

**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: Anastassiya 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 2. 1. 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. Zajímavé 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 .....	15
3.2.4 Minimální průtok.....	15
3.2.5 Splaveninový režim .....	16
3.2.6 Ledový režim.....	16
3.2.7 Závěr .....	17
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 .....	19
3.4.1 Geologické složení .....	21
3.4.2 Hydrogeologické podmínky .....	21
3.4.3 Geodynamické procesy .....	21
3.4.4 Geotechnické podmínky .....	22
3.4.5 Nádrž.....	23
3.4.6 Sdružený objekt (šachtový přeliv a výpusti).....	23
3.4.7 Stavební materiály .....	24
<b>4 Účel a konstrukční řešení .....</b>	<b>25</b>
4.1 Účel vodního díla .....	25
4.2 Konstrukční řešení .....	25
4.2.1 Hráz.....	25

4.2.2	Sdružený objekt .....	27
4.2.3	Odběrný objekt .....	28
4.2.4	Vývar .....	29
<b>5</b>	<b>Výpočty .....</b>	<b>30</b>
5.1	Charakteristické křivky nádrže .....	30
5.2	Extrapolace průtoku .....	30
5.3	Minimální zůstatkový průtok.....	32
5.4	Funkční objekty.....	33
5.4.1	Sdružený objekt .....	33
5.4.2	Vývar .....	42
5.4.3	Odběrný objekt .....	44
5.5	Průsak tělesem hráze .....	45
5.5.1	Průsak tělesem hráze se středním zemním těsněním.....	45
<b>6</b>	<b>Ekologie .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Seznam literatury.....</b>	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>54</b>
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>55</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

### 3.1 Klima a hydrologie

#### 3.1.1 Orografie

Údolí řeky Shelek má poměrně složitou morfologickou 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. Pohoří 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	
	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. Při zásobování odtokem nízkých vod má významnou úlohu podzemní voda, kterou tvoří hlavně tavné vody, jež prošly transformací v povodí.

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

- 1) Období sněhové povodně – tvořené hlavně vodou z roztátého sezónního sněhu z hor nižší a střední úrovně. Začátek povodně je určen nástupem kladných teplot vzduchu;
- 2) Období sněhově ledové vysoké vody – tvořené hlavně tajícími vodami vysokohorských sněhů, sněhových polí a ledovců. Toto období se shoduje s nejteplejším obdobím roku;
- 3) Období malovodné – průtok řeky je napájen 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 podmíněně přirozeného průtoku;
- 2) 1983–2009, tj. doba průtoku regulovaná bartogayskou nádrží.

Během těchto dvou období byly vypočítány statistické charakteristiky a průtok různých zásob, viz tabulka 5. Jak je patrné z údajů z této tabulky, navzdory uvedení nádrže

Bartogay do provozu se v posledních letech zvýšil průtok a zvýšila se také jeho variabilita.

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

Rok	Vlastnosti			Průtok Q (m <sup>3</sup> /s) od P, %								
	Q <sub>0</sub> , m <sup>3</sup> /s	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	1%	3%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
1928–1982	32,1±0,41	0,095±0,009	0	39,2	37,8	37,1	36,0	34,1	32,1	30,1	28,2	27,1
1983–2009	38,3±1,11	0,15±0,02	0,34	53,1	49,9	48,2	45,9	42,0	38,0	34,3	31,2	29,5

### 3.2.2 Roční rozdělení průtoku

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. Meziroční rozdělení průtoku v úseku navrhované přehrady pro charakteristické roky je uvedeno v tabulce 6. Jak je patrné z údajů v této tabulce, v posledních letech došlo pod vlivem nádrže Bartogay k poklesu průměrných měsíčních průtoků vody. Hodnoty největšího měsíčního průtoku se zvýšily.

**Tabulka 6: Roční rozdělení průtoku řeky Shelek**

P, %	Měsíc												Průměrné roční
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<b>Roky 1928 až 1982, Q<sub>0</sub> = 32,1 m<sup>3</sup>/s; C<sub>v</sub> = 0,095; C<sub>s</sub> = 0</b>													
10	14,6	13,7	13,4	16,7	31,8	59,7	82,6	84,9	47,3	28,2	20,7	16,6	36,0
25	13,8	13,0	12,7	15,8	30,1	56,6	78,3	80,5	44,9	26,7	19,7	15,7	34,1
50	13,0	12,2	12,0	14,9	28,3	53,2	73,6	75,7	42,2	25,1	18,5	14,8	32,1
75	12,2	11,4	11,2	13,9	26,5	49,8	68,9	70,8	39,5	23,5	17,3	13,8	30,1
90	11,4	10,7	10,5	13,1	24,9	46,7	64,7	66,5	37,0	22,1	16,2	13,0	28,2
<b>Roky 1983 až 2009, Q<sub>0</sub> = 38,3 m<sup>3</sup>/s; C<sub>v</sub> = 0,15; C<sub>s</sub> = 0,34</b>													
10	2,47	4,38	3,90	33,1	74,3	97,6	118	114	65,3	24,3	7,35	2,83	45,9
25	2,26	4,01	3,57	30,3	68,0	89,3	108	104	59,7	22,2	6,73	2,59	42,0
50	2,04	3,63	3,23	27,4	61,5	80,8	97,8	94,2	54,0	20,1	6,09	2,34	38,0
75	1,85	3,28	2,92	24,8	55,5	72,9	88,3	85,0	48,8	18,1	5,50	2,11	34,3
90	1,68	2,98	2,65	22,5	50,5	66,3	80,3	77,4	44,4	16,5	5,00	1,92	31,2

### 3.2.3 Maximální průtok

Maximální průtok vody na toku Shelek vzniká táním sněhu a ledu. Tabulka 7 ukazuje maximální průtok a jeho statistické charakteristiky v úseku řeky Shelek s navrženou přehradou. 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.

V důsledku analýzy řady maximálního průtoku je třeba poznamenat, že v roce 1936 byl absolutní maximální průtok  $185 \text{ m}^3/\text{s}$  a byl jako obvykle pozorován při povodni (20. května). Ve stejném roce, 11. ledna, byl zaznamenán vyšší průtok dosahující přibližně hodnoty  $299 \text{ m}^3/\text{s}$ . Při zpracování řady pro výpočet statistických charakteristik byl průtok 11. ledna 1936 zamítnut jako neobvykle vysoký pro zimní podmínky kvůli protrhnutí ucpání.

Pro řeku Shelek v uvažované oblasti jsou charakteristické rušivé jevy. Proud vody, které někdy procházejí takovým ucpáním, se vrhají po proudu s velkou rychlostí a intenzivní silou, čímž prolomí nové ucpání a způsobí velké škody.

