



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

## VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VODNÍ NÁDRŽE

WATER YIELD ANALYSIS OF GIVEN OPEN WATER RESERVOIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Vítková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Lucie Vítková
<b>Název</b>	Vodohospodářské řešení vybrané vodní nádrže
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Daniel Marton, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

---

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

VOTRUBA L., BROŽA V., Water Management and Reservoirs, Prague, 1989

STARÝ M., Hydrologie (MODUL 01), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2005.

STARÝ M., Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 01), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2006.

STARÝ M., Nádrže a vodohospodářské soustavy (MODUL 02), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2006.

MARTON, D.; STARÝ, M.: LRMsoft; LRMsoft - generátor umělých měsíčních průtoků. <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. (software)

MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P.: UNCERESERVOIR; UNCERESERVOIR - Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. (software)

MARTON D., Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže - vývoj softwarového produktu, VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2007

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem bakalářské práce je provést výpočet zásobního objemu údolní nádrže Vranov v povodí řeky Dyje. Součástí výpočtů bude i analýza ztrát vody z nádrže výparem a jejího vlivu na objem vody v nádrži. Jako podklad pro výpočet budou sloužit historická data v podobě reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků, ale také data vygenerovaná pomocí generátoru umělých průtokových řad. Požadované výstupy práce budou následující. Přehledně zpracovaná teoretická část závěrečné práce a přehledně zpracované výsledky provedených výpočtů. Početní vyhodnocení bude obsahovat zpracování hydrologických podkladů, stejně jako vyhodnocení zásobního objemu nádrže.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Daniel Marton, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

## Abstrakt

Poslední dobou je možné pozorovat častější výskyty hydrologických extrémů. Nejvíce dochází k prohlubování období sucha a výskytu povodní. Při dlouhodobém suchu bude ohrožena zásobní funkce nádrží. Aby bylo problémům zabráněno, bude nutná důkladná revize manipulačních řádů a zásobních objemů nádrží. Tato bakalářská práce se zabývá výpočtem vlivu zásobního objemu nádrže Vranov při zavedení ztrát vody z nádrže výparem. Základem pro vyhodnocení výsledků slouží reálná průtoková řada, dále umělá průtoková řada generované pomocí generátoru umělých měsíčních průtoků LRM soft a program na výpočet zásobního objemu UNCE RESERVOIR.

## Klíčová slova

Zásobní objem nádrže, reálná průtoková řada, umělá průtoková řada, průměrný měsíční průtok, LRMsoft, UNCE RESERVOIR, zabezpečení

## Abstract

Last couple of years it has been possible to observe more frequent occurrences of hydrological extremes. Mostly, the drought and the flood events have occurred. The reservoir storage capacity will be threatened during long-term drought. A thorough revision of the storage capacity will be necessary to face the problems. This bachelor thesis deals with the calculation of the impact of the storage capacity of the open water reservoir Vranov. Introduction of the water loss from the reservoir by evaporation will be presented. The basis for the evaluation of the results is the historical series and the synthetic monthly flows generator LRM soft and the software for calculation of the storage capacity UNCE RESERVOIR have been used.

## Key word

Reservoir storage capacity, real series, synthetic series, mean monthly flows, LRMsoft, UNCE RESERVOIR, reliability

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lucie Vítková *Vodohospodářské řešení vybrané vodní nádrže*. Brno, 2018. 51 s.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Daniel Marton, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2018

---

Lucie Vítková  
autor práce

## Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za cenné rady, čas, který mi věnoval, věcné připomínky a nevyčerpatelnou vstřícnost na konzultacích při vypracování bakalářské práce.

# Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE.....	2
3	METODY VÝPOČTU.....	3
3.1	Batygrafické čáry.....	3
3.2	Výpar.....	3
3.3	Generátor umělých průtokových řad.....	4
3.3.1	Program LRMsoft.....	4
3.4	Statistické charakteristiky.....	5
3.4.1	Střední hodnota.....	5
3.4.2	Disperze.....	6
3.4.3	Směrodatná odchylka.....	6
3.4.4	Koeficient variace.....	6
3.4.5	Koeficient asymetrie.....	6
3.4.6	Koeficient excese.....	7
3.5	Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže.....	7
3.5.1	Úloha č. 1.....	8
3.5.2	Úloha č. 2.....	10
3.5.3	Výpočet zabezpečení.....	11
4	PRAKTICKÁ APLIKACE.....	12
4.1	Vodní dílo Vranov.....	12
4.2	Technické parametry.....	13
4.2.1	Objemové a výškové umístění funkčních prostorů nádrže.....	14
4.3	Hydrologie.....	15
4.3.1	Hlásný profil Podhradí nad Dyjí.....	16
4.3.2	Hlásný profil stanice Vysočany na toku Želetavka.....	17
4.3.3	Batygrafické čáry.....	17
4.4	Odvození reálné průtokové řady.....	18
4.5	Generátor umělých průtokových řad LRMsoft.....	21
4.5.1	Výstupy z generátoru.....	22
4.5.2	Výstupy ořezané umělé průtokové řady.....	25
4.6	Výpočet.....	27
5	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ.....	42
	ZÁVĚR.....	45
	BIBLIOGRAFIE.....	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	49
	SEZNAM TABULEK.....	50
	SEZNAM GRAFŮ.....	51



# 1 ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších témat, kterými se zabývá odborná veřejnost, jsou bezesporu proměny v hydrologickém režimu v ČR. V současnosti zaznamenáváme extrémní jevy, jako jsou sucha a povodně, které vedou ke změnám hydrologického režimu v povodí. Povodně jsou způsobené intenzivními srážkami a sucha způsobují snížení zásob podzemní i povrchové vody. Proměnlivost a přerozdělení srážkových úhrnů v průběhu roku, změna teploty a vlhkosti vzduchu jsou dalšími činiteli ovlivňující klimatický režim. [1]

Za zmínku stojí například rok 2015, kdy Českou republiku zasáhlo extrémní sucho. Největší úbytek srážek byl zaznamenán v letních měsících, při čemž došlo k významnému nedostatku vody v krajině i půdě a také znatelnému snížení hladiny vodních toků doprovázených malými průtoky. Deficit srážek se projevil ve výrazně negativní vláhové bilanci, kdy dosáhla hodnot pod -100 mm. V tomto suchém létu se dařilo udržovat stabilitu v tocích jen díky nadlepšování průtoků pomocí vodních nádrží. V zimě roku 2014/2015, která se řadí mezi druhou v řadě, kdy nenapadla skoro žádná sněhová pokrývka a většina srážek bylo pouze dešťových, došlo také k úbytku zásobní vody v krajině [2]. Při dlouhodobém suchu může nastat ještě více škod než při povodních. Snižuje se kvalita vody v tocích i v nádržích, nedochází k ředění splaškových vod a voda ztrácí život. To vše může vést až k lokálním ekologickým haváriím.

Podstatnou roli vedle nedostatku srážek hrál i narůstající výpar z vodní hladiny nádrží i toků, ke kterému dochází kvůli vysokým teplotám v posledních letech. Markantní projev je zejména na povodích s rozsáhlými soustavami rybníků. Naopak velké víceúčelové nádrže nadlepšují minimální průtok a tím zvyšují průtokové poměry v tocích pod nádržemi. [2]

V dnešní době jsou zásobní objemy a zabezpečení podhodnocovány, proto v budoucnu bude nutná z pohledu adaptace na již probíhající změny důkladná revize. Touto problematikou se zabývá VUT Fast v Brně, obor vodní hospodářství krajiny, kde byly vynalezeny softwary zabývající se vlivem nejistot na objem a hydrologickou zabezpečení. Dále publikace v časopise *Journal of Hydrology and Hydromechanics* (Marton a kolektiv, 2015). Výzkumy v dané oblasti budou nadále důležité a úlohy vodohospodářského řešení zásobního objemu stále potřebné.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zpracování hydrologických podkladů a provedení výpočtu zásobního objemu nádrže Vranov, která leží na řece Dyji v povodí Dyje. Analýza ztrát vody z nádrže výparem a její vliv na zásobní objem v nádrži byl proveden v programu UNCE RESERVOIR. Výpočet byl proveden simulačním modelem jak bez uvažování ztrát, tak s uvažováním ztrát vody z nádrže pomocí opakované simulace pro jednotlivé výpary z vodní hladiny.

Jako vstupními daty pro vypracování bakalářské práce byla použita reálná průtoková řada průměrných měsíčních průtoků poskytnuta ČHMÚ v Brně a batygrafické křivky od Povodí Moravy. Dále data vygenerovaná pomocí generátoru umělých průtokových řad LRMsoft.

Vyhodnocení hydrologických podkladů a zásobního objemu nádrže jsou prezentovány v následujících tabulkách a grafech v této bakalářské práci.

## 3 METODY VÝPOČTU

### 3.1 Batygrafické čáry

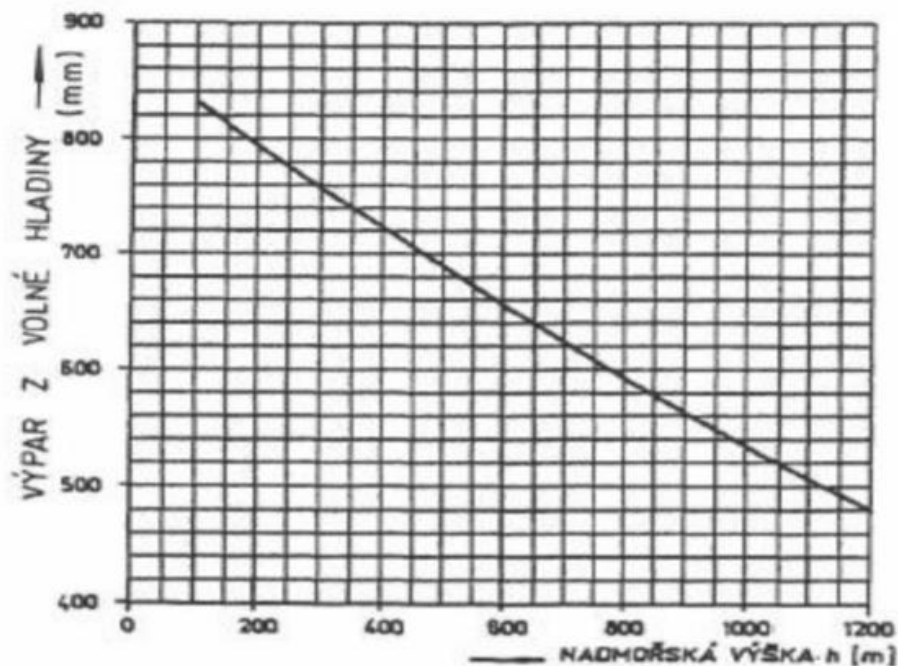
Batygrafickými čarami popisujeme morfologii údolí. Myšleny jsou čáry zatopených ploch a čáry zatopených objemů, taktéž nazývány charakteristikami nádrže. Čára zatopených ploch udává závislost mezi výškou plnění nádrže  $H$  a odpovídající plochou hladiny  $F$  odpovídajícímu plnění. Čára zatopených objemů udává závislost mezi výškou plnění nádrže  $H$  a odpovídajícím zatopeným objemem. Konstrukce batygrafických čar je přibližná, záleží na přesnosti a měřítku použitých map a podkladů. Prvotní při konstrukci čar je čára zatopených ploch. Je-li výrazně ovlivněn objem nádrže splaveninami a nárůstem organické hmoty, je zapotřebí upravit čáru zatopených ploch a čáru objemu nádrže tak, aby rozdíl předpokládané skutečnosti k příslušné časové úrovni vodohospodářského řešení nepřesáhl 5 %. [3]

Konstrukce batygrafických čar je následující. Výška plnění se udává buď v reálných výškách  $H_i$ , nebo přímo v nadmořských výškách v metrech nad mořem, té je dána zatopená plocha  $F_i$ . Zvětší-li se objem plnění nádrže na hodnotu  $H_{i+1}$ , při odpovídající ploše  $F_{i+1}$ , je dán odpovídající objem nádrže  $V_{i+1}$ . Jelikož pro  $H_0 = 0$  platí  $V_0 = 0$ , je možné postupným dosazováním do rovnice (1) za  $F_i, F_{i+1}$  a  $H_i, H_{i+1}$  pro  $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$  získat posloupnost  $V_0, V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ . Spojením odpovídajících bodu  $(H_i, V_i)$  pro  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , je získána čára zatopených objemů. [3]

$$V_{i+1} = V_i + \frac{F_i + F_{i+1}}{2} (H_{i+1} - H_i), [m^3] \quad (1)$$

### 3.2 Výpar

Při řešení zásobní funkce nádrže byly do výpočtu zahrnuty ztráty výparem z vodní hladiny. Ztráty vody průsakem a ztráty vody tvořením ledu byly zanedbány. Výpar se stanovuje ze závislosti nadmořské výšky a výparu z volné hladiny. Graf je znázorněn na obrázku 1 v souladu ČSN 75 2405 [4]. Výpar je ovlivněn mnoha faktory, například vodními rostlinami na vodní hladině nebo tvořením ledů atd. Díky tomu dochází k mnoha nejistotám a výsledky nejsou tolik přesné.



Obrázek 1. Výpar z volné hladiny [4]

Výpar, jinak nazýván evaporace, vyplývá z neustálého pohybu molekul vody, který narůstá při zvyšování teploty ovzduší. Některé molekuly překonávají přitažlivost molekul sousedních a přecházejí do ovzduší. Opačný proces se nazývá kondenzace. Pronikání vodních par do ovzduší nastává buď difúzí nebo vzdušnými proudy. Výpar z vodní hladiny je poměrně jednodušší a je nejvýznamnější složkou ztrát vody z nádrže. Výpar je závislý především na teplotě a nadmořské výšce. Na našem území se pohybuje cca 1 až 3 mm za den a 200 až 800 mm za rok. [5]

Tabulka 1. Procentuální rozdělení výparu v průběhu kalendářního roku

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
K [%]	1	2	6	9	12	14	16	15	11	7	5	2

kde:

$K$  podíl ročního výparu v %.

### 3.3 Generátor umělých průtokových řad

#### 3.3.1 Program LRMsoft

Lineární regresní modely jsou určeny ke generování umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků. Generátor LRMsoft je založen na standartním postupu generování umělých průtokových řad popsaných v (Kos, 1969) [6] a sestavených

v programovacím jazyce FORTAN [7]. Kdy je nejprve odstraněna šikmost hodnot průtoků pomocí adekvátního postupu. Hodnoty průtoků jsou transformovány na hladinu Y. V dalším kroku jsou hodnoty průtokové řady transformovány na hladinu odpovídající normálnímu normovanému rozdělení, tzv. hladina generování Z. Na hladině generování Z je pak uplatněn samostatný princip generátoru umělých průtokových řad, založených na metodě lineárního regresního modelu.

$$h_i = c_{1,m} \cdot h_{i-1} + c_{2,m} \cdot h_{i-2} + \dots + c_{dv,m} \cdot h_{dv,m} + d_i \cdot e_m \quad (2)$$

kde:

- $c_{j,m}$  regresní koeficienty lineárního regresního modelu pro  $j = 1$ ,
- $dv$  je popsán délkou Markovova řetězce,
- $h_{i-j}$  hodnota umělých průtoků pro  $j = 1, \dots, dv$ ,
- $d_i$  náhodná čísla z intervalu daného normálním standardním rozdělením,
- $e_m$  rozptyl lineárního regresního modelu daný rovnicí (3).

$$e_m = 1 - (c_{1,m} \cdot b_{1,dv+1} + c_{2,m} \cdot b_{2,dv+1} + \dots + c_{dv,dv+1}) \quad (3)$$

kde:

- $c_{j,m}$  regresní koeficienty lineárního regresního modelu pro  $j = 1$ ,
- $dv$  je popsán délkou Markovova řetězce,
- $b_{j,dv+1}$  prvky pravé strany matice, řešící regresní koeficienty  $c_{j,m}$ .

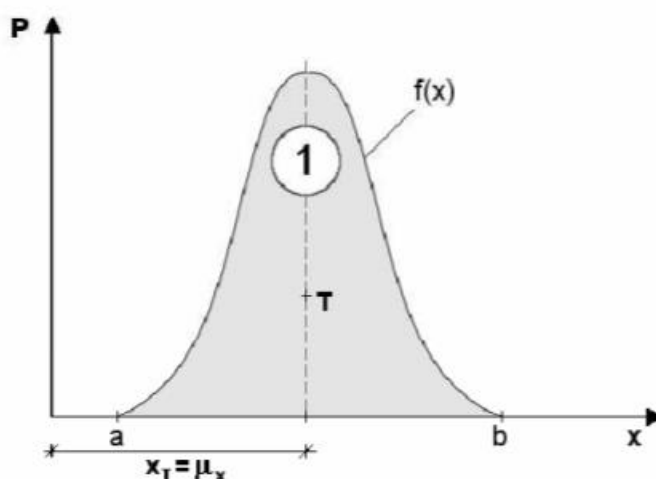
### 3.4 Statistické charakteristiky

Statistické charakteristiky jsou funkce používané v hydrologii pro popis základního souboru hydrologických dat. Nejčastěji používané statistické charakteristiky jsou střední hodnota, disperze, směrodatná odchylka, koeficient variace, asymetrie a koeficient špičatosti. V této práci byly vyhodnoceny všechny zmíněné charakteristiky. Následující podkapitoly byly zpracovány dle [5].

#### 3.4.1 Střední hodnota

Střední hodnota se značí  $\mu(X)$  a je to hodnota prvního obecného momentu. Patří k tzv. charakteristikám polohy, její hodnota je x-ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti.

$$\mu_x = \mu(x) = \mu[x] = m_1[x] = \int_a^b x f(x) dx \quad (4)$$



Obrázek 2. Střední hodnota je  $x$ -ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti

### 3.4.2 Disperze

Disperze neboli rozptyl se značí  $D(x)$  a je to hodnota druhého centrálního momentu. Pokud se hodnota disperze blíží nule, je tvar grafu hustoty pravděpodobnosti úzký a špičatý, pokud hodnota disperze roste do nekonečna, je plochý a nízký.

$$Dx = D(x) = D[x] = M_2(x) = m_2(x - \mu_x) = \int_a^b (x - \mu_k)^2 f(x) dx \quad (5)$$

### 3.4.3 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka, jinak nazývaná střední kvadratická odchylka, se značí  $\sigma_x$  a využívá se pro popis souborů.

$$\sigma_x = \sigma(x) = \sigma[x] = \sqrt{D_x} \quad (6)$$

### 3.4.4 Koeficient variace

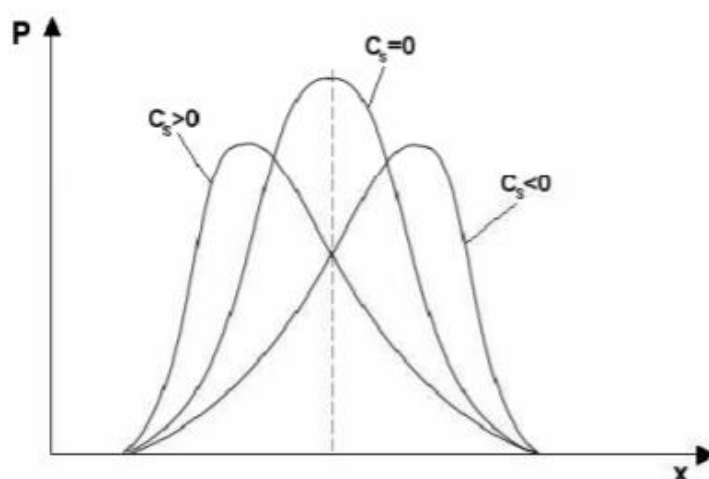
Jedná se o procentuálně vyjádřenou bezrozměrnou charakteristiku  $C_{v,x}$ , která je definovaná jako podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty.

$$C_{v,x} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (7)$$

### 3.4.5 Koeficient asymetrie

Koeficient asymetrie  $C_{s,x}$  neboli šikmost se určí jako podíl třetího centrálního momentu a třetí mocniny směrodatné odchylky. Vyjadřuje míru asymetrie okolo aritmetického průměru.

$$C_{s,x} = \frac{M_3(x)}{\sigma^3} \quad (8)$$



Obrázek 3. Koeficient asymetrie odpovídá o naklonění grafu hustoty pravděpodobnosti

### 3.4.6 Koeficient excese

Koeficient excese  $E_x$  neboli špičatosti je mírou koncentrace dat kolem určité hodnoty nebo skupiny hodnot ve srovnání s určitým definovaným rozdělením veličiny.

$$E_x = \frac{M_4(x)}{\sigma^4(x)} - 3 \quad (9)$$

Z důvodu malého počtu realizací se v hydrologické praxi využívá nejvýše do čtvrtého počtu realizací  $M_4(x)$ , musí být k dispozici výsledná statistická charakteristika s maximální chybou  $\pm 10\%$ .

