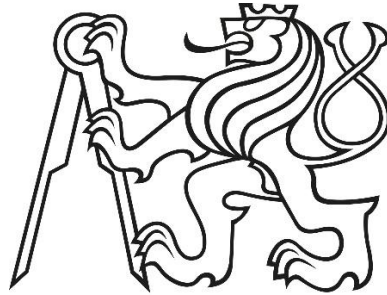


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vodohospodářské řešení nádrže Syčivka s ohledem na
stávající požadavky a budoucí provoz**

**Water Management Analysis of Syčivka Reservoir with
Respect to Actual Requirements and Future Operation**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Leden 2017

Bc. Aleš ŠIMŮNEK



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Šimůnek	Jméno: Aleš	Osobní číslo: 396407
Zadávající katedra: K142 - Katedra hydrotechniky		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vodohospodářské řešení nádrže Syčivka s ohledem na stávající požadavky a budoucí provoz	
Název diplomové práce anglicky: Water Management Analysis of Syčivka Reservoir with Respect to Actual Requirements and Future Operation	
Pokyny pro vypracování: Na základě dostupných podkladů zpracujte vodohospodářské řešení pro varianty suché i víceúčelové nádrže: <ul style="list-style-type: none">• řešení možnosti stálého nadržení v nádrži;• transformace při různém odtoku;• možnosti vypouštění a varianty škrčení spodní výpusti;• citlivostí analýzy v případě variantních řešení vypouštění nebo stálého nadržení.	
Seznam doporučené literatury: odborná literatura z oblasti přehradního stavitelství se vztahem k tématu diplomové práce;	
Jméno vedoucího diplomové práce: Miroslav Brouček	
Datum zadání diplomové práce: 5.10.2016	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu nřislušného ak. roku</i>

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>5. 10. 2016</u>	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

.....

Místo zpracování, celé datum

.....

jméno a příjmení

Poděkování

Rád bych poděkoval především svým rodičům za jejich podporu během celé doby mého studia a nejen toho vysokoškolského. Dále bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Miroslavu Broučkovi, Ph.D., za odborné vedení, čas a projevenou ochotu během konzultací a společnosti Sweco Hydroprojekt a. s. za poskytnutá data.

Abstrakt:

Práce se zabývá vodohospodářským řešením suché nádrže na vodním toku Syčivka. Hlavním úkolem vodního díla je protipovodňová ochrana města Bílina ležícího níže po toku. Pro vodní dílo je navrženo několik variant řešení sdruženého objektu a spodní výpusti, které jsou následně posouzeny. Z navržených variant jsou doporučeny nejefektivnější varianty. V práci je posouzeno i možnost víceúčelového využití nádrže.

Varianty jsou porovnány na základě stavební náročnosti a schopnosti transformovat povodňové vlny s různou dobou opakování. Výpočet transformace povodňové vlny je řešen metodou Runge-Kutta 4 řádu. V závěru práce je citlivostní analýza, která řeší vliv změny objemu nádrže, délky hráze a neškodného odtoku na transformační schopnosti vodního díla.

Klíčová slova:

Bílina, Syčivka, suchá nádrž, sdružený objekt, transformace povodňové vlny

Abstract:

The thesis is dealing with water management analysis of Syčivka reservoir on a small watercourse called Syčivka. The main purpose of the structure is flood control of downstream situated town Bílina. There are more design variations of the principal spillway and the low-level outlet suggested. All the presented variants are evaluated and the most effective designs are recommended. There is also multiple purpose use of reservoir evaluated.

The variants are compared according to constructional difficulty and ability of flood transformation. The flood transformation calculations use the fourth-order Runge-Kutta method. In conclusion the influence of reservoir volume changes, dam length changes and harmless discharge on flood transformation ability is evaluated by what-if analysis.

Key words:

Bílina, Syčivka, dry dam, principal spillway, flood transformation

OBSAH PRÁCE:

1.	ÚVOD	3
2.	POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	4
3.	HYDROLOGICKÉ PODKLADY	6
3.1.	ZÁKLADNÍ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE	6
3.2.	STANOVENÍ NEŠKODNÉHO ODTOKU	7
3.3.	ZMĚNY V HYDROLOGICKÝCH PODKLADECH	7
3.4.	DOPOČÍTÁNÍ Q_{10}	8
4.	CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY NÁDRŽE	10
5.	NÁVRH HRÁZE	11
6.	USPOŘÁDÁNÍ OBJEKTŮ	12
6.1.	SEPARÁTNÍ UMÍSTĚNÍ PŘELIVU A VÝPUSTÍ	13
	Varianta 1 - Boční bezpečnostní přeliv	13
6.2.	SDRUŽENÝ OBJEKT	14
	Varianta 2 – Sdružený objekt s obloukovou přelivnou hranou	15
	Varianta 3 – Sdružený objekt se zalomenou přelivnou hranou	17
	Varianta 4 – Sdružený objekt s kombinovanou přelivnou hranou	19
6.3.	SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT	21
7.	NÁVRH FUNKČNÍCH OBJEKTŮ	23
7.1.	SPODNÍ VÝPUSŤ	23
	Nehrazená	23
	Hrazená	25
	Mechanicky škrcená	27
	Porovnání spodních výpustí	31
7.2.	BEZPEČNOSTNÍ PŘELIV	31
7.3.	ODPADNÍ CHODBA	32
7.4.	PŘEVÝŠENÍ KORUNY HRÁZE	33

Výpočet výběhu větrových vln dle ČSN 75 0255	33
Převýšení koruny hráze	35
7.5. ÚPRAVA KORYTA TOKU	35
Koryto toku nad hrází	35
Koryto toku pod hrází	36
8. MOŽNOSTI VYUŽITÍ NÁDRŽE	36
8.1. SUCHÁ NÁDRŽ	36
8.2. VÍCEÚČELOVÁ NÁDRŽ	36
Bilance nádrže	37
9. TRANSFORMAČNÍ SCHOPNOSTI VODNÍHO DÍLA	39
10. NÁVRH MANIPULACE NA VODNÍM DÍLE	40
11. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA	41
12. ZÁVĚR	44
13. LITERATURA A ZDROJE INFORMACÍ	46
14. SEZNAMY	48
14.1. SEZNAM OBRÁZKŮ	48
14.2. SEZNAM GRAFŮ	48
14.3. SEZNAM TABULEK	49
15. FOTODOKUMENTACE	50
16. PŘÍLOHY	53

1. ÚVOD

Město Bílina není ohroženo jen povodní na stejnojmenném vodním toku, jak by se mohlo zdát na první pohled. Povodeň Bílině hrozí i z malého toku jménem Syčivka. Průměrný roční průtok v tomto vodním toku nedosahuje závratných hodnot, ale v případě povodně může být ohroženo historické centrum města. Aby k takové situaci nedošlo, bylo vypracováno několik návrhů na ochranu města před povodní na vodním toku Syčivka.

Návrh na stavbu suché nádrže v Žižkově údolí přišel v roce 2011. Suchá nádrž má za úkol ochránit město Bílinu před povodní na vodním toku Syčivka. Hlavní slabinou na toku je uzavřený profil, kterým Syčivka protéká ve městě. Po zahlcení tohoto profilu dojde k rozlití vody do centra města. Původní návrh nádrže podložený staršími hydrologickými daty počítal s ochranou města proti povodni s dobou opakování až 100 let.

V rámci této práce bylo provedeno vodohospodářské řešení, které je již postavené na nových hydrologických datech. V rámci variantního řešení jsou navrženy tři varianty způsobu škrcení odtoku z nádrže a čtyři varianty uspořádání funkčních objektů. Navržené varianty zahrnují i možnost využít část nádrže pro stálé nadržení. Jednotlivé varianty jsou rozpracovány tak, aby bylo možné jejich základní srovnání a následné doporučení optimálního řešení pro danou situaci z technického hlediska.

Navržené varianty jsou posouzeny nejen z hlediska stavební náročnosti, ale především z hlediska vodohospodářského, tedy jejich schopnosti zvládat průchod povodně. Simulace průchodu povodně je řešena s využitím základní diferenciální rovnice nádrže, která je řešena metodou Runge-Kutta 4. řádu.

Získaná řada N-letých průtoků je doplněna o chybějící hodnotu průtoků s dobou opakování 10 let. Chybějící hodnota je dopočítána podle tříparametrického logaritmicke-normálního rozdělení a využití metody momentů.

Práce si neklade za cíl jasně stanovit jediné řešení nastalé situace, nýbrž navrhnout spektrum možností a upozornit na jejich výhody i slabiny v různých ohledech a při použití v tomto konkrétním případě. Z navržených variant je doporučeno nejvhodnější řešení.

2. POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Profil pro stavbu vodního díla Syčivka se nachází v Žižkově údolí nad městem Bílina v Ústeckém kraji. Údolím protéká vodní tok Syčivka, někdy též Žižkův potok. Jedná se o drobný vodní tok. Celková plocha povodí k ústí do řeky Bíliny je přibližně 36 km² (1). Vodní tok pramení na jih od obce Tvrdín, která leží asi 8 km jihovýchodně od Bíliny. Nadmořská výška prameniště je okolo 400 m. n. m. Odtud teče Syčivka severozápadním směrem obcí Tvrdín dále do obce Hrobčice, kde se stéká s Mrznickým potokem, a za obcí do Syčivky ústí Mukovský potok. Oba přítoky jsou pravostranné, Mrznický potok je ve správě Povodí Ohře, s. p. a Mukovský potok je ve správě společnosti Lesy ČR, s. p.

Další přítok je až těsně nad profilem hráze. Jde o příkop odvádějící vodu z povodí části Radovesnické výsypky. Tento příkop odvádí vodu z vodní nádrže pod výsypkou. Z nádrže je do povodí Syčivky odváděn odtok pouze ze sdruženého objektu. Nádrž je dále vybavena nouzovým bezpečnostním přelivem, který odvádí vodu do řeky Bíliny přes vedlejší povodí. Maximální odtok z této nádrže směrem do povodí vodního toku Syčivka je 4,6 m³/s (1). Zbytek je odváděn bezpečnostním přelivem.

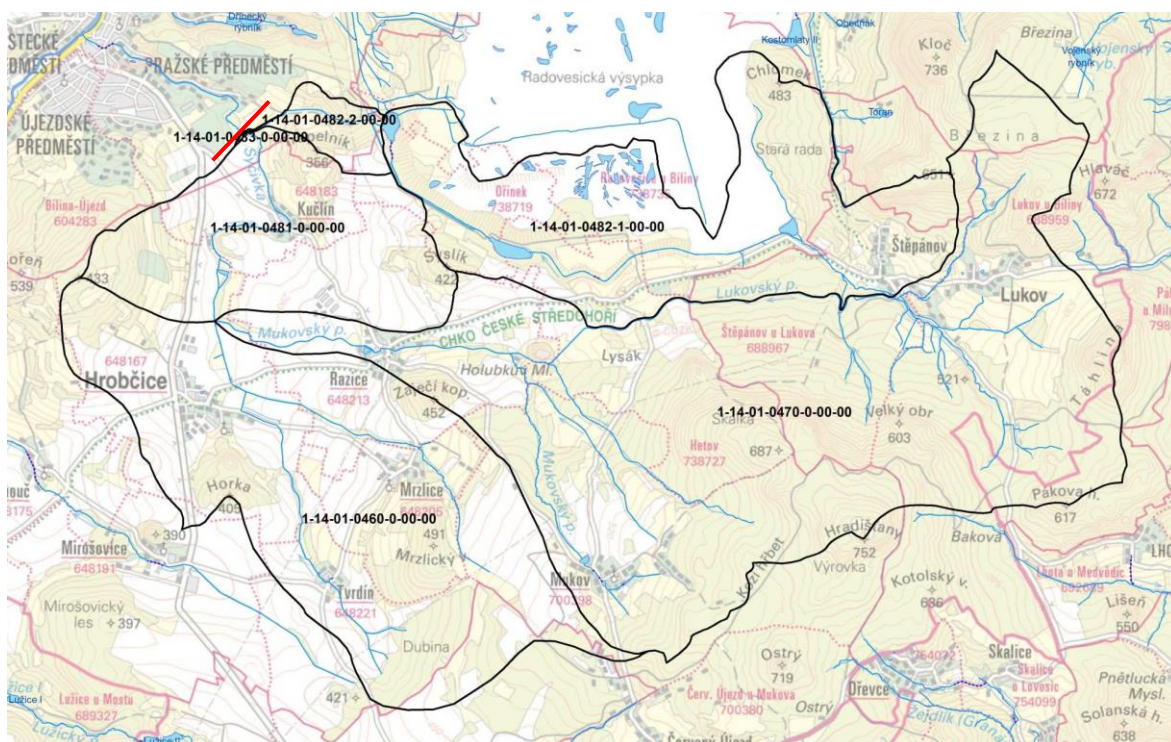
Dále do povodí Syčivky patří část povodí Lukovského potoka. Původně byl Lukovský potok zaústěn do Bíliny. Původní koryto Lukovského potoka však bylo přeloženo v důsledku navážení Radovesnické výsypky. Přeložka je vedena podél jižního kraje výsypky z nádrže u obce Štěpánov a je zaústěna do Mukovského potoka.

Radovesnická výsypka vznikla ukládáním hlušiny z blízkého povrchového dolu Bílina, dříve důl Maxim Gorkij. Výsypka vznikla v původní trase Lukovského potoka a postupně pohltila několik obcí. Mocnost výsypky je okolo 60 m, ale v extrému i 130 m (1). Ukládání zeminy na výsypce bylo ukončeno v roce 2003, od té doby zde probíhají rekultivační práce. Tyto práce mají vliv na parametry povodí v místě výsypky.

Profil pro stavbu hráze je v místě dnešního brodu polní cesty. Pod tímto profilem Syčivka pokračuje dále směrem k městu Bílina. Následujících několik stovek metrů vodního toku pod profilem je v průměrném sklonu 2,4 %, což jasně naznačuje bystřinný charakter toku. Pod plánovaným vodním dílem tok dvakrát meandruje a následně vtéká do sevřeného údolí, kde již začíná zastavěná oblast. Jedná se o Pražské předměstí města Bílina. Zástavbu v této lokalitě tvoří především zahrádkářská kolonie a rodinné domy. V této lokalitě je přes vodní tok postaveno velké množství lávek a mostků, které zajišťují přístup na soukromé pozemky, viz foto 2 - 4. Tyto konstrukce mohou v případě zvýšených

průtoků omezovat kapacitu koryta, a pokud dojde k jejich uvolnění, mohou být odneseny vodou a následně způsobit ucpání některého z dalších profilů a rozlítí vody z koryta.

Tok pokračuje dále do města, kde se sevřené údolí otevírá, na břehu toku jsou sportoviště a plavecký areál. V posledním úseku před zaústěním do řeky Bíliny teče Syčivka pod centrem města v uzavřeném profilu dlouhém přibližně 200 metrů. V tomto úseku jsou do toku zaústěny i přepady z kanalizace a svody dešťové vody. Některá zaústění jsou provedena velmi nešetrně (2). Město Bílina, ve kterém Syčivka ústí do řeky Bíliny, je nevíce ohroženo případnou povodní. Ve městě žije přibližně 17 tisíc obyvatel, případnou povodní by ale nebyli ohroženi všichni.



Obrázek 1 - povodí Syčivky podle aktuální situace na Radovesnické výsypce (1)

Tabulka 1 - Využití území v povodí

Využití území v povodí (1)	
Lesní porost	41 %
Orná půda	26 %
Zemědělské areály	17 %
Louky a pastviny	14 %

3. HYDROLOGICKÉ PODKLADY

3.1. ZÁKLADNÍ HYDROLOGICKÉ ÚDAJE

Základní hydrologické údaje poskytl Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ústí nad Labem 09/2016 v rámci hydrologické studie „Odvození teoretických povodňových vln Suchá nádrž Syčivka (Žižkovo údolí) – Syčivka“ (1).

Vodní tok: Syčivka

Profil: SN Syčivka, místo brodu polní cesty pod zaústěním bezejmenného pravostranného přítoku

Číslo hydrologického pořadí: 1-14-01-0483-0-00-00

Plocha povodí (F): 34,94 km²

Tabulka 2 - N-leté průtoky a objemy příslušných povodňových vln na toku Syčivka (1)

N - roků	1	2	5	20	50	100	1000	10 000
Q - m ³ .s ⁻¹	6,08	8,98	14,7	24,9	33,9	41,5	77,9	108,4
W- mil.m ³	0,175	0,255	0,415	0,766	1,024	1,227	1,957	2,721

Odvození objemů jednotlivých povodňových vln bylo náplní této hydrologické studie ČHMÚ (1).

Pro posouzení vlivu bezejmenného pravostranného přítoku (označeného jako příkop P2) na hydrologickou situaci v profilu nádrže byly v rámci hydrologické studie ČHMÚ (1) stanoveny parametry teoretických povodňových vln i na tomto přítoku v profilu zaústění přítoku do Syčivky.

