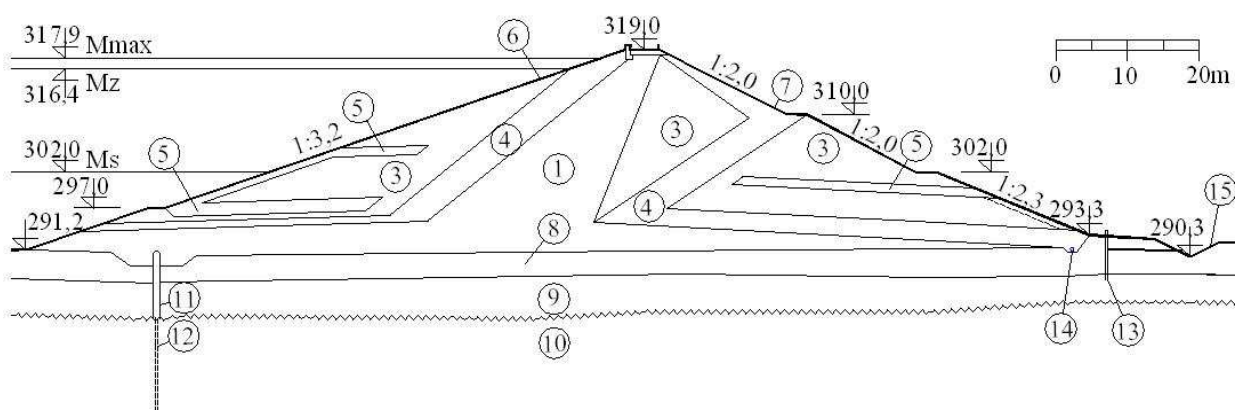


VD SLUŠOVICE

Posouzení bezpečnosti VD za povodní II. revize

TEXTOVÁ ČÁST



1 – těsnící jádro (tříděné náplavové hlíny), 2 – přechodová část (netříděné náplavové hlíny), 3 – stabilizační část (netříděné údolní štěrky) 4 – filtr (údolní štěrk bez hlinit. příměsí), 5 – drenážní vrstva (lomový kámen), 6 – návodní líc (zpevněný makadam), 7 – vzdušní líc (ohumusování a osetí), 8 – náplavové hlíny v podloží hráze, 9 – údolní štěrky v podloží hráze, 11 – jílocementová membrána, 12 – injekční clona, 13 – drenážní studna, 14 – potrubí patního drénu, 15 – odvodňovací, sběrný příkop.

VODNÍ DÍLA – TBD a. s., Hybernská 40, 110 00 Praha 1

Telefon 221 408 111* Fax 224 212 803 www.vdtbd.cz
Pracoviště Studená 2, 638 00 Brno (útvár 403 – vodní díla na Moravě a ve Slezsku)
Telefon 544 545 120* Fax 544 545 121

Ředitel	Ing. Miloš Sedláček
Vedoucí útvaru 403	Ing. Jiří Hodák
Vedoucí projektu	Ing. Petr Holomek
Vypracoval	Ing. Petr Holomek
Spolupráce	Mariana Kyjasová

VD SLUŠOVICE

POSOUZENÍ BEZPEČNOSTI VD ZA POVODNÍ - II. REVIZE

Objednatel	Povodí Moravy, státní podnik
Číslo projektu	P255/12
Archivní číslo	2284/403
Vypracováno	V Brně, květen 2012

OBSAH

1.	ÚVOD	5
2.	ÚČEL A POPIS VD	5
2.1	Účel a využití.....	5
2.2	Historie	5
2.3	Situování.....	5
2.4	Klimatologické údaje – větrná růžice.....	6
2.5	Hydrologické údaje.....	7
2.5.1	Základní údaje	7
2.5.2	M–denní průtoky (Q_M)*	7
2.5.3	N–leté průtoky (Q_N) a jim odpovídajících objemy (W), doby trvání (T)	7
2.5.4	Povodeň 07/1997^	7
2.5.5	Průběh teoretické návrhové povodňové vlny (NPV_{1000}).....	8
2.5.6	Průběhy teoretických kontrolních povodňových vln (KPV_{1000}).....	8
2.6	Charakteristika nádrže (křivka objemů a ploch)	9
2.7	Technické parametry	9
2.7.1	Vzorový (teoretický) příčný řez hrází.....	9
2.7.2	Rozdělení prostoru nádrže.....	10
2.7.3	Vzdouvací objekt - hráz	10
2.7.4	Boční přeliv, skluz.....	10
2.7.5	Vtokový objekt	10
2.7.6	Výpustná chodba (chodba spodních výpustí)	10
2.7.7	Spodní výpusti	11
2.7.8	Výpustný objekt (strojovna regulačních uzávěrů).....	11
2.7.9	Vývar a odpadní koryto	11
2.7.10	Těsnění podloží (injekční clona, jílocementová membrána).....	11
2.7.11	Odvodnění hráze a jejího podloží.....	12
2.8	Směrodatné průtoky.....	12
2.8.1	Minimální průtok pod VD.....	12
2.8.2	Neškodný průtok pod VD.....	12
3.	ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY	12
3.1	Požadovaná míra bezpečnosti VD za povodní	12
3.2	Hydrologické podklady	13
3.3	Technické podklady.....	13
3.3.1	Geodetické podklady	13

3.3.2	Geotechnické podklady	13
3.3.3	Charakteristika (objem) nádrže	14
3.4	Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodní.....	14
4.	STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY.....	14
4.1	Porušení násypu hráze vnitřní erozí hráze nebo jejího podloží.....	14
4.2	Porušení násypu hráze přelitím koruny hráze nebo těsnícího jádra	14
4.3	Ztráta stability násypu hráze v důsledku zvýšené hladiny v nádrži.....	15
4.4	Porucha násypu hráze v důsledku vlnobití	17
4.5	Shrnutí	17
5.	STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI.....	17
5.1	Hydraulické výpočty.....	17
5.2	Řešení transformace PV	18
5.3	Kontrolní maximální hladina v nádrži	18
6.	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ	18
6.1	Zhodnocení průchodu $KPV_{10\,000}$	18
6.2	Zhodnocení průchodu $NPV_{1\,000}$	19
7.	NÁPRAVNÁ A NOUZOVÁ OPATŘENÍ.....	19
7.1	Nápravná opatření	19
7.2	Nouzová opatření	20
8.	POUŽITÉ PODKLADY.....	21
9.	SEZNAM PŘÍLOH	22

1. ÚVOD

Předkládaný posudek je vyhotoven souladu se smlouvou o dílo č. objednatele PM014785/210-503; č. zhotovitele A739/10). Je zpracován (smluvní požadavek) jednak dle normy TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních (08/2003 - [16]) a současně také dle vyhlášky Ministerstva zemědělství o technických požadavcích pro vodní díla č. 590/2002 Sb. (12/2002) novelizovaná vyhláškou č. 367/2005 Sb. (09/2005 - [17]).

Předmětem je na podkladě základních kritérií prověřit bezpečnost díla za povodní na základě aktuálních hydrologických podkladů s předpokladem, že v případě nedostatečné zabezpečení bude proveden rozbor s návrhem nápravných a nouzových opatření.

Hlavními podklady předkládaného posudku byl jednak platný Manipulační řád VD Slušovice (12/2005 - [1]) a zejména hydrologická studie pro VD Slušovice (10/2006 - [3]) se zpracovanými pravděpodobnými schematizovanými průběhy N-letých povodňových vln na Dřevnici v profilu hráze VD Slušovice pro $N = 1$ až 10 000.

Předcházející několikeré přezkoumání VD Slušovice z hlediska bezpečnosti na převedení povodní bylo v historické době provedeno v těchto elaborátech:

- „VD Slušovice - hydraulická zabezpečení“ (05/1981 - [5]),
- „Posudek bezpečnosti VD za povodní“ (12/1997 - [6]),
- „Posudek bezpečnosti VD za povodní - 1. revize“ (12/1999 - [7]).

V posledním posudku ([7]) bylo VD posuzováno na průchod jediné tehdejší KPV_{10 000} vůči tehdy určené mezní bezp. hladině a to s negativním výsledkem ($KMH = 319,53$ m n.m. >> $MBH = 318,00$ m n.m). Tehdejší KPV_{10 000} ($Q_{10 000} = 247$ m³/s WPV_{Q10 000} = 18,2 mil. m³) však byla určena pouze pokusně v rámci grantového úkolu MŽP (11/1999 - [10]).

