

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební  
Katedra hydrotechniky



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vodohospodářské řešení výhledové vodní nádrže Borovnice  
na Svatce

Water management analysis of the Borovnice reservoir  
on the Svatka River

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Květen 2017

Jonáš MELICHAR



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Melichar Jméno: Jonáš Osobní číslo: 424336  
Zadávací katedra: Katedra hydrotechniky  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vodohospodářské řešení výhledové vodní nádrže Borovnice na Svatce

Název bakalářské práce anglicky: Water management analysis of the Borovnice reservoir on the Svatka River

Pokyny pro vypracování:

Výhledová vodní nádrž Borovnice byla zařazena do Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod. Profil hráze je umístěn v horním povodí vodního toku Svatka. Cílem bakalářské práce je zpracování vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže Borovnice, která bude spolupracovat se stávající vodní nádrží Vír I na Svatce. Bakalářská práce současně rámcově posoudí retenční funkci nádrže. Řešení bude zpracováno v souladu s ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží.

Seznam doporučené literatury:

Patera., A, Nacházel, K., Fošumpaur, P.: Nádrže a vodohospodářské soustavy 10. Vydavatelství ČVUT, 2002.  
ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží.

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

20.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Prohlášení**

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

.....

Místo zpracování, celé datum

.....

Jonáš Melichar

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu doc. Dr. Ing. Pavlu Fošumpaurovi za odborné vedení a cenné rady při tvorbě této bakalářské práce. Můj vděk patří rovněž státnímu podniku Povodí Moravy, a to zejména panu Ing. Martinu Borákovi za pomoc při hledání vhodného tématu práce i poskytnuté informace. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem učitelům, kteří mne kdy vedli po trnité cestě poznání.

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je posoudit efekt zapojení výhledové vodní nádrže Borovnice do soustavy se stávající nádrží Vír I z hlediska zásobování vodou. Zhodnoceno je také zvýšení protipovodňové ochrany území mezi nádržemi. Pro řešení zásobní funkce byla užitá postupně bilanční metoda v reálné i syntetické řadě průměrných měsíčních průtoků. Byla vyhodnocena zabezpečení dodávky vody samostatně působící nádrží Vír I a její navýšení zapojením nádrže Borovnice do soustavy. Transformací povodňových vln  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  metodou Runge – Kutta 4. řádu bylo zjištěno navýšení protipovodňové ochrany území. Veškeré výpočty jsou zpracovány pro variantní rozdělení prostorů v nádrži. Výsledky této práce umožňují posoudit opodstatněnost vybudování vodní nádrže Borovnice na Svratce.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vodní nádrž, soustava nádrží, vodohospodářské řešení, zásobní funkce, retenční funkce, zabezpečení dodávky vody, transformace povodňové vlny.

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to evaluate the effect of connection of prospective reservoir Borovnice and existing reservoir Vír I into a water resources system. Evaluated is also the improvement in flood protection of an area between the reservoirs. Water storage function was solved by balance method in real and synthetic series of average monthly flows. Security of water supply was evaluated for reservoir Vír I working separately and for its cooperation with reservoir Borovnice. Transformation of flood waves with return period 100, 50 and 20 years was performed by method Runge – Kutta of 4<sup>th</sup> order and the protection improvement of the area was observed. All the calculations were performed in multiple variations of volume distribution in the reservoir. The results of this thesis enable to assess the substantiation of the construction of Borovnice reservoir on the Svratka River.

## **KEY WORDS**

Reservoir, water resources system, water management analysis, water supply, flood protection, security of water supply, flood wave transformation.

# OBSAH PRÁCE

1. ÚVOD .....	- 3 -
2. SPECIFIKACE CÍLŮ PRÁCE .....	- 4 -
3. SOUČASNÝ STAV .....	- 5 -
3.1. Výhledová vodní nádrž Borovnice .....	- 5 -
3.2. Stávající vodní nádrž Vír I .....	- 6 -
3.3. Možnost spolupráce .....	- 8 -
3.4. Hydrologické podklady .....	- 9 -
4. UŽITÉ METODOLOGICKÉ POSTUPY .....	- 10 -
4.1. Charakteristika nádrže .....	- 10 -
4.2. Určení prostoru stálého nadržení .....	- 10 -
4.3. Úprava hydrologických dat .....	- 10 -
4.4. Namodelování syntetických průtokových řad .....	- 11 -
4.5. Stanovení minimálního zůstatkového průtoku pod Borovnicí .....	- 12 -
4.6. Model chování nádrže Vír I .....	- 12 -
4.7. Zavedení ztrát výparem .....	- 13 -
4.8. Model chování soustavy Borovnice – Vír I .....	- 14 -
4.9. Výpočet zabezpečení .....	- 16 -
4.10. Vytvoření povodňových vln pro Borovnici .....	- 16 -
4.11. Návrh bezpečnostního přelivu .....	- 17 -
4.12. Transformace povodňové vlny .....	- 18 -
5. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ .....	- 20 -
5.1. Vstupní data .....	- 20 -
5.1.1. Charakteristika nádrže .....	- 20 -
5.1.2. Prostor stálého nadržení .....	- 21 -
5.1.3. Upravená hydrologická data .....	- 21 -
5.1.4. Minimální zůstatkový průtok pod Borovnicí .....	- 21 -
5.2. Zásobní funkce .....	- 22 -
5.2.1. Stávající zabezpečení .....	- 22 -
5.2.2. Zabezpečení soustavy .....	- 23 -
5.2.3. Maximální možný odběr .....	- 24 -
5.2.4. Minimální potřebný zásobní objem .....	- 25 -

5.3.	Retenční funkce .....	- 26 -
5.4.	Vybrané varianty.....	- 28 -
5.4.1.	Varianta s maximálním odběrem.....	- 28 -
5.4.2.	Doporučená varianta.....	- 29 -
6.	ZÁVĚR.....	- 32 -
7.	SEZNAMY.....	- 34 -
7.1.	Použitá literatura .....	- 34 -
7.2.	Seznam tabulek .....	- 35 -
7.3.	Seznam obrázků.....	- 36 -
7.4.	Seznam zkratk .....	- 36 -
8.	PŘÍLOHY .....	- 37 -

# 1. ÚVOD

Výhledová vodní nádrž Borovnice na horním toku Svratky byla zařazena do Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod (Generel LAPV). Tento dokument tvoří soupis lokalit poskytujících vhodné podmínky (morfologické, geologické, hydrologické aj.) pro akumulaci povrchových vod, tedy pro potenciální umístění vodní nádrže. [8]

Primárně je lokalita Borovnice hájena jako záložní vodárenský zdroj. V případě nepříznivého vývoje klimatické změny by mohla vodní nádrž Borovnice spolupracovat se stávající vodní nádrží Vír I a zajišťovat zásobování vodou pro oblast Žďár nad Sázavou – Bystřice nad Pernštejnem a pro Brněnskou aglomeraci. [8]

Nepříznivý vývoj klimatických změn je patrný již v současnosti. V roce 2016 byla na VUT v Brně zpracována studie zabývající se přepočtem účinnosti funkčních objemů nádrže Vír I s ohledem na prodloužení řady vstupních hydrologických podkladů. Z této studie vyplývá, že již v současnosti není při maximálních povolených odběrech z nádrže dosažena požadovaná zabezpečení, tzn., že zásobní prostor je nedostatečně kapacitní. Ačkoliv není v dané situaci odběr plného povoleného množství vyžadován, v budoucnu se jistě mohou požadavky na odběr zvýšit až na toto maximum. V takovém případě nebude Vír I samostatně schopen dostatečně spolehlivě zajistit dodávky vody. Otázka zapojení lokality Borovnice do soustavy je proto aktuální již nyní. Je zcela na místě zpracování podrobnější studie, zabývající se součinností výhledové vodní nádrže Borovnice a stávající vodní nádrže Vír I. [6]

Bude-li možné, s ohledem na vodohospodářské řešení zásobní funkce, vyčlenit z celkového objemu nádrže Borovnice dostatečně velkou část pro retenční prostor, může se účinně zapojit také do protipovodňové ochrany území. Transformací povodňové vlny a dostatečným snížením kulminačního průtoku by přispěla k ochraně sídel níže po toku. Ač je primárním požadavkem na lokalitu zásobní funkce, součástí této bakalářské práce je také snaha o optimalizaci rozdělení celkového objemu mezi funkci zásobní a ochrannou. [8]



## 2. SPECIFIKACE CÍLŮ PRÁCE

- Shromáždění a zpracování potřebných podkladů pro lokalitu Borovnici i vodní nádrž Vír I.
- Vypracování charakteristiky nádrže Borovnice.
- Rozdělení celkového objemu nádrže Borovnice na jednotlivé funkční objemy (prostor stálého nadržení, zásobní prostor a retenční prostor).
- Navržení výpočetního schématu pro vodohospodářské řešení zásobní funkce soustavy nádrží Borovnice a Vír I.
- Určení stávající zabezpečení samostatně působící vodní nádrže Vír I.
- Vypočtení dosažené zabezpečení soustavy nádrží Borovnice – Vír I pro různé poměry rozdělení objemu Borovnice mezi zásobní a retenční funkci.
- Vyčíslení maximálního možného odběru z nádrže Vír I pro požadovanou zabezpečení soustavy a danou velikost zásobního prostoru v Borovnici.
- Nalezení potřebné velikosti zásobního prostoru v Borovnici pro požadovanou zabezpečení dodávky vody při daném odběru.
- Stanovení transformačního účinku nádrže při dané velikosti retenčního prostoru.
- Optimalizace funkčních objemů v nádrži Borovnice.

### 3. SOUČASNÝ STAV

#### 3.1. Výhledová vodní nádrž Borovnice

Výhledová vodní nádrž Borovnice se nachází na horním toku Svratky poblíž obce Krásné na pomezí Pardubického kraje a kraje Vysočina. Celková plocha povodí po přehradní profil činí 115,7 km<sup>2</sup>. [8]



Obr. 3.1 – Poloha VN Borovnice [8]

Dle Generelu LAPV je potenciální objem nádrže až 8,8 mil. m<sup>3</sup> při zatopené ploše 102,7 ha. Velikosti jednotlivých funkčních prostorů (prostoru stálého nadržení, zásobního prostoru a retenčního prostoru) byly navrženy ve Směrném vodohospodářském plánu ČSR z roku 1988. Objem VN Borovnice v něm však byl předpokládán výrazně větší než v současnosti, proto není toto rozčlenění použitelné. Pro velikost nádrže předpokládanou v Generelu LAPV není celkový objem nikterak rozčleněn. Navržení dílčích objemů a jejich optimalizace je součástí této bakalářské práce. [8] [14]

Je třeba podotknout, že obce Březiny, Pustá Rybná, Telecí a Krásné, tedy všechny dotčené obce, vyjádřily s vybudováním nádrže písemný nesouhlas. Tato skutečnost by mohla případnou výstavbu zkomplikovat. Jako vhodný předběžný krok lze navrhnout zlepšení informovanosti dotčeného obyvatelstva o všech pozitivních efektech, které bude nádrž Borovnice po svém uvedení do provozu vykazovat. [8]

### 3.2. Stávající vodní nádrž Vír I

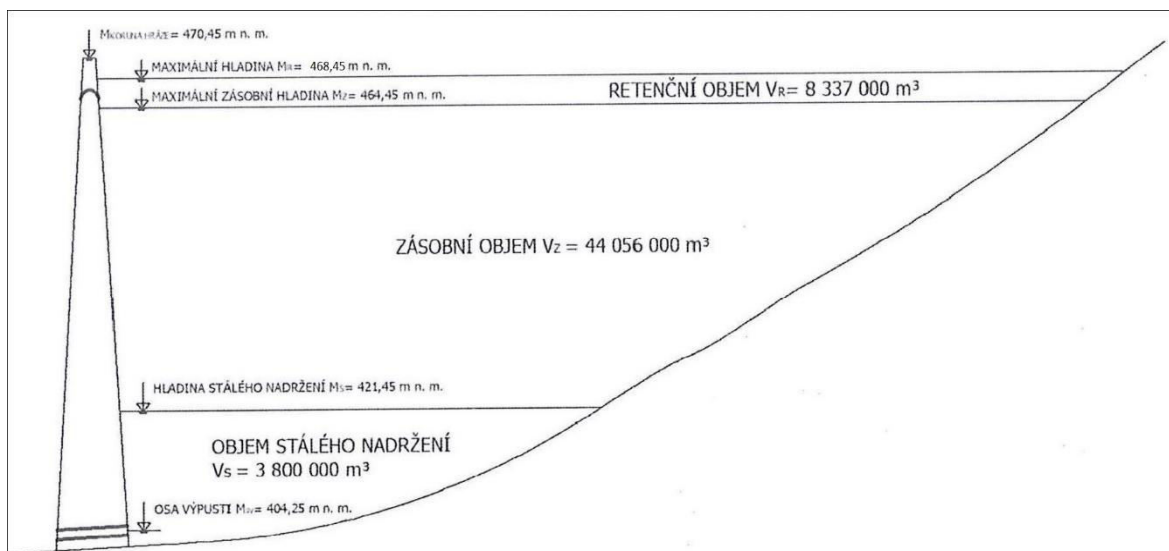
Přehradní profil vodní nádrže Vír I na Svatce se nachází poblíž obce Vír v kraji Vysočina. Plocha povodí po profil přehrady je 410,35 km<sup>2</sup>. [11]



Obr. 3.2 – Poloha vodního díla Vír I [5]

Celkový objem nádrže při maximální hladině činí 56,193 mil. m<sup>3</sup>. *Prostor stálého nadržení* se nachází mezi kótou 401,45 m n. m. a 421,45 m n. m. Jeho objem je 3,8 mil. m<sup>3</sup> a zatopená plocha při hladině stálého nadržení je 42,8 ha. *Zásobní prostor* má objem 44,056 mil. m<sup>3</sup> a při své hladině na kótě 464,45 m n. m. je zatopena plocha 194 ha. *Hladina ovladatelného retenčního prostoru* je určena korunou nehrazeného bezpečnostního přelivu na kótě 467,05 m n. m. Celkový ovladatelný retenční objem je 5,286 mil. m<sup>3</sup>, zatopená plocha je 212,20 ha. *Neovladatelný retenční prostor* o objemu 3,051 mil. m<sup>3</sup> je shora omezen maximální hladinou na kótě 468,45 m n. m. Při této hladině je zatopeno 223,60 ha. Schéma rozdělení prostorů v nádrži lze nalézt na obr. 3.3. [11]

