



VD Letovice – studie návrhu opatření k bezpečnému převedení KPV₁₀₀₀₀

Studie

**B POSOUZENÍ VÝCHOZÍHO STAVU A NÁVRH
KONCEPCÍ ŘEŠENÍ**

B.2 Stavebně-technické řešení

Objednatel: Povodí Moravy, státní podnik

Obsah

1	ÚVODEM	2
2	STÁVAJÍCÍ STAV VD LETOVICE	3
2.1	Technický popis	3
2.2	Účel a funkce díla	10
2.3	Hydrologické poměry	11
2.4	Manipulace za povodní	14
2.5	Technický stav díla a hlavní bezpečnostní rizika.....	15
2.6	Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni.....	20
2.7	Posouzení bezpečnosti díla dle TNV 75 2935.....	20
3	VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH PRŮZKUMŮ	22
4	MOŽNÁ TECHNICKÁ OPATŘENÍ KE ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI DÍLA PROTI PŘELITÍ	23
4.1	Přehled	23
4.2	Zásady hodnocení	24
4.3	Námět A Zvětšení ochranného prostoru, zmenšení zásobního prostoru.....	24
4.4	Námět B Další úpravy manipulačního řádu.....	24
4.5	Námět C Rekonstrukce spodních výpustí	25
4.6	Námět D Šachtový přeliv se štolou.....	25
4.7	Námět E Čelní přeliv se štolou	25
4.8	Námět F Násoskový přeliv se štolou.....	25
4.9	Námět G Úprava koruny pro přelévání a úprava hráze pro přelévání	26
4.10	Námět H Nouzový přeliv a nouzový skluz	26
4.11	Námět I Dílčí úprava přelivu a skluzu.....	27
4.12	Námět J Podstatné zvýšení kapacity přelivu a skluzu	27
4.13	Námět K Zvýšení hráze.....	27
4.14	Námět L Zvýšení koruny hráze.....	28
4.15	Námět M Zvýšení vlnolamu	28
4.16	Námět N Úprava vlnolamu	28
4.17	Námět O Mobilní ochrana.....	28
4.18	Námět P Odplavitelná hrázka.....	28
5	VÝVOJ ŘEŠENÝCH VARIANT	29
5.1	Základní koncepce řešení na jednání 18.1.2013.....	29
5.2	Možné varianty stavebně-technického řešení vybraných koncepcí.....	32
5.3	Vývoj řešených variant po jednání dne 6.3. 2013.....	50
5.4	Závěry pro dopracování technického řešení studie	51

1 ÚVODEM

Část B.2 – Posouzení výchozího stavu a návrh koncepcí řešení je dílčí částí studie *VD Letovice – studie návrhu opatření k bezpečnému převedení KPV₁₀₀₀₀*.

Tato část studie soustřeďuje vstupní informace pro hledání reálných variant opatření na přehradě Letovice, která povedou ke zvýšení její bezpečnosti proti přelití. S použitím podkladů, informací z prohlídky díla apod. byly specifikovány a zvažovány náměty technických opatření ke zvýšení bezpečnosti přehradě proti přelití a po jejich zhodnocení byly doporučeny k podrobnějšímu řešení 2 ucelené varianty. Při projednání v průběhu prací byly zohledněny náměty a záměry objednatele a navržené varianty byly korigovány. Pro sestavu variant určenou při projednání byly provedeny výpočty potřebné pro stanovení hlavních parametrů a byla navržena koncepce řešení v rámci jednotlivých variant.

Značný prostor byl věnován hodnocení stávajícího stavu a podkladů souvisejících s bezpečnostní problematikou. Považujeme za potřebné brát v úvahu celou šíři technické problematiky, pokud se týká zajištění bezpečné funkce vodního díla v další etapě životnosti. Realizace opatření ke zvýšení bezpečnosti proti přelití představují zpravidla investičně náročné stavební rekonstrukce, proto vlastník díla cílevědomě soustřeďuje podklady pro rozhodnutí o perspektivním technickém řešení a snaží se zohlednit řadu aspektů při hledání účinného avšak finančně přijatelného návrhu.

Obecně k bezpečnosti přehrad

Existence každého vodního díla stejně jako jiného technického díla představuje určité potenciální riziko. Ze statistik porušení přehrad vyplývá, že nejvíce zhruba 40% nehod je spojeno s přelitím vzdouvací stavby. Přehradní stavby jsou v mezích svých návrhových parametrů schopny přispívat ke zmenšení škodlivých účinků velkých vod, obecně však nelze vyloučit i výskyt povodňových situací zcela mimořádných (tj. například takových povodní, kdy velikost kulminačního průtoku nebo objemu povodňové vlny je vyšší než dosud zaznamenané maximum nebo návrhové předpoklady). Při výskytu extrémní povodně nebo při kombinaci dalších nepříznivých okolností se přehradní stavba může dostat do situace, kdy je již třeba preferovat bezpečnost díla samotného s cílem zabránit kritické poruše nebo destrukci díla, neboť průlomovou vlnou mohou být v území pod dílem ohroženy lidské životy a materiální hodnoty, a to více, než za stejných hydrologických podmínek, ale bez existence díla.

V rámci České republiky obdobně jako v mezinárodním měřítku se postupně dospělo k formulaci určitých standardů, které vycházejí z principu, že elementární bezpečnost přehrad má být zajištěna s ohledem na závažnost případných následků porušení. V rámci provedené kategorizace pak příslušné dílo musí vyhovět posouzení, zda je schopno bezpečně (tj. bez kritické poruchy nebo destrukce) přestát mimořádné situace se stanovenou pravděpodobností výskytu.

Výskyt extrémních srážek a povodní v letech 1997 - 2010 ukazují, že otázky bezpečnosti přehrad za povodní jsou aktuální problém a nesmějí být podceňovány.

Poznámka :

Při zpracování studie bylo soustředěno značné množství podkladů. V textu se čísla odkazujeme na podklady a literaturu, jejíž přehled je uveden v části A – průvodní zpráva.

2 STÁVAJÍCÍ STAV VD LETOVICE

2.1 Technický popis

VD Letovice se nachází v Jihomoravském kraji, západně od stejnojmenného města.

Přehrada je postavena na toku Křetínka (ČHP 4-15-02-034) v km 2,923. Výstavba vodního díla byla zahájena v 1. čtvrtletí 1972 a ukončena ve 2. čtvrtletí 1976. Zkušební napouštění s postupným nadržováním vody bylo zahájeno v 07/1976. Hladiny stálého nadržení na kótě 346,90 m n.m. bylo dosaženo v 02/1977 (I. fáze napouštění). II. fáze napouštění po maximální hladinu zásobního prostoru na kótě 360,10 m n.m. byla dokončena v 07/1977. Přehrada Letovice byla uvedena do trvalého provozu v r. 1979.

Pro popis díla byly podkladem především manipulační řád [4], projektová dokumentace [10], zaměření [E.2] a publikace.

2.1.1 Inženýrsko-geologické poměry

V prostoru přehradního profilu je údolí Křetínky úzké, průlomového rázu se strmějším levým údolním svahem. Šířka údolní nivy je zde 30 – 40 m.

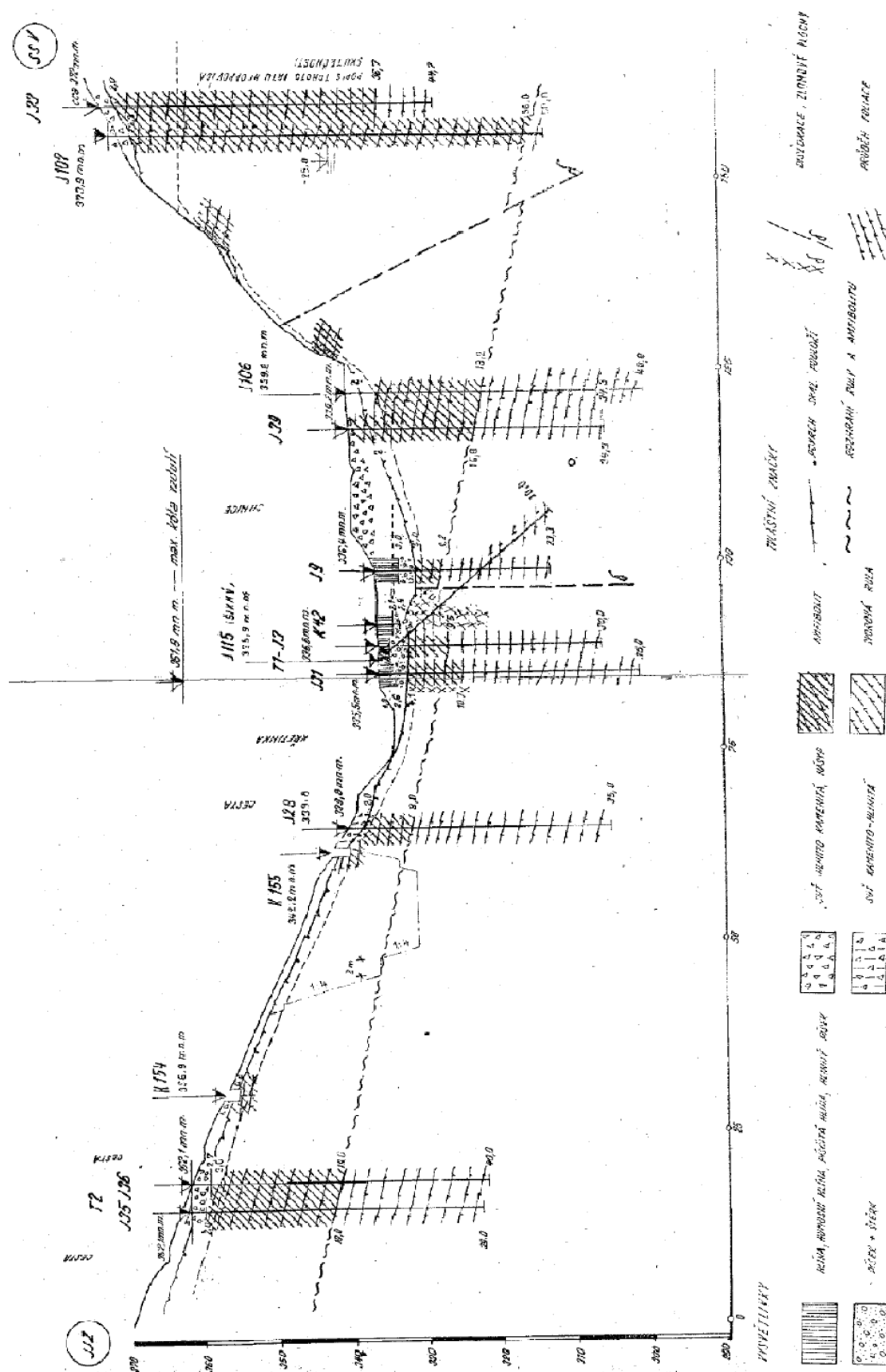
Skalní podloží tvoří amfibolity, k nimž přiléhají polohy pararul. V oblasti přehradního profilu jsou amfibolity značně zbřidličnatělé, takže po navětrání a porušení skalního kompaktu se rozpadají destičkovitě. V podloží amfibolitů byly ověřeny ruly. V těchto horninách byly zjištěny vložky krystalického charakteru, drobně zvrásnělé.

Pravý svah je pokryt hlinitými sutěmi o mocnosti 0,5 až 3,0 m. Na levém svahu, který je prakticky bez pokryvů, je mohutný amfibolový výchoz. Sutě a hlíny jsou většinou zpevněny vegetací, jen ojediněle jsou volné. Údolní niva je poměrně úzká a je tvořena v průměru 5 m mocnými aluviálními sedimenty. Údolí Křetínky vyplňují náplavové hlíny (mocnost pokryvu 2,5-3,5 m), v jejichž podloží se nachází vrstva štěrku a písku (mocnosti 2,0-3,0 m).

Z hlediska tektoniky převládají v celém zájmovém území nápadné dislokace SV až VSV směru. Tyto dislokace jsou provázeny hustou sítí rovnoběžných puklin téhož směru. V údolí pod přehradním profilem probíhá dislokace také ve směru SZ – JV. Kromě těchto hlavních linií jsou téměř všechny výchozy krystalických hornin nepravidelně rozpukány všemi směry.

Na základě vodních tlakových zkoušek (VTZ) uvedených v [10] jsou v údolní části horninového masivu tři pásma propustnosti:

1. pásmo tvoří oblast horninového masivu do hloubky 5 m pod povrch injekčního bločku, kterou lze označit za silně propustnou. Zjištěné spotřeby vody při VTZ se pohybují v rozmezí 0,8 – 4,2 l.min⁻¹.m⁻¹ při tlaku 0,5 at.
2. pásmo propustnosti tvoří horninový masív v hloubkovém rozsahu od 5 do 15 m, kde spotřeby vody při VTZ kolísaly v rozmezí 0,7 – 4,3 l.min⁻¹.m⁻¹ při tlaku 2,2 až 5,5 at.
3. pásmo od hloubky cca 15 m hlouběji tvoří horninový masív, který je možno označit za prakticky nepropustný ve smyslu Jähdeho či Lugeonova kritéria. Měrné spotřeby vody při VTZ zde kolísaly od 0,3 do 1,4 l.min⁻¹.m⁻¹ při tlaku 3 až 12,5 at.



Obr. 1: Přehledný IG profil v ose hráze

2.1.2 Hráz

Základní technické údaje:

Kota koruny hráze min. 362,04 m n.m. max. 362,21 m n.m.

Koruna vlnolamu min. 362,82 m n.m. max. 363,05 m n.m.

Kota dna nádrže 333,80 m n.m.

Délka hráze v koruně 126,0 m

Délka hráze v patě 140,0 m

Výška hráze nad terénem 28,50 m

Šířka koruny hráze 5,0 m

Sklon návodního líce 1 : 3

Sklon vzdušního líce 1 : 2,25

Celková kubatura nasypu hráze 165 255 m³

Injekční clona jednořadá patrová 174,00 m

Bermy na vzdušné straně - kóty 347,60 a 355,60 m n.m

Berma na návodní straně (kamenná patka) - kóta 347,60 m n.m

Hráz je zemní nehomogenní sypaná z kamenitohlinité sutě se středním jílovitým těsnicím jádrem. Návodní a vzdušná pata jsou opatřeny kamennými patkami ve sklonu 1 : 2,5. Těsnící jádro je zavázáno do podloží betonovým injekčním bločkem. Utěsnění podloží hráze je provedeno jednořadou patrovou clonou v ose hráze, doplněnou fortifikačními vrty před a za clonou. Návodní svah je opevněn 25 cm vrstvou prolévaného (mastixem) makadamu na 30 cm drtě frakce 2-4 mm a 30 cm přírodního šterkopískového filtru. Vzdušný líc je ohumusován a oset. Jsou zde provedeny 2 bermy na kótách 347,60 a 355,60 m n.m.

Těsnící zemina středního těsnícího jádra – tvoří sprašové pokryvy vytěžené v zátopě u obce Lazinov. Podle zatřídění zemin dle ČSN 73 6824 se jedná o jílovité hlíny skupiny CL. Sklon svahů těsnícího jádra je 5 : 1, šířka jádra 3,8 – 14 m.

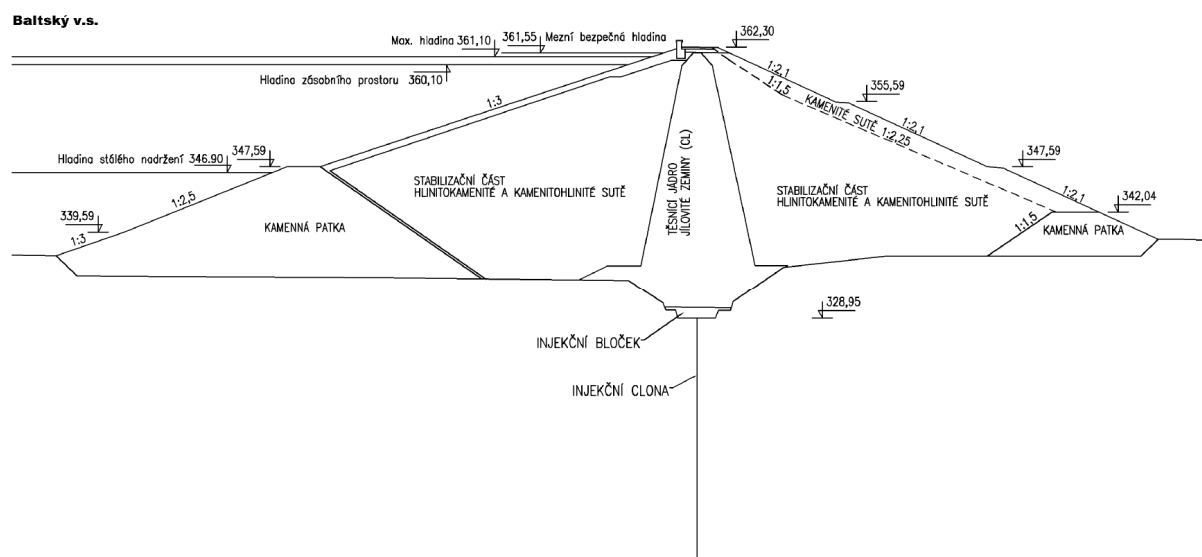
Stabilizační část je z hlinitokamenité a kamenitohlinité sutě z naleziště „Cihelna“ na západním okraji Letovic. Zeminy jsou dle ČSN 72 1001 klasifikovány jako písčité hlíny se šterkem, písčitohlinitý šterk a hlinitý šterk.

Svahy hráze se opírají o kamenné patky, které jsou nasypány z výlomů podloží hráze pro výpustné zařízení a komunikaci. Patka na návodní straně má šířku v koruně 4,0 m, kóta koruny patky je 347,60 m n.m., sklon vzdušního svahu 1 : 1,5, sklon návodního svahu 1 : 2,5. Patka na vzdušní straně má šířku v koruně 6,0 m, kóta koruny hrázky 341,60 m n.m., sklon vzdušního svahu 1 : 2,1, sklon návodního svahu 1 : 1,5.

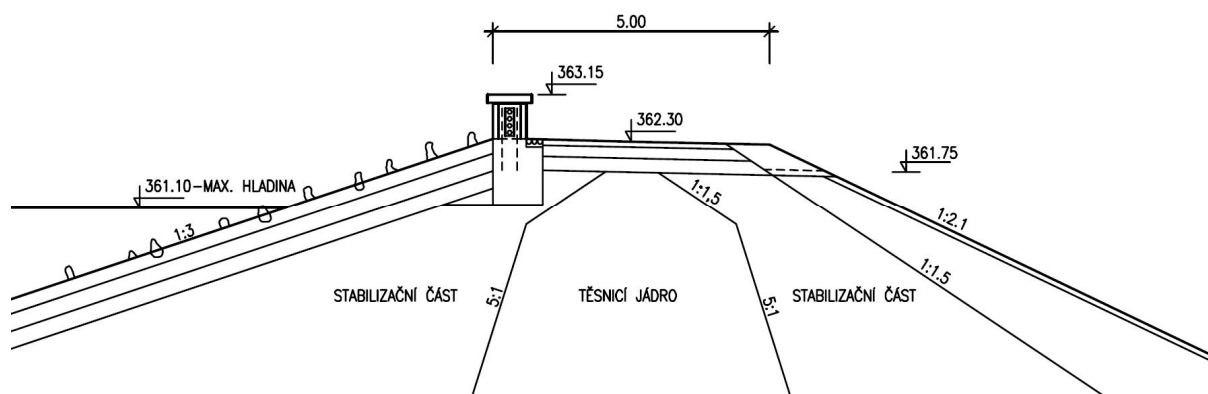
Návodní opevnění – nad kamennou patkou je provedeno kamenné opevnění z makadamu prolévaného asfaltem, mezi kótami 347,60 až po korunu hráze na kótě 362,10 m n.m. Tloušťka opevnění vč. přechodových filtrů je 0,85 m.

Nenamrzavá vrstva na vzdušním svahu – jedná se o pokryvnou vrstvu z deponií, resp. z kamenitého materiálu získaného hrubou selekcí v zemníku „Cihelna“. Horizontální drenážní koberec ve vzdušní části hráze – byl navržen dodatečně při sypání tělesa hráze. Jedná se o plošné prvky tloušťky 0,5 m, délky 10 až 20 m, které jsou nasypány ve třech etážích á 5 m.

Podloží hráze je těsněno injekční clonou prováděnou z betonového injekčního bločku. Injekční clona je provedena jednořadá, do hloubky až 30 m (prováděno ve třech pořadích). V celém profilu hráze je provedena fortifikace. Fortifikační vrty jsou vzdáleny od injekční clony 1 m na obě strany do hloubky 6 m, pod úhlem 100° od svislice k návodní a vzdušní straně.



Obr. 2: Vzorový příčný řez hrází



Obr. 3: Detail koruny hráze

2.1.3 Funkční objekty

Přeliv a skluz

Boční přeliv se skluzem je umístěn na pravém břehu, osa spadiště skluzu a vývařišť je v přímce. Délka přepadové hrany 26,60 m, kóta koruny 360,10 m n.m. Betonový skluz šířky ve dně 4,0 m, celkové délky 89,90 m ústí do vývaru spadem 40 %.

Přemostění skluzu na koruně hráze je provedeno ze železobetonových nosníků a zahrnuje pouze konstrukci mostovky šířky 4,50 m se zábradlím světlé.

Základní technické údaje

Koruna přelivu 360,10 m n.m.

Délka přepadové hrany 26,60 m

Šířka spadiště 4,3 m

Hloubka spadiště 2,7 - 3,88 m

Kóta spodní hrany mostu 361,52 m n.m.

Rozměry mostního otvoru B x H 4,2 x 5,67 m

Skluz je celkové délky 89,90 m

Šířka skluzu ve dně 4,00 m
Šířka přemostění skluzu 4,50 m
Výška zdi nade dnem skluzu min. 1,19 m

Vývar pod skluzem

Délka vývaru 18,00 m
Šířka vývaru ve dně 4,00 m
Hloubka vývaru 3,10 m

Odpadní koryto

Úprava zajišťuje napojení funkčních zařízení přehrady, tj. spodních výpustí a přelivu na stávající koryto Křetínky.

Délka úpravy je 142,6 m
Podélný spád 0,4 %
Sklon svahů koryta 1 : 2
Kapacita koryta je v této upravené části je cca 40 m³.s⁻¹

Umístění objektů je zřejmé z přehledné situace na obr. 4.

2.1.4 Výpustná zařízení

Odběrná věž

Je „mokrého typu“ železobetonové konstrukce obdélníkového půdorysu s rozměry základu 9,0x6,4 m, výška věže je 31,5 m. Dřík věže má rozměry 4,15 x 6,40. Uvnitř věže jsou dvě oddělené manipulační šachty 2,00 x 2,20 m. Ve stěně mezi nimi je umístěn plovákový hladinoměr.

Dřík věže je ukončen strojovnou, která slouží k obsluze všech uzávěrů. Konstrukci věže tvoří železobetonová rámová konstrukce, fasádu tvoří „boletické“ panely. Podlaha strojovny je na úrovni 362,60 m n.m.. Strojovna je vybavena jeřábovou dráhou o nosnosti 5 t.

Lávku vedoucí z pravého břehu k odběrné věži tvoří ocelový nosník o dvou polích, šířka lávky je 1,5 m, délka 47,0 m.

Spodní výpusti

Tvoří dvě potrubí DN 700 uložené na betonových stoličkách, je vedené štolou spodních vypustí. Vtoky spodních výpustí jsou chráněny zvenku česlicovým rámem 2,0 x 2,5 m. Rám je vytahovatelný.