2. ÚČEL A POPIS VD

2.1 Účel a využití

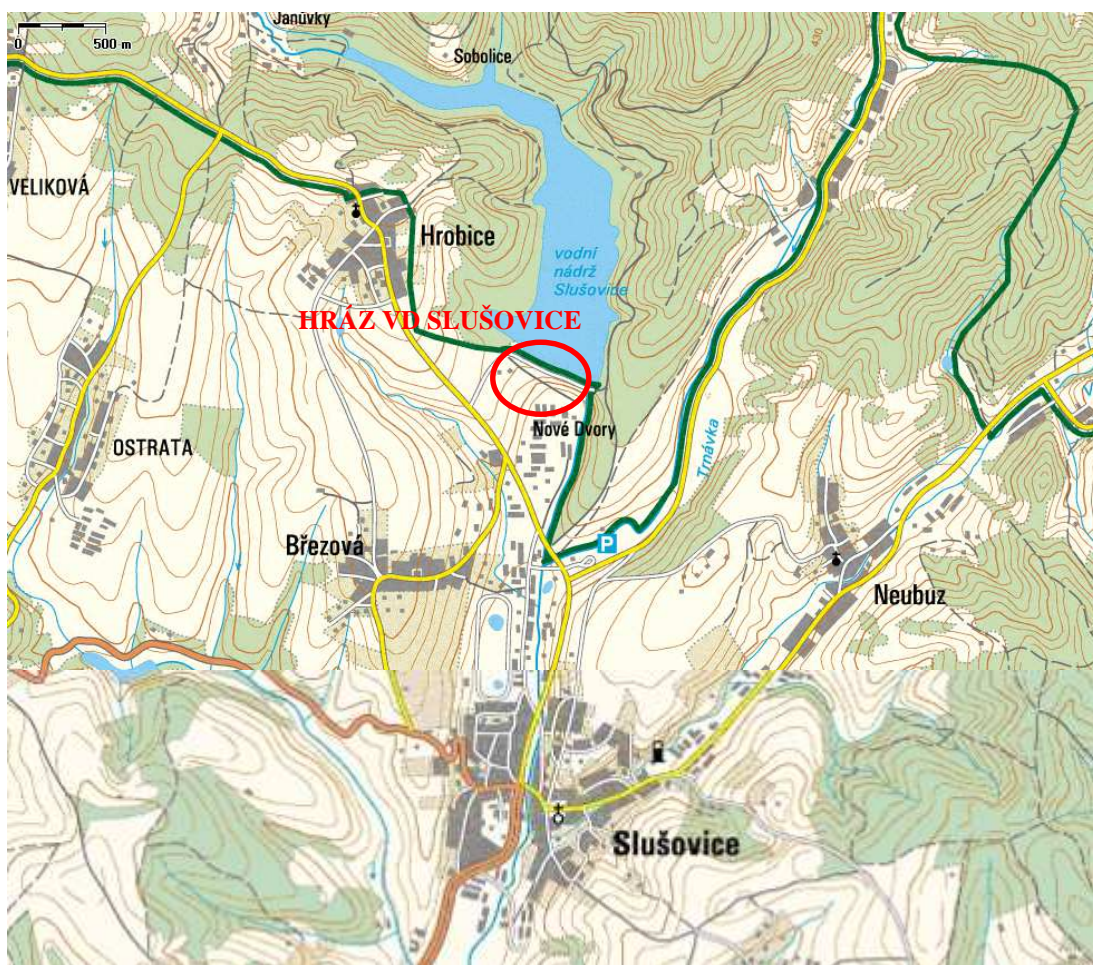
- Zajištění dodávky surové vody pro úpravnu vody Slušovice v množství 0,226 m³.s⁻¹ (vodoprávně povolené množství).
- Zajištění minimálního průtoku v toku pod nádrží v množství MQ = 0,040 m³.s⁻¹
- Snížení kulminací povodňových průtoků Snížení kulminací povodňových průtoků.
- Energetické využití průtoků v MVE.

2.2 Historie

Výstavba VD probíhala mezi 01/1972 a 10/1976. Do trvalého provozu bylo (bez výraznějších komplikací při ověřovacím provozu) uvedeno v 11/1978.

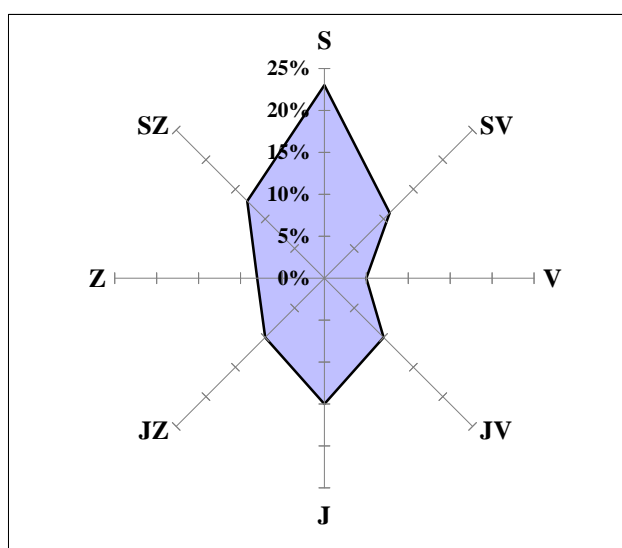
2.3 Situování

Hráz VD je umístěna ve Zlínském kraji na toku Dřevnici v říčním km 29,335 – těsně nad městem Slušovice. Pro VD je příslušným vodoprávním úřadem Krajský úřad Zlínského kraje. Zemní sypaná hráz VD (vč. objektů) a přilehlé podhrází se nalézají na katastrálních územích Hrobice na Moravě (648248) a Trnava u Zlína (768278). Z hlediska regionálního leží ve Vizovické vrchovině (Západní Karpaty / Vnější Západní Karpaty / Slovensko-moravské Karpaty / Vizovická vrchovina). Přehledná situace 1: 50 000 je na následujícím obrázku.



2.4 Klimatologické údaje – větrná růžice

SMĚR	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ	Klid
-	23%	11%	5%	10%	15%	10%	8%	13%	5%



(ČHMÚ pobočka Brno, 07/2006).

2.5 Hydrologické údaje

Hydrologické údaje byly převzaty zejména z „Hydrologické studie pro VD Slušovice - odvození teoretických povodňových vln klasickými a deterministickými postupy“ (ČHMÚ, Brno 10/2006). Menší část údajů pochází Manipulačního řádu pro VD Slušovice (Povodí Moravy, s.p., 12/2005, [*]) resp. z vyhodnocení povodní 07/1997 [^].

2.5.1 Základní údaje

• název toku, kilometráž v místě hráze*	DŘEVNICE, 29,335 km
• číslo hydrologického pořadí*	4 - 13 - 01 – 007
• list vodohospodářské mapy ČR (1 : 50 000)	25 – 32 Zlín
• plocha povodí	42,46 km ²
• dlouhodobý průměrný roční průtok (období 1931-80)	0,431 m ³ .s ⁻¹
• průměrný roční úhrn srážek (období 1931-80)	816 mm
• průměrná nadmořská výška povodí	468,5 m n.m.
• průměrný sklon povodí	20,6 %
• podélný sklon povodí	3,3 %
• délka údolnice od rozvodnice	13,177 km
• součinitel tvaru povodí:	0,245 .
• zalesněnost povodí:	cca 75 % .

2.5.2 M–denní průtoky (Q_M)*

(období 1931 – 1980)

M [dní]	30	90	180	270	330	355	364
Q _M [m ³ .s ⁻¹]	1,275	0,455	0,228	0,130	0,062	0,039	0,013

2.5.3 N–leté průtoky (Q_N) a jim odpovídajících objemy (W), doby trvání (T)

2.5.3.1 Klasická statistická (extrapolační) metoda

N [let]	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000
Q _N [m ³ .s ⁻¹]	6,1	12	27,5	33	45	64,5	82	102	133	160	190	236	276
W [mil.m ³]	0,7	1,1	1,9	2,4	3,0	4,0	4,9	5,8	7,0	8,3	-	-	10,8
T [hod.]	81	90	100	105	110	115	118	125	135	140	-	-	150

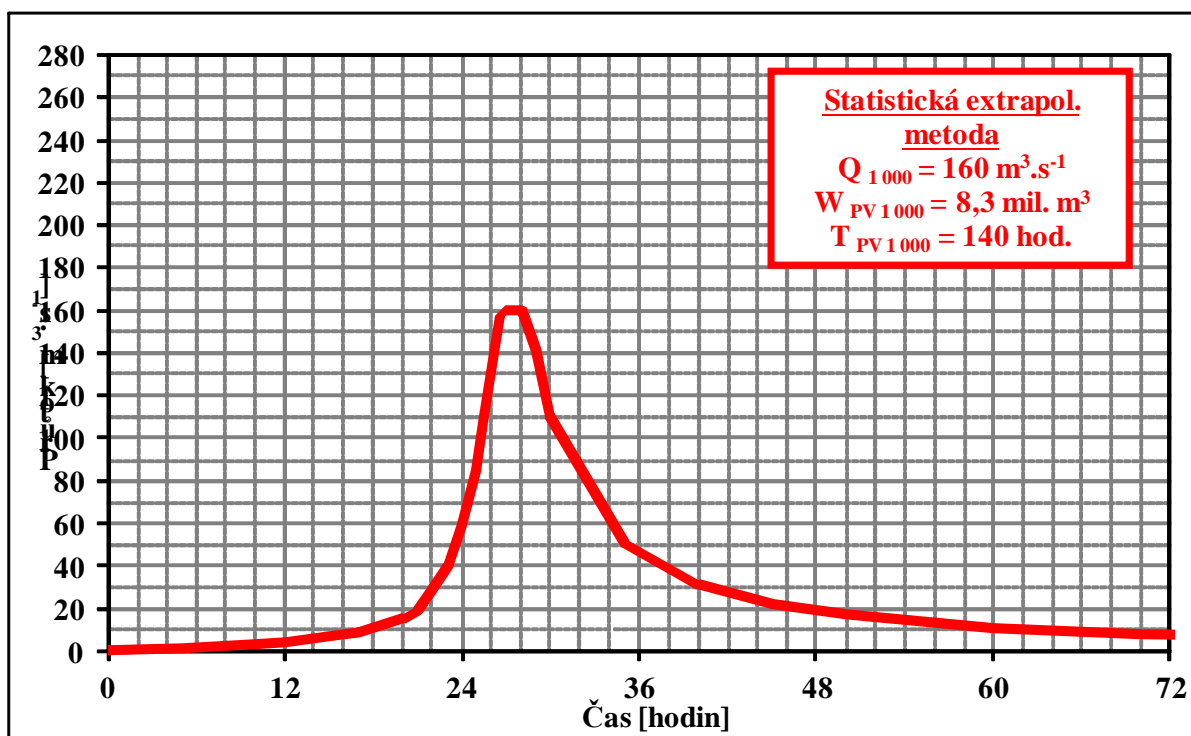
2.5.3.2 Deterministický srážko-odtokový model (HEC-GeoHMS)