Z nádrže je odebírána voda pro Vírský oblastní vodovod zásobující Brněnskou aglomeraci, pro skupinové vodovody Bystřice nad Perštejnem a Žďár nad Sázavou a je nutno vypouštět minimální zůstatkový průtok. Dále jsou prováděny odběry vody pro špičkovou vodní elektrárnu Vír I a průběžnou vodní elektrárnu ROTTER s.r.o., ty však do celkové vodohospodářské bilance nezasahují. [11]



Obr. 3.3 – Vodohospodářské schéma nádrže Vir I [11]

Pro Vírský oblastní vodovod je vodoprávním povolením schválen odběr v průměrném množství  $Q_{VOV} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , nicméně využití plného povoleného množství není v současnosti potřebné a nepočítá se s ním ani v blízké budoucnosti. V současnosti je průměrná hodnota odběru  $Q_{VOV} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pro skupinové vodovody Bystřice nad Perštejnem a Žďár nad Sázavou je prováděn odběr v hodnotě  $Q_{ŽĎÁR} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Minimální zůstatkový průtok pod nádrží je požadován v hodnotě  $MQ = 0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ . Do okamžiku, než odběr pro VOV překročí hodnotu průměrného odběru  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , je však realizován nalepšený minimální zůstatkový průtok  $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ . [11]

Celkový nalepšený odtok ( $O_p$ ) z nádrže Vir I je tedy uvažován ve dvou hodnotách. Odtok  $O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_{VOV} = 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{ŽĎÁR} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $MQ = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ ) odráží současný stav. Variantně bude proveden také výpočet pro nalepšený odtok  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_{VOV} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{ŽĎÁR} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $MQ = 0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ ), jakožto potenciální budoucí stav, při němž by se mohly výrazněji projevit problémy se zajištěním odběrů vody. [11]

Jelikož VOV zásobuje Brno a jeho okolí, spadá tento odběr dle ČSN 75 2405 do třídy významnosti A (vodovody pro více než 150 tisíc obyvatel) s doporučenou zabezpečeností dle trvání v hodnotě  $P_t = 99,5 \%$ . Pro potřeby této bakalářské práce je táž zabezpečenost uvažována i pro zbylé odběry. [1]



### 3.3. Možnost spolupráce

Studie *Přepočet funkčních objemů vodního díla Vír I*, zpracovaná v roce 2016 na VUT, zhodnotila zásobní funkci nádrže Vír I ve světle prodloužení řady vstupních hydrologických podkladů. Tímto byl zohledněn trend vývoje klimatu, tudíž se dosažené výsledky liší od přípravných studií i manipulačního řádu vodního díla. [6] [11]

Zásobní funkce byla řešena, jak v reálné průtokové řadě z vodočetné stanice Dalečín v letech 1950 – 2015, tak v umělé průtokové řadě z této reálné řady generované. Nicméně plocha povodí po stanici Dalečín činí 367,06 km<sup>2</sup>, kdežto profil hráze Vír I ovládá povodí o rozloze 410,35 km<sup>2</sup>. Průměrné měsíční průtoky v místě profilu hráze jsou tedy zákonitě vyšší než ve stanici Dalečín. Lze předpokládat, že se tento fakt projeví na přesnosti výsledků. Přesto je na ně třeba reagovat. [4] [6]

Výpočet zabezpečení byl ve studii proveden při nalepšeném odtoku  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  a stávajícím zásobním objemu  $V_z = 44,056 \text{ mil. m}^3$ . Při těchto vstupních parametrech bylo v reálné průtokové řadě dosaženo zabezpečení podle trvání  $P_t = 98,59 \%$  a v umělé řadě  $P_t = 97,99 \%$ . Při zachování požadované zabezpečení  $P_t = 99,5 \%$  a zásobního objemu  $V_z = 44,056 \text{ mil. m}^3$  je dle studie možno uskutečnit odběr pouze v hodnotě  $O_p = 2,32 \text{ m}^3/\text{s}$  (týž výsledek pro reálnou i umělou průtokovou řadu). Ve všech případech vyšla kapacita zásobního prostoru nádrže Vír I jako nedostatečná. [6]

Tento deficit lze doplnit z výhledové vodní nádrže Borovnice. Státní podnik Povodí Moravy pro ni neuvažuje zřízení vlastní vodovodní infrastruktury. Pro Borovnici se tedy předpokládá kompenzační řízení odtoku, tzn. doplnění přítoku do VN Vír I v málovodných měsících ze zásobního prostoru nádrže Borovnice. [10]

### 3.4. Hydrologické podklady

Hydrologické údaje pro vodoměrnou stanici Borovnice (číslo databanky 4410) jsou následující:

- Plocha povodí: 127,95 km<sup>2</sup> [4]
- Dlouhodobý průměrný průtok ( $Q_a$ ): 1,45 m<sup>3</sup>/s [3]
- Třída přesnosti poskytovaných dat: I

Tab. 3.1 – Limnigraf Borovnice:  $m$  – denní průtoky [4]

Dny	30	90	180	270	330	355	364
Průtok (m <sup>3</sup> /s)	3,540	1,730	0,930	0,541	0,320	0,216	0,130

Tab. 3.2 – Limnigraf Borovnice:  $N$  – leté průtoky [2]

Roky	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Průtok (m <sup>3</sup> /s)	17,7	22,3	31,4	40,7	52,4	71,8	90

Hydrologické podklady pro vodoměrnou stanici Dalečín (číslo databanky 4420):

- Plocha povodí: 367,06 km<sup>2</sup> [4]
- Dlouhodobý průměrný průtok ( $Q_a$ ): 3,362 m<sup>3</sup>/s [11]
- Průměrný roční výpar: 613 mm [11]
- Třída přesnosti poskytovaných dat: I

Vodohospodářské řešení zásobní funkce soustavy nádrží Borovnice – Vír I bude provedeno bilancí v řadě průměrných měsíčních průtoků jak v reálné, tak v syntetické průtokové řadě. Řešení v reálné řadě bude uskutečněno v hydrologických rocích 1981 – 2015. K výpočtu je tedy využít kratší časový interval, než je k dispozici. Důvodem je, že tato řada lépe reprezentuje hydrologický režim na toku v současnosti i blízké budoucnosti. Reálné řady měsíčních průtoků ve stanici Borovnice a Dalečín jsou k nalezení v přílohách.

Všechna dostupná hydrologická data jsou vztažena k vodoměrné stanici Borovnice, resp. Dalečín. Je třeba je upravit do profilu hrází metodou hydrologické analogie.

## 4. UŽITÉ METODOLOGICKÉ POSTUPY

### 4.1. Charakteristika nádrže

Charakteristika nádrže (či batygrafické křivky) zahrnuje čáru zatopených ploch a čáru objemů, které specifikují morfologii údolí, v němž je nádrž umístěna. [10]

Čárou zatopených ploch  $F = \varphi(h)$  je při libovolné hloubce vody v nádrži určena plocha hladiny vodou zatopená. Pro zjištění zatopené plochy při dané kótě hladiny lze s výhodou použít digitálního modelu terénu. [13]

Čárou objemů  $V = \Phi(h)$  je určen objem vody v nádrži při libovolné kótě hladiny. Objem vrstvy  $\Delta V_i$  vymezené vodorovnými plochami v úrovni vrstevnic  $F_i$ , dostaneme ze vztahu:

$$\Delta V_i = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \Delta H_i = \bar{F}_i \Delta H_i$$

kde  $\bar{F}_i$  ... je střední velikost zatopené plochy mezi dvěma sousedními vrstevnicemi a  $\Delta H_i$  ... je jejich svislá odlehlost. Celkový objem nádrže po určitém hladinu ve výši  $H_{n+1}$  získáme z rovnice:

$$V = \sum_1^n \bar{F}_i \Delta H_i$$

je tedy sumou objemů jednotlivých vrstev. [13]

### 4.2. Určení prostoru stálého nadržení

S ohledem na hlavní funkci VN Borovnice (zásobování pitnou vodou) byl pro prostor stálého nadržení vyčleněn minimální objem, při němž je zachována vyhovující jakost vody v nádrži. Lze rovněž počítat se samočisticí schopností toku na poměrně dlouhém úseku mezi nádržemi při kompenzačním hospodaření s vodou.

### 4.3. Úprava hydrologických dat

Získané hydrologické údaje se vztahují k profilu limnigrafu Borovnice a limnigrafu Dalečín. Nicméně pro veškeré výpočty jsou potřebné údaje přímo k profilu hráze nádrže Borovnice, resp. Vír I. Získaná data (m – denní, N – leté a průměrné měsíční průtoky) je třeba upravit pro profily hrází metodou hydrologické analogie.

Pro Borovnici byla hodnota průtoku v přehradním profilu  $Q_{pp}$  získána jako součin průtoku v profilu limnigrafu  $Q_{lim}$  a poměru plochy povodí k přehradnímu profilu  $S_{pp}$  a limnigrafu  $S_{lim}$ , tedy:

$$Q_{pp} = Q_{lim} \frac{S_{pp}}{S_{lim}} = Q_{lim} \frac{115,7}{127,95}$$

Pro nádrž Vír I byl užit obdobný postup, pro větší přesnost však byl použit poměr dlouhodobého průměrného průtoku v profilu hráze  $Q_{a,pp} = 3,637 \text{ m}^3/\text{s}$  a v profilu limnigrafu  $Q_{a,lim}$  za synchronní období, převzaté z manipulačního řádu VN Vír I [11]:

$$Q_{pp} = Q_{lim} \frac{Q_{a,pp}}{Q_{a,lim}} = Q_{lim} \frac{3,637}{3,362}$$

#### 4.4. Namodelování syntetických průtokových řad

Jelikož nádrž Borovnice a Vír I leží na téže toku, je třeba namodelovat syntetické průtokové řady v závislých stanicích. Pro potřeby této bakalářské práce je využita metoda ortogonální transformace (známá též jako metoda principiální komponenty).

Původní proměnné (průměrné měsíční průtoky reálné řady)  $y_{i,j,k}$  jsou normovány dle vztahu:

$$x_{i,j,k} = \frac{y_{i,j,k} - \bar{y}_{j,k}}{s_{j,k}}$$

kde  $i = 1, 2, \dots, T$  (počet roků pozorování),  $j = 1, 2, \dots, 12$  (počet měsíců),  $k = 1, 2, \dots, n$  (počet profilů),  $\bar{y}_{j,k}$  ... je střední hodnota a  $s_{j,k}$  ... je směrodatná odchylka. [9]

Hlavní komponenty  $z_{i,j,k}$  se pro každý měsíc  $j$  definují jako lineární kombinace proměnných  $x_{i,j,k}$  takto:

$$z_{i,j,k} = q_{j,1,k} x_{i,j,1} + q_{j,2,k} x_{i,j,2} + \dots + q_{j,n,k} x_{i,j,n}$$

kde koeficienty  $q_{j,n,k}$  ... jsou v měsíci  $j$  funkcí korelační matice:

$$\begin{bmatrix} r_{j,1,1} & r_{j,1,2} & \dots & r_{j,1,n} \\ r_{j,2,1} & r_{j,2,2} & \dots & r_{j,2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{j,n,1} & r_{j,n,2} & \dots & r_{j,n,n} \end{bmatrix}$$

kde  $r_j$  ... jsou koeficienty korelace mezi současnými hodnotami  $x_{i,j,k}$  pro různé stanice  $k$ . [9]



Pro vyřešení koeficientů  $q_{j,n,k}$  se vypočítají kovariační matice, charakteristická čísla a charakteristické vektory těchto matic. Následně jsou charakteristická čísla normována celkovým rozptylem. [9]

Poté jsou generovány měsíční průtoky ve fiktivních, nezávislých stanicích. Pro ty je třeba provést inverzní transformaci, jíž jsou získány korelované náhodné průtoky ve skutečných profilech. Inverzní transformace je uskutečněna dle vztahu:

$$x_{i,j,k} = p_{j,1,k} z_{i,j,1} + p_{j,2,k} z_{i,j,2} + \dots + p_{j,n,k} z_{i,j,n}$$

kde  $p_{j,n,k} \dots$  jsou koeficienty tvořící inverzní matici k původní matici prvků  $q_{j,n,k}$ . [9]

#### 4.5. Stanovení minimálního zůstatkového průtoku pod Borovnicí

Stanovení MZP pod profilem VN Borovnice bylo provedeno z m-denních průtoků v profilu hráze dle metodického pokynu Odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí. Způsob určení MZP je patrný z následující tabulky:

Tab. 4.1 – Stanovení minimálního zůstatkového průtoku [7]

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

#### 4.6. Model chování nádrže Vír I

Jakožto simulační model zásobní funkce nádrže Vír I byla využita postupně bilanční metoda s měsíčním krokem řešení. Pro známou konstantní hodnotu odběru  $O_p$ , určenou z požadavků na nádrž, je vyjádřen bilanční deficit  $\Delta V_i$  v i-tém časovém kroku následovně:

$$\Delta V_i = (O_p - Q_i) \Delta t$$

kde  $Q_i \dots$  je průměrný přítok do nádrže v daném měsíci a  $\Delta t \dots$  je doba trvání jednoho kroku řešení, tedy počet vteřin v jednom měsíci. Ve výpočtu je užit zjednodušující předpoklad jednotné délky měsíců 30,5 dne. [10]

Postupně jsou vyjádřeny kumulované deficity zásobního objemu  $V_k$  ze vztahu:

$$V_k = \sum_{i=1}^k \Delta V_i$$

přičemž za počáteční podmínku je zvolen nulový kumulovaný deficit (plný zásobní objem). Díky dostatečně dlouhé vstupní řadě má tato volba na výsledek řešení zanedbatelný vliv. Pro vyčíslení kumulovaných deficitů je třeba zavést tato logická omezení:

- a) Pakliže je  $V_k < 0$ , je zásobní prostor nádrže naplněn. Výsledkem v tomto kroku je  $V_k = 0$ , kteréhož je využito při výpočtu  $V_{k+1}$ . Veškerý přebytečný přítok odtéká neplodně.
- b) Pakliže je  $V_k > V_z$ , je zásobní prostor nádrže prázdný. Výsledkem v tomto kroku je  $V_k = V_z$ . Dochází k poruše dodávky vody, jelikož nebyl zajištěn celý požadovaný odběr  $O_p$ . [10]

Ke kumulovanému deficitu je rovněž vyjádřen zůstatek v zásobním prostoru  $V_{z,i}$ :

$$V_{z,i} = V_z - V_k$$

který je doplňkem do celkového zásobního objemu.

