

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra hydrotechniky**



**Návrh sypané hráze na toku Shelek v Kazachstánu**

**Design of an Earthfill Dam on River Shelek in Kazakhstan**

**Diplomová práce**

Autorka práce: Anastassiya Adaiguzhiyeva

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

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Praha, 2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Adaiguzhiyeva Jméno: Anastasiya Osobní číslo: 412501  
Zadávající katedra: K142 - Katedra hydrotechniky  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh sypané hráze na toku Shelek v Kazachstánu

Název diplomové práce anglicky: Design of an Earthfill Dam on River Shelek in Kazachstan

Pokyny pro vypracování:

S využitím dostupných podkladů (mapové a hydrologické podklady, základní IG průzkum) vypracujte návrh tělesa sypané hráze a základních vodohospodářských objektů (bezpečnostní přeliv a spodní výpust) v souladu s požadavky legislativy v ČR. Vyřešte variantně těsnicí prvek (zemní těsnění, asfaltobetonové, betonové či geomembránu). Vypracujte výkresovou dokumentaci v rozsahu odpovídajícím DUR (situace, vzorové řezy, řezy objekty). Návrh objektů doložte hydrotechnickými výpočty.

Seznam doporučené literatury:

Přehrady, Broža, V., Kratochvíl, J., Peter, P., Votruba, L., 04-728-87, SNTL 1987

Skriptum Navrhování přehrad, Broža, V., Satrapa, L., 1996

další odborná literatura z oblasti přehradního stavitelství se vztahem k tématu diplomové práce;

relevantní technické normy, zejména ČSN 75 2340 Navrhování přehrad - Hlavní parametry a vybavení; ČSN 75 2310 Sypané hráze, ČSN 73 1208 Navrhování betonových konstrukcí vodohospodářských objektů, příslušné EC a legislativní přepisy, vyhláška 590/2002 Sb. a 255/2010 Sb. (úprava 471/2001 Sb.)

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Miroslav Brouček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3.1.2021

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### 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“.*

23.09.2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

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

V Praze dne 16. 5. 2021

.....  
Anastassiya Adaiguzhiyeva

## **Poděkování**

Chtěla bych tímto poděkovat panu Ing. Miroslavu Broučkovi, Ph.D., mému vedoucímu diplomové práce, za předání potřebných znalostí, jeho vstřícné vedení a trpělivost a také za umožnění zpracování tohoto tématu.

# **Abstrakt**

Předmětem této diplomové práce je řešení návrhu sypané hráze, která by měla vytvořit nádrž pro účely vodní elektrárny. Zájmové území projektů se nachází na toku Shelek v Kazachstánu. Projekt byl zpracováván na základě českých technických norem. V rámci diplomové práce byly navrženy tři varianty konstrukce hráze. Výsledkem je konstrukční návrh hráze včetně objektů a výkresové dokumentace.

## **Klíčová slova**

Sypaná hráz, šachtový přeliv, střední zemní těsnění, asfaltobetonové střední těsnění, návodní těsnění z geomembrány

# **Abstract**

The subject of this diploma thesis is the solution of the design of a spillway dam, which should create a reservoir for the purposes of a hydroelectric power plant. An interesting area of projects is located on the Shelek River in Kazakhstan. The project was developed on the basis of Czech technical standards. Within the diploma thesis, three variants of the dam construction were proposed. The result is a structural design of the dam, including objects and drawing documentation.

## **Keywords**

Fill dam, spillway shaft, middle ground core, asphalt concrete core, geomembrane

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Vstupní podklady.....</b>	<b>10</b>
3.1 Klima a hydrologie.....	10
3.1.1 Orografie .....	10
3.1.2 Klima .....	10
3.1.3 Hydrografie .....	12
3.2 Hydrologické charakteristiky povodí toku Shelek.....	13
3.2.1 Průtok vodního toku Shelek .....	13
3.2.2 Roční rozdělení průtoku.....	14
3.2.3 Maximální průtok .....	16
3.2.4 Výjimečná povodeň v roce 1936.....	16
3.2.5 Denní průměrné průtoky .....	17
3.2.6 Splaveninový režim .....	17
3.2.7 Ledový režim.....	17
3.2.8 Závěr .....	18
3.3 Topografické geodetické vlastnosti.....	19
3.3.1 Topografický a geodetický průzkum .....	19
3.3.2 Provedené topografické a geodetické práce .....	19
3.4 Inženýrskogeologické podmínky .....	20
3.4.1 Geologické složení .....	22
3.4.2 Hydrogeologické podmínky.....	22
3.4.3 Geodynamické procesy.....	22
3.4.4 Geotechnické podmínky .....	23
3.4.5 Nádrž.....	24
3.4.6 Sdružený objekt (šachtový přeliv a výpusti).....	24
3.4.7 Stavební materiály .....	25
<b>4 Účel a konstrukční řešení .....</b>	<b>26</b>
4.1 Účel vodního díla .....	26
4.2 Konstrukční řešení .....	26

4.2.1	Hráz se středním zemním těsněním.....	26
4.2.2	Hráz se středním asfaltobetonovým těsněním.....	28
4.2.3	Hráz s návodním geomembránovým těsněním .....	29
4.2.4	Sdružený objekt .....	31
4.2.5	Odběrný objekt .....	32
4.2.6	Vývar .....	33
<b>5</b>	<b>Výpočty .....</b>	<b>34</b>
5.1	Charakteristické křivky nádrže .....	34
5.2	Převýšení koruny hráze .....	34
5.3	Extrapolace průtoku .....	37
5.4	Minimální zůstatkový průtok.....	39
5.5	Funkční objekty.....	39
5.5.1	Sdružený objekt.....	39
5.5.2	Vývar .....	50
5.5.3	Odběrný objekt .....	52
5.6	Průsak tělesem hráze .....	53
5.6.1	Průsak tělesem hráze se středním zemním těsněním.....	54
<b>6</b>	<b>Ekologie .....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>60</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>62</b>
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>64</b>



# 1 Úvod

Almaty a Almatinská oblast se nachází v jižní části Kazachstánu. Jde o rychle rozvíjející se krajinu jak počtem měst, tak počtem obyvatel. S tímto rozvojem souvisí i zvyšující se spotřeba elektrické energie, již je v současné době v této oblasti nedostatek. Řešením této situace je výstavba vodní elektrárny. Předmětem této diplomové práce je návrh sypané hráze nacházející se na toku řeky Shelek, jež touto oblastí protéká. Shelek je největší řeka v Zailijském Alatau, je to jeden z největších levých přítoků řeky Ili – hlavní vodní cesty v jihovýchodním Kazachstánu.

Jelikož k požadavkům pro tuto hráz byly k dispozici jen její rozmístění a výška, bylo použito co nejvíce získaných podkladů pro zpracování co nejkvalitnějšího a nejplnohodnotnějšího projektu.

Vodní elektrárna, pro kterou je rozpracován daný návrh, je součástí projektu „Kazachstán 2030“, což je rozvojový program Kazachstánu, který byl poprvé vyhlášen prezidentem v roce 1997.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout sypanou hráz a základní vodohospodářské objekty na toku řeky Shelek s využitím dostupných podkladů, rozpracovat projektovou dokumentaci a provést hydrotechnické výpočty a posouzení, a to v souladu s legislativou České republiky.

Součástí práce je vyřešení tělesa hráze ve třech konstrukčních variantách (střední zemní těsnění, asfaltobetonové střední těsnění a geomembránové návodní těsnění), bezpečnostní přeliv, výpusti, odpadní tunel, odběrný objekt.

## 3 Vstupní podklady

Všechny podklady byly získány od TOO Kazhydro.

### 3.1 Klima a hydrologie

#### 3.1.1 Orografie

Údolí řeky Shelek má poměrně složitou morfológickou strukturu. Horská část je tvořena širokým podélným údolím mezi hřebeny Ilijski Alatau na severu a Kungej Alatau na jihu. Pod ústím řeky Karakiya ztrácí údolí řeky Shelek tvar koryta a má podobu typické rokle ve tvaru písmene „V“ se strmými svahy. Jeho hloubka na některých místech dosahuje 1 100 až 1 300 m, dno zabírá kanál téměř po celé své šířce. Pohorí hřebenů Ilijski a Kungej Alatau, spojujících se v oblasti pramenů řeky Shelek, tvoří skokanský můstek Sheleko-Kemin, jehož nejvyšší body přesahují 4 400 m. [1]

#### 3.1.2 Klima

Klimatické charakteristiky oblasti, ve které je hráz navržena, byly sestaveny na základě dlouhodobých dat meteorologických pozorování na meteorologické stanici v Sheleku.

Oblast projektované hráze se nachází ve sféře vlivu arktických, polárních a tropických vzdušných hmot. V zimě zde dominuje sibiřská anticyklóna s jasným klidným počasím a nízkými teplotami vzduchu. Na jaře se cyklónová aktivita zesiluje a vlhké vzdušné masy z Atlantiku, Středomoří a Černého moře přinášejí velké množství srážek. Na podzim a v zimě jsou pozorovány průlomy arktických vzdušných mas, které způsobují prudký pokles teploty vzduchu, zejména během studených invazí z oblastí Karského moře.

#### Teplota

Průměrná roční teplota vzduchu na meteorologické stanici v Sheleku je 9,3 °C. Nejteplejšími měsíci jsou červenec a srpen. V tomto období může absolutní maximum vystoupat až na 42 °C. Únor je nejchladnějším měsícem roku, teplota vzduchu může klesnout až na -39 °C. Roční amplituda průměrných měsíčních teplot vzduchu na meteorologické stanici v Sheleku je 32,1 °C a absolutní hodnoty se zvyšují na 81 °C, viz tabulka 1. [2]

**Tabulka 1: Dlouhodobé hodnoty teploty vzduchu na MS Shelek (H = 606 m), °C**

Teplota vzduchu	Měsíc												Rok
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Průměrná	-7,9	-5,2	3,3	12,1	17,6	21,9	24,2	22,8	17,4	10,0	0,9	-5,3	9,3
Maximální	13	19	28	34	38	39	42	42	38	32	22	14	42
	1940	1963	1962	1946, 1982	1980	1984	1983	1979	1959	1970	1978	1980	1983
Minimální	-36	-39	-28	-9	-3	4	8	5	-3	-8	-38	-32	-39
	1969	1951	1951	1966	1936	1985	1941	1946	1944	1935	1952	1959	1951

### Srážky

Roční srážky jsou přibližně 236–254 mm. Meziroční rozdělení atmosférických srážek je poměrně pravidelné. Na teplé období připadá zhruba 50 až 60 % ročních srážek a na chladné období 40 až 50 % z celkového počtu. Maximální množství srážek v uvažované oblasti je pozorováno v dubnu až červnu a minimální v srpnu až září. Maximální denní srážky jsou 41 mm, viz tabulka 2. [3]

**Tabulka 2: Dlouhodobé hodnoty atmosférických srážek, mm**

Meteostanice	H, m	Měsíc												Rok
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Malybai	870	14	14	21	27	33	27	20	13	12	17	21	16	236
		16	14	22	23	24	29	24	18	16	24	30	28	30
Shelek	606	18	15	21	30	32	28	17	12	13	21	26	21	254
		19	17	17	30	24	30	30	13	24	41	23	22	41

*Poznámka: Číselník zobrazuje průměrné množství srážek za dané období, ve jmenovateli jsou uvedeny maximální hodnoty denního množství srážek.*

### Sněhová pokrývka

Délka období sněhové pokrývky úzce souvisí s výškou a reliéfem oblasti. V podhorských oblastech (stanice Shelek, H = 606 m, viz tabulka 3) se sněhová pokrývka vytváří na konci listopadu až prosince a trvá do konce února až do začátku března. Délka sněhové pokrývky se pohybuje od 3 do 5 měsíců. [3]

**Tabulka 3: Dlouhodobé hodnoty hloubky sněhové pokrývky a akumulace vody v ní na meteorologické stanici Shelek (H = 606 m)**

Měsíc	XI		XII			I			II			III	
Dekáda	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Průměrná hloubka, cm	1	2	2	4	6	8	8	9	9	6	5	3	1
Obsah vody v poslední den, mm					13	15	16	19	13	13	9		

### Vítr

Horské oblasti jsou významné výraznou cirkulací s pravidelnou polodenní změnou směru větru: horské větry jsou pozorovány krátce po západu slunce a pokračují až do jeho východu, zatímco ve dne převládají větry směřující do hor. Větry v údolí jsou výraznější v létě, pozorovány za kratší dobu, ve dne. Průměrné roční rychlosti v horách rostou s nadmořskou výškou. V podhůří se průměrné roční rychlosti větru pohybují od 3 do 4 m/s (viz tabulka 4). [3]

**Tabulka 4: Dlouhodobé hodnoty průměrné rychlosti větru v MS Shelek (H = 606 m), m/s**

Meteostanice	Měsíc												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Shelek	4,5	4,3	4,3	4,1	3,5	2,9	2,6	2,4	2,7	3,5	3,9	4,2	3,6

### 3.1.3 Hydrografie

Řeka Shelek je druhým největším pravým přítokem řeky Ili. Pramení v horském uzlu Sheleko-Keminském mezi pohořími Ilijski Alatau a Kungej Alatau. Řeka dostala své jméno po soutoku řek Zhangyrak, Jihovýchodní Talgar a Jižní Issyk, které pramení u největších ledovců: Zhangyrak, Bogatyr a Korzhenovsky, v nadmořských výškách 3 300 až 3 500 m. V horské části řeka Shelek přijímá více než 70 velkých a malých přítoků a po průtoku hor se stává plně tekoucí řekou, jednou z největších řek v jižním Kazachstánu. Na horním toku protéká řeka v hluboké rokli mezi jižními svahy Ilijski Alatau a severními svahy Kungej Alatau. [1]

Povodí řeky Shelek v linii projektované přehrady má plochu 4 300 km<sup>2</sup>. Místo projektované přehrady se nachází asi 1,3 km nad hydrologickou stanicí řeky Shelek ve vesnici Malybai a asi 12,9 km po proudu od nádrže Bartogay.

## 3.2 Hydrologické charakteristiky povodí toku Shelek

V oblasti výstavby přehrady (vesnice Malybai) provádí měření a studium hydrologického režimu řeky Shelek od roku 1928 hydrometeorologická služba Kazachstánu. Informace o kapalném, pevném toku a ledovém režimu řeky Shelek – v. Malybai jsou umístěny v [1], [3].

Tající vody „věčných“ sněhů a ledovců hrají hlavní roli při plnění řeky Shelek.

Podle charakteristik v ročním průtoku řeky Shelek lze rozlišit tři hlavní období:

- 1) Období sněhové povodně – tvořené hlavně vodou z roztátého sezónního sněhu. Začátek povodně je určen nástupem kladných teplot vzduchu;
- 2) Období sněhově-ledové povodně – tvořené hlavně tajícími vodami vysokohorských sněhů, sněhových polí a ledovců. Toto období se shoduje s nejteplejším obdobím roku;
- 3) Období malovodné – průtok řeky je zásobován hlavně vodami akumulovanými aktivním povrchem povodí, zejména podzemními vodami. Toto období je charakterizováno relativně nízkým průtokem vody, který postupně klesá až do začátku povodně následujícího roku.