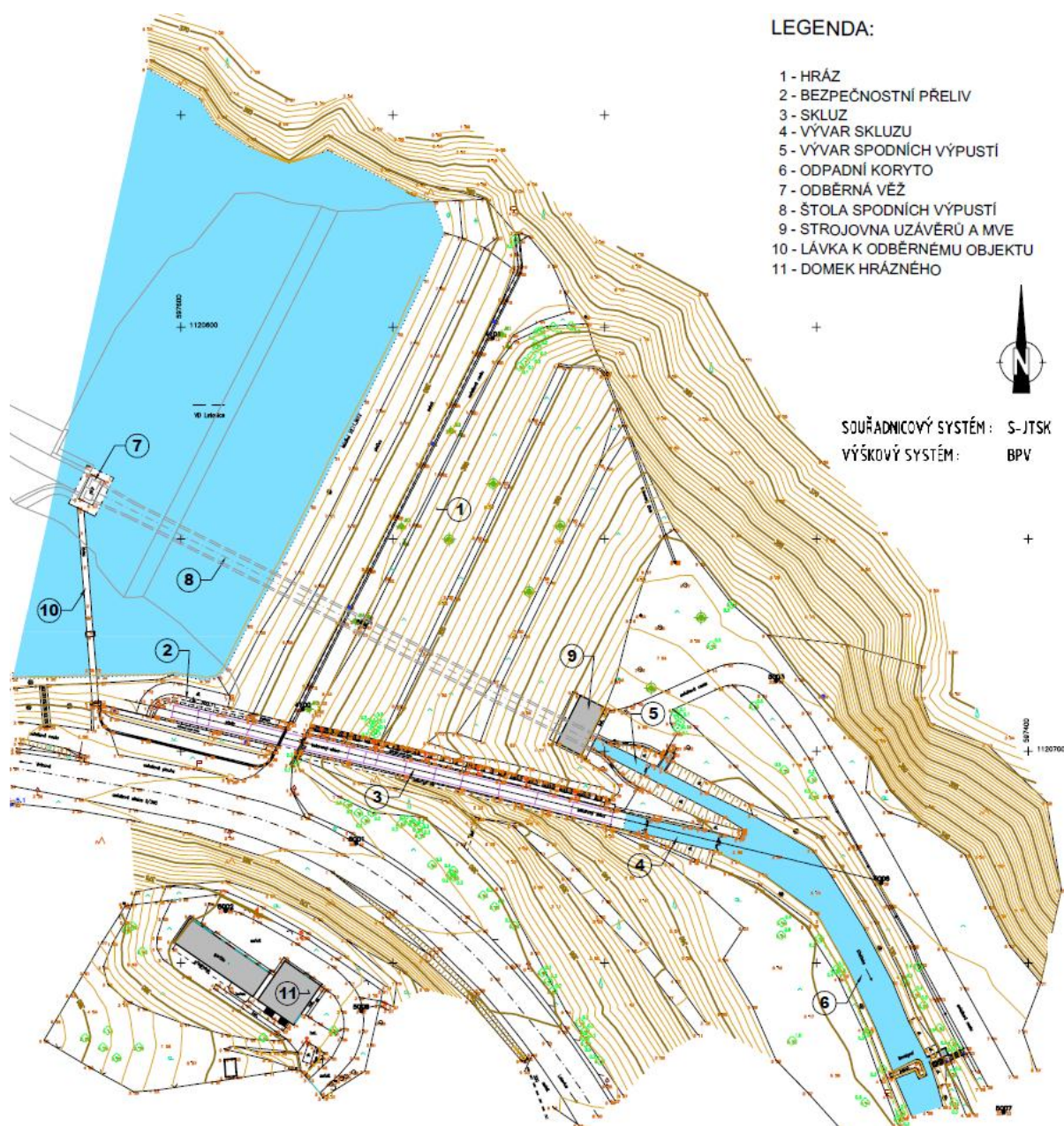
Vypouštění prosáklé vody mezi zahrazeným stavidlem zajišťuje potrubí o průměru 200 mm se šoupátkem (na každou výpust jedno) vyvedené do suché štoly.

K hlavnímu potrubí výpustí jsou připojena potrubí asanačního průtoku Js 150 mm s regulačními klapkami.

Potrubí spodních výpustí jsou vyústěna do vývaru o délce 15,4 m.

Základní technické údaje

Spodní výpusti 2 x DN 700 mm
Délka potrubí spodních vypustí 130 m
Kota vtoku - v ose potrubí 335,85 m n.m.
Kota výtoku - v ose 335,20 m n.m.
Kapacita spodních výpustí byla v rámci posudku přešetřena viz příloha B.1.



Obr. 4: Přehledná situace hráze a funkčních objektů

Uzávěry spodních výpustí

Potrubí jsou opatřena návodními uzávěry (stavidlové tabule), návodními provozními uzávěry (hradidla s těsněním) a provozními regulačními uzávěry (2 kuželové uzávěry).

Návodní uzávěry

Stavidlové tabule 2,0 x 1,4 m s těsněním po vodě působí jako bezpečnostní uzávěr v případě havárie potrubí nebo uzávěrů. Tabule jsou zavěšeny na závěsné konstrukci. Otevírání je možné jen při vyrovnaných tlacích. Zavírání je možné do plného průtoku. Ovládání je ruční i elektrické ze strojovny.

Návodní provozní uzávěry

Hradidla s těsněním proti vodě o rozměru 2,0 x 1,4 m. Hradidlové tabule jsou trvale zavěšeny pomocí táhel na závěsné konstrukci. Otevírání i zavírání lze provádět jen při vyrovnaných tlacích. Revizní uzávěry jsou užívány v případě revize zařízení šachty a potrubí výpustí.

Provozní regulační uzávěry

Dva kuželové uzávěry umístěné ve strojovně pod hrází. Uzávěry jsou konstruovány pro tlak vodního sloupce 26 m. Ovládání je z místa nebo z domku hrázního dálkově.

Potrubí asanačního průtoku

2 potrubí DN 150 mm jsou připojena na hlavní potrubí spodních výpustí. Jsou vybavena klapkovými uzávěry DN 200, které jsou ovládané ručně ze strojovny regulačních uzávěrů pod hrází.

Štola spodních výpustí

Štola navazuje na zadní stěnu věže, délka štoly je 121,0 m. Podélný spád je 0,3 %. V příčném řezu je štola 3,0 m široká ve dně a výška štoly v ose je 2,5 m. Štola je půlkruhově zaklenutá. Mezi potrubím spodních výpustí je ve štole vybudována kolejová drážka pro převoz břemen.

Strojovna regulačních uzávěrů

Strojovna navazuje na štolu, je zapuštěna ve vzdušní patě hráze. Podlaha strojovny je na kótě 336,00 m n.m. Vnitřní půdorys strojovny je 10,5 x 4,9 m.

Vývařiště spodních výpustí

Betonové zdi vývařiště jsou provedeny ve sklonu 5 : 1 a jsou obloženy lomovým kamenem. Dno vývaru je opacéřováno v délce 7,0 m.

Základní technické údaje:

Délka vývaru 15,4 m

Šířka vývaru 3,0 m

Dno vývaru je na kótě 331,80 m n.m.

Práh vývaru je na kótě 333,20 m n.m.

Hloubka vývaru 1,4 m

Malá vodní elektrárna

Turbíny jsou umístěny ve strojovně spodních výpustí pod hrází. Přivaděč je napojen na potrubí spodní výpustí.

I. Turbína FRANCIS - TG1 F 30 H, instalovaná v roce 1988. Přívodní potrubí je průměru 400 mm. Voda ze savky je vedena do uklidňovací nádrže a dále trubním odpadem průměru 1000 mm do výtokového objektu.

II. 2 turbíny typu BANKI 2,5 B2 x 232, instalované v roce 1989 byly v r. 2002 nahrazeny jednou Francisovou turbínou - TG2 a jedním čerpadlem v turbínovém provozu – TG3

2.1.5 Nádrž

Při maximálním nadržení je zatopená plocha 110,9 ha a délka vzdutí je 4,7 km. V nádrži je vybudováno na pravém břehu u hráze přístaviště pro kotvení služebního člunu. Na vodní ploše je povoleno provozování vodních sportů a koupání.

Rozdělení prostoru nádrže a kóty hladin dle manipulačního řádu:

Hladina stálého nadržení Ms 346,90 m n.m.

Maximální hladina zásobního prostoru Mz 360,10 m n.m.

Maximální hladina v nádrži Mmax 361,10 m n.m.

Mezní bezpečná hladina MBH 361,55 m n.m. (dle MŘ)

Koruna hráze (min.) 362,04 m n.m.

Koruna vlnolamu (min.) 362,82 m n.m.

Plocha hladiny při hladině stálého nadržení 37,5 ha

Plocha hladiny při zásobní hladině 104,6 ha

Plocha hladiny při maximální hladině 110,9 ha

Objem prostoru stálého nadržení 1,56 mil. m³

Objem zásobního prostoru 9,015 mil. m³

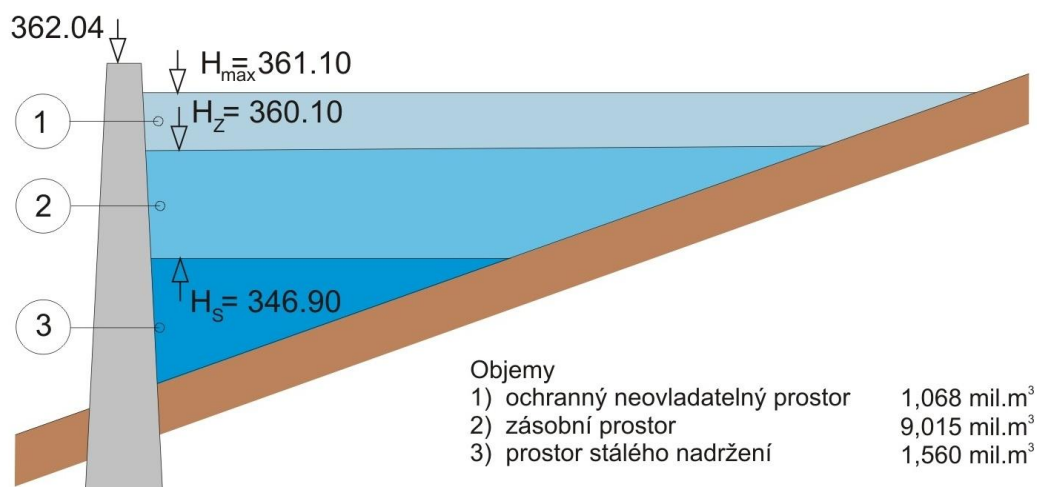
Objem neovladatelného retenčního prostoru 1,068 mil. m³

Celkový objem nádrže (po maximální hladinu) 11,644 mil. m³

Objem nádrže – po korunu hráze, min. 362,04 m n.m. 12,61 mil. m³ (*)

Objem nádrže – po korunu vlnolamu, min. 362,82 m n.m. 13,49 mil. m³ (*)

(*) Objemy nádrže nad maximální hladinou v nádrži dle posudku [1].



Obr. 5: Rozložení objemů v nádrži Letovice (výškové kóty podle stávajícího MŘ)

2.2 Účel a funkce díla

- Kompenzační nalepšení průtoků ve Svitavě na $Q_{\min} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do profilu pod soutokem Svitavy a Křetínky (náhrada za ochuzené průtoky ve Svitavě jímáním vody v prameništi u Muzlova)
- Zajištění minimálního zůstatkového průtoky pod přehradou $MZP = 0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Energetické využití odtoků z nádrže v MVE
- Rekreace
- Chov ryb pro sportovní rybářství
- Snížení povodňových průtoků neovladatelným retenčním prostorem

2.3 Hydrologické poměry

Základní hydrologické údaje o N-letých průtocích a další doplňující údaje o povodí jsou převzaty z Hydrologické studie teoretických povodňových vln pro vodní nádrž Letovice na Křetínce, vypracované ČHMÚ pobočka Brno v dubnu 2009 [5]. Platnost dat a údajů byla v prosinci 2012 ověřena ČHMÚ a prodloužena do roku 2020.

Průběhy teoretických povodňových vln byly vypracovány dvěmi různými metodikami

- **klasickou statistickou extrapolací metodou** – tento postup vyžaduje nejdříve odvodit a extrapolovat N-lete průtoky až k hodnotám $Q_{10\,000}$

- **deterministickým srážko-odtokovým modelem povodí**. Modelové řešení je založeno na rovnicích, které popisují transformaci průběhu příčinné srážky na přímý odtok z povodí. Matematické vyjádření spočívá na teorii tzv. CN křivek.

Z porovnání hodnot N-letých průtoků podle klasické metodiky a podle modelu je vidět, že dobré shody je dosaženo pro průtoky Q_{100} a Q_{200} . Rozdíly mezi klasickým výsledkem a modelovou hodnotou postupně rychleji narůstají s rostoucí dobou opakování N. Přitom modelové hodnoty Q_N^{**} pro N větší než 100 jsou systematicky vyšší než hodnoty Q_N^* podle klasické metody.

Výsledky studie ČHMÚ byly zařazeny do následujících tříd spolehlivosti. Veličiny odvozené pro klasickou řadu dob opakování od N=1 do N= 100 let jsou zařazeny do třídy I. Veličiny pro N=200 let jsou ve třídě II, veličiny pro N= 500 až 1 000 let jsou třídy III. Ostatní hodnoty extrapolované pro N=2000 až N=10 000 let byly zařazeny do třídy IV.

Pokud jde o vzájemné porovnání spolehlivosti obou použitých metod vypracování teoretických povodňových vln, považuje zpracovatel (ČHMÚ) za spolehlivější metodu klasickou.

Plocha povodí (po profil hráze) A	126,46	km ²
Průměrná roční výška srážek P_a	686	mm
Průměrný roční průtok Q_a	0,644	m ³ /s
Průměrný dlouhodobý specifický odtok q_a	5,10	l/s/km ²

N-leté průtoky

N	průtok Q_N [m ³ /s] *	průtok Q_N [m ³ /s] **	objem W_{PVN} [mil.m ³]
1	7,5	-	1,2
2	10,8	-	1,8
5	16,6	-	2,8
10	22,4	-	3,7
20	29,2	-	4,7
50	40,2	-	6,2
100	50,0	49,1	7,5
200	61,3	65,2	8,9
500	78,8	92,5	11,0
1000	94,1	114,3	12,7
2000	111,3	140,8	14,6
5000	137,5	-	17,4
10000	160,0	212,0	19,7

Hodnoty převzaty z příkladu [5]

* Teoretické povodňové vlny podle klasické metodiky (TEOR)

** Teoretické povodňové vlny vypracované podle deterministického srážko-odtokového modelu (MOD)

Průběhy teoretických povodňových vln byly vypracovány dvěmi různými metodikami

- **klasickou statistickou extrapolací metodou** – tento postup vyžaduje nejdříve odvodit a extrapolovat N-lete průtoky až k hodnotám $Q_{10\,000}$.

- **deterministickým srážko-odtokovým modelem povodí**. Modelové řešení je založeno na rovnicích, které popisují transformaci průběhu příčinné srážky na přímý odtok z povodí. Matematické

vyjádření spočívá na teorii tzv. CN křivek. Hodnoty vycházející z této metodiky budou dále v textech označovány indexem $_{MOD}$.

Z porovnání hodnot N-letých průtoků podle klasické metodiky a podle modelu je vidět, že dobré shody je dosaženo pro průtoky Q_{100} a Q_{200} . Rozdíly mezi klasickým výsledkem a modelovou hodnotou postupně rychleji narůstají s rostoucí dobou opakování N. Přitom modelové hodnoty $Q_{N\ MOD}^{**}$ pro N větší než 100 jsou systematicky vyšší než hodnoty $Q_{N\ TEOR}^*$ podle klasické metody.

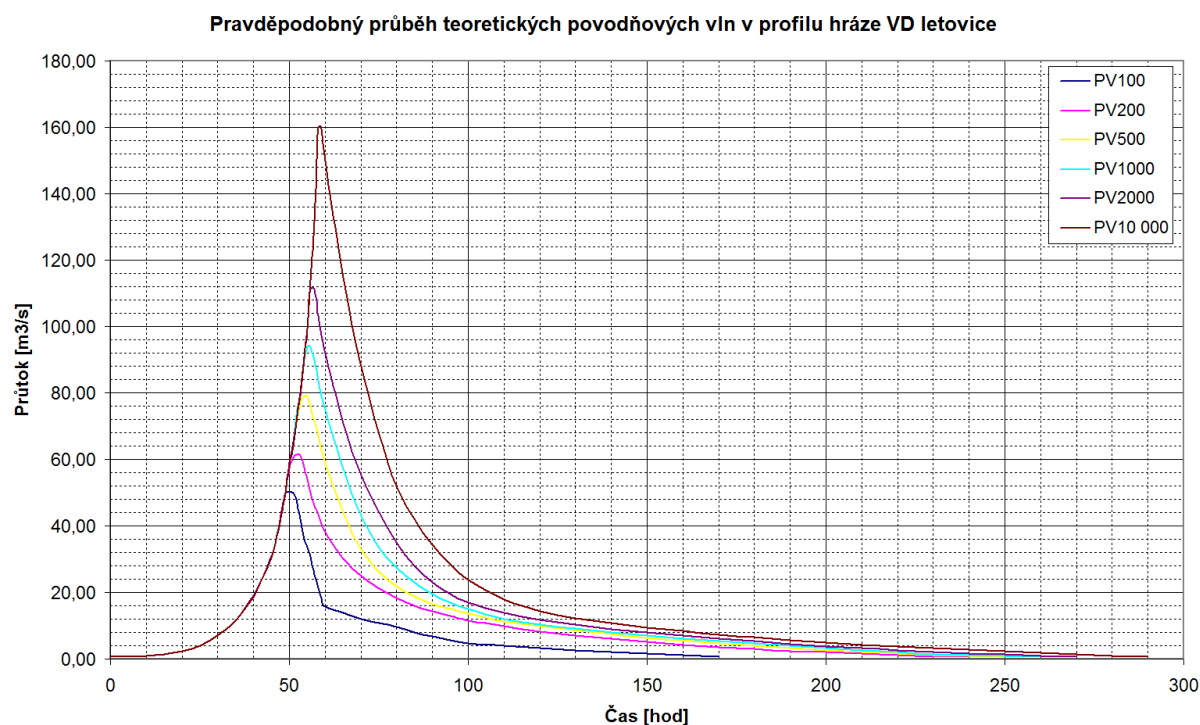
Výsledky studie ČHMÚ byly zařazeny do následujících tříd spolehlivosti. Veličiny odvozené pro klasickou řadu dob opakování od N=1 do N= 100 let jsou zařazeny do třídy I. Veličiny pro N=200 let jsou ve třídě II, veličiny pro N= 500 až 1 000 let jsou třídy III. Ostatní hodnoty extrapolované pro N=2000 až N=10 000 let byly zařazeny do třídy IV.

Pokud jde o vzájemné porovnání spolehlivosti obou použitých metod vypracování teoretických povodňových vln, považuje zpracovatel (ČHMÚ) za spolehlivější metodu klasickou.

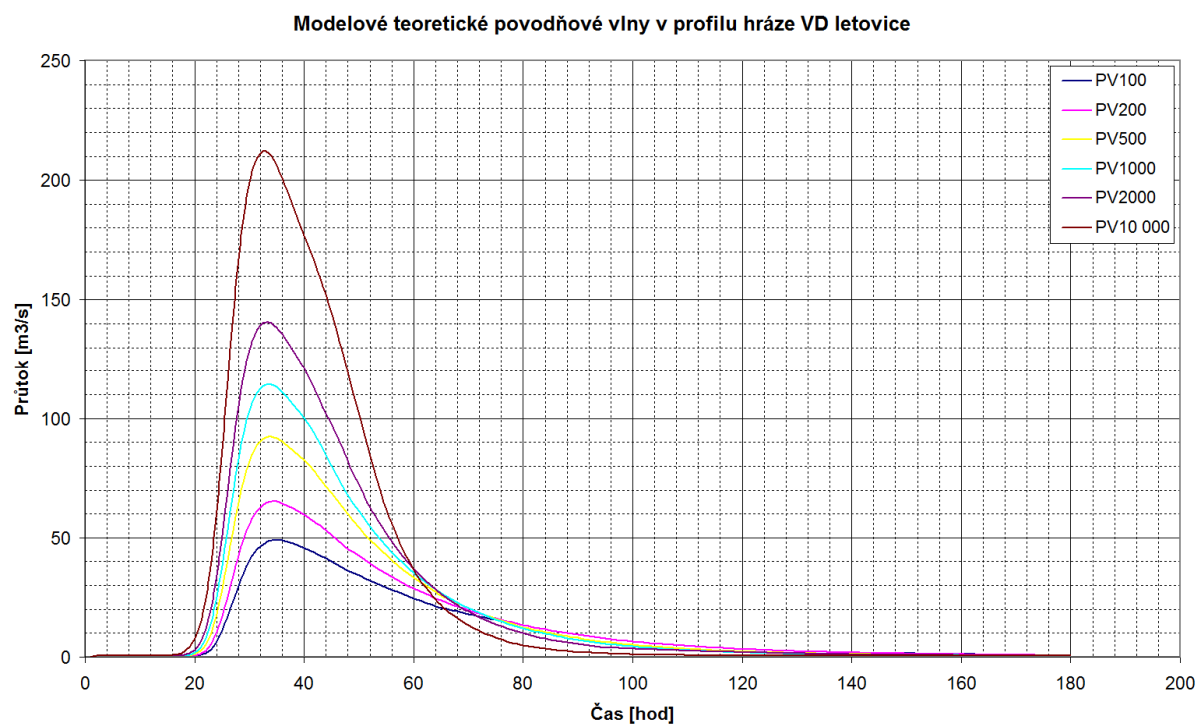
Pro informaci uvádíme M-denní průtoky, které jsou převzaty z Manipulačního řádu pro přehradu Letovice na toku Křetínky [4].

M-denní průtoky

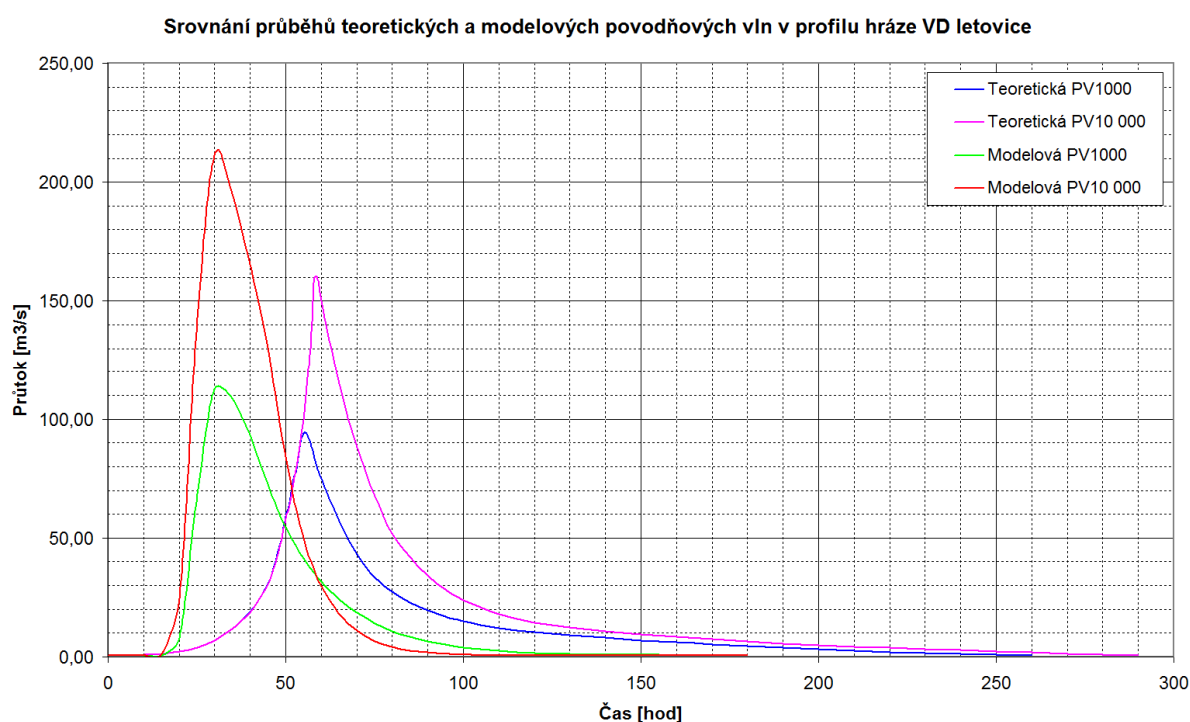
M	průtok Q_M [m ³ /s]
30	1,521
90	0,878
180	0,582
270	0,370
330	0,238
355	0,146
364	0,077



Obr. 6 Hydrogramy vybraných $PV_{N\ TEOR}$ dle hydrologické studie [5].



Obr. 7 Hydrogramy vybraných $PV_{N\text{MOD}}$ dle hydrologické studie [5].



Obr. 8 Srovnání vybraných hydrogramů $PV_{N\text{TEOR}}$ a $PV_{N\text{MOD}}$ dle hydrologické studie [5].

2.4 Manipulace za povodní

Manipulační řád [4] definuje zásady manipulace za povodní.

Předpouštění nádrže

V každém případě je žádoucí před očekávaným příchodem velké vody zvětšit ochranný prostor nádrže snížením hladiny v zásobním prostoru.

Nádrž Letovice nemá vymezen ovladatelný retenční objem a zásadněji je možné povodeň ovlivnit pouze při dostatečně uvolněném zásobním objemu.

Příkaz k předpouštění nádrže vydává vodohospodářský dispečink Povodí Moravy, s.p., Brno na základě informací z ČHMÚ Brno:

- o stavu zásob vody ve sněhu v povodí nádrže,

- o předpovědi srážkové činnosti v povodí,

nebo na základě vlastního zhodnocení situace, vyhodnocení průtoků a jejich nárůstu v celém povodí.