#### 4.7. Zavedení ztrát výparem

Z manipulačního řádu vodního díla Víř I je znám průměrný roční výpar (613 mm). Jeho procentuální rozdělení pro jednotlivé měsíce je určeno dle ČSN 75 2405. [11] [1]

Pro výpočet objemu vypařené vody v daném měsíci je třeba určit průměrnou plochu hladiny. Nejprve se vypočte bilanční deficit, kumulovaný deficit a zůstatek v zásobním prostoru bez uvažování ztrát (dle podkapitoly 4.6.). Poté je hodnota zůstatku v zásobním prostoru zprůměrována se zůstatkem v přechozím kroku řešení (již ovlivněném výparem). Pro tuto průměrnou hodnotu se z charakteristiky nádrže určí plocha pro výpar. [6]

Následně je celkový měsíční objem vypařené vody přepočten na ztrátový odtok  $Z_v$  ( $m^3/s$ ). Ten se zavádí do bilančního deficitu takto:

$$\Delta V_i = (O_p + Z_v - Q_i) \Delta t$$

#### 4.8. Model chování soustavy Borovnice – Vír I

Z typologického hlediska se u soustavy Borovnice – Vír I jedná o neúplnou kaskádu nádrží. Hlavním úkolem řešení je formulovat změnu zákona přítoku do VN Vír I, která je vyvolaná manipulacemi na Borovnici. Tento ovlivněný přítok je vstupem do modelu nádrže Vír I dle podkapitoly 4.6. [13]

Pro Borovnici se předpokládá kompenzační řízení odtoku. Jejím úkolem je zadržovat ve svém zásobním prostoru vodu, již je možno uvolnit v málovodných měsících. Přítok do nádrže Vír I lze vyjádřit ve tvaru:

$$P_v = O_B + Q_M$$

Kde  $P_v$  ... je přítok do VN Vír I,  $O_B$  ... odtok z nádrže Borovnice,  $Q_M = (Q_V - Q_B)$  ... je přítok z mezipovodí a  $Q_V, Q_B$  ... je člen neovlivněné řady průměrných měsíčních průtoků v profilu Vír I, resp. Borovnice. [10]

Základním předpokladem fungování soustavy je udržovat VN Borovnici, pokud možno, s plným zásobním prostorem. K poklesům hladiny v důsledku odběrů v málovodných obdobích dochází primárně v nádrži Vír I. Výjimku tvoří navýšení odtoku z Borovnice na minimální zůstatkový průtok pod nádrží, o jehož zachování je snaha vždy.

Borovnice se zapojuje až v případě, že objem v zásobním prostoru Víru I klesne pod určenou kritickou hodnotu  $V_{Z,krit}$ . Ta je stanovena ze simulačního modelu pro samostatnou nádrž Vír I s užitím syntetické průtokové řady. Ve všech měsících, u nichž se vyskytne porucha, je zjištěn zůstatek v zásobním prostoru v přechodím kroku simulace.  $V_{Z,krit}$  je alespoň maximem z těchto hodnot.

Pakliže objem v zásobním prostoru Víru I klesne pod hodnotu  $V_{Z,krit}$ , začne se participovat i VN Borovnice. Přirozený přítok z mezipovodí  $Q_M$  doplňuje tak, aby bylo možné realizovat odběr  $O_p$  bez dalšího poklesu objemu ve Víru I. Přitom je nutné pamatovat na výpar z hladiny Víru I ( $Z_{v,V}$ ), o který je třeba odtok z Borovnice navýšit. Výpar  $Z_{v,V}$  je do podmínky pro odtok uvažován v jednotné hodnotě rovnající se maximálnímu výparu při hladině  $V_{Z,krit}$  (tj. v červenci). Pro vodohospodářskou bilanci Víru I je však použit výpar skutečný. Potřebný odtok z Borovnice  $O_B$  lze zapsat ve tvaru:

$$O_B = O_p + Z_{v,V} - Q_M$$

Uvedené manipulace znázorňuje následující tabulka:

Tab. 4.2 – Řídící schéma soustavy Borovnice – Vír I

Situace		Nádrž Borovnice	Nádrž Vír I
1	Stav	Plný $V_Z$ , $P_B > MZP_B$	$V_Z > V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = P_B - Z_{v,B}$	$P_V = Q_V - Z_{v,B}$
2	Stav	Neplný $V_Z$ , $P_B > MZP_B$	$V_Z > V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = MZP_B$ , nádrž se plní	$P_V = MZP_B + Q_M$
3	Stav	$V_Z > 0$ , $P_B < MZP_B$	$V_Z > V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = MZP_B$ , nádrž se prázdní	$P_V = MZP_B + Q_M$
4	Stav	Plný $V_Z$ , $P_B > (O_p + Z_{v,v} - Q_M)$	$V_Z \leq V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = P_B - Z_{v,B}$	$P_V = Q_V - Z_{v,B}$
5	Stav	Neplný $V_Z$ , $P_B > (O_p + Z_{v,v} - Q_M)$	$V_Z \leq V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = (O_p + Z_{v,v} - Q_M)$ , nádrž se plní	$P_V = O_p + Z_{v,v}$
6	Stav	$V_Z > 0$ , $P_B < (O_p + Z_{v,v} - Q_M)$	$V_Z \leq V_{Z,krit}$
	Reakce	$O_B = (O_p + Z_{v,v} - Q_M)$ , nádrž se prázdní	$P_V = O_p + Z_{v,v}$
7	Stav	$V_Z = 0$	$V_Z = 0$
	Reakce	Porucha	Porucha

kde je  $P$  ... přítok do nádrže,  $O$  ... odtok z nádrže,  $Q$  ... neovlivněný přítok,  $O_p$  ... požadovaný odběr z nádrže Vír I,  $V_Z$  ... zásobní prostor,  $V_{Z,krit}$  ... kritický objem v zásobním prostoru VN Vír I,  $Z_v$  ... ztráta výparem,  $MZP$  ... minimální zůstatkový průtok,  $Q_M$  ... přítok z mezipovodí ( $Q_M = (Q_V - Q_B)$ ), index  $V$  ... odkazuje na VN Vír I, index  $B$  ... odkazuje na VN Borovnici.

I pro nádrž Borovnici je třeba zavést logické omezující podmínky:

- Pakliže je dosaženo plného zásobního prostoru, veškerý přebytečný přítok odtéká. Dojde-li při plnění nádrže (situace 2 a 5 v tab. 4.2) k překročení hodnoty  $V_Z$ , příslušný odtok je navýšen tak, aby byla tako hodnota právě dosažena.
- Pakliže je dosaženo hodnoty  $V_Z = 0$ , zásobní prostor je prázdný a nalepšení již není možné. Je-li při prázdnění nádrže (situace 3 a 6 v tab. 4.2) podkročena hodnota  $V_Z = 0$ , příslušný odtok se upraví tak, že je hodnoty  $V_Z = 0$  právě dosaženo.
- Pakliže je možné z přítoku či zásobního prostoru nádrže odpouštět  $MZP$ , musí tak být učiněno.

Ztráty výparem pro nádrž Borovnici jsou zavedeny obdobným způsobem jako pro VN Vír I (podkapitola 4.7.). Jelikož se hladiny zásobních prostorů obou nádrží nachází přibližně na stejné kótě, je průměrný roční výpar pro Borovnici předpokládán se stejnou hodnotou jako pro Vír I (tj. 613 mm).

#### 4.9. Výpočet zabezpečení

Po každé uskutečněné simulaci je určen počet poruchových měsíců (měsíců, kdy nebylo možné zajistit plnou dodávku vody). Pro výpočet zabezpečení dle trvání  $P_t$  je použit vzorec Čegodajevův:

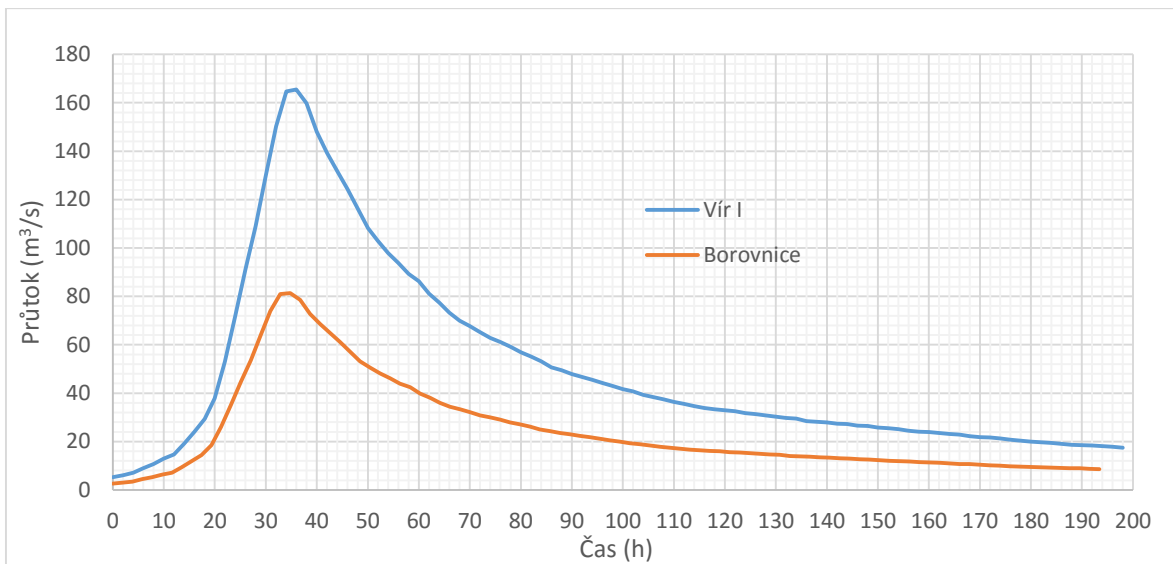
$$P_t = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} * 100$$

kde  $m$  ... je počet poruchových měsíců a  $n$  ... je počet všech kroků simulace.

#### 4.10. Vytvoření povodňových vln pro Borovnici

Pro povodňovou vlnu v profilu Vír I a Borovnice se předpokládá podobný charakter průběhu, odlišnosti se očekávají pouze v době nástupu, opadu povodně a ve velikosti kulminačního průtoku. Průběhy povodňových vln pro nádrž Vír I jsou známé ze studie *Přepočít funkčních objemů vodního díla Vír I*. Je tedy nutné nalézt pouze trvání odpovídající povodně v profilu VN Borovnice a pro známý poměr kulminačních průtoků vlnu z Víru I přetvořit na vlnu odpovídající profilu Borovnice. [6]

Pro zjištění závislosti v dobách trvání bylo analyzováno celkem osm historických povodní z let 1980 – 2007 převzatých z diplomové práce *Předpovídání povodňových průtoků v měrných profilech Borovnice – Dalečín*. Pro každou historickou povodeň byla určena její doba nástupu a opadu ve vodoměrné stanici Borovnice a Dalečín. Lineárně regresní metodou byla vytvořena funkce předpovídající dobu nástupu povodně v Borovnici v závislosti na délce nástupu povodně v Dalečíně. Totéž bylo provedeno pro opad povodně. Předpokládá se, že získané funkce lze s dostatečnou přesností užít i pro přepočít doby trvání mezi profilem hráze Víru I a Borovnice. Průběhy povodňových vln lze nalézt v přílohách. [4]



Obr. 4.1 – Průběh povodňové vlny  $Q_{100}$  v profilu Vír I a Borovnice

#### 4.11. Návrh bezpečnostního přelivu

Pro nádrž Borovnici je navržen nehrazený boční bezpečnostní přeliv o délce přelivné hrany  $b = 55$  m nacházející se na kótě 564,35 m n. m. Hloubka spadiště se předpokládá jako dostatečná, aby nedocházelo k zatopení dolní vodou (nedokonalému přepadu). Průtok přes přeliv je určen z přepadové rovnice:

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

kde  $\mu_p$  ... je součinitel přepadu a  $h$  ... je výška přepadového paprsku.

Přelivná hrana je navržena se zaoblenou korunou o poloměru  $r = 0,25$  m a výškou přelivu v horní vodě  $s = 0,5$  m. Pro výpočet součinitele přepadu byl užit vzorec dle Kramera ve tvaru:

$$\mu_p = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + \left[ 0,04 \left( \frac{h}{r} + 0,19 \right)^2 + 0,0223 \right] \frac{r}{s}$$

Vliv přítokové rychlosti a boční kontrakce přepadového paprsku se uvažuje jako zanedbatelný.

## 4.12. Transformace povodňové vlny

Při průchodu povodňové vlny se využívá retenční prostor nádrže (jak ovladatelný, tak neovladatelný) ke změně povodňového hydrogramu. Snížením kulminačního průtoku jsou zmenšeny povodňové škody a oddálením času kulminace je poskytnut potřebný čas k realizaci dalších ochranných opatření (např. ke stavbě mobilních protipovodňových stěn).

Pro výpočet transformace povodňové vlny je použita metoda Runge – Kutta 4. řádu. Řešena je základní diferenciální rovnice nádrže ve tvaru:

$$\frac{dV}{dt} = P(t) - O(t)$$

kde  $P(t)$  ... je přítok do nádrže v čase  $t$ ,  $O(t)$  ... je odtok z nádrže, přičemž  $O = f(V(t))$  a  $V(t)$  ... je objem vody v nádrži. [10]

Při známé hodnotě objemu  $V(t)$  v čase  $t$  se numerickou aproximací vypočítá objem v nádrži  $V(t + \Delta t)$  v čase  $(t + \Delta t)$  metodou Runge – Kutta 4. řádu ze vztahu:

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

kde:

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

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

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

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

[10]

Pro výpočet transformace povodňové vlny se předpokládá základní varianta bez operativního uvolnění části zásobního prostoru před nástupem povodně (bez předpouštění). Na začátku simulace se hladina v nádrži předpokládá na kótě hladiny zásobního prostoru.

Tato úroveň hladiny se udržuje i v počáteční fázi povodně – odtok z nádrže se udržuje na hodnotě přítoku a to až do dosažení neškodného odtoku. V momentě, kdy přítok do nádrže přesáhne neškodný odtok, se i nadále vypouští neškodný odtok a ovladatelný retenční prostor se počne plnit. V této fázi jsou pro odtok z nádrže využívány pouze spodní výpusti.

V okamžiku, kdy hladina v nádrži dosáhne úrovně přelivné hrany nehrazeného bezpečnostního přelivu, začne voda přetékat také přes něj. Spodní výpusti jsou postupně uzavírány tak, aby součet odtoku přes bezpečnostní přeliv a spodními výpustmi stále dosahoval hodnoty neškodného odtoku. Ve chvíli, kdy odtok přes bezpečnostní přeliv přesáhne hodnotu neškodného odtoku, jsou spodní výpusti již zcela zavřené a odtok z nádrže se stává neovladatelným.