Tabulka 2. Nutný počet realizací pro odhad statistické charakteristiky s chybou  $\pm 10\%$

<i>Stat. charakteristiky</i>	<i>Počet realizací</i>
$\mu_x$	20
$D_x, \sigma_x, C_{v,x}$	40
$C_{s,x}$	80
$E_x$	300
$M_5[x]$	1200

### 3.5 Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže

Při vodohospodářském řešení zásobního objemu nádrže hledáme vztah mezi třemi veličinami časového průběhu přítoku vody  $Q(t)$ , který je znám chronologickou řadou:

- $O_p$  – hodnota nalepšeného odtoku vody,
- $V_z$  – velikost zásobního objemu nádrže,
- $P$  – zabezpečení nalepšeného odtoku,

přičemž ten je vyjádřen zabezpečeností podle opakování  $P_o$ , zabezpečeností podle trvání  $P_T$  a zabezpečeností podle dodávky vody  $P_D$ . Ze tří veličin  $O_p$ ,  $V_z$  a  $P$  jsou vždy dvě zadané a hledá se třetí nezadaná veličina. Tím vzniknou základní typy úloh používajících se v praxi. Jedná se o Úlohu č. 1, kde zásobní prostor  $V_z$  je funkcí požadovaného odtoku  $O_p$  a zabezpečenosti  $P$ , tedy  $V_z = F_1(O_p, P)$  pro  $P = 100\%$ . V Úloze č. 2 je zabezpečenost  $P$  funkcí požadovaného odtoku  $O_p$  a zásobního objemu  $V_z$ , tedy  $P = F_2(O_p, V_z)$ . Úlohu č. 3, kde zásobní prostor  $V_z$  je funkcí požadovaného odtoku  $O_p$  a zabezpečenosti  $P$ , tedy  $V_z = F_1(O_p, P)$  tentokrát pro  $P < 100\%$  a Úlohu č. 4, kde požadovaný odtok  $O_p$  je funkcí zásobního prostoru  $V_z$  a zabezpečenosti  $P$ , tedy  $O_p = F_3(V_z, P)$  pro  $P = 100\%$ . [8] Bakalářská práce se zabývá Úlohou č. 1 a Úlohou č. 2.

### 3.5.1 Úloha č. 1

Jde o úlohu, kde zásobní prostor  $V_z$  je funkcí požadovaného odtoku  $O_p$  a zabezpečenosti  $P$ , tedy  $V_z = F_1(O_p, P)$  pro  $P = 100\%$ .

Řešení vztahu mezi  $V_z$ ,  $O_p$ ,  $P$  simulační metodou je možno provádět početně nebo graficky. K pochopení principu řešených úloh vyniká svojí přehledností a názorností grafické řešení. Početní řešení je méně přehledné, ale díky velkému množství opakování výpočtů je zvláště vhodné při použití výpočetní techniky. Grafické i početní řešení jsou shodná, jedná se pouze o odlišnou interpretaci stejného postupu. [3]

Pro úlohu platí, že se provádí v jediné variantě jednorázovou simulací provozu nádrže. Počáteční podmínkou je plná nádrž. Řešení úlohy je znázorněno v tabulce 3.

**Tabulka 3.** Výpočet Úlohy č. 1  $V_z = F_1(O_p, P)$  pro  $P = 100\%$

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>i</i>	<i>rok</i>	<i>měsíc</i>	$O_p$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$O$ [m <sup>3</sup> ]	$(O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m <sup>3</sup> ]	$\Sigma (O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m <sup>3</sup> ]

Do tabulky 3 jsou zadávány vstupní data, ve sloupci č. 4 nalepšený odtok  $O_p$ . Pátý sloupec je prezentován chronologickou měsíční průtokovou řadou a šestý prezentuje hodnoty skutečných odtoků  $O$  z nádrže. V 7 sloupci je provedena bilance mezi požadovaným nalepšeným odtokovým množstvím  $O_p \cdot \Delta t$  a přítokovým množstvím  $Q \cdot \Delta t$ . Poslední sloupec nám znázorňuje simulaci prázdnění nádrže. [3]



Pokud v daném měsíci je  $O_p > Q$ , nádrž se prázdní, naopak pokud  $O_p < Q$  nádrž se plní. Na konci každého měsíce neboli v každém bilančním kroku se pro Úlohu č. 1 stanovuje tzv. simulace prázdnění nádrže. Změna prázdnění nádrže na konci každého měsíce je získána jako dílčí bilance  $(O_p - Q) \cdot \Delta t$  a přičteme ji ke stavu prázdnění nádrže na konci předcházejícího měsíce  $\Sigma (O_p - Q) \cdot \Delta t$ . Pokud je nádrž plná a přítok  $Q$  je v daném měsíci větší než požadovaný nalepšený odtok  $O_p$ , pak je odtok roven přítoku. V tomto případě je  $\Sigma (O_p - Q) \cdot \Delta t = 0$ . Vztah je roven 0 i v případě, že dojde k naplnění již v průběhu měsíce. Zásobním objemem  $V_z$  se zabezpečeností  $P = 100 \%$  je požadovaná maximální hodnota  $\Sigma (O_p - Q) \cdot \Delta t$  provedením simulace prázdnění nádrže v řešeném časovém období. [3]

Základ pro simulační model nádrže pro výpočet Úlohy č. 1 vodohospodářského zásobního objemu je upravená základní rovnice nádrže v součtovém tvaru převedená do následující nerovnosti (10).

kde:

$O_i$  odtok vody z nádrže [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] pro  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ,  
 $Q_i$  přítok vody do nádrže [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] pro  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ,  
 $\Delta t$  časový krok výpočtu jeden měsíc.

$$0 \leq \sum_{i=0}^k (O_i - Q_i) \Delta t + (O_{i+1} - Q_{i+1}) \Delta t \quad (10)$$

V kroku  $i+1$  je hodnota  $O_{i+1}$  nejprve nahrazena hodnotou požadovaného nalepšeného odtoku  $O_p$ . Časový průběh vyčíslované sumy pravé strany rovnice znázorňuje průběh prázdnění zásobního objemu nádrže po časových krocích  $i = 1, \dots, k$ . Pro  $i = 0$  je třeba zadat počáteční podmínku řešení.

Nerovnost (10) je omezená z levé strany hodnotou 0, což značí plný zásobní objem nádrže. Výpočtem hodnoty výrazu je získáno momentální prázdnění zásobního objemu  $V'_{z,i+1}$ . Dosažením maximální hodnoty prázdnění nádrže za řešené období byl získán hledaný zásobní objem. Nerovnost (10) tedy počítá velikost zásobního objemu nádrže  $V_z$  pro zabezpečení  $P = 100 \%$  odtoku vody z nádrže. Znamená to, že v nádrži při řešeném období nevznikne nedodávka vody, která by byla způsobena nedostatečným přítokem vody do nádrže. Nedostatečný přítok ovlivňují málo vodné či suché období. [9]

### 3.5.2 Úloha č. 2

V Úloze č. 2 hledáme zabezpečení  $P$ , když je znám nalepšený odtok  $O_p$  a zásobní objem  $V_z$ . Řešením je jednorázová simulace provozu nádrže. Plná nádrž je počáteční podmínka, tak jako v Úloze č. 1.

Hlavním rozdílem mezi Úlohou č. 1 a Úlohou č. 2 je v tom, že v Úloze č. 2 se navíc testuje omezující podmínka v 8 sloupci, zda na konci každého měsíce nepřesahuje nárok na vyprázdnění nádrže zadaný zásobní objem (viz tabulka 4). Předchozí sloupce v tabulce 4 se řeší již uvedeným postupem jako v předchozí úloze.

**Tabulka 4.** Výpočet Úlohy č. 2  $P = F_2(O_p, V_z)$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$i$	rok	měsíc	$O_p$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$O$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$O_p - Q$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$\Sigma(O_p - Q)$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$M_r$	$M_m$	$D'$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

Jelikož je však postup znázorněn v poměrných hodnotách, je omezující podmínkou poměrný zásobní objem nádrže. Sloupec 8 řešíme v předstihu před sloupcem 6 a vycházíme opět ze sloupce 1. Pokud ve sloupci 8 vychází na konci libovolného měsíce poměrné vyprázdnění větší než zadaný poměrný zásobní objem, nahradíme poměrné vyprázdnění zadaným zásobním objemem. V tomto měsíci dojde tedy k poruše odtoku vody z nádrže. [3]

Ve všech měsících, kdy odtok vody  $O_i$  je menší než požadovaný odtok  $O_p$ , nastane porucha v nedodávce vody z nádrže. Ve sloupcích 9, 10 a 11 se provede vyhodnocení. Ve sloupci 9 se označí poruchové roky, které je možné označit pouze jedenkrát. To znamená, pokud v určitém roce, který je prezentován řadou měsíců hydrologického roku nastane alespoň jeden poruchový měsíc, pak nastala porucha i v celém roce. Do desátého sloupce se zapisuje velikost poruchy  $D'$ , která je provedena snížením odtoku o hodnotu  $D' = O_p - O$ . Na závěr tabulky ve sloupcích 9, 10 a 11 se uvede součet všech poruchových roků  $\Sigma M_r$ , měsíců  $\Sigma M_m$  a sníženého odtoku  $\Sigma D'$ . Celkové množství nedodané vody oproti plánované hodnotě vypočteme ze vztahu (11). [3]

$$\Sigma D = \Delta t \cdot \Sigma D' \quad (11)$$

### 3.5.3 Výpočet zabezpečení

Klasifikace poruchy zásobního objemu nádrže pro výpočet zabezpečení je následující a je prezentována ve studijních oporách [3].

Klasický vzorec pro výpočet pravděpodobnosti

$$P = \frac{m}{n} \cdot 100 [\%], \quad (12)$$

vzorec podle Čegodajeva

$$P = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100 [\%], \quad (13)$$

zabezpečení podle trvání  $P_T$

$$m = N_m - \sum M_m, n = N_m, \quad (14)$$

kde:

$m$  počet všech roků – počet poruchových roků (počet bezporuchových roků),  
 $n$  počet všech roků.

## 4 PRAKTICKÁ APLIKACE

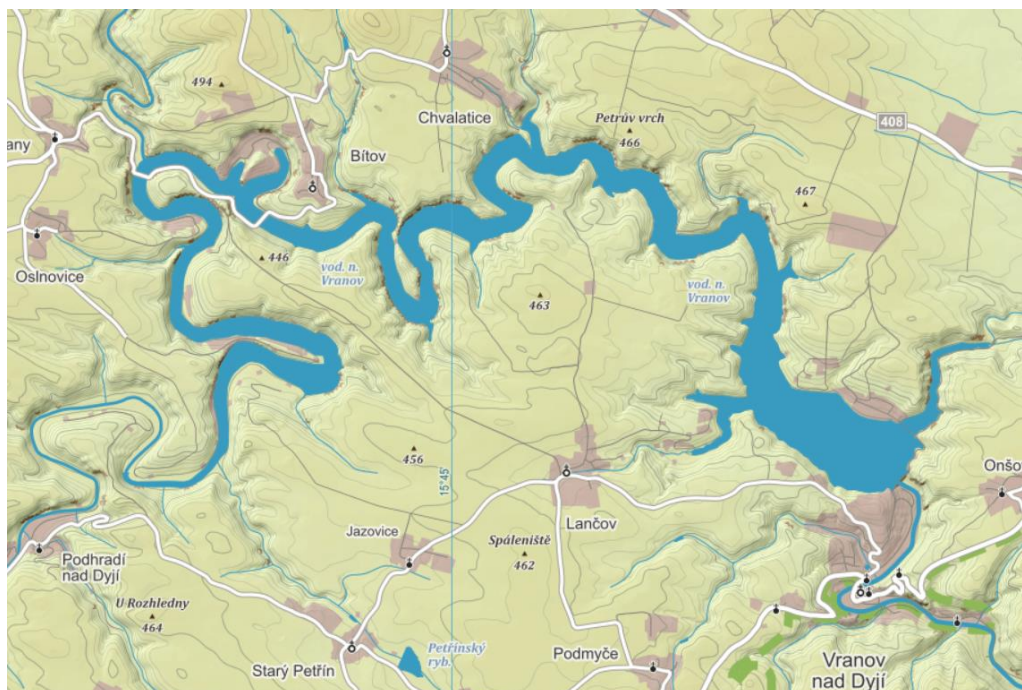
### 4.1 Vodní dílo Vranov



*Obrázek 4. Vodní nádrže v ČR – Poloha VD Vranov [10]*

Vodní nádrž Vranov byla vybudována na 175 km řeky Dyje, poblíž městečka Vranov nad Dyjí v Jihomoravském kraji v oblasti Českého masivu. Prvními impulsy k přehrazení toku Dyje způsobily v minulosti silné povodně. Údolní přehrada se začala stavět roku 1930. Do provozu byla uvedena v roce 1934 a stala se největším vodním dílem Československé Republiky [11]. Nádrž zásobuje pitnou vodou přes 100 tisíc obyvatel. Zásobovány jsou města Znojmo, Třebíč, Moravské Budějovice, Moravský Krumlov, Hrotovice, Jaroměřice nad Rokytnou, Jemnici, Náměšť nad Oslavou a většinu obcí v její blízkosti. Dále je i hlavním zdrojem vody pro Jadernou elektrárnu v Dukovanech. [12]

V roce 2002 zasáhla ničivá povodeň lokality v povodí Dyje, která je označována za téměř 500letou vodu. Průchodem povodně došlo na VD Vranov k poškození povrchů betonových konstrukcí, kamenného obkladu a boční opěrné zdi bezpečnostního přelivu. Tyto škody vedly k neprodlenému zahájení oprav. Účelem nádrže je zajistit minimální průtoky v toku, odběr vody pro skupinový vodovod, výrobu elektrické energie a ochranu před velkými vodami. Další využití nádrže je rekreace, rybolov a plavba. [11]



*Obrázek 5. Vodní nádrž Vranov [13]*

## 4.2 Technické parametry

Jedná se o betonovou gravitační hráz s osou v oblouku 500 m, kde samostatná výška hráze činí 59,9 m a její délka v koruně je 292 m. Celkový objem nádrže je 132,6 mil m<sup>3</sup>. Odvodňovaná plocha povodí je 2221 km<sup>2</sup> a průměrný roční průtok je udáván 10,6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Součástí VD Vranov je přehradní elektrárna tvořená třemi turbínami typu Francis. Provozovatelem elektrárny je energetická společnost E.ON Česká republika, s.r.o.

Technické parametry i objemové a výškové umístění funkčních prostorů nádrže v následující podkapitole byly zjištěny z manipulačního řádu nádrže Vranov [14].

## 4.2.1 Objemové a výškové umístění funkčních prostorů nádrže

*Tabulka 5. Prostor stálého nadržení*

Kóta dna	306,75 m n. m.
Kóta hladiny stálého nadržení	331,45 m n. m.
Objem prostoru stálého nadržení	31 840 000 m <sup>3</sup>
Zatopená plocha při hladině stálého nadržení	2,950 km <sup>2</sup>

*Tabulka 6. Prostor zásobní*

Kóta minimální hladiny zásobního prostoru	331,45 m n. m.
Kóta maximální hladiny zásobního prostoru	348,45 m n. m.
Objem zásobního prostoru	79 668 000 m <sup>3</sup>
Zatopená plocha při zásobní hladině	5,588 km <sup>2</sup>

*Tabulka 7. Prostor retenčně ovladatelný*

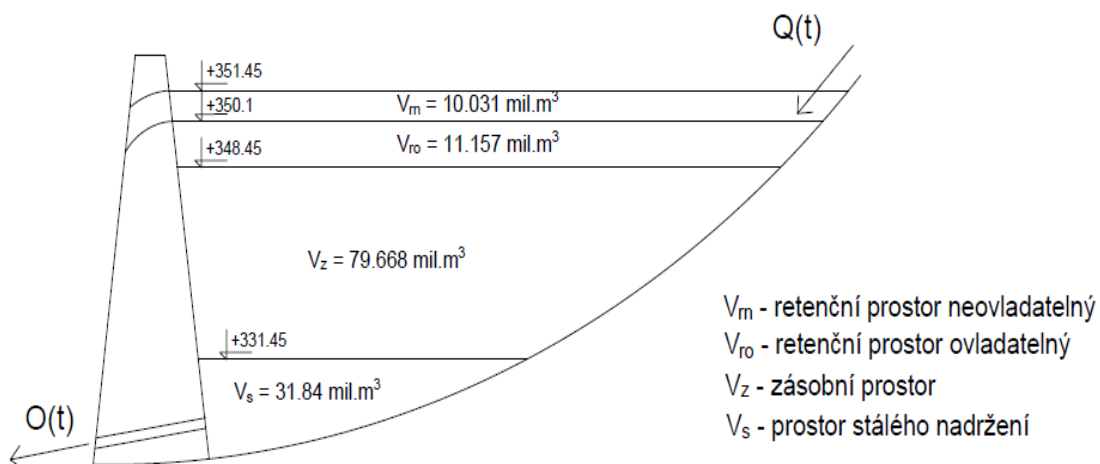
Kóta minimální hladiny retenčního prostoru	348,45 m n. m.
Kóta maximální hladiny retenčního prostoru	350,10 m n. m.
Objem retenčního prostoru	11 157 000 m <sup>3</sup>
Zatopená plocha při maximální retenční hladině	6,100 km <sup>2</sup>

