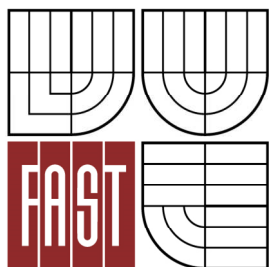




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ ZÁSOBNÍHO OBJEMU VYBRANÉ VODNÍ NÁDRŽE

A WATER MANAGEMENT ANALYSIS OF SPECIFIED OPEN WATER RESERVOIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN HUDEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Hudec
Název	Vodohospodářské řešení zásobního objemu vybrané vodní nádrže
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

M. Starý, Nádrže a vodohospodářské soustavy, Education Tutorial, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Brno 2006.

M. Starý, Hydrologie, Education Tutorial, Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Brno 2006.

MARTON, D. SOFTWARE ZFNAD JAKO VÝSTUP ŘEŠENÉHO PROJEKTU FRVŠ. In Sborník anotací Juniorstav 2010. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2010. s. 1-5. ISBN: 978-80-214-4042- 5.

MARTON, D.; STARÝ, M.: SYNTHE; SYNTHE - Generátory umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků. <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. URL: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/software.php>. (software)

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)

Zásady pro vypracování

Tématem bakalářské práce je vodohospodářské řešení zásobního objemu vybrané vodní nádrže. Student se při vypracování práce seznámí s generátory umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků, které slouží jako rozšířený hydrologický podklad pro výpočty zásobního objemu nádrže s vysokou významností. Dále si osvojí práci se softwarem, který umožní výpočty zásobního objemu nádrže provést. Cílem práce bude analýza zásobního objemu nádrže, která bude provedena na aktuální hydrologické podmínky v povodí.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

3.

.....

Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je porovnat data vodohospodářského řízení zásobního objemu nádrže Vír I. v manipulačním řádu s aktuálním stavem vzhledem ke klimatickým a hydrologickým změnám.

Klíčová slova

Zásobní objem nádrže, Umělá průtoková řada, Reálná průtoková řada, průměrný měsíční průtok, zabezpečení, ZFN, LRMsoft, Synthe, Vír I.

Abstract

The aim of the bachelor thesis is compare values a water management analysis of water reservoir Vír I. in handling procedure with current status due climate and hydrological changes.

Keywords

Reservoir storage capacity, synthetic series, real series, flow series, mean monthly flows, reliability, ZFN, LRMsoft, Synthe, Vír I.

Bibliografická citace VŠKP

Martin Hudec *Vodohospodářské řešení zásobního objemu vybrané vodní nádrže*. Brno, 2016. 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 zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2016

.....
podpis autora
Martin Hudec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce
Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za pedagogickou a odbornou pomoc, vstřícné jednání,
poskytnutí veškerých potřebných podkladů a další cenné rady při zpracování bakalářské
práce.

Obsah

1	Úvod, porovnání	1
2	Cíl práce	3
3	Metody výpočtu	4
3.1	Generátory umělých průtokových řad	4
3.1.1	Program LRMsoft	4
3.1.2	Program SYNTHE	5
3.2	Program ZFN 1.2.1	6
3.2.1	Úloha číslo 1. Vz (O_p , P) pro P=100%.....	6
3.2.2	Úloha číslo 2. P(O_p , Vz).....	8
3.3	Čára pravděpodobnosti překročení ročních průtoků	11
3.4	Statistické charakteristiky	12
4	Praktické aplikace	14
4.1	Vodní dílo Vír I.	14
4.2	Hydrologie	15
4.3	Klima	18
4.4	Technické charakteristiky VD Vír I.	20
4.4.1	Technické parametry	20
4.4.2	Výpustná a odběrná zařízení	21
4.4.3	Vodní elektrárna	21
4.4.4	Batygrafické čáry	21
4.5	Manipulace s vodou, Manipulační řád	23
4.6	Vyhodnocení.....	24
4.6.1	Generátory umělých průtokových řad.....	24
4.6.2	Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže Vír I.....	31
4.6.3	Úloha č. 1 – Vz (O_p , P).....	32
4.6.4	Úloha č. 2 – $O_p = F_2(V_z, P)$	38
5	Shrnutí výsledků	44
6	Závěr	47
7	Bibliografie	50

1 Úvod, porovnání

Proměny v hydrologickém režimu jsou pro ČR jedním z důležitých témat, kterými se odborná veřejnost zabývá. Česká Republika je situovaná tzv. na „střeše Evropy“, tudíž téměř žádné vodní toky nepřitékají na toto území a proto samotný vodní stav je zcela závislý na srážkovém úhrnu. Průměrný úhrn srážek by měl být v budoucnu s největší pravděpodobností zachován, ale výrazné změny se projeví během roku. Mohou to být dlouhá opakující se období sucha, a na druhé straně intenzivní přívalové deště, které mohou vyvolat povodně. Do roku 2030 budou srážky v celoroční bilanci vyšší. [1] V rozmezí 2040 – 2069 se projeví pokles srážek v zimě (Beskydy, Krkonoše, Českomoravská vrchovina) až do 20% a následné zvýšení na podzim. Léto bude význačné poklesem srážek, který se ještě prohloubí v letech 2070-2099. I počet dní beze srážek bude stoupat: v období 1961-1990 bylo 81 dnů za rok, k roku 2030 jich bude 84, 2060 už 98, a ke konci století podle odhadů by mělo být 105 suchých dní v roce. [2]

Rok 2015 byl ve znamení nárůstu deficitu atmosférických srážek na území ČR. Projev úbytku srážek byl znát hlavně v letních měsících jako výrazný nedostatek vody v krajině a půdě, citelným snížením hladiny vodních toků a malými průtoky. Toto období můžeme srovnávat se známými historickými epizodami sucha v letech 1947 nebo 2003. Co se týká úbytku zásoby vody v krajině, je důležité zmínit zimní období z roku 2014/2015. Tato zima se řadí mezi druhou v řadě, kdy v nižších polohách nenapadla téměř žádná sněhová pokrývka, většina srážek byla pouze dešťových. Co se týká srážkového úhrnu, měsíc listopad se dostal na hodnotu 23 mm, což představuje 47 % průměrného normálního srážkového úhrnu za období 1981- 2010. Abnormální teploty a nízký úhrn srážek byl zaznamenán již v roce 2014. Při porovnání průměrných hodnot za léta 1981-2010 a od září 2014 do ledna 2015 se průměrná teplota pohybovala nad normálem. Listopad 2014 byl s odchylkou 3.1°C od normálu a prosinec s 2.5°C. Průměrně, za časové období 1. 1. 2015 – 31. 10. 2015 dopadlo na území ČR 438 mm srážek, což po roce 1961 je druhý nejnižší úhrn za prezentované období. Prvenství drží rok 2003, kdy srážkový úhrn měl hodnotu 429 mm. Během roku 2003 spadlo na 77 % území ČR méně než 80 % normálu srážek 1981- 2010.

Následkem poklesu průtoků ve vodních tocích ČR souvisí i samotná čistota vod, odběr vody pro potřeby uživatelů ať už energetické, hygienické a atd.. Doposud jsou naše vodní nádrže dimenzované na roční řízení, což během více suchých období způsobí nedostatek vody. Tuto skutečnost lze vyřešit úpravou stávajících vodních nádrží, nebo výstavbou dalších specializovaných nádrží s víceletým řízením. [3]

Strategie EU pro přizpůsobení změnám klimatu obsahuje tzv. Bílá kniha: „Přizpůsobení se změně klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci“ z roku 2009 stanovila řadu opatření, která již byla z větší části provedena. [4] Hlavním výsledkem byla internetová evropská platforma pro přizpůsobení se změně klimatu (Climate-ADAPT), která byla spuštěna v březnu 2012. Platforma obsahuje nejnovější údaje pro přizpůsobení v EU. Doposud strategii pro přizpůsobení přijalo 15 států EU. [5]

Strategie přizpůsobení se změnám klimatu v podmínkách ČR, byla schválena usnesením vlády č. 861 ze dne 26. října 2015. Dokument vychází z adaptačních strategií Bílé knihy Evropské komise (2009) a odpovídá Adaptačním strategiím EU. Samotné zaměření dokumentu je specifikováno na podmínky ČR. Mezi cíle Adaptační strategie ČR patří zmírnění dopadů změn klimatu a co nejvíce se přizpůsobit k těmto změnám. Dále uchovat a pokud možno vylepšit hospodářský potenciál pro další generace a zachovat dobré životní podmínky. [6]

Jako účinné adaptační strategie jsou ve zmiňovaných textech navrhovány. Přepočty stávajících zásobních objemů na aktuální a výhledové hydrologické podmínky. Posouzení výhledových profilu pro akumulaci povrchových vod. Účinné řízení nádrží a vodohospodářských soustav.

Uvedeným souborem adaptačních opatření na vodní nádrže se zabývá i VUT FAST v Brně, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vypovídacím faktorem jsou články zabývající se vlivem nejistot na objem a hydrologickou zabezpečenosť nádrže Vír I z konference Vodní nádrže 2015 (Marton a kolektiv, 2015), nebo v časopise Journal of Hydrology and Hydromechanics (Marton a kolektiv, 2015), softwary pro výpočty hydrologických nejistot, zásobních objemů nádrží a jiné. Mezi hlavní řešitele patří Ing. Daniel Marton, Ph.D. prof. Ing. Miloš Starý, CSc. a Ing. Pavel Menšík, Ph.D.