V noci z 10. na 11. ledna 1936 v důsledku protrhnutí blokády (v horách nad sloupem) tok směsi vody, ledu a kalu zničil všechny lamely, poškodil zařízení hydraulického systému 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.

**Tabulka 7: Maximální průtok toku Shelek**

Rok	Vlastnosti			Průtok Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) od P, %						
	$Q_0, \text{m}^3/\text{c}$	$C_v$	$C_s$	0,01%	0,1%	1%	3%	5%	10%	25%
1928–1982	$147 \pm 8,70$	$0,29 \pm 0,04$	0,58	458	334	280	252	237	216	184
1983–2009	$116 \pm 3,31$	$0,14 \pm 0,02$	0,28	186	173	157	148	144	137	126

### 3.2.4 Minimální průtok

Hlavní charakteristikou minimálního průtoku vody je průtok odpovídající období s nejnižším množstvím vody. Tabulka 8 uvádí minimální průměrný měsíční průtok



různých zásob a statistické charakteristiky toku Shelek v místě navržené nádrže. 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 patrné z údajů v této tabulce, minimální průměrný měsíční průtok pod vlivem nádrže Bartogay se významně snížil a jeho variabilita se značně zvýšila. To je způsobeno akumulací průtoku nízké vody v nádrži. Tabulka 8 rovněž uvádí minimální průměrné měsíční průtoky vypouštěné přes přehradu bartogayské nádrže a její statistické charakteristiky za období 2000–2009. Tento materiál potvrzuje pozorovaný pokles průtoku a zvýšení jeho variability na řece Shelek.

**Tabulka 8: Minimální průtok toku Shelek**

Rok	Vlastnosti			Průtok Q (m <sup>3</sup> /s) od P, %						
	Q <sub>0</sub> , m <sup>3</sup> /s	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	0,01%	0,1%	1%	3%	5%	10%	25%
1928–1982	147±8,70	0,29±0,04	0,58	458	334	280	252	237	216	184
1983–2009	116±3,31	0,14±0,02	0,28	186	173	157	148	144	137	126

### 3.2.5 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 a do řeky začala proudit relativně čistá voda.

### 3.2.6 Ledový režim

Řeka Shelek patří k řekám s ledovými jevy s nestabilním zamrzáním. Před uvedením nádrže Bartogay do provozu řeka Shelek trvale nezamrzala, viz tabulka 9. Od začátku provozu nádrže Bartogay se začalo objevovat zamrzání, které je spojeno se snížením vypouštění zimní vody.

Tabulka 9: Ledové jevy na řece Shelek

Charakteristika	Datum		Trvání, den	
	Začátek ledových jevů	Konec ledových jevů	Počet ledových jevů	Zamrzání
Střední	19.11	15.03	99	
Raný	19. 10. 1952	15. 2. 1963	138	
Rok			1950–1951	
Pozdní	24. 12. 1971	3. 4. 1951	62	0
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.

### 3.2.7 Závěr

- 1) Údolí řeky Shelek má poměrně složitou morfológickou strukturu. Horská část je dána širokým podélným údolím v hřebeni mezi pohořími Ilijski Alatau na severu a Kungej Alatau na jihu.
- 2) 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.
- 3) Povodí řeky Shelek v místě navržené přehrady má plochu  $F = 4\,300 \text{ km}^2$ .
- 4) 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.

S uvedením této nádrže do provozu průtok řeky Shelek vzrůstal a jeho variabilita se zvětšila.

- 5) Tající vody „věčných“ sněhů a ledovců hrají při plnění řeky Shelek hlavní roli. Při zásobování průtoků nízkých vod má významnou úlohu podzemní voda, kterou tvoří hlavně tající vody, které prošly transformací v povodí. Řeka Shelek patří k řekám s letními povodněmi.
- 6) Největší měsíční průtok na řece Shelek v místě projektované přehrady je pozorován v červenci až srpnu. Hodnoty největšího měsíčního průtoků v období od roku 1983 do roku 2009 se zvýšily, ale absolutní maximální průtok a jeho variabilita se snížila. Obecně to naznačuje, že nádrž Bartogay má vyhlazovací účinek na špičkové vypouštění vody a redistribuuje ji po delší období.
- 7) 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 průtoků a ke zvýšení jeho variability. To je způsobeno akumulací průtoků nízké vody v nádrži.
- 8) Splaveninové odtoky na řece Shelek v zarovnání projektované přehrady po zprovoznění nádrže Bartogay se snížily téměř 10×.
- 9) Objem suspendovaných a tažných sedimentů pro první rok provozu projektované nádrže bude 30,2 tis. m<sup>3</sup>. Maximální objem sedimentů v nádrži, po jehož dosažení se zastaví zanášení, je 7,18 mil. m<sup>3</sup>. V současné době, když sedimentace významné části sedimentu se stává v nádrži Bartogay, může ucpání projektované nádrže trvat déle než 1 000 let.
- 10) Po zprovoznění nádrže Bartogay se na řece Shelek začalo objevovat zamrzání v místě 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**