*Tabulka 8. Prostor retenčně neovladatelný*

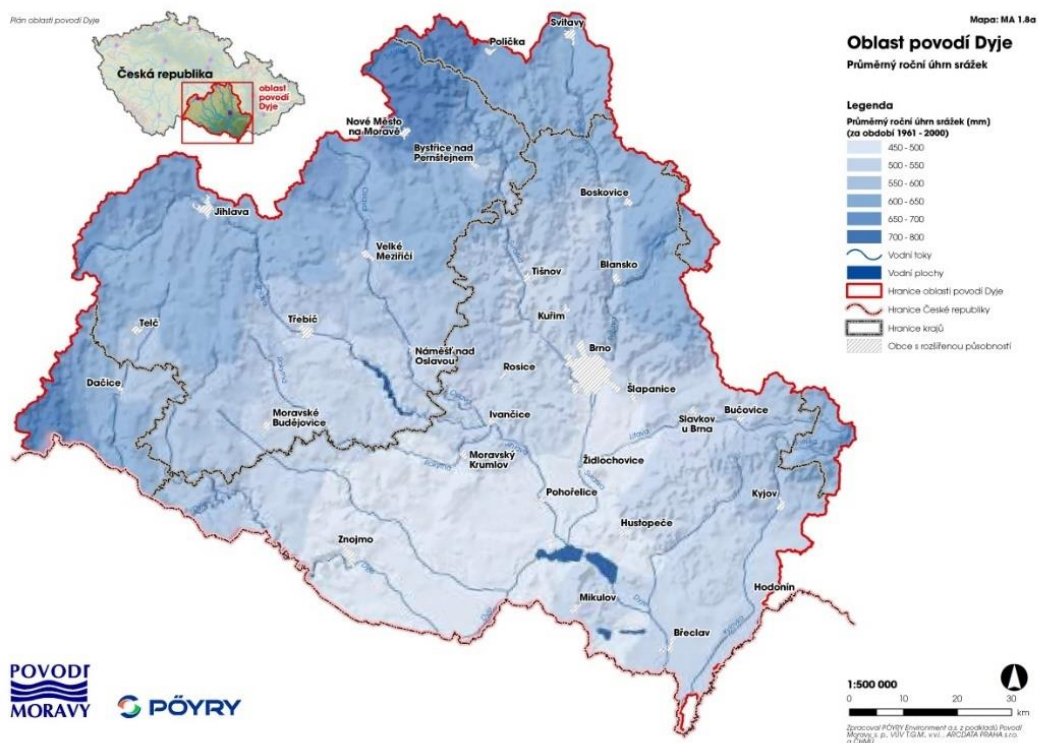
Kóta minimální hladiny retenčního prostoru	350,10 m n. m.
Kóta maximální hladiny retenčního prostoru	351,45 m n. m.
Objem retenčního prostoru	10 310 000 m <sup>3</sup>
Zatopená plocha při maximální retenční hladině	7.613 km <sup>2</sup>

*Tabulka 9. Prostor celkový*

Maximální hladina	351,45 m n. m.
Celkový objem nádrže	132 696 000 m <sup>3</sup>
Celková zatopená plocha	7,613 km <sup>2</sup>
Délka vzduť při maximálním zatopení	29,80 km <sup>2</sup>



Obrázek 6. Schéma vodohospodářského řešení nádrže Vranov



Obrázek 7. Povodí Dyje [15]

### 4.3 Hydrologie

VD Vranov se nachází v povodí Dyje s rozlohou  $13\,419 \text{ km}^2$ , kde je hlavním vodohospodářsky významným tokem řeka Dyje. Území se nachází v jižní části České republiky, v jihozápadní části Moravy. Hranice je tvořena ze západu rozvodnicí Jihlavy, ze severu rozvodnicemi Oslava, Svatky a Svitavy. Východ obklopují rozvodnice Litavy, Kyjovky a částečně Svitavy. Z jihu je hranice povodí tvořeno státní hranicí s Rakouskem. Oblast povodí Dyje má vějířovitý tvar, odvádí povrchové vody z východní a jižní části

Českomoravské vrchoviny, z části území severního Rakouska a také z jižních svahů Žďárského lesa. [16]

### 4.3.1 Hlásný profil Podhradí nad Dyjí

Měrná stanice je umístěna 200 m pod jezem v Podhradí u pravého břehu. [17]

Provozovatel stanice:	ČHMÚ Brno
Plocha povodí:	1755,49 km <sup>2</sup>
Hydrologické číslo pořadí:	4-14-02-007
Nula vodočtu:	348,36 m n. m.

*Tabulka 10. N-leté průtoky měrné stanice Podhradí pod Dyjí*

<i>N-leté průtoky</i>	<i>[m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</i>
$Q_a$	59
$Q_1$	98
$Q_5$	155
$Q_{10}$	195
$Q_{50}$	320
$Q_{100}$	390

*Tabulka 11. M-denní průtoky měrné stanice Podhradí pod Dyjí [18]*

<i>M-denní průtoky</i>	<i>[m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</i>
$Q_{30}$	20
$Q_{60}$	12,86
$Q_{90}$	8,95
$Q_{120}$	6,82
$Q_{150}$	5,58
$Q_{180}$	4,70
$Q_{210}$	3,95
$Q_{240}$	3,27
$Q_{270}$	2,70
$Q_{300}$	2,19
$Q_{330}$	1,60
$Q_{355}$	0,99
$Q_{364}$	0,37



### 4.3.2 Hlásný profil stanice Vysočany na toku Želetavka

Měrná stanice je umístěna pod areálem tábora na pravém břehu toku. [17]

Provozovatel stanice:	ČHMÚ Brno
Plocha povodí:	368,71 km <sup>2</sup>
Hydrologické číslo pořadí:	4-14-02-048
Nula vodočtu:	361,61 m n. m.

Tabulka 12. N-leté průtoky měrné stanice Vysočany

<i>N-leté průtoky</i>	<i>[m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</i>
Q <sub>1</sub>	10
Q <sub>5</sub>	27
Q <sub>10</sub>	37
Q <sub>50</sub>	64
Q <sub>100</sub>	78

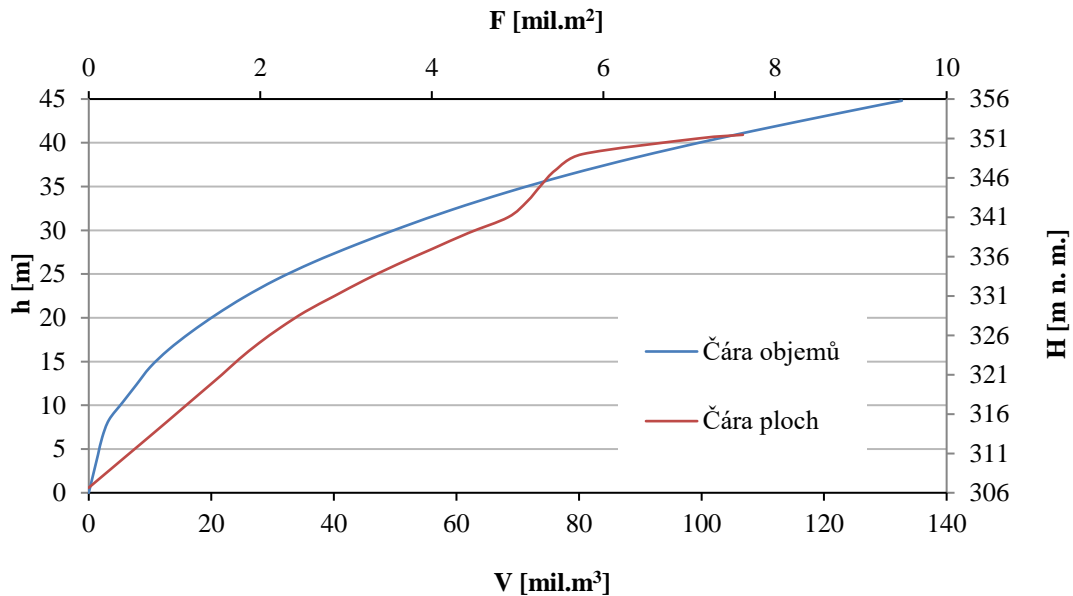
Tabulka 13. M-denní průtoky měrné stanice Vysočany

<i>M-denní průtoky</i>	<i>[m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</i>
Q <sub>30</sub>	0,77
Q <sub>60</sub>	0,45
Q <sub>120</sub>	0,26
Q <sub>180</sub>	0,17
Q <sub>240</sub>	0,07
Q <sub>364</sub>	0,02

### 4.3.3 Batygrafické čáry

Data, které jsou nezbytné pro zpracování batygrafických křivek poskytl Povodí Moravy. K vykreslení batygrafických čar byla zvolena počáteční hodnota v nadmořské výšce  $H_0 = 306,65$  m n. m., kde této výšce plnění odpovídá příslušná plocha  $F = 0$  m<sup>2</sup> a objem nádrže  $V = 0$  m<sup>3</sup>. Dále výšky byly voleny po 2 metrech až po maximální hladinu, která sahá do výšky 351.46 m n. m. Této výšce plnění odpovídá plocha  $F = 7\,625\,000$  m<sup>2</sup> a objem  $V = 132\,696\,000$  m<sup>3</sup>.

### Čáry zatopených ploch a objemů



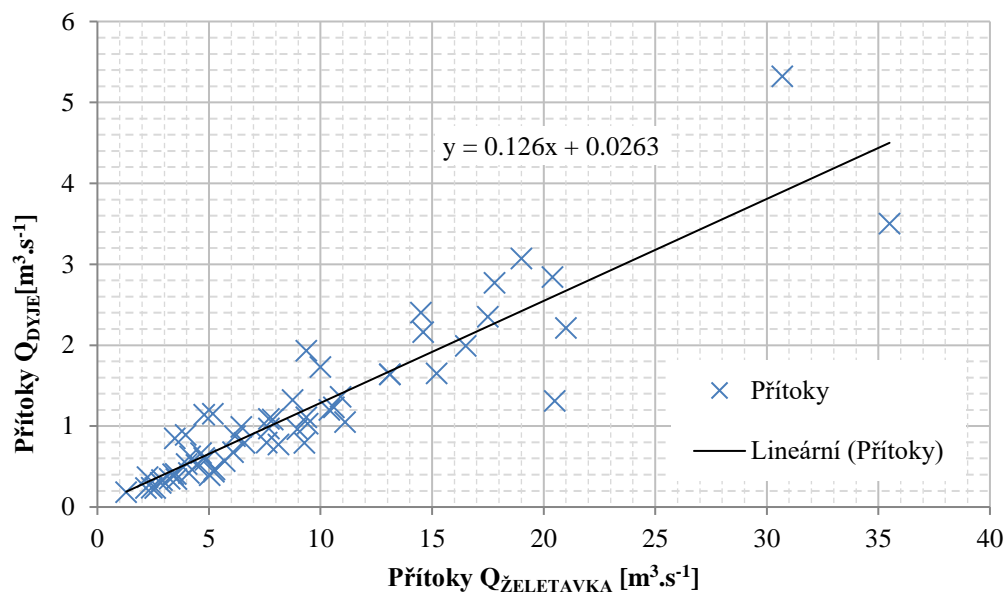
Graf 1. Čára zatopených ploch a objemů nádrže Vranov

#### 4.4 Odvození reálné průtokové řady

Pro určení reálné průtokové řady  $Q_{m,real}$  byla poskytnuta data Českým hydrometeorologickým ústavem. Data jsou pořízená z měrné stanice Podhradí pod Dyjí a měrné stanice Vysočany na toku Želetavka. Hydrologická řada průměrných měsíčních průtoku ze stanice Podhradí pod Dyjí obsahuje data za období 1935–2015 a řada ze stanice Vysočany obsahuje data za období od listopadu roku 1956 až do prosince roku 2015. Jelikož je reálná průtoková řada složená ze dvou měrných stanic, je potřeba určit chybějící data od roku 1935 do října 1956.

Při určení zbývajících dat za období 21 let byly využity regresní rovnice a poté dopočteny chybějící přítoky jednotlivých měsíců. Pro jednotlivé měsíce se do grafu vykreslily přítoky do nádrže od roku 1956 a vložila lineární spojnice trendu. Díky regresní rovnici byly zjištěny chybějící průtoky do nádrže pro jednotlivé měsíce. Následně byly sečteny hydrologická data z obou stanic, čímž bylo dosaženo reálné průtokové řady, která je vyobrazena v tabulce 15.

### Průměrné měsíční přítoky



Graf 2. Ukázka průměrných přítoků pro měsíc leden od roku 1956

Tabulka 14. Regresní rovnice pro jednotlivé měsíce

Měsíc	Regresní rovnice
Leden	$y = 0,1260x + 0,0263$
Únor	$y = 0,1591x + 0,2152$
Březen	$y = 0,1494x + 0,1775$
Duben	$y = 0,1092x + 0,1575$
Květen	$y = 0,1269x + 0,0920$
Červen	$y = 0,1325x + 0,0061$
Červenec	$y = 0,1409x + 0,0305$
Srpen	$y = 0,1234x + 0,0379$
Září	$y = 0,1818x + 0,1575$
Říjen	$y = 0,1681x + 0,1864$
Listopad	$y = 0,1254x + 0,0063$
Prosinec	$y = 0,1335x + 0,0343$

kde:

y hledaný měsíční přítok do nádrže [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

x známý měsíční přítok do nádrže [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Tabulka 15. Reálná průtoková řada  $Q_{m,real}$

Rok	Průměrné měsíční průtoky [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1935	3,38	21,22	16,25	12,25	9,78	7,12	0,94	1,03	0,56	4,12	4,67	3,79
1936	6,50	10,41	10,56	5,50	12,93	18,0	11,15	9,12	2,62	5,01	8,40	4,17
1937	3,14	23,77	28,55	14,25	5,29	1,71	4,65	3,03	16,1	7,12	5,99	5,56
1938	20,8	10,71	7,51	2,24	3,41	2,30	1,89	16,8	23,4	6,72	8,07	6,22
1939	18,7	24,93	21,43	12,69	20,03	29,5	12,86	15,2	15,3	18,3	24,5	42,01
1940	8,01	3,19	58,78	31,12	27,47	18,0	11,36	6,07	5,82	4,95	9,10	3,68
1941	6,76	17,51	84,18	67,64	21,39	26,8	17,76	10,1	6,82	13,9	26,3	12,09
1942	8,28	7,65	42,23	44,78	14,62	12,7	9,90	5,14	2,92	4,84	3,84	5,95
1943	3,51	8,80	4,76	11,04	3,38	4,13	4,12	2,68	1,91	2,15	1,57	1,75
1944	7,30	9,88	9,47	52,21	12,15	17,5	8,29	3,95	1,46	7,69	12,6	11,98
1945	4,91	45,45	24,76	11,81	7,77	3,38	1,87	1,53	1,81	4,47	5,64	5,92
1946	7,28	43,83	28,55	4,67	1,35	1,54	2,77	3,11	4,41	3,99	5,23	8,62
1947	4,26	3,52	71,20	22,80	4,01	2,15	1,95	0,77	0,55	1,04	1,96	11,55
1948	31,1	54,95	25,10	5,22	3,36	3,70	4,28	4,30	2,15	2,85	2,60	1,90
1949	5,64	4,88	5,44	5,82	16,54	10,1	6,42	7,28	7,86	2,73	4,29	6,23
1950	6,38	18,09	7,54	4,05	3,98	0,91	1,21	0,97	1,60	2,80	21,3	11,87
1951	11,2	20,64	12,58	5,79	25,44	7,25	4,29	4,99	2,71	3,18	4,84	4,78
1952	5,40	9,57	32,58	15,58	4,46	7,41	1,97	1,51	2,76	3,87	5,94	5,42
1953	8,75	18,56	9,34	3,65	2,36	14,6	10,09	3,73	1,80	2,97	2,03	2,13
1954	3,55	1,35	8,16	7,89	11,36	5,20	21,76	3,43	2,33	5,37	3,61	18,78
1955	14,7	11,95	22,81	25,33	6,40	4,12	7,94	15,3	9,17	5,44	4,13	6,67
1956	11,6	2,82	34,41	13,45	16,31	5,86	2,42	3,73	1,91	5,86	11,8	10,35
1957	6,74	18,70	12,46	11,60	6,52	2,85	6,77	4,10	3,72	3,56	3,96	5,84
1958	10,0	16,58	13,93	25,46	6,43	3,31	5,14	3,40	3,07	7,25	5,67	9,70
1959	10,0	5,56	14,53	5,00	3,79	7,20	10,39	10,6	3,11	2,78	2,76	6,75
1960	9,92	8,11	28,26	10,98	5,43	9,89	6,13	22,8	9,35	13,7	8,12	7,36
1961	4,30	26,88	11,45	9,93	7,40	22,6	5,74	3,61	2,13	3,78	5,32	7,79
1962	11,2	14,14	19,12	20,23	24,35	10,2	5,25	1,92	1,82	2,50	5,05	3,71
1963	3,22	2,31	31,35	20,27	11,33	7,04	2,85	1,41	2,98	3,15	3,42	2,09
1964	1,47	3,09	14,29	12,09	4,68	6,50	2,90	3,03	3,55	8,09	6,25	5,65
1965	7,39	6,56	45,12	30,14	37,47	57,6	19,63	8,42	5,27	4,37	4,10	7,33
1966	5,39	20,31	10,47	12,23	6,47	4,99	11,49	13,5	15,3	6,65	5,75	16,35
1967	14,7	25,98	22,60	10,89	7,01	26,8	7,47	3,67	6,58	4,51	4,05	8,08
1968	18,4	14,96	15,71	8,87	5,01	3,25	2,04	6,06	5,28	8,00	7,10	5,43
1969	4,52	6,76	32,90	16,94	8,00	9,51	4,07	2,67	2,98	2,99	3,05	2,87
1970	2,66	8,89	32,99	26,58	6,28	4,87	2,32	4,32	2,53	4,98	8,57	6,14
1971	4,78	9,02	12,14	8,95	4,47	14,5	3,36	2,39	2,62	4,10	3,18	5,14
1972	3,88	11,56	9,96	17,09	23,71	7,57	11,80	3,12	4,06	3,55	3,39	3,14
1973	2,61	6,87	11,97	11,15	7,26	4,18	3,56	1,79	1,51	2,96	3,04	3,17
1974	11,8	9,63	5,43	2,14	3,03	6,70	11,59	4,19	2,23	4,49	5,29	27,13
1975	16,8	8,74	7,35	7,73	6,18	6,50	15,83	3,22	3,10	3,91	3,46	4,05
1976	39,0	12,11	9,53	7,20	4,32	3,46	2,75	2,70	2,65	4,73	12,9	12,27