V zimním období může vodohospodářský dispečink nařídít předpouštění v objemu, jenž se rovná 25 % zásoby vody ve sněhu v povodí bez souhlasu vodoprávního úřadu, větší předpouštění jen se souhlasem příslušného vodoprávního úřadu.

V období dešťů se předpouštění řídí operativně podle vzniklé situace. Pokyn k předpouštění vydává vodohospodářský dispečink. Hrázný je oprávněn zahájit předpouštění i dle vlastního uvážení (např. při přívalové srážce v povodí) – o tomto vypouštění musí neprodleně informovat vodohospodářský dispečink Povodí Moravy.

Předpouštění se provádí přes MVE a spodními výpustmi, max. do výše neškodného průtoku $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, přípustný pokles hladiny za den je max. 80 cm, za týden 3,0 m.

Mezní hladina pro předpouštění zásobního prostoru pro účely povodní je stanovena na kótě **355,00 m n.m.**

Toto poměrně velké předpuštění lze využívat mimořádně, zejména před příchodem jarních povodní, pokud budou zásoby vody ve sněhu extrémně velké.

Postup manipulací při převádění povodní

Manipulace řídí operativně vodohospodářský dispečink Povodí Moravy, s.p., Brno dle skutečné situace v povodí nádrže Letovice a s přihlédnutím k povodňovým stavům na řece Svitavě a Křetínce.

O jednotlivých významnějších krocích a rozhodnutích informuje (pokud možno předem) vodohospodářský dispečink Povodí Moravy PK Jihomoravského kraje.

Plnění předpuštěného zásobního objemu

Manipuluje se následujícím způsobem:

1. Až do přítoku cca $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se z nádrže vypouští odtok přes turbíny MVE (max. $1,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), případně potrubím asanačního průtoku pokud je MVE mimo provoz (max. $0,380 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Vyšší průtoky do $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ spodní výpustí.

Přebytkem přítoku se plní zásobní prostor.

Pokud by tento stav trval delší období a při tom se dal předpokládat příchod větších povodní, zvýší se odtok postupně spodní výpustí tak, aby se hladina udržela na nižší, předpuštěné úrovni.

2. Zvýší-li se přítoky do nádrže nad $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, posoudí se situace v povodí.

Pokud bude tendence přítoků stoupající a lze očekávat příchod povodně, otevírají se postupně spodní výpusti tak, aby celkový odtok byl stejný jak přítok.

Pokud by se dala očekávat velká povodeň a předpuštění by nebylo velké, lze spodní výpusti otevřít tak, aby odtok byl cca o $1 - 2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ větší, než přítok, případně dle pokynu vodohospodářského dispečinku na průtok umožňující bezpečné převedení povodně (až do plné kapacity spodních výpustí $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Pokud by se ze situace v povodí dalo usuzovat, že povodeň nebude velká, ponechá se ve funkci pouze MVE na plnou kapacitu a přebytkem přítoku se plní zásobní prostor.

3 . Stoupnou-li přítoky nad $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při stoupající tendenci, otevřou se spodní výpusti postupně

až na plnou kapacitu $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vyššími přítoky nad $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se plní nádrž až na přeliv.

4. Pokud by kdykoliv během plnění zásobního prostoru začaly přítoky klesat a nový nástup povodně se již nebude předpokládat, spodní výpusti se uzavřou, aby bylo zajištěno bezpečné naplnění nádrže.

Manipulace při plnění retenčního (neovladatelného) prostoru

Při neočekávaném příchodu povodně, kdy není v nádrži uvolněn žádný objem v zásobním prostoru, nebo je již naplněn, manipuluje se následujícím způsobem:

1. Se stoupajícím přítokem se postupně otevírají obě spodní výpusti tak, aby se hladina přibližně udržovala na kótě 360,10 m n.m. (koruna přelivu).

Jakmile je přítok do nádrže $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, musí být spodní výpusti otevřeny na plnou kapacitu.

2. Při stoupajících přítocích, kdy hladina začne stoupat nad přeliv, se postupně obě spodní výpusti začnou uzavírat tak, aby při dosažení kóty cca 360,35 m n.m. (25 cm nad přelivem) byly obě výpusti uzavřeny.

Veškerý odtok se dále převádí pouze přelivem.

3. Pokud by v průběhu povodně byla dosažena maximální bezpečná hladina $H_{\max} = 361,10 \text{ m n.m.}$, otevřou se opět postupně obě spodní výpusti.

4. O dosažení max. hladiny bude prostřednictvím vodohospodářského dispečinku uvědoměn technicko bezpečnostní dohled, tj. VODNÍ DÍLA-TBD, a.s., Brno a hlavní pracovník TBD Povodí Moravy.

Dále se podává hlášení jako při 3. stupni povodňové aktivity. Pokud by při extrémně velké povodni byla překročena max. hladina $H_{\max} = 361,10 \text{ m n.m.}$, bude situace sledována se zvýšenou četností a o případných opatřeních na toku pod vodním dílem rozhoduje Povodňová komise Jihomoravského kraje.

Manipulace při opadávání povodní

Při opadávání povodně se retenční prostor prázdní nejdříve přelivem a od kóty cca 360,35 m n.m. postupně otevřenými spodními výpustmi. Při poklesu hladiny na kótu 360,10 m n.m. (koruna přelivu) přivírají se spodní výpusti tak, aby se hladina na této kótě udržovala. Po úplném uzavření spodních výpustí se manipulace řídí zásadami pro běžné manipulace v zásobním prostoru. Úpravy manipulací může podle celkové situace v povodí nařídit vodohospodářský dispečink (např. nemusí být otevírány spodní výpusti).

Poruchy výpustných zařízení při povodních

Pokud by při převádění povodní byl některé z výpustných zařízení mimo provoz, manipulace se provádí operativně vždy zbývajícími zařízeními schopnými provozu.

Podle řešení transformace povodní není při převádění povodní žádným ohrožením, pokud by byla jedna nebo případně i obě spodní výpusti mimo provoz.

2.5 Technický stav díla a hlavní bezpečnostní rizika

2.5.1 Okolnosti ovlivňující bezpečnost VD za povodní

Hospodaření s vodou v nádrži se řídí platným MŘ [4] schváleném v roce 2009. Manipulace se provádí koordinovaně podle pokynů vodohospodářského dispečinku Povodí Moravy s.p. Neškodný průtok pod dílem je stanoven na $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Měrný profil s limnigrafem je cca 100 m pod vodním dílem.

Při převádění povodňových průtoků je možné využít nehrazený bezpečnostní přeliv a obě spodní výpusti.

- Bezpečnostní přeliv – volný, nehrazený, bez nutnosti manipulace a obsluhy během povodňové situací, kapacita při maximální hladině $58,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

- Spodní výpusti – 2 x DN 700 mm, ovládání je elektrické i ruční, kapacita při max. hladině v nádrži $6,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Uzávěry spodních výpusti jsou ve spolehlivém stavu a plně funkční. Provozní (funkční) zkoušky uzávěrů spodních výpusti – funkční zkoušky provádí obsluha VD v souladu s [4]. O každé funkční zkoušce vede hrázový záznam v provozním deníku. Provozní kontroly zajišťuje PM, útvar TBD a provoz PM. Provozní kontroly se provádí cyklicky - většinou před technicko-bezpečnostními prohlídkami nebo v rámci nich. V případě přerušení dodávky elektrického proudu jsou výpusti ovladatelné i ručně.

Odpadní koryto pod hrází má břehovou kapacitu asi $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (odpovídá cca padesátileté vodě). Při větších průtocích bude voda z koryta vybířovat, průtok vody bude realizován celou údolní nivou š. cca 50 m.

Na vodním díle Letovice je zajištěna obsluha ve dnech Po-Pa, od 7,00 do 15,30 hod. Obsluha přehrady nastupuje nepřetržitou službu na objektu od dosažení II. stupně povodňové aktivity (odtok nebo přítok je větší než $7,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Hlavní sledované veličiny (hladina v nádrži, vodní stavy na přítoku – Lg Prostřední Poříčí a odtoku – Lg pod přehradou) jsou trvale přenášeny do domku hrázového a na vodohospodářský dispečink. Jsou tedy vytvořeny předpoklady pro to, aby všechny manipulace mohly být provedeny operativně a včas.

Stav objektů vodního díla i spolehlivost funkce výpustných a bezpečnostních zařízení jsou trvale sledovány. Je prováděn dohled vlastníka a pověřené organizace ve smyslu zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a podle vyhlášky č. 471/2001 Sb., o technicko-bezpečnostním dohledu nad vodními díly prostřednictvím hlavních pracovníků technicko-bezpečnostního dohledu. Jejich hodnocení jsou předmětem pravidelných etapových zpráv o dohledu, resp. Souhrnných etapových zpráv.

Na VD byly v rámci trvalého provozu zaznamenány povodňové stavy, při kterých byl vyhlášen III. SPA:

Povodeň v 07/1997 – historicky největší zatížení vodního díla. Hladina v nádrži dostoupila při kulminaci na kotu 360,71 m n.m., tedy 0,61 m nad korunu přelivu, dle (10) se jednalo o průtok $24,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dle aktualizované MK odpovídá průtok $26,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \approx Q_{10} - Q_{20}$.

Povodeň v 03-04/2006 – při jarním tání dosáhla hladina v nádrži na kótu 360,53 m n.m., 0,43 m nad korunu přelivu, max. odtok $21,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dle Lg pod přehradou.

Při povodňových situacích došlo k částečnému rozebrání opevnění odpadního koryta pod přehradou. Bezpečnostní přeliv, skluz ani vývar nebyly poškozeny.

Hráz VD je zemní, stabilizační část je sypaná z hlinitokamenitého materiálu, střední těsnící jádro ze sprašových jílovitých hlín. U tohoto typu hráze není přípustné její přeliti. V případě přelitu hráze nastává reálné riziko jejího protržení. Min. koruna hráze dle E.2 je na kotě 362,04 m n.m. Koruna těsnícího jádra je dle podkladu E.3 na kotě 360,30 – 360,90 m n.m. Nad těsnícím jádrem je vedena po koruně hráze asfaltová cesta s tloušťkou konstrukčních vrstev 0,55 m. Na návodní straně koruny hráze je betonový vlnolam, vrch vlnolamu je na kotě 362,82 m n.m. (min.). Zaklad vlnolamu není pravděpodobně propojen s těsnícím jádrem, tzn. že při hladině v nádrži nad 360,30 m n.m. bude docházet k průsakům vody po šterkopískovém podsypu cesty nad korunou jádra. Při déle trvajícím zatížení je zde reálné riziko vytvoření privilegované průsakové cesty a následné protržení hráze. Doporučujeme pro další stupně přípravy ověřit tvar a propojení jádra s vlnolamem dalšími vrty nebo kopanou sondou v příčném směru.

Možnosti nouzového převádění povodní jsou v případě VD Letovice velmi omezené. Charakter údolí přehradního profilu neumožňuje odvést potřebné množství mimo přehradní profil. Konstrukce hrázového tělesa (zemní násyp, výška hráze nad terénem v podhrází 25,6 m, sklon vzdušního svahu 1:2,25) neumožňuje převádění vody přes těleso hráze.

Kapitola 2.5.1 převzata z [4]

2.5.2 Deformace tělesa hráze, betonových objektů a jejich podloží

Deformace tělesa hráze se hodnotí na základě sledování svislých posunů metodou geometrické nivelace kategorie N1 (ekvivalent k měření VPN dle ČSN 73 0405) na kontrolních bodech:

- na vlnolamu v koruně hráze,

- na nově osazených kontrolních bodech na koruně hráze (při vzdušní straně)
- na vzdušním resp. i návodním (pokud to výška hladiny vody v nádrži dovolí) líci hráze,
- na vzdušní patě hráze.

Deformace betonových objektů a jejich podloží se hodnotí na základě sledování:

- svislých posunů kontrolních bodů v podlaze CHSV, v podlaze strojovny odběrné věže a na zdech spadiště pomocí geometrické nivelace kategorie N1,
- relativních vodorovných a svislých posunů měření na deformetrických základnách osazených na dilatačních spárách mezi betonovými bloky CHSV,
- náklonů odběrné věže na dvou klínometrických základnách v podlaze její strojovny.

Dle doporučení uvedeném ve 13. EZ TBD je geodetické měření svislých posunů na kontrolních bodech prováděno s četností 1 x za 4 roky. V hodnoceném 10-letém období byly provedeny tři etapy měření a to v 04/1999, 07/2004 a 05/2008.

2.5.2.1 Deformace tělesa hráze

Na koruně vlnolamu jsou osazeny kontrolní body K1 - K5, na návodním svahu body B5, B8 (horní úroveň) a B6, B7 (dolní úroveň), na vzdušném svahu body H1, H2 (horní berma) a body S1, S2 (spodní berma), v patě vzdušního svahu jsou osazeny kontrolní body B1 a D1. Kontrolní bod K5 na koruně vlnolamu byl zničen v roce 2003. Vzhledem k nevhodnému umístění bodů na betonové zdi vlnolamu, bylo provedeno v červnu 2004 osazení pěti nových kontrolních bodů značených K11 – K15. Nové kontrolní body jsou umístěny na koruně hráze, na kraji asfaltové vozovky, v zeleném pásu – na vzdušní straně. V 07/2004 bylo provedeno jejich základní zaměření (ZZ).

Celkový pokles kontrolních bodů na koruně hráze (ZZ v 10/1977) se pohybuje od 81,5 mm (K1) do 147,7 mm (K2). Největší celkový pokles (sedání hráze) měřený na bodu K2 odpovídá jeho umístění cca ve středu hráze, v místě nejvyššího násypu hráze. V porovnání s jinými zemními hrázemi na Moravě má VD Letovice největší absolutní sedání, což je způsobeno výškou hráze a zeminou s vysokým podílem jílu, ze kterého byl násyp hráze proveden. V případě, že se v porovnání jednotlivých zemních hrází zohlední jejich výška (hodnocení v mm/m), pak je velikost sedání tělesa hráze v porovnání s jinými hrázemi cca ve středu.

Na kontrolních bodech osazených na návodním svahu bylo provedeno poslední měření v 05/1993. V průběhu geodetického měření byla hladina vody vždy tak vysoko, že kontrolní výškové body B5 – B8, nebylo možné zaměřit.

Na všech kontrolních bodech umístěných na vzdušném svahu hráze (vyjma bodu D1 – nebyl měřen) byly naměřeny prokazatelné poklesy. Jedná se o mezietapový pokles od 1,3 mm (B1) do 2,9 mm (H2). Celkový pokles je od 12,2 mm (B1-v patě hráze) do 75,9 mm (H1 – horní berma). Velikost poklesu kontrolních bodů je přímo úměrná výšce násypu hrázového tělesa. Největší poklesy jsou na koruně hráze, nejmenší poklesy na kontrolních bodech u paty hráze. Roční konsolidační rychlosti na kontrolních bodech mají sestupnou tendenci, pohybuje se v rozmezí 0,33 mm/rok (B1-v patě hráze) až 0,79 mm/rok (K2-na koruně hráze).

2.5.2.2 Deformace bezpečnostního přelivu a jeho podloží

Pro sledování deformací objektu jsou osazeny na zdech spadiště kontrolní body B2, B3, B4, na nichž jsou sledovány svislé posuny (zdvihy a poklesy).

Při poslední etapě měření nebyl na žádném z bodů naměřen prokazatelný zdvih. Celkový maximální posun (zdvih) činí 4,4 mm (B4-na pilíři za přelivem). V minulých etapách měření (04/1999 a 07/2004) byly u všech tří bodů měřeny vzrůstající zdvihy až 3 mm. Poslední etapa potvrdila měření z 07/2004 bez prokázání dalšího nepříznivého vývoje zdvihů.

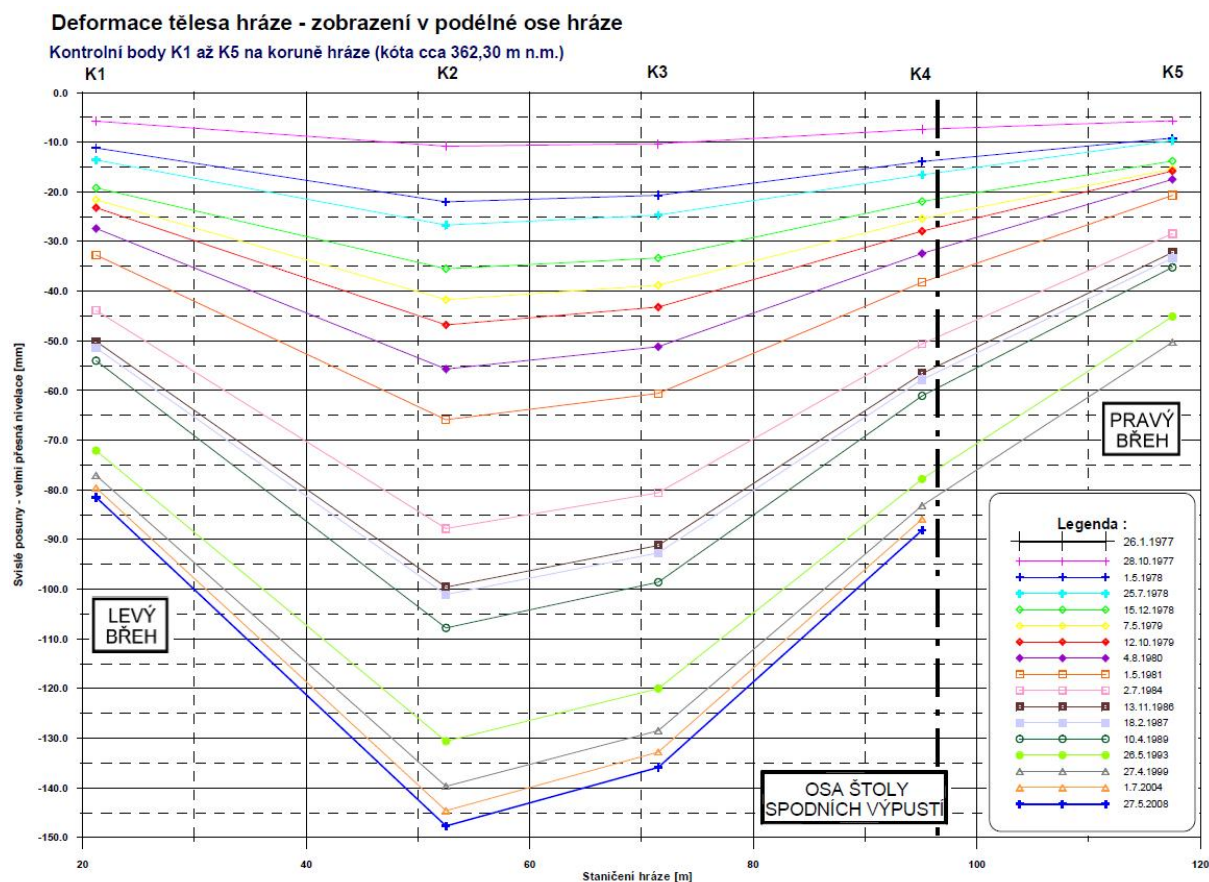
Příčina v měřených zdvizích na kontrolních bodech není zřejmá. Může se jednat o působení vzlaku vody působící na objekt nebo o vliv dopravy na přilehlé silnici popř. teplotní vliv.

V rámci TBD je tomuto objektu věnována zvýšená pozornost, jsou prováděny vizuální prohlídky stavu betonové konstrukce se zaměřením na možné trhliny a měření celkového průsaku.

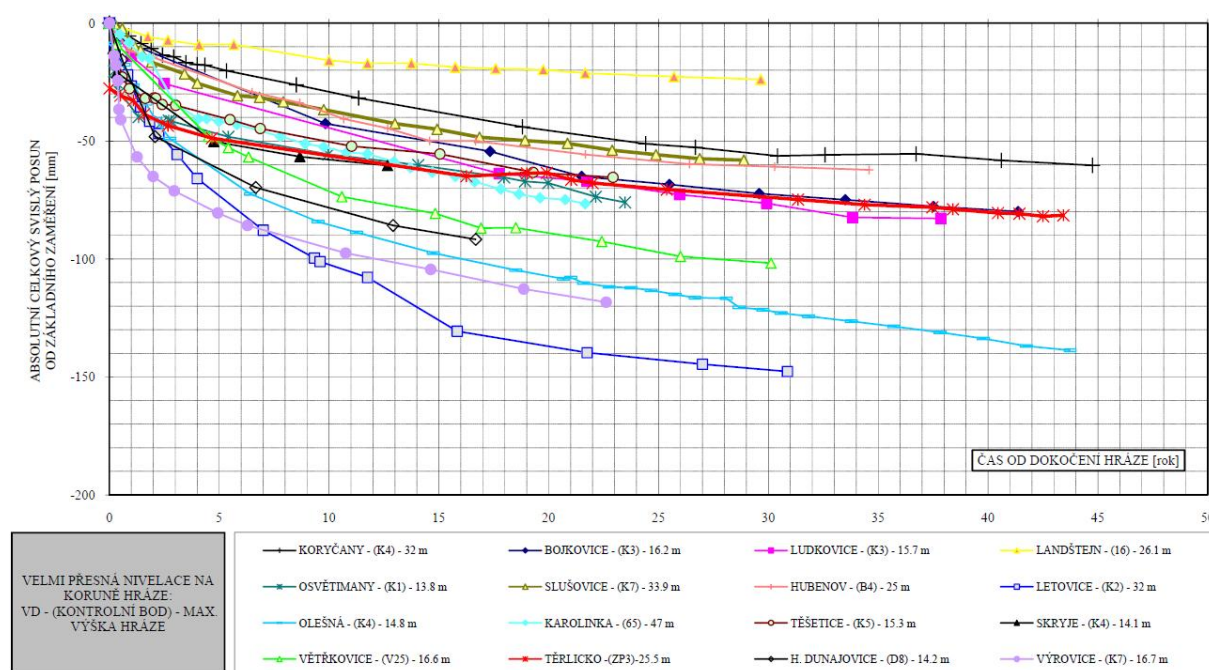
UMÍSTĚNÍ BODU	OZNAČENÍ BODU	ZÁKLADNÍ ZAMĚŘENÍ NADM. [m n.n.]	STANČENÍ V OSE VE ŠTOLĚ HRÁZE [m]	SVISLÉ POSUNY [mm] MĚŘENÉ V DÁTECH JEDNOTLIVÝCH ETAP OD ZÁKLADNÍHO ZAMĚŘENÍ				MEZETAPOVÉ ROZDÍLY SVISLÝCH POSUNŮ [mm]				ROČNÍ KONSOLIDAČNÍ RYCHLOSTI [mm/rok]			
				10.12.75	06.06.76	24.03.76	10.04.89	26.03.93	27.04.99	01.07.04	27.05.08	10.04.89	26.03.93	27.04.99	01.07.04
				SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV
VZTAŽNÉ BODY	N1	339.8450		-0,2	-1,4	-1,6	-1,5	-1,1	-1,1	-1,0	-1,6	0,4	0,0	0,1	-0,6
	N2	336.4556		0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,0	-0,1	0,2
	N3	336.7997		0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	-0,2	0,0	0,2
	N4	362.6858		0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	0,0	0,0	-0,1
	N5	360.9399		0,0	0,0	0,0	0,0	-1,1				-1,1			
	N6	364.1666							0,0	-0,3					
KONTROLNÍ BODY NA KORUNĚ HRÁZE	K1	337.4671	21,2					0,0	-2,9	-5,4		-2,9	-2,5		-0,3
	K2	363.0146	52,5				-54,0	-72,1	-77,1	-79,6	-81,5	-18,1	-5,0	-2,5	-2,5
	K3	362.9811	71,5				-107,8	-130,6	-139,7	-144,6	-147,7	-6,7	-22,8	-9,1	-4,9
	K4	362.9715	95,1				-98,6	-120,0	-128,5	-132,8	-135,9	-5,9	-21,4	-8,5	-4,3
	K5	362.9786	117,5				-61,1	-77,8	-83,2	-85,9	-88,1	-3,3	-16,7	-5,4	-2,7
	K11	361.7622	24,7				-35,2	-45,1	-50,3			-1,9	-9,9	-5,2	
V PATĚ VZDUŠNÍHO SVAHU HRÁZE	K12	361.8124	48,3					0,0	0,0	0,0	-2,4				-2,4
	K13	361.7959	77,3					0,0	0,0	0,0	-3,2				-3,2
	K14	361.7979	96,6					0,0	0,0	0,0	-2,2				-2,2
	K15	361.8148	121,7					0,0	0,0	0,0	-2,2				-2,2
	B1	366.4156					0,0	-8,7	-9,3	-10,2	-10,9	-12,2	-0,8	-0,9	-0,7
	D1	337.8131					0,0								
NA VZDUŠNÍM SVAHU SPODNÍ BERMA	S1	347.5176					0,0	-21,8	-23,9	-25,7	-27,1	-29,3	-1,7	-2,1	-1,4
	S2	347.4021					0,0	-24,2	-27,4	-30,5	-32,5	-35,3	-1,8	-3,2	-2,0
	H1	355.3671					0,0	-59,0	-65,6	-70,3	-73,0	-75,9	-3,1	-6,6	-4,7
	H2	355.4184					0,0	-47,1	-51,8	-55,2	-57,7	-59,8	-2,5	-4,7	-3,4
	B5	359.6094					0,0								
	B6	355.7548					0,0	-20,7							
NA VZDUŠNÍM SVAHU HORNÍ BERMA	B7	355.7981					0,0	-17,1							
	B8	359.7013					0,0	-140,8							
	V0	335.3051					0,0	-0,5	-0,9	-1,5	-1,8	1,2	-0,6	1,0	-1,3
	B2	361.5115					1,0	1,0	1,8	2,7	2,8	0,4	0,0	0,8	0,9
	B3	361.6183					1,2	0,3	2,3	3,3	3,1	0,6	-0,9	2,0	1,0
	B4	361.5249					1,5	1,2	2,9	4,2	4,4	0,7	-0,3	1,7	1,3
NA PŘELIVNÉM OBJEKTU	1	334.2736					-4,4	-4,9	-4,8	-4,9	-5,3	0,7	-0,1	0,1	-0,1
	2	334.3579					-3,5	-4,9	-5,3	-5,6	-5,9	0,3	0,1	0,1	-0,3
	3	334.4192					-4,4	-6,0	-6,5	-6,7	-7,1	0,5	0	0,1	-0,4
	4	334.5108					-5,4	-7,4	-7,9	-8,2	-8,6	0,5	0	0,2	0,1
	5	334.5212					-6	-8,2	-8,8	-9,1	-9,6	0,6	0	0,3	-0,8
	6	334.5140					-4,6	-6,8	-7,4	-7,5	-7,9	0,7	-0,1	0,5	-0,8
	7	334.5338					-4,4	-6,7	-7,3	-7,3	-7,4	0,6	-0,1	0,5	-0,9
	8	334.5545					-4,3	-6,5	-7,3	-7,7	-7,1	0,8	-0,3	0,9	-1,1
	9	334.6162					-4,4	-6,8	-7,7	-7,2	-7,6	0,8	-0,4	0,8	-1,1
	10	334.6642					-4,2	-6,4	-7,4	-6,6	-7,3	1,1	-0,7	1,1	-1,3
	11	334.7012					-4,5	-6,4	-7,3	-6,5	-7,2	1,1	-0,7	1,1	-1,3
	12	334.7382					-4,8	-6,7	-7,5	-6,7	-7,8	1,2	-0,8	1,2	-1,5
	13	334.7676					-3,2	-4,9	-5,6	-5,3	-6,1	1,2	-0,8	1,2	-1,4
	14	334.8230					-2,4	-4,2	-4,9	-4,3	-5,9	1,1	-0,7	1,3	-1,5
	15	334.8108					-2,4	-4,8	-4,7	-5,4	-5,6	1,1	-0,7	1,4	-1,5