Výsledky ukázaly, že zásobní objem a zabezpečenosť jsou na nádrži Vír I. podhodnoceny. Tudíž je nutná revize manipulačního řádu k vodnímu dílu.

2 Cíl práce

Zadáním bakalářské práce je zpracování rozšířených hydrologických podkladů, výpočet zásobního objemu a hydrologické zabezpečení vybrané vodní nádrže. Jedná se o vodní nádrž Vír I., která byla navržena v 50. letech 20st. Výsledná část práce slouží jako poklady k dalším vyhodnocením a navržením O_p pro aktuální stav vzhledem k měnícímu se klimatu a aktualizaci manipulačního řádu.

3 Metody výpočtu

Pro účely bakalářské práce jsou využity umělé průtokové řady (UPR) generované z programu LRMsoft a SYTNHE. Dále programem ZFN byl stanoven zásobní objem nádrže a zabezpečení.

3.1 Generátory umělých průtokových řad

3.1.1 Program LRMsoft

Lineární regresní modely jsou určeny ke generování umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků. Generátor LRM soft je založen na standardním postupu generování umělých průtokových řad popsáných v (Kos, 1969) [7] a sestavený v programovacím jazyce FORTRAN. [8] Kdy je nejprve odstraněna šikmost hodnot průtoků pomocí adekvátního postupu, a 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 samotný princip generátoru umělých průtokových řad, založený na metodě lineárního regresního modelu.

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

kde: $C_{j,m}$ – regresní koeficienty lineárního regresního modelu pro $j = 1$,

kde: dv je popsán délkou Markovova řetězce,

h_{i-j} – hodnoty 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 (2).

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

kde: $C_{j,m}$ – regresní koeficienty lineárního regresního modelu pro $j = 1$,

kde: dv je popsán délkou Markovova řetězce,

$b_{j,dv+1}$ – prvky pravé strany matice, řešící regresní koeficienty $c_{j,m}$.

3.1.2 Program SYNTHE

Modely jsou převzaty z (Hirsch R., 1978) [9] a sloužily jako podklad pro diplomovou práci (Pilař, 1988) [10]

Pro generování jsou využity různé matematické modely. Jejich kombinace umožňuje zkonstruovat různé generátory.

Z programu Synthe byl porovnáním statistických charakteristik vybrán generátor LNMA. Jako podklad pro generátory slouží reálná průtoková řada, ze které se generují umělé průtokové řady.

Model LN-MA

Generující rovnice mají tvar:

$$z_{i,t} = \phi z_{i-1,t} + \beta_i \cdot \varepsilon_{i,t} - \theta_i \cdot \beta_{i-1} \cdot \varepsilon_{i-1,t}, \quad (3)$$

kde $\phi > 0$ a $\beta_i > 0$

Obsahující 25 parametrů θ_i , β_i , ϕ je dáno simultánními rovnicemi:

$$\rho_{i,1} = \phi - \theta_i \cdot \beta_{i-1}^2, \quad \text{pro } i=1, 2, \dots, 12, \quad (4)$$

$$1 = \phi \cdot \rho_{i,1} + \beta_i^2 - \theta_i \cdot \phi \cdot \beta_{i-1}^2 + \theta_i^2 \cdot \beta_i^2, \quad (5)$$

kde $\rho_{i,1}$ je definován jako v (4). Jakákoliv sestava těchto 25 hodnot parametrů r , které vyhovují těmto 24 rovnicím bude zaručovat, že umělá řada si zachová charakteristiky x_i , $s_{x,i}$ a $r_{x,i,1}$ ve shodě s reálnou řadou.

Protože systém rovnic (4) a (5) je neurčitý, je nutno před jeho řešením stanovit parametr ϕ . Sériová korelační struktura modelu je dána:

$$\hat{\rho}_{i,j} = \phi^{j-1} \cdot \rho_{i-j+1,1} \quad \text{pro } i=1, 2, \dots, 12, \quad (6)$$

kde $\hat{\rho}_{i,j}$ je teoretický koeficient korelace j -tého řádu pro i -tý měsíc (korelace mezi průtokem v měsíci i a průtokem v měsíci j . předešlému i). Je nutno označit měsíce -11, -10, ..., 0 jako měsíce 1, 2, ..., 12. Odhady provedené z reálné průtokové řady pro řád 2 až 12 (označených $\hat{\rho}_{i,j}$) jsou stanoveny:

$$r_{x,i,j} = \frac{e^{(\sigma_{i-j} \cdot \sigma_i \cdot \hat{\rho}_{i,j}) - 1}}{\sqrt{[e^{(\sigma_{i-j}^2) - 1}] \cdot [e^{(\sigma_i^2) - 1}]}} \quad (7)$$

pro $i=1, 2, \dots, 12$ a $j=2, 3, \dots, 12$, kde $r_{x,i,j}$ je koeficient korelace j -tého řádu stanovený z reálné průtokové řady pro i -tý měsíc. Parametr ϕ je vybrán tak, že se minimalizuje součet čtverců odchylek mezi $\hat{\rho}_{i,j}$ a $\rho_{i,j}$ pro všechny měsíce a pro všechny řády od $j=2$ po $j=12$. Úloha se řeší tak, že se pro hodnoty parametru $\phi=(0; 0,05; 0,5)$ řeší vztah:

$$F(\phi) = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=2}^{12} (\hat{\rho}_{i,j} - \phi^{j-1} \cdot \rho_{i-j+1,1})^2 \quad (8)$$

Ze získaného souboru $F(\phi)$ se vybere ϕ takové, pro které platí $F(\phi) \rightarrow \min$.

3.2 Program ZFN 1.2.1

Tento program umožňuje výpočet návrhu zásobních objemů nádrží, resp. k vodohospodářskému řešení zásobní funkce nádrže. Jedná se o simulační model nádrže zpracovaný Marton, 2007 [11], který umožňuje výpočet všech 4 základních úloh vodohospodářského řešení. Ve výpočtech byla použita úloha 1 a 2.

3.2.1 Úloha číslo 1. Vz (O_p , P) pro P=100%

Početní řešení

Hledáme zásobní objem V_z , když je zadán nalepšený odtok O_p a zabezpečenosť P, kdy P je rovna 100 %. Úloha se řeší jednorázovou simulací provozu nádrže. Počáteční podmínkou je plná nádrž. Početní řešení je znázorněno v tab. 1

Tabulka 1 - Znázornění výpočtu úlohy č.1. Vz (O_p , P) pro P= 100%

1	2	3	4	5	6	7
i	měsíc	$Q[m^3/s]$	$O_p[m^3/s]$	$O[m^3/s]$	$(O_p-Q) \times \Delta t [m^3]$	$\Sigma(O_p-Q) \cdot \Delta t [m^3]$

Do sloupce č. 3 zadáváme vstupní data; v tomto případě jsou vstupními daty přítoky do nádrže, prezentované chronologickou měsíční průtokovou řadou. Do sloupce č. 4 zadáváme nalepšený odtok z nádrže. Sloupec č. 5 prezentuje hodnoty skutečných odtoků O z nádrže. V sloupci č. 6 provádíme jednoduchou bilanci mezi nalepšeným odtokem O_p a přítokem vody do nádrže Q v určitém časovém kroku Δt . Sloupec č. 7 řešíme simulaci prázdnění nádrže.

Pokud v daném měsíci $O_p > Q$ nádrž se prázdní a pokud $O_p < Q$ nádrž se plní. Změna v prázdnění nádrže na konci každého měsíce je získána jako dílčí bilance (O_p-Q) ve sloupci č.6 a přičteme ji ke stavu prázdnění nádrže na konci předcházejícího měsíce $\Sigma (O_p-Q)$ sloupce č.7. Pokud je nádrž plná, pak platí, že přítok Q je roven odtoku O, a do sloupce č. 7 $\Sigma (O_p-Q)$ se píše automaticky nula. Dojde-li k naplnění nádrže v průběhu měsíce, píšeme do sloupce č.7 rovněž nulu, ale skutečný odtok v takovém měsíci zvětšíme o tolik, aby bylo dosaženo naplnění nádrže na konci tohoto měsíce. To znamená, že odečteme od přítoku Q sloupce č.3 následujícího měsíce, sloupec č. 7 $\Sigma (O_p-Q)$ z měsíce, kdy se nádrž naplní.

Velikost zásobního objemu V_z je vypočítána ve sloupci č. 7 a jedná se o maximální vyprázdnění. Jde o maximální hodnotu $\Sigma (O_p-Q)$ ve sloupci č. 7. Celou dobu výpočtu je nutné sledovat, zda se počítá v poměrných hodnotách $m^3 s^{-1}$ nebo skutečných hodnotách násobených Δt v jednotkách m^3 .

Pro přehlednost a názornost následného grafického řešení je nutné vypočtená data upravit pomocí součtových čar rozdílových.