N [let]	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000
Q _N [m ³ .s ⁻¹]	-	-	-	-	-	-	84	-	-	-	-	-	256
W [mil.m ³]	-	-	-	-	-	-	3,2	-	-	-	-	-	8,7
T [hod.]	-	-	-	-	-	-	115	-	-	-	-	-	120

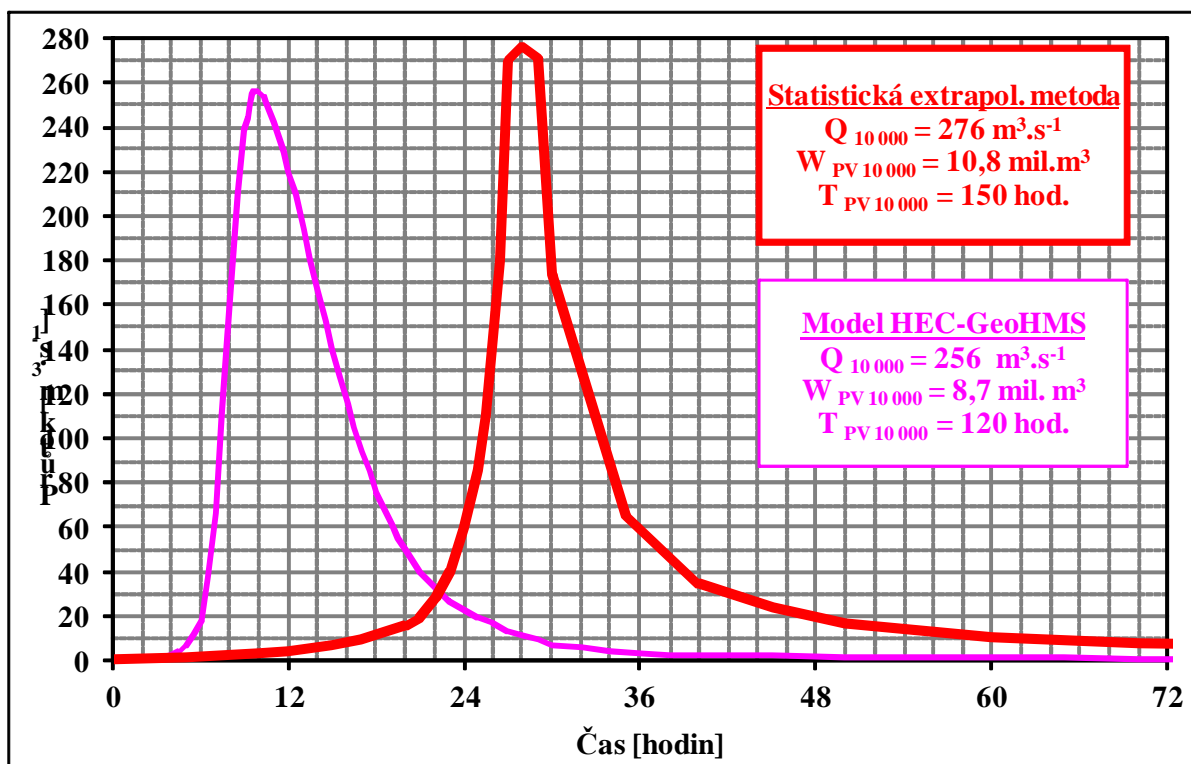
2.5.4 Povodeň 07/1997^

Q [m ³ .s ⁻¹]	66,7
W [mil.m ³]	9,2
T [hod.]	144,0

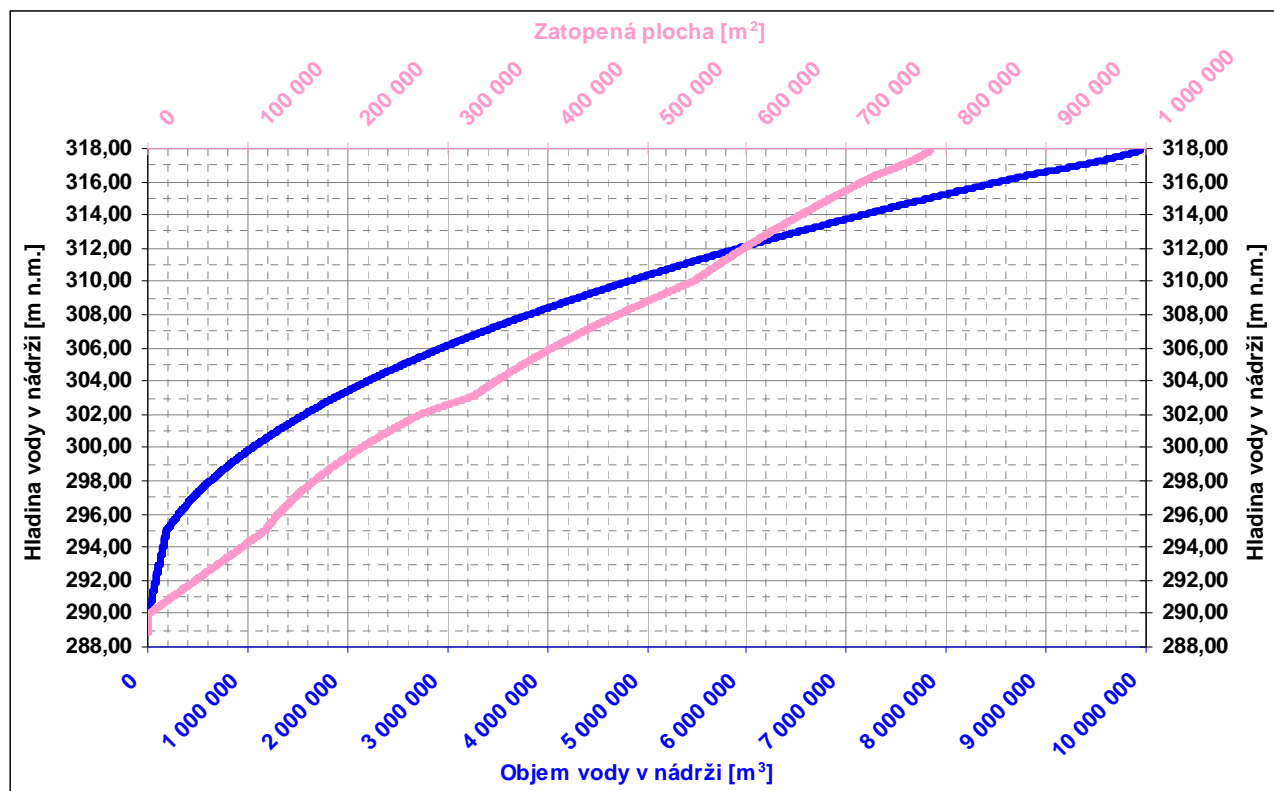
2.5.5 Průběh teoretické návrhové povodňové vlny (NPV₁₀₀₀)



2.5.6 Průběhy teoretických kontrolních povodňových vln (KPV₁₀₀₀₀)

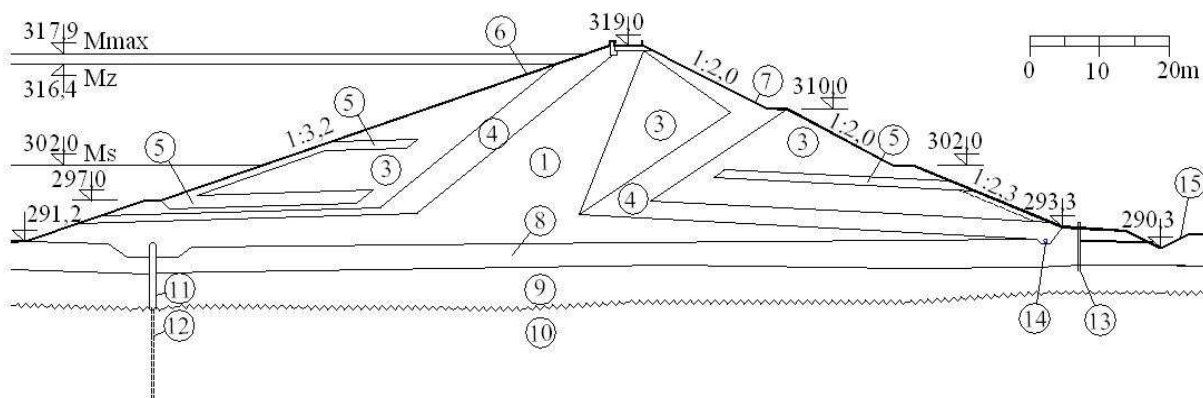


2.6 Charakteristika nádrže (křivka objemů a ploch)



2.7 Technické parametry

2.7.1 Vzorový (teoretický) příčný řez hrází



1 – těsnící jádro (tříděné náplavové hlíny), 2 – přechodová část (netříděné náplavové hlíny), 3 – stabilizační část (netříděné údolní šterky) 4 – filtr (údolní šterk bez hlinit. příměsí), 5 – drenážní vrstva (lomový kámen), 6 – návodní líc (zpevněný makadam), 7 – vzdušní líc (ohumusování a osetí), 8 – náplavové hlíny v podloží hráze, 9 – údolní šterky v podloží hráze, 11 – jílocementová membrána, 12 – injekční clona, 13 – drenážní studna, 14 – potrubí patního drénu, 15 – odvodniv., sběrný příkop.