LEGENDA:
..... poslední měřená etapa svislých posunů od základního zaměření
..... největší svislý posun od základního zaměření v poslední měřené etapě
..... mezietapový svislý posun mezi dvěmi poslední měřeny etapami
..... prokázány mezietapový s. posun mezi dvěmi poslední měřeny etapami
..... největší prokázány mezietapový s. posun mezi dvěmi posl. měřeny etapami

Obr. 9: Deformace tělesa hráze, betonových objektů a jejich podloží (převzato s III. SEZ TBD, 05/2009, příl. E.8.2)



Obr. 10: Deformace tělesa hráze (převzato s III. SEZ TBD, 05/2009, příl. E.9)



Obr. 11: Porovnání absolutních celkových svislých posunů kontrolních bodů na korunách vybraných sypaných zemních hrází na Moravě a to v místech nejvyšších násypů hrází (převzato s III. SEZ TBD, 05/2009, příl. E.11)

2.5.2.3 Průsaky ve spadišti bezpečnostního přelivu

Dle domluvy na technicko-bezpečnostní prohlídce v 05/2007 bylo započato s měřením výtokového množství dilatačními spárami ve spadišti bezpečnostního přelivu. Cílem měření je kvantifikovat průsaková množství a určit zda dochází k jejich nárůstu. V hodnoceném 2-letém období bylo provedeno 7 kontrolních měření při různých hladinách vody v nádrži. Měření bylo prováděno na přepážce umístěné ve skluzu a měřeno objemovou metodou. Průsaková množství se pohybovala od $0,31 \text{ l.s}^{-1}$ (21.9.2007) do $1,02 \text{ l.s}^{-1}$ (22.5.2009) – měření však byla prováděna při různých hladinách v nádrži.

Z výše uvedeného plyne, že průsaková množství vody přes dilatační spáry stěn a dna spadiště se postupně zvyšují.

V roce 2010 byla provedena částečná sanace betonů ve spadišti bezpečnostního přelivu a skluzu a opatření na zatěsnění průsaků - viz podklad [8].

2.6 Požadovaná míra bezpečnosti vodního díla při povodni

VD Letovice je podle svého významu a stupně ohrožení území pod dílem zařazeno pro potřeby odborného technicko-bezpečnostního dohledu podle [41] a [43] do II. kategorie.

Na základě tabulky 1 – „Požadovaná míra bezpečnosti vodních děl při povodni“ uvedené v oddíle 7.1.1. [44] se VD Letovice řadí do skupiny vodních děl „A“ s označením výše škod při jeho porušení jako „VELMI VYSOKÉ“. Tato tabulka byla pak přejata jako příloha i do novelizované vyhlášky Mze č. 590/2002 Sb [44]. Skupina „A“ se tedy dělí na dvě podskupiny – u první „se očekávají značné ztráty na lidských životech“, u druhé pak „ztráty na lidských životech jsou nepravděpodobné“. U první podskupiny je požadovaná míra bezpečnosti $N = 10000$ let, u druhé pak $N = 2000$ let.

Vzhledem k potenciálnímu riziku ohrožení lidských životů byla za požadovanou míru bezpečnosti díla zvolena pravděpodobnost výskytu kulminace KPV $p = 0,0001$ (doba opakování $N = 10000$ let). Pro vypracování posouzení je nezbytným podkladem hydrogram teoretické N -leté povodňové vlny určené N -letým kulminačním průtokem, typickým tvarem hydrogramu a příslušným objemem.

2.7 Posouzení bezpečnosti díla dle TNV 75 2935

STANOVENÍ MEZNÍ BEZPEČNÉ HLADINY

Na základě okolností ovlivňujících bezpečnost VD za povodní (např. konstrukční typ hráze a u provozovaných VD i její technický stav) a pravděpodobné příčiny havárie díla se stanoví mezní bezpečná hladina (MBH). MBH je úroveň hladiny v nádrži, při které je v dané lokalitě právě ještě zaručena bezpečnost a stabilita díla. Při překročení lze další vývoj pokládat za nekontrolovatelný, který je doprovázen neúnosným rizikem selhání a havárie díla.

Jako teoretickou příčinu havárie hrázového tělesa za povodně lze (s ohledem na konstrukci, rozměry a provedení hráze a použité těsnící prvky) pokládat vnitřní erozi v důsledku přelévání těsnícího jádra.

Podle čl. 8.4 TNV 75 2935 se úroveň mezní bezpečné hladiny (MBH) sníží o určenou výšku výběhu větrových vln dle ČSN 75 0255. Výpočtem dle podkladu [1] bylo zjištěno, že max. výběh větrové vlny s pravděpodobností překročení 13 %, je 1,0 m. Na koruně hráze je vybudovaná betonová zeď tlumící účinky větrových vln (vlnolam). Vzhledem ke krátkodobému trvání extrémní hladiny v nádrži (řádově jednotky hodin) a velmi nízké pravděpodobnosti souběhu obou nepříznivých jevů (výskyt max. hladiny při teoretické PV10 000 a extrémního větru) nebyl výběh větrové vlny do stanovení MBH zohledněn.

Dle posudku bezpečnosti za povodní [1] je stávající **MBH** uvažována na kótě **361,55 m n.m.**, což byla předpokládaná minimální kóta ukončení vlastního jílovitohlinitého těsnícího jádra v tělese hráze (0,55 m pod korunou hráze v nejnižším místě).

Z výsledků inženýrsko geologického průzkumu k ověření výšky těsnícího jádra [E.3] provedeného v rámci této studie vyplývá, že nejnižší polohu má jádro při levobřežním zavázání hráze a to na kótě 360,30 m n.m. a v žádné sondě nedosáhlo předpokládané úrovně 361,55 m n.m.

Není-li tedy propojeno jádro se základem vlnolamu existuje reálné riziko porušení hrázového tělesa již při hladině nad kótou **360,30 m n.m.**

STANOVENÍ KONTROLNÍ MAXIMÁLNÍ HLADINY V NÁDRŽI

Kontrolní maximální hladina v nádrži (KMH) byla vypočtena (viz část B.1) pro KPV s pravděpodobnosti překročení $p=0,0001$, pro dvě varianty povodňové vlny (PV) od ČHMU [5], podle statistické a modelové metody.

Počáteční hladina v nádrži je uvažována v úrovni plného zásobního prostoru na kotě 360,10 m n.m. Předpouštění nádrže před příchodem povodně nebylo uvažováno. Manipulace za povodně se provádí dle manipulačního řádu [4].

Kontrolní maximální hladina (KMH) pro KPV_{10 000} je :

Pro PV podle modelové metody ($Q_{10\,000} = 212\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $W_{PV\,10000} = 19,7\text{ m}^3$)

KMH = 363,37 m n.m.

Pro PV podle statistické metody ($Q_{10\,000} = 160\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $W_{PV\,10000} = 19,7\text{ m}^3$)

KMH = 362,57 m n.m.

ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Požadavek pro bezpečné převedení KPV obsahuje kritérium dle [61]:

KMH ≤ MBH

Pro PV podle modelové metody ($Q_{10\,000} = 212\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $W_{PV\,10000} = 19,7\text{ m}^3$)

363,37 m n.m. > 361,55 m n.m. (360,30 m n.m.) ⇒ VD nevyhovuje pro převedení KPV

Pro PV podle statistické metody ($Q_{10\,000} = 160\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $W_{PV\,10000} = 19,7\text{ m}^3$)

362,57 m n.m. > 361,55 m n.m. (360,30 m n.m.) ⇒ VD nevyhovuje pro převedení KPV

V souladu s TNV 75 2935 bylo VD přešetřeno pro KPV dle dvou nezávislých metod, které poskytlo ČHMU, pobočka Brno [5]. Z výsledků posouzení plyne, že VD Letovice **není zabezpečeno** na průchod ani jedné aktuální KPV_{10 000}. Vzhledem k uvedenému negativnímu výsledku je nutné navrhnout a realizovat nápravná a nouzová opatření.

Podle ČSN 75 2340 má být úroveň koruny hráze v nejnižším místě osy hráze dána kótou návrhové hladiny a převýšením nad ní, které je dáno výškou výběhu vlny na svah a bezpečnostní rezervou (0-1,0 m). Návrhová hladina by podle čl. 5.1. této normy měla být odvozena z transformace PV₁₀₀₀. Předpokládá-li se koruna hráze opatřená vlnolamem (při vhodné úpravě) je možné volit až nulovou bezpečnostní rezervu.

Maximální hladina při návrhovém průtoku $Q_{1000MOD}$ je dle výpočtu (viz část B.1) 361,97 m n.m., max. výběh větrové vlny s pravděpodobnosti překročení 13 %, je cca 1,0 m. Dle ČSN 75 2340 má být úroveň koruny hráze minimálně (při nulové bezpečnostní rezervě) na kótě 362,97 m n.m. Současná úroveň koruny hráze v nejnižším místě je na kótě 362,04 m n.m., tedy o 0,93 m níže než odpovídá současným normovým požadavkům.

3 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH PRŮZKUMŮ

Geodetické zaměření

V rámci studie bylo provedeno doplňující geodetické zaměření vodního díla v rozsahu nutném pro zpracování studie, a to zejména koruny hráze (vč. ověření úrovně koruny těsnění hráze), prostoru bezpečnostního přelivu, skluzu, podhrází a části regulace toku v podhrází formou příčných řezů.

Zaměření sloužilo jako podklad při zpracování studie, pro vynášení řezů, upřesnění archivní dokumentace, k odvození měrné křivky koryta pod hrází.

Dokumentace geodetického zaměření je doložená v samostatné příloze E.2

Inženýrsko-geologický průzkum

V rámci studie byl proveden inženýrsko-geologický průzkum k ověření výšky těsnícího jádra. Z koruny hráze bylo vyhloubeno 5 jádrových vrtů se zdokumentováním vrtných jader a odběrem vzorků zemin k laboratorním rozborům (zrnitostní rozbor, stanovení konzistenčních mezí, orientační hodnoty k_f).

Bylo provedeno geodetické zaměření vrtů a určena úroveň povrchu těsnícího jádra hráze.

Dle provedených průzkumů je povrch těsnícího jádra 1,1 až 1,8 m pod úrovní koruny hráze, tj. na kótě 360,30 až 360,90 m n.m. Nejnižší polohu má jádro při levobřežním zavázání hráze – 360,30 m n.m. a dále cca uprostřed hráze na úrovni 360,60 m n.m. Dle archivní dokumentace a údajů uváděných ve dříve zpracovaných dokumentech [1], [4] byla úroveň povrchu jádra předpokládána na kótě 361,55 m n.m.

Výsledky Inženýrsko-geologického průzkumu jsou doloženy v samostatné příloze E.3

Posouzení betonové konstrukce bezpečnostního přelivu a skluzu

V 08/2009 byl TZÚS PRAHA, pobočka Brno proveden posudek betonové konstrukce bezpečnostního přelivu a skluzu [9] pro účely plánované rekonstrukce.

Z výsledků posudku vyplývají následující skutečnosti pro betonové konstrukce přelivu a skluzu, které předpokládáme zachovat:

Beton stěny přelivu:

Pevnost v tlaku 39,1 MPa

Doporučená třída betonu C30/37

Hloubka karbonace: pokročilá 10 mm
v počátečním stádiu přes 200 až 300 mm

Pevnost v tahu povrchových vrstev 0,752 MPa až 1,663 MPa, k porušení při všech zkouškách došlo v povrchové vrstvě betonu do hloubky max. 5 mm.

Beton stěny skluzu:

Pevnost v tlaku 43,2 MPa až 56,7 MPa

Doporučená třída betonu C30/37

Hloubka karbonace: pokročilá 10 mm
v počátečním stádiu přes 30 mm

V betonu se ojediněle vyskytují kaverny, beton je málo odolný vůči obrusu.

Dle doporučení zpracovatele posudku lze stěny sanovat pouze povrchovým způsobem, doporučuje se hloubková penetrace povrchu po jeho řádném očištění.

4 MOŽNÁ TECHNICKÁ OPATŘENÍ KE ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI DÍLA PROTI PŘELITÍ

4.1 Přehled

Vhodná technická opatření pro zlepšení bezpečnosti VD proti přelití lze rozdělit do 5 hlavních kategorií:

- **zvýšení schopnosti zachytit mimořádnou povodeň v nádrži**
 - zvětšení ochranného prostoru, zmenšení zásobního prostoru
 - další úpravy manipulačního řádu
 - zvýšení hráze
 - zvýšení koruny hráze
 - zvýšení vlnolamu
 - úprava vlnolamu
- **zvětšení kapacity existujících pojistných zařízení**
 - dílčí úprava přelivu a skluzu
 - podstatné zvýšení kapacity přelivu a skluzu
- **výstavba doplňkového pojistného zařízení**
 - šachtový přeliv se štolou
 - boční přeliv se štolou
 - násoskový přeliv a štola
- **odplavitelná hrázka**
 - odplavitelná hrázka mimo profil hráze
 - odplavitelná hrázka jako součást jiného pojistného zařízení
- **přizpůsobení přehrady pro přelití bez rizika porušení.**
 - úprava koruny hráze pro přelévání a úprava hráze pro přelévání
 - nouzový přeliv a nouzový skluz

Zvýšení schopnosti zachytit mimořádnou povodeň v nádrži vede na řešení, která přerozdělují prostor nádrže ve prospěch retenčního nebo zvětšují celkový objem nádrže, například zvýšením hráze.

Požadavek na zvětšení kapacity existujících pojistných zařízení může splnit rekonstrukce stávajících zařízení (spodních výpustí, přelivu a navazujících objektů...).

Výstavba doplňkového pojistného zařízení řeší požadavek na zvýšení kapacity pojistných zařízení provedením nového (dalšího) zařízení (spodní výpusti, přelivu, nouzového zařízení a podobně).

Odplavitelná hrázka je zařízení, které v případě vhodné morfologie například zabraňuje odtoku do terénní sníženiny mimo profil hráze a je navržena jako samodestrukční. Při překročení určité hladiny se hrázka poruší erozí a uvolní průtok mimo profil hráze.

Přizpůsobení přehrady pro přelití vyžaduje úpravu koruny hráze, vzdušního líce, paty hráze, případně nejbližšího okolí tak, aby erozní jevy neohrožily stabilitu přehradního tělesa.

Zadání studie uvádí základní rozsah technických námětů, kterými se studie má zabývat. Následující soubor technických námětů soustřeďuje vhodná řešení, vyjma těch, které vyloučil zadavatel již v zadání studie. Navržená technická opatření se následně mohou různě doplňovat. Předpokládá se, že vybraná variantní technická řešení jsou kombinací jednotlivých vybraných námětů v odpovídajících parametrech.

Na základě následujících požadavků objednatele v zadávací dokumentaci byly některé z vhodných řešení dopředu vyloučeny:

- zásah do kapacity stávajících spodních výpustí nebude uvažován,
- bezpečnostní přeliv bude řešen jako nehrazený,
- zásah do levobřežní zdi bezpečnostního přelivu a skluzu bude v minimální možné míře.

Přehled technických námětů pro zvýšení bezpečnosti VD Letovice proti přelití

Označení	Obsah technického námětu
----------	--------------------------

Námět A	Zvětšení ochranného prostoru, zmenšení zásobního prostoru
Námět B	Další úpravy manipulačního řádu
Námět C	Rekonstrukce spodních výpustí
Námět D	Šachtový přeliv se štolou
Námět E	Čelní přeliv se štolou
Námět F	Násoskový přeliv se štolou
Námět G	Úprava koruny hráze pro přelévání a úprava hráze pro přelévání
Námět H	Nouzový přeliv a nouzový skluz
Námět I	Dílčí úprava přelivu a skluzu
Námět J	Podstatné zvýšení kapacity přelivu a skluzu
Námět K	Zvýšení hráze
Námět L	Zvýšení koruny hráze
Námět M	Zvýšení vlnolamu
Námět N	Úprava vlnolamu
Námět O	Mobilní ochrana
Námět P	Odplavitelná hrázka

4.2 Zásady hodnocení

Navržené varianty opatření sice mají být výsledkem posouzení aspektů hydrologických, hydraulických, technických, geologických, ekonomických a případně dalších, avšak prvotním kritériem je předpoklad funkčnosti konkrétního opatření za kritické situace.

Opatření budou ve funkci velmi málo četně. Pokud se bude jednat o stavební a technická opatření (např. charakteru dodatečných pojistných zařízení), musí tedy být velmi trvanlivá. Pokud možno, musí být rovněž nenáročná na údržbu a obsluhu.

Důležitým kritériem je zhodnocení ve vztahu ke konkrétní situaci na díle a požadavkům formulovaným v zadání.

Jednotlivé náměty představují technická opatření, která mohou řešit problematiku bezpečnosti hráze za extrémních povodní buď samostatně, nebo jako dílčí opatření, která mohou být kombinována a mohou být součástí ucelených variant.

4.3 Námět A

Zvětšení ochranného prostoru, zmenšení zásobního prostoru

Výpočet transformace KPV prokazuje, že zvětšení ochranného prostoru na úkor zásobního nemůže problematiku bezpečnosti hráze proti přelítí vyřešit. Lze však předvídat, že příznivě se projeví jako dílčí opatření.

Zvětšování ochranného prostoru na úkor zásobního je omezeno účelem nádrže – zejména požadavkem na zabezpečení odběrů pro kompenzační nadlepšení průtoků ve Svitavě. Zadání omezuje snížení hladiny zásobního prostoru o 1,0 m, tj. ze současných 360,10 na 359,10 m n. m. (B.p.v.).

V případě výrazného snížení hladiny zásobního prostoru by bylo nutné uvážit, jak by bylo možné (resp. nutné) řešit obnažení plochy dnešní zátopy.

Zvětšování ochranného prostoru nad současnou maximální hladinu souvisí s náměty K, L, M a N.

4.4 Námět B

Další úpravy manipulačního řádu

Při dostatečných kapacitách výpustných zařízení se nabízí možnost předpokládat rozeznání mimořádně závažné situace (podle určité mezní hladiny, dosaženého průtoků, předpovědi), kdy by manipulační řád umožnil upřednostnit bezpečnost díla samotného před ochranou území pod nádrží.

Zadání studie však vylučuje možnost zvýšení kapacity SV a stávající kapacita (max. 7,0 m³/s) není pro předpouštění nádrže jako jediné opatření pro převedení KPV dostatečná. Lze ho však považovat za doplňkové opatření.

4.5 Námět C

Rekonstrukce spodních výpustí

Dosažitelné kapacity spodních výpustí (7 m³/s při uvažovaných úrovních zásobní hladiny) odpovídají v současnosti neškodnému odtoku v podhrází. Pokud by měly být spodní výpusti rekonstruovány na parametry, které by řešily průchod extrémních povodní přes profil hráze a ochranu díla proti přelití, měly by tak extrémní dimenze, že by bylo nutné tento námět hodnotit jako nereálný. Nicméně objednatel stanovil už v zadávací dokumentaci, že zásah do kapacity stávajících spodních výpustí nebude ve studii uvažován.

Proto byl tento námět na rekonstrukci výpustí vyloučen z dalšího sledování ve všech svých variantách.

4.6 Námět D

Šachtový přeliv se štolou

Návrh šachtového přelivu musí být proveden s uvažováním kapacity stávajícího přelivu a skluzu, spodních výpustí a členění objemů nádrže.

Nabízí se v podstatě dvě koncepce hydrotechnického řešení a to se zavzdušněním na začátku kolena a se zavzdušněním za kolenem. Koncepce se zavzdušněním na začátku kolena se podle novějších mezinárodních zkušeností z realizovaných přehrad považuje za vhodnější, neboť snižuje nebezpečí pulsací a kavitačních jevů, v ČR je naopak rozšířena spíše koncepce se zavzdušněním za kolenem.

Šachtový přeliv by byl pravděpodobně situován při levém břehu. Odpadní štola od přelivu by byla ražená, s nadkritickým prouděním o volné hladině. Vzhledem k absenci injekční chodby na VD Letovice nedoporučujeme umístění odpadní štoly pod tělesem hráze (a to ani v místě zavázání do terénu). Odpadní štola by mohla být vyústěna buď do úrovně dna údolí, nebo také ve svahu, přičemž by se pro velmi malou četnost funkce zařízení předpokládala přípustnost destrukce části svahu a údolí.

4.7 Námět E

Čelní přeliv se štolou

Je alternativou k šachtovému přelivu a z hydrotechnického hlediska by také měl stejný účinek. Při očekávaných dimenzích by proti šachtovému přelivu mohl být boční přeliv poněkud lépe začleněn do krajiny, pokud by se volila odpovídající řešení. Opět se nabízí několik možností situování i technického řešení přelivu.

U čelního přelivu je možné uvažovat s dílčími alternativami, při kterých by se zajistil skokový nástup kapacity zařízení (použití nádstavků, hydrostatických hradidel, odplavitelné hrázky na koruně přelivu a podobně), což může přinést za mimořádné situace efektivnější využití objemu v nádrži.

V závislosti na poloze počátku šachty k břehové linii nádrže lze místo čelního přelivu navrhnout přeliv boční.

Shodně s předchozím námětem (šachtový přeliv) by byla řešena problematika odpadu a vyústění pod přehradní hrází.

4.8 Námět F

Násoskový přeliv se štolou

Je alternativou k šachtovému přelivu a bočnímu přelivu, který by za cenu složitějšího stavebního uspořádání mohl lépe řešit nástup kapacity zařízení a začlenění do prostředí. Problematika odpadu a vyústění bude obdobná.

4.9 Námět G

Úprava koruny pro přelévání a úprava hráze pro přelévání

Podstatou námětu jsou takové úpravy hráze, které zamezí nepříznivé koncentraci průtoků při přelévání a současně zabezpečí odolnost konstrukce sypané hráze (nebo její části) proti erozním jevům.