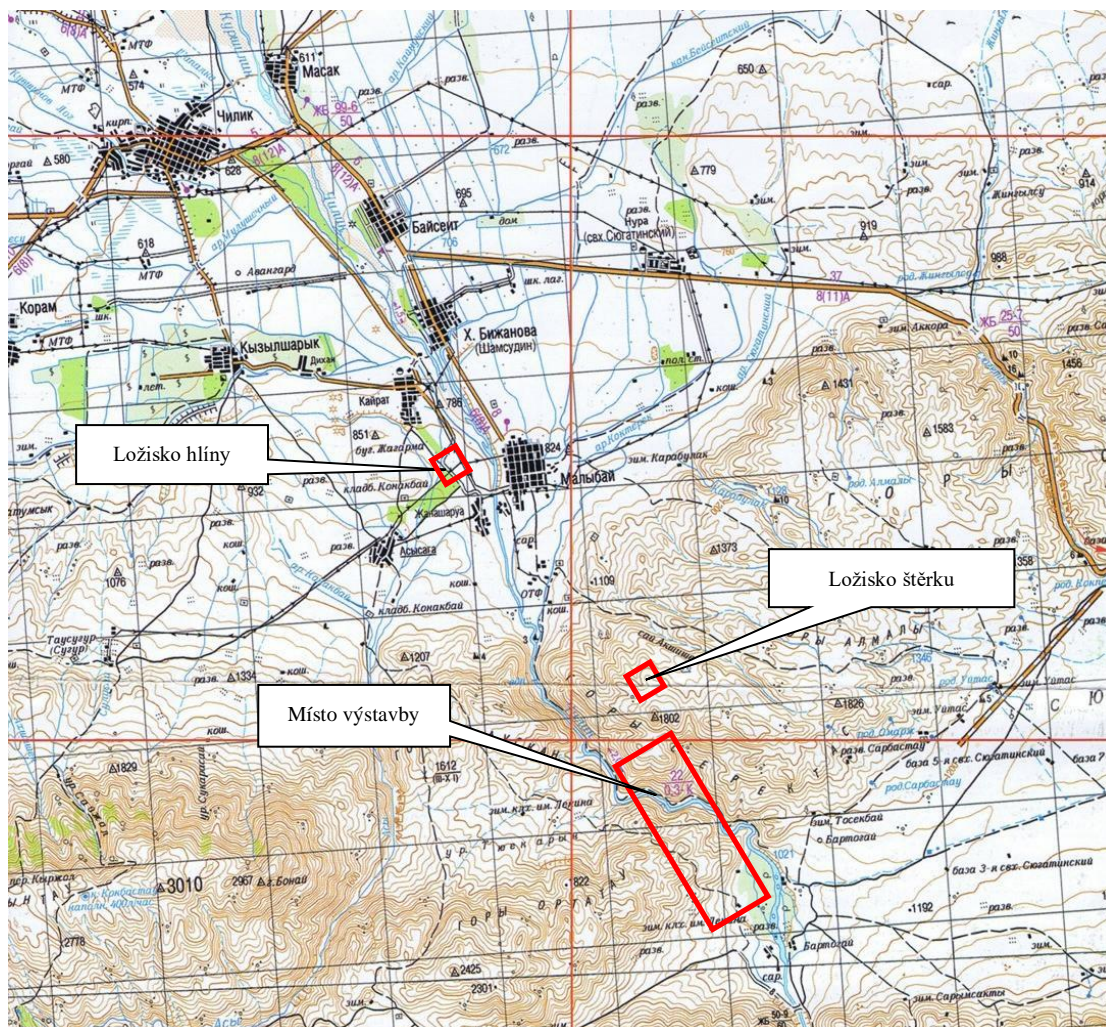
V souvislosti s návrhem nádrže na řece Shelek, kromě dostupných materiálů a jejich podrobností, byly provedeny tyto topografické a geodetické práce:

- 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 sousostí 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 rokly představuje pohoří Serektas, levou pohoří Sauskan (viz obrázek 1 a obrázek 2).



Obrázek 1: Situace širších vztahů



Obrázek 2: 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.

Z hlediska geomorfologie se zajímavé 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 3: 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 půd se nachází pod plánovanou přehradou na pravém břehu řeky Shelek, kde je málo rozvinuté zemědělství.

Podzemní vody nejsou zasaženy. Odhadovaný výskyt hladiny podzemní vody je přes 50 m.

#### **Hlína písčítá**

Hlína se vyskytuje přímo v oblasti zátopy, takže 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 kaskády vodních elektráren sloužících k dodávce elektřiny pro část Almatinské oblasti nacházející se v jižní části Kazachstánu. Hlavním požadavkem je výška vodního spádu, a to je 50 m.

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

Samotná elektrárna není danou diplomovou prací řešena.

### 4.2 Konstrukční řešení

#### 4.2.1 Hráz

Typ hráze – sypaná – byla vybrána kvůli požadavku na zpracování tohoto projektu. Tento typ hráze má své výhody, tou hlavní je její vybudování z místních materiálů, dále menší náročnost z hlediska pracnosti a také z energetického hlediska.

Jako stavební materiál stabilizační části bude používán štěrk. Jedná se o vhodný materiál z pohledu jeho konstrukčních charakteristik a dobrého umístění ložiska, co se týče místa výstavby.

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

Hráz bude mít výšku 62 m. Kóta koruny se bude nacházet ve výšce 932 m n. m., šířka koruny bude 12 m, délka 161 m. Na koruně budou vybudována vozovka a vlnolam. Vlnolam se bude napojovat na střední zemní a asfaltobetonové těsnění. Pravá část koruny bude zasahovat do břehu – až do skalního podloží. Štěrk a hlína, které budou odsud odstraněny, budou následně použity při výstavbě tělesa hráze.

Kóta zásobního prostoru se nachází ve výšce 927,00 m n.m. a kóta stálého nadržení – ve výšce 907,00 m n.m. Maximální hladina je ve výšce 931,5 m n.m. Mrtvý prostor má hladinu ve výšce 885,00 m n.m.

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

V rámci dané diplomové práce byly provedeny návrhy tří variant těsnění hráze: střední zemní těsnění, asfaltobetonové těsnění a návodní těsnění geomembránou.

Střední zemní těsnění bude z písčité hlíny, která se vyskytuje v místě zatopení, ale i v nedalekém ložisku. Tloušťka zemního jádra v nejšířším 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 tři vrstvy – dvě jsou přechodové zóny a třetí je filtr, který musí chránit zemní těsnění před vymíláním jemných částic.

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

Asfaltobetonové těsnění – umístění nepropustné vrstvy z asfaltobetonu uprostřed tělesa hráze. Tato technologie byla vyvinuta v šedesátých letech minulého století. Bez ohledu na své výhody, jako je např. velmi malá propustnost, má i nevýhody – komplikovaný postup výstavby, jelikož ten vyžaduje jinou technologii než stabilizační těleso sypané hráze. Asfaltobeton je výhodnější než pouhý beton, jelikož beton praská. Nevýhodou je také rozdělení tělesa hráze „stěnou“, která může bránit výstavbě a dalšímu jejímu provozu. Jinak se jedná o dobrý typ těsnění. Střední hutněná asfaltobetonová těsnění mají tloušťku 30–60 cm. [3] V hrázi se středním asfaltobetonovým těsněním voda se odtéká přes drenáž, který se nachází ve vzdušní patě hráze.

Geomembránové těsnění je návodním těsněním. Jeho výstavba není náročná, je levná a toto těsnění je prakticky nepropustné. Tento typ vyžaduje podkladní a ochrannou vrstvu. V návodním svahu hráze je navrženo umístění chodby s drenážním potrubím, které by sloužila pro odvádění vody, napojuje se na výpustné zařízení.

V případě středního zemního těsnění a asfaltobetonového těsnění bude návodní líc obložen kamenným záhozem se šterkovým podkladem. Tato vrstva slouží k zabránění vymývání částic ze stabilizační části hráze.

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

Ve všech třech variantách bude na vzdušní líc osazeno osetí a bude ohumusován.

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 m n. m., šířka koruny bude 15 m. K převádění vody ze stavby se bude využívat potrubí napojené na odpadní tunel.