Tabulka 2 - Znázornění výpočtu součtové čáry rozdílové

1	2	3	4	5
I	Q [m³/s]	Q _a [m³/s]	(Q-Q _a) [m³s ⁻¹]	Σ(O _p -Q) .Δτ [m³]

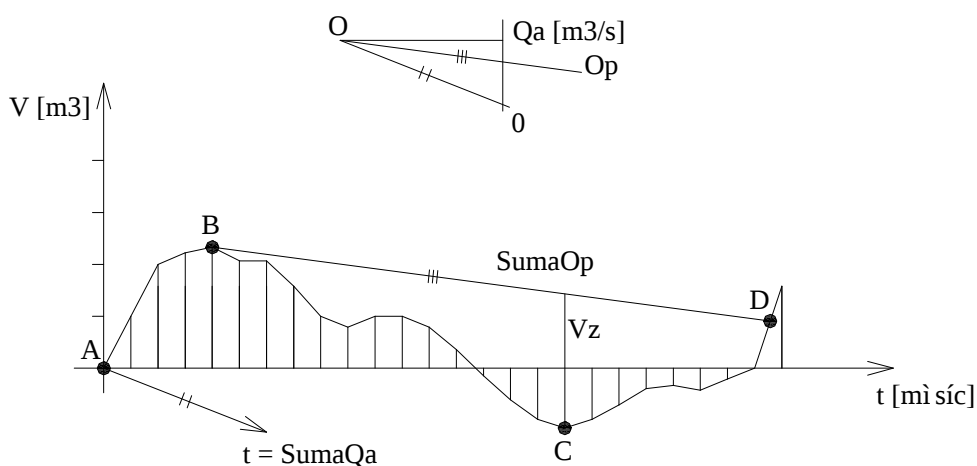
Tab. 2 ukazuje řešení součtové čáry rozdílové z chronologické (měsíční, roční) průtokové řady. Sloupec č. 2 udává průtokovou řadu Q, do sloupce č. 3 se zadává dlouhodobý průměrný průtok Q_a. Sloupec č. 4 obě hodnoty odečítá a sloupec č. 5 provede součet odečtených hodnot Q-Q_a. Pro ostatní veličiny, jako skutečný odtok z nádrže, je postup shodný, jenom hodnoty přítoků do nádrže Q ze sloupce č.1, nahradíme skutečným odtokem O. Správnost výpočtu je v programu ověřena sjednocením součtových čar přítoků do nádrže a odtoků z nádrže.

Dále určíme měřítko a skutečný směr osy času $t = Q$, protože známe dlouhodobý průměrný přítok do nádrže Q_a můžeme vypočítat objem vody V_x, který přiteče přítokem Q_a za libovolně zvolený čas t_x.

$$V_x = Q_a \times t_x \quad (9)$$

Provedeme konstrukci pólového měřítka nutného pro práci se součtovou čarou.

Grafické řešení



Obrázek 1 - Schéma grafického řešení úlohy č.1 Vz (O_p, P) pro P=100%

Jaké mohou nastat situace v nádrži, vykresluje (obr. 1). Mezi body A a B, je splněna počáteční podmínka plné nádrže, je přítok Q roven skutečnému odtoku O , nalepšený odtok O_p je menší než přítok Q a prázdnění nádrže V je rovno nule. Mezi body B a C se nádrž začíná prázdnit, přítok do nádrže Q je menší než nalepšený odtok O_p a skutečný odtok O je roven nalepšenému odtoku O_p . V bodě C se nádrž vyprázdní, maximální hodnota prázdnění je pak rovna hledanému zásobnímu objemu V_z . Mezi body C a D se nádrž začíná zase plnit, přítok Q do nádrže je větší než nalepšený odtok O_p , skutečný odtok O je roven nalepšenému odtoku O_p . V bodě D je nádrž opět naplněna.

3.2.2 Úloha číslo 2. $P(O_p, V_z)$

Početní řešení

Hledáme zabezpečení P , když je zadán nalepšený odtok O_p a zásobní objem V_z . Úloha se řeší jednorázovou simulací provozu nádrže. Počáteční podmínkou je plná nádrž. Početní řešení je znázorněno v tab. (3).

Tabulka 3 - Znázornění výpočtu úlohy č.2. $P(O_p, V)$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	Měs.	Q [m ³ s ⁻¹]	O_p [m ³ s ⁻¹]	O [m ³ s ⁻¹]	$(O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m ³]	$\Sigma(O_p - Q) \cdot \Delta t$ [m ³]	Poruch. měsíc	Poruchový rok	D [m ³ s ⁻¹]
							ΣMm	ΣMr	ΣD

Řešení probíhá postupem uvedeným v předchozí úloze. Změna je v tom, že navíc ve sloupci č. 7 testujeme, zda na konci každého měsíce (bilanční krok) nepřesahuje nárok na vyprázdnění nádrže zadaný zásobní objem V_z (omezuující podmínka).

Pokud je postup znázorněn v poměrných hodnotách, je omezuující podmínkou poměrný zásobní objem nádrže. Sloupec č. 8 řešíme opět ze sloupce. č. 7 v předstihu před sloupcem č.6. Pokud ve sloupci vychází na konci libovolného měsíce poměrné povyprázdnění větší než zadaný poměrný zásobní objem, nahradíme poměrné povyprázdnění ve sloupci č. 7 zadaným zásobním objemem, v tomto měsíci dojde k poruše odtoku vody z nádrže.

Ve sloupcích č. 8, 9, 10 provádíme její vyhodnocení. Ve sloupci č. 8 označíme poruchové měsíce a ve sloupci č. 9 označíme poruchové roky: to znamená, pokud v určitém roku, prezentovaném řadou měsíců hydrologického roku nastane alespoň v jeden poruchový měsíc, pak nastala porucha i v celém roce. Do sloupce č. 10 zapisujeme velikost poruchy D , která se projeví ve snížení odtoku o hodnotu $D = O_p - O$. Na konci tabulky ve sloupcích č. 8, 9, 10 provedeme součet všech poruchových roků ΣMr , poruchových měsíců ΣMm a snížení

odtoků ΣD . Celkové množství nedodané vody oproti plánované hodnotě vypočteme ze vztahu (10).

$$\Sigma D = \Delta t \times \Sigma D_i \quad (10)$$

Pro výpočet zabezpečení podle opakování P_o , trvání P_t a dodávky vody P_d použijeme vzorec (11) nebo (12).

- klasický vzorec pro výpočet pravděpodobnosti

$$P = \frac{m}{n} 100[\%] \quad (11)$$

- vzorec podle Čegodajeva

$$P = \frac{(m-0.3)}{(n+0.4)} \times 100 [\%] \quad (12)$$

ve kterých m a n vyjádříme pomocí ΣM_r , ΣM_m a ΣD . Zavedeme-li, že N_r , N_m je celkový počet roků a měsíců v řešeném období, je

pro zabezpečení podle opakování P_o :

$$m = N_r - \Sigma M_r, n = N_r, \quad (13)$$

m počet všech roků – počet poruchových roků (počet bezporuchových roků)

n počet všech roků

pro zabezpečení podle trvání P_t :

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

m počet všech měsíců – počet poruchových měsíců (počet bezporuchových měsíců)

n počet všech měsíců

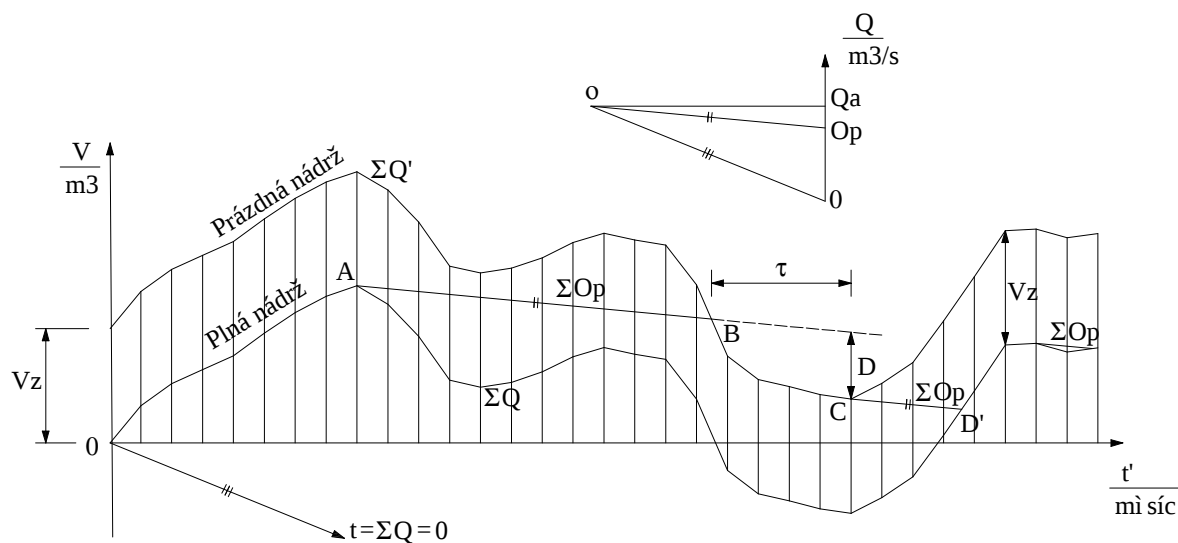
pro zabezpečení podle dodávky vody P_d :

$$m = PD - \Sigma D, n = PD, \quad (15)$$

kde PD je plánované množství vody oteklé z nádrže v řešeném období.