Vodní tok: bezejmenný přítok (příkop P2)

Profil: ústí do Syčivky

Plocha povodí (F): 6,76 km²

Tabulka 3 – N-leté průtoky a objemy k nim příslušných povodňových vln na bezejmenném přítoku (příkop P2) (1)

N – roků	1	2	5	20	50	100	1000	10 000
Q – m ³ .s ⁻¹	0,555	0,819	1,34	2,15	2,90	3,54	6,14	7,20
W- mil.m ³	0,020	0,029	0,047	0,083	0,110	0,131	0,209	0,261

Další hydrologická data pro tuto práci jsou m-denní průtoky. Tato data poskytla pobočka ČHMÚ v Ústí nad Labem, kde byla objednána pouze pro účely této práce.

Vodní tok: Syčivka
 Profil: hráz plánované nádrže
 Číslo hydrologického pořadí: 1-14-01-0483
 Plocha povodí (F): 34,94 km²
 Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí (P_a): 567 mm
 Dlouhodobý průměrný průtok (Q_a): 121 l/s

Tabulka 4 - M-denní průtoky na vodním toku Syčivka (3)

M-dnů	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q _{Md} – l/s	287	197	144	117	97	81	68	57	46	35	23	17	5,8

Uvedená data spadají do IV. třídy přesnosti.

3.2. STANOVENÍ NEŠKODNÉHO ODTOKU

Pro výpočet transformace povodňové vlny v nádrži je nutné stanovit hodnotu neškodného odtoku z nádrže. Pro suchou nádrž (SN) Syčivka byla hodnota neškodného odtoku stanovena na $Q_{neš} = 16,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Stanovení této hodnoty bylo provedeno na základě Studie protipovodňových opatření v povodí toku Syčivka (2). Tato hodnota byla stanovena z důvodu omezené kapacity uzavřeného profilu toku v Bílině. Po zahlcení tohoto profilu již dochází k rozlité vody do ulic Bíliny. Pod profilem suché nádrže již není žádný významný přítok, který by musel být zohledněn pro případ sčítání povodní. Odtok z vodního díla tak bude navýšen pouze o přítok z mezipovodí o ploše 1,89 km² (1).

3.3. ZMĚNY V HYDROLOGICKÝCH PODKLADECH

Návrh SN Syčivka vychází ze Studie protipovodňových opatření (2). Návrh ve studii je podložen hydrologickými daty z roku 2011 (2). V roce 2016 byla zpracována hydrologická studie (1), která přináší nová, značně navýšená hydrologická data.

Tabulka 5 - N-leté průtoky na vodním toku Syčivka (2) v m³.s⁻¹ 2011

Profil	Povodí (km ²)	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Nad přítokem z výsypky	21,0	3,4	5,2	8,4	11,8	14,2	19,4	23,7
Ústí do Bíliny	23,8	3,9	5,8	9,4	13,0	16,0	21,8	26,7

Tabulka 6 - N-leté průtoky na vodním toku Syčivka (1) v m³.s⁻¹ 2016

Profil	Povodí (km ²)	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
Pod přítokem z výsypky	34,94	6,08	8,98	14,7	-	24,9	33,9	41,5

Ze srovnání původních a současných hydrologických podkladů v tabulce 5 a Tabulka 6 je jasné patrné, že došlo ke značnému navýšení N-letých průtoků, tím i objemů příslušných povodňových vln. Zarážející je i výrazný rozdíl v ploše povodí.

3.4. DOPOČÍTÁNÍ Q₁₀

Jak je patrné z tabulky 2, data poskytnutá ČHMÚ neobsahují průtok s hodnotu desetileté vody Q₁₀ a tedy ani hodnotu objemu příslušné povodňové vlny W₁₀. Tyto hodnoty byly v rámci této práce dopočítány, aby s nimi mohlo být dále pracováno. Hodnota průtoků Q₁₀ s dobou opakování 10 let byla dopočtena z poskytnuté řady N-letých průtoků, mimo Q₁₀.

Pro dopočítání chybějící hodnoty byl stanoven předpoklad, že řada N-letých průtoků má tříparametrické logaritmicke-normální rozdělení pravděpodobnosti (4), kde náhodná proměnná y se rovná

$$y = \ln|x - x_0| \quad (I)$$

a má normální rozdělení a náhodná proměnná x rozdělení logaritmicke-normální. Z čehož plyne, že

$$x = x_0 + e^y \quad (II)$$

Pravděpodobnosti výskytu průtoků ze známé řady N byly převedeny na hodnoty pravděpodobnosti normálního standardního rozdělení, pro účely práce označené F, podle

$$F = e^{-\frac{1}{N}}, \quad (III)$$

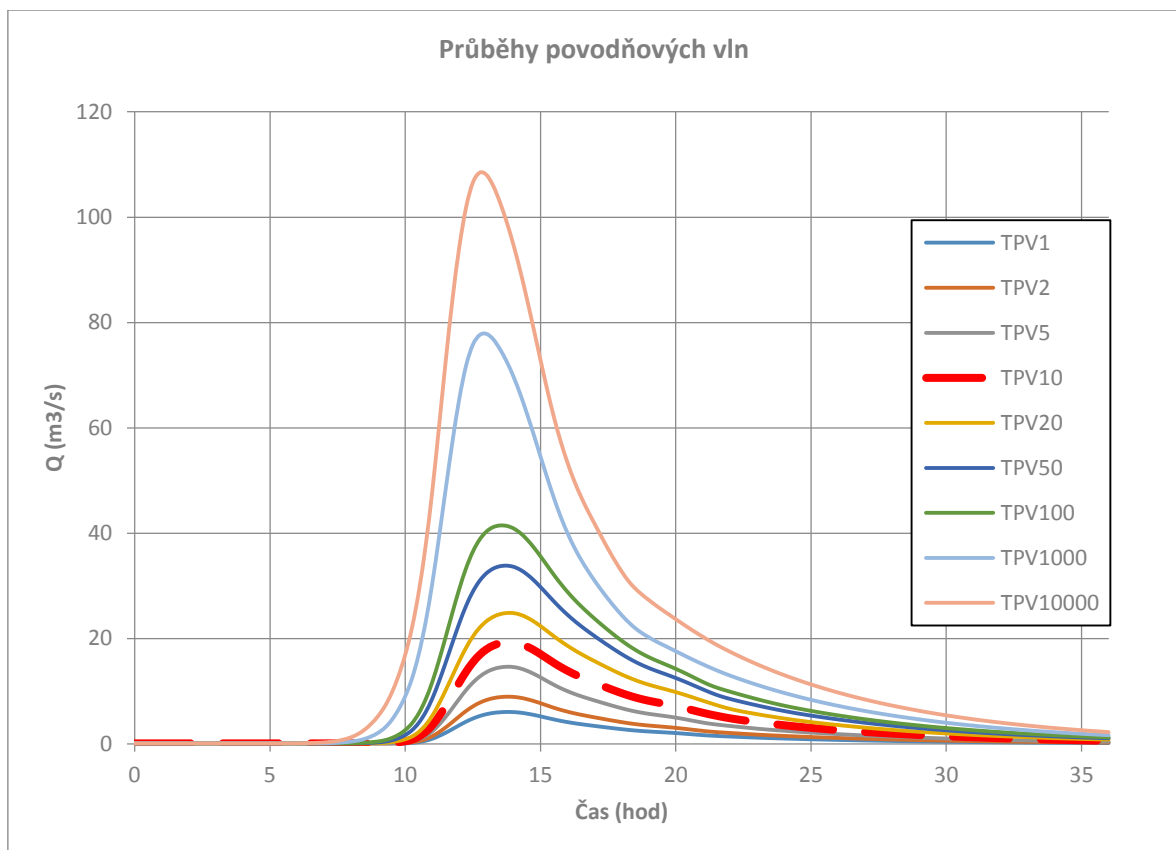
kde N je doba opakování v letech. Pro tyto pravděpodobnosti byly určeny hodnoty distribuční funkce normálního standardního rozdělení, v práci označené z, s využitím funkce NORM.INV v prostředí MS Excel.

Následně byl získán parametr x_0 dosazením do rovnice (I). Za x byly dosazeny jednotlivé známé N-leté průtoky. Parametr x_0 byl nalezen iteračním postupem tak, že hodnoty proměnné y pro jednotlivé průtoky korelují s výše zmíněnou hodnotou z . Korelační koeficient musí být co nejbližší 1. Poté byly do grafu vyneseny body, jejichž souřadnice tvořily hodnoty y a z . Body byla proložena přímkou a získán její předpis ve tvaru

$$y = a \cdot z + b \quad (IV)$$

Pro hledanou hodnotu Q_{10} byla vypočtena hodnota F , podle rovnice (III) a z ní hodnota distribuční funkce z . Po dosazení této hodnoty do rovnice (IV) získáme hodnotu proměnné y pro Q_{10} a dosazením do rovnice (II) vzniká hodnota kulminačního průtoku s dobou opakování 10 let $Q_{10} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Průběh povodňové vlny byl interpolován z průběhů ostatních povodňových vln v poměru kulminačních průtoků. Interpolace byla provedena podle kubické spline křivky s využitím doplňkové funkce Cubic_Spline pro MS Excel.



Graf 1 - Průběhy teoretických povodňových vln s dopočítaným průběhem povodňové vlny s dobou opakování 10 let

4. CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY NÁDRŽE

Hlavními charakteristikami nádrže jsou čára zatopených ploch a čára zatopených objemů. Tyto dvě navzájem závislé křivky popisují morfologii údolí a jeho kapacitu. Průběh čáry zatopených ploch se určuje zaměřením, při němž jsou v různých výškových úrovních vodorovně umístěny roviny. V místě jejich průniku s terénem a návodním lícem hráze vzniká hranice zatopené plochy. Křivka zatopených ploch byla převzata jako podklad od společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. (5) Převzatá křivka byla vytvořena v programovém prostředí GIS na podkladu digitálního modelu reliéfu DMR 5G s výškovým krokem 0,1 m mezi jednotlivými rovinami.

Vzhledem k nejasnému tvaru hráze, viz kap. 5, byly roviny namísto protnutí s návodním lícem hráze ukončeny až protnutím s imaginární stěnou umístěnou v ose hráze. Z jednotlivých zatopených ploch byl následně vypočten příslušný zatopený objem mezi jednotlivými úrovněmi hladin a to metodou průměrné mezilehlé plochy.

$$V_i = V_{i-1} + \left[(h_i - h_{i-1}) * \frac{A_i + A_{i-1}}{2} \right],$$

kde

V_i je objem při hladině h_i
 h_i je úroveň (hladiny) vrstvy i
 A_i je zatopená plocha vrstvy i
 $i-1$ níže položená vrstva

Od těchto hodnot byly následně odečteny objemy příslušného typu hráze podle návrhu. Plochy tělesa hráze, tedy části mezi vertikální rovinou osy tělesa a návodním lícem, byly odečteny v programovém prostředí AutoCAD Civil 3D, kde byl vytvořen model tělesa hráze na modelu terénu vytvořeném z podkladu DMR 5G. Zaměření digitálního modelu reliéfu bylo převzato v rámci podkladů od společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. (5).

Tabulka 7 - Výsledné zatopené plochy a objemy

Výška [m n. m.]	Plocha [m ²]	Objem [tis. m ³]	Výška [m n. m.]	Plocha [m ²]	Objem [tis. m ³]
231.0	165	0,025	237.0	16262	57,5
231.5	395	0,074	237.5	18081	70,5
232.0	1251	0,288	238.0	20577	85,0
232.5	1878	0,790	238.5	22637	101,2
233.0	2156	2,16	239.0	24650	118,9
233.5	5753	4,76	239.5	26536	137,9
234.0	7543	8,76	240.0	28700	158,4
234.5	8417	13,9	240.5	31241	180,3
235.0	9808	20,0	241.0	33877	203,8
235.5	11113	27,4	241.5	36712	229,0
236.0	12391	36,1	242.0	56230	255,8

5. NÁVRH HRÁZE

Volba profilu hráze vychází ze studie protipovodňových opatření (2). Samotná hráz se předpokládá zemní. Přesný tvar zemní hráze se odvíjí především od použitého materiálu a způsobu těsnění. Dostupnost vhodných zemin pro stavbu hráze odhalí inženýrsko-geologický průzkum v místě stavby.

Pro konstrukci hráze se nabízí tři hlavní konstrukční typy vhodné pro tuto stavbu. Všechny vycházejí z předpokladu použití místního materiálu. Vzhledem k potřebným kubaturám by dovážení materiálu pro sypání hráze z větší vzdálenosti značně navýšilo finanční náklady na stavbu.

V případě, že v zátopě nádrže bude nalezeno dostatečné množství zemin pro stavbu homogenní hráze, jevila by se tato varianta jako nejvhodnější. Pro stavbu homogenní hráze z místních zemin by nebylo nutné dovážet další materiál, například zeminu pro těsnění. Zároveň je sypání homogenní hráze z hlediska provádění jednodušší, než sypání hráze složené z více částí. Další výhodou této varianty by bylo, že veškerý materiál vytěžený v zátopě nádrže by dále zvětšoval objem nádrže, a tím zvětšoval potenciál vodního díla pro transformaci povodňové vlny.

Pokud inženýrsko-geologický průzkum přinese výsledky, že v prostoru zátopy není dostatek vhodných zemin pro stavbu homogenní hráze, nabízí se možnost postavit hráz jako nehomogenní. Zemní nehomogenní hráz se skládá ze stabilizační části a těsnící části. Stabilizační část zajišťuje tížný účinek hráze, obecně nemusí plnit žádné zvláštní

požadavky a tvoří ji propustné materiály. Těsnicí část nehomogenní hráze může být tvořena zemním těsněním z vhodných zemin. Použití zemního těsnění by bylo vhodné v případě, že by inženýrsko-geologický průzkum odhalil v zátopě zeminy vhodné pro těsnění v dostatečném množství nebo by bylo možné tyto zeminy dovézt z velmi blízkého zemníku. Množství zeminy nutné pro konstrukci zemního těsnění je samozřejmě mnohem menší než množství zeminy potřebné pro stavbu homogenní hráze.

Třetí možností konstrukce hráze je vyžití nezemního těsnění. V tomto případě by hráz byla opět tvořena zemní stabilizační částí z dostupných materiálů. V případě nezemního těsnění hrází je možný výběr z několika materiálů, přičemž mezi nejpoužívanější patří beton, asfaltobeton a izolační geomembrány. Další způsob dělení nehomogenních hrází je podle způsobu umístění těsnicí části v tělese hráze. Těsnění může být umístěno na návodním líci hráze nebo uvnitř tělesa hráze. S ohledem na účel vodního díla, se jako vhodnější jeví umístění těsnění na návodním líci hráze. V tomto případě se nebude stabilizační část hráze sytit vodou při plnění nádrže. To se stává velkou výhodou především v okamžiku, když dojde k rychlému poklesu hladiny v nádrži. Vzhledem k budoucímu využití nádrže, kdy návodní líc hráze bude po většinu doby provozu vodního díla odkrytý celý nebo alespoň z velké části, se použití betonu nebo asfaltobetonu nejeví jako příliš šetrné z hlediska estetického ani z hlediska zasazení stavby do krajiny. Z těchto hledisek se jako nejvhodnější jeví použití návodního těsnění z geomembrány s přitížením, které bude působit mnohem estetičtější dojem a zároveň bude chránit těsnění před nepříznivými povětrnostními vlivy a mechanickým poškozením.

Jelikož v době tvorby této práce nebyl inženýrsko-geologický průzkum dokončený, není možné jasně zvolit nejvhodnější variantu a stanovit přesné návrhové parametry tělesa hráze, jako například sklon svahů, atd. Pro účely výpočtů, ve kterých bylo nutné znát parametry hráze, viz kap. 4, byla zvolena hráz se sklonem návodního líce 1:3,4 vzdušního líce 1:2,2 a šířkou v koruně 4 m.

6. USPOŘÁDÁNÍ OBJEKTŮ

Pro dispoziční řešení funkčních objektů většinou existuje více možných variant řešení. V případě SN Sycivka se počáteční návrh ubíral dvěma směry. První možností je navrhnout spodní výpusti a bezpečnostní přeliv jako dva separátní objekty. Objekt spodních výpustí je umístěn v návodním líci hráze a boční bezpečnostní přeliv v levém zavázání hráze. Tento model není nikterak neobvyklý a podobným způsobem je řešeno

více vodních děl v republice. Druhou možností je umístit vše do jediného sdruženého objektu, od kterého vede pod hrází odpadní chodba.

Oba způsoby jsou technicky proveditelné a běžně používané. Oba mají své výhody i nevýhody, proto není možné hned na začátku jasně rozhodnout, který způsob je lepší. Oba základní způsoby jsou níže rozpracovány do takové podrobnosti, aby bylo možné jejich základní porovnání a následně doporučení optimálního řešení.