1977	8.37	53.13	32.24	14.60	5.18	2.48	2.00	8.59	5.43	6.15	5.55	6.07
1978	5.71	5.14	19.60	8.47	6.18	4.09	4.28	2.06	2.05	3.47	2.52	3.90
1979	3.13	8.53	25.06	25.85	7.78	6.22	3.45	5.51	6.09	5.57	9.16	19.18
1980	8.89	19.93	11.05	29.11	15.15	6.33	8.10	5.11	3.42	6.69	5.27	7.31
1981	8.66	13.56	17.42	6.02	4.72	2.37	4.68	2.05	4.17	16.6	13.2	13.86
1982	23.2	21.27	22.69	13.21	5.88	3.67	4.66	5.00	3.13	5.73	3.56	6.68
1983	16.7	12.18	21.98	23.27	9.39	9.97	4.38	2.56	2.13	3.37	2.84	3.93
1984	3.59	5.10	7.43	13.75	9.98	4.42	4.51	3.67	6.13	5.98	4.69	3.99
1985	2.82	17.60	27.90	14.88	23.41	12.8	8.45	26.0	6.27	4.87	3.89	21.00
1986	22.0	8.19	24.16	12.41	8.50	13.9	10.05	8.24	4.51	5.05	4.05	9.30
1987	19.8	31.82	44.69	35.94	25.74	29.1	21.97	9.65	8.18	6.67	5.97	14.67
1988	8.93	9.95	48.40	23.84	6.83	8.49	4.04	3.30	3.45	4.12	3.82	13.11
1989	10.4	8.44	7.06	5.45	11.42	6.69	7.19	4.80	3.90	4.11	2.88	3.52
1990	2.40	5.61	10.98	7.88	5.17	3.24	2.22	0.96	1.67	2.93	3.35	3.29
1991	4.52	2.32	4.39	5.73	11.69	6.21	2.96	6.38	1.60	2.55	3.11	7.39
1992	12.1	11.73	12.38	8.57	3.23	2.97	3.32	1.55	1.66	3.79	4.98	6.60
1993	5.64	4.48	19.44	7.94	3.12	3.07	2.73	1.47	2.24	3.90	3.39	14.14
1994	10.4	8.42	8.25	14.41	5.59	2.65	2.67	1.24	1.74	2.41	1.92	2.55
1995	5.42	7.92	8.80	10.59	7.60	5.94	2.42	1.83	8.76	6.41	11.1	13.15
1996	10.0	5.13	21.24	53.96	29.40	9.19	5.86	5.31	5.02	10.1	8.87	6.40
1997	4.95	19.61	21.81	20.83	11.00	4.25	20.15	7.81	3.93	4.81	3.92	13.05
1998	7.03	6.08	7.69	6.09	4.01	5.03	4.02	2.65	3.95	5.96	11.5	7.95
1999	6.26	14.11	29.99	8.03	4.97	4.01	8.16	2.41	2.85	3.36	3.11	2.52
2000	6.33	24.40	30.06	16.45	3.70	2.05	2.12	7.67	2.95	5.11	3.70	3.77
2001	5.92	13.25	16.52	18.50	7.53	3.45	4.77	3.49	6.48	5.36	4.47	6.51
2002	16.9	18.15	20.87	9.33	3.40	5.84	5.06	57.6	9.90	21.0	28.7	24.53
2003	36.0	9.37	14.52	6.92	6.53	3.46	2.25	1.66	1.80	4.51	2.96	3.30
2004	11.7	32.18	22.09	26.21	9.95	12.1	4.08	2.16	2.89	4.19	7.75	4.95
2005	7.44	13.89	33.18	14.89	7.80	4.73	8.23	9.70	5.22	5.67	4.06	4.20
2006	3.80	4.24	52.03	55.56	14.33	23.9	24.81	20.0	4.44	4.83	4.44	3.18
2007	5.30	13.72	20.07	8.39	4.19	2.40	1.72	1.86	9.91	5.97	17.5	14.96
2008	14.7	13.06	18.13	8.39	4.81	2.88	4.13	4.83	2.98	3.81	5.25	5.81
2009	3.91	7.19	57.42	16.05	4.50	16.9	32.79	11.0	4.84	6.23	7.49	7.98
2010	8.78	7.48	41.88	24.15	13.23	20.5	9.23	25.1	13.9	12.5	6.73	11.69
2011	20.5	10.77	12.38	7.99	5.05	5.07	3.61	3.37	4.01	4.72	2.88	2.86
2012	12.2	13.52	12.04	6.19	3.50	7.85	3.23	3.46	3.50	4.05	3.76	7.62
2013	21.8	24.47	21.47	18.98	19.61	35.7	7.40	3.21	3.55	4.60	3.60	3.62
2014	4.84	5.12	4.35	2.70	7.56	3.88	3.29	4.53	15.6	10.9	8.85	10.49
2015	23.2	10.46	9.16	7.67	4.68	2.70	1.38	1.57	1.50	4.85	5.53	12.23

## 4.5 Generátor umělých průtokových řad LRMsoft

Program LRMsoft slouží ke generování umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků. Metoda výpočtu vychází z lineárního regresního modelu s možností zadání proměnlivé délky Markovova řetězce o délce 1-12. Výsledkem výpočtu jsou umělé průtokové řady. K bakalářské práci byly vygenerovány hodnoty umělé průtokové řady o

velikosti 10 000 let. Vyhodnocení úspěšnosti generátoru je provedeno pomocí funkce pravděpodobnosti překročení, výpočtu statistických charakteristik a autokorelační funkce. [7]

Jako vstupním podkladem programu LRMsoft byla zadána reálná průtoková řada  $Q_{m,real}$  tabulka 15, která byla umístěna v adresáři. Dále v adresáři zadání vstupních hodnot bylo vyplněno počet roků reálné průtokové řady, v našem případě 81 let a počet roků umělé průtokové řady  $Q_{m,umělá}$ . Výpočet v bakalářské práci byl proveden pro délku Markovova řetězce 1-12.

Výstupy z programu LRMsoft obsahují statistické charakteristiky reálné a umělé průtokové řady, výpočet teoretické a empirické funkce pravděpodobnosti překročení a výsledné umělé průtokové řady. Díky porovnání statistických charakteristik pro jednotlivé Markovova řetězce a proložení čar pravděpodobnosti překročení umělé průtokové řady a reálné průtokové řady byl vyhodnocen nejpřesnější generátor. Ze statistických charakteristik reálné průtokové řady nejvíce odpovídá z umělé průtokové řady a délce 10 000 let délka Markovova řetězce 1.

Kvůli extrémům, které by mohly nastat a ovlivnit vodnost, byla provedena úprava umělé průtokové řady na ořezání nejvyšších hodnot. Provedení úpravy umělé průtokové řady je rozepsáno v kapitole 4.5.2. Pro reálnou průtokovou řadu, umělou průtokovou řadu i upravenou umělou průtokovou řadu byly jednotlivě vyhodnoceny statistické charakteristiky uvedené v následujících tabulkách. Díky dostatečně dlouhé řadě pozorovaných průtoků byla zkonstruovaná čára překročení ročních průtoků. Výpočet byl proveden podle vztahu Čegodajeva (13) a jednotlivé umělé průtokové řady byly porovnány s reálnou průtokovou řadou.

#### **4.5.1 Výstupy z generátoru**

##### **Empirická čára překročení**

Je to jedna z nejdůležitějších čar používaná v hydrologii. Z empirické čáry lze odečíst kolikrát nebo po jakou dobu byla daná hodnota znaku za určité období pozorování dosažena nebo překročena. [5]

##### **Teoretická čára překročení**

Teoretickou čarou překročení vyrovnáváme empirickou čáru překročení v její střední části a lze ji extrapolovat do oblasti extrémních hodnot, které se pro krátkost doby pozorování neobjevily a kterých potřebujeme dosáhnout. [5]

### Statistické charakteristiky reálné průtokové řady

Reálná průtoková řada  $Q_{m,real}$  byla poskytnuta ČHMÚ v Brně a obsahuje naměřené hodnoty z období let 1935–2015. V programu LRMsoft byly vygenerovány jednotlivé statistické charakteristiky pro jednotlivé měsíce, které jsou zobrazeny v tabulce 16.

Tabulka 16. Statistické charakteristiky reálné průtokové řady

<i>Měsíc</i>	$\mu(x)$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$D(x)$ [ $m^6 \cdot s^{-1}$ ]	$\sigma(x)$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Cv(x)$ [-]	$Cs(x)$ [-]	$E(x)$ [-]
<b>Leden</b>	9.890	56.886	7.542	0.762	1.735	6.083
<b>Únor</b>	13.977	116.121	10.775	0.770	1.872	6.842
<b>Březen</b>	21.835	240.600	15.511	0.710	1.618	5.952
<b>Duben</b>	15.748	161.280	12.699	0.806	1.994	7.142
<b>Květen</b>	9.503	53.780	7.333	0.771	1.649	5.198
<b>Červen</b>	9.075	85.574	9.250	1.019	2.586	11.429
<b>Červenec</b>	6.809	36.066	6.005	0.881	2.005	7.233
<b>Srpen</b>	6.305	62.258	7.890	1.251	3.992	23.453
<b>Září</b>	4.766	16.771	4.095	0.859	2.226	8.440
<b>Říjen</b>	5.593	12.351	3.514	0.628	2.405	9.329
<b>Listopad</b>	6.470	27.878	5.279	0.816	2.494	9.339
<b>Prosinec</b>	8.307	41.414	6.435	0.774	2.443	11.324

### Statistické charakteristiky umělé průtokové řady

Umělá průtoková řada  $Q_{m,umělá}$  byla vygenerovaná z programu LRMsoft o délce 10 000 let. V následující tabulce 17 jsou znázorněny statistické charakteristiky pro nejlépe odpovídajícím statistickým charakteristikám reálné průtokové řady.

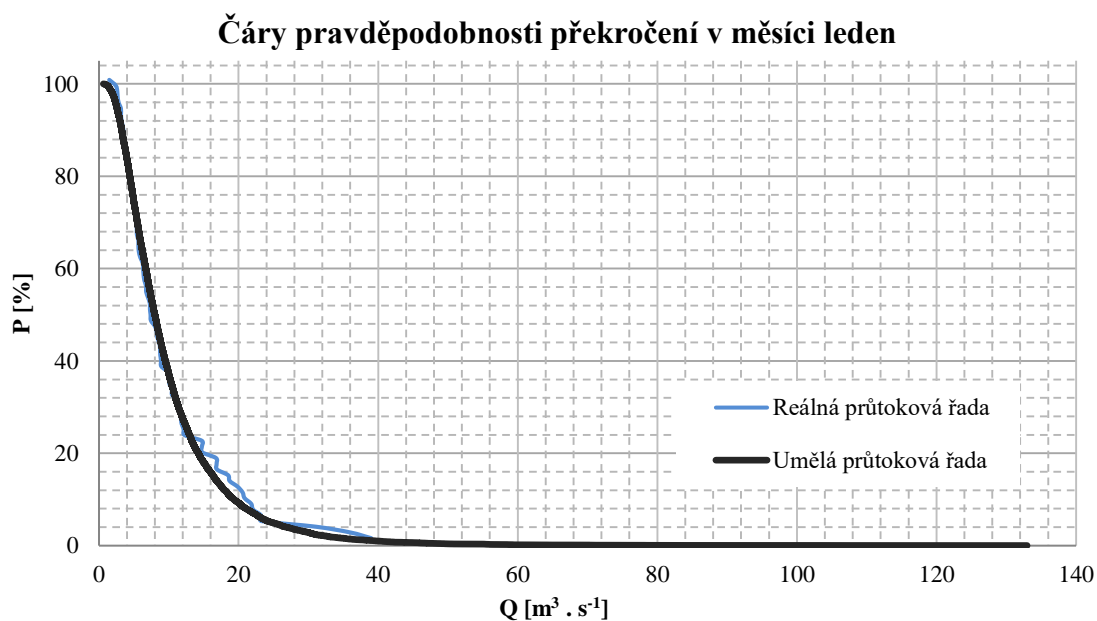
Tabulka 17. Statistické charakteristiky umělé průtokové řady

<i>Měsíc</i>	$\mu(x)$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$D(x)$ [ $m^6 \cdot s^{-1}$ ]	$\sigma(x)$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Cv(x)$ [-]	$Cs(x)$ [-]	$E(x)$ [-]
<b>Leden</b>	10.125	65.167	8.072	0.797	3.159	24.734
<b>Únor</b>	14.416	152.506	12.349	0.856	3.320	25.572
<b>Březen</b>	22.209	284.059	16.854	0.758	2.511	14.310
<b>Duben</b>	15.780	167.393	12.938	0.819	3.301	24.941
<b>Květen</b>	9.428	50.824	7.129	0.756	2.512	13.966
<b>Červen</b>	8.762	67.599	8.221	0.938	3.079	18.868
<b>Červenec</b>	6.605	30.928	5.561	0.841	2.717	16.010
<b>Srpen</b>	5.998	34.910	5.908	0.984	3.205	20.600

<b>Září</b>	4.710	14.360	3.789	0.804	2.800	18.113
<b>Říjen</b>	5.600	8.617	2.935	0.524	1.535	7.128
<b>Listopad</b>	6.354	17.256	4.154	0.653	2.091	11.479
<b>Prosinec</b>	8.408	39.757	6.305	0.749	2.708	17.099

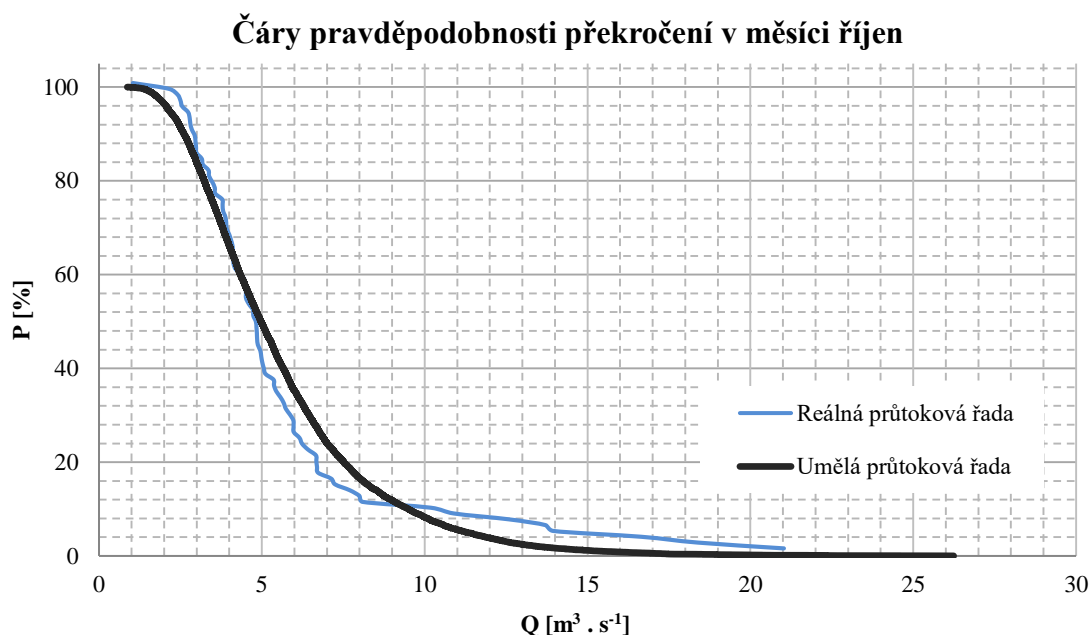
### Čáry pravděpodobnosti překročení

Následující grafy jsou ukázkou sestavení čar pravděpodobnosti překročení umělé průtokové řady  $Q_{m,umělá}$  v porovnání s reálnou průtokovou řadou  $Q_{m,real}$  v lednu a říjnu.



**Graf 3.** Čáry pravděpodobnosti překročení  $Q_{m,real}$  a  $Q_{m,umělá}$  pro měsíc leden





*Graf 4. Čáry pravděpodobnosti překročení  $Q_{m,real}$  a  $Q_{m,umělá}$  pro měsíc říjen*

#### 4.5.2 Výstupy ořezané umělé průtokové řady

Kvůli extrémům, které by mohly nastat a ovlivnit vodnost, byla provedena úprava umělé průtokové řady  $Q_{m,umělá}$  na ořezání nejvyšších hodnot. Úprava umělé průtokové řady byla provedena zvětšením maximálního průtoku  $Q_{m,real,max}$  o 15 % pro každý měsíc. Na zvětšené hodnoty o 15 % byla umělá průtoková řada ořezaná a bylo dosaženo upravené umělé průtokové řadě  $Q_{ORI}$ . Z upravené umělé průtokové řady byly vyhodnoceny statistické charakteristiky, které jsou znázorněny v následujících tabulce. V grafech jsou ukázky zkonstruovaných čar pravděpodobnosti překročení reálné průtokové řady  $Q_{m,real}$  a upravené průtokové řady  $Q_{ORI}$ .

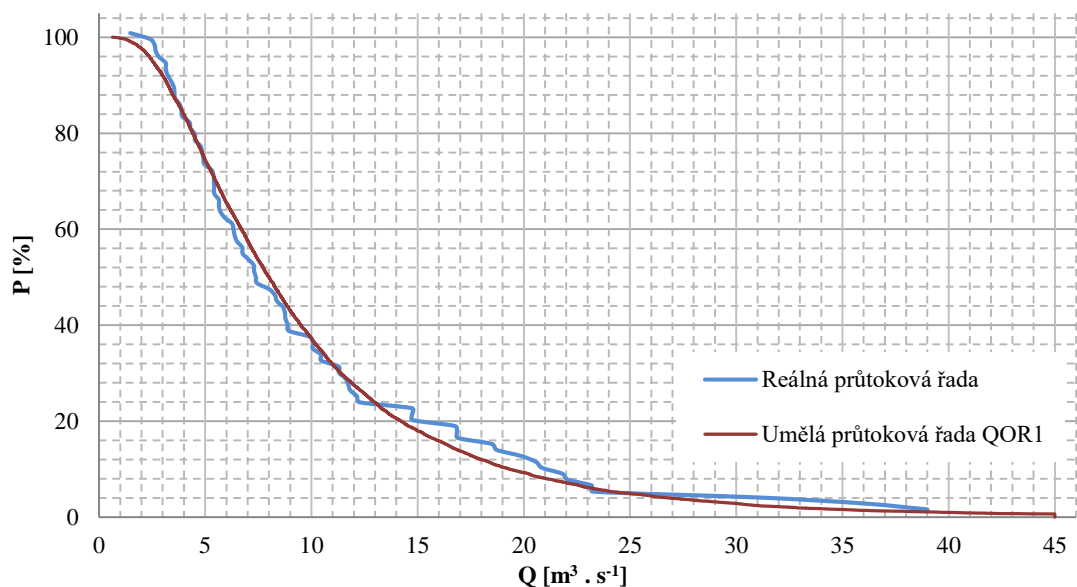
$$Q_{ORI} = Q_{m,real,max} \cdot 1,15 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

*Tabulka 18. Statistické charakteristiky umělé průtokové řady  $Q_{ORI}$*

<i>Měsíc</i>	$\mu(x)$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$D(x)$ [m <sup>6</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$\sigma(x)$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$Cv(x)$ [-]	$Cs(x)$ [-]	$E(x)$ [-]
<b>Leden</b>	10.032	55.254	7.432	0.740	1.907	4.673
<b>Únor</b>	14.227	123.832	11.127	0.782	1.913	4.452
<b>Březen</b>	22.074	257.098	16.033	0.726	1.899	4.593
<b>Duben</b>	15.647	143.257	11.968	0.764	2.120	6.007
<b>Květen</b>	9.377	46.391	6.810	0.726	1.952	5.038
<b>Červen</b>	8.738	64.419	8.025	0.918	2.697	10.744
<b>Červenec</b>	6.581	29.016	5.386	0.818	2.257	7.340