Grafické řešení

Řešení se provádí v jedné variantě. Úloha se liší od předchozího typu tím, že velikost zásobního objemu V_z je pevně zadána a nádrž tedy není možno libovolně prázdnit. To má za následek možnost vzniku poruch v provozu, které je nutno určit a vyhodnotit. Grafické řešení je schématicky znázorněno na (obr. 2).



Obrázek 2 - Schéma grafického řešení úlohy č.2 P (O_p , V_z)

Nyní je zapotřebí zkonstruovat součtovou čáru rozdílovou $\Sigma Q'$, čáru prázdné nádrže, tvar součtové čáry rozdílové $\Sigma Q'$ je totožný se součtovou čarou rozdílovou z chronologické průtokové řady ΣQ , pouze její hodnota je zvětšena o zadaný zásobní objem V_z . Počáteční podmínkou je plná nádrž, omezující podmínkou je velikost zásobního objemu V_z . Postup simulace provozu je obdobný jako v předchozím případě. Liší se v tom, že simulované prázdnění nádrže nemůže překročit zadanou hodnotu zásobního objemu V_z .

Od bodu 0 do bodu A je odtok O roven přítoku Q, nádrž je plná. Od bodu A do bodu B probíhá prázdnění nádrže (počátek suchého období); mezi těmito body je odtok O roven nalepšenému odtoku O_p . V bodě B, ve kterém narazila součtová čára nelepšeného odtoku ΣO_p na čáru prázdné nádrže, došlo k vyprázdnění zásobního objemu V_z . To znamená, že v nádrži není žádná zásoba vody, která by mohla nalepšovat odtok. Odtok O je až po bod C roven přítoku Q a tím mezi body B a C vzniká porucha provozu určená délkou poruchy τ a množstvím nedodané vody D (hloubkou poruchy). Součtová čára rozdílová odtoku vody z nádrže ΣO je totožná s součtovou čarou rozdílovou prázdné nádrže ΣQ . V bodě C stoupl přítok vody do nádrže nad hodnotu odtoku vody z nádrže a od tohoto okamžiku se nádrž začíná plnit a odtok z nádrže je roven nalepšenému odtoku O_p . Tento proces trvá až do bodu D', kdy se nádrž opět naplní. Od bodu D' je nádrž plná a odtok O se rovná přítoku Q. Tímto postupem je možno v součtových čarách simulovat provoz nádrže a klasifikovat poruchy oproti plánu. Klasifikujeme poruchové roky (rok, v němž se vyskytl alespoň jeden poruchový měsíc) a poruchové měsíce. Zpracované hodnoty dosazujeme do vzorce (11) nebo (12), jejich výpočtem dostáváme zabezpečení podle opakování P_o , podle trvání P_t a podle nedodávky vody P_d . [12]

Odstavce 3.1.1 – 3.1.2, 3.2.1 – 3.2.1 jsou přímé citace ze Starý 2005 a byli použity a rozpracovány v bakalářské práci Banot 2009. [13]

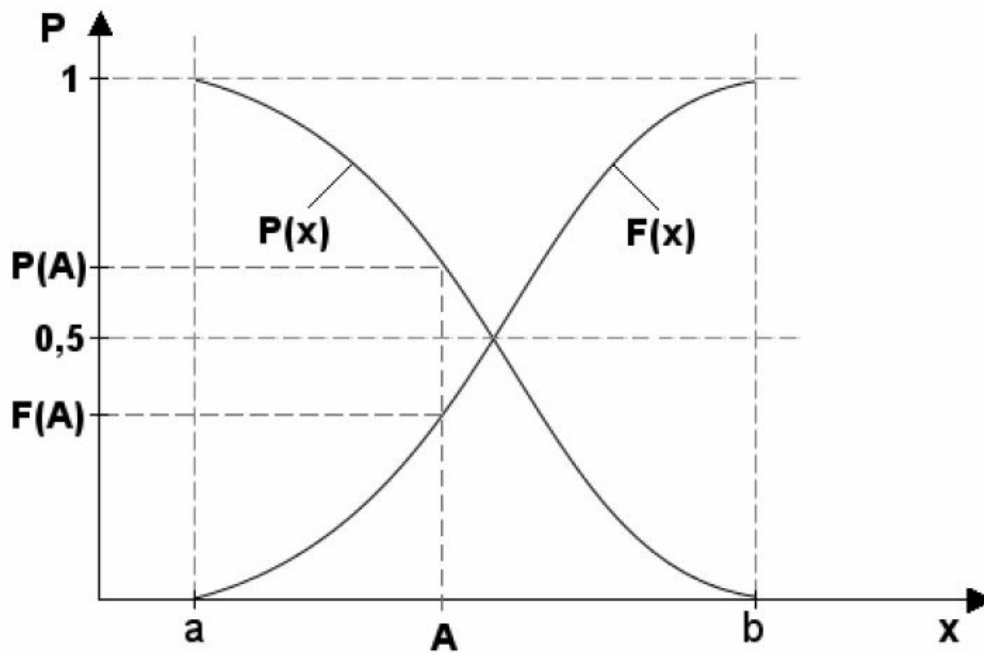
3.3 Čára pravděpodobnosti překročení ročních průtoků

Je-li k dispozici dostatečně dlouhá řada pozorování průměrných ročních průtoků, pak lze zkonstruovat čáru překročení ročních průtoků.

V první části řadíme hodnoty průtoků sestupně a k jednotlivým průtokům stanovíme pravděpodobnost dle Golda nebo Čegodajeva, pravděpodobnosti jsou udávány v %. [14]

$$\text{Gold: } P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (16)$$

$$\text{Čegodajev: } P = \frac{m-0.3}{n+0.4} \times 100 \quad (17)$$



Graf 1 - distribuční funkce $F(x)$ a funkce pravděpodobnosti překročené $P(x)$, (Starý 2005)

3.4 Statistické charakteristiky

- Střední hodnota, μ_x [m^3s^{-1}] – hodnota prvního obecného momentu ($k=1$) se nazývá střední hodnotou. Střední hodnota patří k tzv. charakteristikám polohy, její hodnota je x -ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti.

$$\mu_x = \mu(x) = \mu[x] = m_1[x] = \int_a^b x f(x) dx \quad (18)$$

- Disperze, $D(x)$ [m^6s^{-2}] – základní momentová míra variability, hodnota druhého centrálního momentu ($k=2$) se nazývá disperze neboli rozptyl.

$$D_x = D(x) = D[x] = M_2(x) = m_2(x - \mu_x) = \int_a^b (x - \mu_k)^2 f(x) dx \quad (19)$$

- Směrodatná odchylka, $\sigma(x)$ [m^3s^{-2}] – odmocnina z rozptylu, využívaná hlavně pro popis souborů.

$$\sigma_x = \sigma(x) = \sigma[x] = \sqrt{D_x} \quad (20)$$

- Koeficient variace, $C_v(x)$ [-] – jedná se o bezrozměrnou charakteristiku procentuálně vyjádřenou. Je definován jako podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty..

$$C_{v,x} = \frac{\sigma_{vx}}{\mu_x} \quad (21)$$

- Koeficient asymetrie, $C_s(x)$ [-] - je charakteristika rozdělení náhodné veličiny, která popisuje jeho nesymetrii.

$$C_{s,x} = \frac{M_3(x)}{\sigma^3(x)} \quad (22)$$

- Koeficient excese, $E(x)$ [-] – je mírou koncentrace dat kolem určité hodnoty nebo skupiny hodnot ve srovnání s určitým definovaným rozdělením veličiny. [14]

$$E_x = \frac{M_4(x)}{\sigma^4(x)} - 3 \quad (23)$$

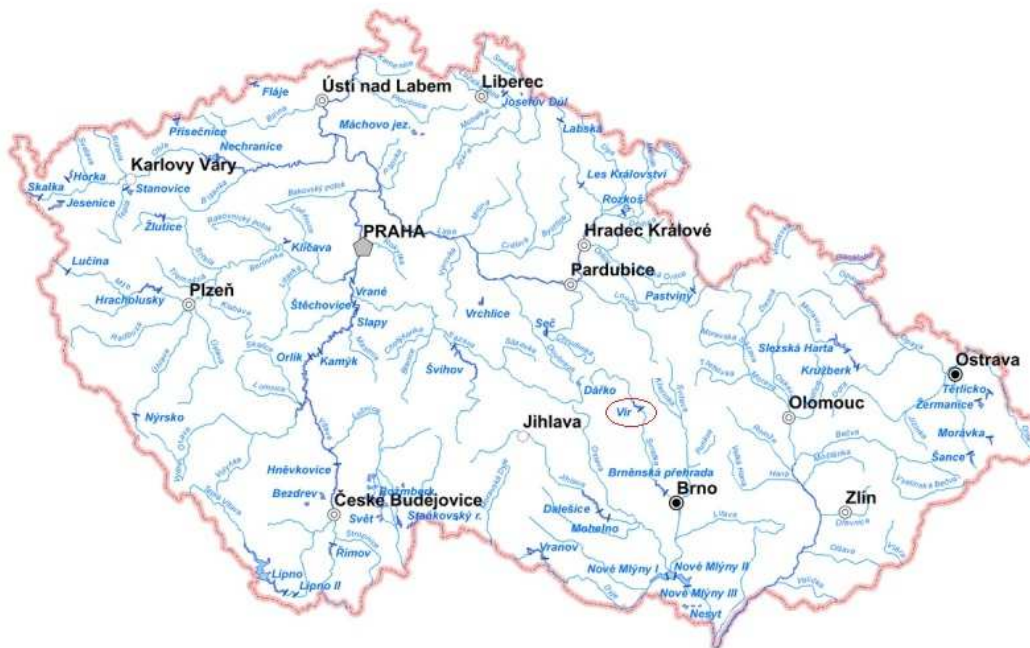
4 Praktické aplikace

4.1 Vodní dílo Vír I.



Obrázek 3 - Vodní dílo Vír I

Vodárenská nádrž Vír I. Leží na řece Svratce v ř. km 114.9, v oblasti Českomoravské vrchoviny. K přehrazení toku se využilo jedno z nejužších míst údolí a obě její krajní stěny jsou ukotveny ve skalách. Silným impulsem pro zahájení projekčních prací byla velká povodeň v roce 1940, kdy voda zatopila domy ve Víru a způsobila velké škody. Se stavbou se započalo roku 1947 a roku 1958 bylo vodní dílo uvedeno do plného provozu. Podle vodoprávního řízení v září roku 1948 měla vodní nádrž Vír vedle povodňové ochrany zajistit vodu pro potřeby brněnského průmyslu a pro závlahové stavby pod Brnem a počítalo se rovněž s jejím energetickým a rekreačním využitím. [15]