### 3.2.1 Průtok vodního toku Shelek

V roce 1983 přirozený stav průtoku řeky Shelek narušila výstavba vodní nádrže Bartogay, jejíž přehrada se nachází přibližně 12,9 km nad uvažovaným úsekem. Z tohoto důvodu byla řada průtokových poměrů rozdělena do dvou období:

- 1) 1928–1982, tj. období přirozeného průtoku;
- 2) 1983–2009, tj. doba průtoku regulovaná bartogayskou nádrží.

Během těchto dvou období byly vypočítány statistické charakteristiky a průtok různých pravděpodobností překročení, viz tabulka 5. Jak je patrné z údajů z této tabulky, v posledních letech se zvýšil průměrný roční průtok.

**Tabulka 5: Průměrný roční průtok toku Shelek**

Rok	Průtok Q (m <sup>3</sup> /s) od P, %								
	1%	3%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1928–1982	39,2	37,8	37,1	36,0	34,1	32,1	30,1	28,2	27,1
1983–2009	53,1	49,9	48,2	45,9	42,0	38,0	34,3	31,2	29,5

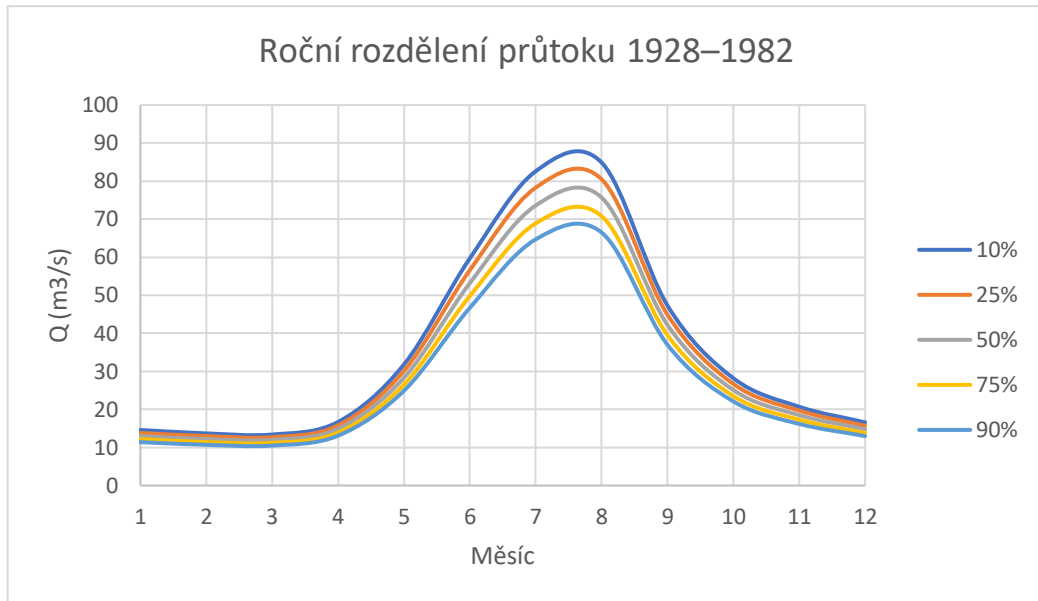
### 3.2.2 Roční rozdělení průtoku

Roční rozdělení průtoku je přirozený průtok po celý rok, rozdělený podle měsíců nebo ročních období. Rozložení odtoku podle druhu a zdroje plnění závisí jak na klimatických podmínkách, které určují množství a rozložení srážek a teploty vzduchu, tak na povrchových podmínkách, které určují vertikální rozdělení odtoku po povrchu a pod povrchem.

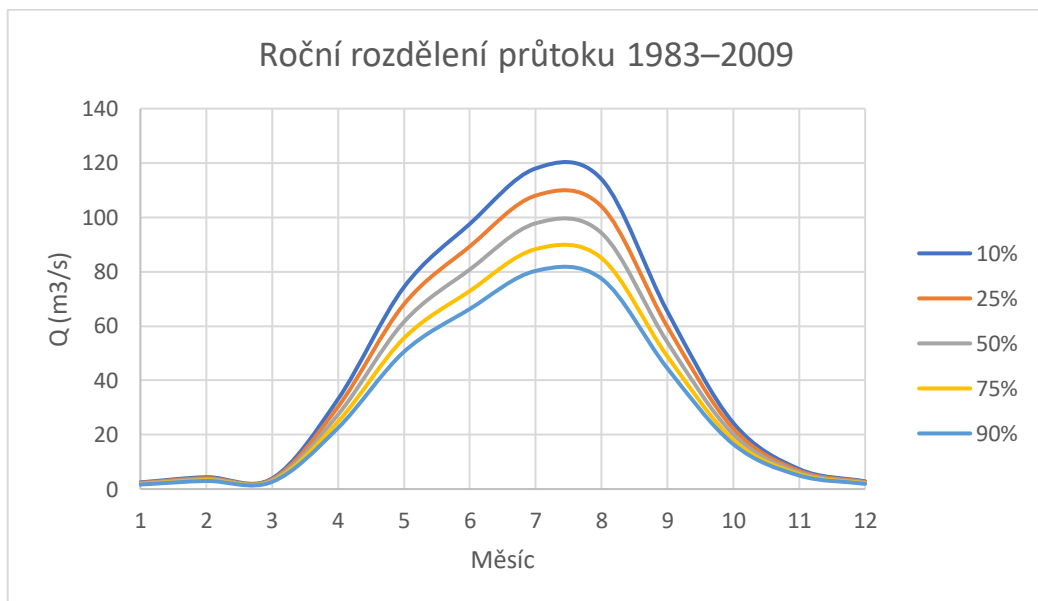
Hlavní typy distribuce odtoků meziročně:

- 1) řeky s jarními povodněmi
- 2) řeky s jarními a letními povodněmi
- 3) řeky s letními povodněmi
- 4) řeky subtropických oblastí s povodněmi v období podzim-zima nebo po celý rok [1]

Na roční rozdělení průtoku řeky Shelek má vliv nejen nadmořská výška a plocha povodí, ale také orientace svahů, na nichž se povodí nachází. Řeka Shelek, jejíž povodí se nachází na jižním svahu pohoří Ilijski Alatau a na severním svahu Kungej Alatau, patří k řekám s letními povodněmi. Největší měsíční průtok za přírodních podmínek je pozorován v červenci až srpnu, nejmenší měsíční průtok v únoru až březnu. Roční rozdělení průtoku v profilu navrženého vodního díla, čili v profilu přehrady Shelek, je uvedeno v obrázcích 1 a 2. Jak je patrné z obrázku 2, v posledních letech došlo k poklesu průměrných měsíčních průtoků v zimě. Hodnoty měsíčních letních průtoků se zvýšily.



Obrázek 1: Roční rozdělení průtoků v letech 1928–1982



Obrázek 2: Roční rozdělení průtoků v letech 1983–2009

Jak je zřetelně z výše uvedených grafů, po uvedení nádrže Bartogay do provozu se průtok pod ní v zimě snížil a v létě naopak zvýšil, což hovoří o tom, že v zimě nádrž Bartogay většinu vody akumuluje a v létě vypouští. Tento fakt se shoduje s tím, že tato nádrž se používá k závlahám.



### 3.2.3 Maximální průtok

Maximální průtok vody na toku Shelek vzniká táním sněhu a ledu. Tabulka 6 ukazuje maximální průtok v úseku řeky Shelek v místě navrhované přehrady. Jak je vidět z údajů v této tabulce, v letech 1983 až 2009 došlo k poklesu hodnot maximálního průtoku a také se snížila jeho variabilita. Obecně to naznačuje, že nádrž Bartogay má vyhlazovací účinek na špičkové průtoky.

**Tabulka 6: Maximální průtok toku Shelek**

Rok	Průtok Q (m <sup>3</sup> /s) od P, %						
	0,01%	0,1%	1%	3%	5%	10%	25%
1928–1982	458	334	280	252	237	216	184
1983–2009	186	173	157	148	144	137	126

Nezbytné je tady uvést, že není jasný zdroj těchto dat a v podkladech nebylo specifikováno, z jakých hodnot jsou odvozena. Nicméně pro účel diplomové práce se těmito daty řídíme.

### 3.2.4 Výjimečná povodeň v roce 1936

V důsledku analýzy řady maximálního průtoku je třeba poznamenat, že v roce 1936 byl změřen absolutní maximální průtok 185 m<sup>3</sup>/s a byl jako obvykle pozorován při povodni (20. května). Ve stejném roce, 11. ledna, byl zaznamenán vyšší průtok dosahující přibližně hodnoty 299 m<sup>3</sup>/s. Při zpracování řady pro výpočet statistických charakteristik byl průtok 11. ledna 1936 zamítnut jako neobvykle vysoký pro zimní podmínky kvůli protržení ledového ucpání řek v horách.

Pro řeku Shelek v uvažované oblasti jsou charakteristické rušivé jevy. Proud vody, které někdy procházejí ledovými zácpami, se vrhají po proudu s velkou rychlostí a intenzivní silou, čímž prolomí novou ledovou zácpu a způsobí velké škody.

V noci z 10. na 11. ledna 1936 v důsledku protržení ledové zácpy v horách tok směsí vody, ledu a kalu zničil všechny zácpy a zdeformoval kanál. Při pohybu proud vody ničil stromy, převaloval velké balvany po dně a nesl obrovské bloky ledu. Do rána 11. ledna voda ustoupila a na březích zůstala velká hromada ledu.

### 3.2.5 Denní průměrné průtoky

Byly obdrženy denní průměrné průtoky, které byly dosaženy nebo překročeny v průběhu roku.

Jsou rozděleny do dvou období:

- 1) před výstavbou nádrže Bartogay od roku 1928 do roku 1982;
- 2) po výstavbě nádrže Bartogay od roku 1983 do roku 2009.

Jak je vidět z tabulky 7, nádrž Bartogay trochu snížila průměrné denní průtoky, ale velký vliv na to neměla.

**Tabulka 7: Průměrné denní průtoky**

Rok	Průtok Q (m <sup>3</sup> /s) od P, %					
	1%	25%	50%	75%	90%	95%
1928–1982	107,9	81,8	71,2	62,8	55,6	55,2
1983–2009	99,6	65,7	58,9	54,8	48,0	45,0

### 3.2.6 Splaveninový režim

Přítomnost uvolněných třetihorních a kvartérních útvarů a vysoce rozvinuté rozrušování reliéfu přispívají k akumulaci a odstraňování velkého objemu pevného odtoku z povodí řeky Shelek. Většina odtoku sedimentů se přepravuje během teplé sezóny. Zvyšování odtoku sedimentů začíná současně se zvyšováním hladiny vody. Maximální hodnoty zákalu a vypouštění sedimentů jsou v červenci až srpnu. Minimální zákal a vypouštění sedimentů jsou pozorovány v chladném období.

Od roku 1983 nádrž Bartogay začala zachycovat pevný odtok (zhruba 90 % splavenin se usazuje v nádrže) a do řeky začala proudit relativně čistá voda.

### 3.2.7 Ledový režim

Řeka Shelek patří k řekám s ledovými jevy s nestabilním zamrznáním. Před uvedením nádrže Bartogay do provozu řeka Shelek trvale nezamrzala, viz tabulka 8. Od začátku provozu nádrže Bartogay se začalo objevovat zamrznání, které je spojeno se snížením vypouštění zimní vody.

Tabulka 8: Ledové jevy na řece Shelek

Charakteristika	Datum		Trvání, den	
	začátek ledových jevů	konec ledových jevů	počet ledových jevů	zamrznutí řeky
Střední	19.11	15.03	99	
Raný	19. 10. 1952	15. 2. 1963	138	
Rok/Procent výskytu			1950–1951	0
Pozdní	24. 12. 1971	3. 4. 1951	62	
Rok/Procent výskytu			1978–1979	100 %

Hlavní roli v ledovém režimu řeky Shelek v přírodních podmínkách hraje led ve vodě, jehož tvorba je nejcharakterističtější rysem zimního režimu.

### 3.2.8 Závěr

Dále následuje souhrn z obdržných podkladů:

- 1) Všechny údaje, které jsou uvedeny v kapitole 3. Vstupní podklady, byly obdrženy od společnosti TOO Kazhydro z dokumentu „Obecná vysvětlující zpráva“.
- 2) Údolí řeky Shelek má poměrně složitou morfologickou strukturu. Horská část je dána širokým podélným údolím v hřebeni mezi pohořími Ilijski Alatau na severu a Kungej Alatau na jihu.
- 3) Povodí řeky Shelek se nachází ve sféře vlivu arktických, polárních a tropických vzdušných mas. V zimě zde dominuje sibiřská anticyklóna s jasným klidným počasím a nízkými teplotami vzduchu. Na jaře se zintenzivňuje cyklónová aktivita, v důsledku čehož vlhké vzdušné masy z Atlantiku, Středomoří a Černého moře přinášejí velké množství srážek. Na podzim a na začátku zimy jsou pozorovány průlomy arktických vzdušných mas, které způsobují prudký pokles teploty vzduchu, zejména během studených invazí z oblastí Karského moře.
- 4) Povodí řeky Shelek v místě navržené přehrady má plochu  $F = 4\,300 \text{ km}^2$ .
- 5) Od roku 1983 režim přirozeného průtoku řeky Shelek narušila vodní nádrž Bartogay, jejíž přehrada se nachází přibližně 12,9 km nad uvažovanou hrází,

jež je předmětem diplomové práce. V tomto ohledu byla řada průtokových pozorování rozdělena do dvou období:

- 1928–1982, tj. období podmíněně přirozeného průtoku;
  - 1983–2009, tj. doba průtoku regulovaná nádrží Bartogay.
- 6) Tající vody „věčných“ sněhů a ledovců hrají při plnění řeky Shelek hlavní roli. Řeka Shelek patří k řekám s letními povodněmi.
  - 7) Největší měsíční průtok na řece Shelek v místě projektované přehrady je pozorován v červenci až srpnu. Hodnoty největších letních měsíčních průtoků v období od roku 1983 do roku 2009 se zvýšily, ale maximální N-leté průtoky se snížily. Lze předpokládat, že nádrž Bartogay transformuje letní povodně.
  - 8) Nejmenší měsíční průtok na řece Shelek v místě projektované přehrady za přírodních podmínek je pozorován v únoru až březnu. V období od roku 1983 do roku 2009 pod vlivem nádrže Bartogay došlo k výraznému snížení minimálního průtoku. To je způsobeno akumulací průtoku nízké vody v nádrži.
  - 9) Splaveninové odtoky na řece Shelek v profilu projektované přehrady po zprovoznění nádrže Bartogay se snížily téměř o 90 %.
  - 10) Po zprovoznění nádrže Bartogay se na řece Shelek začaly objevovat ledové jevy v profilu projektované přehrady, což je spojeno se snížením vypouštění zimní vody.