2.7.2 Rozdělení prostoru nádrže

Prostor	Hladina [m n.m.]	Objem [m ³]	Plocha [ha]
Prostor stálého nadržení	288,80-302,00	1 567 160	27,248
Zásobní prostor	302,00-316,41	7 245 192	72,918
Neovladatelný retenční prostor	316,41-317,90	1 136 666	78,423
Celkový prostor	288,80-317,90	9 949 018	78,423

2.7.3 Vzdouvací objekt - hráz

Vzdouvací objekt tvoří zemní sypaná hráz (kóta koruny 319,00 m n.m., kóta nejnižší základové spáry 285,10 m n.m., kubatura tělesa 960 900 m³), nehomogenní, se středním jílovým těsněním. Hráz vodního díla je těsněna středním těsněním s prodlouženým těsnícím kobercem pod návodní i vzdušní stabilizační částí. Pod tělesem hráze se v údolní části nacházejí původní náplavové údolní hlíny mocnosti průměrně 3,5 m, dále propustné podložní štěrky mocnosti 5 m a nejnižší skalní podloží tvořené jílovci, prachovci a pískovci. Na uvedený předložený těsnící koberec je potom v blízkosti návodní paty hráze napojeno v údolní části těsnění náplavových hlín a štěrků, které je provedeno jílocementovou těsnící membránou připojenou do skalního podloží pomocí injekční clony. Při patě pravého údolního svahu je však těsnící membrána i injekční clona ukončena a dochází k jejímu obtékání, jenž je patrné i na zvýšené tlakové úrovni hlavně v podložních štěrcích při vzdušní patě hráze. Na údolních svazích se pod tělesem hráze nacházejí pokryvné kvartérní vrstvy tvořené zahliněnými sutěmi až svahovými hlínami mocnosti průměrně 1,5 m (levý svah) resp. 4,5 m (pravý svah). Sklon vzdušního líce hráze je 1:2, sklon návodního líce 1:3,2. Vzdušní líc hráze je přerušen dvěma bermami a to na kótě 302,00 a 310,00 m n.m., návodní líc potom jednou bermou na kótě 297,00 m n.m. Šířka koruny hráze je 4,0 m, šířka v patě hráze je 170 m.

2.7.4 Boční přeliv, skluz

Zařízení na převedení povodňových průtoků tvoří nehrazený boční bezpečnostní přeliv (délka 26,0 m, kóta koruny 316,41 m n.m.) situovaný na levém břehu nádrže na nějž za spadištěm (šířka dna 6,1 m, sklony 3:1 a 5:1) navazuje skluz ukončený vývarem (šířka 6,0 m, podélný sklon 6 až 46%, celková délka 120,7 m). Součástí skluzy je přemostění v koruně hráze. Přeliv i skluz je z betonu, přelivná hrana je obložena kamennými kvádry.

Kapacita bezpečnostního přelivu při maximální hladině v nádrži (317,90 m n.m. - totožná s mezní bezpečnou hladinou za povodní) za přepadové výšky 1,50 m je 89 m³.s⁻¹.

2.7.5 Vtokový objekt

Vtokový objekt je železobetonová věž situačně umístěná před zemní hráz u levé údolní paty svahu. Je provedena jako tzv. „mokrý věž“ se spodními výpustmi a s vodárenskými odběry. Věž se skládá ze základové konstrukce, dířku věže a strojovny. Půdorysný tvar věže je obdélníkový 9,15 x 8,40 m. Na kótách 295,00 m n.m. a 300,00 m n.m. jsou vodárenské odběry o Ø 800 mm

2.7.6 Výpustná chodba (chodba spodních výpustí)

Výpustná chodba je tlamovitého tvaru a navazuje na zadní stěnu věže a je ukončena strojně regulačních uzávěrů. Chodba je o délce 145,6 m, světlé šířce ve dně 5,2 m a o max.

světélce výšce 3,2 m. Podélný sklon chodby je 1%. V železobetonové výpustné chodbě jsou pak na podpěrných betonových blocích uložena dvě potrubí spodních výpustí Ø 1000 mm.

2.7.7 Spodní výpusti

Spodní výpusti jsou umístěny v dolní části vtokového objektu, kde jsou zabudovány návodní stavidlové uzávěry a hradidla s funkcí revizního uzávěru. Výpusti jsou dvě ocelová potrubí Ø 1000 mm vedená výpustnou chodbou, která jsou ukončena regulačními kuželovými uzávěry ve strojovně pod hrází. Výpusti mají kótu vtoku v ose 290,00 m n.m. a kótu výtoku v ose 288,49 m n.m. Jsou celkové délky 145,6 m. Výpusti slouží k vypouštění vody z nádrže do Dřevnice a zároveň k odebírání vody pro úpravnu vody ve Slušovicích. Uzávěry spodních výpustí jsou tedy tyto:

- uzávěry revizní (provizorní hrazení): 2 hradidla rozměrů 2 x 2,5 m,
- uzávěry návodní: 2 stavidla rozměrů 2 x 2,5 m,
- uzávěry povodní (regulační): 2 kuželové uzávěry.

Kapacita spodních výpustí při maximální hladině v nádrži (317,90 m n.m. - totožná s mezní bezpečnou hladinou za povodní) je $2 \times 9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.7.8 Výpustný objekt (strojovna regulačních uzávěrů)

Navazuje na chodbu spodních výpustí a je půdorysného vnitřního rozměru 7,5 x 25,8 m. Podlaha strojovny na kótě 290,70 m n.m. (část podlahy strojovny je zapuštěna do úrovně dna chodby na kótu 287,50 m n.m.). Ve strojovně jsou umístěny zejména regulační kuželové uzávěry spodních výpustí (Ø 1000 mm), zařízení pro odběr vody, čerpadla s jímkou prosáklé vody a obě turbíny MVE.

2.7.9 Vývar a odpadní koryto

Vývar za spodními výpustmi není zřízen, spodní výpusti ústí do odpadního koryta. Toto koryto má délku 37 m, lichoběžníkový profil o šířce ve dně 5,5 m a sklonem svahu 5:1. Povrch dna a části svahu jsou částečně opatřeny ocelovým pancířem, jinak jsou stěny a dno betonové (ve dně tloušťky 1,0 m). Toto odpadní koryto ústí do koryta pod skluzem a to těsně za prahem jeho vývaru. Tento vývar má pak délku 35,0 m, šířku ve dně 6,0 m a hloubku 3,5 m. Vývar má lichoběžníkový průřez se stěnami ve sklonu 10:1. Dno i stěny jsou betonové, stěny pak nad kótu prahu vývaru obloženy kyklopským zdivem.

2.7.10 Těsnění podloží (injekční clona, jílocementová membrána)

Na hrázi nebyla vybudována injekční chodba. V údolní části a první $\frac{1}{3}$ pravého svahu je šterkové podloží těsněno jílocementovou membránou, zavázanou do skalního podloží. Na tuto těsnicí membránu navazuje injekční clona těsnící podloží jílovce a pískovce. Membrána a clona se v této oblasti nacházejí pod návodní patou hráze. Při patě levého svahu je membrána napojena na základový objekt vtokové věže. Injekční clona pak pokračuje pod návodní $\frac{1}{2}$ chodby spodních výpustí. Zhruba v ose hráze pak clona uhýbá do levého svahu. V levém svahu je proveden injekční bloček a z něj i injekční clona. Bloček je navázán na objekt přelivu. Injekční clona zde pokračuje pod přelivnou hranou do levého zavázání. Ve zbylých $\frac{2}{3}$ pravého svahu (horní a střední část) pak nebyl proveden žádný těsnicí prvek podloží.

2.7.11 Odvodnění hráze a jejího podloží

Jedním z hlavních prvků sypané zemní hráze je i odpovídající odvodňovací systém. Na VD Slušovice dochází v přehradním profilu k průsaku vody jednak přes vlastní těleso hráze a také přes její podloží - tj. přes skalní podloží a na něm se nacházející šterkovou vrstvu (údolní niva) resp. svahové sutě (údolní svahy). Vlastní těleso hráze je odvodňováno patním drénem, nacházejícím se pod vzdušní patou hráze. Do něj je voda, prosáklá přes těsnící hlinité jádro, sváděna pomocí vnitřních vrstev hráze ze šterku bez hlinitých příměsí. Šterková podložní vrstva pak odvodňuje skalní podloží hráze. Nad touto šterkovou vrstvou se nachází původní pokryvné hlíny - voda prosakující šterkovou vrstvou je potom napjatá (tlaková), jevíci bezprostřední závislost na změny hladiny vody v nádrži. K odvodnění této vrstvy potom slouží odvodňovací studny při vzdušní patě hráze. Větší část prosáklého množství šterkovou vrstvou však není zachycena a proudí touto vrstvou po směru toku dále. Uvedeným odvodněním je však dostatečně snižován vztlak na základovou spáru hráze a tím i zajišťována patřičná stabilita vzdušní části hráze. V podhráží pak existuje nebezpečí, že by mohlo dojít vzhledem ke zvýšenému namáhání pokryvných hlín hydrodynamickým tlakem proudící vody v podložních štercích, k filtračnímu prolomení těchto hlín, následně pak k intenzivnímu vyplavování materiálu z podloží i tělesa hráze.