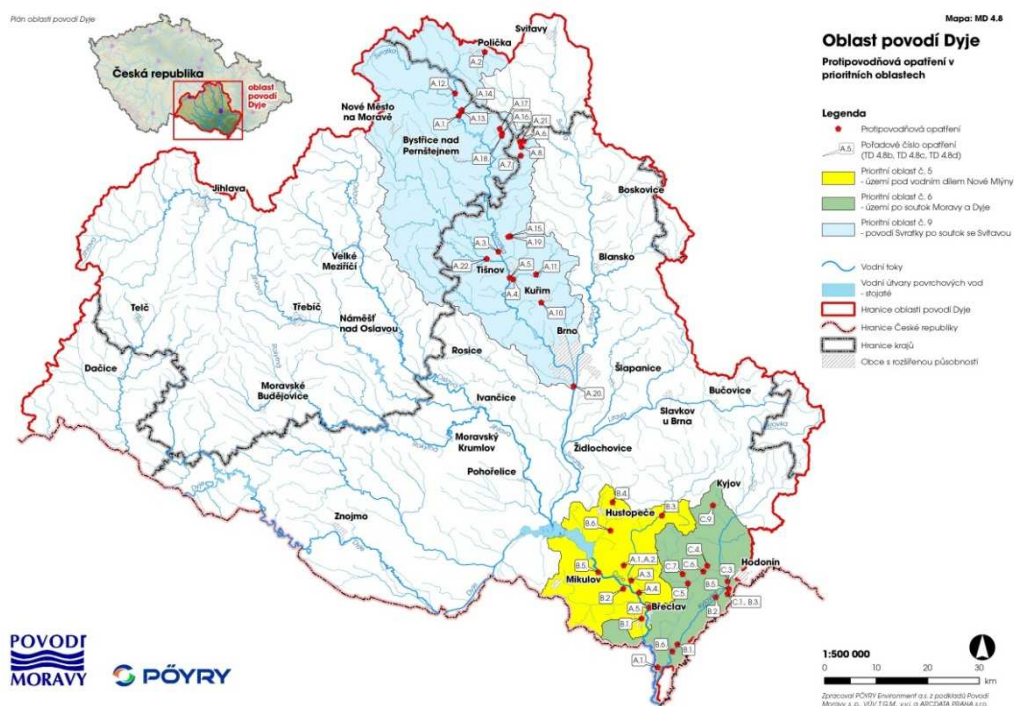
Obrázek 4 - Vodní nádrže ČR – Vír I. poloha

Zachycení povodňových průtoků v nádrži Vír a ochrana území pod hrází se za existence vodního díla projevilo už několikrát. Od uvedení nádrže do provozu byly významné povodně zaznamenány v letech 1970, 1977, 1981, 1985, 1997, 2002 a 2006. Největší z nich byla povodeň v roce 1997. Tehdy měla mimořádný vliv na transformaci povodně právě nádrž Vír, která byla z důvodů stavby odběrného objektu pro Vířský oblastní vodovod předpuštěna v zásobním prostoru o 10 m. Zde se podařilo zadržet veškerý objem povodně s kulminací $168 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, přičemž kulminační přítok do nádrže Vír dosahuje při Q_{100} hodnoty $155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a transformační účinek zaručuje snížení tohoto průtoku pod hrází na $105 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Samotný odtok pod hrází činil pouhých $35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a to s takovým časovým zpožděním, že podpovodí bylo bezpečně ochráněno. [16]

K průběžnému sledování průtoků prostoru VD Vír, a to nejen v době povodní, slouží 7 limnigrafů (na konci vzdutí pod Dalečínem, pod denní vyrovnávací nádrží, pod vyústěním odpadu z vodní elektrárny Vír II. a pod vyrovnávací nádrží Vír II.), které jsou součástí monitorovací sítě dispečinku Povodí Moravy, s. p. [16]

4.2 Hydrologie

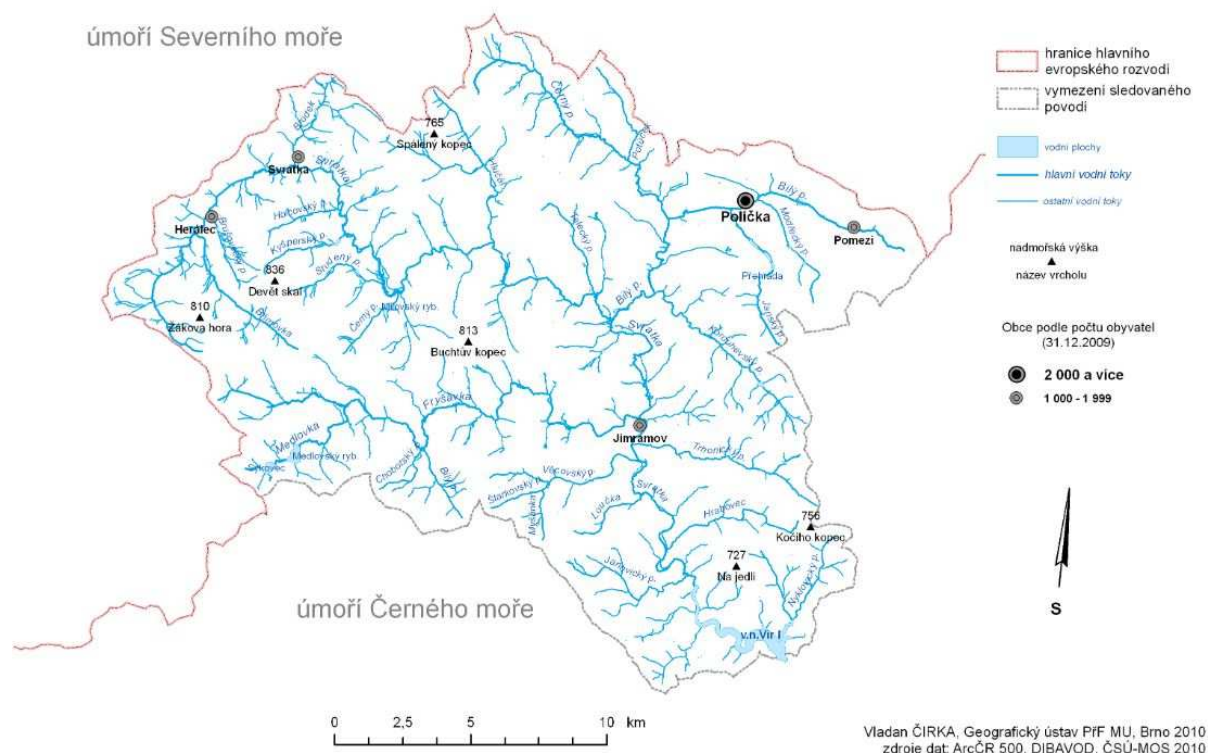
Sít' vodních toků v povodí řeky Svratky nad Vířskou přehradou a hranice hlavního evropského rozvodí. Povodí Svratky nad Vířskou přehradou má rozlohu 410.5 km^2 . To představuje necelých 10 % rozlohy povodí řeky Svratky ($4\,115 \text{ km}^2$), která má celkovou délku 174 km a je levobřežním přítokem řeky Dyje, přičemž místo soutoku tvoří v současné době vodní nádrž Nové Mlýny II. [17] Dyje, která má včetně Moravské Dyje délku 306 km a plochu povodí $13\,419 \text{ km}^2$, je pak pravobřežním přítokem řeky Moravy. Morava má celkovou plochu povodí $26\,580 \text{ km}^2$ a délku 353 km, resp. $21\,133 \text{ km}^2$ a 284 km na území České republiky. [18]



Obrázek 5 - povodí Dyje

Z toho vyplývá, že z celkového hydrologického pohledu je význam povodí Svatky nad Vírskou přehradou velký pouze v případě povodí samotné řeky Svatky. Podíl rozlohy sledovaného povodí na celkové rozloze povodí Svatky umocňuje fakt, že se jedná o oblast pramenné zdrojnice řeky Svatky a že ve sledovaném povodí jsou v průměru vyšší srážkové úhrny než ve zbývajícím území povodí řeky Svatky. [18]