### **3.3 Topografické geodetické vlastnosti**

#### **3.3.1 Topografický a geodetický průzkum**

Pro místo projektované hráze na řece Shelek existují mapy v měřítku 1 : 25 000 a menší než státní vydání sestavené v souřadnicových systémech 1942 a 1963 a v baltském výškovém systému.

#### **3.3.2 Provedené topografické a geodetické práce**

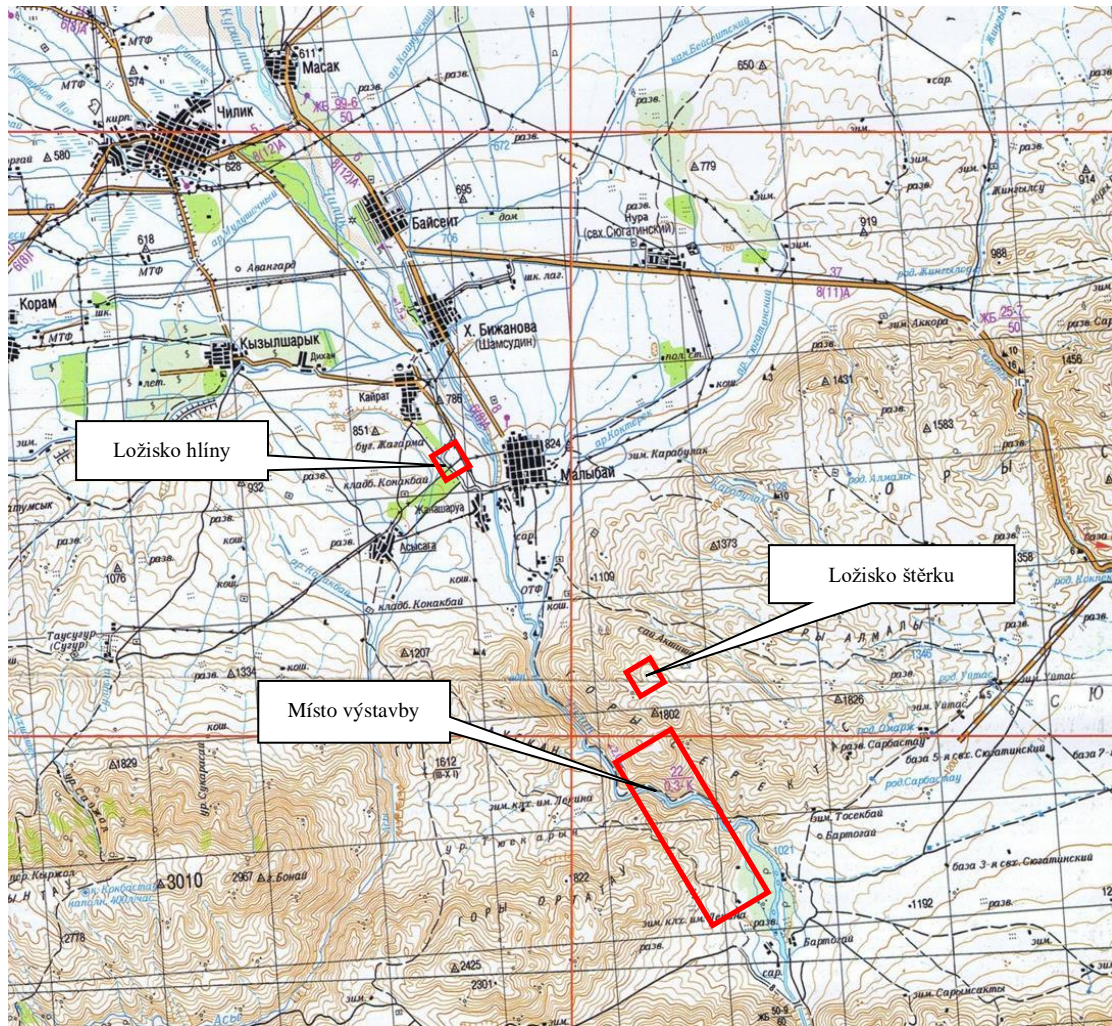
V souvislosti s návrhem nádrže na řece Shelek, kromě dostupných materiálů a jejich podrobností, byly provedeny tyto topografické a geodetické práce:

- Na navrhovaném místě byl proveden topografický průzkum pravobřežní části údolí řeky Shelek pro umístění hlavních staveb projektu v M 1 : 2000, vyrovnání podélného profilu vodní hladiny řeky na místě dlouhém 1,4 km, vyrovnání břehů a měření vodního toku v souososti zarovnané s osou hráze regulační nádrže;
- Následně byl proveden topografický průzkum údolí řeky Shelek v místě usazení hlavních konstrukcí hráze M 1 : 1000;
- Byly provedeny topografické průzkumy ploch lomů štěrkových a hlinitých půd v měřítku 1 : 1000.

Topografický průzkum hlinitých půd, horizontální a vertikální vazby inženýrsko-geologických děl na ní umístěných byl proveden v místním souřadnicovém systému a ve výškovém systému Balt po vyrovnání (1977). Všechny ostatní topografické práce byly provedeny v konvenčním souřadnicovém systému a v baltském výškovém systému.

### **3.4 Inženýrskogeologické podmínky**

Místo projektované stavby se nachází 4 km severně od osady Malybai v kaňonovité rokli vytvořené řekou Shelek v severních svazích východních výběžků hřebene Zailijskij Alatau. Pravou stranu rokle představuje pohoří Serektas, levou pohoří Sauskan (viz obrázek 3 a obrázek 4).



Obrázek 3: Situace širších vztahů



Obrázek 4: Pohled na rokli v místě přehrady

Absolutní výšky povrchu v oblasti projektované konstrukce se pohybují v rozmezí 877 až 1 103 m.

### **3.4.1 Geologické složení**

Komplexní geologická struktura uvažovaného území je do značné míry tvořena širokou škálou stratigrafických a litologických komplexů hornin vyvinutých ve studovaném území.

### **3.4.2 Hydrogeologické podmínky**

Složitá geologická a tektonická struktura popisovaného území určovala originalitu hydrogeologických podmínek daného území, která je vyjádřena velkou heterogenitou distribuce zvodnělých vrstev a množstvím vody v horninách, které je tvoří.

Podzemní voda je omezena na nivu a nejnižší terasy říčních niv. Podzemní voda je zpravidla neomezená a vyskytuje se v hloubkách 0,5 až 3,5 m.

### **3.4.3 Geodynamické procesy**

Šíření, stupnice projevů, aktivita, podmínky a faktory formování geodynamických procesů jsou regionální a zonální.

Mezi regionální faktory patří geologická struktura, geodynamický režim, geomorfologické podmínky; do zonální se řadí výšková zonace horského systému, klimatické a krajinné podmínky, zalévání a zmrazování půd.

Interakce a vzájemné ovlivňování výše uvedených faktorů vytvořily následující komplex nejreprezentativnějších geodynamických procesů v popsané oblasti.

Kontinentální klima podmiňuje vývoj fyzického (zejména mrazivého) zvětrávání skalnatých a poloskalnatých hornin. Intenzitu mrazového a teplotního zvětrávání výrazně ovlivňuje silná tektonická fragmentace a členitý reliéf.

V důsledku fyzického zvětrávání ve skalních masivech vznikají moderní zvětralé krustové a lomové zóny, které mají zonální strukturu s celkovou tloušťkou 50 až 70 m. Ve zlomených zónách jsou pod vlivem fyzického zvětrávání rozdrčeny kameny a bloky. Produkty zvětrávání pod vlivem gravitace se pohybují po svazích hor a po stranách kaňonů a hromadí se na jejich úpatí ve formě tálů, vodopádů a sesuvů půdy.

Povodí řeky Shelek se nachází v seismicky nebezpečné oblasti s předpokládanou intenzitou třesení 9,5 bodu, při standardní intenzitě 9 bodů. Jeho oblast obsahuje epicentra zemětřesení o síle  $M < 5,0 \rightarrow 8,1$ . Jsou omezeny na zóny seismogenních poruch Kungejskij (Chiliko-Keminskij) a jejich východních větví – Sogatinskij, Bartogayskij, Toraigyrskij, Baisorun-Chiliskij, Zhalanashskij, Severo-Kungeiskij atd., směřující k uzlům jejich průsečíků s příčnou linií. Porucha Chilik-Kemin, položená v pozdním kambriu, je aktivní po celou geologickou historii. Celková intenzita nejnovějších pohybů podél ní je 6,5 až 8 km.

### 3.4.4 Geotechnické podmínky

Umístění hráze a ostatních funkčních objektů se nachází ve středním toku řeky Shelek, kde řeka v rokli ve tvaru písmene V prořezává skalní masiv podél hranice pohoří Serektas (ze západu) a Sauiskan (z východu). Nejvyšší bod pohoří Serektas má absolutní výšku 1 828 m n. m., pohoří Sauiskan – 1 680 m. n. m.

Z hlediska geomorfologie se zájmové území nachází v dolním pásmu středních hor, které se vyznačuje relativně hladkými konturami reliéfu s intenzivní erozní disekcí. Hloubka údolí řeky Shelek, přítoková údolí a saiev<sup>1</sup> se mění v rozmezí 200–300 m. Strmost svahů se pohybuje od 25 do 80°. Povrch svahů je pokryt klastickým materiálem různé velikosti a složení, jež je produktem zvětrání (viz obrázek 3).

Lokalita umístění přehrady se nachází přibližně 1 km proti proudu řeky Shelek od jejího výstupu za pohoří na povrch podhůří (horní část vějíře řeky Shelek). Údolí řeky má příčný profil ve tvaru písmene V se složitým obrysovým povrchem.

Koryto řeky se skládá z moderních lužních balvanových půd se štěrkopískovou výplní a z vzácných oblázkových a štěrkových půd. Často podél pobřežní oblasti řeky je ve složení kanálových sedimentů zaznamenána přítomnost blokového a drceného kamenného materiálu. Velikost největších balvanů dosahuje průměru 1,5 m, balvany (přesněji skalní bloky) mají průměr až 2,5 m.

---

<sup>1</sup> Sai je název forem eroze roklí v pouštích přijímaných ve Střední Asii a Kazachstánu.





Obrázek 5: Celkový pohled na horské svahy

### 3.4.5 Nádrž

Prostorem nadržení bude úzké údolí řeky Shelek, která protíná pohoří Serektas a Sauyskan. Příčný profil prostoru nadržení má složitý obrys ve tvaru písmene V. V některých oblastech (v zatáčkách údolí) se roklina prudce rozšiřuje a vytváří miskovité nádoby s asymetrickými stranami.

V krycích sedimentech jsou nejrozšířenější deluviálně-proluviální formace vějířových kuželů v ústí přítokových roklí. Jejich tloušťka dosahuje 10 až 12 m.

Pobřeží nádrže bude tvořeno jak na skalách, tak na tálech. V oblastech odkrytí horniny podloží budou břehy nádrže představovat vysoké strmé skalní masivy.

### 3.4.6 Sdružený objekt (šachtový přeliv a výpusti)

Místo pro přívodní a odpadní kanál, šachty a výpusti se nachází na levé straně údolí řeky Shelek. Podle geofyzikálních údajů je hloubka horniny v této oblasti 3,5–4,0 m. Základem konstrukcí budou horniny a beton.

Trasa odpadního kanálu stavebního a provozního přelivu má celkovou délku zhruba 300 m a protíná levobřežní skalní stranu údolí řeky Shelek ve vzdálenosti přibližně 60–80 m od koryta řeky.

### **3.4.7 Stavební materiály**

#### **Štěrť špatně zrněný**

Místo ložiska štěrťových zemin se nachází pod plánovanou přehradou na pravém břehu řeky Shelek, kde je málo rozvinuté zemědělství.

#### **Hlína písčítá**

Hlína se vyskytuje přímo v oblasti zátopy a dalším zdrojem hlíny je ložisko ve vzdálenosti cca 10,6 km od místa výstavby.

## 4 Účel a konstrukční řešení

### 4.1 Účel vodního díla

Hlavním účelem výstavby hráze je dodávání dostačujícího množství vody pro provoz vodní elektrárny ГЭС-19 (VE-19). Jedná se o část celé plánované kaskády vodních elektráren sloužících k dodávce elektřiny pro část Almatinské oblasti nacházející se v jižní části Kazachstánu. Hlavním požadavkem je velikost spádu, a to je 50 m.

Podle poskytnutých údajů by výstavba takové vodní elektrárny snížila deficit elektřiny pro Almatinskou oblast cca na polovinu.

Samotná elektrárna není danou diplomovou prací řešena.

### 4.2 Konstrukční řešení

Hráz byla dle zadání rozpracovaná ve třech různých variantách těsnění: střední zemní těsnění, asfaltobetonové střední těsnění a geomembránové návodní těsnění.

V následujících kapitolách (4.2.1 až 4.2.3) jsou rozepsaná konstrukční řešení těchto typů těsnění.

#### 4.2.1 Hráz se středním zemním těsněním

Typ hráze – sypaná – byl vybrán s ohledem na dostupnost místního materiálu pro realizaci stabilizační části hráze.

Za výhody sypané hráze lze považovat:

- vybudování z místních materiálů
- menší náročnost z hlediska pracnosti
- menší náročnost z ekonomického hlediska
- snadné přizpůsobení základovým podmínkám
- možnost vysoké mechanizace

Ale sypaný typ hráze má i své nevýhody:

- nutnost zvládnutí režimu vody prosakující tělesem hráze

- malá odolnost proti účinkům vody přelévající se přes korunu
- funkční objekty je obtížné bezpečně začlenit do přehradního tělesa
- více závislý na klimatické vlivy ve fázi výstavby

Jako stavební materiál stabilizační části bude používán špatně zrněný štěrk – třída g2. Jedná se o vhodný materiál z pohledu jeho konstrukčních charakteristik a dobrého umístění ložiska vedle místa výstavby.

Konstrukční tvar hráze – lichoběžník – je obvykle používaný tvar, neboť více vyhovuje statické bezpečnosti než např. trojúhelník.

Hráz bude mít výšku 62 m od nejhlubšího místa nádrže. Kóta koruny se bude nacházet ve výšce 932,00 m n. m., šířka koruny bude 9 m, délka 161 m. Na koruně bude vybudován vlnolam. Vlnolam se bude napojovat na střední zemní těsnění a případně na další typy těsnění. Šířka koruny hráze vychází ze šířky těsnícího jádra, výpočet těsnícího jádra je proveden v kapitole 5.5.