6.1. SEPARÁTNÍ UMÍSTĚNÍ PŘELIVU A VÝPUSTÍ

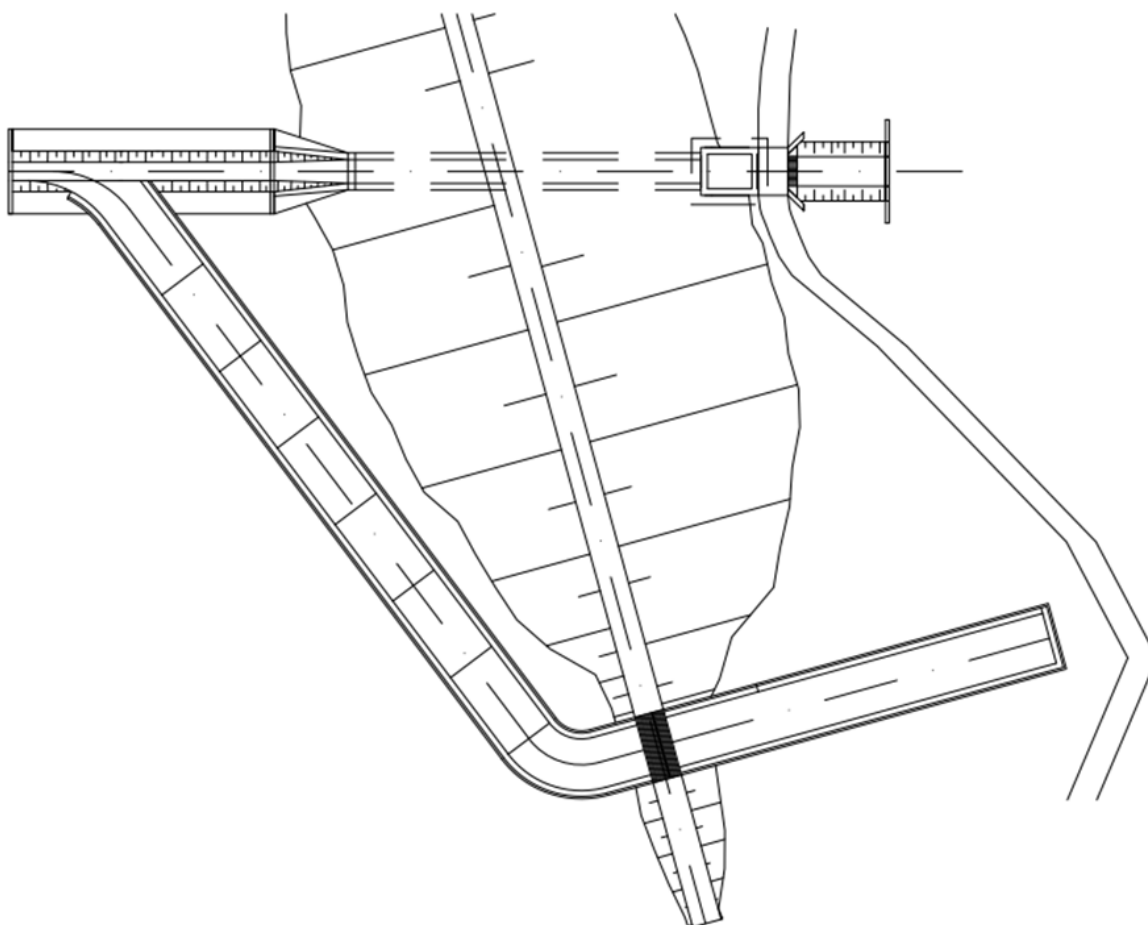
Varianta 1 - Boční bezpečnostní přeliv

V této variantě je uvažován boční bezpečnostní přeliv v místě levého zavázání hráze. Na přeliv následně navazuje kaskádovitý skluz. Délka hrany bezpečnostního přelivu je 40 m. Odpadní koryto bezpečnostního přelivu je široké 7 m a hluboké 3,2 m, podélný sklon je pak 1,5 %. Stěny bezpečnostního přelivu jsou v horní části široké 0,8 m a směrem k patě se rozšiřují ve sklonu 1:10. Dno je tvořeno betonovou deskou o tloušťce 1 m. Stejně rozměry příčného profilu má i skluz, který je dlouhý 91 m a je tvořen 7 stupni o výšce 1,5 m. Vzdálenost mezi jednotlivými stupni je 13 m. V místě křížení skluzu s korunou hráze je navržen mostní objekt, který má zajistit průchod z jednoho břehu na druhý i v případě, že přes bezpečnostní přeliv přepadá voda.

Odtok z nádrže zajišťuje dvojice spodních výpustí DN1200, každá se dvěma provozními uzávěry. Revizní uzávěr je řešen hradící deskou osazenou z vnější strany objektu. Objekt spodních výpustí je umístěn v návodním líci tělesa hráze a s korunou hráze je spojen ocelovou lávkou. Betonový objekt je dlouhý 6,5 m a široký 7,8 m a je vysoký 11 m, stěny objektu jsou silné 0,9 m. Stavba stojí na betonové základové desce s rozměry 9 x 9 m a tloušťce 1,5 m. Před nátokem spodních výpustí je umístěna přeložka místní komunikace a česlová stěna. V horní části je přístupový otvor krytý ocelovým uzamykatelným poklopem. Na objekt spodní výpusti navazuje odpadní chodba široká 3,2 m a vysoká 2 m. Podélný sklon odpadní chodby je 2 %, což zajišťuje bystřinné proudění v celé délce chodby při všech průtocích. Chodba je navržena pro odvádění vody pouze v režimu proudění s volnou hladinou. Přeložka komunikace je vedena po přemostění z prefabrikovaných betonových rámců.

Tato varianta byla shledána nevhodnou z několika důvodů. Zásadním důvodem je její konstrukční náročnost, jelikož pro bezpečností přeliv i spodní výpust je nutné budovat

samostatný stavební objekt. Pro boční přeliv je dále nutné vybudovat samostatný skluz, který je taktéž objemnou stavební konstrukcí. Toto řešení dále vyžaduje vybudování mostního objektu nad skluzem.



Obrázek 2 - Nákres varianty 1

6.2. SDRUŽENÝ OBJEKT

Sdružený objekt v sobě zahrnuje dva základní funkční objekty, kterými jsou spodní výpust, případně výpusti, a bezpečnostní přeliv. Existuje nepřeborné množství variant uspořádání sruženého objektu, v rámci této práce byla uvažována 3 možná uspořádání, která byla následně rozpracována do podrobnosti nutné pro jejich základní posouzení.

Pro detailní návrh, především prostoru spadiště a navázání na odpadní chodbu, by bylo vhodné ověření funkčnosti celého objektu na fyzikálním modelu a také zvážit případnou instalaci clony do prostoru mezi spadištěm a odpadní chodbou.

Varianta 2 – Sdružený objekt s obloukovou přelivnou hranou

V této variantě jsou bezpečnostní přeliv i spodní výpust umístěny v jediném, sdruženém objektu, který je umístěn v návodním líci hráze. Hrana bezpečnostní přelivu s délkou 40 metrů tvoří kružnicový oblouk o poloměru 10,7 m. Stěna bezpečnostní přelivu je vysoká 9 metrů a široká 0,9 m. V čele sdruženého objektu je přelivná hrana přerušena v délce 2 m, kde je zeď sdruženého objektu převýšena o 2 metry oproti přelivné hraně bezpečnostního přelivu, tedy do stejné výšky jako je koruna hráze. Účelem tohoto převýšení konstrukce je podpírat ocelovou lávku. Ve stejném místě, ale u paty zdi, je umístěn škrticí otvor, který slouží jako spodní výpust. Otvor je 2 metry široký a 1 metr vysoký. Po obvodu otvoru je hrana zaoblená, aby docházelo k vhodnějšímu natékání do otvoru. Otvoru předchází koryto vodního toku v nádrži, které má stejnou šířku jako otvor. Před škrticím otvorem je umístěna přeložka místní komunikace a česlová stěna. Přeložka komunikace je vedena po přemostění z prefabrikovaných betonových rámců. Dno spadiště je v podélném směru vyspádováno ve sklonu 2 %. V příčném směru je dno ve sklonu 2 %.

Objekt je umístěn na základové desce o tloušťce 1,2 m, která je oproti objektu rozšířena o 2,5 m. Takto mohutná konstrukce je nutná zejména z důvodu zajištění stavby proti působení vztlaku.

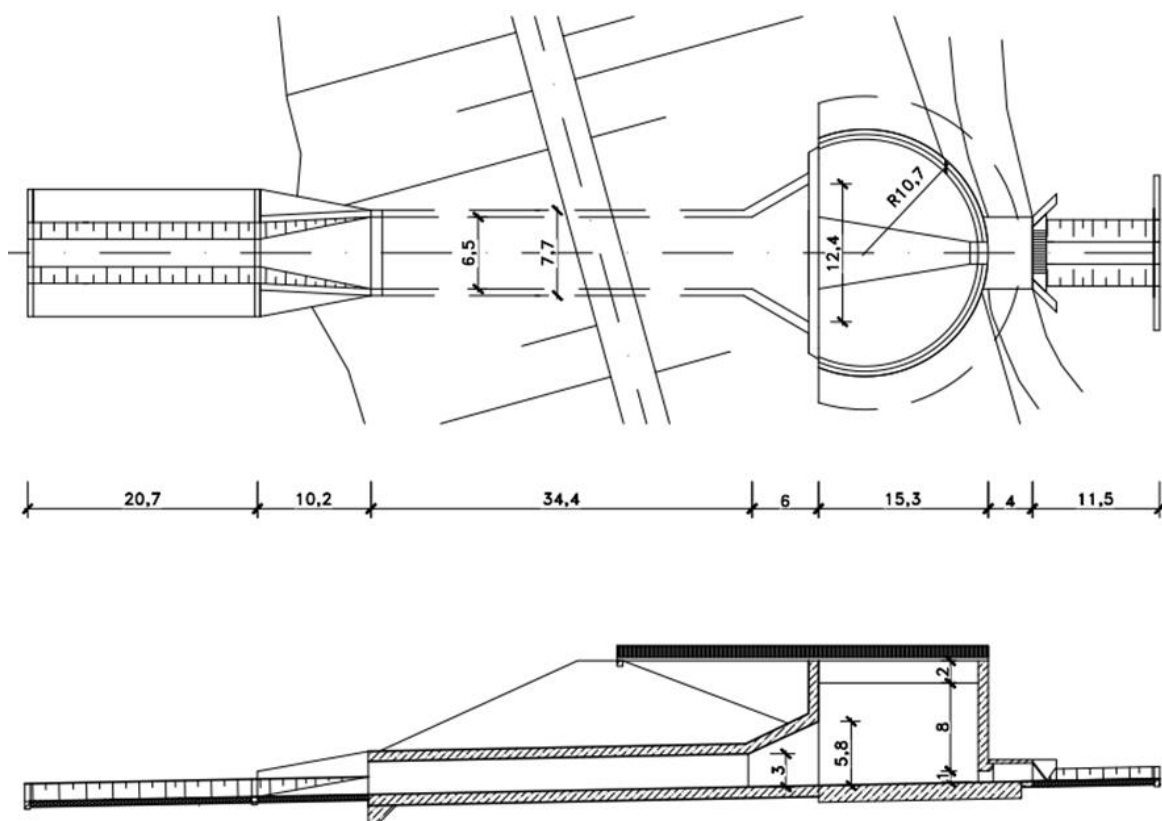
Nad spadištěm je umístěna ocelová lávka, která je podepřena ve 3 bodech – na koruně hráze, na zdi u konce spadiště a v převýšení zdi v čele objektu nad škrticím otvorem.

Na spadiště navazuje odpadní chodba, která je široká 6,5 m a vysoká 3,0 m s podélným sklonem 2 %. Chodba začíná přechodovým úsekem dlouhým 6 metrů, který je rozšířený o 3,5 m na každou stranu a o 2,5 m do výšky. Podélný sklon odpadní chodby jsou 2 %, což zajišťuje bystřinné proudění v celé délce chodby při všech průtocích. Chodba je navržena pro odvádění vody pouze v režimu proudění s volnou hladinou.

Velkou výhodou tohoto řešení je minimální nárok na přítomnost obsluhy a absence jakýchkoliv pohyblivých částí v rámci funkčních objektů díla. Toto řešení je však použitelné pouze pro využití nádrže jako suché nádrže, protože spodní výpust není vybavena uzávěry. Dodatečná instalace těchto zařízení by si vyžádala další stavební úpravy a to nejen při instalaci uzávěrů samotných. Další stavební práce by byly potřebné k řešení objektu spodních výpustí, který by umožňoval dostatečný přístup k uzávěrům a

bezproblémovou manipulaci s nimi. Ač stavba tvoří výrazný prvek v krajině, oblý tvar konstrukce působí přirozenějším dojmem, než použití ostrých hran.

Klenutý tvar ale způsobuje, že konstrukce má značný objem a tím pádem je náchylná k ohrožení vztlakem. Opatřením proti působení vztlaku je, že je konstrukce navržena na masivnější základové desce se značným přesahem. Takové opatření navyšuje potřebný objem betonu pro stavbu a celkově zvyšuje náklady stavby. Další nákladnou částí stavby je ocelová lávka, se vzdáleností podpor přesahující 15 m. Lávka bude využita hlavně během zkušebního plnění nádrže, kdy bude škrticí otvor dočasně zahrazený, a lávka bude sloužit k přístupu k tomuto hrazení. Po zkušebním plnění již nebude nutné škrticí otvor hradit a lávka bude sloužit pouze k vizuální kontrole stavby.



Obrázek 3 - Nákres varianty 2

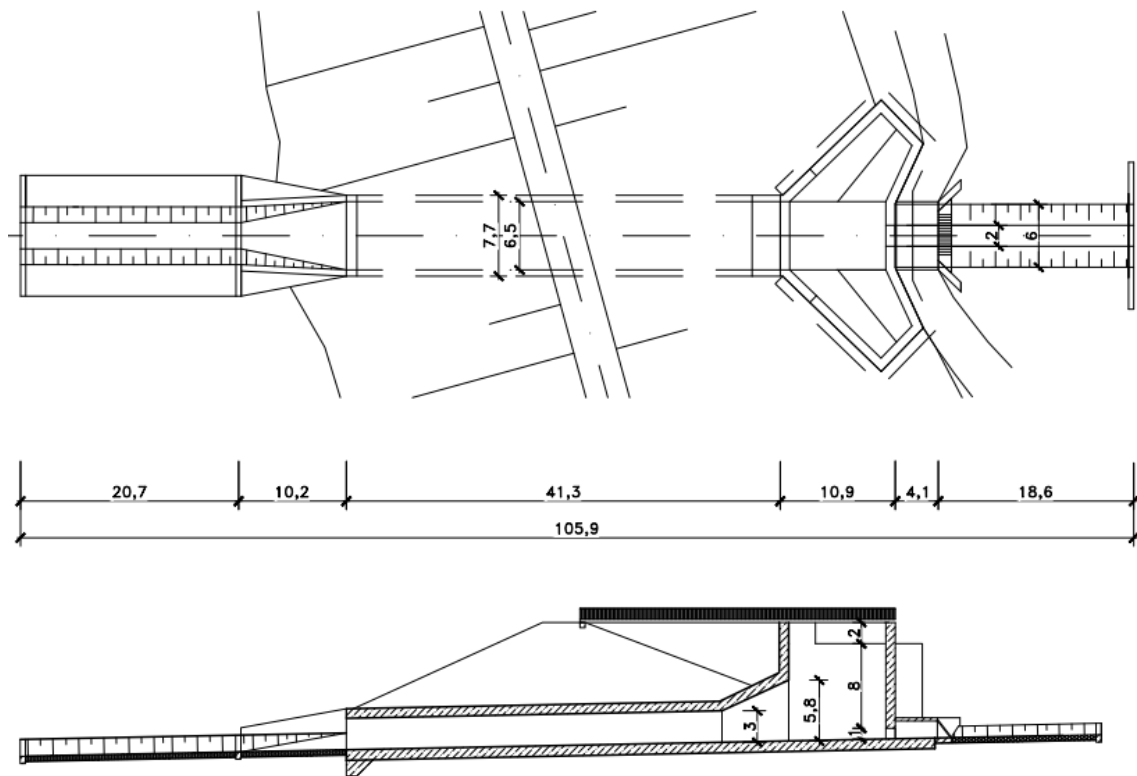
Varianta 3 – Sdružený objekt se zalomenou přelivnou hranou

Varianta 3 řeší sdružený objekt, který zahrnuje šachtu pro umístění dvojice spodních výpustí DN 1200 a bezpečnostní přeliv se spadištěm. Odtok zajišťuje dvojice spodních výpustí DN 1200, každá se dvěma provozními uzávěry. Revizní uzávěr je řešen hrací deskou osazenou z vnější strany objektu. Šachta pro umístění spodních výpustí je vysoká 11 metrů, půdorysný rozměr je 7,8 x 6,5 m a šířka stěn je 0,9 m. Výsledný vnitřní prostor má rozměry 6,0 x 4,7 m. Před objektem je umístěna česlová stěna a v případě suché nádrže i přeložka místní komunikace. Přeložka komunikace je vedena po přemostění z prefabrikovaných betonových rámu, v případě víceúčelové nádrže je komunikace vedena po hrázi. Napojení koryta Syčivky na sdružený objekt zlepšují nátoková křídla o délce 3 m a tloušťce stěn 0,6 m. Křídla jsou vysoká 2 metry. Celý objekt je navržen se základovou deskou tloušťky 1 metr, která je na všech stranách rozšířena o 1 metr.