2.8 Směrodatné průtoky

2.8.1 Minimální průtok pod VD

Minimální průtok v toku pod nádrží je stanoven ve výši $MQ = 0,040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2.8.2 Neškodný průtok pod VD

Zkušebním provozem bylo zjištěno, že kapacita koryta pod hrází a v úseku městské trati Slušovic přesahuje již původně stanovenou hodnotu $17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a převede bezpečně $22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je max. kapacita obou spodních výpustí. Neškodný průtok v toku pod nádrží je tedy $Q_{\text{NEŠK}} = 22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3. ZÁKLADNÍ ÚDAJE A PODKLADY

3.1 Požadovaná míra bezpečnosti VD za povodní

Na základě tabulky 1 – „Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni“ uvedené v oddíle 7.1.1. TNV 75 2935 (08/2003 - [16]) se VD Slušovice rozhodně řadí do skupiny vodních děl „A“ s označením výše škod při jeho porušení jako „VELMI VYSOKÉ“. Tato tabulka byla přejata jako příloha i do vyhlášky MZe č. 590/2002 Sb. novelizované vyhláškou MZe č. 367/2005 Sb. (09/2005 - [17]). Skupina „A“ se dělí na dvě podskupiny – u první „se očekávají značné ztráty na lidských životech“, u druhé pak jsou „ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné“ s požadovanými mírami bezpečnosti $N = 10\,000$ a $2\,000$ let. Při porušení hlavní hráze VD Slušovice z důvodu dlouhodobého přelévání by ke značným ztrátám na životech v území pod VD určitě došlo – viz příloha č. 01. Z toho plyne, že je nutno volit $N = 10\,000$ let.

3.2 Hydrologické podklady

Na základě objednávky Povodí Moravy s.p. (podle TNV 75 2935) zpracoval ČHMÚ pobočka Brno „Odvození teoretických povodňových vln klasickými a deterministickými postupy – hydrologická studie pro VD Slušovice“ (10/2006 – [13]). Povodňové vlny zde byly stanoveny jednak klasickým statistickým extrapolacním způsobem z revidované řady N-letých průtoků (varianta „S“) a také programem HEC ze srážko-odtokového modelu povodí (varianta „H“). Z hlediska extrémnějších povodní byla každou z těchto metod stanovena jedna povodňová vln s dobou opakování $N = 10\,000$ let a dále ještě klasickou statistickou metodou jedna vlna o $N = 1\,000$ let. Hydrogramy těchto tří teoretických povodňových vln jsou zachyceny na grafických přílohách jejich transformací nádrží Slušovice – např. viz přílohy č. 11.1 až č. 11.3. Shrnutí vývoje souhrnných číselných charakteristik n-letých povodňových vln mezi roky 1971 – 2006 je navíc provedeno na příloze č. 06.

3.3 Technické podklady

3.3.1 Geodetické podklady

Základní výškopisné geodetické podklady byly prověřeny zaměřením naší organizací v 03/1997 v rámci zpracování prvotního posudku bezpečnosti [6] :

- kóta koruny vlnolamu: 319,59 až 319,65 m n.m.,
- kóta koruny hráze v ose: 318,92 až 319,09 m n.m.,
- kóta koruny přelivu: 316,41 až 316,44 m n.m..

Po povodni v r. 1997 byla na koruně hráze rekonstruována vozovka. Zaměření koruny hráze po tomto zásahu bylo provedeno v 08/2011 útvarem 207 Povodí Moravy s.p. Zaměření bylo učiněno v místech 7 kontrolních vrtů pro ověření koruny min. úrovně koruny těsnícího jádra - kóty koruny hráze v ose: 318,96 – 319,04 m n.m.

Ostatní geodetické podklady pro hydrotechnické výpočty byly převzaty ze zaměření pro přezkum hydraulické zabezpečení [5] v r. 1981 (zejména se jedná o spadiště a skluz).

3.3.2 Geotechnické podklady

Základní geotechnický podklad pro toto posouzení byl potom elaborát „VD Slušovice – 7ks jádrových vrtů, technická zpráva z vrtných prací“ (05/2009 – [8]). Jednalo se o uvedené 7 vrtů pro ověření koruny min. úrovně koruny těsnícího jádra. V elaborátu jsou provedeny nejen vlastní petrografické popisy sond, fotodokumentace vzorkovnic vrtů ale zejména i zrnitostní rozbory 7 vzorků z těchto vrtů. Ty nám dovolily orientačně určit koeficient propustnosti – dle Jákyho: $k = 8 \cdot 10^{-9}$ až $4 \cdot 10^{-10}$ m.s⁻¹. Výjimkou je vzorek z vrtu J7 ($k = 8 \cdot 10^{-7}$ m.s⁻¹).

Geodetické zaměření nadmořských výšek zhlaví uvedených 7 geologických vrtů v ose koruny hráze VD Slušovice je pak zpracováno v samostatném elaborátu (08/2011 – [9]).

Výsledky vrtných prací z hlediska určení jednotlivých materiálových vrstev v koruně hráze spolu s výškovou polohou odebraných vzorků (kombinace podkladů [8] a [9]) jsou provedeny graficky v podélném profilu korunou hráze na příloze č. 05.

Nejnižší úroveň těsnícího jádra byla zastižena ve vrtech J7, J3, J4 (km 0,315, 0,255, 0,075) – cca 317,88, 317,91 a 317,89 m n.m. Jedná se o úroveň poměrně nízkou, současně se kryjící cca s maximální vodoprávní hladinou v nádrži (317,90 m n.m.).

3.3.3 Charakteristika (objem) nádrže

Jedním z hlavních výchozích podkladů pro výpočet transformací PV nádrží byla křivka objemů vody v nádrži uvedená v platném MŘ [1] - viz příloha č. 07.1. Pro vlastní iterační výpočet transformace pak bylo nutno tuto tabulkově zadanou křivku (315,60 – 318,00 m n.m.) nahradit funkční závislostí a současně ji i extrapolovat (318,00 – 319,60 m n.m.). Za tímto účelem byly pomocí regresní analýzy byly určena aproximační křivka $V'_{\text{aprox}} = + 897,72864 - 6,23727 * H + 0,0110136 * H^2$, kde H je úroveň hladiny v nádrži [m n.m.] a V'_{aprox} je aproximovaný objem;v nádrži [mil. m³]. Věrohodnost výpočtové aproximace a současně i extrapolace křivky objemů vody v nádrži je zřejmá z přílohy č. 07.2.

3.4 Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodní

Při daném konstrukčním typu hráze je nepřipustné její přelití. Konstrukční uspořádání celé hráze je zřejmé ze vzorového příčného řezu (viz příloha č. 03). Uspořádání v koruně hráze upravené dle IG-průzkumu z 05/2009 je zachyceno v detailu na příloze č. 04.1.

Obě stabilizační části hráze jsou ze šterků s různým stupněm zahlinění, těžených v zátopě. Hlavní těsnicí prvek tvoří poměrně široké těsnicí jádro – místní jílovitohlinitý materiál často ovšem s písčitou příměsí. Má veskrze uspokojivě nízké propustnosti. Jádro je často níže než je jeho teoretická úroveň - nejvíce o 0,5 m (viz kapitola 3.3). Vlnolam je masivní betonové konstrukce, částečně zavázaná do návodního okraje jádra. Díky nižší úrovni koruny jádra je však zavázání nedostatečné. Dilatační spáry vlnolamu jsou pak netěsněné.

Manipulace za povodní na VD probíhá podle platného [1] a to dle kapitoly C.6.4 „Manipulace při převádění povodní“. Vodní dílo má trvalou obsluhu, vedoucí hrázny i jeho zástupce bydlí prakticky přímo na VD.

4. STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY

Riziko porušení sypaných hrází při průchodu povodní vyplývá ze 4 hlavních příčin.

- 1) Porušení násypu hráze vnitřní erozí hráze nebo jejího podloží
- 2) Porušení násypu hráze přelitím koruny hráze nebo těsnicího jádra
- 3) Ztráta stability násypu hráze v důsledku zvýšené hladiny v nádrži
- 4) Porucha násypu hráze v důsledku vlnobití

4.1 Porušení násypu hráze vnitřní erozí hráze nebo jejího podloží

4.2 Porušení násypu hráze přelitím koruny hráze nebo těsnicího jádra

Vznik vnitřní eroze je teoreticky možný v jakékoliv úrovni hráze, dále v úrovni základové spáry i v podložních propustných aluviálních vrstvách.

V podkladovém elaborátu „VD Slušovice - Parametry zvláštních povodní“ (Vodní díla – TBD a.s.; 2000 - [24]) bylo provedeno značné množství variant zvláštních povodní typu 1, tj. z narušení vzdouvacího prvku (hráze) vodního díla. Byl u nich testován vliv základních parametrů a počátečních podmínek na výsledný tvar hydrogramu a to jak pro porušení při přelití hráze resp. jejího těsnicího prvku tak i pro porušení vnitřní průsakovou erozí. Pro základní demonstraci vlivu jednotlivých zadávaných veličin bylo nakonec v tomto podkladovém elaborátu prezentováno pouze osm základních variant s tím, že jako výsledná byla doporučena variantě č. 2.

Uvedená varianta porušení reprezentuje dodnes pravděpodobně největší možné následky teoretické havárie hráze - v tomto případě v důsledku přelití těsnicího jádra při

extrémním zatížení nádrže – průchodu povodně s pravděpodobnou dobou opakování kulminačního průtoku $N = 10\,000$ let). Počátek porušení byl zvolen v úrovni tehdy předpokládané minimální kóty koruny těsnícího jádra (318,30 m n.m.) a to formou průsakového kanálu (o průměru 0,1 m) vzniklého vnitřní kontaktní erozí na styku těsnícího jádra a podložních vrstev komunikace na koruně hráze. V první fázi této poruchy se rozvíjí vnitřní eroze, která po propadení koruny hráze přejde do následného vlastního přelévání hráze. V konečné fázi dojde k rychlému vývoji průlomového otvoru, který se ve velmi krátkém čase (cca během 20 minut – tj. do 148 minuty od počátku poruchy) prohloubí prakticky až na dno údolí (290,70 m n.m.). V současnosti by scénář poruchy byl prakticky stejný s tím, že k utvoření počátečního průsakového kanálu by došlo o něco mále dříve a to na kótě 317,90 m n.m., což je aktuálně zjištěná (geotechnickým průzkumem v r. 2011) minimální úroveň koruny těsnícího jádra (a zároveň současně platná maximální hladina v nádrži). Hydrogram zvláštní poruchy 1. typu by byl v obou případech téměř stejný – i kulminační odtok z nádrže by se lišil minimálně ($4\,417\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ proti $4\,364\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$).