#### 4.2.2 Sdružený objekt

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

Výpustní objekty obvykle slouží k regulaci hladiny v nádrži a k zachování průtoku a životnosti toku pod přehradou. Obvykle se umísťují vedle dna. Celkový objem vody, který leží pod ní, se nazývá mrtvý objem. V navrhované nádrži leží mrtvý objem níže než 885 m n. m.

Dvě výpusti budou umístěny do potrubí, které bude v průběhu výstavby převádět vodu ze staveniště. Část tohoto potrubí bude zabetonovaná, jelikož výpusti jsou navrženy na průtok menší než potrubí sloužící pro převádění vody ze stavby. Výpusti obíhají šachtu a napojují se na odpadní tunel cca v 7,5 m od jeho začátku. Mají průměr 2,4 m. Jsou navrženy tak, aby jedna z nich převáděla průtok větší než minimální zůstatkový průtok.

Obě výpusti mají stavidlový uzávěr, který je neregulovatelný. Uzávěr bude umístěn přímo před věžovým objektem, do kterého bude umístěno zařízení k ovládní uzávěru.

Sklon je 2,8 %. Dno výpusti je umístěno ve výšce 885 m n. m., což tvoří mrtvý objem hráze.

Výpusti budou uloženy do betonového podkladu a skalního podloží.

Z hlediska okolí hráze a velkých průtoků byl vybrán typ přelivu – šachtový. Šachtový přeliv je navržen na  $Q_{10000}$ . Délka jeho přepadové hrany je 56,5 m. Průměr 20 m. Od vtokové části až dolů se šachta zužuje až do 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 nejspíše by to snížilo maximální průtok.

Odpadní tunel leží mimo těleso přehrady, aby do něj co nejméně zasahoval a nenarušoval 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 vývodem, neboť v tunelu vzniká bystrinné proudění, které je potřeba ztlumit, než se dostane do stávajícího koryta toku.

Odpadní tunel má průměr 7,8 m. Slouží k převádění vody pro desetitisíciletou povodeň. V průběhu výstavby hráze bude na odpadní tunel napojeno potrubí k převádění vody ze stavby.

Věž je umístěna nad korunou hráze ve výšce 932,5 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 uzávěrám spodních výpustí.

K místu napojování můstku do terénu bude vystavěna příjezdová komunikace vedená od osady Malybai. Podél vodní elektrárny a vedle vzdušného líce hráze se rozděluje na dvě cesty, jedna z nich pokračuje k odběrnému objektu a druhá vede po vzdušném líci hráze k sdruženému objektu.

### 4.2.3 Odběrný objekt

Prísne 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 odpadového objektu leží mezi výškami 927,00 m n. m., což je zásobní hladina nádrže, a 907,00 m n. m. – hladinou stálého nadržení, kde vtoková šachta přestane být zatopená.

Průměr vtokové šachty je 7,0 m, v přechodové oblasti se tunel šachty zužuje do 4,5 m. Šachta má výšku 32 m, napojuje se na tunel, který vede k vodní elektrárně. Tunel má sklon 2 %, je z betonu. Maximální výškový spád je 60,0 m, minimální je 40,0 m.

Odběrný objekt je osazen dvěma uzávěry u vtokové šachty a minimálně jeden musí být umístěn v budově vodní elektrárny, před 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 se 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 zarovnaný 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 přesně řešeny.

#### **4.2.4 Vývar**

Odpadní tunel sdruženého objektu končí vývařištěm. Proudění vody v odpadním tunelu podle výpočtů (viz kapitola 4.4.2) bude bystřinné, 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.

Celková délka vývaru je navržena 58,0 m, šířka 10,0 m a hloubka 9,0 m. Výška spádu bude 10,7 m. Je tvořen z betonu.

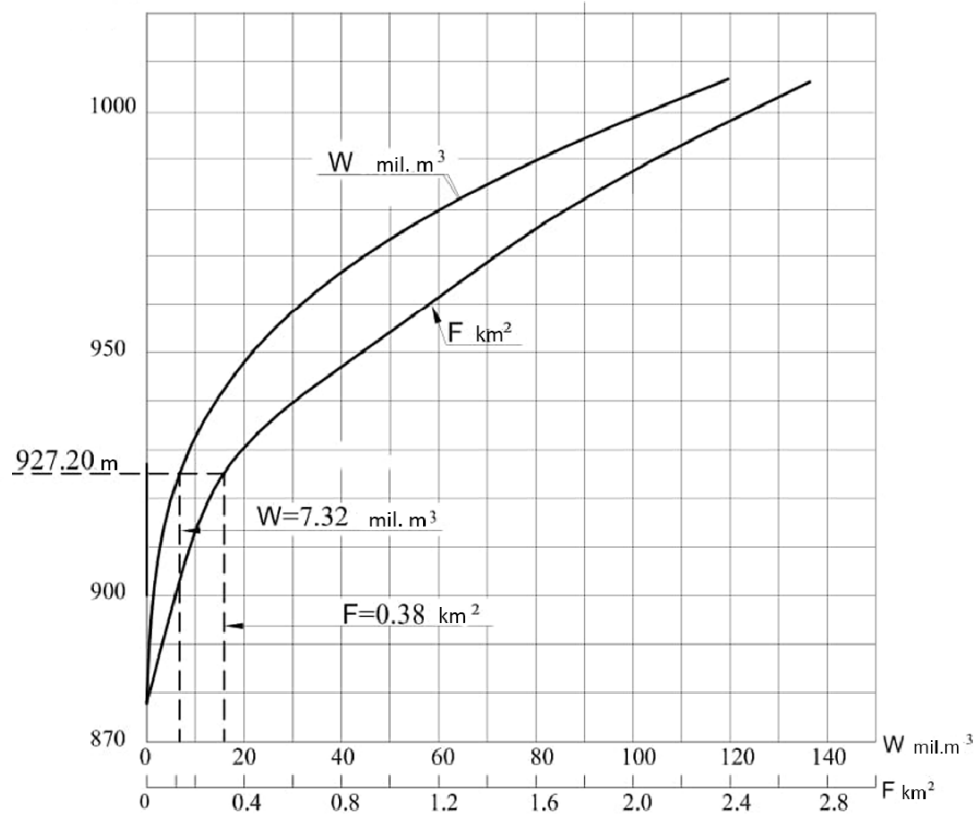
Vývar se napojuje na stávající koryto toku Shelek.

## 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 spočítat plochy a objemy jen přibližně pomocí mapy, která je uvedena ve výkresu A.2 – Situace širších vztahů.