Obdobná technická řešení byla již ve světě realizována (válcovaný beton, varianty kotveného opevnění). V určitých stavebních úpravách se může jednat až o variantu doplňkového skluzu vedeného po vzdušném svahu hráze.

Bylo by nutné navrhnout skluz na vzdušném líci v maximální dostupné šířce, aby se snížilo specifické zatížení povrchu. Klasické provedení skluzu (s masivní betonovou konstrukcí) je vyloučeno z důvodu očekávaných deformací. Ze stejného důvodu se jeví problematická úprava válcovaným betonem.

Velmi uvážlivě by bylo třeba navrhovat úpravu na koruně. Jako limitující se může ukázat životnost navrženého řešení, které by mělo být spolehlivě funkční i ve velkém časovém odstupu. Nebylo možné připustit případné přelití koruny po délce hráze (potřeba soustředit průtok do zabezpečeného profilu a vyloučení soustředění proudu v úžlabích). Nestandardním způsobem by bylo nutné řešit vlnolam na návodní straně koruny. V úvahu by se musely vzít prognózy vývoje deformací hráze.

V našich podmínkách je úprava sypané hráze pro přelévání považována za nestandardní řešení a toto řešení nemá v České republice realizaci. Ve světovém přehradním stavitelství je však možné příklady úprav hrází pro přelévání nalézt. Pokud by se mělo jednat o opatření pro odvrácení destrukce hráze za zcela mimořádných situací, úprava pro přelévání by se mohla jevit jako přijatelná. Úpravu hráze pro přelévání lze spojit s požadavky na zlepšení stability hráze (pokud vyvstanou).

V konkrétním případě VD Letovice není toto řešení z následujících důvodů vhodné:

- výpočet transformace KPV₁₀₀₀₀ ukazuje, že bez dalších opatření by docházelo (v případě vlny s kulminačním průtokem 212 m³/s) k přelévání koruny vlnolamu podobu cca 16 hodin paprskem o maximální výšce 0,68 m,
- morfologie hráze neumožňuje vytvoření dostatečně dlouhé přelivné hrany, která by zmenšila výšku přepadového paprsku.

4.10 Námět H

Nouzový přeliv a nouzový skluz

Smyslem námětu je vytvoření nového pojistného zařízení, pokud možno v minimální technické náročnosti.

Vybudování nouzového přelivu a skluzu přes hráz jsme zahrnuli do námětu na úpravu hráze pro přelévání a takové řešení bylo dohodnuto nesledovat (odůvodnění viz námět G).

Za určitých podmínek, především při vhodné morfologii terénu, lze uvažovat s řešením, kdy prostřednictvím velmi jednoduchých úprav lze odklonit průtok mimo profil hráze. Jsou známé případy, kdy lze předpokládat převedení extrémních povodní například bočním údolím nebo terénní sníženinou. Například VD Bystřička má svůj přeliv situován zcela mimo hrázový profil a za takové situace by případné převádění podstatné části průtoků mimo profil hráze (dokonce i destrukce kaskády a přelivu za zcela extrémních situací) nemělo způsobit vznik katastrofální zvláštní povodně.

Pokud se na místě nouzového přelivu nachází odolné skalní podloží, mohou být nároky na stavební úpravy velmi omezené a soustřeďují se například pouze na vytvoření přelivné hrany. Nouzový skluz by vešel do funkce pouze za mimořádné situace a případná devastace části území ve směru předurčeného průtoků by mohla být považována za přijatelnou. Řešení by mohlo být kombinováno s odplavitelnou hrázkou na koruně přelivu nebo jiným funkčně obdobným zařízením.

V podmínkách VD Letovice se soustřeďuje několik problematických faktorů, které je při návrhu nouzového přelivu a skluzu nutné vzít v úvahu. Zařízení by bylo nutné navrhovat na značnou kapacitu, z toho vyplývají nároky na rozměry a zatížení. Údolí Křetínky je strmé a morfologicky pro odklonění průtoků mimo přehradní profil málo vhodné.

4.11 Námět I

Dílčí úprava přelivu a skluzu

Zde se popisuje problematika ponechání stávajícího skluzu přibližně ve stávajících parametrech, přičemž doplňující kapacita převedení extrémních povodní by byla řešena jiným způsobem. Dílčí úpravy mohou zahrnovat zejména:

- **zvýšení levobřežní zdi skluzu** (příp. i pravobřežní) z důvodu zvýšení kapacity a zejména kvůli ochraně zavázání a paty hráze proti vodě přestřikující stávající zeď už při nižších průtocích (při povodni v roce 2006 k němu docházelo už při průtoku cca 20 m³/s, pravděpodobně z důvodu vzniku příčného vlnění),
- **snížení koruny přelivné hrany** stávajícího bezpečnostního objektu (spolu se zvětšením neovladatelného retenčního prostoru nádrže na úkor zásobního prostoru),
- **částečné snížení koruny přelivné hrany** bezpečnostního objektu a vytvoření částečně hrazeného přelivu (pro efektivnější možnost předpouštění nádrže bez zásahu do spodních výpustí),
- **zhloubení dna spadiště a počátku skluzu** po celé šířce do takové hloubky, aby nebyla ohrožena stabilita levobřežní zdi spadiště a skluzu.

Výpočet transformace KPV ukázal, že úpravy navržené v této variantě nejsou dostatečné pro její bezpečné převedení. Možným řešením v rámci této varianty by bylo navržení hrazeného, případně částečně hrazeného přelivu o dostatečné kapacitě hrazené části. Toto řešení je však v rozporu se zadáním objednatele a nebude pro dále sledováno.

4.12 Námět J

Podstatné zvýšení kapacity přelivu a skluzu

Obsahem námětu je rekonstrukce přelivu a skluzu na podstatně vyšší parametry. Podstatou řešení je návrh nového přelivu, skluzu a úprav v podhráží v odpovídajících parametrech. Původní konstrukce přelivu a skluzu mohou být využity, zvláště pak levobřežní zeď spadiště a skluzu v místě styku s tělesem hráze, do které si objednatel přeje zasahovat v nejnížší možné míře.

Stavebně se jedná o velmi radikální zásah. Velmi citlivá by byla také otázka ochrany díla v průběhu výstavby.

4.13 Námět K

Zvýšení hráze

Námět předpokládá, že pro dosažení většího ochranného prostoru bude provedeno systematické zvýšení hráze přísypem ze vzdušní strany, napojení a zvýšení těsnícího prvku, nová úprava koruny a podobně.

Násyp hráze na vzdušní straně by pravděpodobně byl prováděn hutněným kamenitým materiálem po vrstvách. Jednalo by se o variantu se značným rozsahem stavebních prací, při zvyšování ochranných objemů vodních děl se však jedná o řešení poměrně četné a je k dispozici řada vzorů řešení.

S výhodou by této možnosti mohlo být využito, pokud by se ukázala potřeba řešit stabilitní otázky (například formou přísypu v patě hráze).

Pouhým zvýšením hráze v přijatelných proporcích však není problematika bezpečnosti přehrady za povodní řešitelná. Došlo by pouze k žádoucímu zvětšení ochranného prostoru, ovšem při objemech kontrolních povodní by zvýšení hráze bylo nutné doprovázet dalším opatřením pro zvýšení kapacity odtoku.

V případě razantního zvýšení hráze by bylo nutné posoudit dopad na zástavbu v okolí nádrže (obce Lazinov, Dolní Poříčí, Křetín a Vranová), silnice 365 a 36511 a na rybník Žleby.

4.14 Námět L

Zvýšení koruny hráze

Podstatou technického řešení by pravděpodobně bylo nasypání figury násypu v prodloužení vzdušního líce a návrh nového masivního vlnolamu a nové komunikace na hrázi.

Zvýšení koruny hráze považujeme za perspektivní opatření, které by mělo být zařazeno ve všech variantách řešení. Zvláště pak ve smyslu kompenzace dosavadního sedání tělesa hráze s výhledem na budoucí provoz VD. Těsnicí jádro by se napojilo vodotěsným prvkem na vlnolam. Výhodné je, že zvýšením koruny se řeší i následky sedání hráze (viz výsledky měření TBD) a zajišťuje perspektivu vývoje na další období provozu.

Úpravu koruny hráze lze kombinovat s řadou dalších námětů.

Zvyšování koruny hráze je opatření časté, pro které je dostatek zdařilých vzorů technického řešení.

4.15 Námět M

Zvýšení vlnolamu

Smyslem tohoto opatření by bylo zvětšení bezpečnostního převýšení koruny. To by mělo význam při výběhu větrových vln.

S dílčím řešením vlnolamu souvisí otázky stanovení mezní bezpečné hladiny a napojení jádra na vlnolam, při komplexnějším řešení tento námět splyne s předchozím (zvýšení koruny hráze).

4.16 Námět N

Úprava vlnolamu

Dílčí úprava zajišťující odstranění nerovností v koruně vlnolamu, která snižuje možnost koncentrace průtoků.

Domníváme se, že pouhé vyrovnaní vlnolamu má pouze teoretický význam a ve všech variantách, kde by bylo vhodné uvažovat s úpravami na koruně doporučujeme předpokládat komplexnější řešení.

4.17 Námět O

Mobilní ochrana

Nedomníváme se, že problematiku bezpečnosti VD Letovice za povodní je možné vyřešit mobilními zábranami. Přesto mohou být lokální mobilní zábrany, případně i jiná dočasná opatření součástí celkového řešení, jehož součástí by bylo zvýšení koruny hráze. Mobilní ochranou (a podobně) může být směrem od vody zabezpečen také prostor před strojovnou SV tak, aby se zabránilo jejímu zatopení, což by mohlo mít za následek nefunkčnost SV.

4.18 Námět P

Odplavitelná hrázka

V podmínkách VD Letovice není možnost provedení odplavitelné hráze jako samostatného opatření, které by umožnilo odklonění průtoku mimo profil hráze. Lze však uvažovat s odplavitelnou hrází, která by byla součástí dříve popsaných námětů E a H.

5 VÝVOJ ŘEŠENÝCH VARIANT

Tato kapitola si klade za cíl zdokumentovat postupný vývoj názorů na technickou koncepci řešení. Výsledkem je nakonec sestavení 2 srovnávacích variant technického řešení.

Podrobný popis a postupy použité pro hodnocení variant jsou obsahem následujících kapitol. Výpočetní postupy jsou součástí části B.1 této studie.

5.1 Základní koncepce řešení na jednání 18.1.2013

Vyhodnocením námětů a jejich kombinací byly sestaveny 3 ucelené koncepce technického řešení:

Koncepce 1 – náhrada stávajícího bezpečnostního objektu novým zařízením o dostatečné kapacitě – koruna přelivné hrany na původní úrovni.

Koncepce 2 – náhrada stávajícího bezpečnostního objektu novým zařízením o dostatečné kapacitě – koruna přelivné hrany snížena až o 1 m.

Koncepce 3 – nová štola s čelním (případně bočním nebo šachtovým) přelivem v levém břehu.

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, jedná se vždy o komplexní řešení sestavené z několika technických opatření. U všech variant proto navrhujeme provést následující opatření:

- rekonstrukce vlnolamu,
- dosypání těsnicího jádra i stabilizační části hráze do projektované úrovně spolu s přesypáním s ohledem na budoucí sedání hráze,
- vodotěsné propojení vlnolamu a těsnicího jádra hráze,
- zvýšení levobřežní zdi stávajícího skluzu bezpečnostního objektu,
- rekonstrukce návodního líce hráze.

5.1.1 Koncepce 1

Náhrada stávajícího bezpečnostního objektu novým zařízením o dostatečné kapacitě – koruna přelivné hrany na původní úrovni

Obsahem varianty je nahrazení stávajícího přelivu a skluzu novými objekty stejného typu, ale potřebné kapacity, které budou doplněny souvisejícími úpravami v podhrází. Z původních konstrukcí přelivu a skluzu bude vhodné zachovat levobřežní zeď přelivu i skluzu z důvodu zachování stávajícího navázání na těleso hráze. Koruna přelivu bude ve stejné úrovni, jako u původního bezpečnostního objektu (360,10 m n.m.).

Předpokládáme rozšíření a prodloužení spadiště spolu s rozšířením skluzu a zvýšením zdí (zvláště levobřežní) ve skluzu. Všechna rozšíření budou směřována do pravého břehu tak, aby byly minimalizovány zásahy do levobřežní zdi přelivu i skluzu. Zahlbubení dna spadiště a jeho napojení na skluz lze provést pouze v takové míře, aby nebyla ohrožena stabilita levobřežní zdi přelivu a skluzu.

Stavebně by se jednalo o radikální zásah do prostoru pravobřežního zavázání. Velmi citlivá bude otázka ochrany díla v průběhu výstavby.

Varianta zahrnuje také úpravu koruny hráze zvýšením, jehož cílem bude kompenzace následků sedání hráze. Navrhne se nové řešení vlnolamu a současně se provede i propojení jádra s vlnolamem a rekonstrukce návodního líce hráze. Z důvodu rozšíření spadiště a skluzu bude nutné rekonstrukci jeho přemostění spolu s rekonstrukcí vývaru.

Předpoklady návrhu byly stanoveny následovně:

- Výchozí hladina v nádrži pro návrh kapacit objektů a posouzení je stanovena na kótě hladiny zásobního prostoru, tj. 360,10 m n.m. při koruně přelivné hrany nového bezpečnostního objektu.
- Mezní bezpečná hladina (MBH) ve smyslu metodického pokynu bude stanovena na kótě koruny hráze, tj. 362,20 m n.m.
- Budou dodržena pravidla základního povodňového řízení dle MŘ (5), případně navržena úprava při respektování podmínek zadání.

Dílčí varianty výškového umístění dna spadiště:

- dle původního bezpečnostního objektu,
- zahloubení do takové hloubky, aby nebyla ohrožena stabilita levobřežní zdi spadiště a skluzu.

5.1.2 Koncepce 2

Náhrada stávajícího bezpečnostního objektu novým zařízením o dostatečné kapacitě – koruna přelivné hrany snížena o 1 m

Obsahem varianty je nahrazení stávajícího přelivu a skluzu novými objekty stejného typu, ale potřebné kapacity, které budou doplněny souvisejícími úpravami v podhrází. Z původních konstrukcí přelivu a skluzu bude vhodné zachovat levobřežní zeď přelivu i skluzu z důvodu zachování stávajícího navázání na těleso hráze. Úroveň hladiny zásobního prostoru a koruna přelivné hrany nového bezpečnostního objektu budou sníženy o 1 m (na úroveň 359,10 m n.m.).

Předpokládáme rozšíření a prodloužení spadiště spolu s rozšířením skluzu a zvýšením zdí (zvláště levobřežní) ve skluzu. Všechna rozšíření budou směřována do pravého břehu tak, aby byly minimalizovány zásahy do levobřežní zdi přelivu i skluzu. Zahloubení dna spadiště a jeho napojení na skluz lze provést pouze v takové míře, aby nebyla ohrožena stabilita levobřežní zdi přelivu a skluzu.

Stavebně by se jednalo o radikální zásah v prostoru pravobřežního zavázání. Velmi citlivá bude otázka ochrany díla v průběhu výstavby.

Varianta zahrnuje také úpravu koruny hráze zvýšením, jehož cílem bude kompenzace následků sedání hráze. Navrhne se nové řešení vlnolamu a současně se provede i propojení jádra s vlnolamem a rekonstrukce návodního líce hráze. Z důvodu rozšíření spadiště a skluzu bude nutné rekonstrukci jeho přemostění spolu s rekonstrukcí vývaru.

Předpoklady návrhu byly stanoveny následovně:

- Výchozí hladina v nádrži pro návrh kapacit objektů a posouzení je stanovena na kótě hladiny zásobního prostoru, tj. 359,10 m n.m. při snížení koruny přelivné hrany nového bezpečnostního objektu o 1 m.
- Mezní bezpečná hladina (MBH) ve smyslu metodického pokynu bude stanovena na kótě koruny hráze, tj. 362,20 m n.m.
- Budou dodržena pravidla základního povodňového řízení dle MŘ (5), případně navržena úprava při respektování podmínek zadání.

Dílčí varianty výškového umístění dna spadiště:

- dle původního bezpečnostního objektu,
- zahloubení do takové hloubky, aby nebyla ohrožena stabilita levobřežní zdi spadiště a skluzu.

5.1.3 Koncepce 3

Nová štola s čelním (případně bočním nebo šachtovým) přelivem v levém břehu

V této variantě je ke stávajícímu bezpečnostnímu objektu navrhován druhý přeliv – čelní, boční nebo šachtový.

Kóta nového přelivu by byla ve stejné úrovni (případně výše), jako koruna stávajícího přelivu. Svými parametry by nový přeliv měl zajistit, aby při průchodu KPV₁₀₀₀₀ nebyla překročena nově stanovená MBH. Nový přeliv by byl situován při levém břehu, navazovala by na něj dostatečně kapacitní štola minimální délky, která by byla vyústěna ve skalnatém svahu pod hrází. Na vyústění štoly by navazoval vývar pro utlumení kinetické energie vody.

Varianta zahrnuje také úpravu koruny hráze zvýšením, jehož cílem bude kompenzace následků sedání hráze. Navrhne se nové řešení vlnolamu a současně se provede i propojení jádra s vlnolamem a rekonstrukce návodního líce hráze.

Předpoklady návrhu byly stanoveny následovně:

- Výchozí hladina v nádrži pro návrh kapacit objektů a posouzení je stanovena na kótě hladiny zásobního prostoru, tj. 360,10 m n.m. při koruně přelivné hrany na původní úrovni, nebo 359,10 m n.m. při snížení koruny přelivné hrany o 1 m.

- Mezní bezpečná hladina (MBH) ve smyslu metodického pokynu bude stanovena na kótě koruny hráze, tj. 362,20 m n.m.
- Budou dodržena pravidla základního povodňového řízení dle MŘ (5), případně navržena úprava při respektování podmínek zadání.

Dílčí varianty výškového umístění přelivné hrany:

- Koruna přelivu bude ve stejné úrovni, jako u původního bezpečnostního objektu (360,10 m n.m.).
- Snížení úrovně hladiny zásobního prostoru a přelivné hrany nového bezpečnostního objektu až o 1 m (359,10 m n.m.).
- Koruna přelivu bude výše, než u původního bezpečnostního objektu (v kombinaci s odplavitelnou hrázkou).

Dílčí varianty typu přelivu:

- čelní,
- boční,
- šachtový.

Dílčí varianty bočního přelivu:

- s pevnou korunou,
- s odplavitelnou hrázkou.

5.1.4 Vyhodnocení základních koncepcí řešení

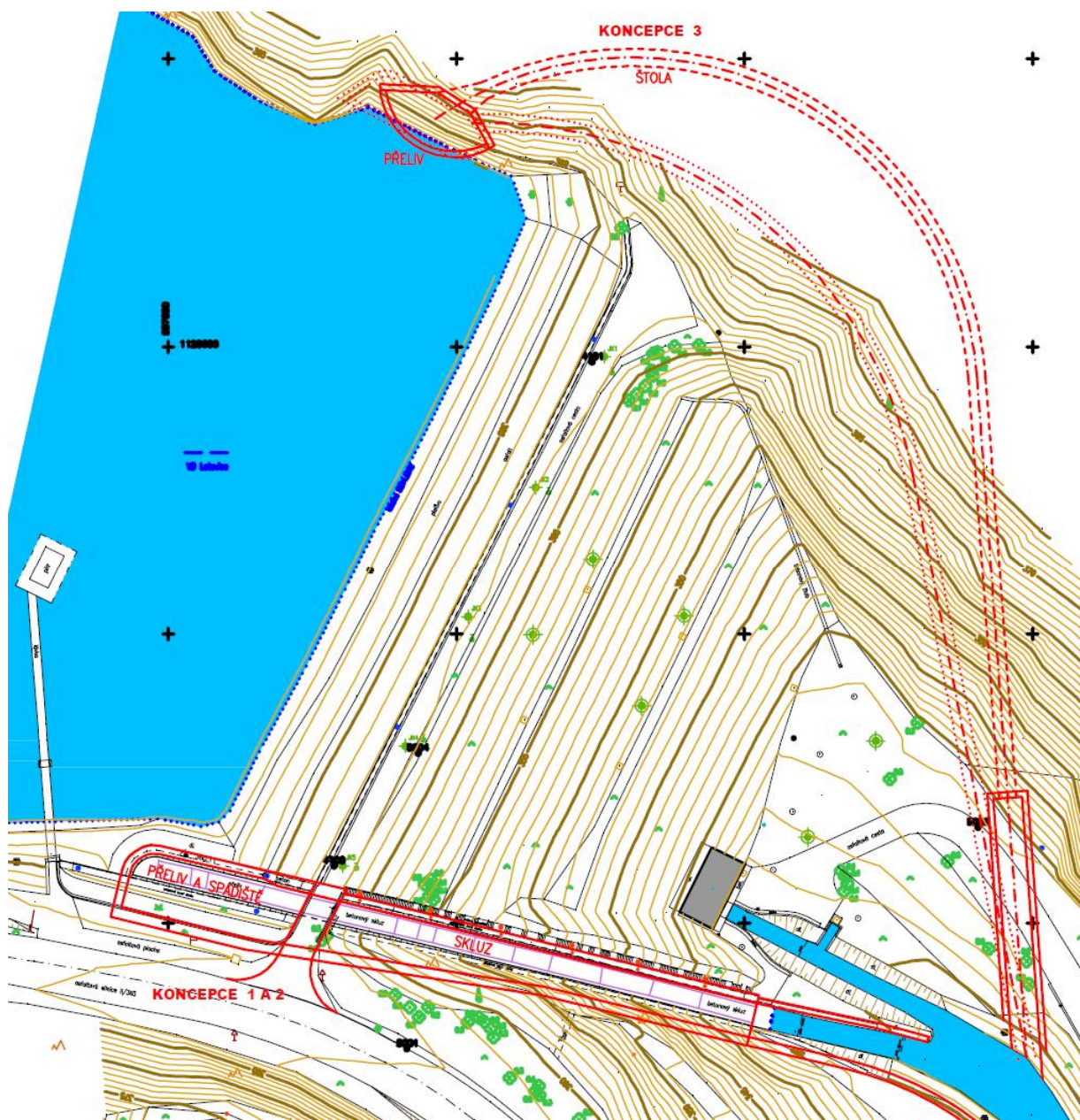
Na jednání dne 18.1.2013 byly základní koncepce předloženy objednateli.

S ohledem na očekávanou výši nákladů koncepce 3 bylo dohodnuto dále tuto nesledovat a rozpracovat možné varianty technického řešení koncepce 1 a 2.

Byla dohodnuta rozmezí v úvahu připadajících parametrů. Koncepce 1 a 2 budou rozpracovány při dodržení následujících předpokladů:

- zahloubení dna spadiště 0,0 a 0,5 m oproti současnému stavu,
- nová úroveň koruny hráze (případně i MBH zvýšené nad korunu) 362,30 a 362,80 m n. m. Vyšší úroveň koruny nebo MBH se nepředpokládá, v návrhu technického řešení bude posouzena úroveň technicky dosažitelného zvýšení koruny.
- úroveň přelivné hrany 360,10 (současný stav), 359,60 (-0,5m) a 359,10 m n. m. (-1,0m), šířka spadiště 6,5 a 8,0 m,
- délka přelivné hrany variantně tak, aby bylo dosaženo požadované úrovně MBH a současně nebyla narušena opěra lávky k odběrné věži.

V návaznosti na výsledky uvedeného jednání byla provedena optimalizace rozměrů bezpečnostního objektu v rámci výše uvedených omezení.



Obr. 12: Přehledná situace uvažovaných koncepcí technického řešení

5.2 Možné varianty stavebně-technického řešení vybraných koncepcí

V návaznosti na výsledky jednání ze dne 18.1. 2013 byly provedeny hydrotechnické výpočty (viz část B.1) rozměrů bezpečnostního objektu v rámci výše uvedených omezení.

Pro jednotlivé výpočtové koncepce byly zpracovány varianty stavebně-technického řešení dílčích úprav VD včetně stanovení orientačních nákladů jednotlivých variant.

Prezentované orientační náklady byly sestaveny jako součet nákladů srovnatelných vybraných rozhodujících stavebních činností a dávají dobrou představu o poměru nákladů mezi dílčími variantami, z hlediska celku však neobsahují všechny související práce. Jedná se pouze o rámcový odhad ceny jednotlivých opatření na základě kubatur, které budou mít rozhodující vliv na celkové náklady (zemní práce a přesuny, kubatury bourání a nových betonů).

Z hlediska stavebně-technické koncepce je možné opatření pro bezpečné převedení KPV rozdělit na dílčí opatření na jednotlivých částech funkčních objektů a hráze, která lze v různých variantách vzájemně kombinovat.