S ohledem na výše uvedené je MBH za povodní (z hlediska vnitřní eroze - přelítí koruny těsnícího) dána kótou 317,90 m n.m.

4.3 Ztráta stability násypu hráze v důsledku zvýšené hladiny v nádrži

Posouzení stability bylo pro stávající stav na VD Slušovice provedeno v rámci V. souhrnné etapové zprávy technickobezpečnostního dohledu v trvalém provozu z 05/2012 [11] – konkrétně v přílohové části E. V následujícím textu je provedeno jen stručné shrnutí tohoto posouzení.

Model hráze VD pro výpočty proudění podzemní vody a pro navazující výpočty stability byl pro VD Slušovice v roce 2012 sestaven na základě dostupných podkladů v programu GeoStudio 2007. Byly sestaveny numerické modely dvou příčných profilů hráze – a to pro údolní profil PF (km 0,195) a profil v patě pravého svahu PF (km 0,380).

Výsledné minimální SB pro jednotlivé zatěžovací stavy, pro oba řešené profily (km 0,195 a km 0,380) a pro dva různé režimy z hlediska proudění podzemní vody tělesem a podložím hráze (stav v r. 2002 a v r. 2011) jsou souhrnně uvedeny v následujících dvou tabulkách. Vypočítané minimální SB jsou zde porovnány s normovými požadavky.

Výsledky výpočtů stability před obnovou odvodňovacích studní při vzdušné patě hráze (stav 2002)

Zatěžovací stav	Část hráze	Hladina	Stupeň bezpečnosti SB [^]		Požadavek ČSN 75 2310 na SB
			PF km 0,195	PF km 0,380	
b) nádrž částečně naplněná	vzdušná	$H_z = 316,40$ m n.m.	1,55 (1,47)	1,52 (1,47)	1,5
c) nádrž plná	vzdušná	$H_{\max} = 317,90$ m n.m.	1,54 (1,46)	1,51 (1,45)	1,5
	vzdušná	MBH = 319,20 m n.m.	1,53 (1,45)	1,49 (1,44)	1,05*

**Výsledky výpočtů stability po obnově odvodňovacích studní při vzdušní patě hráze
(stav 2011)**

Zatěžovací stav	Část hráze	Hladina	Stupeň bezpečnosti SB [^]		Požadavek ČSN 75 2310 na SB
			PF km 0,195	PF km 0,380	
a) nádrž prázdná	vzdušní	-	1,64 (1,59)	1,74 (1,69)	1,5
	návodní	-	1,85	1,87	1,5
b) nádrž částečně naplněná	návodní	H _s = 302,00 m n.m.	1,66	1,67	1,5
	vzdušní	H _z = 316,40 m n.m.	1,56 (1,49)	1,54 (1,50)	1,5
c) nádrž plná	vzdušní	H _{max} = 317,90 m n.m.	1,55 (1,48)	1,53 (1,47)	1,5
	vzdušní	MBH = 319,20 m n.m.	1,54 (1,46)	1,51 (1,45)	1,05*
d) náhlý pokles z maximální hladiny na kritickou	návodní	z H _{max} = 317,90 m n.m. do dna** maximální kapacitou	1,63 [298,10]	-	1,1
e) náhlý pokles podle manipulačního řádu	návodní	z H _z = 316,40 m n.m. do dna** 3,0 m za týden	1,65 [302,70]	-	1,5

*) Požadavek dle TNV 75 2935 „Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní“.

**) Kóta dna v uvažovaných profilech v km 0,195 a 0,380 (cca 291,50 a 296,50 m n.m.).

^) Hodnoty uvedené v kulaté závorce () platí pro optimalizovanou smykovou plochu složenou z kruhů a úseček. Hodnoty uvedené v hranaté závorce [] u náhlého poklesu hladiny v nádrži, odpovídají kritické hladině, kdy SB dosahuje minima.

Vzhledem ke konstrukčnímu řešení hráze, materiálovým charakteristikám a průběhu smykových ploch, které cca ze 3/4 procházejí soudržnými materiály, se doporučuje přiklonit se ke kruhovým smykovým plochám. Pro ilustraci jsou v tabulce uvedeny v kulatých závorkách hodnoty SB, které vychází ze složených (optimalizovaných) smykových ploch

Pro současný režim proudění podzemních vod (stav 2011) a za předpokladu volby kruhových smykových ploch, všechny zatěžovací stavy a) až e) v řešených profilech vykazují minimální SB roven nebo vyšší, než požaduje norma ČSN 75 2310. Současně je splněn požadavek TNV 75 2935, který pro MBH (v tabulce uvažována hypotetická návrhová MBH z hlediska přelití těsnícího prvku – 319,20 m n.m.) požaduje $SB \geq 1,05$. V případě volby optimalizovaných smykových ploch (složených z kruhových částí a úseček) vychází v řešených profilech pro zatěžovací stavy b) a c) SB mírně nižší než požaduje norma ČSN 75 2310. Doporučuje se však vzhledem k uvedeným okolnostem přiklonit se k výsledkům SB vycházejících z kruhových smykových ploch.

MBH z pohledu rizika ztráty stability násypu hráze v důsledku zatížení zvýšenou hladinou v nádrži za povodní by zcela hypoteticky vycházela v úrovni nad korunou hráze, což nelze u sypané hráze uvažovat. Proto není z tohoto hlediska MBH omezena. Současně výše stanovené obě MBH (MBH 2012 = 317,90 m n.m., MBH návrh = 319,20 m n.m.) splňují požadavek ČSN 75 2935 na stupeň bezpečnosti >1,05.

4.4 Porucha násypu hráze v důsledku vlnobití

V rámci zpracování posudku byl proveden dle požadavku TNV 75 2935 [16] výpočet výběhu větrové vlny. Vlastní výpočet byl proveden podle ČSN 75 0255 [23] a je uveden v příloze č. 17. Výpočet byl proveden pro výběh vlny na svah hráze se sklonem 1 : 3,3 (nejvyšší část návodního svahu) a následně i pro svislou stěnu vlnolamu. Výška výběhu vlny s pravděpodobností jejího překročení 13% pro dobu trvání větru 1 až 2 hodiny vychází 0,70 m.

Převýšení současné úrovně koruny hráze nad stávající max. hladiny v nádrži (varianta 0 - blíže viz kapitola 5.2) je dle ČSN 75 2340 dostatečné:

$$(H_{\max 2012} + \text{výška výběhu větrové vlny}) \leq \text{stávající úroveň koruny hráze} \\ (317,90 \text{ m n.m.} + 0,70 \text{ m}) = 318,60 \text{ m n.m.} < 318,92 \text{ až } 319,09 \text{ m n.m.}$$

Rovněž tak převýšení navrhované úrovně koruny hráze nad navrhovanou max. hladinou v nádrži (varianta 1 - blíže viz kapitola 5.2) je dle ČSN 75 2340 dostatečné:

$$(H_{\max, \text{návrh}} + \text{výška výběhu větrové vlny}) \leq \text{návrhová úroveň koruny hráze} \\ (318,20 \text{ m n.m.} + 0,70 \text{ m}) = 318,90 \text{ m n.m.} < 319,30 \text{ m n.m.}$$

Směrodatné je ovšem to, že souběh extrémního povodňového průtoku s dobou opakování jednou za 10 000 let a zatížení maximálním uvažovaným větrem je vysoce nepravděpodobný. Návodní líc hráze je opevněn až po vlnolam. Ten se jeví dostatečně stabilní. Při řádné údržbě kamenného opevnění na návodním líci nehrozí jeho poškození v důsledku vlnobití ani přelití hráze vlnobitím. **MBH z pohledu poškození návodního líce nebo vlnolamu v důsledku vlnobití proto není z těchto důvodů stanovena. Rovněž proto není nutno v důsledku větrových vln redukovat MBH stanovenou z důvodu přelití těsnícího prvku hráze (viz kapitoly 4.1 + 4.2).**

4.5 Shrnutí

S ohledem na výsledky geotechnického průzkumu z r. 2011 (viz kapitola 3.3.2) a skutečnosti uvedené v předchozích kapitolách (4.1 až 4.4.) **stanovujeme mezní bezpečnou hladinu za povodní v úrovni MBH = 317,90 m n.m. (tzv. MBH 2012). Tato úroveň, vyplývající z titulu přelití těsnícího prvku hráze, platí jak pro stávající stav (varianta 0) tak i pro návrhový stav upravovaného přelivu se spadištěm (varianta 2) – viz kapitoly 5.2 resp. 7.1.** Uvedená kóta je při zohlednění přesnosti geotechnického průzkumu cca minimální úrovní ukončení vlastního jílovitohlinitého těsnícího jádra v koruně hráze a současně i maximální vodoprávní hladinou v nádrži ([1]).

Bývalá MBH určená na základě provádění pozor. vrtů z koruny hráze v 11/2002 jako podklad pro [1] (tzv. MBH 2005) byla jen nepatrně výše v úrovni 318,00 m n.m.

Po realizaci navrhovaných nápravných opatření dotěsnění koruny hráze s jejím navýšením (varianta 1) by pak bylo možno uvažovat z hlediska přelití těsnícího prvku zvýšenou MBH* = 319,20 m.n.m. (tzv. MBH návrh) – podrobněji viz kapitola 7.1.

5. STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI

5.1 Hydraulické výpočty

Měrné křivka stávajících spodních výpustí byla podrobně přešetřena (s komentářem) v rámci [7]. Je zopakována na příloze č. 08 a platí pro všechny tři varianty (0,1,2).

Měrné křivka stávajícího bezpečnostního přelivu byla rovněž podrobně přešetřena (dtto) v rámci [7]. Je převzata na příloze č. 09 a platí pro variantu 0 (stávající stav) a

variantu 1 (návrhový stav dotěsnění koruny hráze s navýšením). Pro upravovaný přeliv se spadištěm ve variantě 2 (viz kapitola 7.) je měrná křivka na příloze č. 13.

Na přílohách č. 10 resp. č. 14 je pak z kombinace křivek (č. 08 + č. 09 resp. č. 08 + č. 13) a na základě manipulace ve smyslu platného MŘ [1] sestaveny „Souhrnné křivky odtoku z nádrže“. Křivka na příloze č. 10 platí pro varianty 0 (stávající stav) a 1 (návrhový stav dotěsnění koruny hráze s navýšením). Křivka na příloze č. 14 pak platí pro variantu 2 (návrhový stav upravovaného přelivu se spadištěm).

5.2 Řešení transformace PV

Vlastní řešení transformace PV nádrží VD Slušovice byla řešena v tabulkovém procesoru MS EXCEL na základě bilance objemu nádrže (vyjadřujícím okamžitou změnu objemu v nádrži v závislosti na změně přítoku a odtoku) v konstantním časovém kroku 60 minut. Podkladem pro výpočet byly časové průběhy povodňových vln, charakteristika nádrže (křivka objemů) a souhrnné měrné křivky odtoku z nádrže (přílohy č. 10 a č. 14).

Výpočet transformace byl proveden vždy pro obě $KPV_{10\,000}$ a jednu $PV_{1\,000}$ a to pro:

- variantu 0 (stávající stav) s grafickými výsledky na přílohách č. 11.1 až č. 11.3,
- variantu 1 (návrhový stav dotěsnění koruny hráze s navýšením) na příl. č. 12.1 až č. 12.3,
- variantu 2 (návrhový stav upravovaného přelivu se spadištěm) a příl. č. 15.1 až č. 15.3.

Souhrnně jsou výsledky transformací pro všechny 3 varianty tabulkově shrnuty na příloze č. 16. V následné tabulce jsou výsledky zopakovány jen pro variantu 0 (stávající stav).

Doba opakování	10 000 let	10 000 let	1 000 let	
Způsob odvození	Statistický	Deterministický	Statistický	
Kulminační přítok	276,0 m ³ .s ⁻¹	256,6 m ³ .s ⁻¹	160,0 m ³ .s ⁻¹	
Kulminační odtok	192,3 m ³ .s ⁻¹	189,0 m ³ .s ⁻¹	139,0 m ³ .s ⁻¹	
Objem povodňové vlny	10,80 mil. m ³	8,70 mil. m ³	8,30 mil. m ³	
Výchozí hladina v nádrži (před povodní)	316,40 m n.m.	316,40 m n.m.	316,40 m n.m.	
Kulminační hladina v nádrži	319,14 m n.m.	319,05 m n.m.	318,20 m n.m.	
Varianta 0 (stávající stav) - převýšení kulminační hladiny nad				
- kótou koruny přelivu	316,41 m n.m.	2,73 m	2,64 m	1,79 m
- max.hladinou v nádrži a MBH 2012	317,90 m n.m.	1,24 m	1,15 m	0,30 m
- kótou koruny hráze	318,96 m n.m.	0,18 m	0,09 m	-0,76 m
- kótou koruny vlnolamu	319,59 m n.m.	-0,45 m	-0,54 m	-1,39 m

5.3 Kontrolní maximální hladina v nádrži

Z provedených transformací obou aktuálních $KPV_{10\,000}$ (ČHMÚ 2006) nádrží ve variantě 0 (stávající stav) za respektování manipulace dané pro povodně ([1]) vyplývají kulminační hladiny v nádrži v úrovni 319,14 m n.m. a 319,05 m n.m. Jako výslednou kontrolní maximální hladinu volíme nejméně příznivou hladinu z nich $KMH = 319,14$ m n.m.

6. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Zhodnocení průchodu $KPV_{10\,000}$

Jelikož KMH (319,14 m n.m.) >> MBH 2012 (317,90 m n.m.) můžeme konstatovat, že VD Slušovice není v současnosti (varianta 0) bezpečné pro průchod $KPV_{10\,000}$ (ve smyslu TNV 75 2935 a vyhlášky MZe č. 590/2002 Sb. novelizované č. 367/2005 Sb).

Poznámka: Pokud bychom ke zjištěné statické úrovni KMH (319,14 m n.m.) přičetly největší výšku vrcholu stojaté větrové vlny u svislé stěny vlnolamu (1,02 m) musela by jeho koruna být v úrovni 320,16 m n.m., přičemž její současná úroveň je cca 319,60 m n.m. Jak již bylo, ale řečeno v kapitole 4.4 je takovýto souběh extrémní povodně a větru krajně nepravděpodobný!

6.2 Zhodnocení průchodu NPV_{1 000}

I při průchodu NPV by pak došlo k méně výraznému překročení stávající MBH (varianta 0):

NMH (318,20 m n.m.) > MBH 2012 (317,90 m n.m.).

Ve smyslu ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení) je nutno ještě posoudit výběh větrové vlny po šikmém návodním líci hráze (viz kapitola 4.4) nad nejvyšší dosaženou hladinu NMH za průchodu NPV_{1 000} ve vztahu k úrovni koruny hráze. Kritérium pro bezpečné převedení NPV z hlediska výběhu větrové vlny (dle uvedené ČSN) je však splněno :

$$(NMH + \text{výška výběhu větrové vlny}) \leq \text{úroveň koruny hráze} \\ (318,20 \text{ m n.m.} + 0,70 \text{ m}) = 318,90 \text{ m n.m.} < 318,92 \text{ až } 319,09 \text{ m n.m.}$$

7. NÁPRAVNÁ A NOUZOVÁ OPATŘENÍ

7.1 Nápravná opatření

S ohledem na negativní výsledek posudku pro stávající stav (varianta 0) navrhuje nápravná opatření ve dvou variantách.

Varianta 1: přetěsnění koruny hráze s jejím mírným navýšením bez úpravy bezp. přelivu a spadiště. Přetěsnění koruny je řešeno kombinací jílocementové stěny a oboustranně chráněné fólie. Schéma přetěsnění je na detailu koruny hráze provedeno na příloze č. 04.2. Navýšení koruny hráze je navrženo cca o 0,3 m na kótu 319,30 m n.m. Obdobně je po dočasném odstranění svrchních kamenných desek vlnolamu navrženo jeho dobetonování o cca 0,3 m a zpětnou instalaci desek s tím, že kóta koruny vlnolamu po rekonstrukci bude na 319,90 m n.m. (*Poznámka: Pokud by byla zohledněna velmi málo pravděpodobná kombinace kulminace KPV v nádrži /KMH = 319,14 m n.m./ s největší výškou vrcholu stojaté větrové vlny u svislé stěny vlnolamu /1,02 m/, pak by kóta jeho koruny musela být v úrovni min. 320,16 m n.m.).* Bezpečnostní přeliv je v této variantě bez úprav. Tato varianta umožňuje navýšit mezní bezpečnou hladinu (MBH návrh) až do úrovně 319,30 m n.m. a počítá se zvýšením maximální hladiny v nádrži (H_{max}, návrh) do úrovně 318,20 m n.m. Výsledky transformací KPV_{10 000} i PV_{1 000} z předchozí tabulky zůstávají v platnosti, změny se vždy jen rozdílují mezi kulminační hladinou a novou MBH návrh, novou úrovní koruny hráze a novou úrovní koruny vlnolamu. Po této úpravě již KMH < MBH návrh a VD Slušovice bylo dostatečně zabezpečeno. V této variantě by však ještě pravděpodobně bylo nutné provést navýšení zdí skluzu minimálně těsně za přemostěním.

Varianta 2: bez přetěsnění koruny hráze s úpravou bezp. přelivu a spadiště. Navržena úprava bezp. přelivu a spadiště. Délka přelivné hrany by se zvětšila z 26 na 34 m. Koruna přelivné hrany (i max. zásobní hladina) by se snížila z 316,40 na 315,60 m n.m. Šířka spadiště by se v koncovém profilu zvýšila z 6 na 12 m. Dno spadiště by bylo nutno prohloubit

o 0,5 m. V návaznosti na to budou muset být provedeny úpravy na skluzu a pravděpodobně i na vývaru. Stávající MBH a maximální hladina (MBH 2012 a Hmax 2012) v nádrži by i nadále zůstaly v platnosti V následné tabulce jsou uvedeny číselné výsledky transformací pro variantu 2.

Doba opakování		10 000 let	10 000 let	1 000 let
Způsob odvození		Statistický	Deterministický	Statistický
Kulminační přítok		276,0 m ³ .s ⁻¹	256,6 m ³ .s ⁻¹	160,0 m ³ .s ⁻¹
Kulminační odtok		245,1 m ³ .s ⁻¹	224,9 m ³ .s ⁻¹	140,7 m ³ .s ⁻¹
Objem povodňové vlny		10,80 mil. m ³	8,70 mil. m ³	8,30 mil. m ³
Výchozí hladina v nádrži (před povodní)		315,60 m n.m.	315,60 m n.m.	315,60 m n.m.
Kulminační hladina v nádrži		317,90 m n.m.	317,83 m n.m.	317,29 m n.m.
Varianta 2 (návrhový stav) - převýšení kulminační hladiny nad				
- kótou koruny přelivu	315,60 m n.m.	2,30 m	2,23 m	1,69 m
- max.hladinou v nádrži a MBH 2012	317,90 m n.m.	0,00 m	-0,07 m	-0,61 m
- kótou koruny hráze	318,96 m n.m.	-1,06 m	-1,13 m	-1,67 m
- kótou koruny vlnolamu	319,59 m n.m.	-1,69 m	-1,76 m	-2,30 m

Souhrnně lze uvést, že varianta č. 1 oproti 2 bude mít nižší náklady. Stávající přeliv ve variantě 1 (bez úprav) by však při převedení KPV_{10 000} byl relativně dlouho zatopený – v dalším kroku by bylo nutno prověřit jeho kapacitu za tohoto režimu.