Obrázek 4: Čáry zatopených ploch a objemů

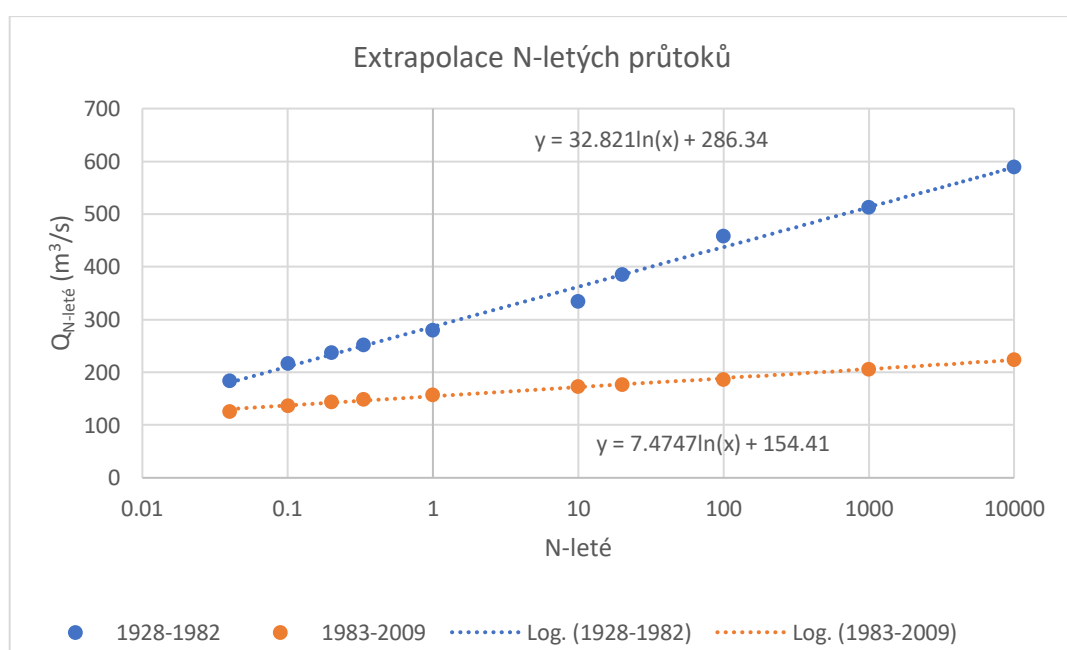
### 5.2 Extrapolace průtoku

Pro návrh bezpečnostního přelivu, tunelu, který převádí vodu ze stavby a výpustních zařízení, byly dopočítány průtoky:  $Q_{MZP}$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{10000}$ .

Pro výpočet byla použita metoda extrapolace. Z obdržených dat byly sestaveny grafy, viz obrázek 5 a obrázek 6. Byla použita linie trendu a rovnice vztahující se k ní. Pomocí této rovnice byly dopočítány hodnoty nutných průtoků.

**Tabulka 10: Extrapolace N-letých průtoků**

Roky	N	100	<b>20</b>	10	1	1/3	1/5	0,10	0,04	1 000	<b>10 000</b>
1928–1982	$Q_{N\text{-leté}}$ ( $m^3/s$ )	458	<b>384,66</b>	334	280	252	237	216	184	513,05	<b>588,63</b>
1983–2009	$Q_{N\text{-leté}}$ ( $m^3/s$ )	186	<b>176,80</b>	173	157	148	144	137	126	206,04	<b>223,25</b>

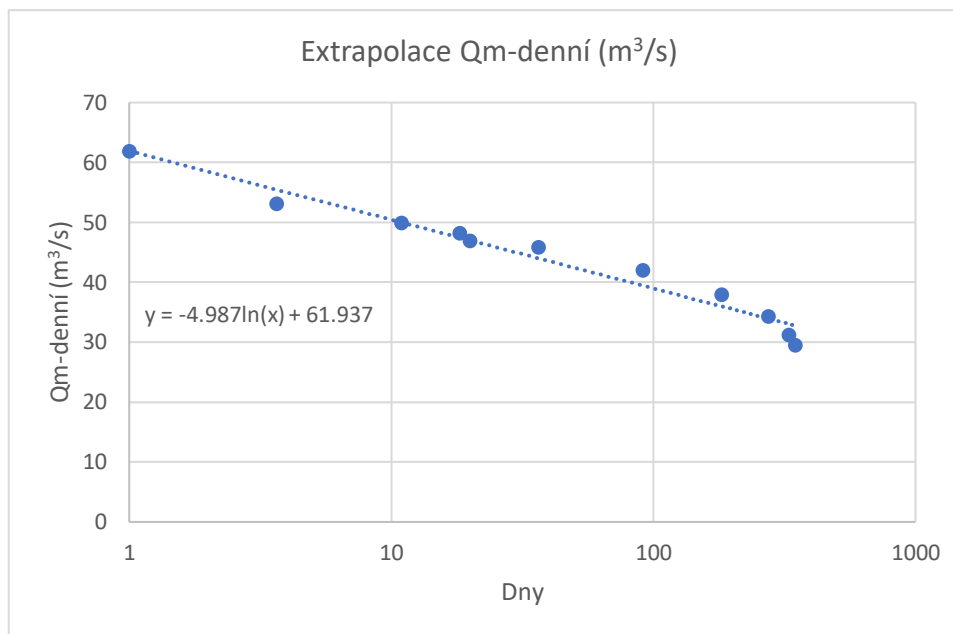


**Obrázek 5: Extrapolace N-letých průtoků**

**Tabulka 11: Extrapolace m-denních průtoků**

Den	<b>1</b>	4	11	18	<b>20</b>	37	91	183	274	329	347	<b>355</b>	<b>364</b>
$Q_{m\text{-denní}}$ ( $m^3/s$ )	<b>61,93</b>	53,1	49,9	48,2	<b>46,99</b>	45,9	42	38	34,3	31,2	29,5	<b>32,65</b>	<b>32,52</b>





Obrázek 6: Extrapolace m-denních průtoků

### 5.3 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 12.

Tabulka 12: 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  $Q_{355d} = 32,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  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  $Q_{MZP} = 32,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 5.4 Funkční objekty

### 5.4.1 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, s normální korunou. Šachtový přeliv 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:

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

- $Q$  – 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  $Q_{10000} = 223,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , byl dopočítán pomocí N-letých průtoků a jejich extrapolací, viz kapitola 4.2.

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 byla použita následující rovnice:

$$b_0 = 2\pi R$$

- $b_0$  – účinná šířka přelivu [m]
- $R$  – poloměr přelivu [m]
- $\pi$  – Ludolfovo číslo, rovná se 3,14

Poté byla zkrácena vlivem boční kontrakce:

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

- $b$  – součet délek polí [m]
- $\xi$  – součinitel zúžení [-]
- $b_0$  – účinná šířka přelivu [m]
- $h$  – přepadová výška [m]

Součinitel přepadu byl vypočítán dle výrazu Rolle:

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

- $m$  – 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:  $A = 0,461$  (-),  $\alpha = 0,033$  (-).