Přehled dílčích opatření:

Úprava přelivu a spadiště

Úprava skluzu

Úprava vývaru

Úprava koruny hráze

Opevnění návodního svahu hráze

5.2.1 Úprava přelivu a spadiště

Pro jednotlivé varianty (3 úrovně kóty přelivu, 2 šířky spadiště, 2 úrovně úpravy dna spadiště a 2 úrovně MBH) byla hledána takové délka přelivné hrany, která zajistí transformaci KPV_{10 000 MOD} při nepřekročení MBH pro danou variantu. Bylo tedy posuzováno 24 variant úpravy přelivu a spadiště. Při délce přelivné hrany >35 m by došlo k dotčení opěry lávky k odběrné věži, proto varianty vyžadující větší délku přelivu byly z dalšího posuzování vyloučeny.

Stavebně-technické řešení

Úprava přelivu předpokládá ve všech variantách, že část zdi stávajícího bočního přelivu, dna spadiště a opěrná zeď spadiště budou odstraněny. V navazující části skluzu bude odstraněna pravá stěna skluzu, levá zeď zajišťující stabilitu tělesa hráze v pravobřežním závázání bude zachována a předpokládá se sanace betonu a přeprofilování jejího vzdušného líce. Budou vybudovány, s příslušnými parametry dle zvolené varianty, nové betonové konstrukce přelivné zdi (prodloužená, případně zkrácená), dna spadiště a jeho pravé opěrné zdi.

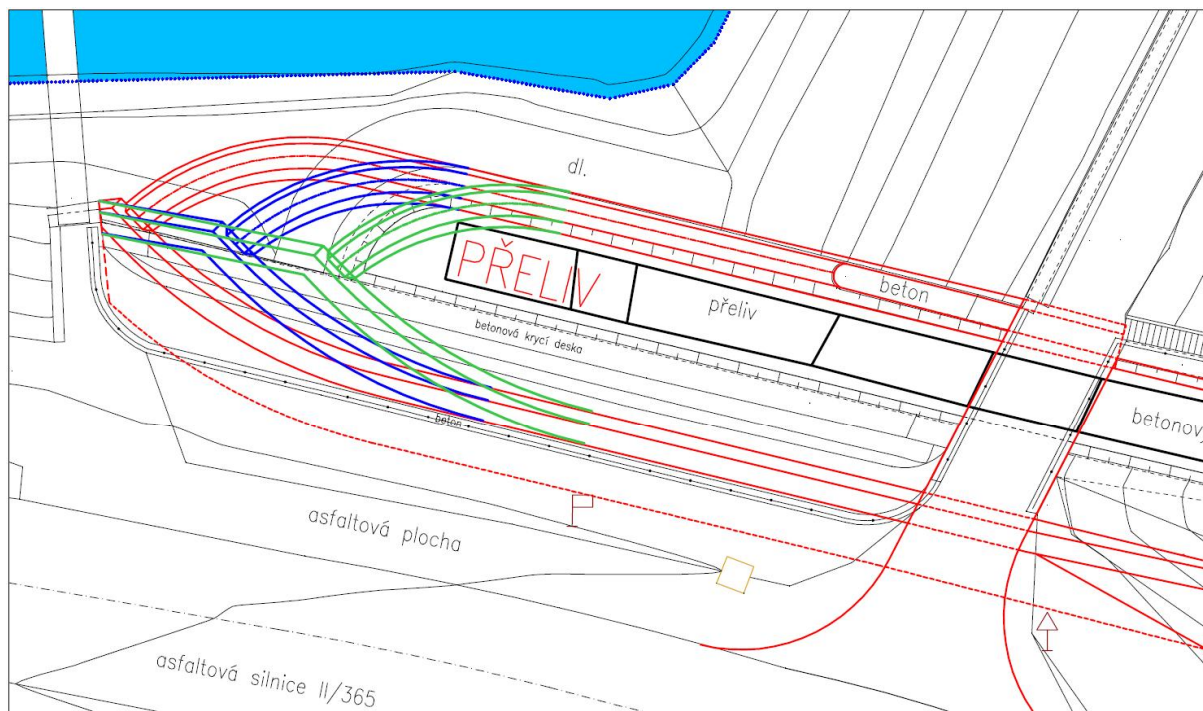
Dno spadiště a navazující části skluzu je navrženo v některých variantách snížit o 0,5 m. Zahloubení dna spadiště má omezující podmínky – je limitována úrovní základové spáry zdi přelivu a levobřežní zdi skluzu v místě přemostění skluzu.

Vzhledem k podstatnému zvětšení objemu spadiště a vysoké propustnosti skalního masivu bude nutno řešit problematiku vztlaaku. Eliminovat působení vztlaaku lze zvětšením tíhy konstrukcí, kotvením konstrukce do podloží nebo snížením hladiny vody za zdí spadiště drenáží, nebo utěsněním prostoru kolem spadiště injekční clonou, případně kombinace těchto opatření.

Tab. 1. Základní varianty - parametry přelivu a spadiště

Var.	Výpočtová varianta (viz B.1)	Kóta přelivné hrany	Kóta dna spadiště	Šířka spadiště	Délka přelivné hrany	KMH ₁₀₀₀₀	KMH ₁₀₀₀
PS 1	N 3.6	360.10	356,20	8,0	29,0	362,81	361,46
PS 2	N 3.8	360.10	355,70	8,0	23,0	362,80	361,66
PS 3	N 4.4	359.60	355,70	8,0	29,0	362,32	360,96
PS 4	N 4.6	359.60	355,70	8,0	21,5	362,80	361,26
PS 5	N 4.7	359.60	355,70	6,5	27,0	362,82	361,10
PS 6	N 4.8	359.60	355,70	8,0	17,5	362,80	361,42
PS 7	N 5.4	359.10	355,70	8,0	22,0	362,29	360,74
PS 8	N 5.6	359.10	356,20	8,0	17,0	362,78	361,05
PS 9	N 5.7	359.10	355,70	6,5	20,0	362,81	360,94
PS 10	N 5.8	359.10	355,70	8,0	14,0	362,77	361,18
PS 1a	N 3.6.1	360.10	356,20	8,0	35,0	362,71	-
PS 1b	N 3.6.2	360.10	356,10	8,0	35,0	362,65	-
PS 1c	N 3.6.3	360.10	356,00	8,0	35,0	362,60	361,33

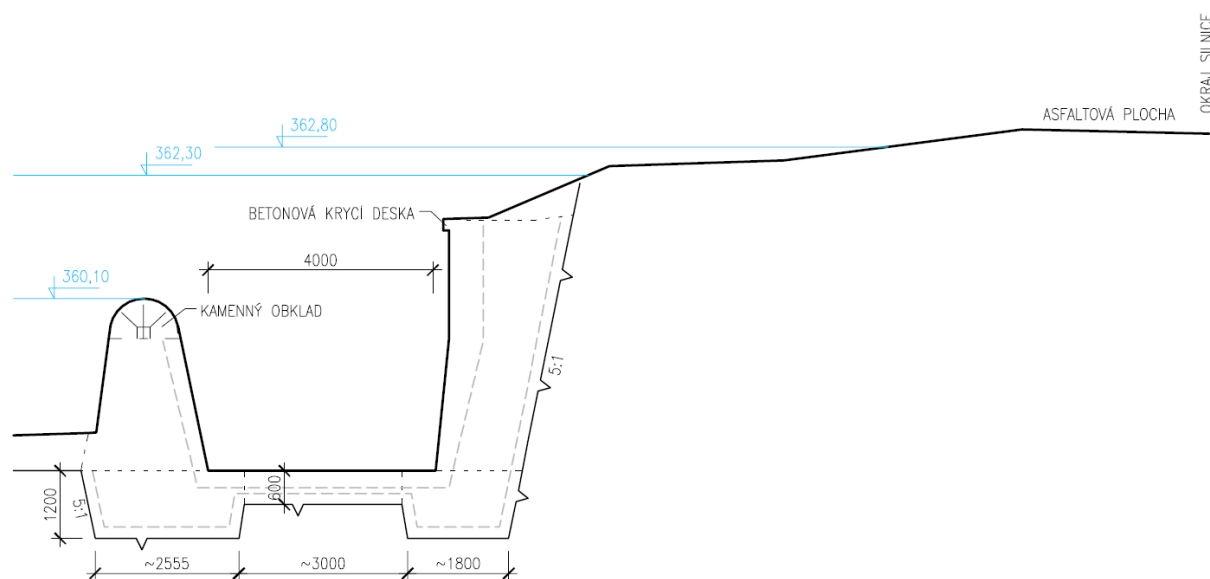
Var.	Výpočtová varianta (viz B.1)	Kóta přelivné hrany	Kóta dna spadiště	Šířka spadiště	Délka přelivné hrany	KMH ₁₀₀₀₀	KMH ₁₀₀₀
PS 4a	N 4.6.1	359.60	356,20	8,0	35,0	362,55	360,93



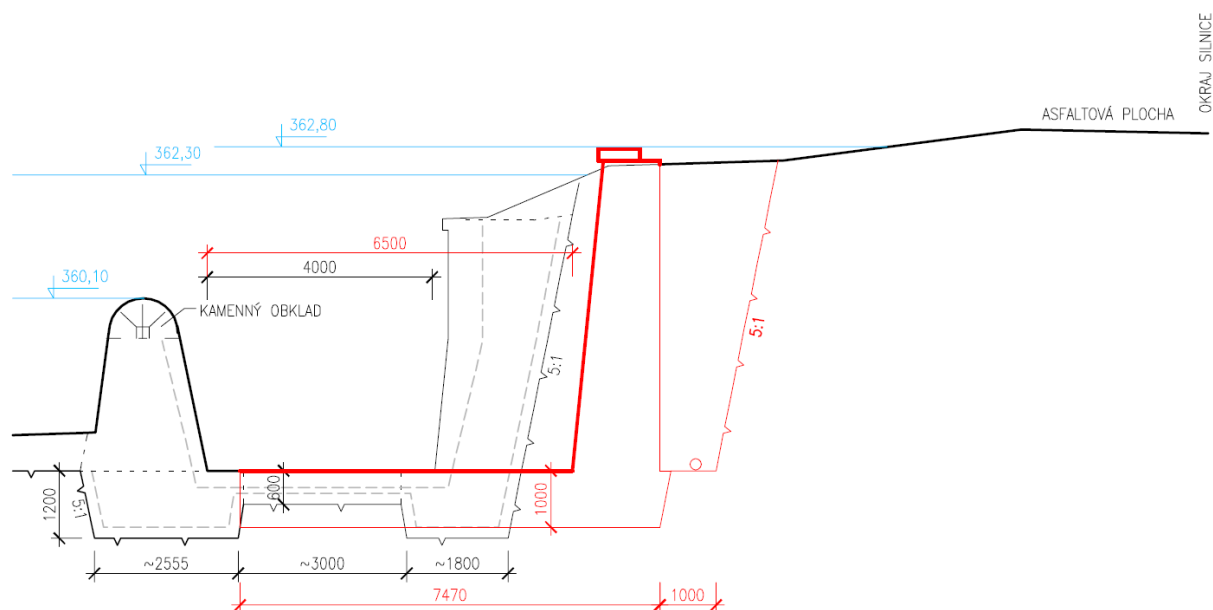
LEGENDA

- PŘELIVNÁ HRANA DÉLKY 35 M
- PŘELIVNÁ HRANA DÉLKY 30 M
- PŘELIVNÁ HRANA DÉLKY 25 M

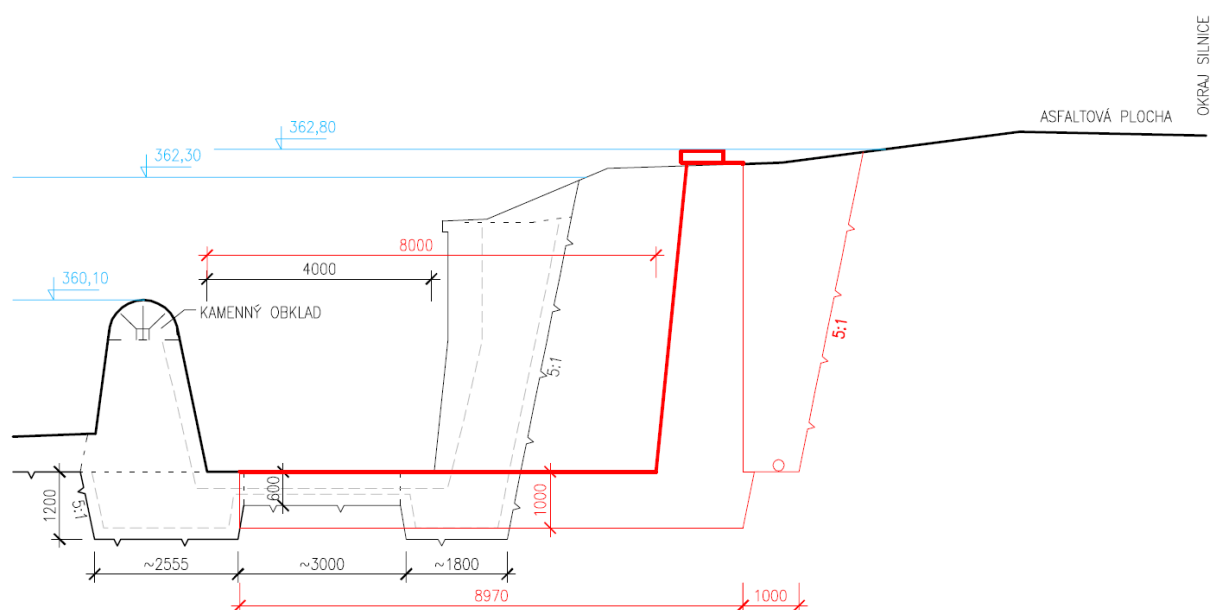
Obr. 13: Přeliv a spadiště – půdorys úpravy šířky 8,0 m, variantní délky přelivu



Obr. 14: Přeliv a spadiště – příčný řez, současný stav



Obr. 15: Přeliv a spádiště – příčný řez, varianta s šířkou spádiště 6,5 m



Obr. 16: Přeliv a spádiště – příčný řez, varianta s šířkou spádiště 8,0 m

Odhad nákladů

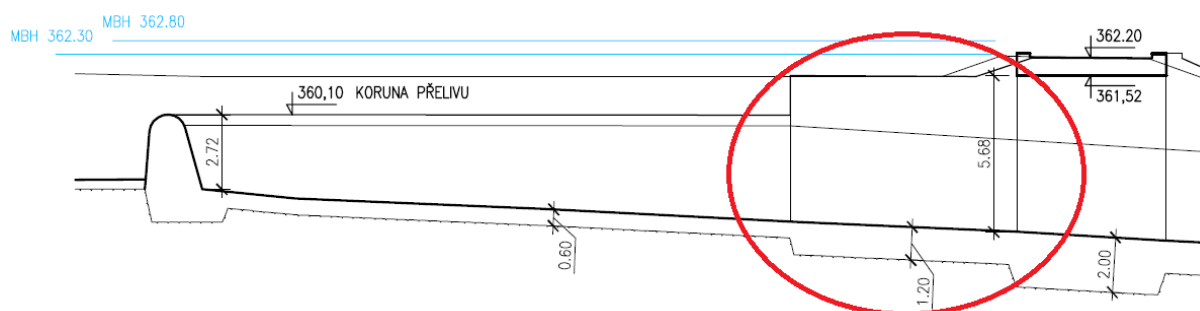
Jedná se pouze o rámcový odhad ceny jednotlivých opatření na základě kubatur, které budou mít rozhodující vliv na náklady, jsou to zejména zemní práce včetně přesunů hmot, kubatury bourání a kubatury nových betonových konstrukcí.

Tab. 2: Přeliv a spadiště - odhad nákladů po variantách, srovnání nákladů

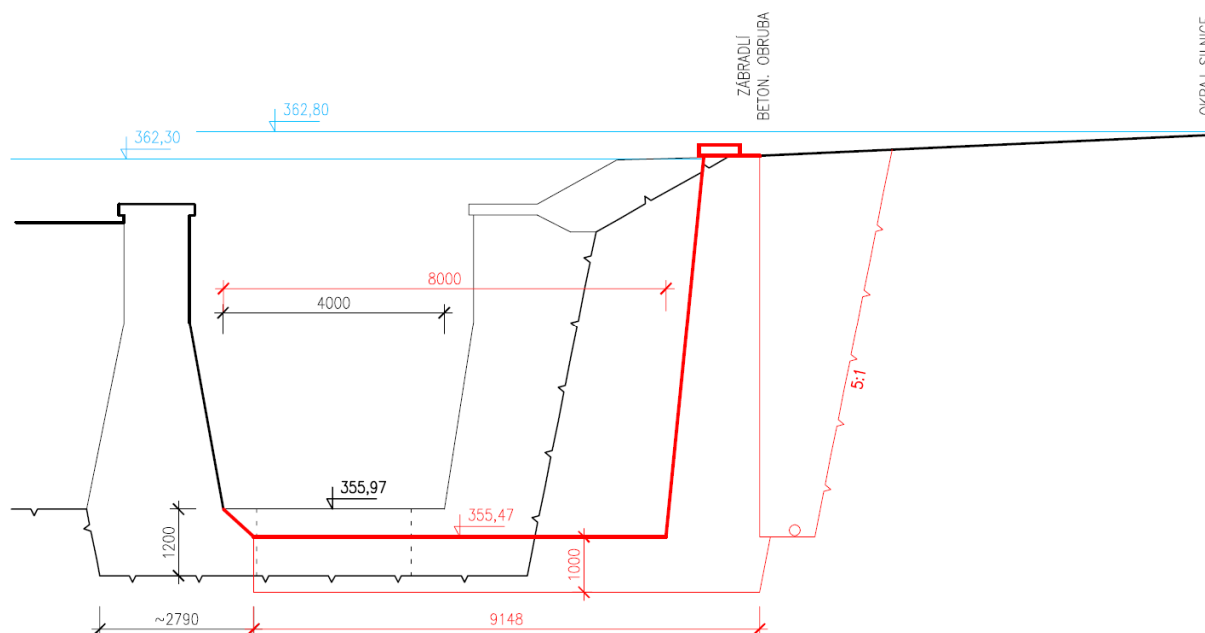
Označení varianty	Odhad nákladů	Srovnání nákladů
PS 1	14 184 000 Kč	100 %
PS 2	14 411 000 Kč	102 %
PS 3	14 475 000 Kč	102 %
PS 4	14 099 000 Kč	99 %
PS 5	13 723 000 Kč	97 %
PS 6	13 906 000 Kč	98 %
PS 7	13 878 000 Kč	98 %
PS 8	13 110 000 Kč	92 %
PS 9	13 242 000 Kč	93 %
PS 10	13 449 000 Kč	95 %
PS 1a	14 726 000 Kč	104 %
PS 1b	15 226 000 Kč	107 %
PS 1c	15 226 000 Kč	107 %
PS 4a	14 564 000 Kč	103 %

Dílčí hodnocení variant

U varianty s uvažovaným zahloubením spadiště, tj. PS 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 1b, 1c vzniká problém se stabilitou levé zdi skluzu v místě průchodu hrází. Předběžné statické posouzení ukazuje, že při snížení dna spadiště o 0,5 m nelze zachovat stabilitu levé zdi bez zásahů do tělesa hráze nebo technicky náročných a nákladných opatření (např. zmonolitnění stávající zdi z prostého betonu s novou železobetonovou deskou dna spadiště a skluzu, tak aby tvořily polorám). Z hlediska statického působení, složitosti stavebně-technického řešení a nákladů lze považovat za nejvýhodnější varianty se zachováním stávající úrovně dna spadiště.



Obr. 17: Přeliv a spadiště – podélný řez s vyznačením místa kde vzniká problém se stabilitou



Obr. 18: Přeliv a spadiště – příčný řez, varianta se zahloubením spadiště v místě kde vzniká problém se stabilitou

Varianty se zachováním stávající úrovně přelivné hrany (PS 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10.) není možné realizovat bez podstatného zvýšení koruny hráze (MBH 362,80 m n.m.)

Varianty s uvažovaným snížením přelivné hrany, tj. PS 3 až 10 a 4c snižují zásobní objem nádrže a tím i zabezpečení odběrů z nádrže.

Varianty s uvažovaným snížením přelivné hrany, a současně zahloubením dna spadiště tj. PS 6, 8, 10 vedou v některých případech k poměrně krátké přelivné hraně. V těchto případech by bylo vhodné zvážit úpravu na čelní přeliv (podobně jako na VD Boskovic).

Varianty s menší šířkou spadiště (6,5 m) povedou sice k menším objemům prací, ale lze je dosáhnout pouze ve variantách se sníženou úrovní dna spadiště (statické problémy), současně se sníženou úrovní přelivné hrany (omezení zabezpečení odběrů) a při vyšší úrovni KMH (větší zásahy do koruny hráze a případné související úpravy - věž, lávka).

Varianty úprav spadiště a skluzu je však nutno posuzovat i v souvislosti s jejich transformačním účinkem – dosaženou kontrolní maximální hladinou (KMH). Vyšší úroveň (viz hodnocení variant úpravy koruny hráze kap. 5.2.4). Z tohoto pohledu lze doporučit varianty s nižší KMH tj. PS 3, 7, 1a, 1b, 1c, 4a.

Na základě analýzy těchto hledisek byly navrženy další varianty – PS 1a, 1b, 1c, 4a s cílem optimalizovat technické parametry tak, aby se snížila KMH do mezilehlé úrovně posuzovaných hodnot a byly minimalizovány dopady na statiku konstrukcí, které mají být zachovány.

Vzhledem k úrovni podlahy strojovny odběrné věže a přístupové lávky (362,60 m n. m.) byly parametry přelivu a spadiště v uvedených variantách dále optimalizovány tak, aby byl pro přeliv maximálně využit prostor po břehovou opěru lávky a současně KMH nepřekročila kótu podlahy strojovny. V obou variantách byla délka přelivu prodloužena na 35,0 m. Pro dosažení potřebného snížení KMH bylo u varianty PS 1c (výpočtová var. N 3.6.3) nezbytné navrhnout ještě zahloubení dna spadiště o 0,2 m na kótu 356,00 m n. m.

5.2.2 Úprava skluzu

Parametry skluzu byly počítány (viz část B.1) variantně pro šířky skluzu 6,0, 7,0 a 8,0 m. Podélný profil odpovídá současnému stavu a sklon bočních zdí skluzu je uvažován 5:1.

Úpravy předpokládají (dle požadavku zadání) zachování levé zdi skluzu min. v rozsahu násypu hráze. Dno skluzu a pravá zeď budou vybourány a po provedení odkopu (odlomu) horninového masivu v pravém svahu údolí bude vybetonována nová konstrukce dna a pravé zdi.

Ve variantách se zahloubením dna spadiště a tím i navazující části skluzu vzniká problém se stabilitou levé zdi skluzu v místě průchodu hrází. Předběžné statické posouzení ukazuje, že při snížení dna spadiště o 0,5 m nelze zachovat stabilitu levé zdi bez zásahů do tělesa hráze nebo technicky náročných a nákladných opatření (např. zmonolitnění stávající zdi z prostého betonu s novou železobetonovou deskou dna spadiště a skluzu, tak aby tvořily polorám)

Svah horninového masivu nad skluzem bude upraven do sklonu 2,5:1. Stabilita svahu se dle předchozích průzkumů a vizuálního hodnocení současného stavu jeví jako dobrá a lze předpokládat pouze opatření proti zvětrávání povrchu (vysokopevnostní síť nebo nástřík) V místech výskytu sutí v nadloží skalního masivu bude svah upraven do sklonu 1:1,5.

U levé zdi se předpokládá sanace povrchu betonu a zvýšení. Převýšení bočních zdí skluzu je navrženo dle ČSN 752340 60 cm nad hladinu provzdušněného vodního proudu.

Ve všech uvažovaných variantách bude nutno provést nové přemostění skluzu.

Dle ČSN 752340 je při návrhu skluzů s průtokem větším než 60 m³/s a skluzů u nichž jsou předpoklady pro vznik příčných nebo traslačních vln, třeba hydraulický výpočet ověřit modelovým výzkumem.