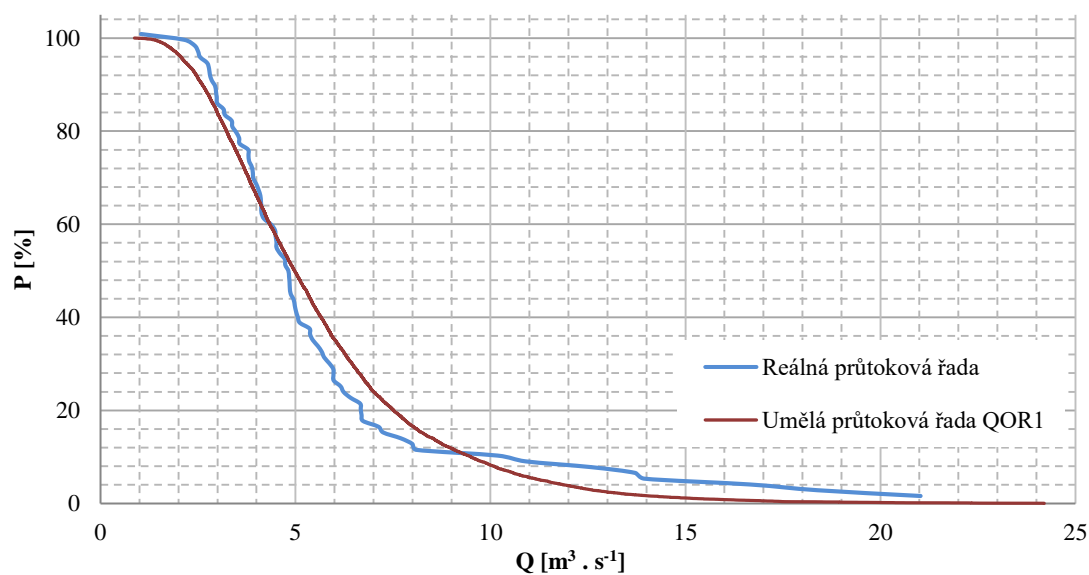
<b>Srpen</b>	6.581	34.656	5.886	0.894	3.118	15.999
<b>Září</b>	5.996	13.310	3.648	0.608	2.193	7.001
<b>Říjen</b>	4.692	8.593	2.931	0.624	1.515	3.634
<b>Listopad</b>	5.599	16.906	4.111	0.734	1.886	5.473
<b>Prosinec</b>	6.348	37.647	6.135	0.966	2.224	7.424

**Čáry pravděpodobnosti překročení v měsíci leden**



*Graf 5. Čáry pravděpodobnosti překročení  $Q_{m,real}$  a  $Q_{OR1}$  pro měsíc leden*

**Čáry pravděpodobnosti překročení v měsíci říjen**



*Graf 6. Čáry pravděpodobnosti překročení  $Q_{m,real}$  a  $Q_{OR1}$  pro měsíc říjen*

## 4.6 Výpočet

Analýza ztrát vody z nádrže výparem pro Úlohu č. 1 a Úlohu č. 2 byla provedena v programu UNCE RESERVOIR, který umožní provádět výpočet zásobního objemu nádrže a rovněž zavádět ztráty vody z nádrže [19]. Výpočet obou úloh byl proveden simulačním modelem bez uvažování ztrát, tak s uvažováním ztrát vody z nádrže pomocí opakované simulace pro jednotlivé výpary z vodní hladiny.

Jako podklad pro výpočet Úlohy č. 1 i Úlohy č. 2 slouží historická data v podobě reálné průtokové řady, ale také data vygenerovaná pomocí generátoru umělých průtokových řad o délce 10 000 let a dále ořezaná umělá průtoková řada. Dalšími vstupními daty do programu UNCE RESERVOIR jsou batygrafické křivky a výpar z vodní hladiny. Roční průměrná hodnota odpovídá hodnotě  $E_a = 750$  mm a byla odečtena z obrázku 1. Závěrečným vstupním údajem pro výpočet slouží průsak tělesem hráze. Výpočet byl proveden i pro výpary 600 mm, 650 mm, 700 mm, 800 mm, 850 mm, 900 mm. Jelikož dochází k průměrnému oteplování vzduchu v České republice, dochází i ke zvětšování výparu z vodních hladin. Proto do budoucna můžeme počítat spíše s variantou zvětšujícího se výparu. Hodnoty menší než odečtený výpar pro současný stav jsou spíše orientační a to z důvodu, že by nastal menší výpar. Ten by mohl být zapříčiněn například z důvodu poklesu průměrných teplot, což se do budoucna nepředpokládá.

Následně byly v programu prováděny výpočty pro různé kombinace výše zmíněných činitelů. Byl zvolen interval nalepšeného odtoku  $O_p$  na základě velikosti zásobního objemu nádrže Vranov. Dále dle zajištění minimálního průtoku v toku pod nádrží a dalších odběrů vody dle účelu vodního díla.

### Výpočet Úlohy č. 1

Při výpočtu Úlohy č. 1 reálné průtokové řady byl zvolen nalepšený odtok  $O_p$  v intervalu  $O_p \in \langle 2,0; 6,0 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a pro umělé průtokové řady byl nalepšený odtok v intervalu  $O_p \in \langle 2,0; 3,7 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Výpočet byl proveden bez uvažování ztrát i s uvažováním ztrát vody z nádrže pro výpar 600 mm, 650 mm, 700 mm, 750 mm, 800 mm, 850 mm a 900 mm.

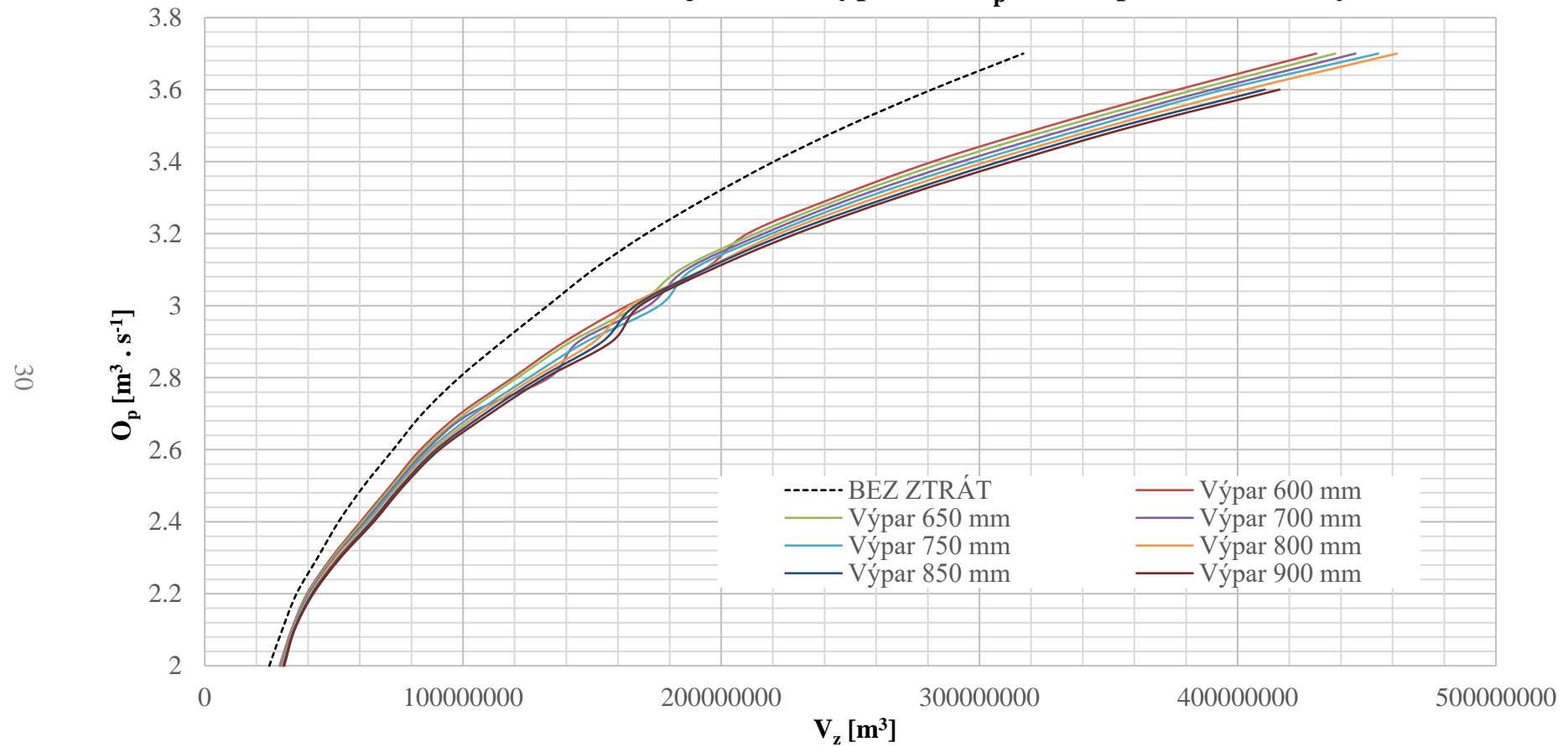
Nejprve byl proveden výpočet zásobního objemu bez ztrát a se ztrátami pro reálnou průtokovou řadu, umělou průtokovou řadu i ořezané umělé průtokové řady pro odečtený výpar z volné hladiny 750 mm. Dále byla provedena analýza pro zbylé již zmíněné výpary od 600 mm do 900 mm. Výsledky výpočtu Úlohy č. 1 jsou prezentovány nejprve formou tabulek a následně grafickým vykreslením vztahových křivek  $O_p$  a  $V_z$  pro zabezpečení  $P = 100 \%$ .

Tabulka 19. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při jednotlivých výparech

$O_p$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q_{m,real,bz}$ $V_z$ [ $m^3$ ]	$Q_{m,real}$ $V_z$ [ $m^3$ ]	$O_p$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q_{m,umělá,bz}$ $V_z$ [ $m^3$ ]	$Q_{m,umělá}$ $V_z$ [ $m^3$ ]	$Q_{OR1}$ $V_z$ [ $m^3$ ]
<b>Výpar 600 mm</b>						
2	9 786 230	10 876 963	2	24 995 522	28 985 564	28 985 564
2.5	17 263 320	18 77 1774	2.2	35 531 304	39 589 872	39 589 872
3	25 153 320	26 779 718	2.4	51 837 304	60 276 584	60 276 584
3.5	33 043 320	34 368 764	2.6	72 945 664	83 507 000	83 507 000
4	40 933 320	42 087 868	2.8	98 485 600	119 310 864	119 310 864
4.5	50 101 496	51 809 468	3	132 828 152	163 735 504	163 735 504
5	59 306 496	61 341 472	3.2	171 057 856	210 212 928	210 212 928
5.5	88 162 872	95 109 032	3.4	220 388 784	281 918 464	281 918 464
6	146 617 296	166 64 5792	3.6	281 570 400	376 899 552	376 899 552
<b>Výpar 650 mm</b>						
2	9 786 230	11 101 456	2	24 995 522	29 292 384	29 292 384
2.5	17 263 320	19 058 656	2.2	35 531 304	39 979 756	39 979 756
3	25 153 320	26 915 932	2.4	51 837 304	61 150 928	61 150 928
3.5	33 043 320	34 467 828	2.6	72 945 664	84 692 896	84 692 896
4	40 933 320	42 187 636	2.8	98 485 600	121 066 816	123 352 976
4.5	50 101 496	52 046 332	3	132 828 152	167 698 528	167 698 528
5	59 306 496	61 511 692	3.2	171 057 856	213 303 440	213 303 440
5.5	88 162 872	95 697 544	3.4	220 388 784	287 347 840	287 347 840
6	146 617 296	168 419 088	3.6	281 570 400	383 684 544	383 684 544
<b>Výpar 700 mm</b>						
2	9 786 230	11 059 429	2	24 995 522	29 596 284	29 596 284
2.5	17 263 320	19 024 920	2.2	35 531 304	40 378 628	40 378 628
3	25 153 320	27 052 422	2.4	51 837 304	62 010 048	62 010 048
3.5	33 043 320	34 565 300	2.6	72 945 664	85 896 424	85 896 424
4	40 933 320	42 287 768	2.8	98 485 600	133 378 808	123 378 808
4.5	50 101 496	52 096 280	3	132 828 152	171 761 120	171 761 120
5	59 306 496	61 682 284	3.2	171 057 856	216 398 704	216 398 704
5.5	88 162 872	96 289 912	3.4	220 388 784	293 096 064	293 096 064
6	146 617 296	170 201 440	3.6	281 570 400	390 064 256	390 064 256
<b>Výpar 750 mm</b>						
2	9 786 230	11 150 911	2	24 995 522	29 897 090	29 897 090
2.5	17 263 320	19 232 334	2.2	35 531 304	40 781 792	40 781 792
3	25 153 320	27 189 188	2.4	51 837 304	62 866 912	62 866 912
3.5	33 043 320	34 661 176	2.6	72 945 664	87 118 184	87 118 184
4	40 933 320	42 388 616	2.8	98 485 600	125 468 888	125 468 888
4.5	50 101 496	52 240 288	3	132 828 152	176 025 632	176 025 632
5	59 306 496	61 853 240	3.2	171 057 856	219 458 160	219 458 160
5.5	88 162 872	96 885 104	3.4	220 388 784	298 102 646	298 102 464
6	146 617 296	172 015 152	3.6	281 570 400	394 665 664	396 445 664
<b>Výpar 800 mm</b>						
2	9 786 230	11 242 557	2	24 995 522	30 194 858	30 194 858

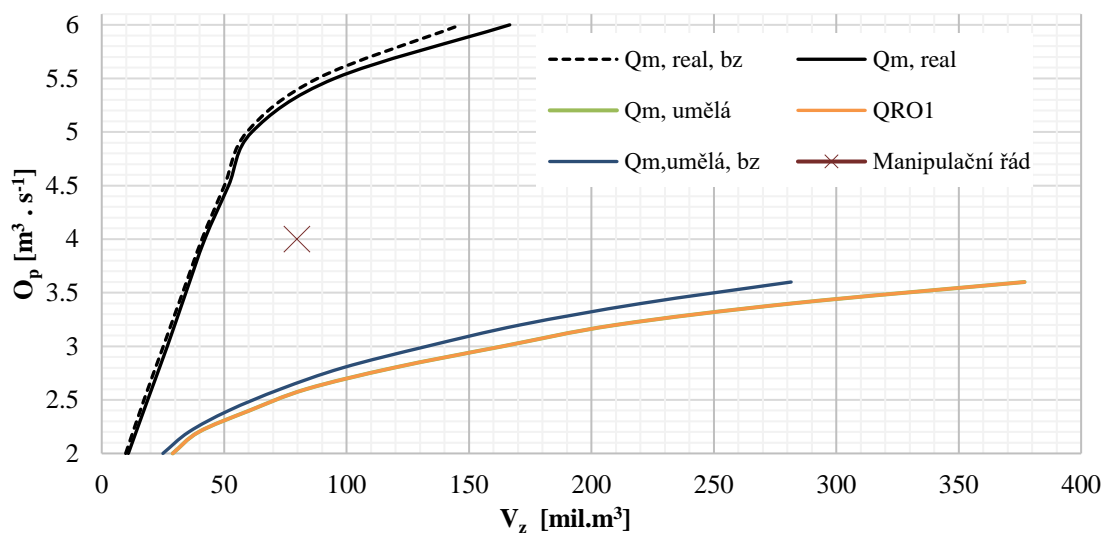
2.5	17 263 320	19 279 164	2.2	35 531 304	41 189 992	41 189 992
3	25 153 320	27 326 230	2.4	51 837 304	63 728 160	63 728 160
3.5	33 043 320	34 755 448	2.6	72 945 664	88 355 904	88 355 904
4	40 933 320	42 489 180	2.8	98 485 600	127 592 320	127 592 320
4.5	50 101 496	52 384 720	3	132 828 152	164 758 800	164 758 800
5	59 306 496	62 024 572	3.2	171 057 856	222 370 992	222 370 992
5.5	88 162 872	97 483 216	3.4	220 388 784	302 872 736	302 872 736
6	146 617 296	173 843 328	3.6	281 570 400	403 084 640	403 084 640
<b>Výpar 850 mm</b>						
2	9 786 230	11 343 317	2	24 995 522	30 489 618	30 489 618
2.5	17 263 320	19 406 702	2.2	35 531 304	41 602 320	41 602 320
3	25 153 320	27 463 552	2.4	51 837 304	64 591 296	64 591 296
3.5	33 043 320	34 848 120	2.6	72 945 664	89 613 328	89 613 328
4	40 933 320	42 590 484	2.8	98 485 600	129 754 816	129 754 816
4.5	50 101 496	52 529 576	3	132 828 152	166 684 000	166 684 000
5	59 306 496	62 196 272	3.2	171 057 856	225 582 304	225 582 304
5.5	88 162 872	98 087 536	3.4	220 388 784	307 880 608	307 880 608
6	146 617 296	175 701 280	3.6	281 570 400	410 500 288	410 500 288
<b>Výpar 900 mm</b>						
2	9 786 230	11 460 806	2	24 995 522	30 781 430	30 781 430
2.5	17 263 320	19 534 516	2.2	35 531 304	42 022 560	42 022 560
3	25 153 320	27 601 148	2.4	51 837 304	65 457 612	65 457 612
3.5	33 043 320	34 939 184	2.6	72 945 664	90 886 616	90 886 616
4	40 933 320	42 692 220	2.8	98 485 600	131 956 920	131 956 920
4.5	50 101 496	52 674 860	3	132 828 152	168 626 736	168 626 736
5	59 306 496	62 368 364	3.2	171 057 856	229 161 872	229 161 872
5.5	88 162 872	98 698 184	3.4	220 388 784	312 563 264	312 563 264
6	146 617 296	177 588 736	3.6	281 570 400	416 205 920	416 205 920
<b>Manipulační řád</b>	<b>O<sub>p</sub> [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]</b>		<b>V<sub>z</sub> [m<sup>3</sup>]</b>			
	4,0		79 668 000			

## Závislost zásobního objemu na výparu a $O_p$ umělé průtokové řady



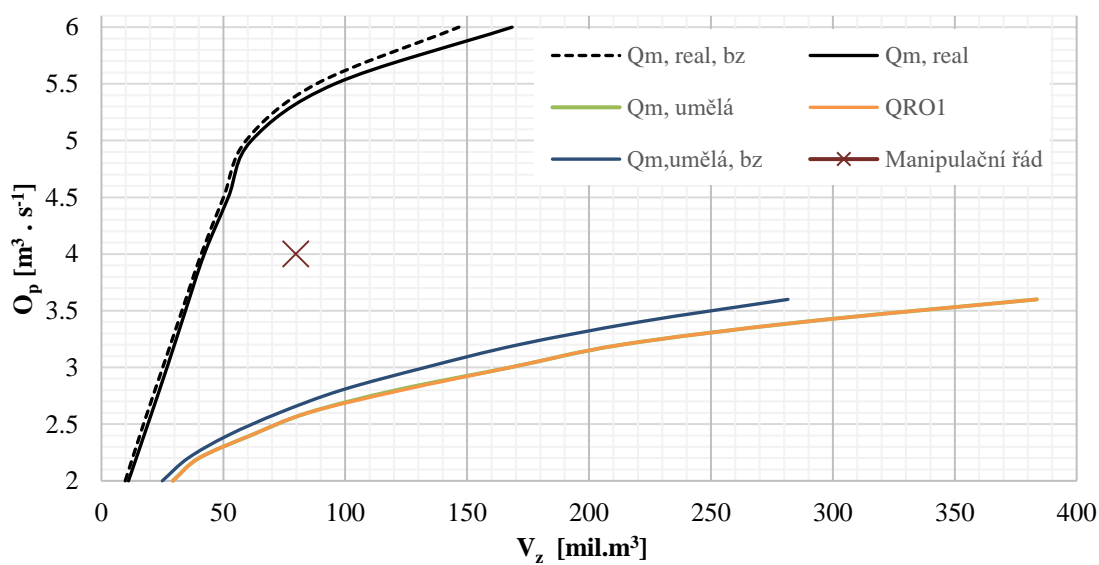
Graf 7. Ukázka narůstání zásobního objemu v závislosti na  $O_p$  pro umělou průtokovou řadu v závislosti na zvyšování výparu

### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 600 mm



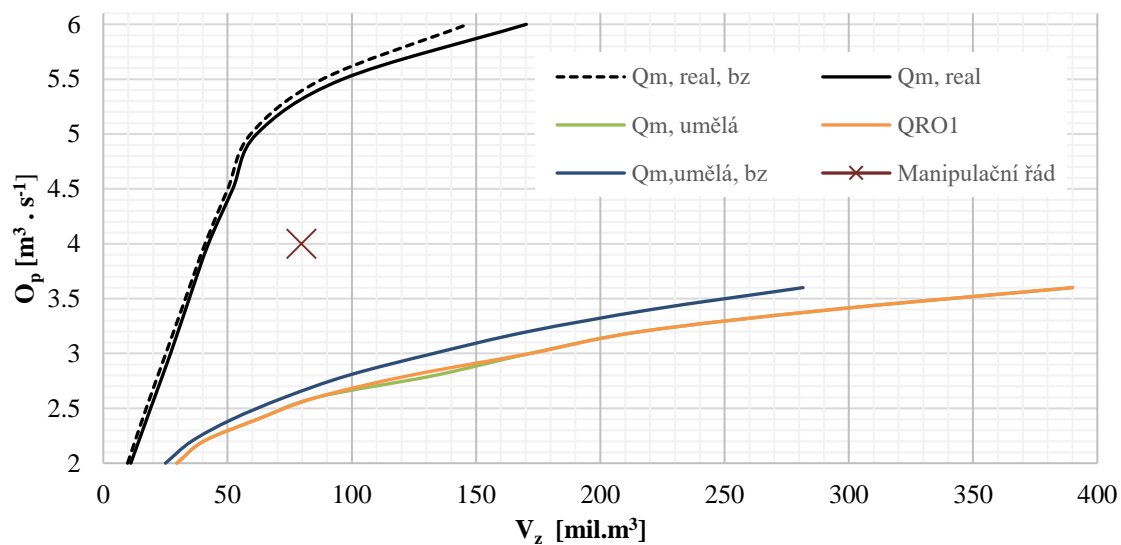
Graf 8. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 600 mm

### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 650 mm



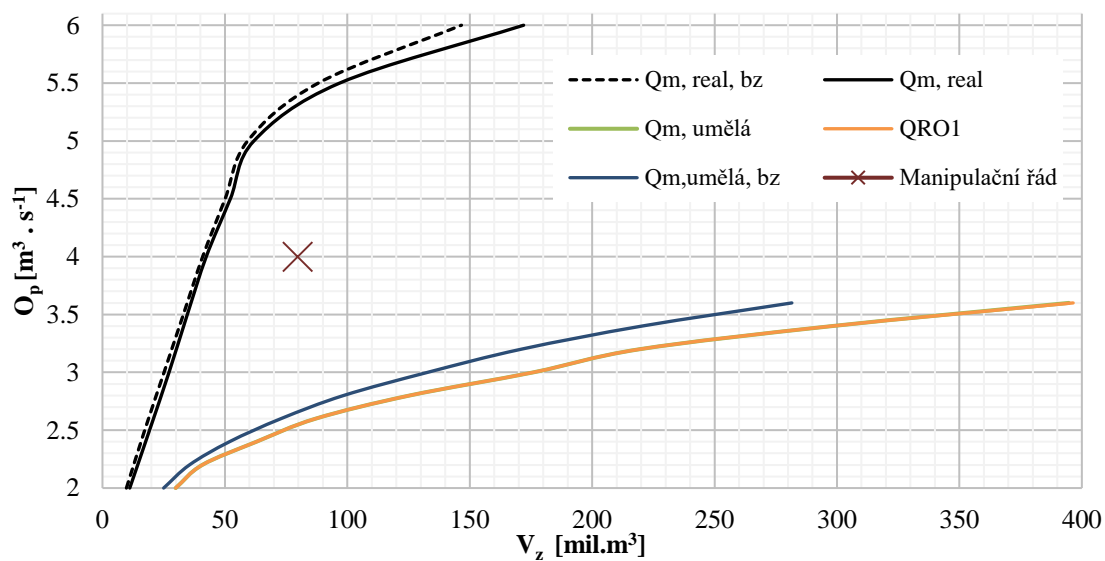
Graf 9. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 650 mm

### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad pro výpar 700 mm



Graf 10. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 700 mm

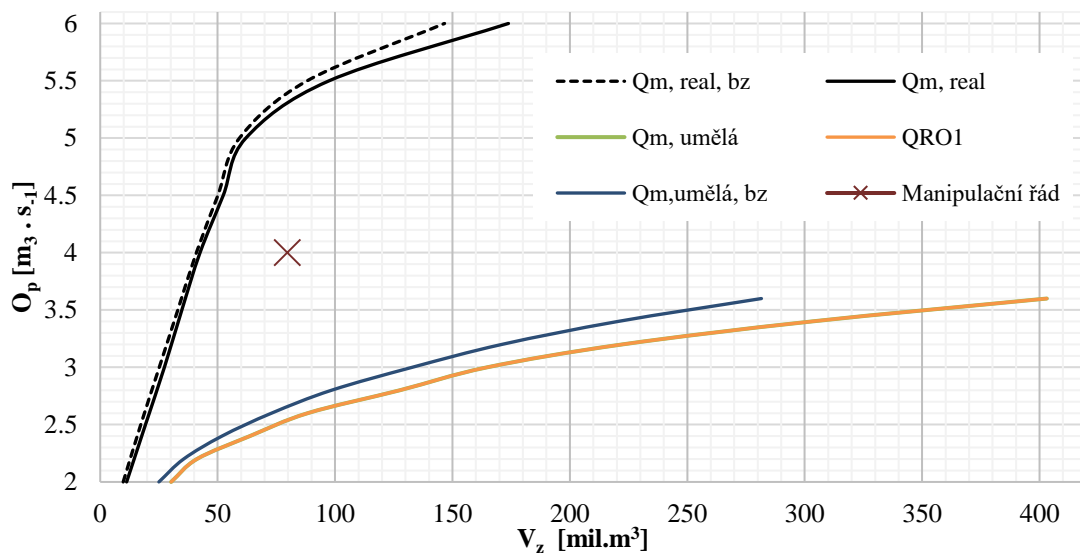
### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 750 mm



Graf 11. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 750 mm

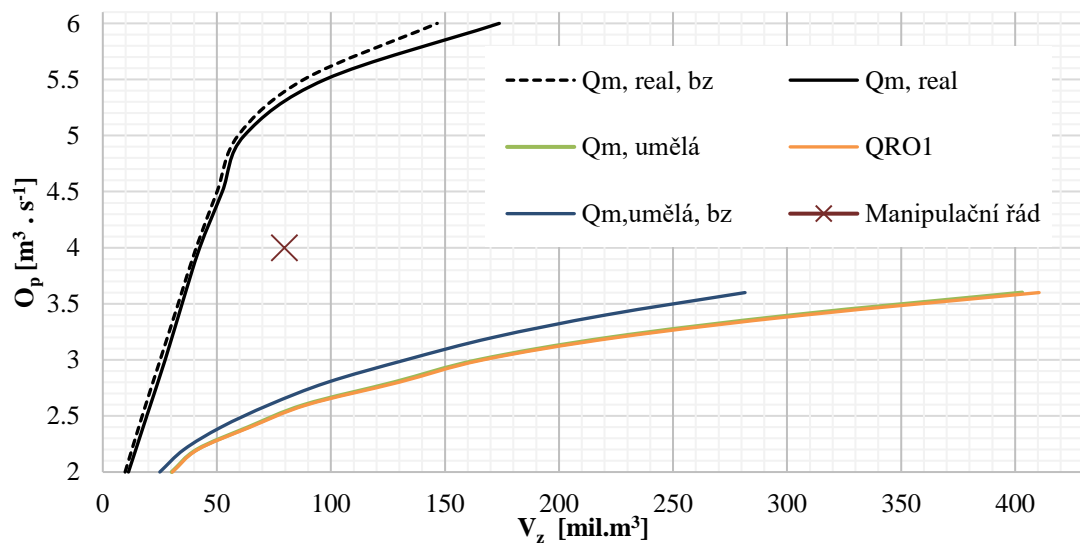


### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 800 mm



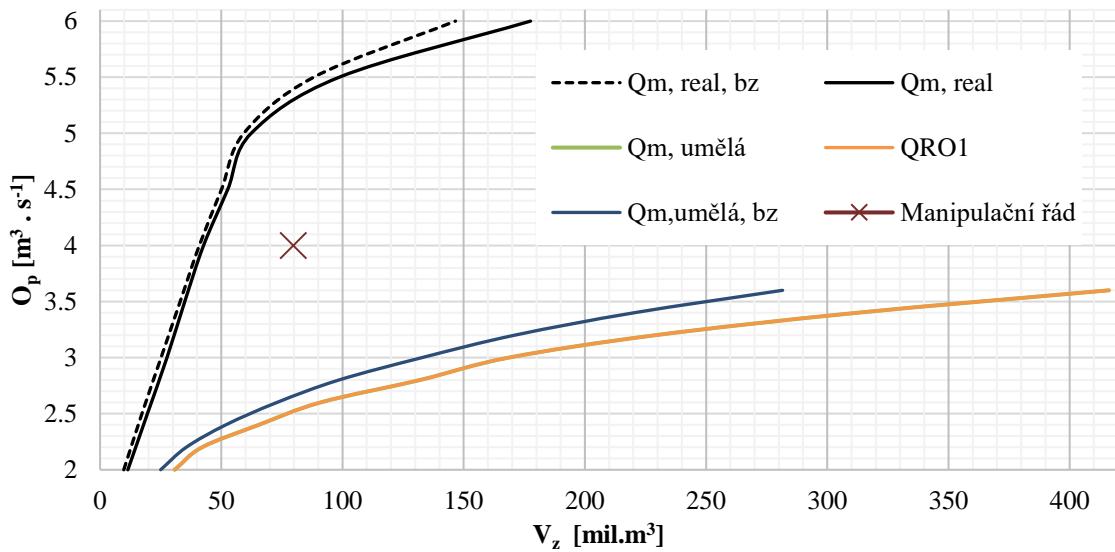
Graf 12. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 800 mm

### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 850 mm



Graf 13. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 850 mm

### Porovnání nárůstu objemu průtokových řad při výparu 900 mm



Graf 14. Závislost  $O_p$  na  $V_z$  při výparu 900 mm

#### Výpočet Úlohy č. 2

Při druhé analýze tentokrát Úlohy č. 2 byl proveden výpočet zabezpečení  $P_T$  nalepšeného odtoku vody z nádrže opět bez uvažování ztrát a s uvažováním ztrát. Nalepšený odtok  $O_p$  byl zvolen v dané analýze u reálné průtokové řady v intervalu  $O_p \in \langle 5,3; 6 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a pro umělé průtokové řady byl nalepšený odtok v intervalu  $O_p \in \langle 2,5; 5,2 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Výpočet byl proveden pro uvažovaný výpar 600 mm, 650 mm, 700 mm, 750 mm, 800 mm, 850 mm a 900 mm stejně jako v Úloze č. 1.

Podkladem pro výpočet Úlohy č. 2 slouží reálná průtoková řada, ale i data vygenerovaná pomocí generátoru umělých průtokových řad o délce 10 000 let a dále ořezaná umělá průtoková řada. Dalšími vstupními daty do programu UNCE RESERVOIR jsou batygrafické křivky a výpar z vodní hladiny. Objemy použité pro výpočet byl objem stálého nadržení, který odpovídá hodnotě  $31\,840\,000 \text{ m}^3$  a zásobní objem  $V_z = 79\,668\,000 \text{ m}^3$ .

Jako první byl proveden výpočet zabezpečení nalepšeného odtoku pro reálnou průtokovou řadu a umělé průtokové řady při výparu 750 mm. Následuje výpočet analýzy pro zbylé výpary bez uvažování ztrát i s uvažováním ztrát. Stejně jako v předchozí analýze jsou výsledná data prezentována v následující tabulce 20 a následně grafickým vykreslením vztahových křivek.

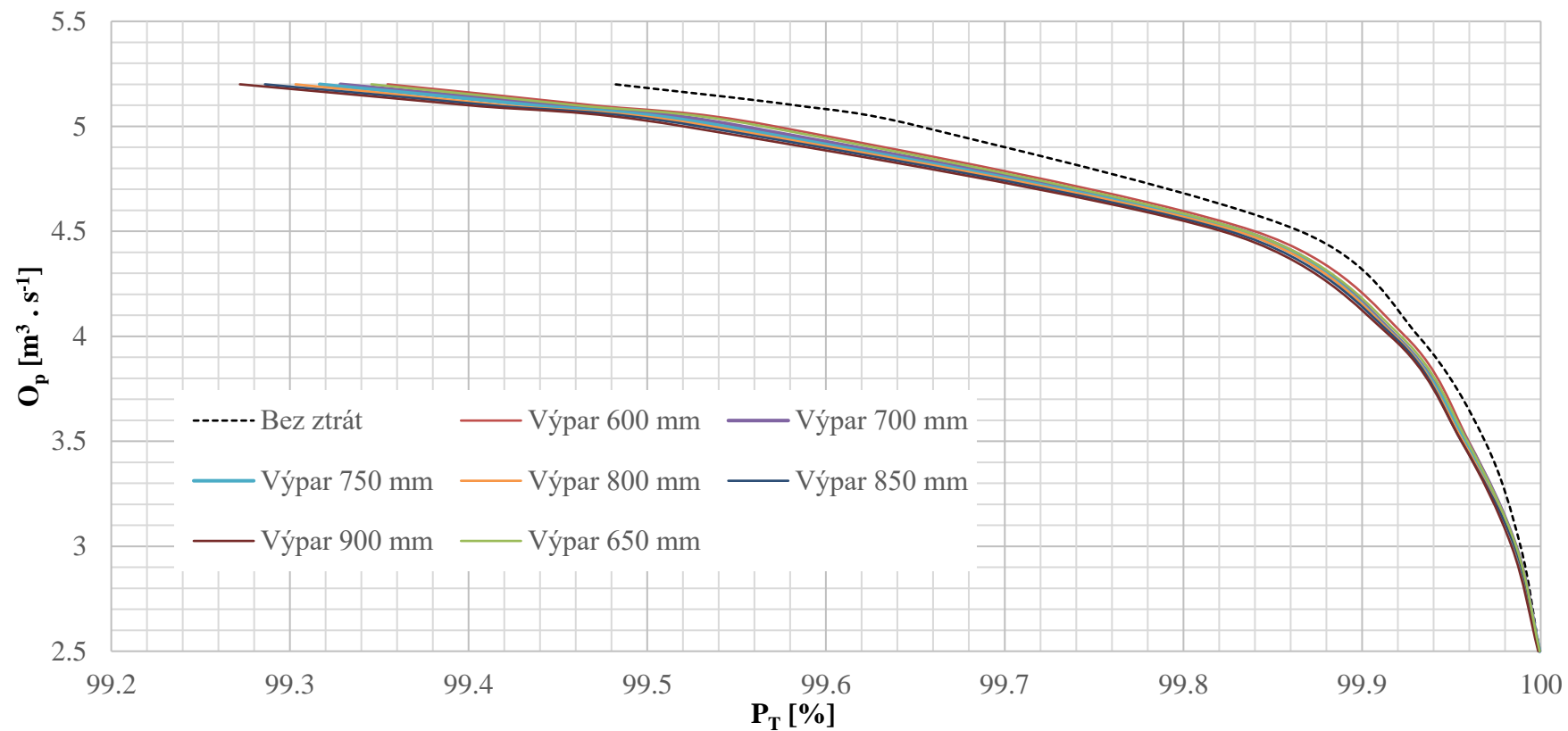
Tabulka 20. Vztah mezi  $O_p$  a zabezpečenosť  $P_T$  pro jednotlivé výpary

$O_p [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{m,real,bz}$ $P_T[\%]$	$Q_{m,real}$ $P_T[\%]$	$O_p [m^3 \cdot s^{-1}]$	$Q_{m,umělá,bz}$ $P_T[\%]$	$Q_{m,umělá}$ $P_T[\%]$	$Q_{OR1}$ $P_T[\%]$
<b>Výpar 600 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.7223	3	99.9887	99.9862	99.9862
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9597	99.9597
5.6	99.5167	99.4138	4	99.9316	99.9242	99.9242
5.7	99.5167	99.1053	4.5	99.8655	99.8399	99.8399
5.8	99.1053	98.6940	5	99.6522	99.5712	99.5712
5.9	98.6940	98.4883	5.1	99.5828	99.4696	99.4696
6	98.4883	98.1798	5.2	99.4819	99.3546	99.3546
<b>Výpar 650 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.7223	3	99.9887	99.9862	99.9862
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9589	99.9589
5.6	99.5167	99.4138	4	99.9316	99.9217	99.9217
5.7	99.5167	99.1053	4.5	99.8655	99.8349	99.8349
5.8	99.1053	98.6940	5	99.6522	99.5646	99.5646
5.9	98.6940	98.4883	5.1	99.5828	99.4605	99.4605
6	98.4883	98.1798	5.2	99.4819	99.3456	99.3456
<b>Výpar 700 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.7223	3	99.9887	99.9862	99.9862
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9589	99.9589
5.6	99.5167	99.3110	4	99.9316	99.9192	99.9192
5.7	99.5167	99.1053	4.5	99.8655	99.8341	99.8341
5.8	99.1053	98.6940	5	99.6522	99.5530	99.5530
5.9	98.6940	98.4883	5.1	99.5828	99.4505	99.4505
6	98.4883	98.1798	5.2	99.4819	99.3282	99.3282
<b>Výpar 750 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.7223	3	99.9887	99.9854	99.9854
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9581	99.9581
5.6	99.5167	99.3110	4	99.9316	99.9184	99.9184
5.7	99.5167	99.1053	4.5	99.8655	99.8316	99.8316
5.8	99.1053	98.5911	5	99.6522	99.5431	99.5431
5.9	98.6940	98.4883	5.1	99.5828	99.4365	99.4365
6	98.4883	98.1798	5.2	99.4819	99.3166	99.3166
<b>Výpar 800 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.6195	3	99.9887	99.9854	99.9854
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9564	99.9564
5.6	99.5167	99.2081	4	99.9316	99.9184	99.9184