Kóta zásobního prostoru se nachází ve výšce 928,50 m n. m. a kóta stálého nadržení ve výšce 907,00 m n. m. Mezní bezpečná hladina je ve výšce 931,90 m n. m. Mrtvý prostor má hladinu ve výšce 885,00 m n. m.

Vzdušní svah bude mít sklon 1 : 2, návodní 1 : 2,5 až 1 : 3. Poměr 1 : 3 bude v místě přechodu tělesa hráze v těleso menší hráze, která bude použita jako ochrana staveniště v průběhu výstavby.

V pravém zavázání se nachází vhodný materiál pro výstavbu hráze a nevhodný pro zakládání a z toho důvodu bude odtěžen a založení pravého zavázání bude provedeno do skalního podloží. Štěrk a hlína, které budou odtěženy z pravého zavázání, budou následně použity při výstavbě stabilizačního tělesa hráze a těsnícího prvku. Levé zavázání a střed budou rovněž založeny do skalního podloží.

Jako materiál pro stabilizační část bude využíván štěrk špatně zrněný (GP). Z důvodu toho, že v obdržných podkladech nebyly upřesněny vlastnosti této zeminy, byly použity střední charakteristické hodnoty nasycené hydraulické vodivosti dle [12].

Střední zemní těsnění bude z písčité hlíny, která se vyskytuje v oblasti zátopy, ale i v nedalekém ložisku. Tloušťka zemního jádra v nejširším místě je 30 m, v nejužším 8 m. Svah má sklon 5 : 1. Pro tento typ těsnění byly provedeny výpočty, viz kapitola

5.5.1. Mezi těsnícím prvkem a stabilizační částí leží dvě vrstvy – přechodová zóna a filtr, který musí chránit zemní těsnění před vymíláním jemných částic.

Mezi výhody středního zemního těsnění z hlíny patří:

- využití místních materiálů
- pro výstavbu se používá stejná technologie a stroje jako pro stabilizační těleso hráze
- prakticky nestárne (neztratí s časem těsnící ani mechanické vlastnosti)

Nevýhody jsou:

- musí mít ochranné filtry, aby se zabránilo vymývání jemných částic
- větší průsaky vody z nádrže v porovnání s méně propustnými AB těsněním a geomembránovým těsněním

Těsnící jádro se bude napojovat na skladbu vozovky v koruně hráze.

Ve vzdušní patě se bude nacházet drenážní potrubí, které bude sloužit k odvádění vody z tělesa hráze.

Návodní svah bude obložen kamenným záhozem. Opevnění návodního svahu brání erozi návodní stabilizační části hráze. Vzdušní svah bude ohumusován a následně na něm bude osazeno osetí. Na vzdušním svahu budou umístěny dvě lavičky se šířkou 4 m.

#### **4.2.2 Hráz se středním asfaltobetonovým těsněním**

Ve druhé variantě byla rozpracována sypaná hráz se středním asfaltobetonovým těsněním. Konstrukce stabilizačního tělesa hráze zůstává skoro stejná jako konstrukce stabilizačního tělesa hráze se zemním středním těsněním.

Konstrukční tvar hráze bude lichoběžník, se sklonem 1 : 2 na vzdušním svahu a 1 : 2,5 až 1 : 3 na návodním. Hráz bude založená do skalního podloží. Před tím z pravého závazání budou odtěženy štěrk a hlína. Štěrk bude následně využit pro výstavbu stabilizačního tělesa hráze. Materiálem pro stabilizační část bude štěrk špatně zrněný (GP).

Hráz bude mít výšku 62 m. Šířka koruny bude 5 m, délka 161 m. Na koruně bude vybudován vlnolam. Kóta koruny se bude nacházet ve výšce 932,00 m n. m.

Hladiny vody budou výškově uspořádány stejně jako u hráze se zemním těsněním: mezní bezpečná hladina leží ve výšce 931,90 m n. m., 928,50 m n. m. – hladina zásobního prostoru, 907,00 m n. m. – hladina stálého nadržení.

Jako těsnění bude využito asfaltobetonové střední těsnění. Při tomto typu těsnění se uprostřed tělesa hráze umísťuje nepropustná vrstva z asfaltobetonu. Tato technologie byla vyvinuta v šedesátých letech minulého století. Střední hutněná asfaltobetonová těsnění mají tloušťku 30–60 cm. [3] Navržena bude tloušťka 60 cm.

Výhody středního asfaltobetonového těsnění jsou:

- velmi malá propustnost
- menší ztráty vody z nádrže
- těsnicí vrstva je zachována uvnitř tělesa hráze a nedochází k její degradaci
- stačí poměrně malá tloušťka

Za nevýhody lze považovat:

- komplikovanější postup výstavby
- vyžaduje jinou technologii než stabilizační těleso sypané hráze
- vyžaduje jiné stroje

Návodní svah bude obložen kamenným záhozem. Opevnění návodního svahu brání erozi návodní stabilizační části hráze. Vzdušný svah bude ohumusován a následně na něm bude osazeno osetí. Na vzdušném svahu budou umístěny dvě lavičky se šířkou 4 m.

### **4.2.3 Hráz s návodním geomembránovým těsněním**

Za třetí variantu těsnění sypané hráze bylo vybráno geomembránové návodní těsnění. Konstrukce tělesa hráze se bude trochu lišit od minulých typů těsnění.

Tvar konstrukce hráze bude lichoběžníkový. Na vzdušném svahu bude sklon 1 : 2, na návodním 1 : 2,5 a v místě napojení na malou ochrannou hrázku se sklon změní na 1 : 3. Na rozdíl od předchozích variant budou svahy velké a malé hráze tvořit jeden kontinuální svah, aby geomembránové těsnění šlo snadněji postavit.

Na vzdušném svahu budou umístěny dvě lavičky se šířkou 4 m.

Založení hráze bude provedeno do skalního podloží, po odtěžení štěrku a hlíny z pravého závazání. Výška hráze bude stále 62 m. Šířka koruny bude 5 m, délka 161 m. Na koruně bude vybudován vlnolam. Kóta koruny se bude nacházet ve výšce 932,00 m n. m.

Hladiny vody budou výškově uspořádaný stejně jako u hráze se zemním a asfaltobetonovým těsněním: mezní bezpečná hladina ve výšce 931,90 m n. m., hladina zásobního prostoru ve výšce 928,50 m n. m. a 907,00 m n. m. – hladina stálého nadržení.

Jako těsnění bude využito geomembránové návodní těsnění. Geomembránové těsnění tvoří skoro nepropustnou vrstvu na návodním svahu hráze. V návodní patě hráze bude navrženo umístění chodby s drenážním potrubím, které bude sloužit pro odvádění vody. Na toto potrubí se bude napojovat geomembránové těsnění.

Geomembránové těsnění hráze Shelek bude navrženo s tloušťkou 0,0045 m. Pod těsněním bude umístěná podkladní vrstva s tloušťkou 0,5 m.

Mezi výhody návodního geomembránového těsnění patří:

- nenáročná výstavba z hlediska technologie
- levná výstavba
- prakticky nepropustné
- skoro žádné ztráty vody z nádrže

Za nevýhody lze považovat:

- je třeba chránit před poškozením
- malá hmotnost (obtížná výstavba při větrném počasí u tenčích membrán)
- snadno se nadzvedává vztlakovými silami (proto je třeba umisťovat drenáž pod geomembránou, aby odváděla prosáklou vodu)

V případě geomembránového těsnění není potřeba doplňkového chránění proti erozi stabilizačního tělesa, jelikož ochranu bude tvořit samotná vrstva těsnění.

Ve všech třech variantách k ochraně staveniště před povodní bude využívána malá hrázka s celkovou výškou cca 25 m, se stejným těsněním, jako bude u velké hráze. Koruna malé hráze bude ve výšce 900,00 m n. m., šířka koruny bude 6 m. K převádění vody ze stavby bude využíván odpadní tunel.

#### 4.2.4 Sdružený objekt

Sdružený objekt je tvořen výpustěmi, šachtovým přelivem a odpadním tunelem a věží.

Objekty spodních výpustí obvykle slouží k regulaci hladiny v nádrži a k zachování průtoku a životnosti toku pod přehradou. Dolní kóta spodní výpusti je zvolena s ohledem na předpokládané množství splavenin (i když většina splavenin se usazuje ještě v nádrži Bartogay, neznamená to, že v navrhované nádrži Shelek se vyskytovat nebudou) na kótě 885,00 m n. m. a mrtvý prostor je vymezen kótou dna 870,00 m n. m. a hladinou mrtvého prostoru – 885,00 m n. m.

Dvě výpusti budou umístěny do tunelu, který bude v průběhu výstavby převádět vodu ze staveniště. Vstupní část tohoto tunelu bude zabetonovaná, jelikož výpusti jsou navrženy na průtok menší než potrubí sloužící pro převádění vody ze stavby. Výpusti se napojují na odpadní tunel v místě napojení šachty přelivu. Mají průměr 3,1 m každá. Jsou navrženy tak, aby každá z nich převáděla průtok větší než minimální zůstatkový průtok a jednoletou povodeň.

Každá výpust' musí být vybavena minimálně třemi uzávěry – dvěma provozními a jedním revizním. [3] Obě výpusti mají stavidlový uzávěr, jako revizní, který je neregulovatelný. Uzávěr bude umístěn přímo před věžovým objektem, do kterého bude umístěno zařízení k ovládní uzávěru. A dva uzávěry – klapkový a jehlový – jsou umístěny do potrubí ve věžovém objektu.

Výpusti budou uloženy do betonového podkladu.

Z hlediska okolí hráze (nevýhodný tvar údolního profilu pro výstavbu skluzu) a typu hráze – sypaná, byl vybrán typ přelivu – šachtový. Také šachtový přeliv dovoluje využití tunelu, sloužícího k převádění vody ze stavby. Šachtový přeliv je navržen na  $Q_{10000}$ . Celková délka jeho přelivné hrany je 69,1 m. Celkovou délku je potřeba zkrátit o délku věže, která se napojuje na šachtový přeliv. Zkrácení zahrnuje v sobě délku věží – 7 m a vliv boční kontrakce. Průměr koruny šachtového přelivu je 22 m. Od vtokové části až dolů se šachta zužuje až na 6,8 m.

V místě přechodu šachty v odpadní tunel je umístěno zavzdušnění. Odpadní tunel je navržen tak, aby nedocházelo k tlakovému proudění.



Šachtový přeliv je částí věžového objektu a je z betonu. Je navržen tak, aby nedocházelo k zahlcení, což by bránilo volnému pádu vody a narůstání kapacity průtoku by se snížilo.

Odpadní tunel leží mimo těleso přehrady. To dovoluje co nejméně zasahovat do tělesa hráze v průběhu výstavby a provozu hráze a nenarušovat jeho stabilitu. Prochází levým břehem uvnitř skalního podloží. Těsně za napojením šachty přelivu se tunel náhle rozšiřuje, aby se zabránilo možnosti vzniku tlakového proudění. Odpadní chodba je uložena do betonového podkladu a skalního podloží. Je ukončena vývarem, neboť v tunelu vzniká bystrinné proudění, které je potřeba ztlumit, než se dostane do stávajícího koryta toku.

Odpadní tunel má průměr 7,3 m. Slouží k převádění vody pro desetitisíciletou povodeň. V průběhu výstavby hráze bude na odpadní tunel napojen tunel k převádění vody ze stavby.

Věž je umístěna ve výšce 932,00 m n. m., aby nedocházelo k zatopení. Vede do ní můstek, 3 m široký, který se napojuje na nezatopený terén. Objekt je 7 m široký a 7 m dlouhý. Umístěn je zde výtah, schodiště a ovládací zařízení k uzávěrům spodních výpustí.

K místu napojování můstku do terénu bude vystavěna příjezdová komunikace vedená od osady Malybai. Vede podél vodní elektrárny až ke koruně hráze, kde se rozděluje na dvě cesty, jedna z nich pokračuje k odběrnému objektu a druhá vede po koruně hráze ke sdruženému objektu.

#### **4.2.5 Odběrný objekt**

Detailní požadavky na odběrný objekt nebyly stanoveny, pouze rozdíl výšek, proto byl odběrný objekt navržen podle vlastních názorů.

Odběrný objekt sestává z tunelu, který vede do budovy vodní elektrárny, šachty, přes kterou tam vtéká voda, dvou uzávěrů, vtokového objektu a věže pro ovládání uzávěrů.

Funkčnost odběrného objektu leží mezi výškami 928,50 m n. m., což je zásobní hladina nádrže, a 907,00 m n. m. – hladinou stálého nadržení, kde vtoková šachta přestane být zatopená.

Průměr tunelu odběrného objektu je 3,0 m. Tunel má sklon 12 %, je z betonu. Maximální výškový spád je 60,5 m, minimální je 40,0 m.

Odběrný objekt je osazen dvěma uzávěry u vtokové šachty a minimálně jeden bude umístěn v budově vodní elektrárny za turbíny.

Před rozdělením potrubí je umístěna vyrovnávací šachta. Vyrovnávací šachta musí bránit hydraulickému rázu. Hydraulický ráz je situace, kde dochází k nárůstům tlakové energie v potrubí. Tento jev vychází ze zákona zachování energie. Kinetická energie proudící kapaliny se vlivem uzavření cesty průtoku přemění na energii tlakovou. V případě, že je uzavření okamžité, což může nastat se stavidlovými uzávěry, jde o totální hydraulický ráz, který může způsobit destrukci potrubí.

Vyrovnávací šachta má průměr 20,0 m a výšku 45,0 m.

Terén vedle odběrného objektu je zarovnan do výšky 932 m n. m. a je napojen i na korunu hráze.

Turbíny vodní elektrárny by se měly nacházet ve výšce 868 m n. m. Od vodní elektrárny by mělo vést koryto napojené na stávající tok.

Turbíny a samotná vodní elektrárna nejsou v rozsahu dané diplomové práce detailněji řešeny.

#### **4.2.6 Vývar**

Odpadní tunel sdruženého objektu končí vývařištěm. Proudění vody v odpadním tunelu podle výpočtů (viz kapitola 4.4.2) bude bystrinné, proto je potřeba jej ztlumit před vypouštěním do stávajícího toku. Do vývaru budou umístěny rozrážeče pro zkrácení vodního skoku. Rozmístění rozrážečů se obvykle určuje podle modelového průzkumu. V rámci dané diplomové práce byl vybrán jeden z nejčastěji používaných typů rozmístění rozrážeče. Rozrážeče budou umístěny v místě dopadu vodního paprsku, a to v délce 42,00 m.

Celková délka vývaru je navržena 129,10 m, šířka 10,0 m a hloubka 15,0 m. Výška spádu bude 15,5 m. Je tvořen z betonu.