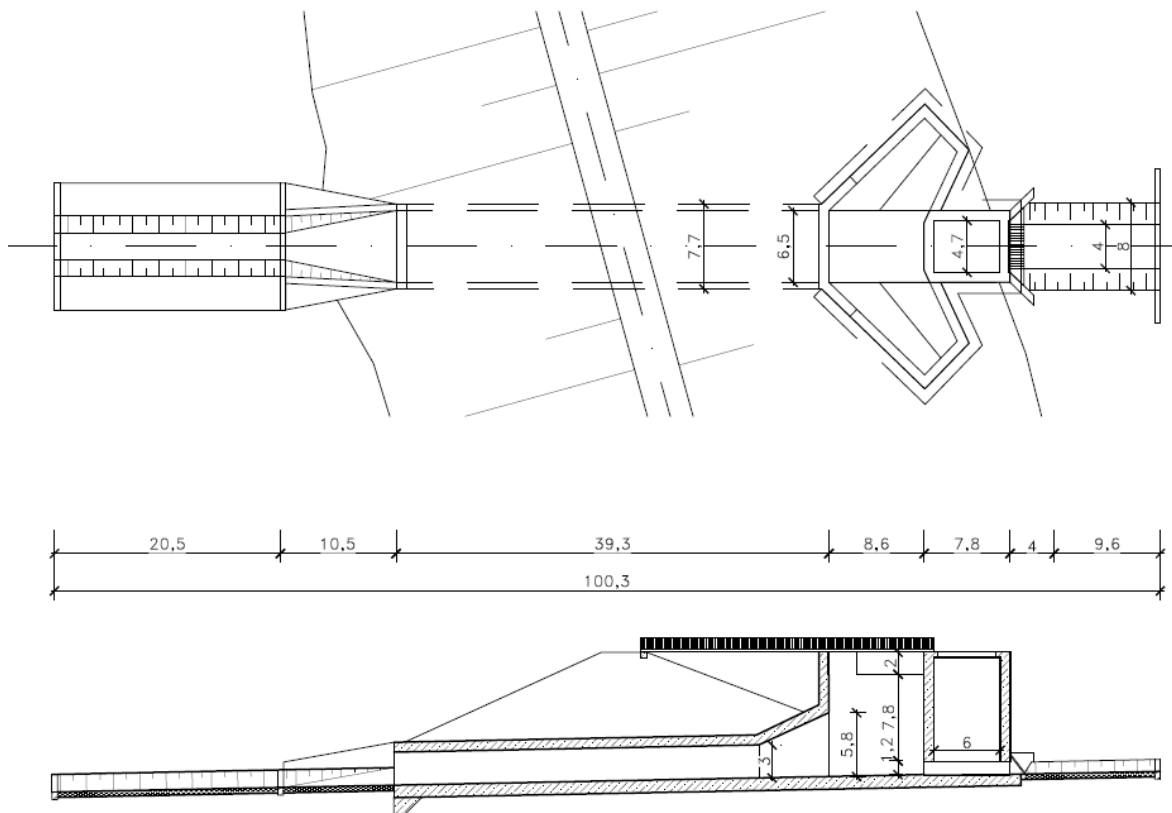
Bezpečností přeliv je rozdělen do dvou symetricky umístěných polí. Každá z přelivných hran má délku 20 m a je dvakrát zalomená. Zeď bezpečnostního přelivu je vysoká 9 metrů nad základem a přelivná hrana je na kótě 240 m n. m. Dno spadiště je vyspádováno ve sklonu 2 %, který zajišťuje především odvádění nízkých průtoků.

Přístup k šachtě spodních výpustí z koruny hráze zajišťuje ocelová lávka se zábradlím, která je podepřena ve 3 bodech – na koruně hráze, na zdi u konce spadiště a u šachty spodních výpustí. Vstup na lávku bude uzavřen, aby nedocházelo k volnému vstupu nepovolaných osob. Na spadiště navazuje odpadní chodba, která je široká 6,5 m a vysoká 3,2 m s podélným sklonem 2 %. Chodba začíná přechodovým úsekem dlouhým 6 metrů, který je rozšířený o 2,5 m do výšky. Podélný sklon odpadní chodby jsou 2 %, což zajišťuje bystřinné proudění v celé délce chodby při všech průtocích. Chodba je navržena pro odvádění vody pouze v režimu proudění s volnou hladinou.

Toto řešení je určeno pro využití nádrže jako víceúčelové, kdy je potřeba, aby spodní výpust byla opatřena uzávěrem. Zalomení přelivné hrany zajišťuje kompaktnost celé stavby. Oproti předchozím variantám je pro realizaci nutné menší množství betonu a stavba lépe odolává působení vztlaku. Další výhodou tohoto návrhu je i nepřiliš náročná úprava pro řešení se suchou nádrží. Kompozice sdruženého objektu je řešena tak, aby bylo možné namísto šachty s uzávěry spodních výpustí umístit pouze stěnu se škrticím otvorem, jako je tomu u varianty 2.



Obrázek 4 - Nákres varianty 3 pro suchou nádrž



Obrázek 5 - Nákres varianty 3 pro víceúčelovou nádrž

Varianta 4 – Sdružený objekt s kombinovanou přelivnou hranou

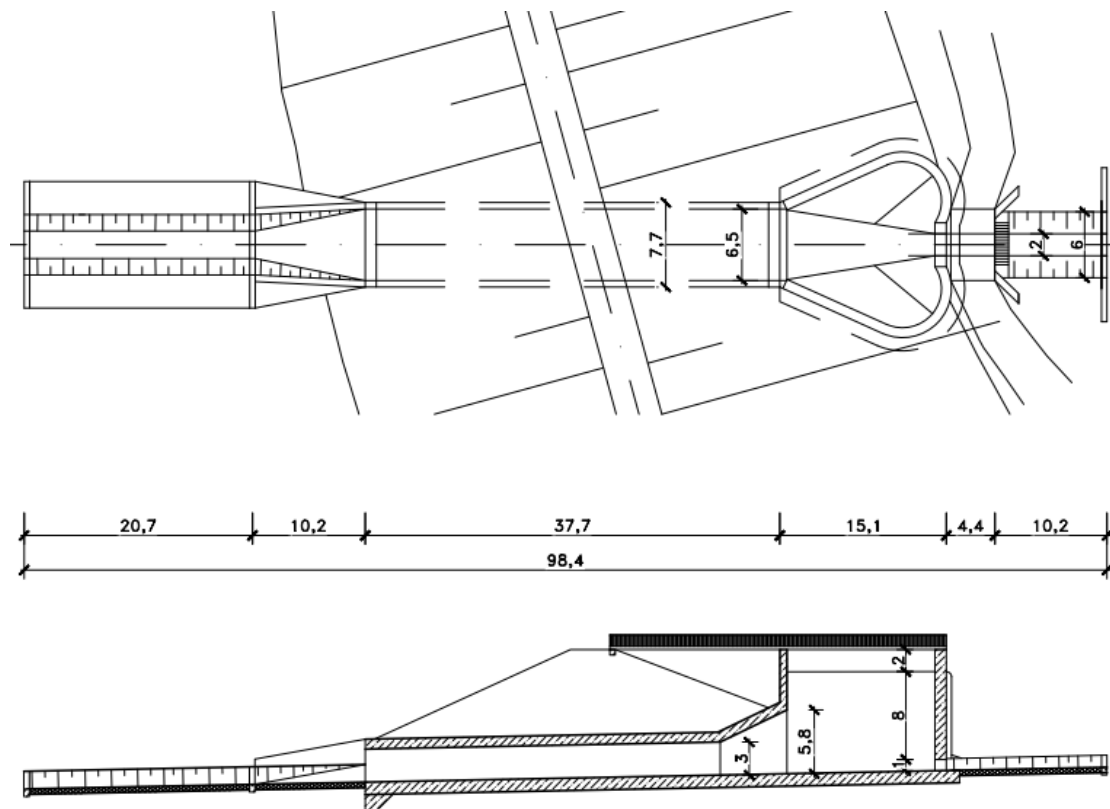
V poslední variantě je opět navržen sdružený objekt, jehož návrh je ovlivněn především tvarem přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Sdružený objekt, stejně jako u varianty 3, zahrnuje šachtu pro umístění dvojice spodních výpustí DN 1200 a bezpečnostní přeliv se spadištěm. Odtok zajišťuje dvojice spodních výpustí DN 1200, každá se dvěma provozními uzávěry. Revizní uzávěr je řešen hradící deskou osazenou z vnější strany objektu. Šachta pro umístění spodních výpustí je vysoká 11 metrů, půdorysný rozměr je 7,8 x 6,5 m a šířka stěn je 0,9 m. Výsledný vnitřní prostor má rozměry 6,0 x 4,7 m. Před objektem je umístěna česlová stěna a v případě suché nádrže i přeložka místní komunikace. Přeložka komunikace je vedena po přemostění z prefabrikovaných betonových rámců, v případě víceúčelové nádrže je komunikace vedena po hrázi. Napojení koryta Syčivky k nátoku zlepšují nátoková křídla o délce 3 m a tloušťce stěn 0,6 m. Křídla jsou vysoká 2 metry. Celý objekt je navržen se základovou deskou tloušťky 1 m, která je na všech stranách rozšířena o 1 m.

Bezpečností přeliv tvoří dvě symetricky umístěné přelivné hrany. Každá z přelivných hran má délku 20 m a je složena z přímé části o délce 10,9 m a obloukové části o poloměru 4 m a délce 9,1 m. Zeď bezpečnostního přelivu je vysoká 9 metrů nad základem a přelivná hrana je na kótě 240 m n. m. Dno spadiště je vyspádováno ve sklonu 2 %, který zajišťuje především odvádění nízkých průtoků.

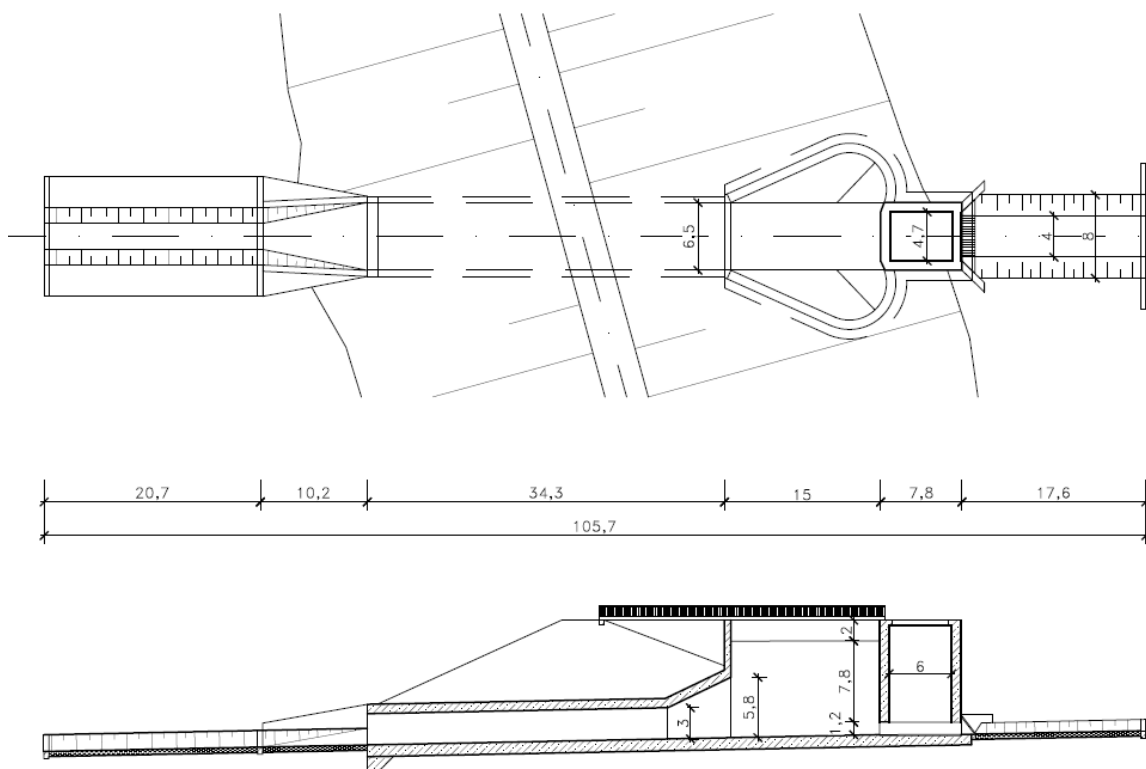
Přístup k šachtě spodních výpustí z koruny hráze zajišťuje ocelová lávka se zábradlím, která je podepřena ve 3 bodech – na koruně hráze, na zdi u konce spadiště a u šachty spodních výpustí. Vstup na lávku bude uzavřen, aby nedocházelo k volnému vstupu nepovolaných osob. Na spadiště navazuje odpadní chodba, která je široká 6,5 m a vysoká 3,2 m s podélným sklonem 2 %. Chodba začíná přechodovým úsekem dlouhým 6 metrů, který je rozšířen o 2,5 m do výšky. Podélný sklon odpadní chodby jsou 2 %, což zajišťuje bystřinné proudění v celé délce chodby při všech průtocích. Chodba je navržena pro odvádění vody pouze v režimu proudění s volnou hladinou.

Toto řešení, stejně jako varianta 3, je určené pro využití nádrže jako víceúčelové, kdy je potřeba, aby spodní výpust byla opatřena uzávěrem. Přelivná hrana je tvarovaná s ohledem na minimalizaci celkového objemu stavby, tím dojde nejen k úspoře materiálu, ale i snížení zatížení vztlakem. Další výhodou tohoto návrhu je i nepřiliš náročná úprava pro řešení se suchou nádrží. Kompozice sdruženého objektu je řešena tak, aby bylo možné

namísto šachty s uzávěry spodních výpustí umístit stěnu se škrticím otvorem, jako je tomu u varianty 1. Při této úpravě musí být současně upravena i základová deska, aby se předešlo poškození konstrukce působením vztlaku. Tloušťka desky musí být zvýšena na 1,2 m a rozšíření desky musí být zvětšeno také na 1,2 m.



Obrázek 6 - Nákres varianty 4 pro suchou nádrž



Obrázek 7 - Nákres varianty 4 pro víceúčelovou nádrž

6.3. SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

Výhody a nevýhody jednotlivých variant jsou naznačeny u jejich popisu výše, proto budou už jen doplněny o orientační výpis prací v tabulce 8.

Výpis prací potvrzuje, že varianty 1 a 2 jsou prostorově a stavebně nejnáročnější. Varianta 1 je dokonce násobně stavebně náročnější. Proto nejsou tyto dvě varianty doporučovány. Varianty 3 a 4 mají velmi podobné parametry, jak co do prostorových požadavků, tak co do stavební náročnosti.

Ze dvou doporučovaných variant vychází nepatrně lépe varianta 4, která obnáší nejmenší část betonářských prací a z estetického hlediska by v krajině působila patrně lépe. Pokud by se nenašel přesvědčivý důvod pro stavbu víceúčelové nádrže, je samozřejmě nejefektivnější tuto variantu postavit pouze se škrticím otvorem.

Tabulka 8 - Přibližné objemy prací pro jednotlivé varianty

Varianta	Násyp	Výkop	Betonové konstrukce	Sejmutí ornice	Lávka	Most	Ohumusování a osetí hráze	Bednění	Návodní těsnění	Uzávěr SV	Prefa rámy	Česlová stěna
	m ³	m ³	m ³	m ³	m	m ²	m ²	m ²	m ²	ks	m	m ²
Varianta 1 - separátní objekty	35618	10564	3045	1511	27	36	7223	4812	3082	4	4	8
Varianta 2 - kruhový oblouk	42354	11160	1200	1332	32	0	7223	2140	0	0	4	8
Varianta 3 - lomená hrana, suchá n.	42354	10756	845	1332	23	0	7223	2444	0	0	4,1	8
Varianta 3 - lomená hrana, víceúčelová n.	35618	9102	1197	1155	23	0	7223	3058	3082	4	4	8
Varianta 4 - kombinovaná hrana, suchá n.	42354	10732	732	1332	27	0	7223	2199	0	0	4,4	8
Varianta 4 - kombinovaná hrana, víceúčelová n.	35618	9055	1073	1155	27	0	7223	2925	3082	4	4	8

7. NÁVRH FUNKČNÍCH OBJEKTŮ

Funkční objekty obecně zajišťují plnění funkcí vodního díla a vše s tím spojené, tedy i vyprazdňování nádrže, převádění a regulaci průtoků, atd. Tyto objekty patří mezi ty funkčně a konstrukčně náročnější, což je dáno požadavky na spolehlivost především v nepříznivých situacích, kterými povodně bezpochyby jsou.