**Tabulka 13: Výpočet délky přepadové hrany**

<b>h (m)</b>	<b>m (-)</b>	<b>b<sub>0</sub> (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>.s)</b>
0,10	0,53	56,53	4,23
0,20	0,52	56,51	11,71
0,30	0,52	56,49	21,22
0,40	0,51	56,47	32,36
0,50	0,51	56,45	44,90
0,60	0,50	56,43	58,66
0,70	0,50	56,41	73,55
0,80	0,50	56,39	89,46
0,90	0,50	56,37	106,34
1,00	0,50	56,35	124,11
1,10	0,49	56,33	142,74
1,20	0,49	56,31	162,17
1,30	0,49	56,29	182,37
1,40	0,49	56,27	203,32
1,50	0,49	56,25	224,98

$Q_{10000} = 223,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Přelivná hrana je navržena pro  $224,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Poloměr vtokové části šachtového přelivu  $R = 10,0 \text{ m}$ .

V přechodné části se šachtový přeliv zužuje do poloměru  $r = 3,4$  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]

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

**Tabulka 14: 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	3,18
0,20	0,02	3,19
0,30	0,03	3,20
0,40	0,04	3,21
0,50	0,06	3,22
0,60	0,07	3,22
0,70	0,08	3,23
0,80	0,09	3,24
0,90	0,10	3,25
1,00	0,11	3,26
1,10	0,12	3,26
1,20	0,13	3,27
1,30	0,14	3,28
1,40	0,16	3,29
1,50	0,17	3,29

Dle výpočtu vychází, že k zahlcení dojde od výšky 3,18 m, což je 933,18 m n. m. Maximální hladina nadržení je 931,50 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 15: Návrh vlastností odpadního tunelu**

R	2,5 m
i	3,36%
délka	258,9 m
vtok	884 m n. m.
výtok	875,3 m n. m.
výška	8,7 m
n (beton)	0,013

Tabulka 16: Výpočet odpadního tunelu

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> )
0,40	52,35	0,93	3,56	0,26	61,46	5,75	5,33
0,80	74,71	2,58	5,09	0,51	68,70	8,97	23,16
1,20	92,37	4,66	6,29	0,74	73,18	11,55	53,86
1,60	107,72	7,05	7,33	0,96	76,43	13,74	96,94
2,00	121,69	9,68	8,28	1,17	78,95	15,65	151,47
2,40	134,76	12,49	9,17	1,36	80,98	17,32	216,28
2,80	147,23	15,43	10,02	1,54	82,66	18,80	290,01
3,20	159,32	18,46	10,84	1,70	84,06	20,10	371,15
3,60	171,18	21,55	11,65	1,85	85,23	21,25	458,01
4,00	182,94	24,67	12,45	1,98	86,21	22,24	548,80
4,40	194,73	27,78	13,25	2,10	87,02	23,09	641,57
4,80	206,68	30,85	14,07	2,19	87,68	23,80	734,21
5,20	218,94	33,84	14,90	2,27	88,19	24,36	824,40
5,60	231,68	36,72	15,77	2,33	88,56	24,77	909,58
6,00	245,16	39,44	16,69	2,36	88,78	25,02	986,85
6,40	259,74	41,96	17,68	2,37	88,84	25,09	1 052,70
6,80	276,08	44,21	18,79	2,35	88,71	24,94	1 102,59
7,20	295,59	46,09	20,12	2,29	88,32	24,50	1 129,52
7,60	323,14	47,45	22,00	2,16	87,44	23,54	1 117,21
7,80	360,00	47,78	24,50	1,95	85,98	22,01	1 051,69

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  $Q_{10000} = 223,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , takže pro své účely převádět povodňový průtok vyhovuje.

I když by pro převádění povodňového průtoku stačil tunel s průměrem, který se rovná cca 4,4 m, byl velký průřez navržen kvůli napojení v první řadě na šachtový tunel s průměrem 6,8 m a v druhé řadě kvůli napojení potrubí, které by mělo převádět vodu ze stavby. Jsou to dva tunely o průměru 3,2 m.

Těsně za napojením šachty bezpečnostního přelivu má odpadní tunel náhlé rozšíření, aby nedocházelo k zatopení tunelu a tlakovému proudění. Je sem také umístěno zavzdušňovací zařízení.

### Výpusti

Výpočet byl prováděn vždy pro jednu výpusť. Druhá byla stejná. Každá výpusť byla navržena tak, aby převáděla minimální zůstatkový průtok a jednoletou povodeň. Protože  $Q_1$  (61,93 m<sup>3</sup>/s) je větší než  $Q_{MZP}$  (32,59 m<sup>3</sup>/s), výpočet se prováděl podle  $Q_1$ .

Výpusti byly dopočítány jako výtok malým otvorem, neboť do malého otvoru patří všechny otvory, které splňují danou podmínku:

$$h_T > (2 - 3) * a$$

- $h_T$  – výška vody od horní hladiny vody do osy otvoru [m]
- $a$  – výška otvoru [m]

$h_{Tmax} = 45,3$  m (maximální hladina nadržení – 931,5 m n. m.)

$h_{Tmin} = 30,8$  m (hladina stálého nadržení – 917,0 m n. m.)

$(2 - 3) \cdot a$  se pohybuje mezi 4,8 m a 7,2 m, což ve srovnání s  $h_T$  je výrazně menší.

Výpočet byl proveden pomocí následujících výrazů:

$$v_c = \varphi * \sqrt{2gh_T}$$

- $v_c$  – rychlost [m.s<sup>-1</sup>]
- $h_T$  – výška vody od horní hladiny vody do osy otvoru [m]
- $\varphi$  – součinitel pro výpočet otvoru [-], pro daný výpočet byl zvolen 0,97 [6]
- $g$  – tíhové zrychlení, 9,81 [m.s<sup>-2</sup>]

$$Q = \mu_v * S * \sqrt{2gh_T}$$

- $h_T$  – výška vody od horní hladiny vody do osy otvoru [m]
- $Q$  – průtok [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]
- $S$  – průtočná plocha [m<sup>2</sup>]
- $\mu_v$  – součinitel pro výpočet otvoru [-], pro daný výpočet byl zvolen 0,61 [6]

Výpočet byl proveden pro různé výšky hladiny vody v nádrži – od maximální do minimální, kdy už voda nebude zasahovat výpusti.  $H_v$  – výška vody v nádrži od dna výpusti.