Tab. 3: Základní varianty - parametry skluzu

Var.	Šířka skluzu	*Max. hloubka provzduš.	*Min. hloubka provzduš.	Zvýšení levé zdi	Výška pravé zdi
S 1	8,0	3,88	1,34	0,30–0,90	1,94 - 4,48
S 2	7,0	4,23	1,51	0,60-1,05	2,11 - 4,83
S 3	6,0	4,67	1,74	0,90-1,30	2,34 - 5,27

* při průchodu Q₁₀₀₀₀ transformované

Odhad nákladů

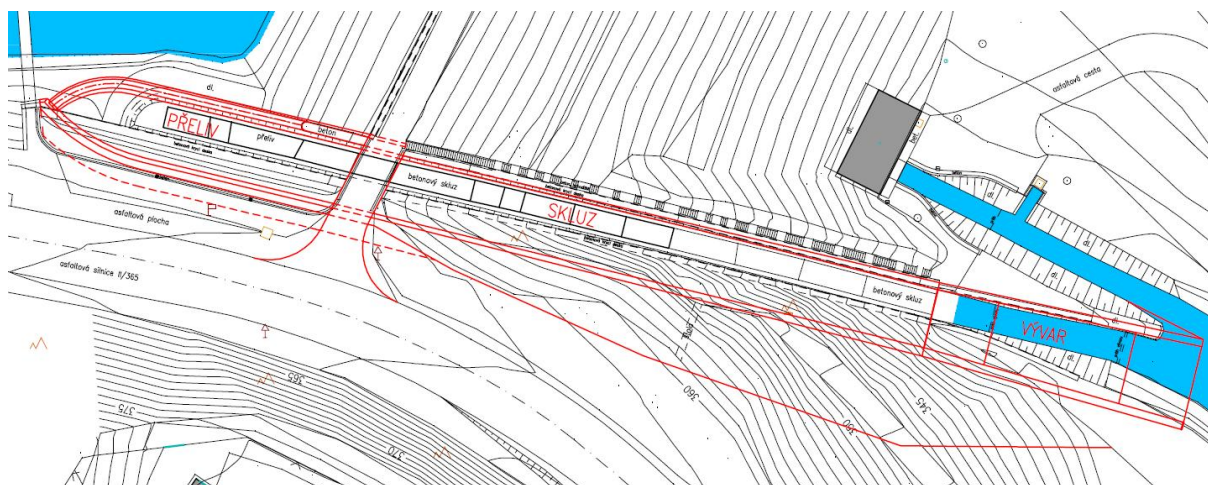
Jedná se pouze o rámcový odhad ceny jednotlivých opatření na základě kubatur, které budou mít rozhodující vliv na náklady, jsou to zejména zemní práce včetně přesunů hmot, kubatury bourání stávajících konstrukcí a kubatury nových betonových konstrukcí.

Tab. 4: Skluz - odhad nákladů po variantách, srovnání nákladů

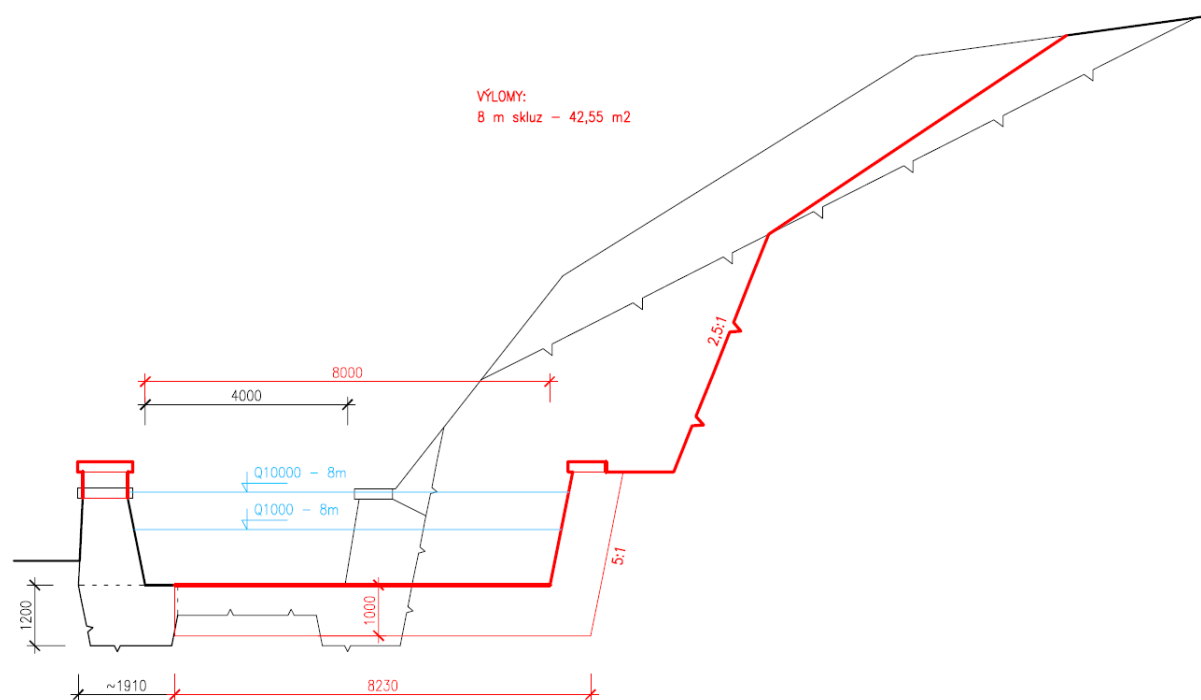
Označení varianty	Odhad nákladů	Srovnání nákladů
S 1	24 073 000 Kč	100 %
S 2	22 780 000 Kč	95 %
S 3	21 604 000 Kč	90 %

Dílčí hodnocení variant

Varianta S 1 se šířkou skluzu 8,0 je nejvýhodnější z hlediska návaznosti na spadiště (při šířce spadiště 8,0) i vývar a tím pádem zajišťuje i příznivější hydraulické poměry. Představuje však větší objemy odlomů v pravém svahu spojené s vyššími náklady.

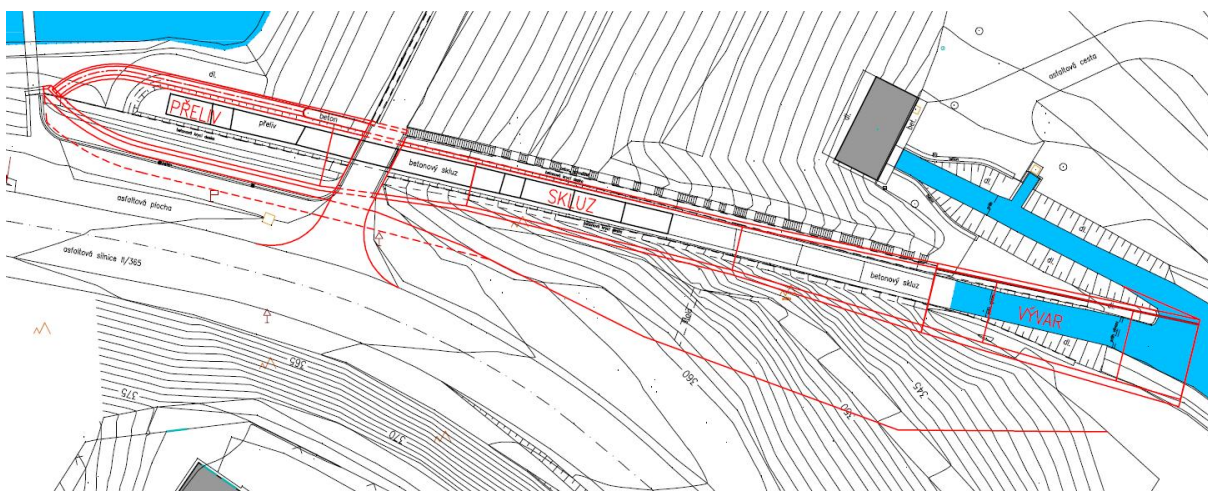


Obr. 19: Skluz – půdorys, varianta s šířkou 8,0 m

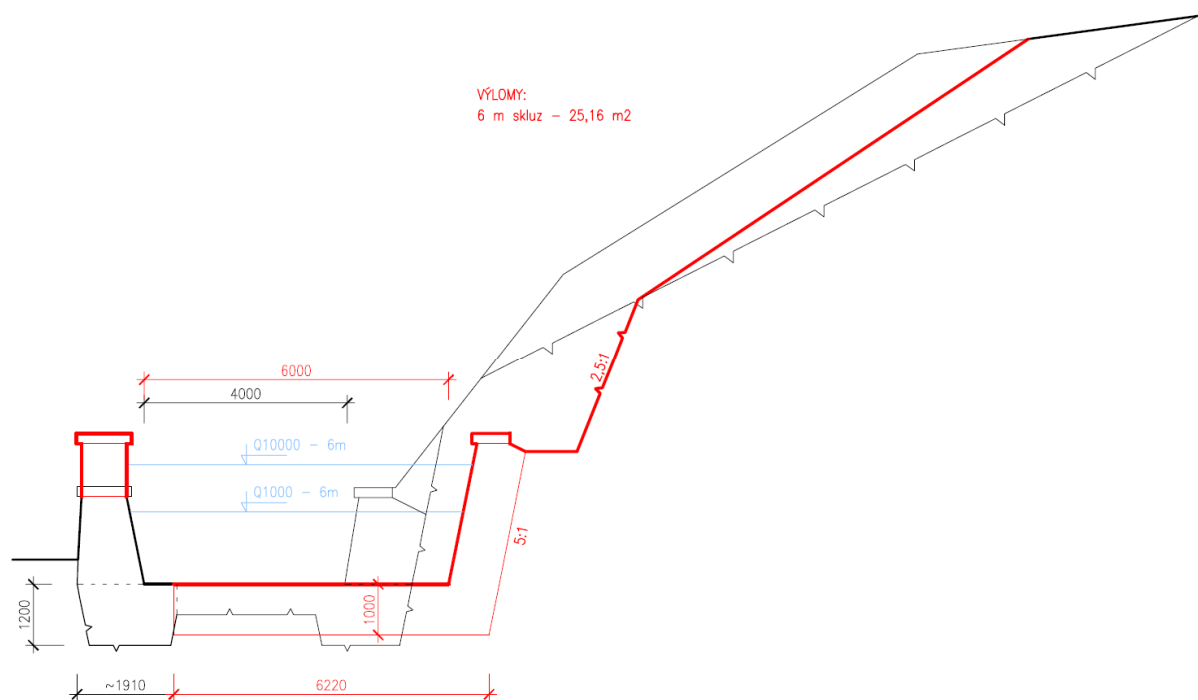


Obr. 20: Skluz – příčný řez, varianta s šířkou 8,0 m

Varianta S 3 se šířkou skluzu 6,0 bude mít menší rozsah odlomů v prvním svahu. Omezení rozsahu odlomů je však omezeno na poměrně krátký úsek s ohledem na nutnost plynulého navázání na skluz a rozšíření před zaústěním do vývaru. Úspora nákladů s ohledem na uvedenou skutečnost a nutnost vyšších bočních zdí tak činí jen cca 10%. Perspektivní je tato varianta pro varianty spadiště s šířkou 6,5 m. Varianta S 3 bezpochyby přináší složitější hydraulické jevy, což přípravu varianty bude činit složitější – např. potřeba usměrňovacích prvků v jednostranně zužující se části, případně další potřeba úprav na základě ověření na fyzikálním modelu. Hydraulický modelový výzkum však musí být uskutečněn pro obě varianty a náklady na něj jsou v porovnání s očekávaným nákladem na realizaci velmi malé.



Obr. 21: Skluz – půdorys, varianta s šířkou 6,0 m



Obr. 22: Skluz – příčný řez, varianta s šířkou 6,0 m

Varianta S 2 se šířkou skluzu 7,0 je kompromisem mezi předchozími variantami z hlediska nákladů i hydraulických poměrů.

5.2.3 Úprava vývaru

Parametry vývaru byly počítány v několika variantách pro různé průtoky (40 až 120 m³/s) a tvary vývaru viz část B1. Návrh byl proveden pro prismatický a divergentní vývar obdélníkového příčného profilu.

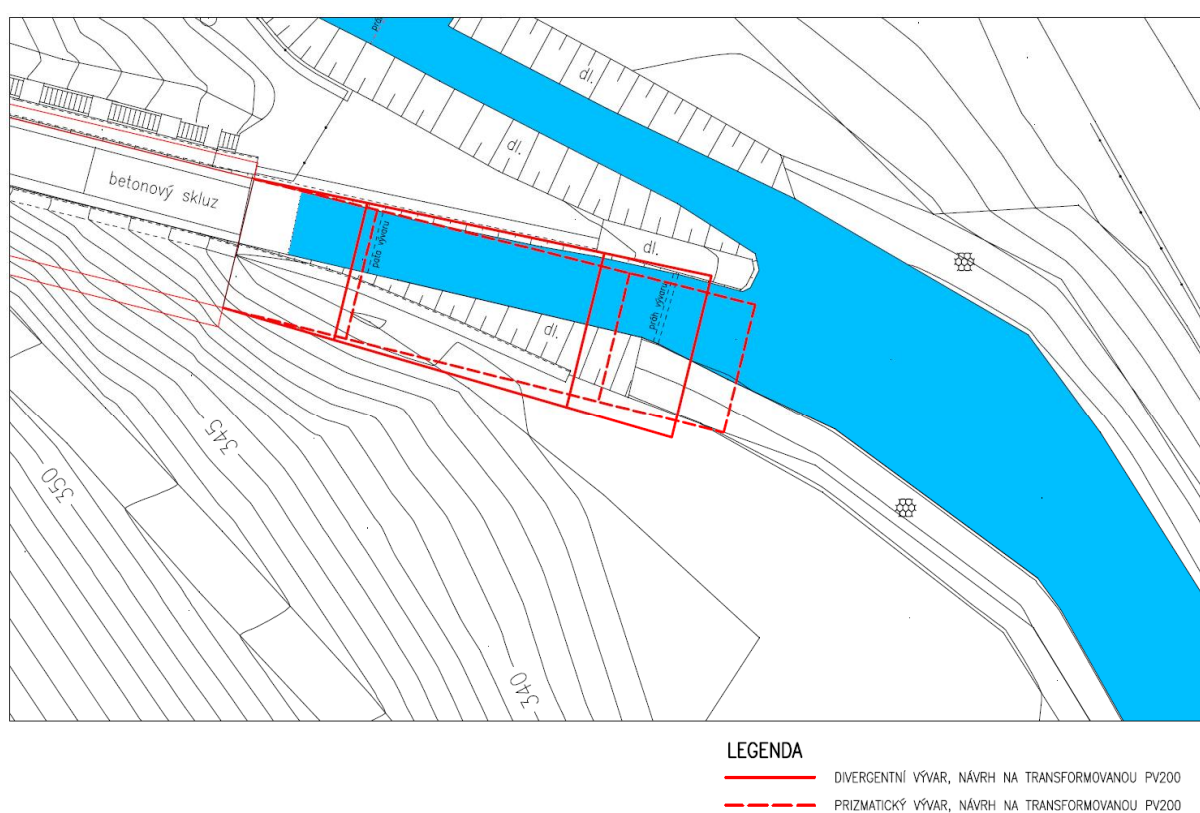
Pro posouzení dopadů stavebně-technického řešení úpravy vývaru a jeho začlenění do stávajícího uspořádání v podhráží byly vykresleny 4 varianty vývaru. Šířka koncové části přelivu byla ve všech variantách předpokládána 8,0 m. Škody za vývarem budou omezeny návrhem vhodného opevnění dna a nárazového břehu odtokového koryta.

Varianta V 1 - prizmatický vývar obdélníkového příčného profilu pro návrhový průtok $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá přibližně maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{1000MOD} (dle dohody na jednání 18.1.2013).

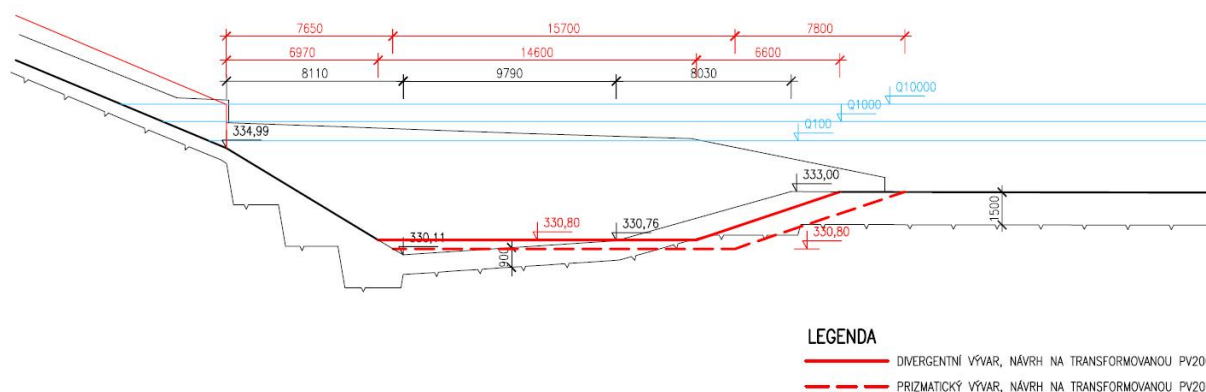
Základní parametry: Hloubka 3,7 m
Délka 31,8 m
Šířka vývaru: 8,0 m

Varianta V 2 – divergentní vývar obdélníkového příčného profilu pro návrhový průtok $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá přibližně maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{1000MOD}.

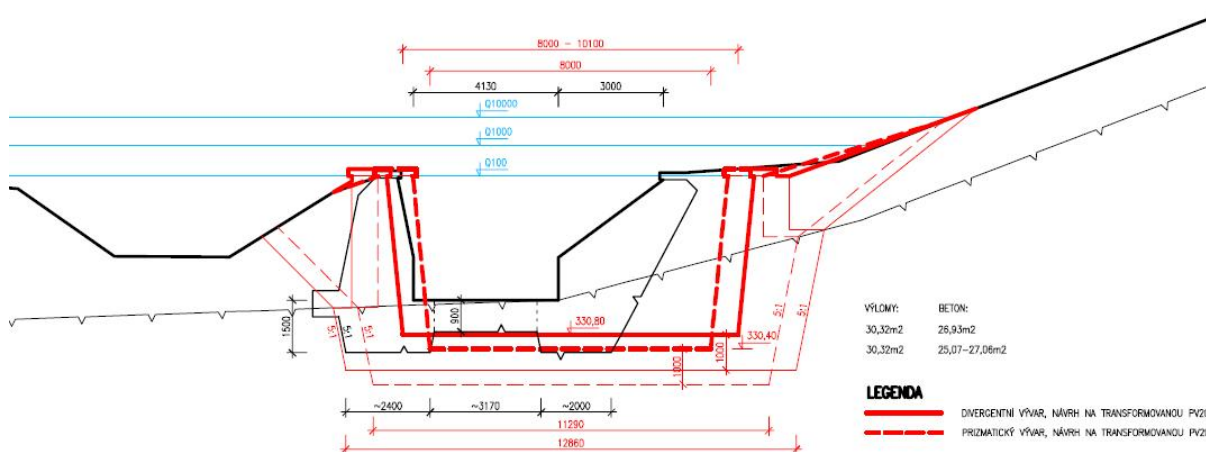
Základní parametry: Hloubka 3,05 m
Délka 28,0 m
Šířka vývaru: 8,0 až 10,5 m



Obr. 23: Vývar – půdorys variant V1 a V2



Obr. 24: Vývar – podélný řez variant V1 a V2



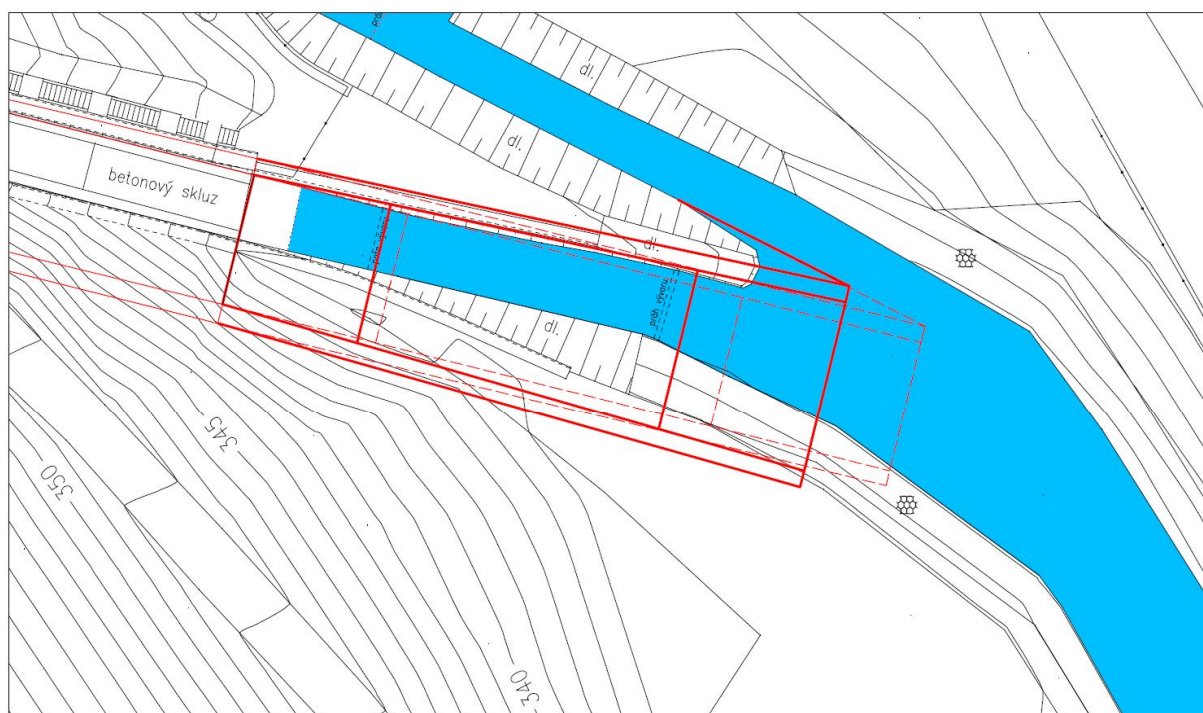
Obr. 25: Vývar – příčný řez variant V1 a V2

Varianta V 3 - prizmatický vývar obdélníkového příčného profilu pro návrhový průtok $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá přibližně maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{200MOD}.

Základní parametry: Hloubka 2,6 m
Délka 23,5 m
Šířka vývaru: 8,0 m

Varianta V 4 - divergentní vývar obdélníkového příčného profilu pro návrhový průtok $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá přibližně maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{200MOD}.

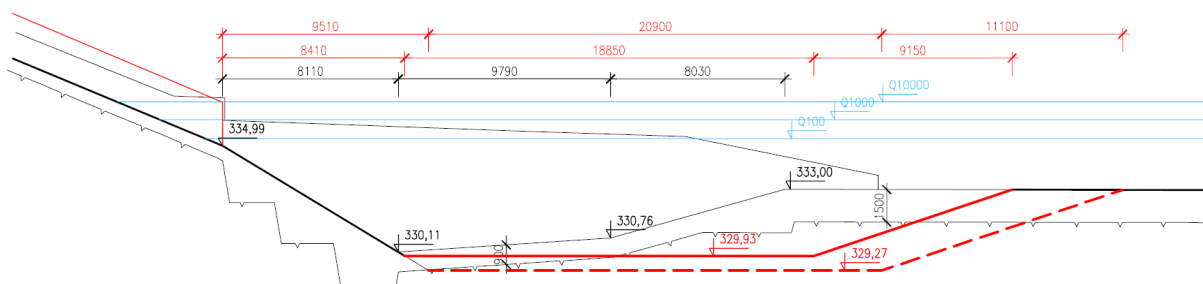
Základní parametry: Hloubka 2,2 m
Délka 21,2 m
Šířka vývaru: 8,0 až 10,1 m



LEGENDA

- DIVERGENTNÍ VÝVAR, NÁVRH NA TRANSFORMOVANOU PV1000
- - - PRIZMATICKÝ VÝVAR, NÁVRH NA TRANSFORMOVANOU PV1000

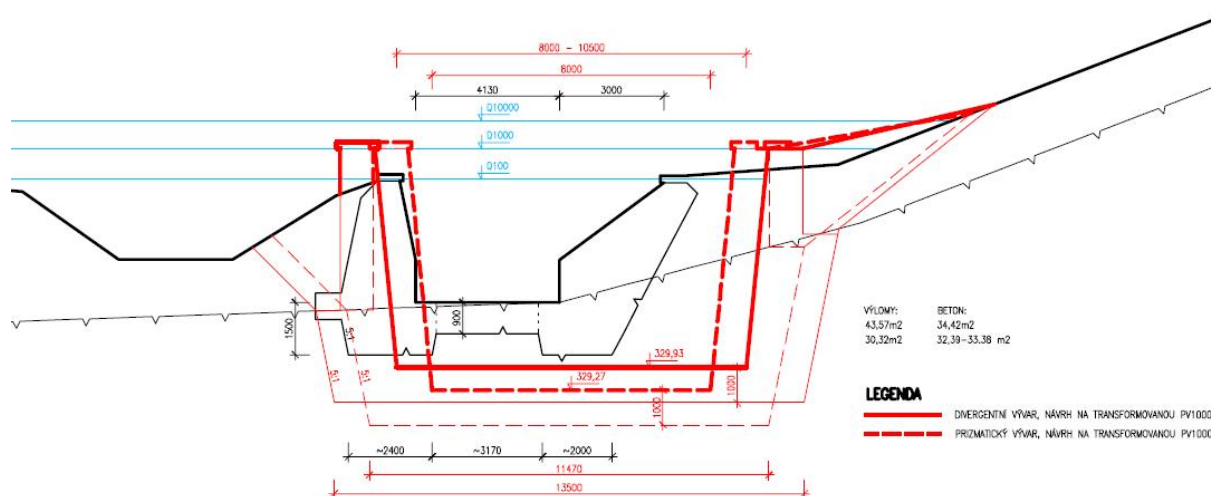
Obr. 26: Vývar – půdorys variant V3 a V4



LEGENDA

- DIVERGENTNÍ VÝVAR, NÁVRH NA TRANSFORMOVANOU PV1000
- - - PRIZMATICKÝ VÝVAR, NÁVRH NA TRANSFORMOVANOU PV1000

Obr. 27: Vývar – podélný řez variant V3 a V4



Obr. 28: Vývar – příčný řez variant V3 a V4

Odhad nákladů

Jedná se pouze o rámcový odhad ceny jednotlivých opatření na základě kubatur, které budou mít rozhodující vliv na náklady, jsou to zejména zemní práce včetně přesunů hmot, kubatury bourání stávajících konstrukcí a kubatury nových betonových konstrukcí.