7.1. SPODNÍ VÝPUSŤ

Spodní výpusť na vodním díle slouží především k převádění běžných průtoků a vypouštění nádrže. Při návrhu spodních výpustí byl rozhodujícím parametrem jejich průtok v momentě, kdy hladina dosahuje výšky bezpečnostního přelivu. Spodní výpusti byly navrhovány tak, aby nejpozději v tomto momentě byly schopné vypouštět průtok o hodnotě rovnající se $Q_{neš}$ a zároveň jej nepřekročit.

Pro vodní dílo Syčivka byla uvažována jak spodní výpusť nehrazená v případě suché nádrže, tak hrazená spodní výpusť v případě víceúčelové nádrže.

Nehrazená

V tomto případě tvoří výpustné zařízení vodního díla obdélníkový otvor ve sdruženém objektu u dna nádrže. Otvor o výšce 1 m a šířce 2 m je navržen tak, aby škrtil odtok z nádrže v případě povodně. Otvor bude škrtil odtok na hodnotu $< 16,0 \text{ m}^3/\text{s}$, této hodnoty bude dosaženo při nastoupaní hladiny v nádrži na kótu 240 m n. m. B. p. v., což je kóta přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Po překročení této hladiny dojde k přepadu přes bezpečnostní přeliv a odtok z nádrže přesáhne hodnotu neškodného odtoku $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Jelikož se přepadající voda z bezpečnostního přelivu i voda ze škrticího otvoru setkávají ve spadišti, dojde u škrticího otvoru ke značnému ovlivnění spodní vodou.

Škrticí otvor byl navržen tak, aby při hladině v nádrži na úrovni hrany bezpečnostního přelivu, tj. 240 m n. m., dosahovala jeho kapacita neškodného odtoku z nádrže $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hydraulický výpočet byl rozdělen do dvou částí. Do okamžiku než dojde k zahlcení otvoru, je stanoven předpoklad, že otvor navazuje na koryto v prostoru nádrže a výpočet je řešen Chézyho rovnicí:

$$Q = S \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

kde:

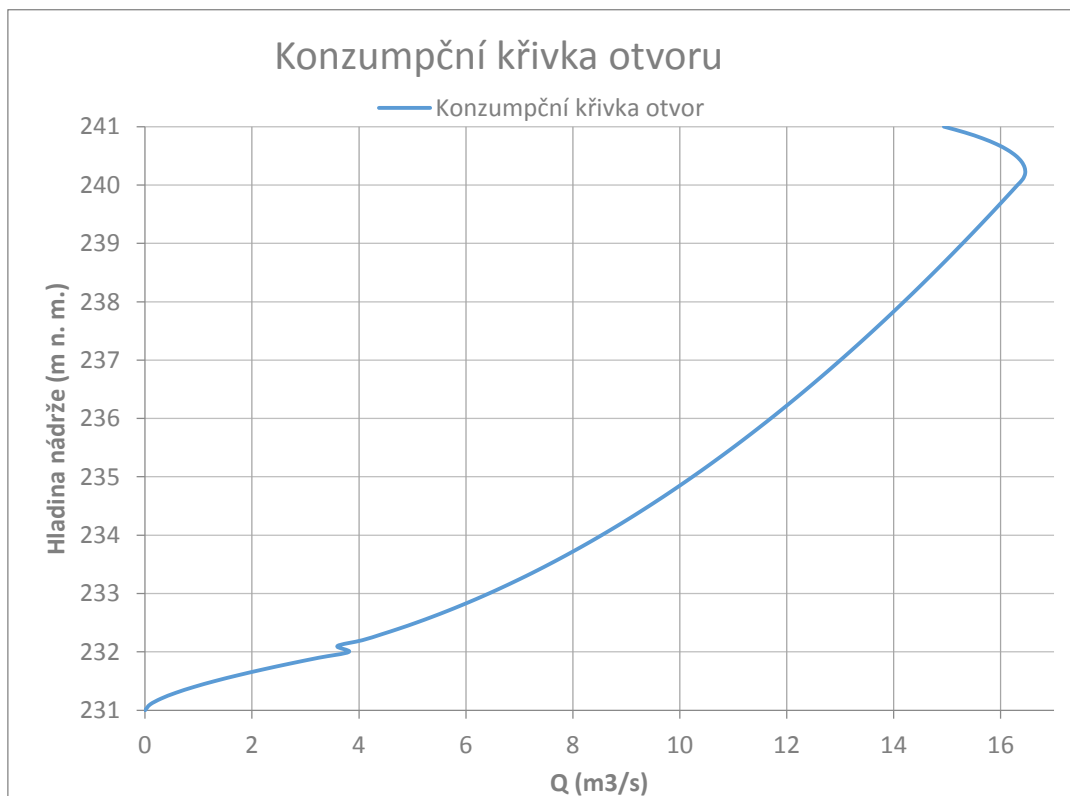
- Q... průtok korytem
- S... průtočná plocha
- C... rychlostní součinitel ($C = 1/n \cdot R^{1/6}$)
- R... hydraulický poloměr
- i... sklon koryta

Po zahlcení otvoru je výpočet řešen rovnicí pro částečně zatopený výtok otvorem. Jako okrajová podmínka pro zatopení dolní vodou byla použita výška hladiny rovnoměrného proudění v odpadní chodbě.

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_v \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot \left(H^{\frac{3}{2}} - z_1^{\frac{3}{2}} \right) + \mu_v \cdot b \cdot (z_2 - H) \cdot \sqrt{2gH}$$

kde:

- Q... výtok z otvoru
- μ_v ... výtokový součinitel (0,65)
- H... výškový rozdíl horní a dolní hladiny
- z_1 ... výška horní hladiny nad horní hranou otvoru
- z_2 ... výška horní hladiny nad dolní hranou otvoru



Graf 2 - Konzumpční křivka nehrazeného škrťacího otvoru

Z výše uvedených výpočtů lze konstatovat, že pro hladinu v nádrži na kótě 240 m n. m. lze očekávat průtok škrticím otvorem 16,0 m³/s. Při maximální hladině v nádrži na kótě 241 m n. m. bude odtok škrticím otvorem 13,4 m³/s.

Hrazená

Tato varianta je učená pro případ, že by nádrž byla uvažována jako víceúčelová. V tomto případě je vypustné zařízení vodního díla tvořené dvojicí na sobě nezávislých spodních výpustí DN 1200 s trojicí uzávěrů. Nátok do potrubí je hydraulicky vhodně tvarovaný. Spodní výpusti jsou v případě běžných průtoků plně otevřené. Po dosažení hranice neškodného odtoku dochází k přivírání uzávěrů a udržování odtoku na hranici neškodného odtoku. K této manipulaci by docházelo na základě dálkového řízení z dispečinku Povodí Ohře, s. p. Z provozního hlediska by bylo vhodné doplnit takto rozměrné spodní výpusti ještě jednou výpustí, případně obtokem, s výrazně menší dimenzí, která by sloužila pro vypouštění běžných průtoků.

Dle příslušné normy (6) jsou dvě spodní výpusti na sobě nezávislé. Každá z výpustí má dva provozní a jeden revizní uzávěr. Revizní uzávěr je řešen hradicí deskou osazenou před nátokem spodních výpustí z vnější strany objektu. Provozní uzávěry tvoří dvojice šoupátek. Vzdálenost mezi nimi přesahuje trojnásobek průměru spodních výpustí.

Dvojice spodních výpustí je navržena tak, aby umožňovala maximální kapacitu pro řízení odtoku. Splnit stabilitní podmínku při zatěžovacím stavu plného nekontrolovatelného otevření není v případě homogenní zemní hráze možné. V případě, že by navrhovaná dimenze spodních výpustí byly takové, aby byla splněna stabilitní podmínka, kapacita výpustí by nebyla dostatečná ani pro vypouštění neškodného odtoku z nádrže, viz Tabulka 9. Z tohoto důvodu jako jediný použitelný typ hráze z výše navrhovaných, kap. 5, vychází zemní hráz s návodním nezemním těsněním. Osa spodních výpustí se nachází na kótě 231,60 m n. m. Kapacita spodních výpustí byla vypočtena pomocí rovnice pro výtok malým otvorem. Součinitel výtoku by uvažován $\mu = 0,6$.

$$Q = S \cdot \mu \cdot \sqrt{2gH}$$

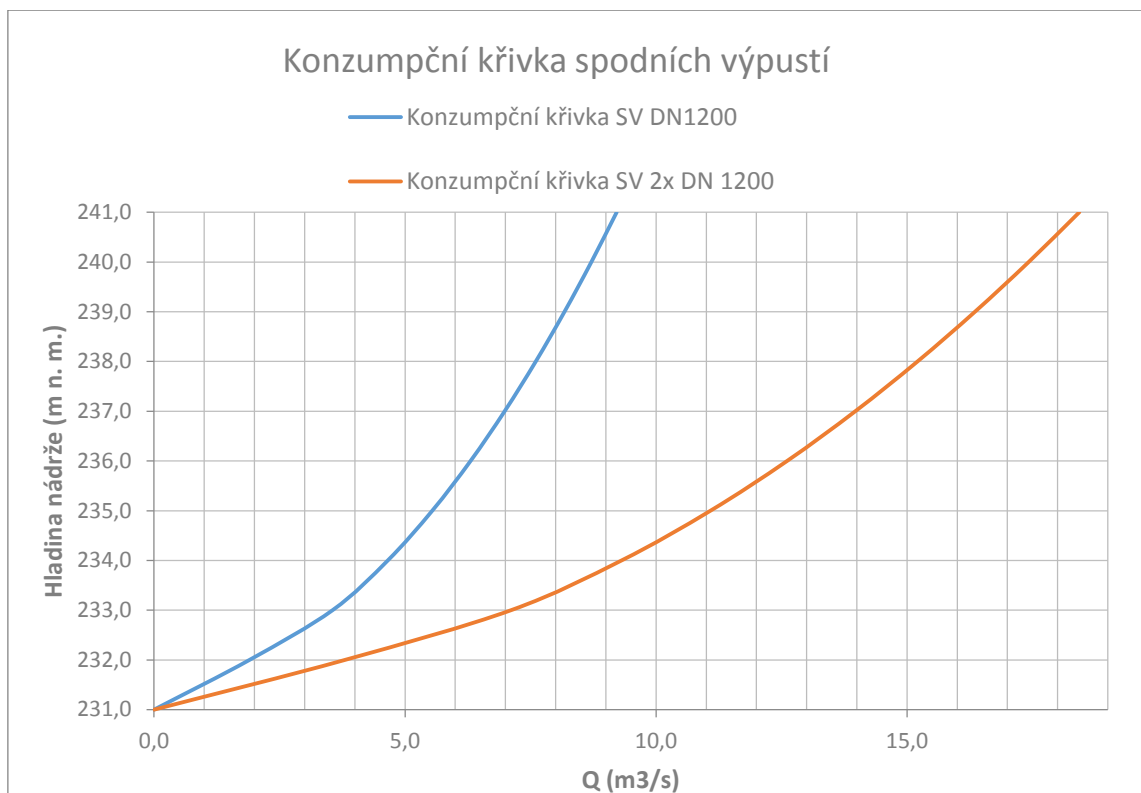
kde:

Q.... průtok výpustí

S.... průtočná plocha

μ ... výtokový součinitel (0,6)

H... rozdíl geodetických výšek hladiny a osy potrubí



Obrázek 8 - Konzumpční křivka hrazených spodních výpustí

Tabulka 9 - Tabulka maximálních hodinových gradientů poklesu hladiny a maximálního odtoku pro různé dimenze spodních výpustí

DN	max hodinový gradient poklesu hladiny (m/hod)	max odtok (m ³ /s)
2x1200	4	17,40
2x1100	3,94	14,64
2x1000	3,53	12,10
2x900	3,17	9,80
2x800	2,75	7,74
2x700	2,4	5,93
2x600	2,1	4,36
2x500	1,7	3,00
2x400	1,4	1,89
2x300	1,1	1,10
2x200	0,05	0,48

$Q_2 = 8,98 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_1 = 6,08 \text{ m}^3/\text{s}$

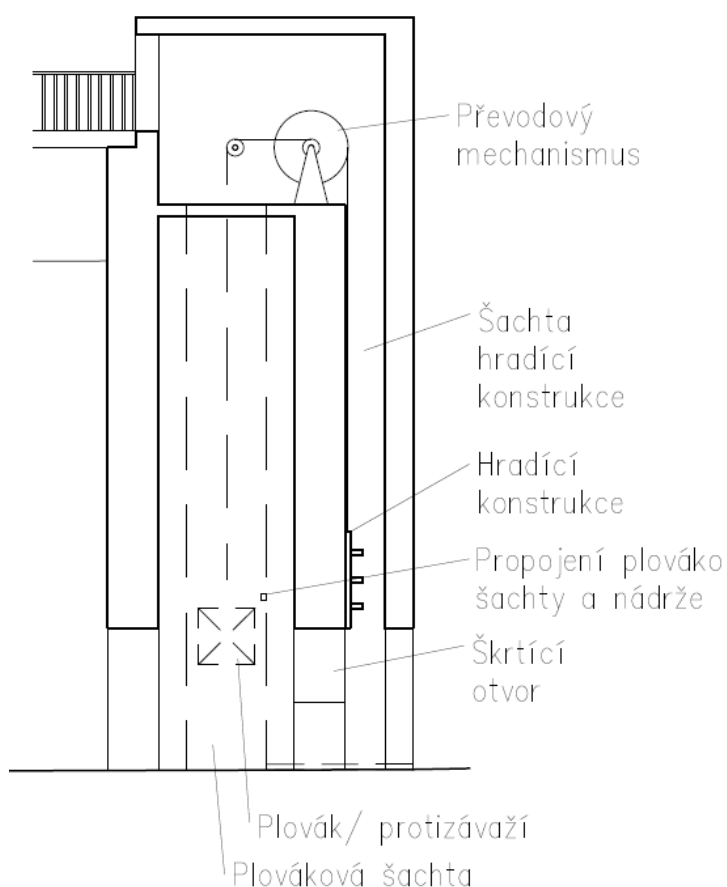
Hodnoty maximálního gradientu poklesu hladiny v tabulce 9 byly dopočítány pro situaci, kdy hladina v nádrži je ve stejné výšce jako hrana bezpečnostního přelivu a dojde k náhlému a úplnému otevření spodních výpustí. Během celé simulace byl přítok do nádrže $P(t) = 0$. Maximálních hodnot gradientu bylo vždy dosahováno v poslední části

simulace, kdy byl vyprazdňován prostor v nejnižší položené části nádrže. V této části je nejmenší zatopená plocha a pokles byl proto nejrychlejší.

Mechanicky škrcená

Třetí zvažovanou variantou je škrticí otvor, který je mechanicky přivíraný na základě aktuálního stavu hladiny. Základní myšlenkou tohoto návrhu bylo navrhnout škrticí otvor, s takovými parametry, aby mohl být lineárně přivíraný tak, že bude dodržen stálý odtok z nádrže.

K přivírání otvoru dochází deskovým uzávěrem, který je přes převodový mechanismus spojen s plováky umístěnými v plovákových šachtách. Ovládání je tedy čistě mechanické, podle aktuálního stavu hladiny a nevyžaduje aktivní přítomnost obsluhy.