Pro zjištění hodnoty neškodného odtoku byla analyzována záplavová území mezi profilem hráze Borovnice a VN Vír I. Zjišťovalo se, jestli inundace povodní jednotlivých N-letostí dosahují na zájmovém úseku zástavby. To se limitně potvrdilo i pro povodňovou vlnu  $Q_5$  (určité povodňové škody nastávají kupříkladu v obci Jimramov). Z důvodu absence podrobnějších informací je neškodný odtok z nádrže Borovnice volen odhadem z intervalu ( $Q_2 - Q_5$ ) v hodnotě  $Q_{neš} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ . [12]



## 5. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

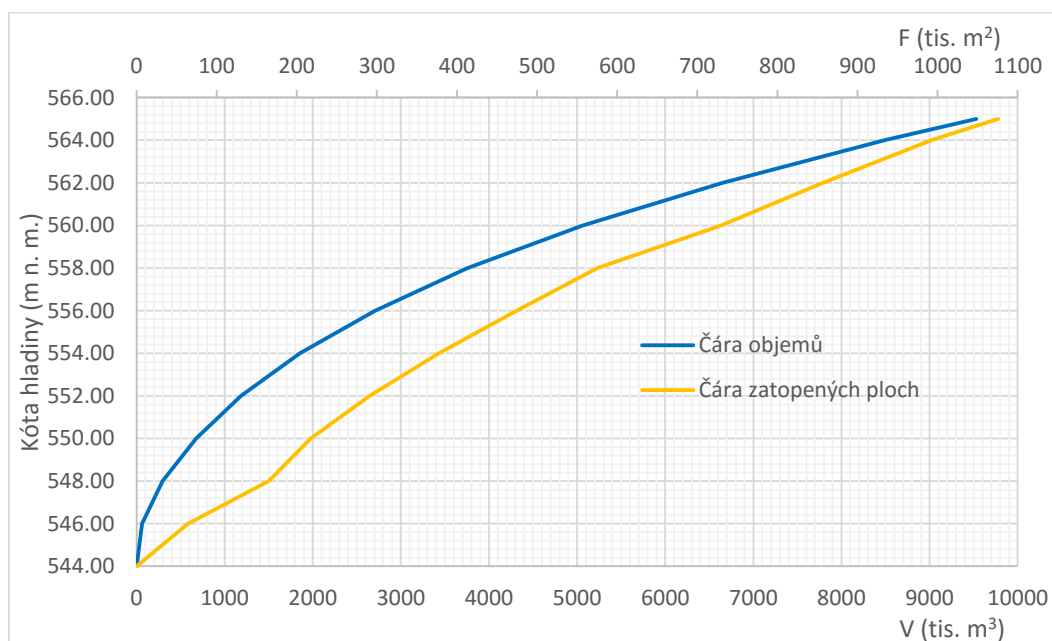
### 5.1. Vstupní data

#### 5.1.1. Charakteristika nádrže

Pro sestavení čáry zatopených ploch byl využit digitální topografický model ZABAGED. Maximální hladina byla určena na kótě 565,00 m n. m.

Tab. 5.1 – Charakteristika nádrže Borovnice (číselná)

Kóta hladiny (m n. m.)	Zatopená plocha F (m <sup>2</sup> )	Objem V (m <sup>3</sup> )
544,00	0	0
546,00	64 654	64 654
548,00	165 256	294 565
550,00	217 503	677 324
552,00	291 010	1 185 836
554,00	377 379	1 854 225
556,00	474 393	2 705 997
558,00	575 146	3 755 536
560,00	729 538	5 060 220
562,00	856 389	6 646 147
564,00	992 734	8 495 270
565,00	1 075 437	9 529 355



Obr. 5.1 – Charakteristika nádrže Borovnice (grafická)

### 5.1.2. Prostor stálého nadržení

Celkový objem VN Borovnice byl vypočten v hodnotě 9,529 mil. m<sup>3</sup>. Hladina stálého nadržení byla určena na kótě 552,00 m n. m., objem prostoru stálého nadržení je tedy 1,186 mil. m<sup>3</sup>. Mezi zásobní a retenční prostor je možné rozdělit 8,343 mil. m<sup>3</sup>.

### 5.1.3. Upravená hydrologická data

Po úpravě hydrologickou analogií jsou data pro profil hráze Borovnice následující:

- Plocha povodí: 115,7 km<sup>2</sup> [8]
- Dlouhodobý průměrný průtok (Q<sub>a</sub>): 1,31 m<sup>3</sup>/s
- Třída přesnosti dat: II

Tab. 5.2 – Profil hráze Borovnice: m – denní průtoky

Dny	30	90	180	270	330	355	364
Průtok (m <sup>3</sup> /s)	3,201	1,564	0,841	0,489	0,289	0,195	0,118

Tab. 5.3 – Profil hráze Borovnice: N – leté průtoky

Roky	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Průtok (m <sup>3</sup> /s)	16,0	20,2	28,4	36,8	47,4	64,9	81,4

Upravená hydrologická data pro přehradní profil Víru I jsou tato:

- Plocha povodí: 410,35 km<sup>2</sup> [11]
- Dlouhodobý průměrný průtok (Q<sub>a</sub>): 3,637 m<sup>3</sup>/s [11]
- Třída přesnosti dat: II

Reálné řady měsíčních průtoků pro profil hráze Borovnice a Vír I lze nalézt v přílohách.

### 5.1.4. Minimální zůstatkový průtok pod Borovnicí

Hodnota Q<sub>355</sub> = 0,195 m<sup>3</sup>/s, náleží tedy do intervalu <0,05 – 0,5 m<sup>3</sup>/s >. Minimální zůstatkový průtok na úseku pod VN Borovnicí je stanoven v hodnotě 0,242 m<sup>3</sup>/s.

## 5.2. Zásobní funkce

### 5.2.1. Stávající zabezpečení

Jako podklad pro vyhodnocení účinku výstavby vodní nádrže Borovnice bylo nutno určit současnou zabezpečení dle trvání  $P_t$  samostatné nádrže Vír I v reálné řadě 1981 – 2015 i syntetické průtokové řadě. Zabezpečení byla vypočtena pro stávající hodnotu odběru  $O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$  i pro maximální povolenou hodnotu odběru  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ . Objem zásobního prostoru nádrže  $V_z = 44,056 \text{ mil. m}^3$ .

Tab. 5.4 – Stávající zabezpečení samostatné VN Vír I

Řada	Odběr $O_p$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Počet měsíců	Počet poruch	$P_t$ (%)
reálná	1,93	420	0	99,833
syntetická	1,93	12 000	8	99,928
reálná	2,53	420	7	98,168
syntetická	2,53	12 000	134	98,878

Řešení v reálné i syntetické řadě ukazují, že stávající požadavek na odběr v hodnotě  $O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$  je možno s dostatečnou zabezpečení uspokojit i samostatnou nádrží Vír I. Při maximální povolené hodnotě odběru  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  se však problémy s dodávkou vody projevují.

Rozdíly ve výsledcích, oproti studii *Přepočít funkčních objemů vodního díla Vír I*, způsobují dva vzájemně protikladné faktory. Prvním je rozdíl délky reálné časové řady, jež se ve studii bere od roku 1950 do roku 2015. Drtivá většina poruch se objevuje v suchém roce 1991, kterému předcházela rovněž velmi suchý rok 1990. Počet poruch je tedy téměř totožný jak pro řadu 1950 – 2015, tak pro řadu 1981 – 2015. Rozdílná délka řady tudíž generuje větší zabezpečení pro delší řadu. Volba kratšího časového úseku pro tuto práci se samozřejmě odrazí i v syntetické řadě, jelikož vstupní statistické charakteristiky pro genezi řady budou odlišné. [6]

Druhým, protikladně působícím faktorem, je samotná volba vstupních hydrologických údajů. Pro studii *Přepočít funkčních objemů* byla užitá hydrologická data z vodoměrné stanice Dalečín bez přepočtu do profilu hráze Vír I. Jelikož plocha povodí po Dalečín činí  $367,06 \text{ km}^2$ , kdežto plocha po Vír I  $410,35 \text{ km}^2$ , jsou průtoky v profilu Vír I zákonitě vyšší. Pro potřeby této bakalářské práce byly veškeré vstupní údaje upraveny do náležitých profilů. Vyšší průtoky z podstaty věci generují vyšší zabezpečení. [6]

Při řešení v reálné průtokové řadě zjevně převážil první zmiňovaný faktor působící v neprospěch zabezpečení, ta tedy vychází v této práci nižší, než ve studii. V syntetické řadě převážil efekt druhého faktoru, zabezpečení v ní tedy vychází vyšší. [6]

### 5.2.2. Zabezpečení soustavy

Dalším krokem řešení je stanovit zabezpečení soustavy nádrží Borovnice – Vír I pro různé objemy zásobního prostoru. Směrodatné je řešení pro hodnotu odběru  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ , pro lepší demonstraci účinku soustavy je rovněž uváděno řešení pro hodnotu  $O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kritická hodnota zásobního objemu v nádrži Vír I je určena v hodnotě  $V_{Z,krit} = 6\,600\,000 \text{ m}^3$ .

Tab. 5.5 – Zabezpečení soustavy pro odběr  $O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}$

Reálná řada	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$	$V_{ret} \text{ (m}^3\text{)}$	Počet poruch	$P_t \text{ (\%)}$
	7 500 000	843 500	0	99,833
	7 000 000	1 343 500	0	99,833
	6 000 000	2 343 500	0	99,833
	5 000 000	3 343 500	0	99,833
	4 000 000	4 343 500	0	99,833
	3 000 000	5 343 500	0	99,833
	2 000 000	6 343 500	0	99,833
1 000 000	7 343 500	0	99,833	
Syntetická řada	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$	$V_{ret} \text{ (m}^3\text{)}$	Počet poruch	$P_t \text{ (\%)}$
	7 500 000	843 500	5	99,953
	7 000 000	1 343 500	5	99,953
	6 000 000	2 343 500	5	99,953
	5 000 000	3 343 500	7	99,936
	4 000 000	4 343 500	7	99,936
	3 000 000	5 343 500	7	99,936
	2 000 000	6 343 500	7	99,936
1 000 000	7 343 500	8	99,928	

Tab. 5.6 – Zabezpečení soustavy pro odběr  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$

Reálná řada	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$	$V_{\text{ret}} \text{ (m}^3\text{)}$	Počet poruch	$P_t \text{ (\%)}$
	7 500 000	843 500	3	99,120
	7 000 000	1 343 500	4	98,882
	6 000 000	2 343 500	4	98,882
	5 000 000	3 343 500	4	98,882
	4 000 000	4 343 500	4	98,882
	3 000 000	5 343 500	4	98,882
	2 000 000	6 343 500	6	98,406
	1 000 000	7 343 500	6	98,406
Syntetická řada	$V_z \text{ (m}^3\text{)}$	$V_{\text{ret}} \text{ (m}^3\text{)}$	Počet poruch	$P_t \text{ (\%)}$
	7 500 000	843 500	81	99,319
	7 000 000	1 343 500	81	99,319
	6 000 000	2 343 500	91	99,236
	5 000 000	3 343 500	97	99,186
	4 000 000	4 343 500	104	99,128
	3 000 000	5 343 500	114	99,044
	2 000 000	6 343 500	121	98,986
	1 000 000	7 343 500	131	98,903

Z uvedených výsledků vyplývá, že efekt zapojení Borovnice do soustavy je prokazatelný. Při využití maxima dostupného objemu ve prospěch zásobní funkce se zabezpečení odběru zlepšilo v reálné řadě o 0,95 % (je dosaženo méně než poloviny poruch) a o 0,44 % při řešení v řadě syntetické.

Nicméně ani v reálné, ani v syntetické řadě nebylo při řešení dosaženo požadované zabezpečení  $P_t = 99,5\%$  pouze zapojením lokality Borovnice při zachování současných limitujících faktorů. Uspokojivé zabezpečení lze dosáhnout buď snížením požadavků na odběr, či zvětšením objemu zásobního prostoru (a tím i celé nádrže).

### 5.2.3. Maximální možný odběr

Dostatečné zabezpečení dodávky vody soustavou Borovnice – Vír I lze docílit zmenšením požadavku na odběr. Lze tedy doporučit ověření opodstatněnosti vodoprávních povolení k odběru vody v souvislosti se současným požadavkem a aktualizovanou prognózou vývoje spotřeby. V tomto kroku řešení je vyjádřena závislost maximálního možného odběru na objemu zásobního prostoru v Borovnici při konstantní zabezpečení.

Tab. 5.7 – Maximální možný odběr pro zabezpečení  $P_t = 99,5 \%$

Reálná řada		Syntetická řada	
$V_z$ (m <sup>3</sup> )	$O_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_z$ (m <sup>3</sup> )	$O_p$ (m <sup>3</sup> /s)
7 500 000	2,44	7 500 000	2,47
7 000 000	2,44	7 000 000	2,46
6 000 000	2,43	6 000 000	2,45
5 000 000	2,41	5 000 000	2,44
4 000 000	2,40	4 000 000	2,42
3 000 000	2,39	3 000 000	2,41
2 000 000	2,38	2 000 000	2,39
1 000 000	2,37	1 000 000	2,37
0	2,36	0	2,36

#### 5.2.4. Minimální potřebný zásobní objem

Alternativní možností zlepšení zabezpečení je zvětšení celkového objemu nádrže Borovnice. Tato varianta řešení je obtížně realizovatelná, je-li vzato v potaz, že již při současné velikosti nádrže existuje s výstavbou silný nesouhlas ze strany dotčeného obyvatelstva. Jestliže by však nebylo možné snížit požadovaný odběr, je tato varianta nabízejícím se řešením. Možná je samozřejmě také kombinace obou uvedených východisek. V tomto kroku řešení je vyjádřen minimální potřebný objem zásobního prostoru pro dosažení zabezpečení 99,5% pro různé hodnoty odběru.

Tab. 5.8 – Minimální potřebný objem pro zabezpečení  $P_t = 99,5 \%$

Reálná řada		Syntetická řada	
$O_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_z$ (m <sup>3</sup> )	$O_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_z$ (m <sup>3</sup> )
2,53	14 900 000	2,53	13 100 000
2,52	13 900 000	2,52	11 800 000
2,51	13 000 000	2,51	10 600 000
2,50	12 100 000	2,50	9 600 000
2,49	11 200 000	2,49	8 900 000
2,48	10 400 000	2,48	7 900 000
2,47	9 500 000	2,47	7 100 000
2,46	8 600 000	2,46	6 200 000
2,45	7 700 000	2,45	5 600 000

Z řešení je patrné, že pro požadovaný odběr  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  je potřeba téměř dvojnásobný objem, než jaký je uveden v Generelu LAPV.