Tab. 5: Odhad nákladů po variantách, srovnání nákladů

Označení varianty	Odhad nákladů	Srovnání nákladů
V 1	23 908 000 Kč	100 %
V 2	19 860 000 Kč	83 %
V 3	16 771 000 Kč	70 %
V4	13 349 000 Kč	56 %

Dílčí hodnocení variant

Varianty V 1 a V 2, ve kterých je vývar dimenzován na průtok $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{1000MOD} představují s ohledem na velkou hloubku a délku vývaru značný rozsah výlomových a demoličních prací a nepříznivé poměry v navázání na morfologii odtokového koryta. Varianta V 2 má příznivější poměry v navázání na odtokové koryto.

Ve variantách V 3 a V4 je vývar dimenzován na průtok $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, který odpovídá přibližně maximálnímu odtoku přelivem při transformaci PV_{200MOD}. V těchto variantách jsou parametry (hloubka a délka) vývaru srovnatelné se stávajícím vývarem s rozšířením do pravého svahu a vytvářejí tak příznivější poměry v navázání na odtokové koryto. U varianty V4 lze zachovat i podstatnou část levobřežní zdi.

K nákladům všech těchto variant je nutno ještě připočítat náklady na opevnění dna za vývarem a nárazového břehu.

5.2.4 Úprava koruny hráze

Cílem úprav na koruně hráze je zajistit zvýšení mezní bezpečné hladiny (MBH) nad současnou úroveň a to na teoretickou úroveň nivelety v ose hráze. Úpravy koruny hráze zahrnují zvýšení vlnolamu, jeho propojení s těsnícím prvkem hráze a dosypání koruny hráze na požadovanou úroveň dle zvolené varianty. Zvýšení hráze bude zahrnovat i navýšení ve střední části pro předpokládané budoucí sedání hráze.

Bezpečnost hráze byla s ohledem na zvýšení MBH nad stávající stanovenou maximální hladinu posouzena statickým výpočtem viz příloha E.4. Stabilitní posouzení vyhovuje pro všechny navrhované varianty.

Podle ČSN 75 2340 má být úroveň koruny hráze v nejnižším místě osy hráze dána kótou návrhové hladiny, převýšením nad ní a posouzením podle TNV 75 2935. Návrhová hladina by podle čl. 5.1. měla být odvozena z transformace PV₁₀₀₀.

Předpokládá se koruna hráze opatřená vlnolamem, pro kterou je (při vhodné úpravě) možné volit až nulovou bezpečnostní rezervu.

Posouzení podle TNV 75 2935 se provádí porovnáním kontrolní maximální hladiny (maximální úrovní hladiny v nádrži při transformaci kontrolní povodně - pro nás povodně PV_{10 000}) s mezní bezpečnou hladinou.

Podle čl. 8.4 TNV 75 2935 se úroveň MBH sníží o určenou výšku výběhu větrových vln dle ČSN 75 0255. Vypočtenou výšku výběhu lze redukovat s ohledem na odolnost koruny a vzdušného líce, dobu trvání hladiny v nádrži a pravděpodobnost souběhu nepříznivých jevů.

Předpokládáme, že při transformaci PV_{10 000} smí hladiny vystoupit k teoretické úrovni koruny hráze a výběh větrových vln bude řešit k tomu účelu přizpůsobený vlnolam.

Výpočet výběhu větrových vln podle ČSN 75 02 55 (1987) je převzat z podkladu Posouzení VD za povodní, VD-TBD a.s., 06/2009 [1]. Výsledná hodnota výšky výběhu vlny na svah pro pravděpodobnost překročení 13% byla stanovena na 0,998 m.

Jsou navrženy 3 varianty úpravy koruny hráze ve vazbě na 3 předpokládané úrovně MBH:

Tab. 6. Základní varianty – úprava koruny hráze

Označení varianty	Min. kóta koruny hráze *	Max. kóta koruny hráze **	Min. kóta koruny vlnolamu *	Max. kóta koruny vlnolamu **	MBH
K 1	362,30	362,40	363,16	363,26	362,30
K 2	362,55	362,65	363,41-343,56	363,51-363,66	362,55 - 362,71
K 3	362,80	362,90	363,68	363,78	362,80

* v zavázání hráze do svahů údolí

** ve střední části hráze

Součástí všech variant úprav koruny hráze jsou následující opatření:

Zvýšení koruny hráze a vytvoření rezervy pro budoucí sedání hráze

Předpokládá se rozebrání vozovky obslužné komunikace na koruně a odkop po úroveň těsnícího jádra. Po provedení propojení těsnícího jádra s novým vlnolamem nebo navýšením jádra bude provedeno dosypání koruny hráze na požadovanou úroveň (dle zvolené varianty) a obnova komunikace. Zvýšení koruny hráze při zachování min. šířky 4,0 m (3,0 m vozovka + 2x krajnice 0,5 m) povede k nutnosti odsunutí vlnolamu směrem do nádrže. Ve variantě s max. zvýšením je také největší odsun vlnolamu. Tento odsun vyvolá značnou výšku vlnolamu ze strany nádrže, proto se navrhuje v této variantě zvětšení sklonu návodního svahu v horní části (provede se v rámci opravy návodního opevnění).

Dle 3. souhrnné etapové zprávy o TBD [2] je roční konsolidační rychlost na koruně hráze maximálně 0,79 mm za rok a má sestupnou tendenci. Trendy svislých posunů (sedání) popsané měřením TBD budou v budoucnu pokračovat a v rámci rekonstrukce hráze by bylo vhodné vytvořit převýšení pro jejich eliminaci. Teoretická prognóza svislých posunů na 100 let na základě výše uvedené konsolidační rychlosti je do cca 0,08 m v nejvyšším bodě hráze. Doporučuje se provést převýšení min. 0,10 m ve střední části hráze s plynulým snižováním až na 0 v zavázání hráze do svahů údolí.

Nový vlnolam

Předpokládá se odstranění stávající zdi (vlnolamu) na koruně hráze včetně základové konstrukce. Bude zřízena nová železobetonová konstrukce vlnolamu s vhodnou úpravou návodního líce, tak aby bylo zajištěno odrážení vln zpět do nádrže. Vlnolam bude souvislý po celé délce hráze a na přemostění skluzu na něj bude navazovat plně zábradlí. Výška vlnolamu se předpokládá 0,8 až 1,0 m nad korunou hráze. Stávající kabelová trasa uložená v konstrukci stávajícího vlnolamu bude přeložena do kabelovodu uloženého pod vozovkou podél nového vlnolamu.

Vodotěsné propojení těsnicího jádra a vlnolamu

Řešení připouští při průchodu KPV vzestup hladiny na úroveň teoretické koruny hráze. Aby se zamezilo vzniku průsakové cesty mezi vlnolamem a těsnicím jádrem hráze navrhuje se vodotěsné propojení z úrovně horního povrchu současného těsnicího jádra k vlnolamu. Na základě inženýrsko-geologického průzkumu k ověření úrovně těsnicího jádra bylo zjištěno, že jeho úroveň je až o 1,25 m níže než se předpokládalo viz příloha E.3.

Utěsnění prostoru mezi jádrem a vlnolamen je možno zajistit dosypáním těsnicího jádra nad úroveň základu vlnolamu s dostatečným přesahem a vhodnou úpravou styčné plochy základu. Toto řešení bude vyžadovat větší rozsah zemních prací a zajistit zdroj vhodných zemin.

Další možností je provést propojení mezi stávajícím zemním jádrem a novým vlnolamem pomocí fólie zapuštěné do jádra (do rýhy s jílocementovou zálivkou) a přikotvené k základu vlnolamu.

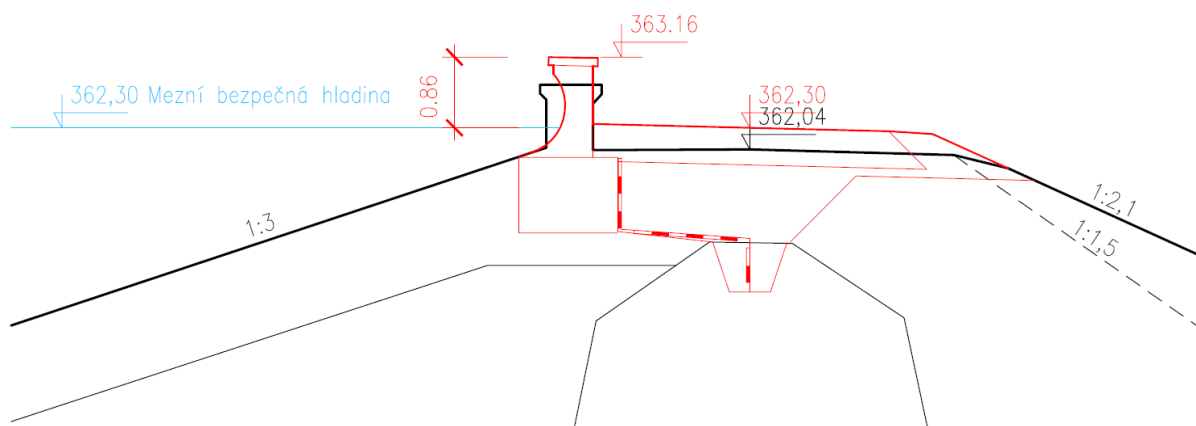
Zvýšení koruny hráze vyžaduje rovněž zvýšení přemostění skluzu.

Odhad nákladů

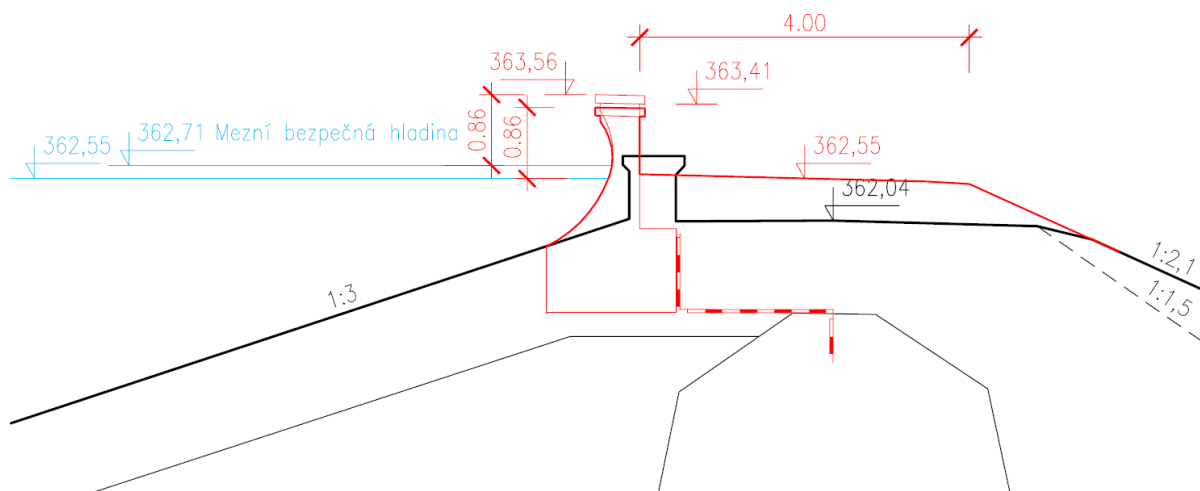
Jedná se pouze o rámcový odhad ceny jednotlivých opatření na základě kubatur, které budou mít rozhodující vliv na náklady, jsou to zejména zemní práce včetně přesunů hmot, kubatury bourání stávajících konstrukcí, propojení vlnolamu a těsnicího jádra fólií, komunikace, kabelovod a kubatury nových betonových konstrukcí.

Tab. 7: Odhad nákladů po variantách, srovnání nákladů

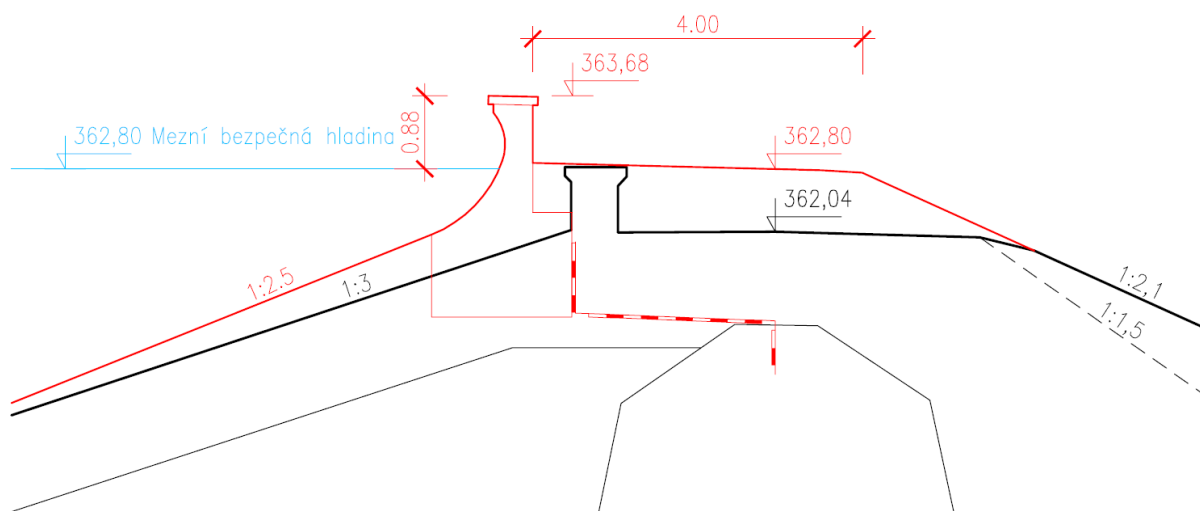
Označení varianty	Odhad nákladů	Srovnání nákladů
K 1	7 167 000 Kč	100 %
K 2	8 683 000 Kč	121 %
K 3	9 798 000 Kč	137 %



Obr. 29: Úprava koruny hráze – varianta K1



Obr. 30: Úprava koruny hráze - varianta K2



Obr. 31: Úprava koruny hráze –varianta K3

Dílčí hodnocení variant

Varianta **K 1** s teoretickou úrovní koruny hráze v ose 362,30, tedy úprava přibližně do původně projektované úrovně neklade vzhledem k této skutečnosti nároky na další úpravy okolí a souvisejících objektů. Rozsah prací a tím i náklady budou nejmenší.

Varianta **K3** s teoretickou úrovní koruny hráze v ose 362,80, kterou lze považovat za maximální úroveň, kterou lze dosáhnout pouze úpravami na koruně. Odpovídající MBH vystoupí nad úroveň podlahy strojovny na věži spodních výpustí (kóta 362,60 m n.m.) a nad úroveň lávky ke věži. Vyvolává tedy další nároky na úpravy těchto objektů. Rozsah prací a tím i náklady budou největší.

Varianta **K 2** s teoretickou úrovní koruny hráze v ose 362,55 eliminuje dopady na věž a lávku a současně poskytuje vyšší prostor pro transformaci KPV než varianta K 1.

5.2.5 Vliv na provoz díla

Po dobu výstavby je nutno ve všech uvažovaných variantách udržovat hladinu v nádrži pod úrovní dna rekonstruovaného přelivu, tj. na kotě cca 354 až 355,00 m n.m.. Dopady na manipulace a odběry vody (pro kompenzační nalepšení řeky Svitavy) jsou tedy ve všech variantách rovnocenné. Úroveň snížené hladiny odpovídá stavu hladin ve 2. a 3. regulačním stupni dispečerského grafu.

Energetické využití bude možné během výstavby provozovat s omezenou hladinou pokud nebude hladina snížena pod úroveň minimální provozní hladiny. Případné ztráty výroby MVE vyplývající z omezení spádu budou ve všech variantách rovnocenné.

Postup výstavby musí být prováděn etapovitě tak, aby byla průběžně zajištěna bezpečnost díla při riziku nekontrolovatelného průchodu povodní stavenišťem.

5.2.6 Možné kombinace úprav

Varianty technického řešení jednotlivých částí funkčních objektů a varianty úpravy koruny hráze lze vzájemně kombinovat a vytvářet tak alternativy ucelených řešení s potřebným transformačním účinkem pro KPV. Následující tabulka poskytuje přehled možných kombinací výše uvedených variant stavebně-technického řešení. Po provedení navržených úprav ve všech možných kombinacích uvedených v tabulce bude možné považovat VD Letovice za bezpečné ve smyslu TNV 75 2935.

Tab. 8: Možné kombinace úprav

PŘELIV A SPÁDIŠTĚ				KORUNA HRÁZE			SKLUZ			VÝVAR				Poznámka
Označení varianty	Kóta přelivu	Kóta dna spadiště	Délka přelivu (m)	K 1	K 2	K 3	S1	S2	S3	V1	V2	V3	V4	
				362,30	362,55 – 362,71	362,80	8,0 m	7,0 m	6,0 m	Pris.	Diver.	Pris.	Diver.	
PS 1	360.10	356,20	29,0	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 2	360.10	355,70	23,0	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 3	359.60	355,70	29,0	•	X	X	•	•	•	•	•	•	•	
PS 4	359.60	355,70	21,5	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 5	359.60	355,70	27,0	X	X	•	X	X	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 6	359.60	355,70	17,5	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 7	359.10	355,70	22,0	•	X	X	•	•	•	•	•	•	•	
PS 8	359.10	356,20	17,0	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 9	359.10	355,70	20,0	X	X	•	X	X	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 10	359.10	355,70	14,0	X	X	•	•	•	•	•	•	•	•	dotčení věže a lávky
PS 1a	360.10	356,20	35,0	X	•	X	•	•	•	•	•	•	•	
PS 1b	360.10	356,10	35,0	X	•	X	•	•	•	•	•	•	•	
PS 1c	360.10	356,00	35,0	X	•	X	•	•	•	•	•	•	•	
PS 4a	359.10	356,20	35,0	X	•	X	•	•	•	•	•	•	•	

• kombinace je možná

X kombinace není možná

5.3 Vývoj řešených variant po jednání dne 6.3. 2013

Na jednání dne 18.3. 2013 byly prezentovány a diskutovány výše uvedené (v kap. 5.2.) varianty a byly dohodnuty následující zásady pro dopracování výsledných variant.

Úprava koruny hráze a vlnolamu

- Koruna hráze bude zvýšena na úroveň 362,60 m n. m. MBH bude v úrovni koruny hráze.
- Ve věži spodních výpustí a na lávce bude nutné navrhnout opatření k zajištění funkce v průběhu povodně (např. vyústění zavzdušňovacího potrubí nad úroveň MBH., přesun veškerých zařízení nutných k ovládání SV nad úroveň MBH, vyšší krytí el. zařízení).
- Objednatel požaduje navrhnout zvýšení těsnicího jádra a propojení na vlnolam zemním těsnicím prvkem místo projektantem předloženého řešení s použitím těsnicí fólie.
- Objednatel spolu se zástupci TBD-VD rozhodli, že s ohledem na velmi nízké svislé deformace hráze není nutné navrhovat přesypání hráze s ohledem na další sedání, niveleta koruny hráze tedy bude vodorovná bez převýšení ve střední části.
- Vlnolam bude prefabrikovaný včetně betonové krycí desky osazený na betonovém základu, výška vlnolamu bude 0,8 až 0,9 m. Podél vlnolamu bude na vzdušné straně v zemi uložen kabelovod.

Úprava spadiště a přelivu

- Bylo dohodnuto dále nesledovat varianty se zahloubením spadiště o 0,5 m a varianty uvažující se snížením koruny přelivné hrany bezpečnostního objektu a z toho vyplývajícím omezením zásobní funkce nádrže.
- Vzhledem k podstatnému zvětšení objemu spadiště a vysoké propustnosti skalního masivu bude nutno řešit problematiku vztlaku.

Úprava skluzu

Bylo dohodnuto dále rozpracovat variantu se šířkou skluzu 8,0 m.

Úprava vývaru

- Dále nebudou sledovány varianty prizmatického vývaru a vývaru dimenzovaného na transformovanou Q_{200} . Vývar bude navržen na transformovanou Q_{1000} jako divergentní.
- Jako součást úprav v podhrází bude navrženo zajištění opevnění protějščího (narázového) břehu odpadního koryta.
- Zváží se možnosti zkrácení vývaru dalším rozšířením nebo úpravou prahu vývaru (obdobně jak vyplývá z výsledků fyzikálního modelu pro VD Boskovice). Úprava vývaru bude ve studii komentována pouze v textové části, případná úprava parametrů vývaru bude navržena na základě výsledků fyzikálního výzkumu.
- Projektant doporučuje před zpracováním dalších stupňů projektové dokumentace vyčerpat a vyčistit vývar za účelem ověření skutečné hloubky betonových konstrukcí dna. Námět byl odsouhlasen.

Rekonstrukce návodního líce

- Projektant a zadavatel se shodli na opevnění návodního líce kamennou rovnatinou s odpovídajícími podložími (filtračními) vrstvami. Zadavatel vyloučil možnost použití geotextilií do podložních vrstev. Návodní líc bude možno navýšit nad současnou úroveň s ohledem na skladbu opevnění a napojení na vlnolam.
- Oprava návodního líce bude navržena od vlnolamu až po úroveň kamenné patky (347,59 m n. m.).
- Pro provedení opravy návodního líce se připouští na nezbytně nutnou dobu snížení hladiny na úroveň stálého nadržení (346,90 m n. m.).

Podle sdělení zástupce objednatele je nejnižší přípustná kóta nového přelivu snížena max. o 0,5 m oproti současnému stavu, tzn. 359,60 m n. m.

Bylo dohodnuto, že vzhledem ke komplikacím souvisejícím s případným zahlubováním dna spadiště bude doplněna další modifikace varianty PS 1c (N 3.6.3), která zachová stávající úroveň dna spadiště a snížení KMH na kótu podlahy strojovny (362,60 m n. m.) bude dosaženo zvětšením šířky spadiště. Viz výpočtová varianta N 3.6.4 v příloze B1. Modifikovaná varianta má následující parametry:

- Současná úroveň přelivu 361.10 m n.m., současná úroveň dna spadiště 356.20 m n.m., délka přelivné hrany 35,0 m, šířka spadiště 8,5 m, KMH 362,58 m n. m..

Objednatel požadoval prověřit další možnost navýšit rozšířenou délku přelivu tak, aby se transformace nižších povodní (do n-letosti stoleté) přiblížila dnešní.

Výpočty bylo prokázáno, že rozdíl v transformaci PV_{100} s kulminací 49,1 m³/s na původním přelivu a navrhovaném novém o délce 35,0 m je pouze 1,2 m³/s.

Bylo dohodnuto, že při nejistotách, které byly přijaty ve výpočtu, nemá smysl provádět úpravy přelivu (dvě výškové úrovně) pro zlepšení kulminace o 1,2 m³/s.

5.4 Závěry pro dopracování technického řešení studie

Bylo dohodnuto, že výsledné varianty technického řešení, které budou dopracovány v částech studie C.1 a C.2 budou mít následující parametry:

Varianta 1:

Současná úroveň přelivu 361.10 m n.m., současná úroveň dna spadiště 356.20 m n.m., délka přelivné hrany 35,0 m, šířka spadiště 8,5 m, KMH 362,58 m n. m.

Varianta 2:

Úroveň přelivu snížena o 0,5 m tj. na kótu 359.60 m n.m., současná úroveň dna spadiště 356.20 m n.m., délka přelivné hrany 35,0 m, šířka spadiště 8,0 m, KMH 362,55 m n. m.

Výběrem těchto variant byla uzavřena problematika hledání perspektivních technických řešení.

V Brně, duben 2013

Ing. Rostislav Mikulášek
Ing. Marek Čejda