Obrázek 9 - Schéma zařízení

Odvození parametrů škrticího otvoru bylo provedeno numericky. Jako základ posloužil již navržený obdélníkový škrticí otvor s výškou 1 m, který sloužil jako cílový stav po úplném přivření. Následně byl stanoven předpoklad výšky přivíratelné části otvoru 1,5 m. Z výšky otvoru a výšky hladiny mohl být stanoven převodový poměr pro ovládací

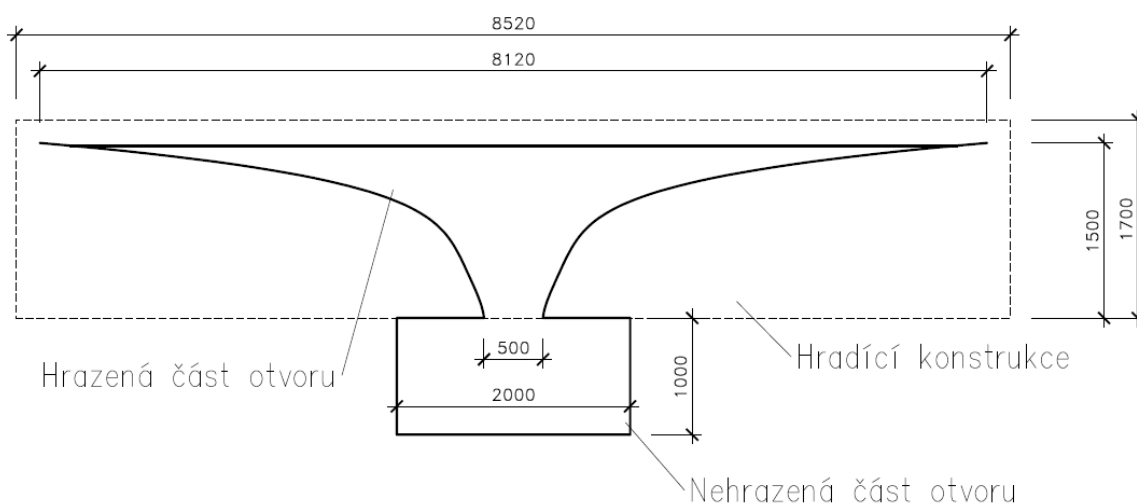
mechanismus, který je 1 : 4,333. Otvor byl poté rozdělen do úzkých lichoběžníků, pro které byla iteračním postupem určena šířka tak, aby celkový průtok otvorem odpovídal požadované hodnotě. Požadovanou hodnotou byl v tomto případě neškodný odtok z nádrže, který nesměl být překročen. Získané dílčí šířky otvoru byly vyneseny do grafu a proloženy spojnicí trendu. Pro získané hodnoty nejlépe vyhovovala spojnice trendu ve tvaru polynomu 4. řádu. Výsledný předpis pro šířku přivírané části škrtícího otvoru má tvar:

$$b = 3,481x^4 - 4,768x^3 + 2,523x^2 + 0,275x + 0,500$$

kde:

b celková šířka přivírané části otvoru

x výška přivírané části otvoru nad nepřivíranou



Obrázek 10 - Tvar otvoru pro mechanické škrcení

Výsledný tvar otvoru je zobrazen na Obrázek 10. Na první pohled je patrné, že otvor dosahuje značných rozměrů a jednalo by se o náročnou stavební konstrukci. Náročná na realizaci by byla hradicí konstrukce, jejíž plocha dosahuje skoro 14,5 m². Hmotnost hradicí desky záleží na zvoleném konstrukčním systému. Při srovnání s pohyblivými jezovými uzávěry má hradicí deska blízko ke stavidlovým uzávěrům. U stavidlových uzávěrů se pohybuje spotřeba oceli v rozmezí 650 – 1000 kg/m² hrazené plochy (6). U navržené hradicí konstrukce proto lze očekávat přibližnou hmotnost okolo 10 tun. Takováto konstrukce by samozřejmě nemohla být smykavá, ale pojízdná, usazená na kolových podvozcích. Při uvážení převodového poměru by plováky měly dosahovat hmotnosti přibližně 2,3 tuny.

Výpočet rozměrů a kapacity otvoru byl rozdělen do dvou částí – před zahlcením otvoru a po zahlcení otvoru. Před zahlcením otvoru byla jeho kapacita řešena metodou pro přepad přes širokou korunu, která se používá pro řešení zúžených mostních profilů na vodním toku. Pro výpočet průtoků v dílčích částech otvoru byla použita rovnice ve tvaru (7):

$$Q_i = \varphi \cdot S_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - h_i)}$$

kde:

- $Q_i \dots$ průtok dílčí částí otvoru
- $\varphi \dots$ součinitel rychlosti (0,96)
- $S_i \dots$ plocha dílčí části otvoru
- $h_i \dots$ výška dílčí části otvoru
- $h_0 \dots$ výška dílčí části energetická výška před vtokem

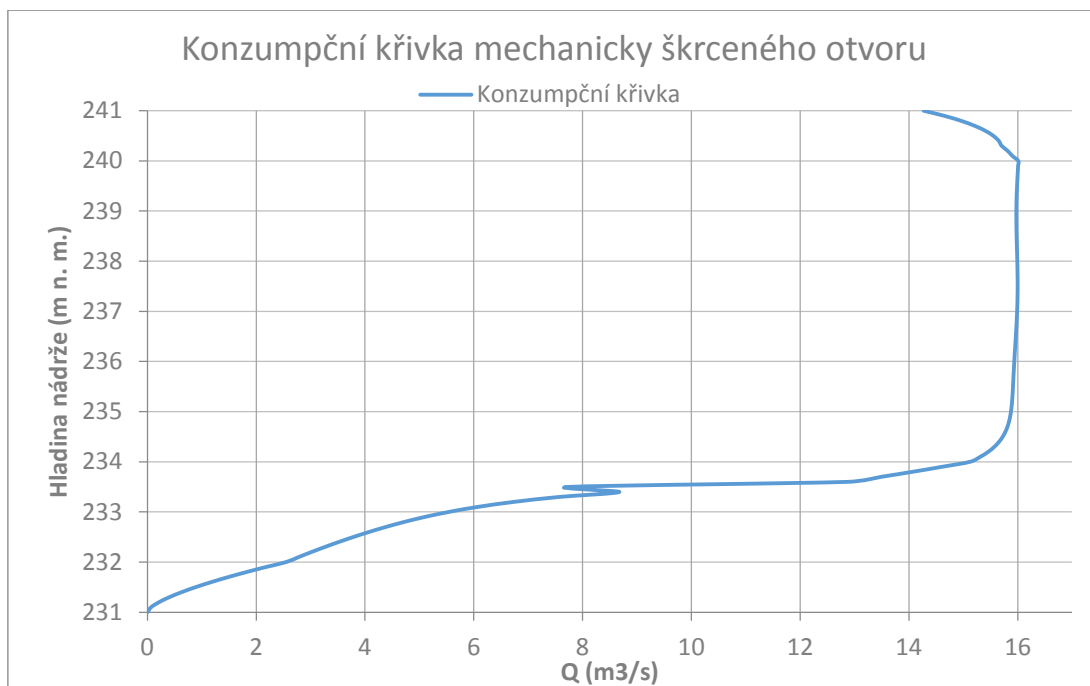
Po zahlcení otvoru byla kapacita otvoru řešena podle rovnice výtoku otvorem ve svislé stěně. Výpočet byl řešen opět numericky, kdy byl otvor rozdělen do úzkých lichoběžníků. Pro výpočet dílčích průtoků byla použita rovnice ve tvaru:

$$Q_i = \mu \cdot S_i \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{Ei}}$$

kde:

- $Q_i \dots$ průtok dílčí částí otvoru
- $\mu \dots$ součinitel výtoku (0,62)
- $S_i \dots$ plocha dílčí části otvoru
- $h_{Ei} \dots$ energetická výška dílčí části otvoru

Výsledná konzumpční křivka předpovídá velmi příznivé výsledky transformací. Kapacita otvoru velmi rychle dosáhne hodnoty neškodného odtoku, který následně udržuje až do zapojení bezpečnostního přelivu.



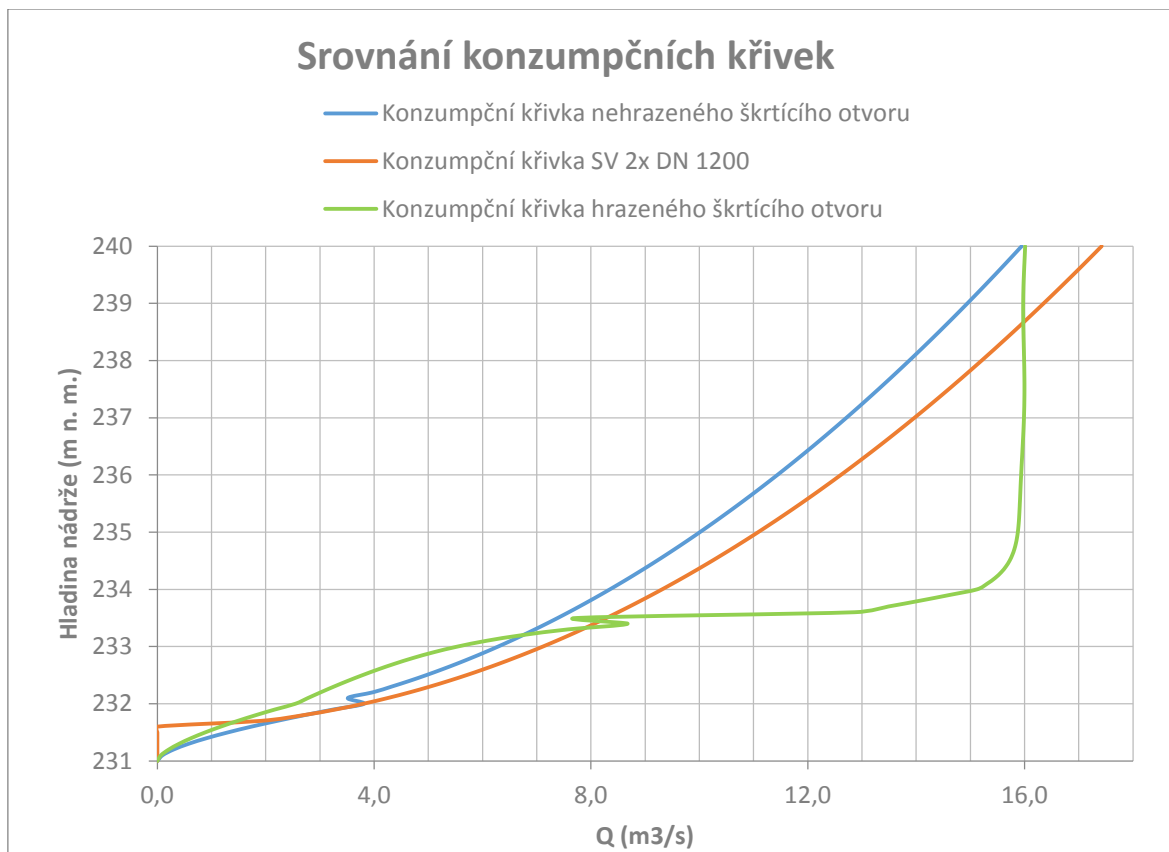
Graf 3 - Konzumpční křivka mechanicky škrceného otvoru

Ač konzumpční křivka tohoto škrtícího zařízení má velmi dobré parametry a zlepšuje transformační schopnosti vodního díla, tak je nezlepší natolik, aby si vodní dílo poradilo s povodní s dobou opakování 50 let, viz Tabulka 13. Další nevýhodou je ekonomická náročnost zařízení. Tento typ zařízení není běžně vyráběným strojírenským zařízením, proto by jeho výroba byla finančně náročná a oproti jednoduchému škrticímu otvoru by navýšila náklady na celou stavbu. Další nevýhodou může být i případná spolehlivost takového zařízení v případě povodně. Zařízení je pohyblivé, celý chod je závislý na bezchybném chodu převodového mechanismu a především toto zařízení není ničím zálohované. V případě poškození všech nosných lan by došlo k okamžitému zahrazení horní části otvoru a odstranění hlavní výhody, ale neškodný odtok by nebyl překročen. Horší variantou by však bylo, pokud by vlivem závady nedošlo k zahrazení horní části otvoru. Kapacita plně otevřeného otvoru by dosahovala 32,9 m³/s, což je dvojnásobek neškodného odtoku. Takovýto průtok by způsobil velké škody.

Z výše napsaného vyplývá, že v případě SN Syčivka, by použití mechanického škrcení nebylo vhodné. Zařízení bylo shledáno jako velmi efektivní a přínosné, ale nevhodné pro vodní dílo rozsahu SN Syčivka. Způsobené škody v případě selhání zařízení by byly příliš velké. Zařízení není ověřeno dlouhodobým provozem. Nic z toho však nebrání použití takového zařízení na vodním díle menšího rozsahu, samozřejmě po ověření parametrů vodního díla na fyzikálním modelu.

Porovnání spodních výpustí

Nejlépe je rozdíl mezi schopnostmi jednotlivých spodních výpustí vidět na porovnání jejich konzumpčních křivek. Při srovnání křivek je výrazný rychlý nárůst kapacity u mechanicky hrazeného škrťacího otvoru.



Graf 4 - Srovnání konzumpčních křivek spodních výpustí

7.2. BEZPEČNOSTNÍ PŘELIV

Bezpečnostní přeliv má za úkol převést zvýšené průtoky po naplnění retenčního prostoru suché nádrže. Ve většině variant je bezpečnostní přeliv součástí sdruženého objektu.

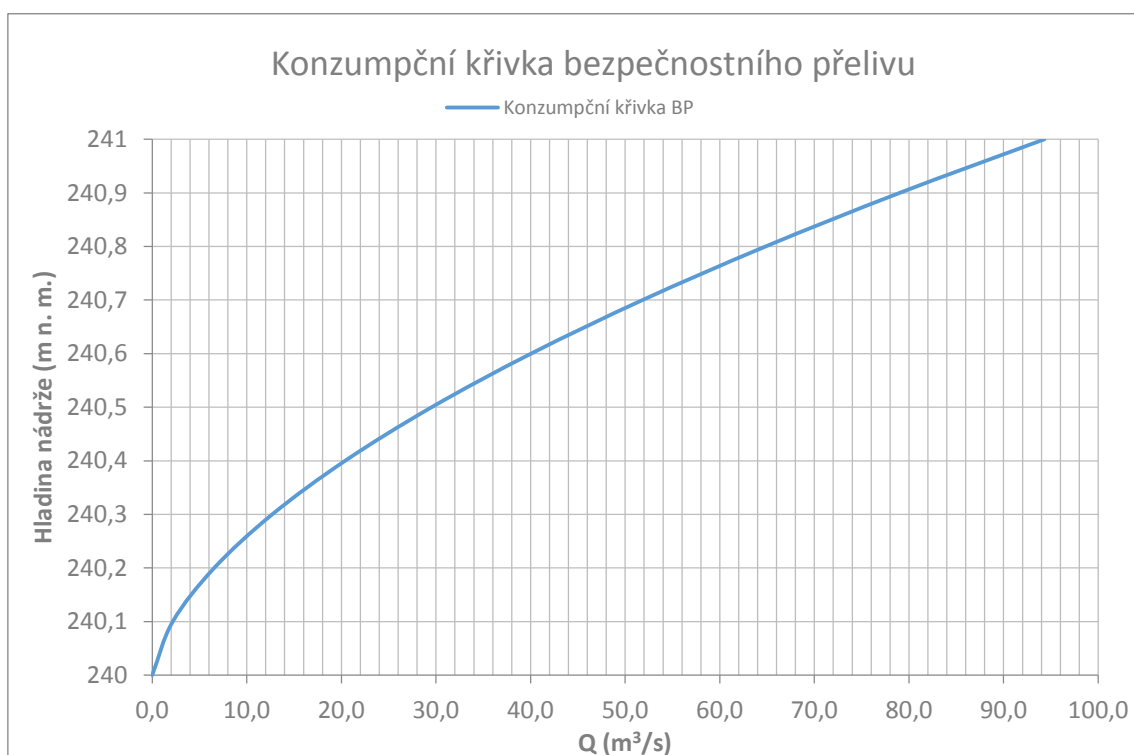
Návrhový průtok je uvažován po transformaci vodním dílem a to z důvodu, že se jedná o návrhový extrémní průtok s velkou dobou opakování. V případě, že by došlo v budoucnosti ke změně využívání vodního díla a k přehodnocení prostorů v nádrži, bude požadavek převedení návrhového průtoky zajištěn případně dodatečnou manipulací na výpustném objektu, který, pokud bude pro změnu využití vodního díla upraven, musí umožňovat převedení nezbytné části průtoky. Přeliv je navržen s délkou přelivné hrany 40 m a půlkruhovým průřezem o poloměru 0,45 m.

Při návrhu délky přelivné hrany vycházíme z návrhového průtoku Q_n a počáteční volby přepadové výšky (1,0 m). Při určení kapacity bezpečnostního přelivu byl použit vztah:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

kde:

- Q ... průtok přes přeliv
- b ... délka přelivné hrany
- μ ... výtokový součinitel (0,6)
- h ... přepadová výška



Graf 5 - Konzumpční křivka bezpečnostního přelivu

7.3. ODPADNÍ CHODBA

Odpadní chodba byla navržena tak, aby při všech průtocích byla dostatečně kapacitní pro zachování proudění s volnou hladinou. Navržená vnitřní výška chodby je 3 m a šířka 6,5 m. Podélný sklon chodby jsou 2 %. Dno chodby je vyspádováno od krajů směrem doprostřed ve sklonu 3 %, což zajišťuje lepší provádění menších průtoků chodbou. Z vnější strany se stěny chodby směrem dolů rozšiřují ve sklonu 1:20. Tento tvar je zvolen pro lepší napojení betonové konstrukce na zemní těleso hráze, zejména při hutnění jednotlivých vrstev.