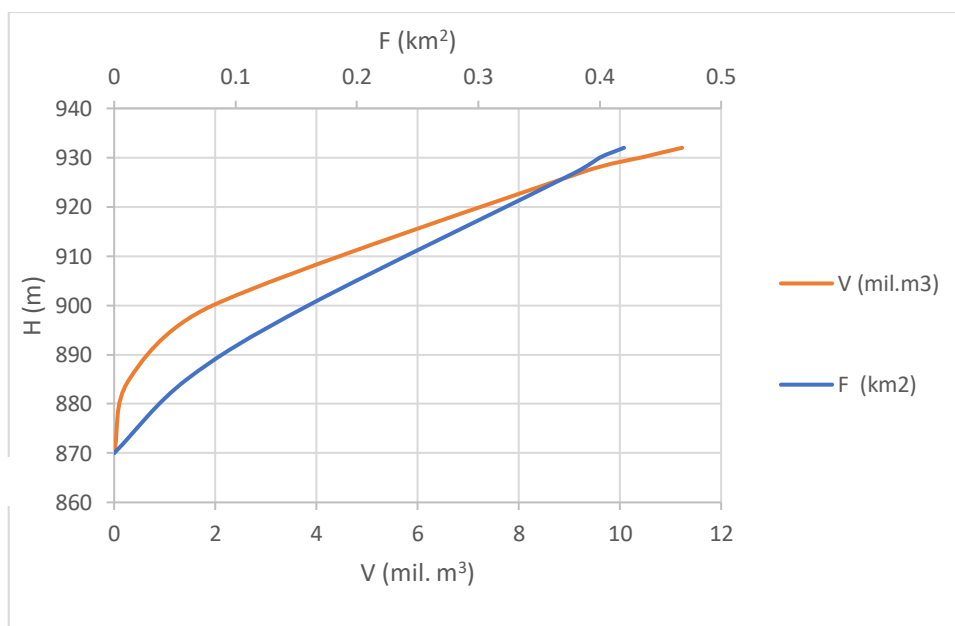
Vývar se napojuje na stávající koryto toku Shelek.

## 5 Výpočty

### 5.1 Charakteristické křivky nádrže

Hlavními charakteristickými křivkami nádrže jsou čára zatopených ploch a čára zatopených objemů. Křivky jsou na sobě závislé. Popisují tvar a charakter zatopeného území. Počítají se tak, že v každé nadmořské výšce, která nás zajímá, „procházíme“ s čarou a počítají se pod ní plocha a objem.

Vzhledem k obdržným podkladům bylo možné změřit plochy a vypočítat objemy jen přibližně pomocí mapy, která je uvedena ve výkresu A.2 – Situace širších vztahů.



Obrázek 6: Čáry zatopených ploch a objemů

### 5.2 Převýšení koruny hráze

Koruna hráze musí být převýšená o tolik, aby bylo možné zabránit přelévání a tím chránit hráz před porušením.

Výpočet výběhu větrových vln dle ČSN 75 0255

Nejdřív byla stanovena efektivní délka rozběhu vlny  $L_{ef}$ . Stanoví se z 15 radiál vedených tak, že střední radiála je totožná s hlavním směrem větru a sedm radiál po její každé straně se kreslí v intervalech po  $6^\circ$ . [1]

Vzdálenosti  $L_i$  byly odečteny v hladině ve výšce 931,00 m n. m.

Tabulka 9: Odečtené délky  $L_i$ 

i	$\varphi$ °	$\cos(\varphi)$	$\cos^2(\varphi)$	$L_i$	$L_i \cdot \cos^2(\varphi)$
7	42	0,74	0,55	110,00	60,75
6	36	0,81	0,65	558,40	365,48
5	30	0,87	0,75	625,00	468,75
4	24	0,91	0,83	667,30	556,91
3	18	0,95	0,90	1067,27	965,35
2	12	0,98	0,96	1191,31	1139,81
1	6	0,99	0,99	300,11	296,83
0	0	1,00	1,00	265,00	265,00
1	6	0,99	0,99	227,01	224,53
2	12	0,98	0,96	163,20	156,15
3	18	0,95	0,90	153,80	139,11
4	24	0,91	0,83	109,24	91,17
5	30	0,87	0,75	93,38	70,04
6	36	0,81	0,65	86,11	56,36
7	42	0,74	0,55	81,40	44,95

Efektivní délka rozběhu větru  $L_{ef}$  se vypočte ze vzorce:

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

- $L_i$  – délka  $i$ -té radiály [m]
- $\varphi_i$  – úhel, který svírá  $i$ -tá radiála s hlavním směrem větrů [°] [1]

$$L_{ef} = 362,76 \text{ m}$$

Dále, dle postupu uvedeného v ČSN 75 0255 – Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích – byl proveden následující výpočet.

Tabulka 10: Výpočet výšky výběhu větrové vlny na návodní svah

H	60,00 m	hloubka vody
g	9,81 m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	tíhové zrychlení
$L_{ef}$	362,76 m	efektivní délka rozběhu
$w_{10z}$	31,25 m/s	rychlost nad terénem <sup>2</sup> ; trvání 1–2 hod, pravděpodobnost 1%
k	1,08	koeficient pro převod rychlosti nad terénem nad vodu
$w_{10v} = w_{10z} \cdot k$	33,75 m/s	rychlost nad hladinou, trvání 1–2 hod
$g \cdot L_{ef} / w_{10v}^2$	3,12	pro odečtení z grafu
$g \cdot H / w_{10v}^2$	0,52	pro odečtení z grafu
$g \cdot h_c / w^2$	0,006	odečteno z grafu
$h_c$	0,70 m	charakteristická výška vlny; p = 13 %

<sup>2</sup> V exponovaných horských polohách se tyto hodnoty zvýší o 25 % [1]

$g \cdot T / 2\pi \cdot w_{10v}$	0,13	odečteno z grafu
T	2,81 s	perioda vlny

Tabulka 11: Parametry vlny v hlubokém pásmu

$\lambda_{0c} = 1,56 \cdot T_{0c}^2$	12,32 m	délka vlny v hlubokém pásmu
$c_{0c} = 1,56 \cdot T_{0c}$	4,38 m/s	postupová rychlost vlny
$t_{min}$	3,49 min	minimální trvání větru
$H/\lambda_{0c}$	4,87	-
$k_{p1\%}$	1,4	pro 1 % = 1,4
$h_{1\%} = k_{p1\%} \cdot h_c$	0,97 m	charakteristická výška vlny; p = 1 %
$k_d$	0,8	koeficient zohledňující povrch hráze
$\lambda_{0c}/h_{1\%}$	12,63	pro odečtení z grafu
$m = \cotg(\alpha)$	2,5	pro odečtení; sklon svahu 1:m
$k_p$	1,7	odečteno z grafu
$h_{v1\%}$	1,33 m	výška výběhu vlny na svah; p = 1 %
$k_{13\%}$	0,85	součinitel pro přepočítání na p = 13 %
$h_{v13\%}$	1,13 m	výška výběhu vlny na svah; p = 13 %

Výška výběhu větrové vlny se rovná  $h_v = 1,13$  m.

Koruna hráze se nachází ve výšce 932,00 m n. m., na koruně je umístěn vlnolam s výškou 1 m. Odečtením od vlnolamu převýšení koruny hráze vzniká mezní bezpečná hladina – MBH = 931,90 m n. m.

Kontrolní maximální hladina se stanoví z transformačních účinků nádrže, ale v případech, kdy transformace není významná nebo se neuplatní, KMH se stanoví odečtením ze souhrnné měrné křivky bezpečnostních a výpustných zařízení pro příslušný kulminační průtok KPV. [1]

Z důvodu nedostatku podkladů (hydrogram povodně) lze považovat retenční schopnost nádrže za zanedbatelnou.

V případě hráze na řece Shelek se převádění KPV řešilo tak, že v provozu byl jen bezpečnostní přeliv, a dle výpočtu, viz 5.5.1, se kontrolní maximální hladina nachází ve výšce KMH = 931,00 m n. m. Tato hodnota vychází z konsumpční křivky bezpečnostního přelivu.

Bezpečnost vodního díla spočívá na základě porovnání MBH > KMH. [1] V případě vodního díla, které je předmětem diplomové práce 931,90 > 931,00, což znamená, že vodní dílo pro převedení povodně je dostatečně zabezpečeno.

### 5.3 Extrapolace průtoku

Získané hydrologické podklady byly převedeny do obvyklého formátu v České republice.

Údaje z tabulky 6 byly převedeny do N-letých průtoků, kde 1% pravděpodobnost překročení se rovná  $Q_{100}$ . Výsledky jsou v tabulce 12.

**Tabulka 12: N-leté průtoky**

Rok	N	Průtok $Q_{N\text{-letý}}$ ( $m^3/s$ )						
		10 000	1000	100	33	20	10	4
1928–1982		458	334	280	252	237	216	184
1983–2009		186	173	157	148	144	137	126

M-denní průtoky také byly získány v nezvyklém formátu pro Českou republiku, viz tabulka 7. Proto byly nejdříve převedeny do obvyklého formátu, kde 100 % se rovná 365 dnům.

**Tabulka 13: M-denní průtoky**

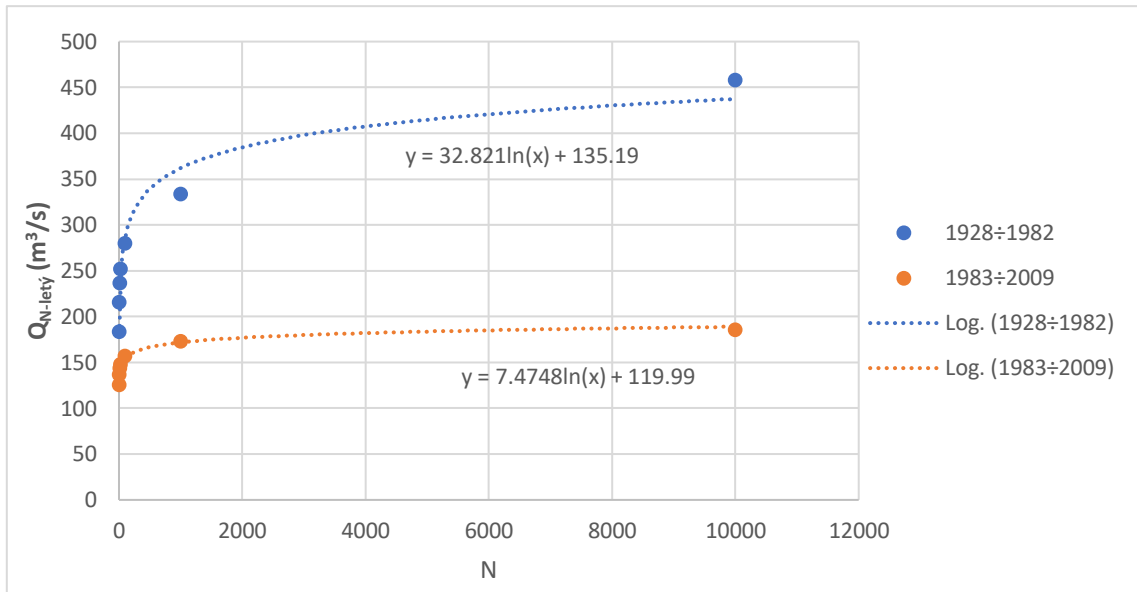
Rok	m	Průtok $Q_{m\text{-denní}}$ ( $m^3/s$ )					
		4	91	182	273	328	347
1928–1982		107,9	81,8	71,2	62,8	55,6	55,2
1983–2009		99,6	65,7	58,9	54,8	48,0	45,0

Pro výpočet byly použity metody extrapolace a interpolace. Z obdržených dat byly sestaveny grafy, viz obrázek 7 a obrázek 8. Byla použita linie trendu a rovnice vztahující se k ní. Pomocí této rovnice byly dopočítány hodnoty potřebných průtoků.

V případě N-letých průtoků byla použita logaritmická linie trendu.

**Tabulka 14: Interpolace N-letých průtoků:  $Q_1$**

Rok	N	Průtok $Q_{N\text{-letý}}$ ( $m^3/s$ )							
		10 000	1000	100	33	20	10	4	1
1928–1982		458	334	280	252	237	216	184	135,19
1983–2009		186	173	157	148	144	137	126	119,99

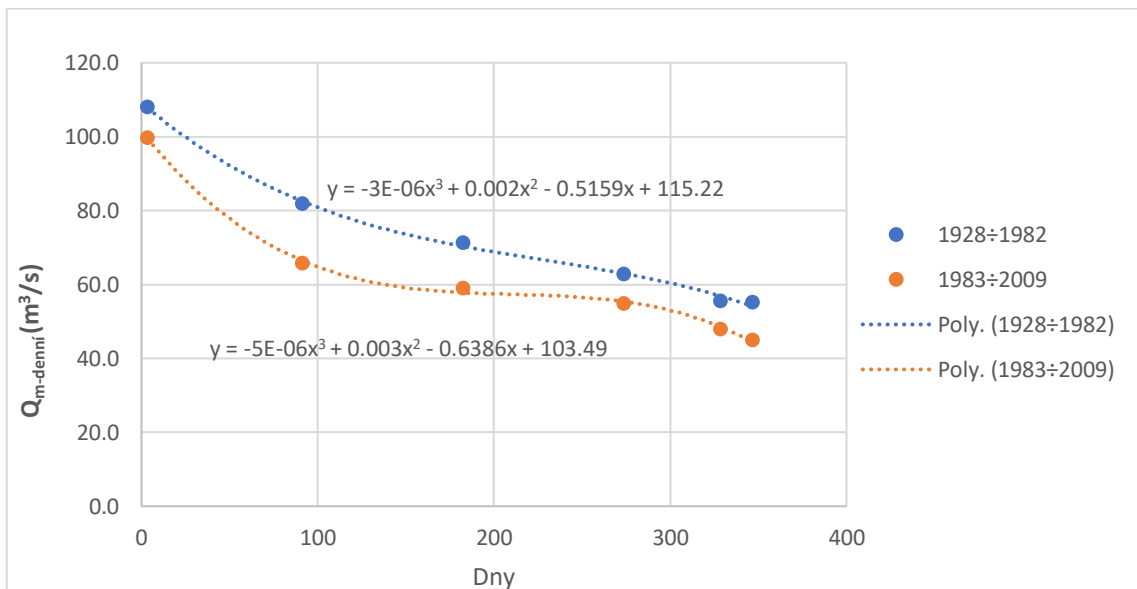


Obrázek 7: Extrapolace N-letých průtoků

Pro výpočet m-denních průtoků byla použita polynomičká linie trendu třetího stupně.

Tabulka 15: Extrapolace (případně interpolace) m-denních průtoků:  $Q_{1\text{-denní}}$ ,  $Q_{355}$ ,  $Q_{364}$ .