Koeficient tvaru charakterizovaného povodí vypočtený poměrem plochy povodí (410.5 km^2) k druhé mocnině délky vodního toku (60 km) má hodnotu asi 0.115, což představuje protáhlý tvar povodí. Říční síť v povodí Svatky nad Vírskou přehradou je znázorněna na obrázku 3. Jedná se o stromovitý typ říční sítě, kde je hlavní tok reprezentovaný Svatkou, oboustranně střídavě posilován přívodem vody přítoků, což přispívá k rovnoměrnému růstu jeho vodnosti a k rovnoměrnějšímu časovému rozložení průtoků. [19]



Obrázek 7 - povodí Svatky

Specifický odtok je závislý na řadě faktorů, především na celkovém úhrnu atmosférických srážek, sklonu svahů nebo na charakteru půdního a vegetačního pokryvu. V povodí dosahuje nejvyšších hodnot v oblasti Žďárských vrchů, kde v průměru odteče $10\text{--}15\text{ l/s/km}^2$. Na většině území povodí dosahuje specifický odtok hodnot $7.5\text{--}10.0\text{ l/s/km}^2$, v rovinatějších oblastech v severovýchodní části povodí se pak jeho hodnota pohybuje v rozmezí $5.0\text{--}7.5\text{ l/s/km}^2$. [20]

Hlavním tokem v povodí je řeka Svatka, která má po hrázový profil ve Víru délku 60 km. Pramení ve výšce 770 m n. m. na svazích Žákovy hory a Křivého javoru. Absolutní spád toku od pramene k profilu Vír činí 366 m, čemuž odpovídá relativní podélný sklon koryta Svatky 6.1 %. Dlouhodobý průměrný roční průtok ve Víru je $3.6\text{ m}^3\text{s}^{-1}$, přičemž kolísání okamžitého průtoku je v současnosti ovlivněno existencí přehrady a manipulacemi na ní. Minimální průtoky klesají až k hodnotě $0.4\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a maximální takzvané stoleté průtoky Q100 dosahují hodnot $155\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Poměr minimálních k maximálním průtokům je 1:545, což poukazuje na značnou rozkolísanost.

Nejvodnatějším přítokem řeky Svatky v charakterizovaném povodí je Bílý potok, který má plochu povodí 100.7 km^2 a do Svatky se vlévá z levé strany u Lačnova, části obce Korouhev. Největším pravostranným přítokem je Fryšávka s délkou 22 km a plochou povodí 66.8 km^2 , která se vlévá do Svatky v Jimramově. Dalšími významnými pravostrannými přítoky jsou Břímovka, Černý potok, který protéká Milovským rybníkem a Věcovský potok, z levostranných přítoků Hlučál a Trhonický potok. Černý potok je největším pravostranným, Korouhevský potok největším levostranným přítokem Bílého potoka. Medlovka je pravostranný přítok Fryšávky a protéká dvě největší vodní plochy po přehradní nádrži Vír I

v povodí: rybníky Medlov o rozloze 21.8 ha a objemu 0.599 mil. m³ a Sykovec s rozlohou 13.8 ha a objemem 0.392 mil. m³. [21]

4.3 Klima

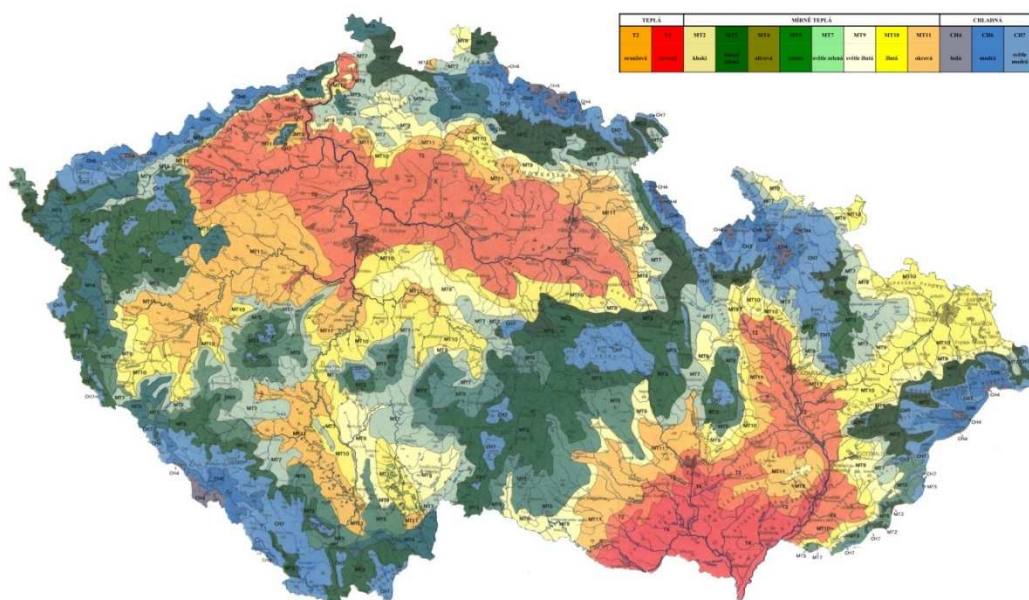
Podle Atlasu podnebí ČSR (1958) se většina území povodí Svratky nad Vírskou přehradou nachází v mírně chladné oblasti C1. Jedná se především o území s vyšší nadmořskou výškou, konkrétně o oblast Žďárských vrchů nacházející se v západní části sledovaného povodí. Východní část spadá do klimatické oblasti B10, tedy mírně teplé, velmi vlhké, vrchovinné, a B8, tedy mírně teplé, vlhké, vrchovinné.

„Novější vymezení klimatických oblastí podle E. Quitta (1971) vychází navíc ještě z dalších klimatických ukazatelů, jako je například počet dnů s charakteristickou teplotou vzduchu, počet dnů s určitým úhrnem srážek, trvání slunečního svitu, průměrná teplota nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce nebo počet dnů se sněhovou pokrývkou. Podle této klasifikace většina území sledovaného povodí náleží do chladné klimatické oblasti CH7, jihovýchodní a severovýchodní okraj povodí pak náleží do mírně teplé oblasti MT3.

Pro chladnou oblast CH7 je typické velmi krátké až krátké léto, které je mírně chladné a vlhké. Přechodné období je dlouhé, mírně chladné jaro a mírný podzim. Zima je dlouhá, mírná, mírně vlhká s dlouho trvající sněhovou pokrývkou. Pro mírně teplou oblast MT3 je charakteristické krátké léto, mírné až mírně chladné, suché až mírně suché.

Přechodné období je normální až dlouhé s mírným jarem a mírným podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky.

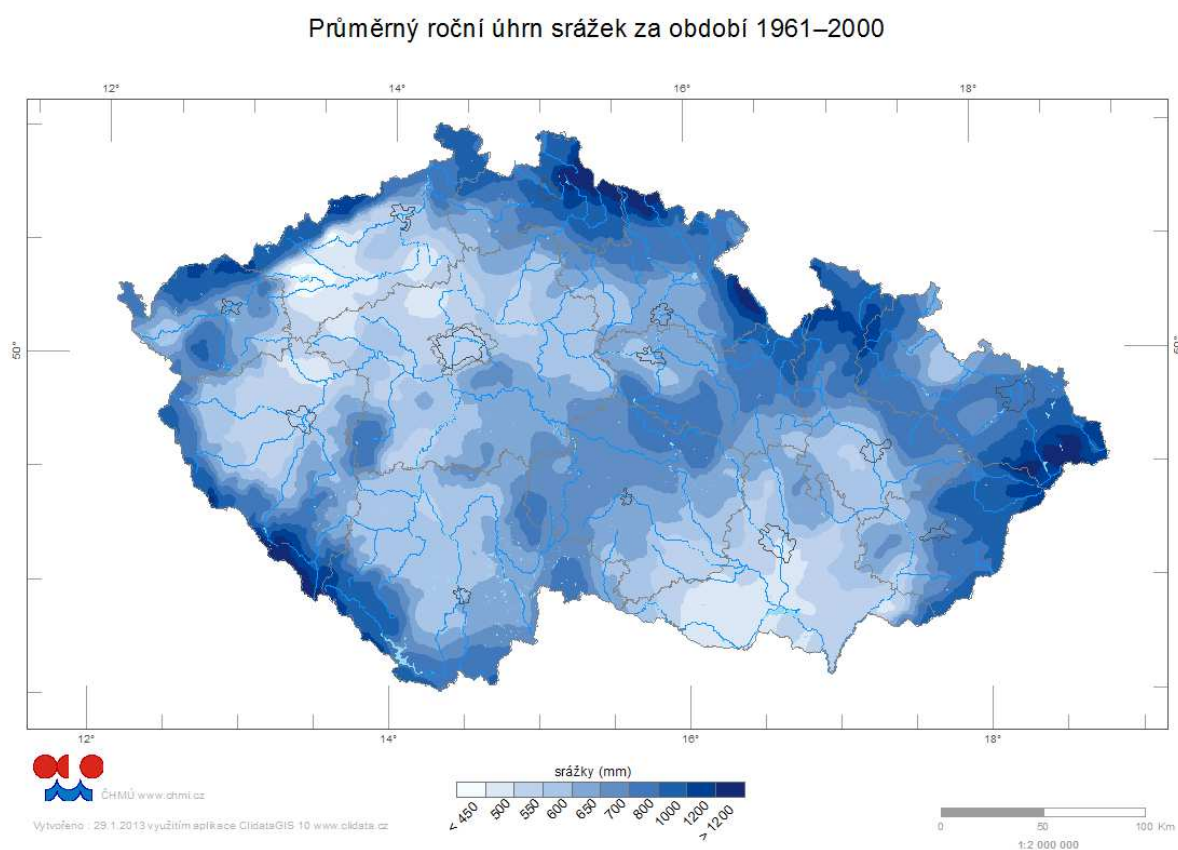
Vybrané charakteristiky klimatických oblastí v povodí Svratky nad Vírskou Přehradou“ [22]