Tabulka 17: Výtok otvorem pro různé hladiny vody v nádrži

Hv (m)	R (m)	h <sub>T</sub> (m)	S (m <sup>2</sup> )	v <sub>c</sub> (m.s <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
45,30	2,40	45,30	4,52	28,92	82,27
45,00	2,40	45,00	4,52	28,82	82,00
44,00	2,40	44,00	4,52	28,50	81,08
43,00	2,40	43,00	4,52	28,17	80,15
42,00	2,40	42,00	4,52	27,84	79,22
41,00	2,40	41,00	4,52	27,51	78,27
40,00	2,40	40,00	4,52	27,17	77,31
39,00	2,40	39,00	4,52	26,83	76,34
38,00	2,40	38,00	4,52	26,49	75,35
37,00	2,40	37,00	4,52	26,13	74,35
36,00	2,40	36,00	4,52	25,78	73,34
35,00	2,40	35,00	4,52	25,42	72,31
34,00	2,40	34,00	4,52	25,05	71,27
33,00	2,40	33,00	4,52	24,68	70,22
32,00	2,40	32,00	4,52	24,31	69,15
31,00	2,40	31,00	4,52	23,92	68,06
30,00	2,40	30,00	4,52	23,53	66,95
29,00	2,40	29,00	4,52	23,14	65,82
28,00	2,40	28,00	4,52	22,74	64,68
27,00	2,40	27,00	4,52	22,33	63,51
26,00	2,40	26,00	4,52	21,91	62,33
25,00	2,40	25,00	4,52	21,48	61,12
24,00	2,40	24,00	4,52	21,05	59,88
23,00	2,40	23,00	4,52	20,61	58,62
22,00	2,40	22,00	4,52	20,15	57,33
21,00	2,40	21,00	4,52	19,69	56,01
20,00	2,40	20,00	4,52	19,21	54,66
19,00	2,40	19,00	4,52	18,73	53,28
18,00	2,40	18,00	4,52	18,23	51,86
17,00	2,40	17,00	4,52	17,72	50,40
16,00	2,40	16,00	4,52	17,19	48,89
15,00	2,40	15,00	4,52	16,64	47,34
14,00	2,40	14,00	4,52	16,08	45,74
13,00	2,40	13,00	4,52	15,49	44,07
12,00	2,40	12,00	4,52	14,88	42,34
11,00	2,40	11,00	4,52	14,25	40,54
10,00	2,40	10,00	4,52	13,59	38,65
9,00	2,40	9,00	4,52	12,89	36,67
8,00	2,40	8,00	4,52	12,15	34,57
7,00	2,40	7,00	4,52	11,37	32,34
6,00	2,40	6,00	4,52	10,52	29,94
5,00	2,40	5,00	4,52	9,61	27,33
4,00	2,40	4,00	4,52	8,59	24,45
3,00	2,40	3,00	4,52	7,44	21,17
2,00	2,40	2,00	4,52	6,08	17,29
1,20	2,40	1,20	4,52	4,71	13,39



Potrubí výtupu 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 [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

**Tabulka 18: Výpočet**

$y_h$	45,30 m	maximální výška vody v nádrži
$i$	3,8%	
$L$	50,00 m	
$D$	2,40 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>		
$v$	$9,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
$Re$	20942515,02	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000208	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	$22,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Druhý návrh</b>		
$v$	$22,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
$Re$	51894387,52	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,0002083	
$\lambda$	0,013	Moodyho diagram
$v$	$22,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Rychlosti se rovná, výpočet dokončen</b>		
$Q$	$103,69 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	průtok jednou výtupí

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

Vypočítaný průtok  $Q = 103,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je větší než  $Q_1 = 61,93 \text{ m}^3/\text{s}$ , navržený průměr výpusti vyhovuje.

### 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  $Q_{20} = 176,80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

K zatopení potrubí by docházet nemělo, proto byla použita 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 [-]

A 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: Návrhové hodnoty**

n	2	počet potrubí
R	1,6 m	navržený poloměr
i	2,86%	sklon
délka	35 m	délka před vtokem do odpadního tunelu
vtok	885,00 m n. m.	kóta vtoku vody
výtok	884,00 m n. m.	kóta napojení na odpadní tunel

Tabulka 20: Výpočet potrubí pro převádění vody ze stavby

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> )	Q celková (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
0,50	93,13	0,80	2,60	0,31	63,23	5,94	4,77	9,53
1,00	135,95	2,15	3,80	0,57	69,95	8,89	19,09	38,19
1,50	172,83	3,70	4,83	0,77	73,59	10,89	40,32	80,65
2,00	208,96	5,29	5,84	0,91	75,67	12,18	64,38	128,77
2,50	248,46	6,74	6,94	0,97	76,55	12,75	85,98	171,97
3,00	302,09	7,83	8,44	0,93	75,98	12,38	96,94	193,88
3,20	360,00	8,04	10,05	0,80	74,11	11,21	90,12	180,23

Q celková je průtok ze dvou potrubí s poloměrem 1,6 m. Návrh vyhovuje, Q celková je větší než Q<sub>20</sub>.

### 5.4.2 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 [m.s<sup>-1</sup>]
- g – tíhové zrychlení, 9,81 [m.s<sup>-2</sup>]
- y – střední hloubka vody [m]

$Fr = 2,5$  – proudění je bystrinné, takže je potřeba vývar.

Hlavním parametrem vývaru je délka, která musí odpovídat délce vodního skoku. Pro výpočet této délky existují různé vzorce.

Pro výpočet byl využit výraz podle Pavlovského:

$$L = 2,5(1,9y_2 - y_1)$$

- $L$  – 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 21: Výpočet**

<b>Energetická výška se rovná součtu hloubky vývaru, výšky potrubí a výšky sklonu čáry energie (<math>I_v</math>)</b>		
$i$	3,36%	sklon odpadního tunelu
$v$	18,63 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	rychlost proudění v odpadním tunelu
$I_v$	17,69 m	výška sklonu čáry energie
<b>Návrh hloubky vývaru a výšky spádu</b>		
$s$	10,70 m	výška spádu
$d$	9,00 m	hloubka vývaru
$E$	35,89 m	energetická výška
$q$	81,43 $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	měrný průtok
<b>První výpočet</b>		
$y_c$	2,9020 m	
<b>Iterační postup</b>		
$y_c'$	3,0130 m	
$y_c''$	3,0175 m	
$y_c'''$	3,0177 m	
$y_c''''$	3,0177 m	Hodnoty se vyrovnaly, $y_c = 3,02$ 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 [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$$y_2 = 13,69 \text{ m}$$

Dále je třeba posoudit míru vzdutí.

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

Míra vzdutí:

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

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

$$\sigma = 1,09 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$L = 57,49 \text{ m} \rightarrow \text{výpočet délky podle Pavlovského}$$

$$L = 58,00 \text{ m} \rightarrow \text{návrh délky vývaru}$$

### 5.4.3 Odběrný objekt

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

Výpočet se prováděl stejně jako u výpusti.