Rok	m	Průtok $Q_{m\text{-denní}}$ ( $m^3/s$ )								
		1	4	91	182	273	328	347	355	364
1928–1982		114,65	107,9	81,8	71,2	62,8	55,6	55,2	49,85	47,68
1983–2009		102,85	99,6	65,7	58,9	54,8	48,0	45,0	31,18	27,38



Obrázek 8: Extrapolace m-denních průtoků

V průběhu extrapolace, případně interpolace byly zjištěny následující hodnoty:  $Q_{1\text{-letý}}$ ,  $Q_{1\text{-denní}}$ ,  $Q_{355d}$ ,  $Q_{364d}$ .  $Q_{1\text{-letý}}$  následně byl využit u výpočtu výpustí.  $Q_{355d}$ ,  $Q_{364d}$  byly

využity při výpočtu minimálního zůstatkového průtoku.  $Q_{1\text{-denní}}$  byl vypočítán proto, aby ho bylo možné porovnat s  $Q_{1\text{-letým}}$ , protože tyto průtoky se musejí přibližně rovnat. Jak je vidět z tabulek 14 a 15, jejich hodnoty jsou přibližně blízko sebe. A tím pádem bylo zjištěno, že poskytnuté průtoky z tabulky 7 jsou opravdu m-denními průtoky.

## 5.4 Minimální zůstatkový průtok

Minimální zůstatkový průtok je minimální množství vody, které musí téct v toku pod hrází, aby byla zachována životnost toku a jeho okolí.

Podle metodického pokynu odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí se stanoví hodnoty minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích [4] MZP podle tabulky 16.

**Tabulka 16: Stanovení MZP**

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

Proto byly v předchozí kapitole dopočítány průtoky  $Q_{355d}$  a  $Q_{364d}$ .

Hodnota  $Q_{355d} = 31,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je více než  $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a dle toho  $Q_{MZP}$  se rovná:

$$Q_{MZP} = (Q_{355d} + Q_{364d}) * 0,5$$

A dle výpočtu  $Q_{MZP} = 19,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 5.5 Funkční objekty

### 5.5.1 Sdružený objekt

Sdružený objekt je tvořen výpustěmi, bezpečnostním přelivem, odpadním tunelem a věží.

#### Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv byl navržen šachtový, jak už bylo uvedeno v kapitole 3.2.2. Šachtový přeliv se skládá z vtokové části, přechodové části, šachty.



Vtoková část byla navržena v půdoryse kruhová. Šachtový přeliv je nehrazený. Přechodová část spojuje vtokovou část se šachtou. Šachta je svislá, má kruhový průřez a přechází do odpadního tunelu kolenem. Šachtový přeliv byl navržen tak, aby nedocházelo k jeho zahlcení, jehož následkem by mohlo být tlakové proudění.

Pro výpočet šachtového přelivu byla použita rovnice přepadu:

$$Q = mb_0\sqrt{2gh}^{3/2}$$

- $Q$  – průtok přes přeliv [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $m$  – součinitel přepadu [-]
- $b_0$  – účinná šířka přelivu [m]
- $h$  – přepadová výška [m]
- $g$  – tíhové zrychlení,  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Průtok, který by měl přeliv převádět, je  $Q_{10000} = 458 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , byl vybrán podle zařazení vodního díla do I. kategorie dle ČSN 75 2934, protože předpokládané porušení vodního díla vyvolá značné ztráty lidských životů a vysoké ekonomické škody. [4]

$Q_{10000} = 458 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je hodnota desetitisícileté vody z doby před výstavbou nádrže Bartogay a byla vybrána, protože o transformačních schopnostech nádrže Bartogay není nic známo.

Protože je do koruny šachtového přelivu napojená věž, která zkrátí účinnou délku přelivu, je třeba počítat jak s boční kontrakcí, tak i se záběrem samotné délky. Pro výpočet účinné délky byly použité následující rovnice:

$$b = 2\pi R$$

- $b$  – délka přelivné hrány [m]
- $R$  – poloměr přelivu [m]
- $\pi$  – Ludolfovo číslo, rovná se 3,14

Poté byla zkrácena o délky věží 7 m a vlivem boční kontrakce:

$$b_0 = b - 7 - 0,1 * \Sigma \xi * h$$

- $b$  – délka přelivné hrány [m]
- $\xi$  – součinitel zúžení, zvolen 1,0 [-] [4]
- $b_0$  – účinná šířka přelivu [m]
- $h$  – přepadová výška [m]

Součinitel přepadu byl vypočítán dle výrazu Rolle:

$$m = A * \left(\frac{h}{R}\right)^\alpha$$

- m – součinitel přepadu [-]
- R – poloměr nálevky šachtového přelivu [m]
- h – přepadová výška [m]
- A,  $\alpha$  – konstanty pro určitý profil nálevky a rozsah (R/h)

A a  $\alpha$  – pro daný typ přelivu byly použity: A = 0,461 (-),  $\alpha$  = 0,033 (-).

Návrh:

R = 11 m

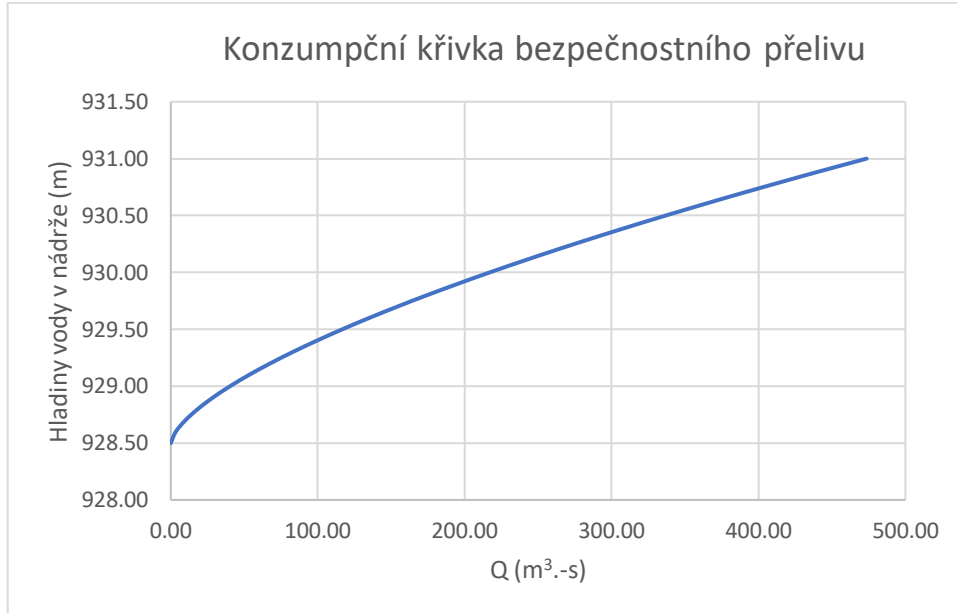
b = 69,11 m

Výpočet bezpečnostního přelivu je uveden v tabulce 17.

**Tabulka 17: Výpočet délky přepadové hrany**

h (m)	m (-)	b <sub>0</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> .-s)
0.10	0.39	62.10	3.43
0.20	0.40	62.08	9,93
0,30	0,41	62,06	18,49
0,40	0,41	62,04	28,73
0,50	0,42	62,02	40,43
0,60	0,42	62,00	53,45
0,70	0,42	61,98	67,68
0,80	0,42	61,96	83,02
0,90	0,42	61,94	99,42
1,00	0,43	61,92	116,81
1,10	0,43	61,90	135,14
1,20	0,43	61,88	154,38
1,30	0,43	61,86	174,48
1,40	0,43	61,84	195,40
1,50	0,43	61,82	217,13
1,60	0,43	61,80	239,64
1,70	0,43	61,78	262,89
1,80	0,43	61,76	286,87
1,90	0,44	61,74	311,56
2,00	0,44	61,72	336,94
2,10	0,44	61,70	362,99
2,20	0,44	61,68	389,70
2,30	0,44	61,66	417,04
2,40	0,44	61,64	445,02
2,50	0,44	61,62	473,60

$Q_{10000} = 458 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Přelivná hrana je navržena pro  $473,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Poloměr vtokové části šachtového přelivu  $R = 11,0 \text{ m}$  vyhovuje.



**Obrázek 9: Konzumpční křivka bezpečnostního přelivu**

V přechodné části se šachtový přeliv zužuje do poloměru  $r = 3,4 \text{ m}$ . Tento poloměr byl ověřen na zahlcení dle vzorečku:

$$h_{kr} = \left( \frac{\mu}{4m} * \frac{d^2}{D} * H^{\frac{1}{2}} \right)^{2/3}$$

- $\mu$  – výtokový součinitel [-]
- $m$  – součinitel přepadu [-]
- $d$  – kritický průměr odpadní šachty [m]
- $D$  – průměr nálevky šachtového přelivu [m]
- $H$  – tlaková výška vztažená ke kritickému profilu odpadní šachty [m]

$$H = 12,6 \text{ m} + h \text{ (m)}$$

$(\mu/4m)^{2/3}$  – hodnotu lze přibližně volit = 0,62 [3]

**Tabulka 18: Výpočet kritické výšky zahlcení šachtového přelivu**

<b>h (m)</b>	<b>h/R</b>	<b>h<sub>kr</sub> (m)</b>
0,10	0,01	2,78
0,20	0,02	2,79
0,30	0,03	2,80

0,40	0,04	2,81
0,50	0,05	2,81
0,60	0,05	2,82
0,70	0,06	2,83
0,80	0,07	2,83
0,90	0,08	2,84
1,00	0,09	2,85
1,10	0,10	2,85
1,20	0,11	2,86
1,30	0,12	2,87
1,40	0,13	2,88
1,50	0,14	2,88
1,60	0,15	2,89
1,70	0,15	2,90
1,80	0,16	2,90
1,90	0,17	2,91
2,00	0,18	2,92
2,10	0,19	2,92
2,20	0,20	2,93
2,30	0,21	2,94
2,40	0,22	2,94
2,50	0,23	2,95

Dle výpočtu vychází, že k zahlcení dojde od výšky 2,78 m, což je 931,28 m n. m. Maximální hladina nadržení je 931,00 m n. m., takže k zahlcení přelivu by docházet nemělo.

## Odpadní tunel

Odpadní tunel byl navržen tak, aby nedocházelo k tlakovému proudění. Maximální průtok, který by měl převádět, je  $Q_{10000}$ .

Výpočet byl proveden dle Chézyho rovnice:

$$v = C * \sqrt{Ri}$$

- $v$  – rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $C$  – Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0,5}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $R$  – hydraulický poloměr [m]
- $i$  – sklon čáry energie [-]

Po dosažení rovnice kontinuity:

$$Q = v * S$$

- $Q$  – průtok [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $S$  – průtočná plocha [ $\text{m}^2$ ]

Dostaneme:

$$Q = S * C * \sqrt{Ri}$$

**Tabulka 19: Návrh vlastností odpadního tunelu**

R	3,9 m
i	3,36%
délka	258,9 m
vtok	884 m n. m.
výtok	875,3 m n. m.
n (beton)	0,013

Tabulka 20: Výpočet odpadního tunelu na skutečný průměr

h (m)	$\alpha$	S (m <sup>2</sup> )	O (m)	R (m)	C (m <sup>0,5</sup> .s <sup>-1</sup> )	v (m.s <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	60,69	1,25	3,87	0,32	63,70	6,63	8,27
1,00	86,89	3,45	5,54	0,62	71,10	10,29	35,51
1,50	107,82	6,19	6,87	0,90	75,61	13,16	81,52
2,00	126,25	9,31	8,04	1,16	78,82	15,54	144,62
2,50	143,27	12,67	9,13	1,39	81,25	17,55	222,41
3,00	159,48	16,21	10,16	1,60	83,15	19,25	312,01
3,50	175,29	19,83	11,17	1,78	84,65	20,68	410,13
4,00	191,01	23,48	12,17	1,93	85,83	21,85	513,11
4,50	206,93	27,08	13,18	2,05	86,73	22,78	616,89
5,00	223,41	30,55	14,23	2,15	87,37	23,47	716,92
5,50	240,91	33,83	15,35	2,20	87,75	23,88	807,95
6,00	260,16	36,81	16,57	2,22	87,86	24,00	883,57
6,50	282,67	39,36	18,01	2,19	87,63	23,75	934,88
7,00	313,22	41,27	19,95	2,07	86,83	22,89	944,68
7,30	360,00	41,85	22,93	1,83	85,04	21,06	881,38

Protože průřez odpadního tunelu byl navržen kruhový, pro výpočet průtočné plochy byla použita následující rovnice:

$$S = \frac{1}{2} R^2 \left( \frac{\pi \alpha}{180} - \sin \alpha \right)$$

- R – poloměr [m]
- $\alpha$  – úhel segmentu [°]
- $\pi$  – Ludolfovo číslo, rovná se 3,14.

Jak je vidět z výpočtů, tunel je schopen převádět průtok větší než  $Q_{10000} = 458 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , takže pro účely převádět povodňový průtok vyhovuje.

I když by pro převádění povodňového průtoku stačil tunel s průměrem, který se rovná cca 5,8 m, viz tabulka 21, byl větší průřez navržen kvůli napojení na odpadní tunel šachtového tunelu s průměrem 6,8 m.

Tabulka 21: Výpočet odpadního tunelu na  $Q_{10000}$ 

h (m)	$\alpha$	S (m <sup>2</sup> )	O (m)	R (m)	C (m <sup>0,5</sup> .s <sup>-1</sup> )	v (m.s <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	68,30	1,11	3,46	0,32	63,61	6,59	7,29
1,00	98,13	3,04	4,97	0,61	70,88	10,16	30,89
1,50	122,27	5,42	6,19	0,88	75,24	12,90	69,91
2,00	143,84	8,08	7,28	1,11	78,26	15,11	122,02
2,50	164,14	10,90	8,31	1,31	80,48	16,90	184,14
3,00	183,95	13,79	9,31	1,48	82,13	18,32	252,67
3,50	203,88	16,67	10,32	1,61	83,32	19,41	323,48
4,00	224,58	19,43	11,37	1,71	84,12	20,16	391,82
4,50	246,97	22,00	12,50	1,76	84,52	20,55	452,05
5,00	272,79	24,22	13,81	1,75	84,48	20,51	496,77
5,50	307,42	25,90	15,56	1,66	83,74	19,81	513,00
5,80	360,00	26,42	18,22	1,45	81,84	18,06	477,28

Těsně za napojením šachty bezpečnostního přelivu má odpadní tunel náhlé rozšíření o 0,5 m, aby nedocházelo k zatopení tunelu a tlakovému proudění. Proto se celkový průměr odpadního tunelu rovná 7,3 m.

V místě napojení šachty přelivu na tunel je umístěno zavzdušňovací zařízení.

### Výpusti

Výpočet byl prováděn vždy pro jednu výpusť. Druhá byla navržena stejná. Každá výpusť byla navržena tak, aby převáděla minimální zůstatkový průtok a jednoletou povodeň. Protože  $Q_1$  (119,99 m<sup>3</sup>/s) je větší než  $Q_{MZP}$  (29,3 m<sup>3</sup>/s), výpočet se prováděl podle  $Q_1$ .