7.2 Nouzová opatření

Doporučují se obecně za účelem vyloučení nebo minimalizace ztrát na životech a hmotných škod pro případy, že chování VD vybočí za zcela extrémní situace z předpokládaných mezí (např. poloha hladiny při průchodu povodně nižší pravděpodobnosti výskytu, při kulminaci nepříznivých faktorů nebo při poruše ovládání uzávěru apod).

Z nouzových opatření uvedených v [16] by mohla připadat v úvahu následující:

- pohotové provizorní zvýšení koruny hráze resp. i vlnolamu,
- dočasné zvýšení odolnosti koruny a vzdušního líce hráze proti erozi při přelítí,
- operativní, nouzové, násilné otevření nouzového terénního přelivu a to v pravobřežním zavázání s odvodem směrem k odvodňovacímu příkopu (krajní, rizikové opatření).

Bezprostředními podněty k realizaci těchto opatření by mělo být překročení maximální hladiny uvedené v MŘ (tj. stávající MBH) za povodňové situace, kdy hladina v nádrži i přes maximální možný odtok z nádrže má i nadále stoupající tendenci.

V Brně, květen 2012

Vypracoval:

Ing. Petr Holomek
HP TBD na VD Slušovice

Spolupráce:

Marianna Kyjasová,

Schválil:

Ing. Jiří Hodák
vedoucí útvaru 403
(„Vodní díla na Moravě a Slezsku“)

8. POUŽITÉ PODKLADY

[1]	Manipulační řád VD Slušovice	Povodí Moravy, s.p., vodohosp. dispečink, Brno 12/2005
[2]	Fotodokumentace VD Slušovice provedená v rámci výkonu TBD v r. 2004 – 2011	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno r. 2004 – 2011
[3]	Odvození teoretických povodňových vln klasickými a deterministickými postupy - Hydrologická studie pro VD Slušovice	ČHMÚ, Brno 10/2006
[4]	Větrná růžice pro VD Slušovice	ČHMÚ, Brno 07/2007
[5]	VD Slušovice – hydraulická zabezpečení	VRV úsek TBD, Brno 05/1981
[6]	VD Slušovice – posudek bezpečnosti vodního díla za povodní	VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Brno 12/1997
[7]	VD Slušovice – posudek bezpečnosti vodního díla za povodní, I. revize	VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Brno 12/1999
[8]	VD Slušovice – 7ks jádrových vrtů, technická zpráva z vrtných prací	Vodní zdroje Holešov a.s., Holešov 052009
[9]	Zaměření nadmořských výšek 7ks geologických v ose koruny hráze VD Slušovice	Povodí Moravy, s.p., útvar 207, Brno 08/2011
[10]	Program věda a výzkum MŽP - VaV/510/3/97 "Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní"; Úkol 1 - Předběžné hodnocení bezpečnosti vybraných vodních děl, posudková studie II., závěrečná zpráva za rok 1999	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Praha 11/1999
[11]	VD Slušovice – V. souhrnná etapová zpráva technickobezp. dohledu v trvalém provozu	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 05/2012
[12]	VD Slušovice – XXVI. etapová zpráva technickobezp. dohledu v trvalém provozu	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 05/2011
[13]	VD Slušovice – Program technickobezp. dohledu pro trvalý provoz, IV. revize	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 12/2003
[14]	VD Slušovice – Dodatek k Programu TBD pro trvalý provoz (III. revizi)	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 04/2000
[15]	VD Slušovice – Mírové poruchy	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 12/1998
[16]	TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní	MZe Praha, 03/2003
[17]	Vyhláška MZe 590/2002 Sb. „O technických požadavcích pro vodní díla“ (novelizovaná vyhláškou 367/2005 Sb.)	MZe Praha, 12/2002 (12/2005)
[18]	ČSN 75 2310 Sypané hráze	Český normaliz. institut, Praha 06/2006
[19]	ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – hlavní parametry a vybavení	Český normaliz. institut, Praha 10/2004
[20]	Provozně-technický rozvoj, úkol č. 806, část B Kritéria pro posuzování rizika přelití sypaných přehrad I.-IV. kategorie	VRV úsek TBD, Praha, 12/1986
[21]	Vyhláška MZe č. 471/2001 Sb. ve znění vyhlášky č. 255/2010 Sb.	MZe, Praha 12/2001 a 08/2010

[22]	Zákon o vodách tj. č. 254/2001 Sb. ve znění zákona č. 150/2010 Sb.	Praha 06/2001 a 05/2010
[23]	ČSN 75 0255 Výpočet účinku vln na stavby na vodních nádržích a zdržích	Úřad pro normalizaci a měření, Praha 1987
[24]	VD Slušovice – Parametr zvláštních povodní	VODNÍ DÍLA -TBD a.s., Brno 12/2000
[25]	Přehrady	J. Kratochvíl, V. Stara, VUT v Brně, 03/1990
[26]	Projektování přehrad, komplexní projekt HT	J. Kratochvíl, M. Janda, V. Stara, VUT v Brně, 06/1988
[27]	Hydraulika – příklady ke cvičení	V. Stara, J. Veselý, VUT v Brně, 12/1988
[28]	Hydraulika a hydrologie	J. Jandora, V. Stara, M. Starý, VUT v Brně, 10/2002
[29]	VD Horní Bečva – Stanovení účinků vln vzniklých působením větru na hráz VD	VODNÍ DÍLA – TBD a.s., Brno 02/2002
[30]	Vodní nádrže a přehrady	S. Kratochvíl, Nakladatelství ČSAV, Praha 1961
[31]	Vodohospodářská mapa 25 - 32 Zlín	-

9. SEZNAM PŘÍLOH

- 01 Přehledná situace, 1 : 50 000
- 02 Situační schéma hráze, 1 : 1 000
- 03 Vzorový příčný profil hrází (měrný profil levý v km 0,195), 1 : 250
- 04.1 Detail koruny hráze (profil vrtů J3, J4, J7 - km 0,315, 0,225, 0,075), stávající stav (varianta 0), 1 : 40
- 04.2 Detail koruny hráze (profil vrtů J3, J4, J7 - km 0,315, 0,225, 0,075), návrhový stav (varianta 1), 1 : 40
- 05 Úroveň koruny hráze a úroveň koruny těsnícího jádra (08/2011a 05/2009) a svislé posuny kontrolních bodů na koruně hráze měřené geodeticky nivelací (za období 05/1978 - 03/2011)
- 06 Shrnutí vývoje číselných charakteristik N - letých povodňových vln mezi r.1971 - 2006
- 07.1 Křivka objemů a ploch nádrže dle manipulačního řádu (288,80 – 317,90 m n.m.)
- 07.2 Aproximace a extrapolace křivky objemů nádrže (315,60 – 319,60 m n.m.)
- 08 Měrná křivka spodních výpustí 1 x DN 1000 mm
- 09 Měrná bezpečnostního přelivu - varianta 0 (stávající stav) a varianta 1 (návrhový stav)
- 10 Souhrnná křivka odtoku z nádrže za povodní při manipulaci dle [1] - varianta 0 (stávající stav) a varianta 1 (návrhový stav)
- 11.1 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 0 (stávající stav)
- 11.2 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, srážko-odtokový model), varianta 0 (stávající stav)
- 11.3 Transformace povodně nádrží - PV_{1 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 0 (stávající stav)
- 12.1 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 1 (návrhový stav)
- 12.2 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, srážko-odtokový model), varianta 1 (návrhový stav)

- 12.3 Transformace povodně nádrží - PV_{1 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 1 (návrhový stav)
- 13 Měrná bezpečnostního přelivu - varianta 2 (návrhový stav)
- 14 Souhrnná křivka odtoku z nádrže za povodní při manipulaci ve smyslu [1] - varianta 2 (návrhový stav)
- 15.1 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 2 (návrhový stav)
- 15.2 Transformace povodně nádrží - PV_{10 000} (ČHMÚ 2006, srážko-odtokový model), varianta 2 (návrhový stav)
- 15.3 Transformace povodně nádrží - PV_{1 000} (ČHMÚ 2006, klasická statistická metoda), varianta 2 (návrhový stav)
- 16 Transformace teoretických PV_{10 000} a PV_{1 000} nádrží – souhrnné výsledky, varianta 0 (stávající stav) a varianta 1 (návrhový stav) resp. varianta 2 (návrhový stav)
- 17 Situace nádrže k výpočtu efektivní délky rozběhu větru dle ČSN 75 0255, 1 : 25 000
- 18 Výpočet výšky výběhu vlny na návodní líc hráze dle ČSN 75 0255
- 19.1 Globální stabilita hráze – stav 2011 (z hlediska proudění podzemní vody) – vzdušní líc, hladina v nádrži na úrovni navrhované MBH (319,20 m n.m.)
- 19.2 Globální stabilita hráze – stav 2002 (z hlediska proudění podzemní vody) – vzdušní líc, hladina v nádrži na úrovni navrhované MBH (319,20 m n.m.)