### 5.3. Retenční funkce

Retenční funkce nádrže Borovnice byla zhodnocena pro povodňové vlny  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  (průběhy jsou k nalezení v přílohách). Na transformované povodňové vlně byla odečtena hodnota kulminačního odtoku z nádrže  $O_{\max}$ , jež byla porovnána s hodnotou neškodného odtoku  $O_{\text{neš}} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Jestliže nedošlo k překročení  $O_{\text{neš}}$ , bylo retenční funkcí nádrže zcela zabráněno povodňovým škodám na území mezi nádrží Borovnice a Vír I. V opačném případě bylo sledováno snížení kulminačního průtoku, jež úměrně snižuje povodňové škody. Druhou sledovanou veličinou je maximální vystoupení hladiny, jež nesmí překročit maximální hladinu v nádrži  $M_{\max}$  na kótě 565,00 m n. m.

Z řešení zásobní funkce vyplývá, že z důvodu nedostatečné zabezpečení odběru není možné pro retenční prostor vymezit větší než nezbytný objem, jehož charakter by byl převážně neovladatelný. Tato práce si však za cíl klade optimalizaci prostorů v nádrži. V tomto oddíle řešení je tedy vyhodnocena retenční schopnost nádrže pro různé objemy retenčního prostoru, jejichž zavedení by bylo nutné doplnit případným snížením požadovaného odběru či zvětšením celkového objemu nádrže.

Pro všechny výpočty je uvažována jednotná kóta přelivné hrany 564,35 m n. m., ač by její posunutí na vyšší úroveň při větším objemu retenčního prostoru zajistilo lepší transformační účinek. Celá práce je koncipována jako variantní zpracování rozložení prostorů v nádrži. Nelze však určit, která varianta bude po přehodnocení požadavků na nádrž vybrána jako nejvhodnější. Je tedy třeba volit takovou úroveň přelivné hrany, při níž není překročena maximální hladina v nádrži ani při průchodu povodňové vlny  $Q_{100}$  a minimálním objemu retenčního prostoru. Konstantní úroveň přelivné hrany je volena proto, aby byly jednotlivé varianty srovnatelné.

Tab. 5.9 – Transformace povodňové vlny  $Q_{100}$

Kulminační průtok $Q_{100} = 81,40 \text{ m}^3/\text{s}$				
$V_{\text{ret.}} (\text{m}^3)$	$O_{\text{max}} (\text{m}^3/\text{s})$	$O_{\text{neš}} \text{ překročen}$	$H_{\text{max}} (\text{m n. m.})$	$M_{\text{max}} \text{ překročena}$
843 500	79,16	ANO	564,99	NE
1 343 500	76,72	ANO	564,98	NE
2 343 500	66,00	ANO	564,93	NE
3 343 500	55,57	ANO	564,88	NE
4 343 500	44,33	ANO	564,82	NE
5 343 500	31,52	ANO	564,74	NE
6 343 500	24,00	NE	564,05	NE
7 343 500	24,00	NE	563,01	NE

Tab. 5.10 – Transformace povodňové vlny  $Q_{50}$

Kulminační průtok $Q_{50} = 64,90 \text{ m}^3/\text{s}$				
$V_{\text{ret.}} (\text{m}^3)$	$O_{\text{max}} (\text{m}^3/\text{s})$	$O_{\text{neš}} \text{ překročen}$	$H_{\text{max}} (\text{m n. m.})$	$M_{\text{max}} \text{ překročena}$
843 500	61,50	ANO	564,91	NE
1 343 500	56,36	ANO	564,88	NE
2 343 500	42,14	ANO	564,81	NE
3 343 500	25,34	ANO	564,69	NE
4 343 500	24,00	NE	563,72	NE
5 343 500	24,00	NE	562,65	NE
6 343 500	24,00	NE	561,49	NE
7 343 500	24,00	NE	560,22	NE

Tab. 5.11 – Transformace povodňové vlny  $Q_{20}$

Kulminační průtok $Q_{20} = 47,40 \text{ m}^3/\text{s}$				
$V_{\text{ret.}} (\text{m}^3)$	$O_{\text{max}} (\text{m}^3/\text{s})$	$O_{\text{neš}} \text{ překročen}$	$H_{\text{max}} (\text{m n. m.})$	$M_{\text{max}} \text{ překročena}$
843 500	40,85	ANO	564,80	NE
1 343 500	31,09	ANO	564,73	NE
2 343 500	24,00	NE	563,93	NE
3 343 500	24,00	NE	562,88	NE
4 343 500	24,00	NE	561,74	NE
5 343 500	24,00	NE	560,49	NE
6 343 500	24,00	NE	559,08	NE
7 343 500	24,00	NE	557,42	NE



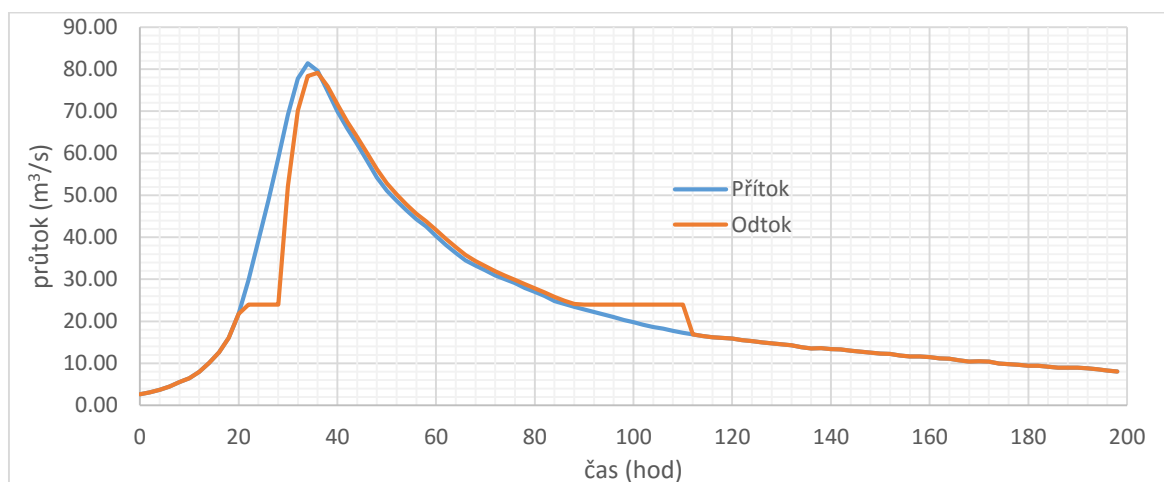
## 5.4. Vybrané varianty

### 5.4.1. Varianta s maximálním odběrem

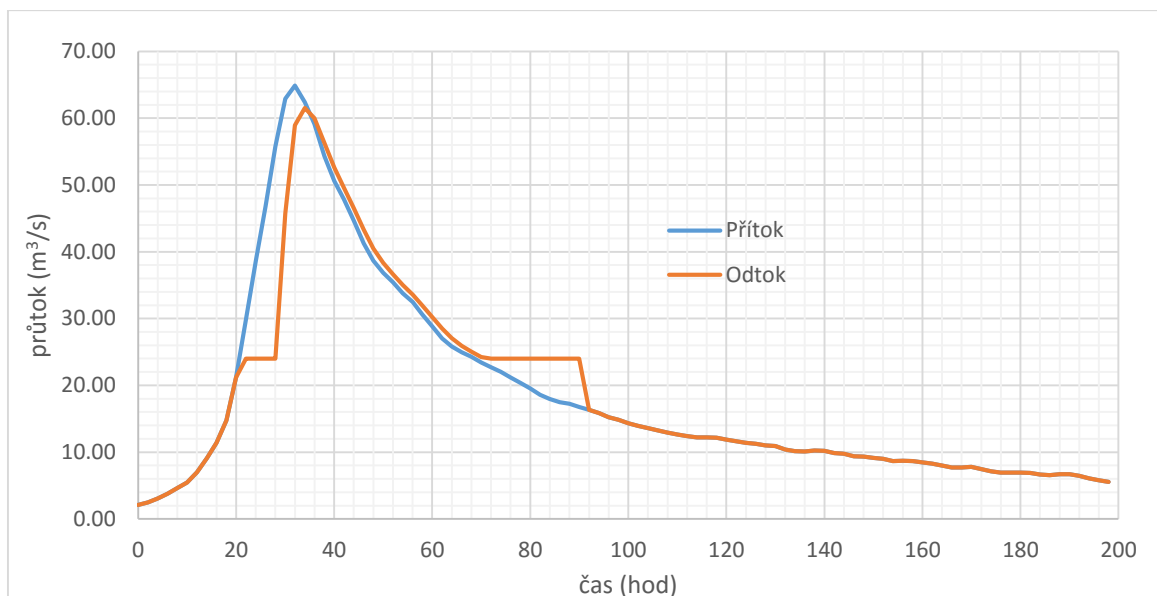
Jestliže by si okolnosti vyžádaly navýšení současného odběru z nádrže Víř I až na maximální povolenou hodnotu  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ , výstavba vodní nádrže Borovnice se jeví jako nezbytný krok. Z jejího celkového objemu by bylo třeba vyčlenit maximum pro zásobní funkci, pro retenční funkci by bylo ponecháno jen nezbytné minimum s převážně neovladatelným charakterem. Při celkovém objemu nádrže 9,529 mil.  $\text{m}^3$  by v této variantě náleželo 1,186 mil.  $\text{m}^3$  prostoru stálého nadržení, 7,5 mil.  $\text{m}^3$  zásobnímu prostoru a 0,844 mil.  $\text{m}^3$  prostoru retenčnímu. Hladina zásobního prostoru by se nacházela na kótě 564,19 m n. m.

Při řešení v reálné průtokové řadě byla efektem nádrže Borovnice zlepšena zabezpečenosť z 98,168 % na 99,120 %. Při řešení v syntetické řadě je zlepšena zabezpečenosť z 98,878 % na 99,319 %. Nicméně ani přispěním Borovnice není dosaženo požadované zabezpečenosť 99,5 %. Při uvedeném rozdělení prostorů je možné této zabezpečenosť dosáhnout snížením odběru z nádrže Víř I na hodnotu  $2,44 \text{ m}^3/\text{s}$  při řešení v reálné řadě, či na hodnotu  $2,47 \text{ m}^3/\text{s}$  při řešení v syntetické řadě.

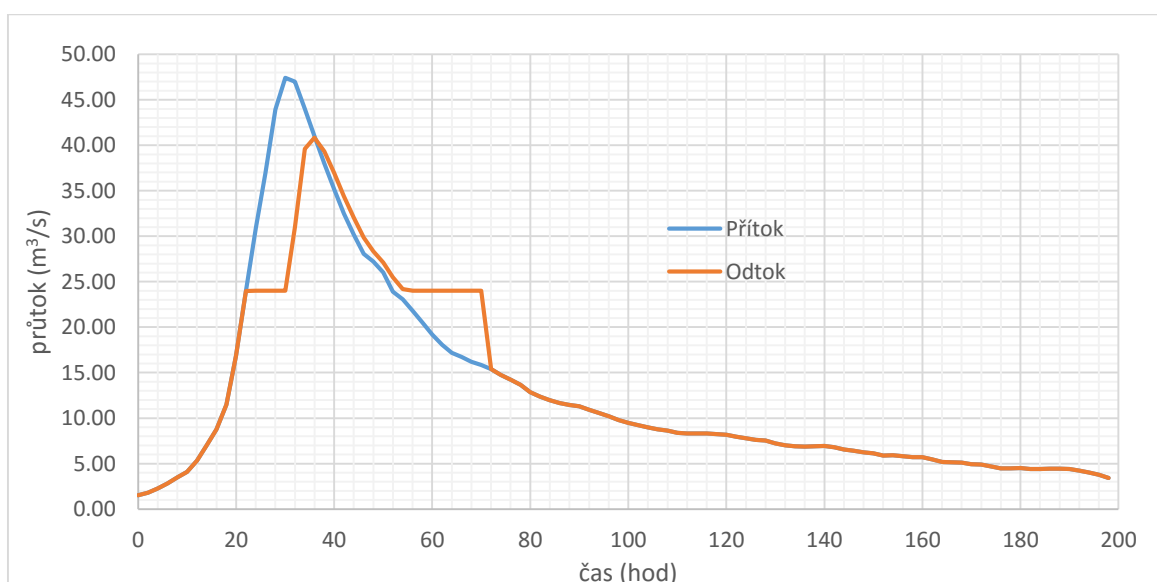
Retenční efekt nádrže je v této variantě nevýrazný. Ovladatelný retenční prostor se nachází pouze mezi kótou 564,19 a 564,35 m n. m., zůstatek retenčního prostoru až po kótu 565,00 m n. m. je neovladatelný. Ani jednu z posuzovaných povodňových vln ( $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{20}$ ) nelze zcela zachytit, vždy dojde k překročení neškodného odtoku. U povodňové vlny  $Q_{100}$  je kulminace snížena z  $81,40 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $79,16 \text{ m}^3/\text{s}$ , u  $Q_{50}$  z  $64,90 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $61,50 \text{ m}^3/\text{s}$  a u  $Q_{20}$  z  $47,40 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $40,85 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Obr. 5.2 – Transformace povodňové vlny  $Q_{100}$  pro  $V_{ret.} = 843\,500 \text{ m}^3$



Obr. 5.3 – Transformace povodňové vlny  $Q_{50}$  pro  $V_{ret.} = 843\,500\text{ m}^3$