Tabulka 22: Výpočet

$y_h$	20,00 m	maximální funkční výška vody v nádrži
$i$	2,0%	sklon potrubí
$L$	360,00 m	délka
$D$	4,50 m	
$\xi$	0,45	ztráta vtokem
$\nu$	$1,06E-06 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	kinematická viskozita vody
$\Delta$	0,000500 m	hydraulická drsnost
<b>První návrh</b>		
$v$	$11,38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
$Re$	48351172,97	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,000111	
$\lambda$	0,014	Moodyho diagram
$v$	$13,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Druhý návrh</b>		
$v$	$13,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	navrhovaná rychlost
$Re$	56243105,69	Reynoldsovo číslo
$\Delta/D$	0,00025	
$\lambda$	0,014	Moodyho diagram
$v$	$13,24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	dopočítaná rychlost
<b>Rychlosti se rovná, výpočet dokončen</b>		
$Q$	$210,70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	průtok potrubím odběrného objektu

## 5.5 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 například hydraulická propustnost se pohybuje mezi hodnoty  $1 \cdot 10^{-14}$ – $10^{-17} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 5.5.1 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 [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
- $k$  – filtrační součinitel [ $m \cdot s^{-1}$ ]
- $H$  – 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:

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

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

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

**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 23: 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:

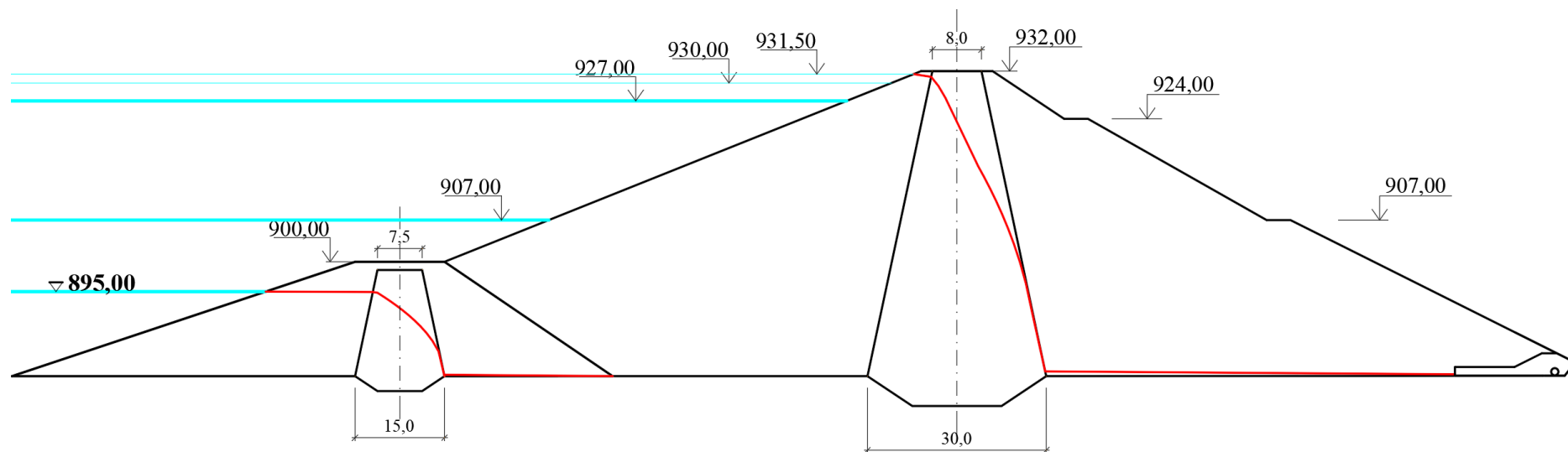
$$H = 15 \text{ m}$$

$$t_s = 11,25 \text{ m}$$

$$q = 4,79\text{E-}04 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

**Tabulka 24: Koordináty depresní křivky malé hráze**

x (m)	y (m)
0,00	0,00
1,00	4,17
2,00	5,90
3,00	7,23
4,00	8,35
5,00	9,33
6,00	10,22
7,00	11,04
8,00	11,81
9,00	12,52
10,00	13,20
11,00	13,84
11,25	14,00



Obrázek 7: 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, ale je 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 stavidlovými uzávěry, proloženy v potrubí, které by během výstavby mělo převádět vodu ze stavby. Napojují se na odpadní tunel cca 7,5 m za napojením šachtového přelivu. 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 a průtoku větším než  $Q_{4\text{-denní}}$ .

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 jistě 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.

## 9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Dlouhodobé hodnoty teploty vzduchu na MS Shelek .....	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 .....	12
Tabulka 4: Dlouhodobé hodnoty průměrné rychlosti větru v MS Shelek .....	12
Tabulka 5: Průměrný roční průtok toku Shelek .....	14
Tabulka 6: Roční rozdělení průtoku řeky Shelek.....	14
Tabulka 7: Maximální průtok toku Shelek .....	15
Tabulka 8: Minimální průtok toku Shelek.....	16
Tabulka 9: Ledové jevy na řece Shelek.....	17
Tabulka 10: Extrapolace N-letých průtoků.....	31
Tabulka 11: Extrapolace m-denních průtoků.....	31
Tabulka 12: Stanovení MZP .....	32
Tabulka 13: Výpočet délky přepadové hrany .....	34
Tabulka 14: Výpočet kritické výšky zahlcení šachtového přelivu.....	35
Tabulka 15: Návrh vlastností odpadního tunelu .....	36
Tabulka 16: Výpočet odpadního tunelu .....	37
Tabulka 17: Výtok otvorem pro různé hladiny vody v nádrži.....	39
Tabulka 18: Výpočet .....	40
Tabulka 19: Návrhové hodnoty.....	41
Tabulka 20: Výpočet potrubí pro převádění vody ze stavby .....	42
Tabulka 21: Výpočet .....	43
Tabulka 22: Výpočet .....	45
Tabulka 23: Koordináty depresní křivky velké hráze .....	47
Tabulka 24: Koordináty depresní křivky malé hráze .....	48

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Situace širších vztahů .....	20
Obrázek 2: Pohled na rokli v místě přehrady .....	20
Obrázek 3: Celkový pohled na horské svahy.....	23
Obrázek 4: Čáry zatopených ploch a objemů .....	30
Obrázek 5: Extrapolace N-letých průtoků .....	31
Obrázek 6: Extrapolace m-denních průtoků .....	32
Obrázek 7: Depresní křivky .....	49



## **11 Seznam příloh**

Příloha 1: A.1 Zajímavé území

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

Příloha 3: B.1.a,b Situace. Hráz se středním zemním těsněním, s AB 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