5.7	99.5167	98.8996	4.5	99.8655	99.8300	99.8300
5.8	99.1053	98.5911	5	99.6522	99.5357	99.5357
5.9	98.6940	98.4883	5.1	99.5828	99.4200	99.4200
6	98.4883	98.1798	5.2	99.4819	99.3034	99.3034
<b>Výpar 850 mm</b>						
5.3	99.9280	99.8252	2.5	99.9994	99.9994	99.9994
5.4	99.8252	99.6195	3	99.9887	99.9854	99.9854
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9556	99.9556
5.6	99.5167	99.2081	4	99.9316	99.9176	99.9176
5.7	99.5167	98.8996	4.5	99.8655	99.8258	99.8258
5.8	99.1053	98.5911	5	99.6522	99.5291	99.5291
5.9	98.6940	98.2826	5.1	99.5828	99.4125	99.4125
6	98.4883	98.0769	5.2	99.4819	99.2860	99.2860
<b>Výpar 900 mm</b>						
5.3	99.9280	99.7223	2.5	99.9994	99.9986	99.9986
5.4	99.8252	99.6195	3	99.9887	99.9837	99.9837
5.5	99.7223	99.5167	3.5	99.9688	99.9556	99.9556
5.6	99.5167	99.2081	4	99.9316	99.9159	99.9159
5.7	99.5167	98.8996	4.5	99.8655	99.8217	99.8217
5.8	99.1053	98.5911	5	99.6522	99.5200	99.5200
5.9	98.6940	98.1798	5.1	99.5828	99.4001	99.4001
6	98.4883	98.0769	5.2	99.4819	99.2720	99.2720

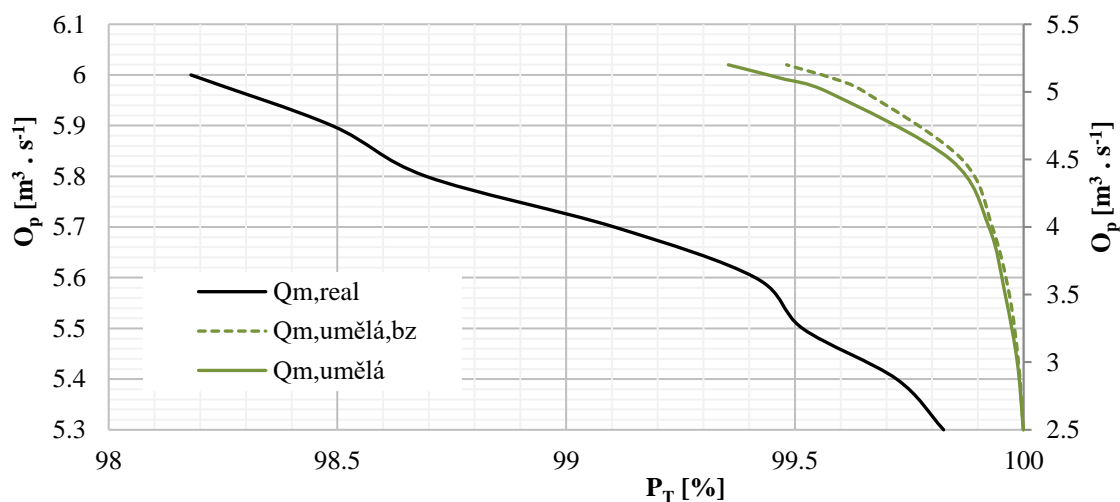
### Vztah mezi $O_p$ a zabezpečení $P_T$ v závislosti na jednotlivých výparech umělé průtokové řady

37



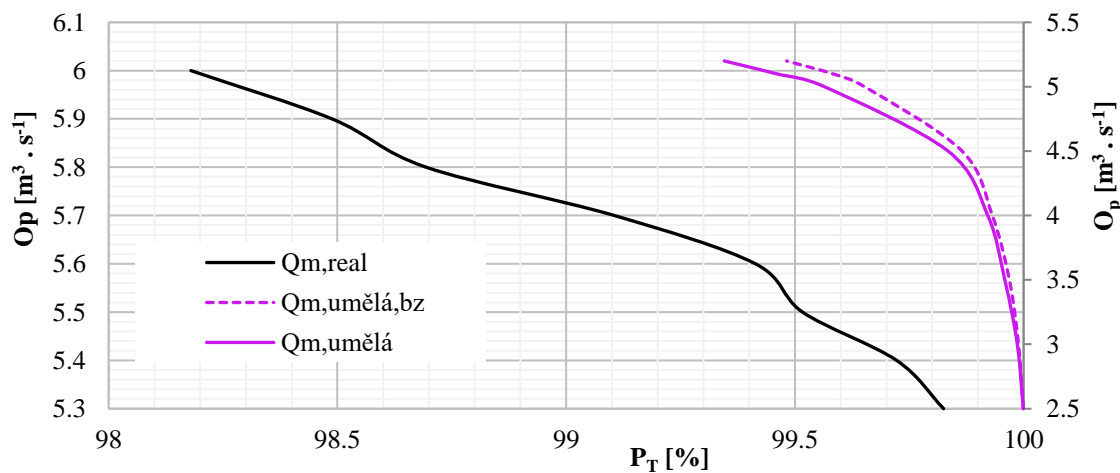
Graf 15. Vztah mezi nalepšeným odtokem  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  umělé průtokové řady s uplatněním závislosti na jednotlivých výparech

### Vztah $O_p$ a zabezpečení $P_T$ při výparu 600 mm



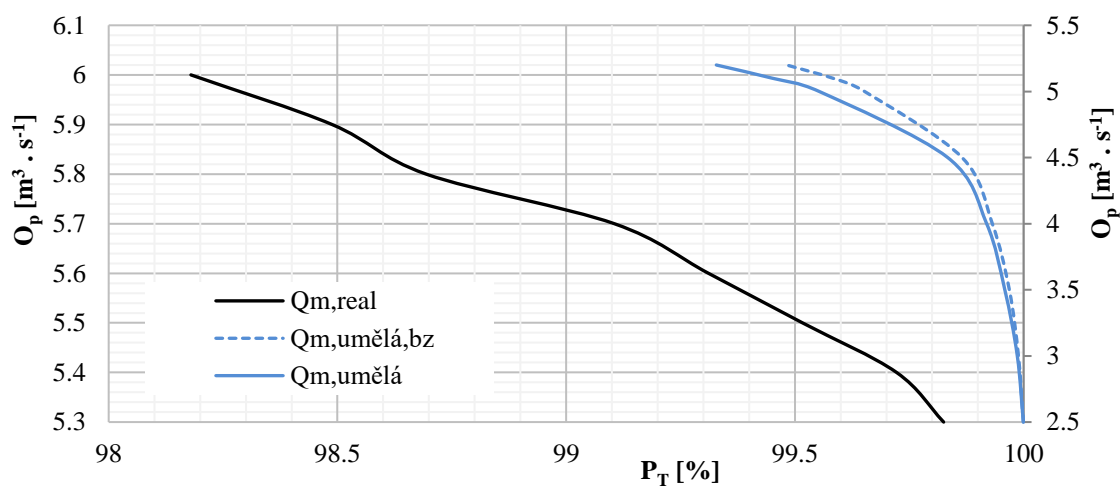
**Graf 16.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 600 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže

### Vztah $O_p$ a zabezpečení $P_T$ při výparu 650 mm



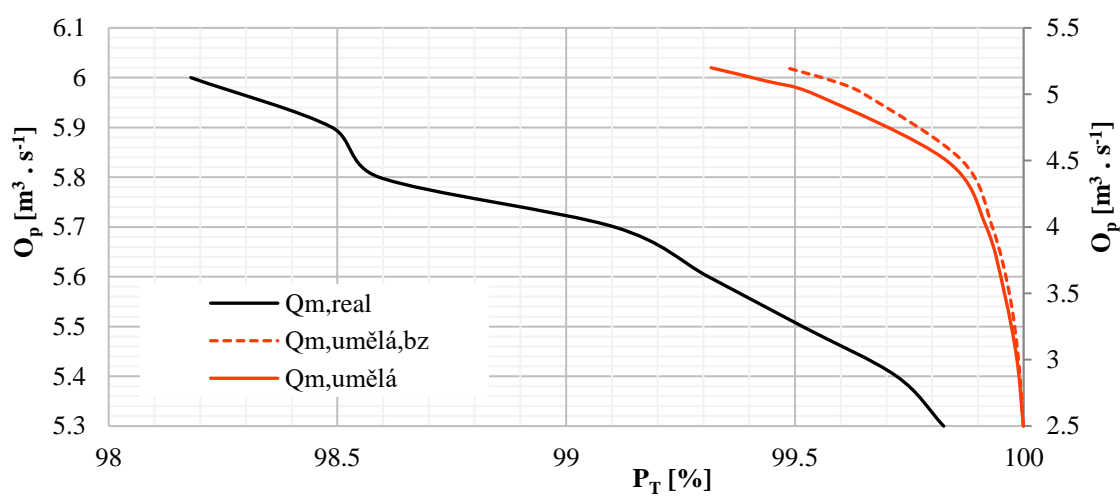
**Graf 17.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 650 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže

### Vztah $O_p$ a zabezpečení $P_T$ při výparu 700 mm

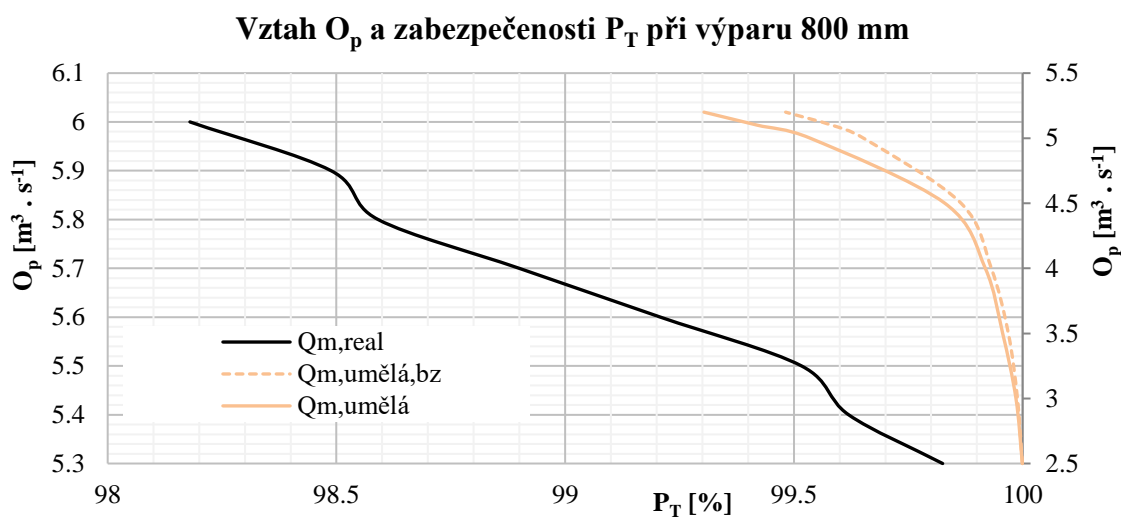


**Graf 18.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 700 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže

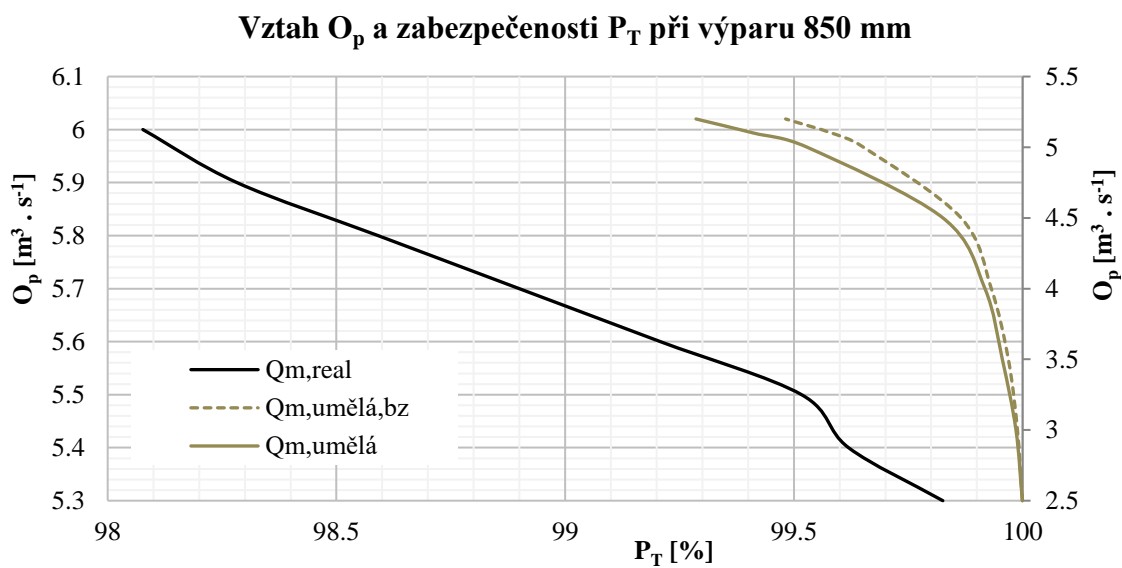
### Vztah $O_p$ a zabezpečení $P_T$ při výparu 750 mm



**Graf 19.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 750 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže



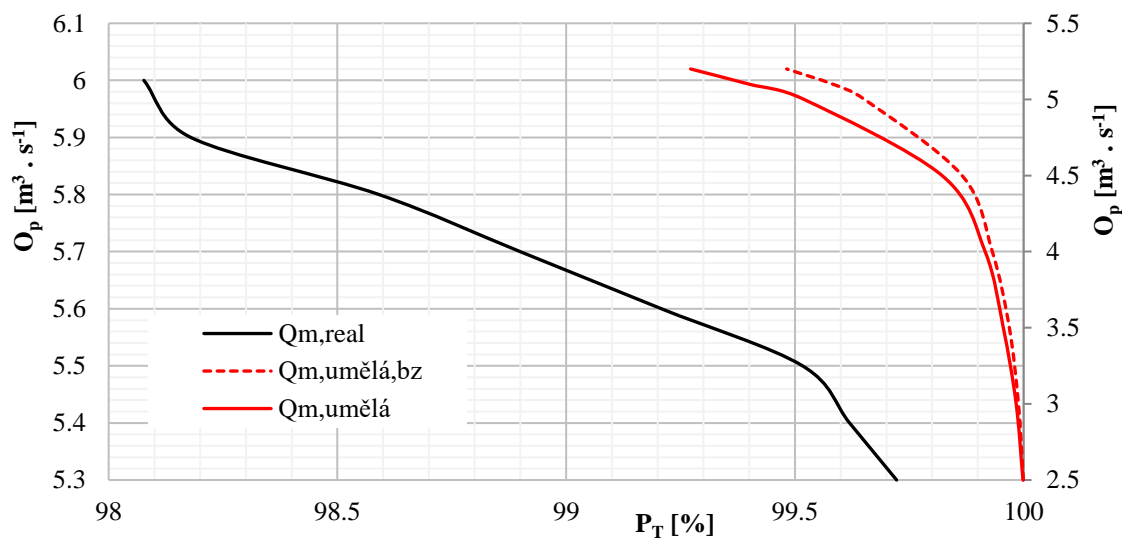
**Graf 20.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 800 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže



**Graf 21.** Vztah  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  při výparu 850 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže



### Vztah $O_p$ a zabezpečnosti $P_T$ při výparu 900 mm



**Graf 22.** Vztah  $O_p$  a zabezpečnosti  $P_T$  při výparu 900 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže

## 5 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

### Generátor LRMsoft

V generátoru byla vygenerovaná umělá průtoková řada průměrných měsíčních průtoků o délce 10 000 let na základě nejpřesněji vyhodnocených statistických charakteristik reálné průtokové řady. Nejvíce odpovídající umělá průtoková řada byla pro Markovův řetězec 1. Kvůli extrémům, které by mohly nastat a ovlivnit vodnost, bylo provedeno ořezání umělé průtokové řady na  $Q_{ORI}$ . V kapitole 4.5 jsou uvedeny tabulky s vyhodnocením statistických charakteristik a grafy představující čáry pravděpodobnosti překročení průměrných měsíčních průtoků porovnané s reálnou průtokovou řadou.

Z pozorování plyne, že při vyšších směrodatných odchylkách je vyšší disperze i střední hodnota. Naopak při nižších směrodatných odchylkách klesá hodnota disperze i střední hodnoty. Z toho usuzujeme, že průběh mezi jednotlivými statistickými charakteristikami je obdobný. Při dosažení maximální směrodatné odchylky je dosaženo maxima u disperze i střední hodnoty. Stejně tak při dosažení minimální směrodatné odchylky je dosaženo minima disperze i střední hodnoty. Maximální hodnoty byly dosaženy při maximálních průtocích.

Maximální hodnoty směrodatné odchylky, střední hodnoty i disperze byly dosaženy v březnu, a to díky nejvyšším dosaženým průtokům. Minimální hodnoty směrodatné odchylky u průtokových řad  $Q_{m,real}$  a  $Q_{m,umělá}$  byly dosaženy v měsíci září. U upravené umělé průtokové řady  $Q_{ORI}$  byla minima dosažena v říjnu. Disperze a střední hodnota dosáhla nejnižších hodnot u všech průtokových řad také v říjnu.

*Tabulka 21. Znázornění dosažení maximálních a minimálních hodnot směrodatné odchylky, disperze a střední hodnoty*

Statistické charakteristiky	MAX	MIN
Směrodatná odchylka	$Q_{m,umělá} = 16,854 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{ORI} = 2,931 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Disperze	$Q_{m,umělá} = 152,507 \text{ m}^6 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{ORI} = 8,593 \text{ m}^6 \cdot \text{s}^{-1}$
Střední hodnota	$Q_{m,umělá} = 22,209 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$Q_{ORI} = 4,692 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Hodnota koeficientu asymetrie  $C_s(x)$  se pohybuje v kladných hodnotách, poté se křivka pravděpodobnosti naklání doleva. Exces  $E(x)$  vyšel u všech průtokových řad v kladných hodnotách.

### Úloha č. 1

Z výsledných hodnot v tabulce 19, kde je znázorněna závislost  $O_p$  na  $V_z$  při jednotlivých výparech je zřejmé, že ořezání umělé průtokové řady nemá vliv na zásobní objem v nádrži

při měněném výparu. Hodnoty zásobních objemů ořezané umělé průtokové řady  $Q_{ORI}$  se shodují s hodnotami zásobních objemů umělé průtokové řady  $Q_{m,umělá}$ . Proto v následující analýze jsou porovnávány pouze hodnoty řady  $Q_{m,umělá}$ .

Z provedené analýzy vyplývá, že velikost výparu znatelně ovlivňuje zásobní objem nádrže. Nalepšený odtok reálné průtokové řady  $O_p$  byl zvolen v intervalu  $O_p \in \langle 2,0; 6,0 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . U umělé průtokové řady byl dostačující nalepšený odtok v intervalu  $O_p \in \langle 2,0; 3,6 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a to z důvodu, že zásobní objem  $V_z$  při  $O_p = 3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  vychází  $\pm 5$  x větší než stávající zásobní objem. Je zřejmé, že s narůstajícím  $O_p$  došlo k nárůstu zásobního objemu. Zásobní objemy reálné průtokové řady bez ztrát, které jsou pro všechny výpary shodné, se pohybují v rozmezí  $V_z \in \langle 9786230 \text{ m}^3; 146617296 \text{ m}^3 \rangle$ . Stejně tak zásobní objemy umělé průtokové řady bez ztrát zůstávají stejné pro jednotlivé výpary a nabývají hodnot  $V_z \in \langle 24995522 \text{ m}^3; 281570400 \text{ m}^3 \rangle$ .