Tabulka 10 - kapacita odpadní chodby při rovnoměrném ustáleném proudění

Hladina h	Rychlost v	Průtok Q	Froudovo číslo Fr	Typ proudění
m	m/s	m ³ /s	-	-
0,30	2,99	5,83	1,74	bystřinné
0,60	4,49	17,52	1,85	bystřinné
0,90	5,60	32,76	1,88	bystřinné
1,20	6,48	50,51	1,89	bystřinné
1,50	7,19	70,15	1,88	bystřinné
1,80	7,80	91,25	1,86	bystřinné
2,10	8,32	113,53	1,83	bystřinné
2,40	8,77	136,76	1,81	bystřinné
2,70	9,16	160,79	1,78	bystřinné
3,00	9,51	185,47	1,75	bystřinné

7.4. PŘEVÝŠENÍ KORUNY HRÁZE

Převýšení koruny hráze zamezuje přelévání hráze a tím její destrukci vlivem přelévání vln.

Výpočet výběhu větrových vln dle ČSN 75 0255

Výpočet výběhu větrové vlny byl proveden pro efektivní délku rozběhu vlny L_{ef} , která byla stanovena na základě graficky odečtených hodnot a výpočtu podle ČSN 75 0255 (8). Odečtené vzdálenosti L_i odpovídají hladině ve výšce 241 m n. m.

Tabulka 11 - Odečtené hodnoty L_i

φ	$\cos\varphi$	$\cos^2\varphi$	L_i	$L_i*\cos^2\varphi$
42	0,743	0,552	99	54,7
36	0,809	0,655	102	66,8
30	0,866	0,750	109	81,8
24	0,914	0,835	127	106,0
18	0,951	0,905	188	170,0
12	0,978	0,957	235	224,8
6	0,995	0,989	258	255,2
0	1,000	1,000	283	283,0
6	0,995	0,989	298	294,7
12	0,978	0,957	295	282,2
18	0,951	0,905	312	282,2
24	0,914	0,835	325	271,2
30	0,866	0,750	206	154,5
36	0,809	0,655	185	121,1
42	0,743	0,552	171	94,4
Σ	13,511			2742,7

Kde:

$$L_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i \cos^2 \varphi_i}{\sum_{i=1}^{15} \cos \varphi_i}$$

Výška výběhu větrové vlny na návodní svah

$H =$	10 m	hloubka vody
$g =$	9,81 m/s ²	tíhové zrychlení
$L_{ef} =$	203 m	efektivní délka rozběhu
$w_{10z} =$	25 m/s	rychlost nad terénem; trvání 1 - 2 hod, pravděpodobnost 1%
$k =$	1,08 -	koeficient pro převod rychlosti nad terénem nad vodu
$w_{10v} = w_{10z} * k =$	27,00 m/s	rychlost nad hladinou, trvání 1 - 2 hod
$gL_{ef}/w_{10v}^2 =$	2,73 -	pro odečtení
$gH/w_{10v}^2 =$	0,13 -	pro odečtení
$gh_c/w^2 =$	0,0055 -	odečteno z grafu
$h_c =$	0,41 m	charakteristická výška vlny; $p = 13\%$
$gT/2\pi w_{10v} =$	0,11 -	odečteno z grafu
$T =$	1,90 s	perioda vlny

Parametry vlny v hlubokém pásmu

$\lambda_{0c} = 1,56 * T_{0c}^2 =$	5,65 m	délka vlny; v hlubokém pásmu
$c_{0c} = 1,56 * T_{0c} =$	2,97 m/s	postupová doba vlny
$t_{min} =$	2,88 min	minimální trvání větru
$H/\lambda_{0c} =$	1,77 -	
$k_{p1\%} =$	1,4 -	pro 1% = 1.4
$h_{1\%} = k_{p1\%} * h_c =$	0,57 m	charakteristická výška vlny; $p = 1\%$
$k_d =$	0,8 -	koeficient zohledňující povrch hráze
$\lambda_{0c}/h_{1\%} =$	9,87 -	pro odečtení
$m = \cotg \alpha =$	3,4 -	pro odečtení; sklon svahu 1:m
$k_p =$	1,15 -	odečteno z grafu
$h_{v1\%} =$	0,46 m	výška výběhu vlny na svah; $p = 1\%$
$k_{13} =$	0,85 -	součinitel pro přepočítání na $p = 13\%$
$h_{v13\%} =$	0,39 m	výška výběhu vlny na svah; $p = 13\%$

Převýšení koruny hráze

Velikost převýšení definuje příslušná norma (9) a je dané vztahem:

$$h = h_v + r$$

kde:

h.... převýšení koruny hráze
h_v.... výška výběhu větrové vlny
r ... bezpečnostní rezerva

Výška výběhu větrové vlny je h_v = 0,39 m, bezpečnostní rezerva se podle normy (9) volí individuálně pro každý případ. Pro hráz SN Syčivka byla bezpečnostní rezerva zvolena r = 0,61 m. Převýšení koruny hráze proto musí být:

$$h = h_v + r = 0,39 + 0,61 = 1 \text{ m}$$

Koruna hráze je navržena ve výšce 242,00 m n. m. Odečtením převýšení koruny h = 1 m vzniká hodnota mezní bezpečné hladiny MBH = 241,00 m n. m.

Vzhledem k parametrům vodního díla, lze předpokládat, že v případě poruchy by byly ohroženy i lidské životy. Z tohoto důvodu je dost pravděpodobné, že by toto vodní dílo bylo z hlediska TBD zařazeno do II. kategorie (10). Tím pádem by požadovaná míra zabezpečení byla převedení povodně s dobou opakování 10 000 let. Výpočtem transformace povodňové vlny s dobou opakování 10 000 let v nádrži byla zjištěna kontrolní maximální hladina KMH = 240,93 m n. m.

Podle normy (11) spočívá posouzení bezpečnosti vodního díla za povodní v porovnání hodnot MBH a KMH. V případě SN Syčivka je MBH > KMH. To znamená, že vodní dílo je dostatečně zabezpečeno pro převedení kontrolní povodně s dobou opakování 10 000 let.

7.5. ÚPRAVA KORYTA TOKU

Osa objektu a odpadní chodby je umístěna co nejvíce v místě původního koryta, ale i tak je pro vhodné napojení funkčních objektů na původní vedení toku nutné provést úpravu koryta a jeho opevnění.

Koryto toku nad hrází

Koryto toku nad objektem spodních výpustí je upraveno do tvaru lichoběžníku se sklonem břehů 1:2. Dno i břehy jsou opevněny kamennou dlažbou do betonu. Opevněný

úsek je dlouhý přibližně 10 m. Nad opevněným úsekem je navržený betonový stabilizační práh široký 0,5 m do hloubky 0,7 m. Práh je zavázaný do břehů v délce 3 m z každé strany.

Koryto toku pod hrází

Koryto toku pod hrází musí být opevněno, aby odolalo náporu vody vytékající z odpadní chodby. Koryto má lichoběžníkový tvar se sklonem břehů 1:1 a je opevněno kamennou dlažbou do betonu. Hloubka koryta je 1,6 m. Koryto začíná přechodovým úsekem dlouhým 10 m, kde se mění šířka ve dně z šířky odpadní chodby – 6,5 m - na šířku 2,5 m, která více odpovídá původnímu korytu. Pod přechodovým úsekem je přímý úsek dlouhý 20 m. Přechodový a přímý úsek jsou odděleny betonovým stabilizačním prahem širokým 0,5 m do hloubky 0,7 m. Práh je zavázaný do břehů 3 m z každé strany. Stabilizační práh stejných rozměrů je i na konci přímého úseku. Plochy podél koryta jsou opevněny lomovým kamenem v šířce 3 m od hrany břehu.

8. MOŽNOSTI VYUŽITÍ NÁDRŽE

Vodní dílo Syčivka je od počátku navrženo jako čistě suchá nádrž s cílem ochránit obydlené území níže po toku (2). V rámci této práce je rozpracována i varianta užívat toto vodní dílo jako víceúčelové. Mezi další účely vodního díla může patřit nejen krajinná funkce a zadržování vody v krajině, ale i zásobování vodou pro zemědělské účely v okolí a navyšování zůstatkového průtoku v málo vodných obdobích.

8.1. SUCHÁ NÁDRŽ

Jak již bylo zmíněno několikrát výše, vodní dílo Syčivka v Žižkově údolí je od počátku uvažováno jako suchá nádrž. Tomu odpovídají i návrhy variant v této práci. Výhodou tohoto řešení je především to, že celý prostor nádrže je určen jako retenční, tím je využit protipovodňový potenciál díla na maximum. Drobnou nevýhodou tohoto řešení je, že prostor zátopu ač je ke svému účely vyžit jen velmi zřídka, musí být neustále připravený na příchod povodně, a proto nemůže být déle bez omezení využíván k dalším účelům.

8.2. VÍCEÚČELOVÁ NÁDRŽ

U víceúčelové nádrže tvoří celý prostor nádrže pouze retenční prostor, ale jistou část v nádrži zabírají i prostor stálého nadržování a případně i zásobní prostor. Z dostupných

zdrojů, kdy není k dispozici řada průtoků, není možné plnohodnotně posoudit zásobní funkci nádrže.

I v případě, že by nádrž plnila více funkcí, tak protipovodňová ochrana by zůstávala primárním účelem a pro ostatní účely by byla vyhrazena pouze malá část prostoru nádrže. Z tohoto důvodu a z důvodu nedostatku podkladů, který je zmíněn výše, bylo přistoupeno k postupu posouzení nádrže metodou bilance vodní nádrže, která se používá pro malé vodní nádrže (12).

Pro případ víceúčelové nádrže byla hladina stálého nadržení na kótě 233,50 m n. m. Hloubka v nejhlubším místě bude tedy dosahovat 2,5 m. Zadržovaný objem vody bude dosahovat 4 756 m³ a zatopená plocha bude 5 753 m².

Bilance nádrže

Výpočet bilance nádrže byl proveden pro období jednoho roku v souhrnném objemu vody pro každou z položek. Důvodem výpočtu je posouzení dostatku vody pro plnění všech funkcí nádrže. Hlavními bilančními položkami jsou:

Přítok

Objem ročního přítoku do nádrže V_a byl vypočten z dlouhodobého průměrného průtoku v profilu nádrže Q_a , viz kapitola 3.1.

$$V_a = Q_a * 365 * 24 * 3600 = 0,121 * 31\,536\,000 = 3\,815\,856 \text{ m}^3 / \text{rok}$$

Odtok

Objem ročního odtoku z nádrže V_z , označovaný jako zaručený odtok (12), je určen z minimálního zůstatkového průtoku MZP.

Minimální zůstatkový průtok byl stanoven na základě platné metodiky (13), kde je rozhodující velikost průtoku Q_{355d} , podle kterého se stanoví MZP dle tabulky 10:

Tabulka 12 - Hodnoty MZP podle metodického pokynu MŽP (13)

průtok Q_{355d}	minimální zůstatkový průtok
$< 0,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Q_{330d}
$0,05 - 0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
$0,51 - 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Q_{355d}
$> 5,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Jelikož hodnota $Q_{335d} = 0,121 \text{ m}^3/\text{s}$ je v rozmezí $0,05 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, tak odpovídající hodnota $MZP = (Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5 = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$.

Z toho tedy vyplývá, že objem ročního odtoku je:

$$V_z = MZP \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 0,02 \cdot 31\,536\,000 = 630\,720 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Průsak

Hodnotu průsaku hrází a podloží V_p je možné určit více způsoby. Nejznámějšími jsou například Pavlovského metoda nebo Dupuitovo řešení (14). Vstupními parametry u obou metod jsou rozměry hráze a především hodnota nasycené hydraulické vodivosti materiálu hráze a podloží. Jelikož v době tvorby práce ještě nebyl dokončen inženýrsko-geologický průzkum lokality, nejsou tyto parametry známy. Z řešení stejného výpočtu v projektu v rámci studia na FSV ČVUT (15) však bylo vyzorováno, že hodnota V_p nabývá pouze marginálních hodnot, které se pohybují kolem 0,1% V_z . Hodnota průsaku byla proto zvolena metodou analogie:

$$V_p = 0,001 \cdot V_z = 0,001 \cdot 630\,720 = 631 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Výpar

Hodnota objemu ročního výparu V_v byla odečtena z grafu závislosti orientačního průměrného ročního výparu na nadmořské výšce (16). Hladina v nádrži je navržena ve výšce 233,50 m n. m., pro kterou je orientační hodnota výparu 830 mm/rok. Zatopená plocha bude $5\,753 \text{ m}^2$, proto:

$$V_v = 0,830 \cdot 5\,753 = 4\,775 \text{ m}^3/\text{rok}$$

Výsledek bilance nádrže

Výsledná bilanční rovnice má tvar:

$$V_{bil} = V_a - V_z - V_p - V_v$$

Po dosazení:

$$V_{bil} = 3\,815\,856 - 630\,720 - 631 - 4\,775 = 3\,179\,730 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{bil} > V_z$$

$$3\,179\,730 > 630\,720$$

Nádrž má jasně pozitivní bilanci, což znamená, že nádrž bude pravděpodobně možné naplnit v době výrazně kratší než 1 rok. Výsledek dále naznačuje, že na vodním toku je rezerva pro případný odběr užitkové vody. Zabezpečení odběru by si však mohlo vyžádat další omezení retenčního prostoru nádrže na úkor zásobního prostoru.

Podrobnějších závěrů nelze z tohoto výpočtu dosáhnout. Jedná se pouze o bilanci průměrných ročních hodnot, které nevypovídají nic o rozložení těchto hodnot během roku. Z dalších funkcí může tedy nádrž s jistotou plnit pouze krajínotvornou funkci, zabezpečení dalších funkcí nádrže nelze s jistotou prokázat.

Pro zjištění dalšího potenciálu nádrže k plnění zásobní funkce by bylo vhodné v rámci výstavby nádrže vybudovat stanoviště pro měření průtoku. Provozovat nádrž pouze jako protipovodňovou a nasbírat reprezentativní řadu měření průtoku pro nové, podrobnější posouzení zásobní funkce nádrže.

9. TRANSFORMAČNÍ SCHOPNOSTI VODNÍHO DÍLA

Stanovení odtoku z nádrže a výšky hladiny během převádění povodňové vlny bylo řešeno výpočtem transformace povodňové vlny. Simulace transformace byla provedena použitím diferenciální rovnice nádrže ve tvaru:

$$\frac{dV(t)}{dt} = f(t, V(t))$$

Pro řešení této rovnice byla použita metoda Runge-Kutta 4. řádu (17):

$$V(t + \Delta t) - V(t) = \frac{K_1 + 2K_2 + 3K_3 + K_4}{6}$$

kde

$$K_1 = \Delta t [P(t) - O(V(t))],$$

$$K_2 = \Delta t \left[P\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_1}{2}\right) \right],$$

$$K_3 = \Delta t \left[P\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) - O\left(V(t) + \frac{K_2}{2}\right) \right],$$

$$K_4 = \Delta t [P(t + \Delta t) - O(V(t) + K_3)]$$

Při výpočtu byla zvolena velikost integračního kroku $\Delta t = 1$ minuta. Vzhledem k velikosti nádrže a průběhu povodňové vlny způsobovala volba delšího integračního kroku nesrovnalosti ve výpočtu. Chybějící hodnoty přítoku $P(t)$ byly interpolovány z hodnot teoretické povodňové vlny (1) s využitím doplňkové funkce Cubic_Spline pro MS Excel.

Pro výpočet byla použita vstupní data:

- Křivka zatopených objemů
- Křivka odtoku s návrhem manipulace pro jednotlivé varianty s předpokladem ideální manipulace, kde je to technicky možné
- Hydrogram předmětné povodně

Na základě provedených výpočtů transformace povodňových vln byl kvantifikován zachycený objem povodně, snížení a oddálení kulminačního průtoku.

Výsledky jednotlivých transformací vycházejí z předpokladu manipulace na základní bázi znalostí stavu průtoků v jednotlivých částech povodí a principům aktivní manipulace popsaných v kapitole výše. Tato data jsou shrnuta v následující tabulce.

Tabulka 13 - Výsledky transformací

SN Syčivka	Doba opakování									roky
	1	2	5	10	20	50	100	1 000	10 000	
Bez transformace	6,08	8,98	14,7	19,34	24,9	33,9	41,5	77,9	108,4	m ³ /s
Nádrž s nehrazenou SV	6,03	8,41	11,8	13,9	15,9	31,1	40,7	77,8	108,4	m ³ /s
Nádrž s hrazenou SV (prázdná)	6,07	8,6	12,2	14,4	16,0	30,2	40,4	77,8	108,4	m ³ /s
Nádrž s hrazenou SV (stálé nadržení)	-	-	-	13,9	16,0	31,4	40,9	77,8	108,4	m ³ /s
Nádrž s mechanicky hrazenou SV	6,06	8,9	14,4	15,9	16,0	28,9	39,9	77,8	108,4	m ³ /s

Jednotlivé průběhy transformací povodní s dobou opakování 20, 50 a 100 jsou uvedeny graficky v přílohách.