Výpusti byly dopočítány jako krátké potrubí. Výpočet byl proveden iterační metodou s využitím následující rovnice:

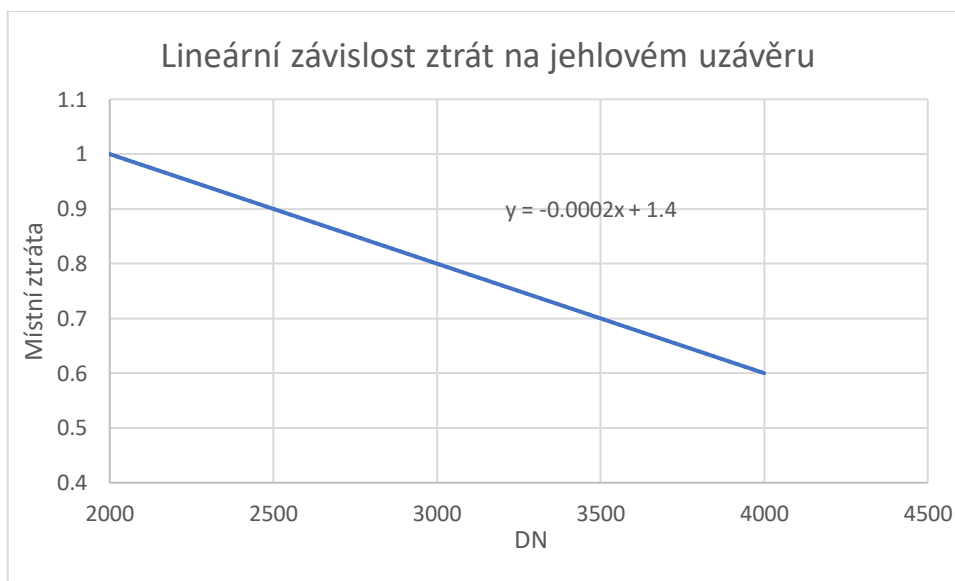
$$Q = Sv = S\mu\sqrt{2gH} = S\sqrt{\frac{2gH}{1 + \sum \xi + \lambda \frac{L}{D}}}$$

- v – rychlost [m.s<sup>-1</sup>]
- H – výška vody v nádrži [m]
- L – délka potrubí [m]
- D – průměr potrubí [m]

- $\xi$  – ztráty místní [-]
- $\lambda$  – součinitel ztráty třením, z Moodyho diagramu [-]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [m.s<sup>-2</sup>]
- $S$  – průtočná plocha [m<sup>2</sup>]

Ztráta na jehlovém uzávěru byla lineárně interpolovaná v závislosti na hodnotách průměru potrubí. Jako vstupní údaje byly použity hodnoty ztráty pro potrubí DN 2000 ( $\xi = 1$ ) a DN 4000 ( $\xi = 0,6$ ).

Dle výpočtu se místní ztráta na jehlovém uzávěru při plném otevření rovná  $\xi = 0,78$ .



**Obrázek 10: Místní ztráty na jehlovém uzávěru**

Tato metoda není úplně přesná, avšak přesné hodnoty místní ztráty na jehlovém uzávěru poskytuje výrobce.

V dostupných skriptech nebyly hodnoty místních ztrát pro jehlové uzávěry nalezeny. Hodnoty pro výpočet byly poskytnuty vedoucím diplomové práce z hodnot uváděných konkrétními výrobci.

**Tabulka 22: Výpočet výpusti**

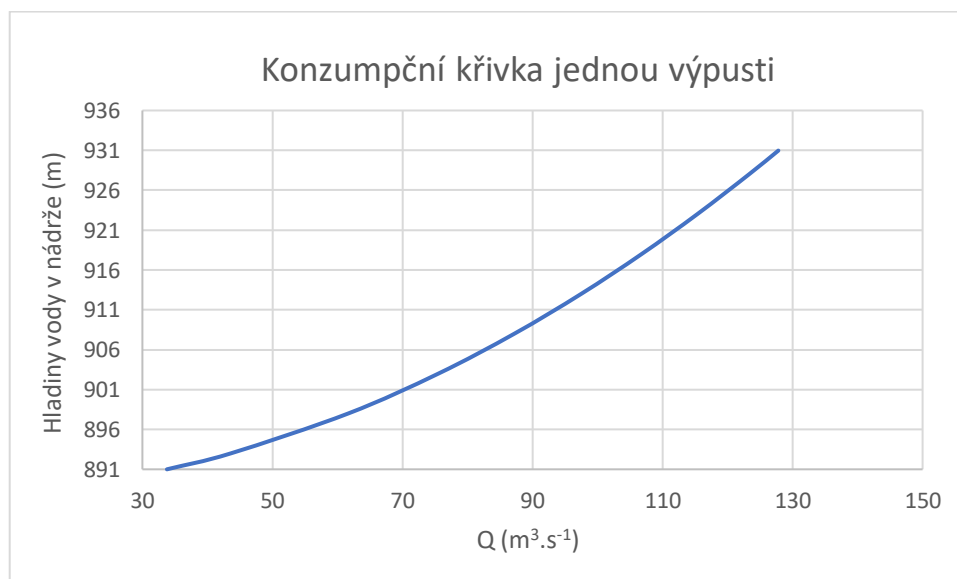
H	43 m	výška vody v nádrži
L	35,80 m	délka
D	3,00 m	průměr
$\xi$	0,45	ztráta vtokem
$\xi$	0,56	ztráta na klapkovém uzávěru
$\xi$	0,78	ztráta na jehlovém uzávěru



$\nu$	1,06E-06 m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	kinematická viskozita vody
$\Delta$	0,000500 m	hydraulická drsnost
<b>První návrh</b>		
$v$	15,89 m.s <sup>-1</sup>	navrhovaná rychlost
Re	46493004,56	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000161	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	16,93 m.s <sup>-1</sup>	dopočítaná rychlost
<b>Druhý návrh</b>		
$v$	16,93 m.s <sup>-1</sup>	navrhovaná rychlost
Re	49524198,60	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000161	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	16,93 m.s <sup>-1</sup>	dopočítaná rychlost
<b>Rychlosti se rovná, výpočet dokončen</b>		
Q	127,81 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	průtok jednou výpustí

Vypočítané hodnoty ležely v kvadratické oblasti Moodyho diagramu, z tohoto důvodu výpočet proběhl tak rychle.

Jedná výpust' je navržena na průtok  $Q = 127,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , což je větší než  $Q_1 = 119,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , navržený průměr výpusti DN 3100 vyhovuje.



Obrázek 11: Konzumpční křivka jednou výpustí

**Převádění vody ze stavby**

Na základě tabulky „Doby opakování návrhové povodně při převádění vody ze stavby“ [7], při předpokládané době výstavby hráze (2 roky) a s požadovanou pravděpodobností překročení návrhového průtoku (10%), bylo zvoleno, že povodňový průtok, který musí potrubí převádět ze stavby, je  $Q_{20} = 144,00 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Koruna ochranné hráze se nachází ve výšce 900,00 m n. m., kóta vtoku je navržena ve výšce 885,00 m n. m. a tunel má navržený průměr 4 m. Celkový výškový rozdíl se rovná 15 m, proto se tunel počítal z hlediska tlakového proudění. Výpočet se prováděl obdobným způsobem jako výpočet výpustí.

**Tabulka 23: Výpočet potrubí pro převádění vody ze stavby**

H	15,00 m	výška vody v nádrži
L	35,80 m	
D	4,00 m	
$\xi$	0,45	ztráta vtokem
$\nu$	$1,06\text{E}-06 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	kinematická viskozita vody
$\Delta$	0,000500 m	hydraulická drsnost
<b>První návrh</b>		
$v$	$11,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
Re	43242097,75	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000125	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	$13,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Druhý návrh</b>		
$v$	$13,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
Re	51725518,34	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000125	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	$13,71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Rychlosti se rovná, výpočet dokončen</b>		
Q	$172,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	průtok tunelem

Návrh vyhovuje,  $Q = 172,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je větší než  $Q_{20}$ . Minimální průměr pro tunel pro odvádění vody ze stavby se rovná 4 m. Avšak do tohoto tunelu budou později uloženy dvě výpustě, každá o průměru 3,1 m. Takže z tohoto vychází, že tunel musí být minimálně široký 6,5 m (dvě výpustě 3,1 m a navíc 0,3 m – tloušťka stěn).

### 5.5.2 Vývar

Vývar slouží pro ztlumení kinetické energie vody. Při přechodu z bystrinného proudění na řece vzniká vodní skok, který je potřeba zklidnit ve vývaru.

Pro posouzení nutnosti vývaru bylo třeba zjistit, jaké proudění je v odpadním tunelu: říční nebo bystrinné. Posouzení se provádí pomocí Froudova čísla. Pro říční proudění  $Fr < 1$ , pro bystrinné  $Fr > 1$ .

Výpočet Froudova čísla se provádí pomocí vzorečku:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}}$$

- $Fr$  – Froudovo číslo [-]
- $v$  – rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $y$  – střední hloubka vody [m]

$Fr = 3,5$  – proudění je bystrinné, takže je potřeba vývar.

Hlavním parametrem vývaru je délka, která se rovná délce doskoku paprsku a délce vodního skoku. Pro výpočet délky vodního skoku existují různé vzorce.

Pro výpočet délky vodního skoku byl využit výraz podle Pavlovského:

$$L_{vs} = 2,5(1,9y_2 - y_1)$$

- $L_{vs}$  – délka vodního skoku [m]
- $y_2$  – druhá vzájemná hloubka [m]
- $y_1$  – první vzájemná hloubka (rovná se  $y_c$  – kritické hloubce) [m]

Hloubky  $y_1$  nebo  $y_c$  lze dopočítat iteračním postupem dle následujícího výrazu:

$$y_c = \frac{q}{\sqrt{2g(E - y_c)}}$$

- $y_c$  – kritická hloubka [m]

- $q$  – měrný průtok [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]
- $E$  – energetická výška [m]

Tabulka 24: Výpočet

Energetická výška se rovná součtu hloubky vývaru, výšky potrubí a výšky sklonu čáry energie ( $I_v$ )		
$i$	3,36 %	sklon odpadního tunelu
$v$	21,26 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	rychlost proudění v odpadním tunelu
$I_v$	23,04 m	výška sklonu čáry energie
Návrh hloubky vývaru a výšky spádu		
$s$	15,50 m	výška spádu
$d$	15,00 m	hloubka vývaru
$E$	42,27 m	energetická výška
$q$	79,39 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	měrný průtok
První výpočet		
$y_c$	2,7567 m	
Iterační postup		
$y_c'$	2,8513 m	
$y_c''$	2,8547 m	
$y_c'''$	2,8548 m	
$y_c''''$	2,8548 m	Hodnoty se vyrovnaly, $y_c = 2,85$ m

Výpočet druhé vzájemné hloubky pomocí výrazu:

$$y_2 = \frac{y_c}{2} * \left( \sqrt{1 + \frac{8 * q^2}{g * y_c^3}} - 1 \right)$$

- $y_2$  – druhá vzájemná hloubka [m]
- $y_c$  – kritická hloubka [m]
- $q$  – měrný průtok [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$$y_2 = 19,83 \text{ m}$$

Dále je třeba posoudit míru vzduť.

Vypočítaná hodnota musí ležet mezi hodnotami: 1,05 až 1,1.

Míra vzduť:

$$\sigma = \frac{y_d + d}{y_2}$$

- $\sigma$  – míra vzduť [-]
- $y_d$  – hloubka dolní vody [m]
- $d$  – hloubka vývaru [m]
- $y_2$  – druhá vzájemná hloubka [m]

$\sigma = 1,06 \rightarrow$  vyhovuje

$L_{vs} = 87,09$  m  $\rightarrow$  výpočet délky podle Pavlovského

Výpočet délky doskoku paprsku se prováděl pomocí rovnice:

$$L_p = v_0 \sqrt{\frac{2h_T}{g}}$$

- $v_0$  – počáteční rychlost paprsku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $h_T$  – výška dopadu paprsku [m]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

$L_p = 42,01$  m

Celková délka vývaru se rovná:

$$L = L_{vs} + L_p$$

$L = 129,10$  m  $\rightarrow$  návrh délky vývaru

### 5.5.3 Odběrný objekt

Přesné požadavky, s výjimkou pro rozdíl výšek, nebyly stanoveny.

Potrubí bylo posouzeno z hlediska tlakového proudění. Výpočet byl proveden iterační metodou s využitím následující interpretace Bernoulliho rovnice:

$$v = \sqrt{\frac{y_h + i_0 L - D}{1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}} * 2g}$$

- $v$  – rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $y_h$  – výška vody v nádrži [m]
- $i_0$  – sklon [-]

- $L$  – délka potrubí [m]
- $D$  – průměr potrubí [m]
- $\xi$  – ztráty místní [-]
- $\lambda$  – součinitel ztráty třením, z Moodyho diagramu [-]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [m.s<sup>-2</sup>]

Tabulka 25: Výpočet odběrného objektu

$y_h$	21,50 m	maximální funkční výška vody v nádrži
$i$	12,0 %	sklon potrubí
$L$	374,00 m	délka
$D$	3,00 m	průměr
$\xi$	0,45	ztráta vtokem
$\nu$	1,06E-06 m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	kinematická viskozita vody
$\Delta$	0,0005 m	hydraulická drsnost
<b>První návrh</b>		
$v$	23,93 m.s <sup>-1</sup>	navrhovaná rychlost
Re	67728742,79	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,00017	
$\lambda$	0,015	Moodyho diagram
$v$	19,12 m.s <sup>-1</sup>	dopočítaná rychlost
<b>Druhý návrh</b>		
$v$	19,12 m.s <sup>-1</sup>	navrhovaná rychlost
Re	54112504,47	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,00017	
$\lambda$	0,015	Moodyho diagram
$v$	19,12 m.s <sup>-1</sup>	dopočítaná rychlost
<b>Rychlosti se rovná, výpočet dokončen</b>		
$Q$	135,15 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	průtok potrubím odběrného objektu

## 5.6 Průsak tělesem hráze

Hráz je zakládána do skalního podloží. Po provedení injektáže je podloží možné brát jako nepropustné.

V rámci dané diplomové práce byl dopočítán průsak tělesem hráze se středním zemním těsněním. Ostatní dva typy těsnění, asfaltobetonové a geomembránové, se předpokládají jako vyhovující, kvůli menší hydraulické propustnosti. V případě geomembránového těsnění se například hydraulická propustnost pohybuje mezi hodnotami  $1 \cdot 10^{-14}$ – $1 \cdot 10^{-17}$  m.s<sup>-1</sup>.

### 5.6.1 Průsak tělesem hráze se středním zemním těsněním

Jelikož přesné vlastnosti zeminy nebyly získány, hodnoty filtračního součinitele  $k$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] byly zvoleny dle standardních rozmezí hodnot.