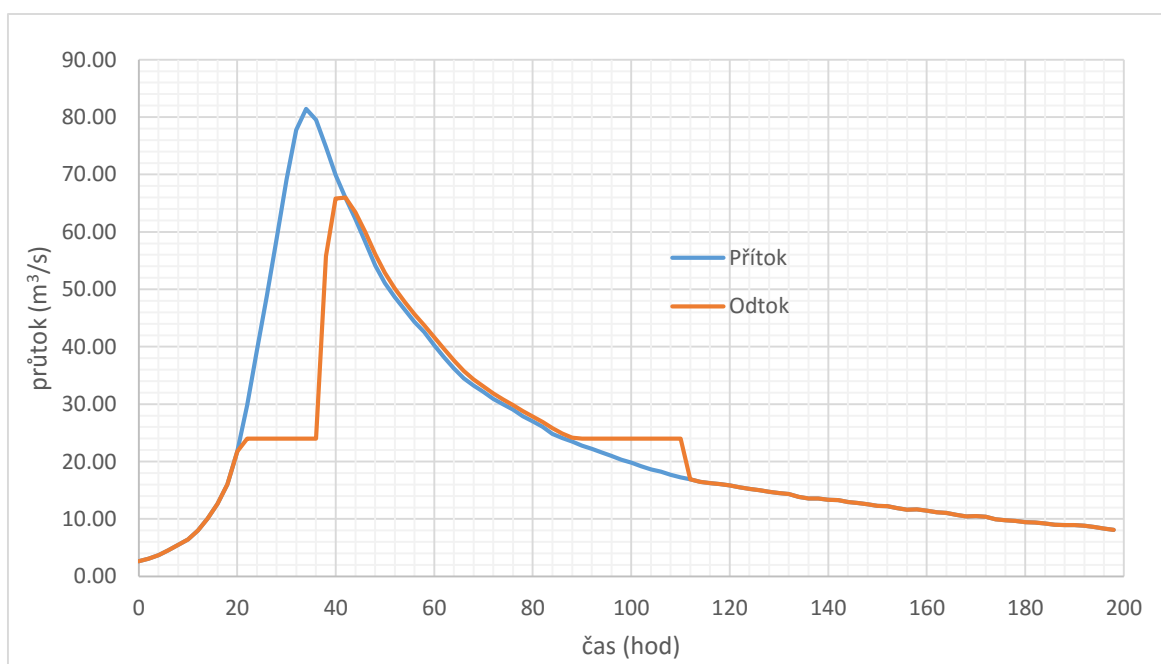
Obr. 5.4 – Transformace povodňové vlny  $Q_{20}$  pro  $V_{ret.} = 843\,500\text{ m}^3$

#### 5.4.2. Doporučená varianta

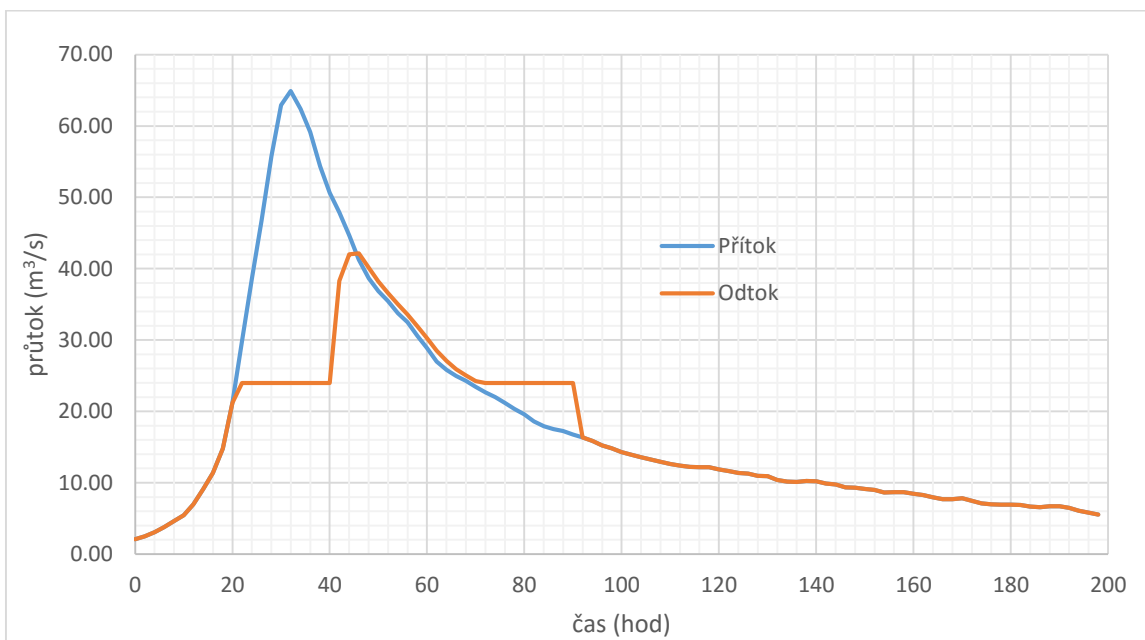
Jestliže by nebyl kladen důrazný požadavek na maximalizaci odběru z VN Vír I, bylo by vhodné v Borovnici posílit retenční funkci oproti variantě uvedené v podkapitole 5.4.1. Jako příhodné rozložení celkového objemu nádrže  $9,529\text{ mil. m}^3$  se jeví ponechat  $1,186\text{ mil. m}^3$  pro prostor stálého nadržení,  $6,0\text{ mil. m}^3$  zásobnímu prostoru a  $2,344\text{ mil. m}^3$  retenčnímu prostoru. Hladina zásobního prostoru se v této variantě nachází na kótě  $562,61\text{ m n. m.}$

Při řešení v reálné průtokové řadě je při uvedeném rozložení objemu v nádrži zlepšena zabezpečení z 98,168 % na 98,882 %. Při řešení v syntetické řadě je zlepšena z 98,878 % na 99,236 %. Pro dosažení požadované zabezpečení by bylo potřebné snížit odběr na 2,43 m<sup>3</sup>/s při řešení v reálné řadě, či na hodnotu 2,45 m<sup>3</sup>/s při řešení v syntetické řadě. Potřebné snížení odběru oproti požadovanému množství  $O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  není nikterak markantní (o 0,1 m<sup>3</sup>/s pro reálnou řadu a o 0,08 m<sup>3</sup>/s pro syntetickou řadu), oproti variantě z podkapitoly 5.4.1. je takřka zanedbatelné.

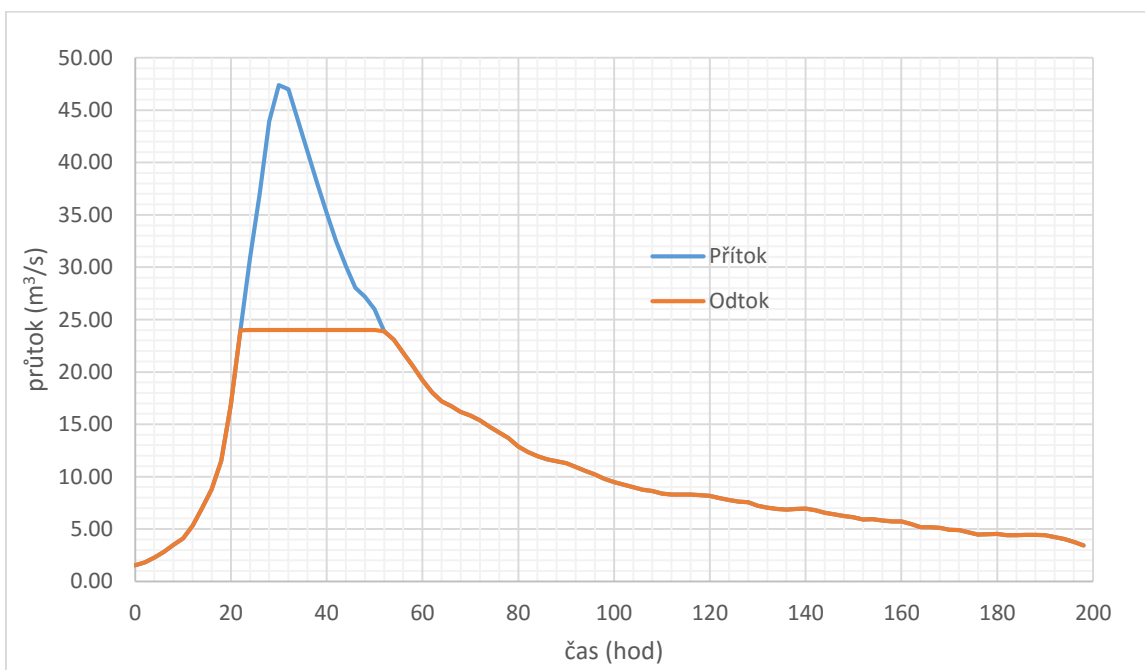
Ochranný efekt je však posílen citelně. Zvětšením ovladatelného retenčního prostoru (v této variantě mezi kótou 562,61 m n. m. a 564,35 m n. m.) je dosaženo snížení kulminačního průtoku  $Q_{100}$  z 81,40 m<sup>3</sup>/s na 66,00 m<sup>3</sup>/s, u vlny  $Q_{50}$  z 64,90 m<sup>3</sup>/s na 42,14 m<sup>3</sup>/s a u povodně  $Q_{20}$  není přesáhnout neškodný odtok. Z toho plyne, že vymezením 2,344 mil. m<sup>3</sup> pro retenční prostor by se zlepšila protipovodňová ochrana ze současné hodnoty  $Q_2$  na  $Q_{20}$ .



Obr. 5.5 – Transformace povodňové vlny  $Q_{100}$  pro  $V_{ret.} = 2\,343\,500 \text{ m}^3$



Obr. 5.6 – Transformace povodňové vlny  $Q_{50}$  pro  $V_{ret.} = 2\,343\,500\text{ m}^3$



Obr. 5.7 – Transformace povodňové vlny  $Q_{20}$  pro  $V_{ret.} = 2\,343\,500\text{ m}^3$

## 6. ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo komplexně zhodnoceno zapojení výhledové vodní nádrže Borovnice do soustavy se stávající nádrží Vír I. Primárním požadavkem takového úkonu je zlepšení zásobní funkce, zřetel však byl brán rovněž na navýšení protipovodňové ochrany na úseku mezi profilem hráze Borovnice a vodní nádrží Vír I.

Samotnému vodohospodářskému řešení zásobní a retenční funkce předcházelo shromáždění a zpracování podkladů. Získané hydrologické údaje pro profil vodoměrných stanic Borovnice a Dalečín bylo třeba metodou hydrologické analogie přepočítat do profilů hráze Borovnice a Vír I. Metodou ortogonální transformace v nich byly namodelovány syntetické průtokové řady. Dále bylo nezbytné vypracovat charakteristiku nádrže Borovnice. Z celkového objemu byl vyčleněn prostor stálého nadržení, jehož doplněk bylo možné rozdělit mezi zásobní funkci a funkci retenční. Pro postupně bilanční metodu řešení zásobní funkce bylo rovněž nutné stanovit hodnotu minimálního zůstatkového průtoku pod nádrží Borovnice.

Vodohospodářské řešení zásobní funkce bylo provedeno jak v reálné, tak v syntetické průtokové řadě. Základem bylo vyhodnocení stávající zabezpečení samostatně působící nádrže Vír I. Pro v současné době realizovaný odběr  $1,93 \text{ m}^3/\text{s}$  je zabezpečení dodávky postačující. Dle vodoprávních povolení jednotlivých odběratelů je však celkový požadavek na odběr z nádrže  $2,53 \text{ m}^3/\text{s}$ . Toto plné množství není možné samotnou nádrží Vír I s dostatečnou zabezpečeností zajistit.

V následujícím kroku byla vypočtena zabezpečení soustavy Borovnice – Vír I podle navrženého schématu spolupráce. Efekt zapojení Borovnice na zlepšení zabezpečení dodávky vody je prokazatelný, nicméně ani v tomto případě není při odběru  $2,53 \text{ m}^3/\text{s}$  dosaženo požadované zabezpečení. Dále tedy byly vypočteny maximální možné odběry pro různé objemy zásobního prostoru v Borovnici, při zachování celkového objemu v jeho současné hodnotě. Vyjádřeny byly rovněž minimální potřebné zásobní objemy (na celkový limit nehledě) pro různé hodnoty odběru. Zajištění požadovaného odběru by vyžadovalo téměř dvojnásobný objem nádrže Borovnice, než je chráněn dle Generelu LAPV. Bylo by tedy vhodné ověřit opodstatněnost vodoprávních povolení k odběru vody z nádrže Vír I v souvislosti se současným požadavkem a aktualizovanou prognózou vývoje spotřeby.

Zapojením lokality Borovnice je možno dosáhnout vyhovující zabezpečení při nepřilíš výrazném snížení odběru.

Transformační schopnost nádrže Borovnice byla prověřena pro povodňové vlny  $Q_{100}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{20}$  při různých objemech retenčního prostoru. V důsledku nedostatečné zabezpečení dodávky vody je možné pro retenční funkci vymežit pouze nezbytný objem, jehož transformační schopnost je nedostatečná. Při větších objemech retenčního prostoru je však ochranná schopnost nádrže značná. Bylo by jí možno dosáhnout snížením požadavku na odběr vody či zvětšením celkového objemu nádrže Borovnice.

Na závěr byly podrobně rozebrány dvě varianty rozložení celkového objemu nádrže Borovnice na jednotlivé funkční prostory. V první variantě je důsledně dodržen požadavek na maximalizaci zabezpečení požadovaného odběru (resp. maximalizaci odběru při požadované zabezpečení). Většina dostupného objemu je přisouzena zásobní funkci, ochranný účinek nádrže je v tomto případě nevýrazný. Plně nelze zachytit ani povodňovou vlnu  $Q_{20}$ . Ve druhé variantě je navrženo optimální vyvážení zásobní a retenční funkce. Částečným snížením objemu zásobního prostoru je nepřilíš snížen maximální realizovatelný odběr oproti první variantě. Naopak zvětšením retenčního objemu je ochranná funkce nádrže značně posílena. Při navrhovaném rozdělení prostorů lze zcela zachytit povodňovou vlnu  $Q_{20}$ . Tím pádem je zajištěno značné posílení protipovodňové ochrany níže ležícího území při současném efektivním posílení zásobní funkce soustavy Borovnice – Vír I.

## 7. SEZNAMY

### 7.1. Použitá literatura

- [1] ČSN 75 2405. *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Český normalizační institut, 2004.
- [2] Detail měřicího bodu: Svatka, Borovnice. *Povodí Moravy* [online]. Povodí Moravy, s.p., 2017 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/stav/1012/>
- [3] Evidenční list hlásného profilu č.369. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. ©Český hydrometeorologický ústav [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307204](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307204)
- [4] HIESBÖCKOVÁ, Tereza. *Předpovídání povodňových průtoků v měrných profilech Borovnice - Dalečín*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Miloš Starý.
- [5] Mapy.cz. *Seznam.cz* [online]. seznam.cz, 1998 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [6] MARTON, Daniel, Miloš STARÝ a Pavel MENŠÍK. *Přepočet funkčních objemů vodního díla Vír I*. Brno, 2016. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny.
- [7] METODICKÝ POKYN odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [8] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ a MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a zásady využití těchto území*. Praha, 2011.
- [9] NACHÁZEL, Karel. *Stochastické metody ve vodním hospodářství*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2213-7.
- [10] PATERA, Adolf, Karel NACHÁZEL a Pavel FOŠUMPAUR. *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02620-5.
- [11] POVODÍ MORAVY, s.p. *Manipulační řád pro přehradu Vír I na řece Svatce v km 114,900*. Brno, 2011.
- [12] Prohlížečka záplavových území. *Oddělení geografických informačních systémů a kartografie* [online]. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, ©2014 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>

[13] VOTRUBA, Ladislav a Vojtěch BROŽA. *Hospodaření s vodou v nádržích*. 2. přeprac. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.