U stávajícího výparu 750 mm můžeme pozorovat nárůst reálné průtokové řady se ztrátami zhruba o 2 mil.m<sup>3</sup> než u reálné průtokové řady bez ztrát. Razantní nárůst objemu pozorujeme u  $O_p = 5,5$  až  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , kdy objem zvětšil svou hodnotu od 8,7 mil.m<sup>3</sup> až do 25,4 mil.m<sup>3</sup>. Průměrné zvětšení zásobního objemu tedy činí 8,6 %. U umělé průtokové řady se ztrátami došlo k daleko výraznějšímu zvětšení zásobního objemu oproti umělé průtokové řadě bez ztrát. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí  $V_z \in \langle 29897090 \text{ m}^3; 394665664 \text{ m}^3 \rangle$ , což v průměru činí nárůst o 26,5 %.

Kdyby výpar klesl na hodnotu 600 mm, zásobní objem reálné průtokové řady se ztrátami by byl o 1,5 mil.m<sup>3</sup> větší než u reálné průtokové řady bez ztrát. Zvětšení objemu opět pozorujeme u  $O_p = 5,5$  až  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , kdy objem zvětšil hodnotu od 7 mil.m<sup>3</sup> až do 20 mil.m<sup>3</sup>. Zásobní objem umělé průtokové řady se ztrátami byl vyhodnocen průměrně o 20,8 % větší než bez ztrát. Naopak kdyby v budoucnu došlo ke zvětšení výparu z volné hladiny až na hodnotu 900 mm, zásobní objem reálné průtokové řady se ztrátami by se zvedl v průměru o 10,3 % než u řady bez ztrát. Zásobní objem umělé průtokové řady se ztrátami se zvedl v průměru až o 30,8 % vůči zásobním objemům bez uvažování ztrát.

## Úloha č. 2

Stejně jako v předchozí Úloze č. 1 můžeme pozorovat z tabulky 20, že ořezání umělé průtokové řady nemá žádný vliv na změnu zabezpečení  $P_T$ . Zabezpečení zůstávají shodné s neořezanou umělou průtokovou řadou se ztrátami. Proto v následující analýze je uvažováno pouze s umělou řadou neořezanou.

Je zřejmé, že v provedené analýze může vliv výparu ovlivnit zabezpečení  $P_T$ . Čím větší hodnota výparu dosahuje, tím se zmenšuje zabezpečení. Nalepšený odtok reálné

průtokové řady  $O_p$  byl zvolen v intervalu  $O_p \in \langle 5,3; 6,0 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a u umělé průtokové řady byl dostačující nalepšený odtok v intervalu  $O_p \in \langle 2,5; 5,2 \rangle \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Viditelnější pokles zabezpečení pozorujeme více u reálné průtokové řady. Reálná průtoková řada bez ztrát se pohybuje v intervalu  $P_T \in \langle 99,928 \%; 98,4883 \% \rangle$ . Při výparu 750 mm pro  $O_p = 5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  klesla zabezpečení reálné průtokové řady bez ztrát o 0,1028 %. Pro stejnou variantu při  $O_p = 5,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  zabezpečení klesla o 0,2057 % a poslední uvažovaná hodnota  $O_p = 6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se zmenšila o 0,3085 %. Celková zabezpečení reálné průtokové řady průměrně poklesla o 0,259 %.

Kdyby došlo k poklesu výparu až na hodnotu 600 mm, zabezpečení by se téměř nezměnila. Pokles zabezpečení reálné průtokové řady by činil 0,234 %. Ta je zároveň identická při výparu 650 mm. Naopak kdyby došlo ke zvětšování výparu, zabezpečení klesá výrazněji a to zejména, kdyby výpar dosáhl hodnoty 900 mm. Konkrétně pro  $O_p = 5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  by zabezpečení klesla o 0,2057 %. Dále při  $O_p = 5,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nastal pokles hodnoty o 0,3086 % a při posledním  $O_p = 6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pokles zabezpečení dosáhl až o 0,4114 %. Celkový průměrný pokles reálné průtokové řady činí 0,377 %. Pro hodnoty výparu 850 mm je celkový průměrný pokles zabezpečení 0,351 % a při výparu 800 mm zabezpečení poklesla o 0,311 %.

Mnohem méně výrazné změny zabezpečení jsou zaznamenány u umělé průtokové řady. Umělá průtoková řada bez ztrát nabývá hodnot v intervalu  $P_T \in \langle 99,999 \%; 99,4819 \% \rangle$ . Při porovnání umělé průtokové řady se ztrátami  $O_p = 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je hodnota zabezpečení u většiny výparů shodná jako s hodnotou bez ztrát, tedy  $P_T = 99,999 \%$ . Změnu pozorujeme pouze u výparu 900 mm, kdy se zabezpečení  $P_T = 99,998 \%$ . Při výparu 750 mm pro  $O_p = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  zabezpečení klesla o 0,013 % a pro  $O_p = 5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  zabezpečení klesla o 0,165 %. Celková průměrná zabezpečení se snížila o 0,061 %. Při snížení hodnoty výparu na hodnotu 600 mm celková průměrná zabezpečení umělé průtokové řady se ztrátami klesla pouze o 0,046 %. Pro výpar 650 mm byl pokles zabezpečení zaznamenán o 0,050 % a při výparu 750 mm o 0,055 %. Naopak pokud hodnoty výparu zvýšíme až na hodnotu 900 mm, nejsou poklesy zabezpečení tak výrazné jako u reálné průtokové řady. Například při výparu 900 mm při  $O_p = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  zabezpečení klesla o 0,016 % a při  $O_p = 5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je pokles zaznamenán o 0,209 %. Průměrný pokles celkové zabezpečení se rovná hodnotě 0,076 %. U výparu 850 mm je celkový pokles zaznamenán o 0,070 % nižší a pro 800 mm pokles činí 0,065 %.

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vodohospodářské řešení zásobního objemu vybrané vodní nádrže. Jako podklad sloužila reálná řada průměrných měsíčních průtoků. Nejprve v programu LRMsoft byla vygenerována umělá průtoková řada o délce 10 000 let. Ta byla následně upravena ořezáním na  $Q_{ORI}$ . Pro jednotlivé řady byly vyhodnoceny statistické charakteristiky. Bylo zjištěno, že při maximálních průtocích bylo dosaženo maximálních hodnot směrodatné odchylky a tím i maxima středních hodnot a disperze.

Další částí této práce bylo dokázáno, že velikost výparu může ovlivnit zásobní objem, počet poruchových měsíců a zabezpečení nádrže. Z důvodu narůstání průměrné teploty, a tím zvětšování hodnoty výparu z vodní hladiny je možné, že hodnoty zásobních objemů můžou být v budoucnu podhodnoceny.

Při současném výparu 750 mm je zásobní objem reálné průtokové řady dostačující. Jeho hodnota při  $O_p = 5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se rovná  $74\,170\,176 \text{ m}^3$ . Dostačující zásobní objem bude i při výparu 900 mm u  $O_p = 5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , kde zásobní objem nabývá hodnoty  $75\,823\,280 \text{ m}^3$ . Ovšem u umělé průtokové řady by se nalepšený odtok musel snížit na hodnotu  $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , u něhož je zásobní objem  $V_z = 74\,502\,032 \text{ m}^3$ . Při výparu 900 mm by se  $O_p = 2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  rovnalo hodnotě  $V_z = 77\,086\,296 \text{ m}^3$ . Procentuální vyjádření nárůstu zásobního objemu v závislosti na nárůstu množství výparu z vodní hladiny jsou následující:

Výpar:	reálná řada	umělá řada
• 600 mm – 750 mm →	1,3 %,	4,7 %,
• 750 mm – 900 mm →	1,3 %,	3,1 %,
• 600 mm – 900 mm →	3,6 %,	9,6 %.

Významnost nádrže Vranov dle ČSN spadá do kategorie A ( $\geq 99,5 \%$ ). Výpočet byl posuzován na  $V_z = 79\,668\,000 \text{ m}^3$  a zabezpečení  $P_T = 99,5 \%$ . U reálné průtokové řady při všech stanovených výparech vyšla zabezpečení  $P_T = 99,5 \%$  při nalepšeném odtoku  $O_p = 5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . U umělé průtokové řady vyšla zabezpečení  $P_T = 99,5 \%$  při hodnotě  $O_p = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Rozdíly v zabezpečení byly nepatrné a pohybovaly se v řádech setin až tisícín procenta. Jednoznačným ukazatelem změny zabezpečení v závislosti na změně množství výparu je počet poruchových měsíců. Nárůst poruchových měsíců u řešení z reálné a umělé průtokové řady jsou znázorněny v tabulce 22.

Tabulka 22. Vztah mezi  $O_p$  a zabezpečení  $P_T$  pro jednotlivé výpary

Výpar [mm]	$O_p$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q_{m,real}$ $P_T$ [%]	Poruchové měsíce	$O_p$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q_{m,umělá}$ $P_T$ [%]	Poruchové měsíce
600	5.5	99.516	63	5.0	99.571	2 287
750	5.5	99.516	65	5.0	99.543	2 427
900	5.5	99.516	74	5.0	99.520	2 574

Výpar:	Nárůst poruchových měsíců reálné řady:	Nárůst poruchových měsíců umělé řady:
• 600 mm – 750 mm →	2,	140,
• 750 mm – 900 mm →	9,	147,
• 600 mm – 900 mm →	11,	287.

Z prezentovaných výsledků jsou patrné i značné rozdíly nalepšených odtoků stanovených z reálných a umělých průtokových řad. Příčinou rozdílů může být více. Jednak to může být důsledek zvoleného typu generátoru umělé průtokové řady. Výsledek také mohl být ovlivněn větším množstvím vodních období v umělé průtokové řadě. Zde se otevírá prostor pro hlubší analýzu vlivu generátoru na zásobní objem a odtok vody z nádrže.

V tuto chvíli nelze také výsledky výpočtů bakalářské práce konfrontovat s výsledky vodohospodářského řešení zásobní funkce zpracované v manipulačním řádu. Data z manipulačního řádu uvádí hodnotu nalepšeného odtoku  $O_p = 4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , která se vztahuje k maximálnímu zásobnímu objemu  $V_z = 79\,668\,000 \text{ m}^3$  a zabezpečení  $P_T = 99,5 \%$ . Při přípravě hydrologických podkladů nebyly do řešení zahrnuty odběry z nádrže a nad nádrží. Nalepšený odtok nezahrnoval ani vodárenský odběr pro Dukovany. Zde se také otevírá prostor pro další rozvoj předložené práce.

Na závěr je tedy nutné říci, že analýza byla provedena pouze pro ztráty vody z nádrže výparem a na jednu určitou nádrž. Pro pokračování v diplomové práci by bylo vhodné například důkladnější rozbor manipulačního řádu a analýza průtokových řad. Další možností je také provedení obdobné analýzy u jiných nádrží, jelikož lze předpokládat rozdílné výsledky. Především z důvodu odlišné velikosti zásobního objemu, jiné nadmořské výšky, vodností přítoku a dalších.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] KAŠPÁREK, Ladislav. *ODHAD OBJEMU NÁDRŽÍ POTŘEBNÉHO PRO KOMPENZACI POKLESU ODTOKU VLIVEM KLIMATICKÉ ZMĚNY*. Praha: VÚV Praha, 2005.
- [2] DAŇHELKA, J., M. BOHÁČ, L. CRHOVÁ, R. ČEKAL, L. ČERNÁ a R. FIALA. *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Na Šabatce 2050/17, 14306 Praha - Komořany: ČHMU, 2015.
- [3] STARÝ, Miloš. *NÁDRŽE A VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY: MODUL 01*. Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2006.
- [4] *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA ČSN 75 2405: Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. ICS 93.160;13.060.10. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [5] STARÝ, Miloš. *HYDROLOGIE: MODUL 01*. Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2005.
- [6] KOS, Z. *Lineární regresní model a jeho aplikace v hydrologii: Vodní toky v Praze*. Praha, 2009.
- [7] D., MARTON a STARÝ M. LRMsoft: LRMsoft - generátor umělých měsíčních průtoků. *Http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php*. [online]. Brno: VUT Fast v Brně, 2012 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. (software)
- [8] STARÝ, Miloš. *NÁDRŽE A VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY: MODUL 02*. Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2006.
- [9] MARTON, Daniel, Miloš STARÝ a Pavel MENŠÍK. Analysis of the influence of input data uncertainties on determining the reliability of reservoir storage capacity. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* [online]. De Gruyter Open, 2015, **63**(4), 287-294 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1515/johh-2015-0036. ISSN 0042-790X. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/69346>
- [10] Seznam přehradních nádrží v Česku. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [view-source:https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam\\_p%C5%99ehradn%C3%ADch\\_n%C3%A1dr%C5%BE%C3%AD\\_v\\_%C4%8Cesku](https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_p%C5%99ehradn%C3%ADch_n%C3%A1dr%C5%BE%C3%AD_v_%C4%8Cesku)

- [11] Vranovská přehrada - historie | Elektrárna Vranov nad Dyjí. *Elektrarna-vranov* [online]. Znojmo: Vranov Agency, 2018 [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <http://elektrarna-vranov.cz/vranovska-prehrada-historie>
- [12] *O divizi, VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST* [online]. Brno: Vodárenská akciová společnost, a.s., 2009 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/divize-trebic/o-divizi>
- [13] *Přehradní nádrž Vranov: Seznam.cz: Mapy.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zemepisna?x=15.7629737&y=48.9168549&z=12&q=vranov%20p%C5%99ehrada>
- [14] *MANIPULAČNÍ ŘÁD pro VD Vranov na řece Dyji v km 175,405*. Brno: Povodí Moravy, s.p, 2011.
- [15] *Plán oblasti povodí Dyje: Průměrný roční úhrn srážek* [online]. In: . Povodí Moravy, s.p.: PÖYRY Environment a.s. z podkladů Povodí Moravy s.p. VÚV T.G.M. u.v.i. ARCADATA PRAHA s.r.o. a ČHMÚ, 2009 [cit. 2018-05-08].
- [16] *Plán oblasti povodí Dyje* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p., 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/a-popis/a-1.html>
- [17] *Evidenční list hlásného profilu* [online]. Brno: Český hydrometeorologický ústav, 2010 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=2505252](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505252)
- [18] *Studie protipovodňových opatření na území Jihomoravského kraje 3A06105: T.1.2: M - denní průtoky*. Brno: Český hydrometeorologický ústav, 2010.
- [19] D., MARTON, STARÝ M. a MENŠÍK P. UNCERESERVOIR: UNCERESERVOIR - Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže. *Http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php* [online]. Brno: VUT Fast v Brně, 2015 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php> (software)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Výpar z volné hladiny [4].....	4
Obrázek 2. Střední hodnota je x-ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti.....	6
Obrázek 3. Koeficient asymetrie odpovídá o naklonění grafu hustoty pravděpodobnosti7	
Obrázek 4. Vodní nádrže v ČR – Poloha VD Vranov [10] .....	12
Obrázek 5. Vodní nádrž Vranov [13] .....	13
Obrázek 6. Schéma vodohospodářského řešení nádrže Vranov .....	15
Obrázek 7. Povodí Dyje [15] .....	15

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Procentuální rozdělení výparu v průběhu kalendářního roku.....	4
Tabulka 2. Nutný počet realizací pro odhad statistické charakteristiky s chybou $\pm 10\%$	7
Tabulka 3. Výpočet Úlohy č. 1 $V_z = F_1(O_p, P)$ pro $P = 100\%$ .....	8
Tabulka 4. Výpočet Úlohy č. 2 $P = F_2(O_p, V_z)$ .....	10
Tabulka 5. Prostor stálého nadržení.....	14
Tabulka 6. Prostor zásobní.....	14
Tabulka 7. Prostor retenčně ovladatelný.....	14
Tabulka 8. Prostor retenčně neovladatelný.....	14
Tabulka 9. Prostor celkový .....	14
Tabulka 10. N-leté průtoky měrné stanice Podhradí pod Dyjí .....	16
Tabulka 11. M-denní průtoky měrné stanice Podhradí pod Dyjí [18].....	16
Tabulka 12. N-leté průtoky měrné stanice Vysočany .....	17
Tabulka 13. M-denní průtoky měrné stanice Vysočany .....	17
Tabulka 14. Regresní rovnice pro jednotlivé měsíce.....	19
Tabulka 15. Reálná průtoková řada $Q_{m,real}$ .....	20
Tabulka 16. Statistické charakteristiky reálné průtokové řady .....	23
Tabulka 17. Statistické charakteristiky umělé průtokové řady .....	23
Tabulka 18. Statistické charakteristiky umělé průtokové řady $Q_{ORI}$ .....	25
Tabulka 19. Závislost $O_p$ na $V_z$ při jednotlivých výparech.....	28
Tabulka 20. Vztah mezi $O_p$ a zabezpečení $P_T$ pro jednotlivé výpary.....	35
Tabulka 21. Znázornění dosažení maximálních a minimálních hodnot směrodatné odchylky, disperze a střední hodnoty .....	42
Tabulka 22. Vztah mezi $O_p$ a zabezpečení $P_T$ pro jednotlivé výpary .....	46

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Čára zatopených ploch a objemů nádrže Vranov .....	18
Graf 2. Ukázka průměrných průtoků pro měsíc leden od roku 1956 .....	19
Graf 3. Čáry pravděpodobnosti překročení $Q_{m,real}$ a $Q_{m,umělá}$ pro měsíc leden.....	24
Graf 4. Čáry pravděpodobnosti překročení $Q_{m,real}$ a $Q_{m,umělá}$ pro měsíc říjen.....	25
Graf 5. Čáry pravděpodobnosti překročení $Q_{m,real}$ a $Q_{OR1}$ pro měsíc leden.....	26
Graf 7. Čáry pravděpodobnosti překročení $Q_{m,real}$ a $Q_{OR1}$ pro měsíc říjen .....	26
Graf 8. Ukázka narůstání zásobního objemu v závislosti na $O_p$ pro umělou průtokovou řadu v závislosti na zvyšování výparu .....	30
Graf 9. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 600 mm.....	31
Graf 10. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 650 mm.....	31
Graf 11. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 700 mm.....	32
Graf 12. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 750 mm.....	32
Graf 13. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 800 mm.....	33
Graf 14. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 850 mm.....	33
Graf 15. Závislost $O_p$ na $V_z$ při výparu 900 mm.....	34
Graf 16. Vztah mezi nalepšeným odtokem $O_p$ a zabezpečeností $P_T$ umělé průtokové řady s uplatněním závislosti na jednotlivých výparech .....	37
Graf 17. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 600 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	38
Graf 18. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 650 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	38
Graf 19. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 700 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	39
Graf 20. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 750 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	39
Graf 21. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 800 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	40
Graf 22. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 850 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	40
Graf 23. Vztah $O_p$ a zabezpečenosti $P_T$ při výparu 900 mm s uvažováním ztrát i bez uvažování ztrát vody z nádrže .....	41