Hlína písčítá [MS]  $k_j$  0,0000001150 m/s

Štěrk špatně zrněný [GP]  $k_h$  0,0000550000 m/s

Nejdříve je nutno porovnat hodnoty filtračních součinitelů zemního těsnění a stabilizační části:

$$\frac{k_h}{k_j} = 478 > 100$$

Z porovnání je zřejmé, že klesání průtoku ve stabilizační části je téměř zanedbatelné, proto byl výpočet proveden jen pro těsnící část.

Pro řešení průsaku tělesem hráze byly použity tyto vzorce:

$$q = k * \frac{H^2}{2t_s}$$

- $q$  – měrný průtok [ $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $k$  – filtrační součinitel [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
- $H$  – výška vody [m]
- $t_s$  – střední šířka těsnícího jádra [m]

$$t_s = \frac{(t_{j1} + t_{j2})}{2}$$

- $t_s$  – střední šířka těsnícího jádra [m]
- $t_{j1}$  – šířka horní hrany těsnícího jádra [m] ( $t_{j1} = 8,0$  m)
- $t_{j2}$  – šířka dolní hrany těsnícího jádra [m] ( $t_{j2} = 30,0$  m)

Výpočet:

$$H = 49 \text{ m}$$

$$t_s = 19 \text{ m}$$

$$Q = 7,27\text{E-}06 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$$

**Depresní křivka**

Depresní křivka představuje tvar hladiny v tělese hráze.

Výpočet se provádí dle:

$$y^2 = x * \frac{H^2}{t_s}$$

- x, y – koordináty depresní křivky
- H – výška vody [m]
- $t_s$  – střední šířka těsnícího jádra [m]

**Tabulka 26: Koordináty depresní křivky velké hráze**

x (m)	y (m)
0	0
1,00	11,24
2,00	15,90
3,00	19,47
4,00	22,48
5,00	25,14
6,00	27,54
7,00	29,74
8,00	31,80
9,00	33,72
10,00	35,55
11,00	37,28
12,00	38,94
13,00	40,53
14,00	42,06
15,00	43,54
16,00	44,97
17,00	46,35
18,00	47,69
19,00	49,00

Stejný výpočet byl proveden i pro malou hráz sloužící k ochraně staveniště.

Výpočet:

H = 15 m

$t_{j1} = 2,9$  m



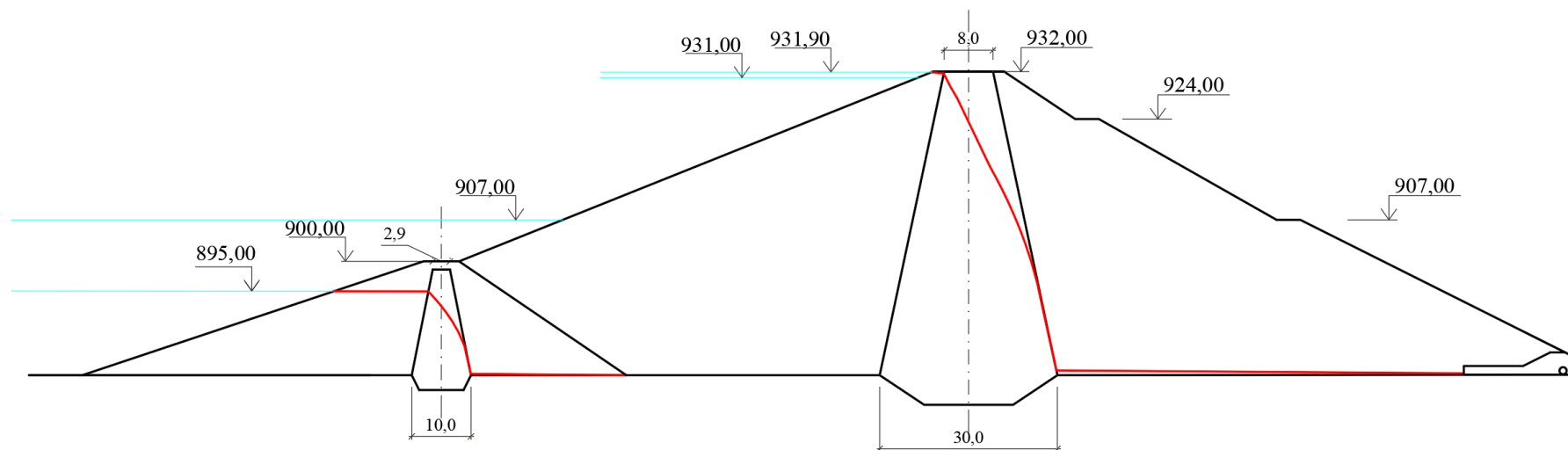
$$t_{j2} = 10,0 \text{ m}$$

$$t_s = 6,45 \text{ m}$$

$$q = 8,36E-04 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

**Tabulka 27: Koordináty depresní křivky malé hráze**

x (m)	y (m)
0,00	0,00
1,00	5,51
2,00	7,80
3,00	9,55
4,00	11,02
5,00	12,33
6,00	13,50
7,00	14,58
8,00	15,59
9,00	16,54
10,00	17,43
11,00	18,28
11,25	18,49



Obrázek 12: Depresní křivky

## 6 Ekologie

Hráz, jež je předmětem dané diplomové práce, se nachází v rokli na výstupu řeky z hor, cca 10 km pod stávající zavlažovací nádrží Bartogay.

Stejně jako jakákoli jiná výstavba bude mít i výstavba této hráze určitý dopad na životní prostředí, viz následující:

- odnětí pozemků pro vodní nádrž, z vodních staveb, z jednotky vodní elektrárny, otevřených rozvaděčů, lomů, dočasných a trvalých silnic a dalších pomocných budov a staveb, které budou vyžadovat náhradu za ztrátu zemědělské půdy;
- blokování řeky Shelek přehradou, což vytváří další překážku migračním trasám druhů ryb žijících v řece;
- zatopení pozemků v korytě nádrže se stávající flórou a faunou nebude vyžadovat odpovídající kompenzaci z důvodu jejich malého výskytu;
- znečištění atmosférického vzduchu v důsledku práce stavebních mechanismů, vozidel, při výkopových, vrtacích a trhacích pracích při stavbě konstrukcí hráze;
- dopad na sociální prostředí a populaci v nejbližších sídlech stavby.

Flóra a fauna v zóně nádrže a na místech hydraulických konstrukcí jsou typické pro nízkohorské oblasti Kazachstánu a představují je polopouštní druhy rostlin a živočichů. Ve chvíli, kdy bude nádrž naplněna, tyto druhy rostlin uhynou, zvířata migrují a opustí místa svého ekologického rozvoje. Stromy a keře se v záplavové zóně vyskytují jen v úzkém pásu, pouze podél koryta řeky. Před zaplavením nádrže je plánováno lesní čištění koryta nádrže.

Ryb se v daném úseku toku Shelek vyskytuje málo, protože výše po toku už jsou blokovány vodními přehradami pro kanály Kuram a Bolshoj Almatinskyj.

Hlavním cílem realizace daného projektu je překrýt rostoucí poptávku po elektrické energii v energetické soustavě Almaty, a zajistit tak efektivní výrobu elektřiny pro udržitelný provoz v energetické síti.

Vodní elektrárna je čistý zdroj obnovitelné elektřiny, který přeměňuje energii toku vody na elektřinu, tzn. že tento způsob výroby energie je z hlediska vlivu na atmosférický vzduch šetrný k životnímu prostředí.

Změny hydrologických a hydrofyzikálních charakteristik toku řeky během výstavby hráze jsou nevyhnutelné. Aby se zabránilo znečištění průtoku řeky, je nutné zabránit všem možným zdrojům znečištění, s výjimkou možného úniku znečištěného odtoku do řeky.

## 7 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo navrhnout sypanou hráz s určitou výškou – 60 m.

Konstrukční řešení hráze bylo vypracováno ve třech různých variantách s různými typy těsnění. První a hlavní je varianta se středním zemním těsněním, neboť ji lze postavit z místních materiálů, nepotřebuje žádné doplňující zdroje.

Druhou variantou byla hráz se středním asfaltobetonovým těsněním. Vzhledem k tomu, že je tento materiál téměř nepropustný, by z hlediska těsnění hráze vyhovoval, je ale náročnější na výstavbu a je dražší.

Třetí variantou je návodní těsnění z geomembrány. Tato varianta je nejjednodušší z hlediska výstavby.

Byl navržen a posouzen bezpečnostní přeliv. Typ bezpečnostního přelivu byl vybrán šachtový. Přeliv se napojuje na odpadní tunel, který leží v levém břehu, prochází skalním podložím a nezasahuje do tělesa hráze.

Výpusti jsou uvažovány dvě, hrazeny třemi uzávěrami, proloženy v potrubí, které by během výstavby mělo převádět vodu ze stavby. Napojují se na odpadní tunel. Spolu tvoří sdružený objekt.

Odpadní tunel je navržen s beztlakovým prouděním a končí vývarem. Vývar slouží pro tlumení kinetické energie vody, má rozrážeče.

Odběrný objekt přesné požadavky neměl. Byl navržen dle potřebné výšky vody.

Samotná elektrárna nebyla v průběhu diplomové práce řešena.

Jak už bylo zmíněno – asfaltobetonové těsnění se jeví jako nejnáročnější, rozhodnutí mezi zemním a geomembránovým těsněním je závislé na ceně.

Výstavba dané hráze a případné vodní elektrárny na toku Shelek v Kazachstánu by zajisté měla pozitivní dopad na obyvatelstvo, kterému by byl zajištěn dostatečný příjem elektrické energie.

## 8 Seznam literatury

- [1] *Zdroje povrchových vod SSSR. T.13 Střední a Jižní Kazachstán. Problém. 2. Povodí jezera Balchaš.* L: Gidrometeoizdat, 1970. 645 s.
- [2] *Vědecká a použitá referenční kniha o klimatu SSSR. Série 3. Dlouhodobá data. Problém 18. Kazašská SSR.* L: Gidrometeoizdat, 1989. 515 s.
- [3] *Vědecká a použitá referenční kniha o klimatu SSSR. Série 3. Dlouhodobá data. Problém 18. Kazašská SSR.* L: Gidrometeoizdat, 1989. 440 s.
- [4] BROŽA, Vojtěch. *Přehrady.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [5] Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. In: *MZP* [online]. Praha: Ministerstva životního prostředí [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [6] Výtok otvorem – přednáškové slidy předmětu 141 HYA (Hydraulika), verze: 09/2008, K141 FSv ČVUT.
- [7] ČSN 75 2935. *Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních.* Praha, 2014.
- [8] SOKOLOVSKY, D. L. *Průtok vodního toku (Základy teorie a metody výpočtů).* 3. vydání. L: Gidrometeoizdat, 1968.
- [9] ČSN 75 0255. *Výpočet účinků vln na stavby na vodních nádržích a zdržích.* Praha: ÚNMZ, 1988.
- [10] ČSN 75 2340. *Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení.* Praha: ÚNMZ, 2004.
- [11] Tabulky z předmětu 141 HY2V (Hydraulika 2)
- [12] Přednáškové slidy předmětu 143VK2 (Vodní hospodářství krajiny 2), K143 FSv ČVUT.

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Dlouhodobé hodnoty teploty vzduchu na MS Shelek ( $H = 606$ m), °C .....	11
Tabulka 2: Dlouhodobé hodnoty atmosférických srážek, mm .....	11
Tabulka 3: Dlouhodobé hodnoty hloubky sněhové pokrývky a akumulace vody v ní na meteorologické stanici Shelek ( $H = 606$ m).....	12
Tabulka 4: Dlouhodobé hodnoty průměrné rychlosti větru v MS Shelek ( $H = 606$ m), m/s .....	12
Tabulka 5: Průměrný roční průtok toku Shelek .....	14
Tabulka 6: Maximální průtok toku Shelek .....	16
Tabulka 7: Průměrné denní průtoky.....	17
Tabulka 8: Ledové jevy na řece Shelek.....	18
Tabulka 9: Odečtené délky $L_i$ .....	35
Tabulka 10: Výpočet výšky výběhu větrové vlny na návodní svah.....	35
Tabulka 11: Parametry vlny v hlubokém pásmu .....	36
Tabulka 12: N-leté průtoky.....	37
Tabulka 13: M-denní průtoky .....	37
Tabulka 14: Interpolace N-letých průtoků: $Q_1$ .....	37
Tabulka 15: Extrapolace (případně interpolace) m-denních průtoků: $Q_{1\text{-denní}}$ , $Q_{355}$ , $Q_{364}$ . .....	38
Tabulka 16: Stanovení MZP .....	39
Tabulka 17: Výpočet délky přepadové hrany .....	41
Tabulka 18: Výpočet kritické výšky zahlcení šachtového přelivu.....	42
Tabulka 19: Návrh vlastností odpadního tunelu .....	44
Tabulka 20: Výpočet odpadního tunelu na skutečný průměr .....	45
Tabulka 21: Výpočet odpadního tunelu na $Q_{10000}$ .....	46
Tabulka 22: Výpočet výpusti.....	47
Tabulka 23: Výpočet potrubí pro převádění vody ze stavby .....	49
Tabulka 24: Výpočet .....	51
Tabulka 25: Výpočet odběrného objektu.....	53
Tabulka 26: Koordináty depresní křivky velké hráze .....	55
Tabulka 27: Koordináty depresní křivky malé hráze .....	56

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Roční rozdělení průtoků v letech 1928–1982 .....	15
Obrázek 2: Roční rozdělení průtoků v letech 1983–2009 .....	15
Obrázek 3: Situace širších vztahů .....	21
Obrázek 4: Pohled na rokli v místě přehrady .....	21
Obrázek 5: Celkový pohled na horské svahy.....	24
Obrázek 6: Čáry zatopených ploch a objemů .....	34
Obrázek 7: Extrapolace N-letých průtoků .....	38
Obrázek 8: Extrapolace m-denních průtoků .....	38
Obrázek 9: Konzumpční křivka bezpečnostního přelivu .....	42
Obrázek 10: Místní ztráty na jehlovém uzávěru .....	47
Obrázek 11: Konzumpční křivka jednou výpusti .....	48
Obrázek 12: Depresní křivky .....	57



## **11 Seznam příloh**

Příloha 1: A.1 Zájmové území

Příloha 2: A.2 Situace širších vztahů a charakteristické křivky nádrže

Příloha 3: B.1.a Situace. Hráz se středním zemním těsněním

Příloha 4: B.1.b Situace. Hráz se středním asfaltobetonovým těsněním

Příloha 4: B.1.c Situace. Hráz s geomembránovým těsněním

Příloha 5: B.2.a Vzorový řez středním zemním těsněním

Příloha 6: B.2.b Vzorový řez asfaltobetonovým těsněním

Příloha 7: B.2.c Vzorový řez geomembránovým těsněním

Příloha 8: C.1 Sdružený objekt

Příloha 9: C.2 Odběrný objekt

Příloha 10: D.1 Podélný profil sdruženého objektu

Příloha 11: D.2 Podélný řez osou hráze