[14] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ PRAHA. *Směrný vodohospodářský plán ČSR*. Publikace č. 34. Praha, 1988.

## 7.2. Seznam tabulek

<i>Tab. 3.1 – Limnigraf Borovnice: m – denní průtoky</i> .....	- 9 -
<i>Tab. 3.2 – Limnigraf Borovnice: N – leté průtoky</i> .....	- 9 -
<i>Tab. 4.1 – Stanovení minimálního zůstatkového průtoku</i> .....	- 12 -
<i>Tab. 4.2 – Řídicí schéma soustavy Borovnice – Vír I</i> .....	- 15 -
<i>Tab. 5.1 – Charakteristika nádrže Borovnice (číselná)</i> .....	- 20 -
<i>Tab. 5.2 – Profil hráze Borovnice: m – denní průtoky</i> .....	- 21 -
<i>Tab. 5.3 – Profil hráze Borovnice: N – leté průtoky</i> .....	- 21 -
<i>Tab. 5.4 – Stávající zabezpečení samostatné VN Vír I</i> .....	- 22 -
<i>Tab. 5.5 – Zabezpečení soustavy pro odběr <math>O_p = 1,93 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> .....	- 23 -
<i>Tab. 5.6 – Zabezpečení soustavy pro odběr <math>O_p = 2,53 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> .....	- 24 -
<i>Tab. 5.7 – Maximální možný odběr pro zabezpečení <math>P_t = 99,5 \%</math></i> .....	- 25 -
<i>Tab. 5.8 – Minimální potřebný objem pro zabezpečení <math>P_t = 99,5 \%</math></i> .....	- 25 -
<i>Tab. 5.9 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{100}</math></i> .....	- 27 -
<i>Tab. 5.10 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{50}</math></i> .....	- 27 -
<i>Tab. 5.11 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{20}</math></i> .....	- 27 -
<i>Tab. 8.1 – Limnigraf Borovnice: reálná průtoková řada</i> .....	- 37 -
<i>Tab. 8.2 – Limnigraf Dalečín: reálná průtoková řada</i> .....	- 38 -
<i>Tab. 8.3 – Profil hráze Borovnice: reálná průtoková řada</i> .....	- 39 -
<i>Tab. 8.4 – Profil hráze Vír I: reálná průtoková řada</i> .....	- 40 -
<i>Tab. 8.5 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně <math>Q_{100}</math></i> .....	- 41 -
<i>Tab. 8.6 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně <math>Q_{50}</math></i> .....	- 41 -
<i>Tab. 8.7 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně <math>Q_{20}</math></i> .....	- 42 -



### 7.3. Seznam obrázků

<i>Obr. 3.1 – Poloha VN Borovnice .....</i>	<i>- 5 -</i>
<i>Obr. 3.2 – Poloha vodního díla Vír I .....</i>	<i>- 6 -</i>
<i>Obr. 3.3 – Vodohospodářské schéma nádrže Vír I .....</i>	<i>- 7 -</i>
<i>Obr. 4.1 – Průběh povodňové vlny <math>Q_{100}</math> v profilu Vír I a Borovnice .....</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Obr. 5.1 – Charakteristika nádrže Borovnice (grafická) .....</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Obr. 5.2 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{100}</math> pro <math>V_{ret.} = 843\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Obr. 5.3 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{50}</math> pro <math>V_{ret.} = 843\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Obr. 5.4 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{20}</math> pro <math>V_{ret.} = 843\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Obr. 5.5 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{100}</math> pro <math>V_{ret.} = 2\,343\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Obr. 5.6 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{50}</math> pro <math>V_{ret.} = 2\,343\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Obr. 5.7 – Transformace povodňové vlny <math>Q_{20}</math> pro <math>V_{ret.} = 2\,343\,500\,m^3</math> .....</i>	<i>- 31 -</i>

### 7.4. Seznam zkratk

Generel LAPV – Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod

MZP – minimální zůstatkový průtok

VN – vodní nádrž

VOV – Vířský oblastní vodovod

VUT – Vysoké učení technické v Brně

ZABAGED – Základní báze geografických dat České republiky

## 8. PŘÍLOHY

Tab. 8.1 – Limnigraf Borovnice: reálná průtoková řada

rok/měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
1980											1.19	1.44
1981	1.61	2.58	6.84	1.37	1.45	0.49	1.05	0.72	0.619	1.84	2.5	2.06
1982	2.96	1.58	2.85	2.46	1.42	0.824	0.754	0.753	0.51	0.474	0.453	1.05
1983	3.23	1.75	2.71	3	2.1	0.984	0.443	0.405	0.281	0.325	0.376	0.73
1984	0.532	0.67	1.24	3.01	1.06	0.598	1.47	0.687	0.786	0.78	0.768	0.654
1985	0.396	1.37	2.98	3.18	4.28	1.92	0.911	3.02	1.11	0.552	0.606	2.48
1986	1.77	1.07	3.34	3.49	1.62	2.6	0.731	1.39	0.7	0.652	0.757	1.71
1987	2.92	2.72	2.83	7.15	3.18	2.99	1.18	1.07	1.21	0.875	1.61	2.25
1988	1.27	1.41	3.78	4.43	0.74	0.717	0.484	0.607	1.04	0.391	0.835	3.9
1989	2.06	2.19	2.01	1.05	1.5	0.922	0.445	0.573	0.74	0.782	0.414	1.26
1990	0.566	1.02	1.64	1.41	0.804	0.545	0.507	0.201	0.302	0.26	0.534	0.572
1991	1.01	0.374	0.817	0.73	1.51	0.793	0.832	1.34	0.32	0.294	0.72	0.886
1992	1.76	2.5	4.04	2.16	0.57	0.527	0.311	0.197	0.212	0.309	0.477	0.686
1993	1.27	0.667	2.61	2.27	0.81	0.651	0.478	0.235	0.574	0.573	0.562	1.98
1994	2.35	1.6	2.76	2.11	0.874	0.474	0.317	0.442	0.824	0.598	0.89	1.81
1995	1.94	3	2.13	2.63	2.3	1.89	0.607	0.416	2.24	0.748	1.9	1.27
1996	1	0.776	1.3	4.2	2.57	0.852	0.846	0.584	1.14	1.33	1.09	0.815
1997	0.672	1.9	2.35	2.39	1.42	0.772	10.2	1.56	0.902	0.743	0.894	1.33
1998	0.919	1.14	1.89	1.14	0.544	0.986	0.955	0.456	1.68	2.17	2.83	2.08
1999	1.36	2.35	5.04	1.75	0.773	1.52	1.33	0.587	0.501	0.594	0.659	0.694
2000	1.25	4.09	6.14	2.52	0.681	0.394	0.857	0.465	0.317	0.478	0.375	0.368
2001	0.698	1.28	2.09	1.49	1.12	0.888	1.75	0.891	1.63	0.707	0.678	0.712
2002	2.2	4.56	1.89	1.23	0.94	0.518	0.34	2.05	0.701	1.07	1.66	1.59
2003	2.69	1.01	1.71	0.961	2.2	0.437	0.443	0.255	0.31	0.601	0.401	0.95
2004	1.5	3.93	3.24	2.1	0.757	0.722	0.625	0.36	0.374	0.517	1.81	1.13
2005	1.66	1.61	4.86	2.75	0.952	0.703	2.15	0.858	0.545	0.45	0.432	0.878
2006	0.742	1.05	3.48	7.45	2.3	1.05	0.431	3.02	0.672	0.595	1.76	0.973
2007	1.91	2.99	3.65	1.06	0.59	0.477	0.358	0.184	1.27	0.732	2.53	2.78
2008	1.99	1.46	2.66	1.6	0.997	0.916	0.693	0.632	0.572	0.554	0.836	1.3
2009	0.79	1.12	5.12	2.79	0.765	1.19	1.88	0.745	0.372	1.02	1.12	1.47
2010	1.46	1.26	3.48	2.86	2.17	2.31	0.897	1.65	2.42	1.3	0.924	1.93
2011	3.39	2.09	1.53	0.91	0.588	0.512	0.979	0.612	0.875	0.591	0.467	1.07
2012	2.26	2.83	3.83	1.24	0.777	0.495	0.612	0.326	0.434	0.414	0.619	0.992
2013	2.11	1.72	1.68	1.64	1.32	2.51	0.799	0.549	1.26	0.663	0.616	1
2014	0.723	0.686	1.03	0.656	1.15	0.525	0.527	1.47	2.13	1.14	1.05	1.44
2015	2.82	1.29	1.36	1.67	0.606	0.393	0.199	0.472	0.133	0.325		

Tab. 8.2 – Limnigraf Dalečín: reálná průtoková řada [6]

rok/měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>1980</b>											2.584	3.167
<b>1981</b>	3.643	5.512	14.537	3.16	3.159	1.08	2.385	1.558	1.455	4.055	5.451	4.552
<b>1982</b>	6.817	3.498	6.686	5.282	3.378	1.74	1.587	1.721	1.15	1.243	0.98	2.34
<b>1983</b>	7.195	4.146	7.06	6.959	4.918	2.181	0.933	0.747	0.716	0.96	0.84	1.507
<b>1984</b>	1.16	1.434	2.696	6.95	2.875	1.546	2.889	1.446	1.72	1.79	1.777	1.553
<b>1985</b>	0.951	2.876	7.52	7.012	9.344	4.274	1.977	5.736	2.361	1.359	1.321	5.926
<b>1986</b>	4.098	2.417	7.584	7.894	3.722	5.849	1.759	3.215	1.599	1.505	1.701	3.599
<b>1987</b>	6.7	6.723	7.225	15.268	7.239	7.272	2.753	1.995	2.698	2.164	3.73	5.2
<b>1988</b>	3.459	3.707	9.894	9.103	1.656	1.755	1.049	1.086	2.17	1.205	1.725	8.793
<b>1989</b>	4.842	5.314	4.44	2.653	3.565	2.109	1.289	1.146	1.705	1.652	0.944	2.824
<b>1990</b>	1.771	2.508	4.392	3.113	1.835	1.121	0.913	0.439	0.619	0.804	1.269	1.216
<b>1991</b>	2.145	0.874	1.84	1.788	3.472	1.879	1.572	2.635	0.697	0.886	1.579	1.872
<b>1992</b>	4.703	6.499	10.34	5.213	1.616	1.203	0.668	0.409	0.65	0.76	1.001	1.456
<b>1993</b>	2.834	1.55	6.541	5.398	1.744	1.29	0.98	0.549	1.338	1.155	1.084	4.054
<b>1994</b>	5.123	3.638	6.679	6.002	2.111	1.044	0.676	1.185	1.802	1.471	1.824	4.278
<b>1995</b>	5.242	9.232	6.055	7.691	5.981	4.306	1.841	1.015	4.367	1.991	3.896	3.466
<b>1996</b>	2.653	1.956	4.784	11.665	6.926	1.856	2.087	1.334	2.095	3.346	2.796	1.926
<b>1997</b>	1.55	5.099	6.424	6.538	3.588	2.116	23.967	3.318	1.701	1.945	1.979	4.316
<b>1998</b>	2.343	2.5	4.612	2.644	1.214	2.208	1.752	1.192	4.082	4.783	7.161	4.586
<b>1999</b>	3.194	5.135	13.854	3.899	1.78	3.434	3.397	1.085	1.157	1.193	1.264	1.418
<b>2000</b>	2.171	10.251	15.187	5.605	1.398	1.04	1.719	0.978	0.778	1.059	1.089	1.114
<b>2001</b>	1.541	2.946	4.894	3.889	2.48	1.826	3.979	1.9	3.911	1.974	2.053	1.882
<b>2002</b>	5.984	10.855	4.828	2.749	2.068	1.231	1.017	5.132	2.322	2.158	3.875	3.652
<b>2003</b>	6.494	2.535	3.708	2.279	5.019	1.347	1.072	0.588	0.981	1.398	1.09	2.074
<b>2004</b>	3.354	10.28	6.848	4.696	1.847	1.655	1.516	0.796	1.046	1.239	3.938	2.457
<b>2005</b>	3.931	3.801	13.033	5.446	2.068	1.361	3.783	1.746	1.381	0.904	0.854	1.637
<b>2006</b>	1.4	1.66	10.1	17.4	6.54	2.95	1.55	5.36	1.58	1.51	3.71	1.99
<b>2007</b>	4.02	6.87	8.35	2.88	1.57	1.26	0.936	0.507	2.93	2.05	5.63	6.15
<b>2008</b>	5.41	3.76	7.48	3.83	2.23	1.55	1.61	1.19	1.09	1.28	1.53	2.4
<b>2009</b>	1.74	2.78	14.8	5.82	1.73	2.67	5.3	2.25	1.33	2.41	2.52	3.51
<b>2010</b>	3.35	2.61	10.3	6.98	5.69	6.42	2.01	3.7	5.99	2.85	2.16	5.01
<b>2011</b>	7.97	4.57	3.09	2.07	1.37	1.17	1.89	1.22	1.79	1.54	1.08	2.13
<b>2012</b>	6.1	7.87	8.7	2.42	1.49	1.03	1.05	1.577	0.693	0.915	1.05	2.08
<b>2013</b>	5.4	4.8	5.47	4.85	3.36	6.5	1.75	1.12	2.46	1.77	1.45	2.45
<b>2014</b>	1.72	1.76	2.45	1.76	2.61	1.15	0.823	2.58	5.54	2.8	2.38	3.59
<b>2015</b>	7.65	3.04	3.22	4.75	1.81	0.989	0.505	1.2	0.44	1.07		