Obrázek 8 - Mapa klimatických poměrů ČR

Průměrný roční počet srážkových dnů s úhrnem srážek nad 10 mm se pohybuje v západní části povodí v rozmezí 18–22 mm, ve východní části pak mezi 14–18 mm. Průměrné datum první sněhové pokrývky je silně závislé na nadmořské výšce, proto ve výše položených oblastech sledovaného povodí v oblasti Žďárských vrchů napadne první sníh v průměru mezi 1. 11. - 11. 11., v níže položených oblastech pak 11. 11. - 21. 11. Průměrný roční sytostní doplněk, který udává rozdíl mezi tlakem nasycené vodní páry při dané teplotě vzduchu a skutečným tlakem vodní páry při téže teplotě, dosahuje v západní části povodí hodnot 2.5–3 hPa. Poukazuje tedy na menší potenciál výparu v porovnání s východní částí charakterizovaného povodí, kde tento ukazatel dosahuje hodnot v rozmezí 3–3.5 hPa. [18]

Přímo na hranici povodí Svatky nad Vířskou přehradou, v nadmořské výšce 733 m, se nachází profesionální meteorologická stanice Svatouch, která byla zřízena v roce 1951. Průměrná roční teplota vzduchu na stanici je 5,7 °C s průměrným ročním úhrnem srážek 750,9 mm. 27. 7. 1983 byla naměřena maximální teplota vzduchu 33,9 °C, minimální teplota vzduchu byla -30, °C a byla zaznamenána 9. 2. 1956. Maximální srážkový úhrn za jeden den byl naměřen 13. 8. 2002 a činil 106.4 mm. [23]



Obrázek 9 - Mapa průměrného srážkového úhrnu ČR

4.4 Technické charakteristiky VD Vír I.

4.4.1 Technické parametry

Jedná se o gravitační betonovou hráz s osou v oblouku o poloměru 305.7 m. V příčném řezu na návodní straně je sklon hráze 0.05 m a na vzdušné straně se sklonem 0.75 m. Délka hráze v koruně je 390.0 m a samotná výška hráze nade dnem činí 66.2 m. Součástí VD Vír I. je také vodní elektrárna.

Rozdělení prostoru nádrže a výškové kóty hladin

Tabulka 4 - Prostor stálého nadržení

kóta dna údolí	401.45 m n.m.
kóta hladiny stálého nadržení	421.45 m n. m.
objem prostoru stálého nadržení	3 800 000 m ³
zatopená plocha při hladině stálého nadržení	42.8 ha

Tabulka 5 - Prostor zásobní

kóta minimální hladiny zásobního prostoru	421.45 m n. m.
kóta max. hladiny zásobního prostoru	464.45 m n. m.
objem zásobního prostoru	44 056 000 m ³
zatopená plocha při max. hladině zásobního prostoru	194 ha

Tabulka 6 - Retenční ovladatelný

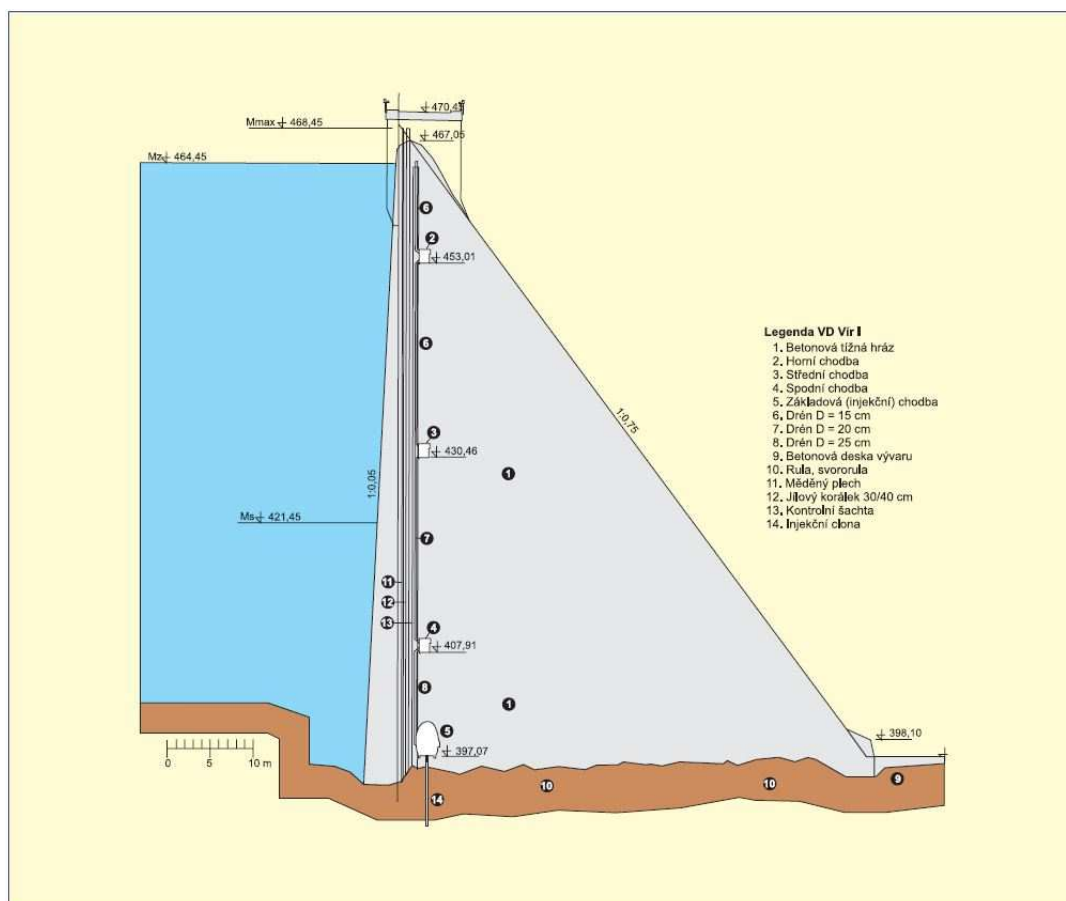
kóta min. hladiny ovladatelného retenčního prostoru	464.45 m n. m.
kóta max. hladiny ovladatelného retenčního prostoru	467.05 m n. m.
objem ovladatelného retenčního prostoru	5 286 00 m ³
zatopená plocha při max. hladině ovladatelného prostoru	212.,20 ha

Tabulka 7 - Prostor retenční neovladatelný

kóta min. hladiny neovladatelného r. prostoru (koruna přepadu)	467.05 m n. m.
kóta max. hladiny neovladatelného r. prostoru	468.45 m n. m.
objem neovladatelného retenčního prostoru	3 051 00 m ³
zatopená plocha při max. hladině	223.60 ha

Tabulka 8 - Celkový prostor

maximální hladina	468.45 m n. m.
celkový objem nádrže	56 193 00 m ³
celková zatopená plocha	223.60 ha



Obrázek 10 - Příčný řez nádrží Vir I.

4.4.2 Výpustná a odběrná zařízení

Spodní výpusti se skládají ze dvou ocelových potrubí DN 1800 mm délky 57 m, při maximálním nadržení na kótě přelivu je průtočná kapacita výpustí $2 \times 38.00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Bezpečnostní přeliv je korunový nehrazený. Skládá se z pěti polí o šířce 12.1 m. Celková délka přelivu má délku 60.5 m. Kapacita přelivu při max. bezpečnostní hladině 468.45 m n. m. je $180 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, kapacita přelivu při dosažení hladiny v úrovni mostovky nad přelivem ($h=2.4 \text{ m}$) 469.45 m n. m. je $898.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. [24]

4.4.3 Vodní elektrárna

Je situována na pravé straně tížní hráze. Skládá se ze dvou turbín systému Francis. Hlavní o hlnosti $12.00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (původní turbína) o instalovaném výkonu soustrojí TG1 6 MW, druhá je určena na průběžný provoz o hlnosti $2.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a výkonu 1150 kW.