10. NÁVRH MANIPULACE NA VODNÍM DÍLE

Jak je uvedeno výše, manipulace na vodním díle předpokládá osazení uzavíratelných spodních výpustí a znalost aktuální hodnoty přítoku do nádrže. Na základě tohoto předpokladu lze zavést pro posouzení manipulace zjednodušující předpoklady pro manipulaci na vodním díle, kdy se předpokládá držení neškodného odtoku stanoveného

s dostatečnou rezervou pro neškodný průtok v chráněném území a po naplnění ovladatelného retenčního prostoru následně neovladatelný odtok přes bezpečnostní přeliv.

Samotná manipulace je dána dodržováním maximálního možného odtoku ve výši $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a to až po dosažení úrovně bezpečnostního přelivu. Po dosažení úrovně BP bude průtok dále udržován, dokud kapacita přelivu nepřesáhne návrhový maximální odtok a následně je odtok dán kapacitou BP.

Z hlediska výpočtů byly posouzeny transformace pro všechny návrhové povodně v režimu neškodného průtoku $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$, a následně průběhy při havarijním stavu nekontrolovatelného prázdnění nádrže.

11. CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

Citlivostní analýza je zaměřená na dva parametry. Změna vstupních parametrů se týká neškodného odtoku z nádrže $Q_{\text{neš}}$ a objemu nádrže V . Neškodný odtok z nádrže je dán studii protipovodňových opatření (2), jak je zmíněno výše. Zásadní vliv na hodnotu neškodného odtoku má uzavřený profil toku v Bílině. Zkapacitnění tohoto úseku toku bylo velmi stavebně a ekonomicky náročné, ale technicky proveditelné (2), proto stojí za posouzení možnost navýšení neškodného odtoku z nádrže a posouzení, jak se tato změna projeví na transformačních schopnostech vodního díla.

Vliv těchto změn byl pozorován na variantě suché nádrže se škrticím otvorem, která se jeví nejefektivnější, viz kapitola 6.3. Analýza byla provedena pro povodně s dobou opakování $N = 20, 50$ a 100 let, kde bude změna odtoku nejvíce patrná. U povodní s kratší dobou opakování již zlepšení není nutné a u povodní s delší dobou opakování má opatření minimální vliv na schopnost transformace.

Tabulka 14 - Vliv změny neškodného odtoku na transformační schopnosti nádrže

SN Syčivka	Doba opakování			
	20	50	100	roky
Bez transformace	24,9	33,9	41,5	m^3/s
$Q_{\text{neš}} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$	15,9	31,1	40,7	m^3/s
$Q_{\text{neš}} = 19 \text{ m}^3/\text{s}$	17,5	29,3	40,2	m^3/s
$Q_{\text{neš}} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$	20,0	23,8	38,3	m^3/s

Z výsledků v tabulce 14 vyplývá, že by mělo dojít ke zlepšení transformačních schopností vodního díla cestou navyšování neškodného odtoku, musel by neškodný odtok

být navýšen na 24 m³/s, což je o 50 % více, než je aktuální stav, jen aby došlo k dostatečnému ztransformování Q₅₀. Současně by muselo dojít i k patřičnému zkapacitnění koryta níže po toku a uzavřeného profilu v Bílině.

Druhým parametrem, na který je citlivostní analýza zaměřena, je celkový objem nádrže, u suché nádrže to samozřejmě znamená i navýšení retenčního prostoru. Větší retenční prostor dovoluje pojmout větší část z povodňové vlny a tím lépe transformovat povodeň. V praxi je možné navýšit objem nádrže vytěžením zeminy z prostoru zátopy. Tato zemina může být použita pro stavbu hráze. Objem nádrže byl postupně navyšován a byl sledován efekt této změny. Navýšení objemu je v rozmezí 0 až 42,4 tis. m³. Horní okrajová podmínka odpovídá objemu zeminy potřebné pro stavbu hráze. Odtěžit ze zátopy více zeminy, než je potřebné pro stavbu hráze, by již bylo ekonomicky velmi neefektivní. Zemina odtěžená na stavbu hráze by byla přesouvána pouze v prostoru staveniště, kde by byla dále využita. Pokud by vytěžená zemina nenašla uplatnění v rámci staveniště a byla bezúčelně odvezena, její transport by byl zbytečně nákladný.

Navýšení objemu bylo při výpočtu rozděleno rovnoměrně po celé výšce nádrže v poměru objemu navýšení a objemu nádrže. Objem nádrže byl brán po kótu 241,00 m n. m.

Tabulka 15 - Vliv objemu nádrže na transformační schopnosti

Objem (tis. m ³) při 241,00 m n. m.	Navýšení v %	Doba opakování				roky
		20	50	100		
203,8	0	15,9	30,2	40,4	m ³ /s	
224,2	10	15,7	29,8	40,1	m ³ /s	
246,2	21	15,4	28,3	39,3	m ³ /s	
406,8	100	14,3	16,0	29,1	m ³ /s	

Z výsledků zobrazených v tabulce 15 vyplývá, že pro zvládnutí povodňové vlny s dobou opakování 50 let, by nestačilo zvětšit objem nádrže ani o 42,4 tis. m³ (objem hráze). Pro dosažení této pomyslné mety by bylo nutné zvětšit objem nádrže o 203 tis. m³ což je 100 % navrhovaného objemu nádrže.

Další možností pro zvětšení objemu nádrže by bylo zvýšení koruny hráze. Při zvýšení hráze dochází i ke zvýšení objemu hráze a prodloužení. Stávající profil údolí nedovoluje navýšení hráze v pravém zavázání a bylo by nutné zalomení hráze a vedení zalomeného úseku hráze po přilehlém hřebeni. V případě takového řešení by bylo nutné

navýšit hráz o dalších 3,5 m na kótu 245,50 m n. m., kdy by maximální hladina dosahovala výšky 244,50 m n. m., viz Tabulka 16.

Tabulka 16 - Změna parametrů vodního díla při zvýšení hráze

Výška koruny m n. m.	Délka hráze m	Kubatura hráze tis. m ³	Objem nádrže tis. m ³
242,00	187	42,4	203,8
244,00	226	48,6	315,0
245,50	265	62,7	409,7

Hodnoty pro objem nádrže byly do výšky hladiny 243,00 m n. m. odečteny ze získané křivky zatopených ploch (5) a následující hodnoty byly získány extrapolací křivky zatopených podle spline křivky.

12. ZÁVĚR

Pro návrh vodního díla bylo navrženo několik variant řízení odtoku a uspořádání funkčních objektů. Pro tyto varianty bylo určeno přibližné množství objemu prací a výsledný vodohospodářský efekt stavby.

Vodohospodářský efekt byl posuzován na základě transformačních schopností vodního díla a tím i omezení povodňového průtoku. Nejednalo se však o posouzení ekonomické efektivity. Klady a zápory jednotlivých variant jsou zmíněny podrobně v jejich popisu a porovnání. Z navržených variant byly doporučeny dvě varianty, jejichž parametry jsou v mnohém podobné. Z technického hlediska je však o něco efektivnější varianta 4 s tvarem, který kombinuje přímou i obloukovou přelivnou hranu.

Ze tří variant možného škrcení odtoku z nádrže jsou první dva – škrticí otvor i hrazené spodní výpusti – běžně používanou záležitostí. Třetí varianta – mechanicky škrcený otvor – nebyla doposud použita na podobném vodním díle. Návrh lze považovat za zajímavé řešení, ale pro vodní dílo tohoto rozsahu se ukázal být značně nepraktický. Mezi jeho největší nevýhody patří především rozměry otvoru i hradícího zařízení a také spolehlivost. Toto řešení není ověřeno v provozu a při použití na vodním díle Syčivka by jeho případná nefunkčnost mohla způsobit vážné škody, proto by bylo vhodnější jeho použití na méně významném vodním díle, při kterém by se získaly zkušenosti s jeho používáním. Částečného odstranění nevýhod by se dalo dosáhnout například zúžením otvoru v horní části na úkor průtoku nebo zdvojením takového zařízení. Tato opatření ale neodstraní všechna negativa.

Další zvažovanou variantou bylo využití nádrže jako víceúčelové. V tomto případě by nebyl celý prostor využit jako retenční, ale část by byla vyhrazena pro prostor stálého nadržení. V okolí budoucí nádrže není prozatím žádný významný odběratel pro užitkovou vodu. Nebylo tedy uvažováno zabezpečení odběrů, ale pouze plnění krajinnotvorné funkce a případně zadržování vody v krajině. Pro tento účel bylo vyhrazeno 1 % z celkového objemu nádrže, což se významně neprojeví na transformačních schopnostech vodního díla. Pro posouzení nádrže nebyla dostupná řada průtoků, z tohoto důvodu bylo provedeno pouze posouzení metodou roční bilance nádrže, která se používá u malých vodních nádrží. Tato bilance ukázala rezervu pro případné pokrytí odběrů. Obě varianty – suchá i víceúčelová nádrž - jsou technicky proveditelné. Výsledné rozhodnutí však přesahuje technickou rovinu.

V rámci citlivostní analýzy byl zkoumán vliv změny neškodného odtoku a objemu nádrže na transformační schopnosti vodního díla. Při navrženém neškodném odtoku je vodní dílo schopné transformovat maximálně povodňovou vlnu s dobou opakování 20 let. K tomu, aby vodní dílo bylo schopné transformovat povodňovou vlnu s dobou opakování 50 let, by bylo nutné navýšit neškodný odtok z nádrže na hodnotu $24 \text{ m}^3/\text{s}$, což je o 100 % více, než je navržený neškodný odtok, tato hodnota se však již téměř rovná průtoku Q_{20} .

V rámci analýzy navyšování objemu nádrže se ukázalo, že ani navýšení objemu nádrže o více než 20 %, ke kterému by došlo při vytěžení veškeré zeminy potřebné pro stavbu hráze v území zátopy, nestačí k transformování Q_{50} . K tomu, aby vodní dílo bylo schopné transformovat povodňovou vlnu s dobou opakování 50 let, by bylo nutné zvětšit objem nádrže o 203 tis. m^3 což je 100 % navrhovaného objemu nádrže, což je ekonomicky neopodstatněné.

S takovými výsledky stojí za zvážení, zda pokračovat v přípravě nádrže s těmito parametry. Z technického hlediska by byla rozhodující analýza ekonomické efektivity. Technické a ekonomické hledisko však nemusejí být jedinými parametry, které rozhodnou, zda v přípravě nádrže pokračovat, či nikoliv.

13. LITERATURA A ZDROJE INFORMACÍ

1. **Český hydrometeorologický ústav.** *Hydrologická studie. Odvození teoretických povodňových vln Suchá nádrž Syčivka (Žižkovo údolí) - Syčivka.* 2016.
2. **KRISE, Jakub.** *Studie protipovodňových opatření v povodí toku Syčivka.* 2011.
3. **Český hydrometeorologický ústav, Pobočka Ústí nad Labem.** Hydrologické údaje povrchových vod. *Syčivka - hráz plánované retenční nádrže.* 2016. P16012973/541/OH.
4. **VOTRUBA, Ladislav a NACHÁZEL, Karel.** *Základy teorie stochastických procesů a jejich aplikace ve vodním hospodářství.* Praha : ČVUT, 1980.
5. **Sweco Hydroprojekt a.s.** Podklady poskytnuté pro vypracování diplomové práce.
6. **ČIHÁK, František a MEDŘICKÝ, Vladimír.** *Hydrotechnické stavby 20.* Praha : ČVUT, 2001.
7. **KOLÁŘ, Václav, PATOČKA, Cyril a BÉM, Jiří.** *Hydraulika.* Bratislava : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1983.
8. ČSN 75 0255. *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích.* Praha : ÚNMZ, 1988.
9. ČSN 75 2340. *Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení.* Praha : ÚNMZ, 2004.
10. Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
11. ČSN 75 2935. *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.* Praha : ÚNMZ, 2014.
12. **VRÁNA, Karel a BERAN, Jan.** *Rybníky a účelové nádrže.* Praha : ČVUT, 2008.
13. **METODICKÝ POKYN** odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. [Online] 1998.
[http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html).
14. **VALENTOVÁ, Jana.** *Hydraulika podzemní vody.* Praha : ČVUT, 2010.

15. Náplň předmětu PJV3 - Projekt z vodního hospodářství 3. Praha : FSv ČVUT, 2014.
16. ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Praha : ÚNMZ, 2011.
17. **PATERA, Adolf, NACHÁZEL, Karel a FOŠUMPAUR, Pavel.** *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Praha : ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02620-5.

14. SEZNAMY

14.1. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - povodí Syčivky podle aktuální situace na Radovesnické výsypce (1)	5
Obrázek 2 - Nákres varianty 1	14
Obrázek 3 - Nákres varianty 2	16
Obrázek 4 - Nákres varianty 3 pro suchou nádrž	18
Obrázek 5 - Nákres varianty 3 pro víceúčelovou nádrž	18
Obrázek 6 - Nákres varianty 4 pro suchou nádrž	20
Obrázek 7 - Nákres varianty 4 pro víceúčelovou nádrž	21
Obrázek 8 - Konzumpční křivka hrazených spodních výpustí	26
Obrázek 9 - Schéma zařízení	27
Obrázek 10 - Tvar otvoru pro mechanické škrcení	28

14.2. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Průběhy teoretických povodňových vln s dopočítaným průběhem povodňové vlny s dobou opakování 10 let	9
Graf 2 - Konzumpční křivka nehrazeného škrťacího otvoru	24
Graf 3 - Konzumpční křivka mechanicky škrceného otvoru	30
Graf 4 - Srovnání konzumpčních křivek spodních výpustí	31
Graf 5 - Konzumpční křivka bezpečnostního přelivu	32

14.3. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Využití území v povodí	5
Tabulka 2 - N-leté průtoky a objemy příslušných povodňových vln na toku Syčivka (1)	6
Tabulka 3 – N-leté průtoky a objemy k nim příslušných povodňových vln na bezejmenném přítoku (příkop P2) (1)	6
Tabulka 4 - M-denní průtoky na vodním toku Syčivka (3)	7
Tabulka 5 - N-leté průtoky na vodním toku Syčivka (2) v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 2011	8
Tabulka 6 - N-leté průtoky na vodním toku Syčivka (1) v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 2016	8
Tabulka 7 - Výsledné zatopené plochy a objemy	11
Tabulka 8 - Přibližné objemy prací pro jednotlivé varianty	22
Tabulka 9 - Tabulka maximálních hodinových gradientů poklesu hladiny a maximálního odtoku pro různé dimenze spodních výpustí	26
Tabulka 10 - kapacita odpadní chodby při rovnoměrném ustáleném proudění	33
Tabulka 11 - Odečtené hodnoty L_i	33
Tabulka 12 - Hodnoty MZP podle metodického pokynu MŽP (13)	37
Tabulka 13 - Výsledky transformací	40
Tabulka 14 - Vliv změny neškodného odtoku na transformační schopnosti nádrže	41
Tabulka 15 - Vliv objemu nádrže na transformační schopnosti	42
Tabulka 16 - Změna parametrů vodního díla při zvýšení hráze	43

15. FOTODOKUMENTACE



Foto 1 - Syčivka nad Bílinou



Foto 2 - koryto v Bílině



Foto 3 - koryto v Bílině



Foto 4 - koryto v Bílině



Foto 5 - hrubé česle v Bílině



Foto 6 - nátok do uzavřeného profilu



Foto 7 - výtok z uzavřeného profilu



Foto 8 - pohled z levého břehu



Foto 9 - brod místní komunikace



Foto 10 - přítok z výsypky



Foto 11 - opevnění přítoku z výsypky



Foto 12 - budoucí nádrž z pravého břehu



Foto 13 - budoucí nádrž z pravého břehu



Foto 14 - budoucí nádrž z levého břehu



Foto 15 - prostor zátopy



Foto 16 - prostor zátopy



Foto 17 - Syčivka v profilu hráze



Foto 18 - profil hráze z levého břehu

16. PŘÍLOHY

Výkresy

16.01 Přehledná situace

16.02 Situace

16.03 Sdružený objekt

Grafy

16.04 Grafy transformací pro nehrazený škrťící otvor

16.05 Grafy transformací pro mechanicky hrazený škrťící otvor

16.06 Grafy transformací pro hrazenou spodní výpust'

16.07 Srovnání transformací při Q_{20}

16.08 Srovnání transformací při Q_{50}

16.09 Srovnání transformací při Q_{100}