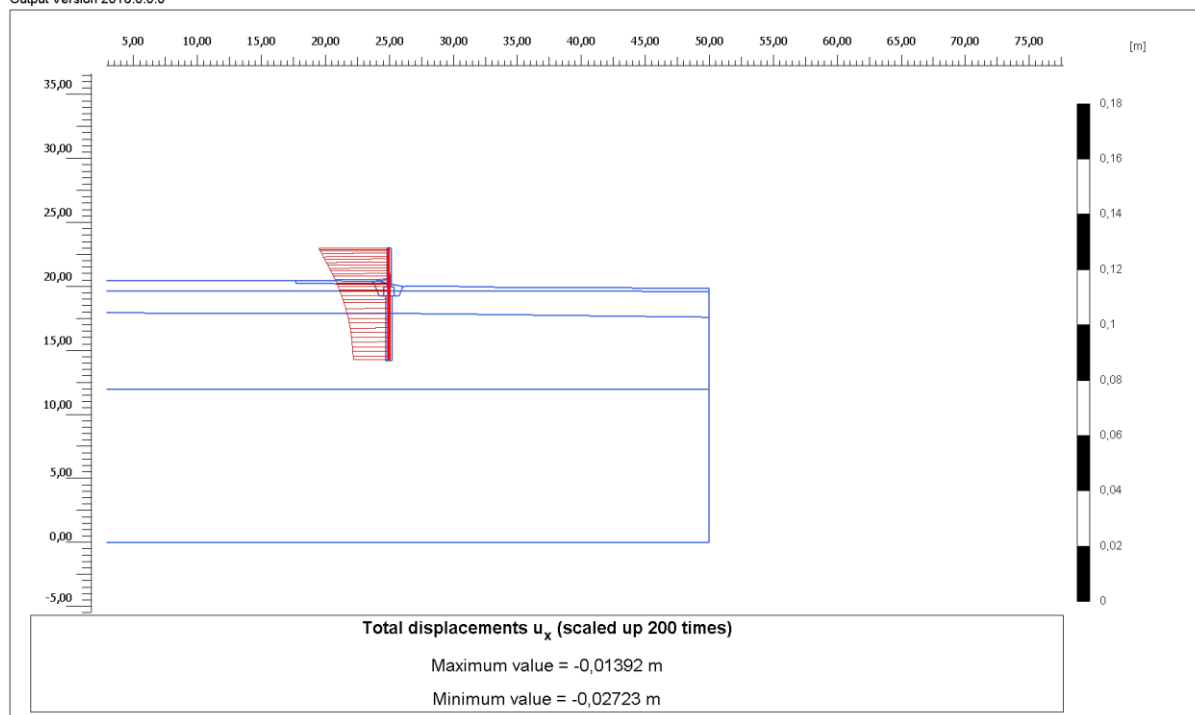
Příloha 3.18 Vertikální posuny v konstrukci – povodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



Příloha 3.19 Horizontální posuny v konstrukci – předpovodňový stav

Output Version 2018.0.0.0



Příloha 3.20 Horizontální posuny v konstrukci – povodňový stav