Tab. 8.3 – Profil hráze Borovnice: reálná průtoková řada

rok/měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>1980</b>											1.076	1.302
<b>1981</b>	1.456	2.333	6.185	1.239	1.311	0.443	0.949	0.651	0.560	1.664	2.261	1.863
<b>1982</b>	2.677	1.429	2.577	2.224	1.284	0.745	0.682	0.681	0.461	0.429	0.410	0.949
<b>1983</b>	2.921	1.582	2.451	2.713	1.899	0.890	0.401	0.366	0.254	0.294	0.340	0.660
<b>1984</b>	0.481	0.606	1.121	2.722	0.959	0.541	1.329	0.621	0.711	0.705	0.694	0.591
<b>1985</b>	0.358	1.239	2.695	2.876	3.870	1.736	0.824	2.731	1.004	0.499	0.548	2.243
<b>1986</b>	1.601	0.968	3.020	3.156	1.465	2.351	0.661	1.257	0.633	0.590	0.685	1.546
<b>1987</b>	2.640	2.460	2.559	6.465	2.876	2.704	1.067	0.968	1.094	0.791	1.456	2.035
<b>1988</b>	1.148	1.275	3.418	4.006	0.669	0.648	0.438	0.549	0.940	0.354	0.755	3.527
<b>1989</b>	1.863	1.980	1.818	0.949	1.356	0.834	0.402	0.518	0.669	0.707	0.374	1.139
<b>1990</b>	0.512	0.922	1.483	1.275	0.727	0.493	0.458	0.182	0.273	0.235	0.483	0.517
<b>1991</b>	0.913	0.338	0.739	0.660	1.365	0.717	0.752	1.212	0.289	0.266	0.651	0.801
<b>1992</b>	1.591	2.261	3.653	1.953	0.515	0.477	0.281	0.178	0.192	0.279	0.431	0.620
<b>1993</b>	1.148	0.603	2.360	2.053	0.732	0.589	0.432	0.213	0.519	0.518	0.508	1.790
<b>1994</b>	2.125	1.447	2.496	1.908	0.790	0.429	0.287	0.400	0.745	0.541	0.805	1.637
<b>1995</b>	1.754	2.713	1.926	2.378	2.080	1.709	0.549	0.376	2.026	0.676	1.718	1.148
<b>1996</b>	0.904	0.702	1.176	3.798	2.324	0.770	0.765	0.528	1.031	1.203	0.986	0.737
<b>1997</b>	0.608	1.718	2.125	2.161	1.284	0.698	9.223	1.411	0.816	0.672	0.808	1.203
<b>1998</b>	0.831	1.031	1.709	1.031	0.492	0.892	0.864	0.412	1.519	1.962	2.559	1.881
<b>1999</b>	1.230	2.125	4.557	1.582	0.699	1.374	1.203	0.531	0.453	0.537	0.596	0.628
<b>2000</b>	1.130	3.698	5.552	2.279	0.616	0.356	0.775	0.420	0.287	0.432	0.339	0.333
<b>2001</b>	0.631	1.157	1.890	1.347	1.013	0.803	1.582	0.806	1.474	0.639	0.613	0.644
<b>2002</b>	1.989	4.123	1.709	1.112	0.850	0.468	0.307	1.854	0.634	0.968	1.501	1.438
<b>2003</b>	2.432	0.913	1.546	0.869	1.989	0.395	0.401	0.231	0.280	0.543	0.363	0.859
<b>2004</b>	1.356	3.554	2.930	1.899	0.685	0.653	0.565	0.326	0.338	0.468	1.637	1.022
<b>2005</b>	1.501	1.456	4.395	2.487	0.861	0.636	1.944	0.776	0.493	0.407	0.391	0.794
<b>2006</b>	0.671	0.949	3.147	6.737	2.080	0.949	0.390	2.731	0.608	0.538	1.591	0.880
<b>2007</b>	1.727	2.704	3.301	0.959	0.534	0.431	0.324	0.166	1.148	0.662	2.288	2.514
<b>2008</b>	1.799	1.320	2.405	1.447	0.902	0.828	0.627	0.571	0.517	0.501	0.756	1.176
<b>2009</b>	0.714	1.013	4.630	2.523	0.692	1.076	1.700	0.674	0.336	0.922	1.013	1.329
<b>2010</b>	1.320	1.139	3.147	2.586	1.962	2.089	0.811	1.492	2.188	1.176	0.836	1.745
<b>2011</b>	3.065	1.890	1.384	0.823	0.532	0.463	0.885	0.553	0.791	0.534	0.422	0.968
<b>2012</b>	2.044	2.559	3.463	1.121	0.703	0.448	0.553	0.295	0.392	0.374	0.560	0.897
<b>2013</b>	1.908	1.555	1.519	1.483	1.194	2.270	0.723	0.496	1.139	0.600	0.557	0.904
<b>2014</b>	0.654	0.620	0.931	0.593	1.040	0.475	0.477	1.329	1.926	1.031	0.949	1.302
<b>2015</b>	2.550	1.166	1.230	1.510	0.548	0.355	0.180	0.427	0.120	0.294		

Tab. 8.4 – Profil hráze Vír I: reálná průtoková řada

rok/měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>1980</b>											2.795	3.426
<b>1981</b>	3.941	5.963	15.726	3.418	3.417	1.168	2.580	1.685	1.574	4.387	5.897	4.924
<b>1982</b>	7.375	3.784	7.233	5.714	3.654	1.882	1.717	1.862	1.244	1.345	1.060	2.531
<b>1983</b>	7.784	4.485	7.637	7.528	5.320	2.359	1.009	0.808	0.775	1.039	0.909	1.630
<b>1984</b>	1.255	1.551	2.917	7.518	3.110	1.672	3.125	1.564	1.861	1.936	1.922	1.680
<b>1985</b>	1.029	3.111	8.135	7.586	10.108	4.624	2.139	6.205	2.554	1.470	1.429	6.411
<b>1986</b>	4.433	2.615	8.204	8.540	4.026	6.327	1.903	3.478	1.730	1.628	1.840	3.893
<b>1987</b>	7.248	7.273	7.816	16.517	7.831	7.867	2.978	2.158	2.919	2.341	4.035	5.625
<b>1988</b>	3.742	4.010	10.703	9.848	1.791	1.899	1.135	1.175	2.347	1.304	1.866	9.512
<b>1989</b>	5.238	5.749	4.803	2.870	3.857	2.282	1.394	1.240	1.844	1.787	1.021	3.055
<b>1990</b>	1.916	2.713	4.751	3.368	1.985	1.213	0.988	0.475	0.670	0.870	1.373	1.315
<b>1991</b>	2.320	0.945	1.991	1.934	3.756	2.033	1.701	2.851	0.754	0.958	1.708	2.025
<b>1992</b>	5.088	7.031	11.186	5.639	1.748	1.301	0.723	0.442	0.703	0.822	1.083	1.575
<b>1993</b>	3.066	1.677	7.076	5.840	1.887	1.396	1.060	0.594	1.447	1.249	1.173	4.386
<b>1994</b>	5.542	3.936	7.225	6.493	2.284	1.129	0.731	1.282	1.949	1.591	1.973	4.628
<b>1995</b>	5.671	9.987	6.550	8.320	6.470	4.658	1.992	1.098	4.724	2.154	4.215	3.750
<b>1996</b>	2.870	2.116	5.175	12.619	7.493	2.008	2.258	1.443	2.266	3.620	3.025	2.084
<b>1997</b>	1.677	5.516	6.949	7.073	3.881	2.289	25.927	3.589	1.840	2.104	2.141	4.669
<b>1998</b>	2.535	2.704	4.989	2.860	1.313	2.389	1.895	1.290	4.416	5.174	7.747	4.961
<b>1999</b>	3.455	5.555	14.987	4.218	1.926	3.715	3.675	1.174	1.252	1.291	1.367	1.534
<b>2000</b>	2.349	11.089	16.429	6.063	1.512	1.125	1.860	1.058	0.842	1.146	1.178	1.205
<b>2001</b>	1.667	3.187	5.294	4.207	2.683	1.975	4.304	2.055	4.231	2.135	2.221	2.036
<b>2002</b>	6.473	11.743	5.223	2.974	2.237	1.332	1.100	5.552	2.512	2.335	4.192	3.951
<b>2003</b>	7.025	2.742	4.011	2.465	5.430	1.457	1.160	0.636	1.061	1.512	1.179	2.244
<b>2004</b>	3.628	11.121	7.408	5.080	1.998	1.790	1.640	0.861	1.132	1.340	4.260	2.658
<b>2005</b>	4.253	4.112	14.099	5.891	2.237	1.472	4.092	1.889	1.494	0.978	0.924	1.771
<b>2006</b>	1.515	1.796	10.926	18.823	7.075	3.191	1.677	5.798	1.709	1.634	4.013	2.153
<b>2007</b>	4.349	7.432	9.033	3.116	1.698	1.363	1.013	0.548	3.170	2.218	6.091	6.653
<b>2008</b>	5.853	4.068	8.092	4.143	2.412	1.677	1.742	1.287	1.179	1.385	1.655	2.596
<b>2009</b>	1.882	3.007	16.011	6.296	1.872	2.888	5.734	2.434	1.439	2.607	2.726	3.797
<b>2010</b>	3.624	2.823	11.143	7.551	6.155	6.945	2.174	4.003	6.480	3.083	2.337	5.420
<b>2011</b>	8.622	4.944	3.343	2.239	1.482	1.266	2.045	1.320	1.936	1.666	1.168	2.304
<b>2012</b>	6.599	8.514	9.412	2.618	1.612	1.114	1.136	1.706	0.750	0.990	1.136	2.250
<b>2013</b>	5.842	5.193	5.917	5.247	3.635	7.032	1.893	1.212	2.661	1.915	1.569	2.650
<b>2014</b>	1.861	1.904	2.650	1.904	2.823	1.244	0.890	2.791	5.993	3.029	2.575	3.884
<b>2015</b>	8.276	3.289	3.483	5.139	1.958	1.070	0.546	1.298	0.476	1.158		

Tab. 8.5 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně  $Q_{100}$

trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)
0	2.62	40	69.92	80	26.98	120	15.86	160	11.46
2	3.06	42	65.93	82	26.05	122	15.51	162	11.16
4	3.70	44	62.22	84	24.83	124	15.25	164	11.08
6	4.50	46	58.25	86	24.10	126	15.02	166	10.74
8	5.50	48	54.18	88	23.47	128	14.76	168	10.44
10	6.45	50	51.10	90	22.79	130	14.51	170	10.49
12	7.99	52	48.63	92	22.23	132	14.33	172	10.37
14	10.07	54	46.45	94	21.62	134	13.84	174	9.96
16	12.61	56	44.30	96	21.00	136	13.57	176	9.77
18	16.02	58	42.56	98	20.31	138	13.58	178	9.64
20	21.75	60	40.29	100	19.80	140	13.36	180	9.44
22	29.86	62	38.14	102	19.18	142	13.27	182	9.40
24	39.28	64	36.20	104	18.62	144	12.97	184	9.22
26	48.72	66	34.46	106	18.23	146	12.78	186	8.97
28	58.83	68	33.27	108	17.69	148	12.53	188	8.93
30	69.17	70	32.13	110	17.27	150	12.31	190	8.93
32	77.75	72	30.88	112	16.90	152	12.22	192	8.81
34	81.40	74	29.96	114	16.47	154	11.88	194	8.58
36	79.55	76	29.05	116	16.23	156	11.61	196	8.31
38	74.79	78	27.92	118	16.06	158	11.64	198	8.08

Tab. 8.6 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně  $Q_{50}$

trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)	trvání (h)	průtok (m3/s)
0	2.09	40	50.62	80	19.56	120	11.86	160	8.47
2	2.47	42	47.88	82	18.58	122	11.64	162	8.26
4	3.05	44	44.67	84	17.94	124	11.37	164	7.98
6	3.77	46	41.23	86	17.50	126	11.26	166	7.70
8	4.64	48	38.65	88	17.25	128	10.99	168	7.68
10	5.46	50	36.84	90	16.76	130	10.92	170	7.81
12	6.97	52	35.47	92	16.35	132	10.40	172	7.47
14	9.11	54	33.78	94	15.84	134	10.17	174	7.13
16	11.37	56	32.50	96	15.23	136	10.11	176	6.96
18	14.76	58	30.59	98	14.83	138	10.25	178	6.95
20	21.18	60	28.85	100	14.30	140	10.20	180	6.93
22	29.84	62	27.00	102	13.93	142	9.88	182	6.87
24	38.67	64	25.83	104	13.58	144	9.76	184	6.66
26	46.71	66	24.96	106	13.26	146	9.37	186	6.57
28	55.77	68	24.30	108	12.93	148	9.32	188	6.69
30	62.90	70	23.44	110	12.63	150	9.15	190	6.72
32	64.90	72	22.69	112	12.39	152	8.98	192	6.46
34	62.40	74	22.02	114	12.21	154	8.65	194	6.09
36	59.13	76	21.19	116	12.19	156	8.69	196	5.80
38	54.34	78	20.34	118	12.18	158	8.68	198	5.54

Tab. 8.7 – Profil hráze Borovnice: průběh povodně  $Q_{20}$

trvání (h)	průtok (m <sup>3</sup> /s)	trvání (h)	průtok (m <sup>3</sup> /s)	trvání (h)	průtok (m <sup>3</sup> /s)	trvání (h)	průtok (m <sup>3</sup> /s)	trvání (h)	průtok (m <sup>3</sup> /s)
0	1.53	40	35.13	80	12.87	120	8.15	160	5.72
2	1.81	42	32.48	82	12.37	122	7.95	162	5.47
4	2.26	44	30.16	84	11.96	124	7.78	164	5.17
6	2.82	46	28.05	86	11.64	126	7.60	166	5.16
8	3.48	48	27.20	88	11.46	128	7.55	168	5.12
10	4.10	50	26.00	90	11.30	130	7.21	170	4.93
12	5.31	52	23.89	92	10.93	132	7.02	172	4.89
14	7.04	54	23.08	94	10.56	134	6.92	174	4.69
16	8.78	56	21.79	96	10.21	136	6.86	176	4.47
18	11.50	58	20.54	98	9.79	138	6.92	178	4.49
20	16.86	60	19.21	100	9.47	140	6.93	180	4.52
22	23.97	62	18.05	102	9.24	142	6.80	182	4.41
24	30.90	64	17.19	104	8.98	144	6.55	184	4.41
26	36.96	66	16.72	106	8.76	146	6.40	186	4.43
28	43.94	68	16.18	108	8.62	148	6.25	188	4.42
30	47.40	70	15.84	110	8.40	150	6.12	190	4.40
32	47.00	72	15.38	112	8.30	152	5.89	192	4.22
34	44.00	74	14.76	114	8.30	154	5.93	194	4.03
36	41.00	76	14.24	116	8.30	156	5.80	196	3.76
38	38.00	78	13.66	118	8.23	158	5.71	198	3.44