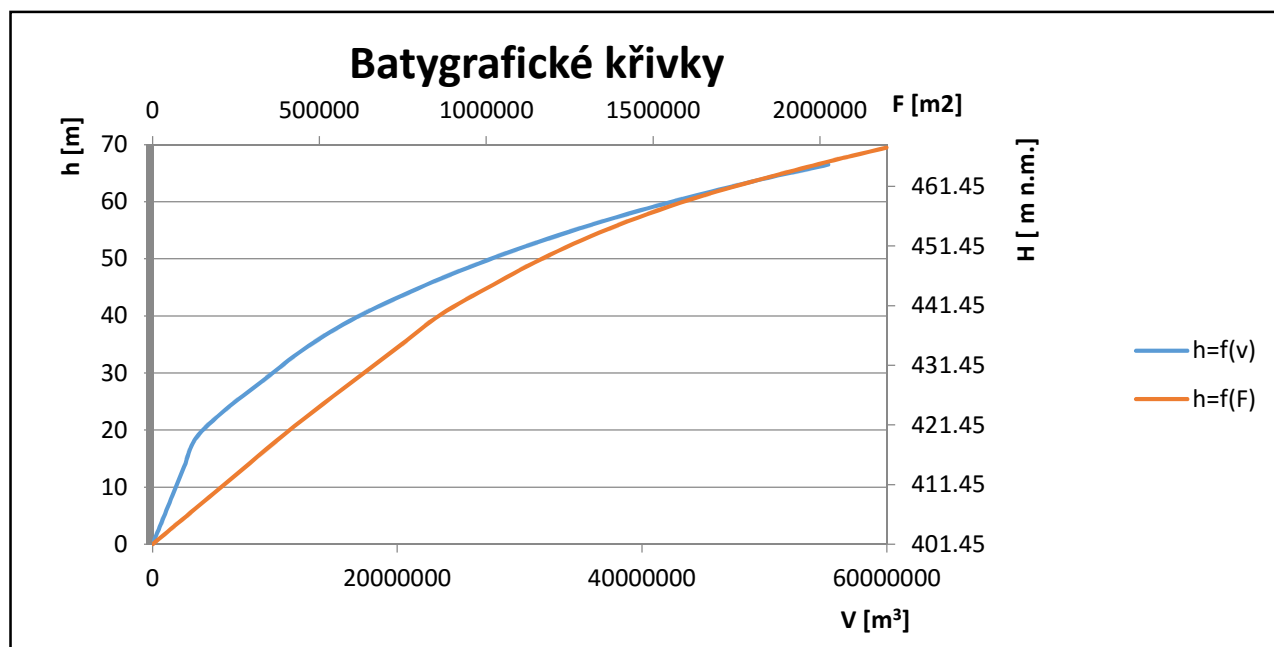
4.4.4 Batygrafické čáry

„Morfologii údolí popisujeme pomocí batygrafických čar. Definujeme je jako čáry zatopených objemů a čáry zatopených ploch, kterými charakterizujeme nádrž. Čára zatopených ploch udává závislost mezi výškou plnění nádrže H a příslušnou plochou hladiny F odpovídající plnění. Čára zatopených objemů udává závislost mezi výškou plnění nádrže a příslušným zatopeným objemem V . Při konstrukci těchto čar je prvotní čára zatopených ploch. Samotná konstrukce batygrafických čar je přibližná, záleží na přesnosti a měřítku použitých podkladů a na volbě velikosti ΔH .

Pokud přísun splavenin a nárůst organické hmoty výrazně ovlivní objem nádrže a nepočítá se s jejich odstraňováním, je třeba upravit čáru zatopených ploch a čáru zatopených objemů, tak aby rozdíl proti předpokládané skutečnosti k příslušné časové úrovni vodohospodářského řešení nepřesáhl 5 %.“ [25]

Tabulka 9 - Data k batygrafickým čarám

H [m n. m.]	h [m]	F [m ²]	V [m ³]
401,45	0	0	0
405	3,55	75970	674500
410	8,55	182970	1624500
415	13,55	289970	2574500
420	18,55	396970	3524500
425	23,55	511358	5932921
430	28,55	628763	8937035
435	33,55	746168	11941149
440	38,55	863823	15592194
445	43,55	1020390	20327901
450	48,55	1190025	25844384
455	53,55	1394932	32290775
460	58,55	1652386	39889116
465	63,55	1979469	48938580
468	66,55	2199357	55211100



Graf 2 - Batygrafické křivky

4.5 Manipulace s vodou, Manipulační řád

„Za normálních okolností je doporučeno v závislosti na průtocích a odběrech udržovat hladinu co nejvýše na úrovni $V_{z, \max.} = 464.45$ m n. m.

Neúčelné vypouštění vody ze zásobního prostoru nádrže se nepřipouští. V době kdy nebudou oba povolené vodárenské odběry využívat plná množství zaručená manipulačním řádem, tj. 0.200 a $1.100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, bude nevyužitá množství vypouštěno do toku pod nádrží pro nalepšení minimálních průtoků a zároveň využito pro energetiku, nebo bude použito k rychlejšímu plnění zásobního prostoru. Odebíraná množství v měsíčních krocích vyhodnocuje vodohospodářský dispečink PM a určuje operativně pro další období nalepšení do toku s měsíčním bilančním vyrovnaním. Úpravy režimu vypouštění konzultuje vodohospodářský dispečink s E.ON Trend s.r.o.

Při rozhodování o rozdělení nevyužitých vodárenských odběru se zohledňuje rovněž režim pro Pstruhařství v Uničově ($1.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, min $1.1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) a dále i povolený provoz MVE na toku (Dřevo Koroužné).

Stanovené mezní hodnoty pro provoz VD Vír I. S výjimkou převádění povodňových průtoků a případů v souladu manipulačním řádem, nesmí být překročena max. zásobní hladina. Při jejím překročení, kde odpovídá hladina kótě 468.45 m n. m., se uvádí do provozu veškerá funkční výpustná zařízení. Maximální povolený odběr k vodárenským účelům zahrnuje VOV s.m.o. pro VOV v průměrném množství 1800 ls^{-1} , Svaz vodovodů a kanalizací Žďársko 200 ls^{-1} , s denním maximem 220 ls^{-1} . Maximální pokles hladiny při vypouštění je stanoven k hodnotě 3 m/den. , týdenní maximum je na 10 m/týden .

Neškodný průtok v toku pod nádrží je stanoven na $55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a nebezpečný průtok v toku pod nádrží $90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.“ [24]

Následující kroky obsahují srovnání výpočtů z reálné průtokové řady a umělé průtokové řady. Toho srovnání je vzhledem k manipulačnímu řádu, kde se uvažuje $O_p = 2.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a $V_z = 44\,056\,000 \text{ m}^3$. Zabezpečení dle trvání (P_t) 99.59% za časové období 1931 – 1991. Toto časové období obsahuje 732 měsíců z toho 3 krát nádrž plně selhala (0.41%).

4.6 Vyhodnocení

4.6.1 Generátory umělých průtokových řad

Slouží k vygenerování umělých průtokových řad z reálné průtokové řady. Dále pro vyhodnocení jednotlivých statistických charakteristik počítané řady. Výstupy se reprezentují tabelárně zpracované UPŘ o požadované délce a grafické ztvárnění dané řady v porovnání s reálnou průtokovou řadou.

4.6.1.1 Charakteristika reálné průtokové řady

Reálná průtoková řada je složena z hodnot naměřených v letech 1950 – 2010.

Tabulka 10 - Statistické charakteristiky reálné průtokové řady

	$\mu(x)$	$D(x)$	$\sigma(x)$	$Cv(x)$	$Cs(x)$	$E(x)$
	$[m^3s^{-1}]$	$[m^6s^{-1}]$	$[m^3s^{-1}]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$
1	3.301492	4.399233	2.097435	0.635299	1.190667	5.596723
2	4.281704	8.952481	2.99207	0.698803	1.052629	3.63661
3	6.719296	11.43549	3.38164	0.503273	0.877812	2.965155
4	6.037248	12.38343	3.51901	0.582883	1.622378	6.357605
5	3.497901	4.053007	2.013208	0.575548	1.256362	4.839184
6	2.490475	2.385377	1.544467	0.620149	1.821944	13.66799
7	2.643181	10.0263	3.166433	1.197963	5.166802	34.93907
8	1.881295	1.946346	1.395115	0.741572	1.398958	18.94287
9	1.688131	1.359982	1.166183	0.690813	1.958218	-10.9804
10	1.792721	1.297972	1.139286	0.635506	1.848727	-8.05863
11	2.319902	2.116389	1.454781	0.627088	1.219049	11.48921
12	3.225885	4.916822	2.217391	0.687375	2.400983	13.0819

4.6.1.2 Výstupy z generátorů, umělé průtokové řady

Program LRM soft generuje UPŘ pomocí Markovského řetězce o délce 1-12. Pro účely bakalářské práce byly generovány řady o velikostech 100, 500, 1 000 a 10 000let.

Program Synthe generuje UPŘ pomocí generátorů (modelů) AR, LNAR, LTAR, LNMA, LTMA a LRM (lineárně regresivní model), pro účely bakalářské práce byly rovněž generované UPŘ o délkách 100, 500, 1 000 a 10 000let ve veškerých modelech.

Výsledné generované řady byly porovnány s průběhem RPŘ. Díky proložení čar pravděpodobnosti překročení UPŘ s RPŘ a porovnání statistických charakteristik byl vybrán jeden nejpřesnější generátor z každého programu.

UPŘ o délce 10 000let z programu LRMsoft o délce Markovova řetězce 4, nejvíce odpovídá průběhu RPŘ. Pro program Synthe byl vybrán generátor LNMA o délce UPŘ 10 000let.

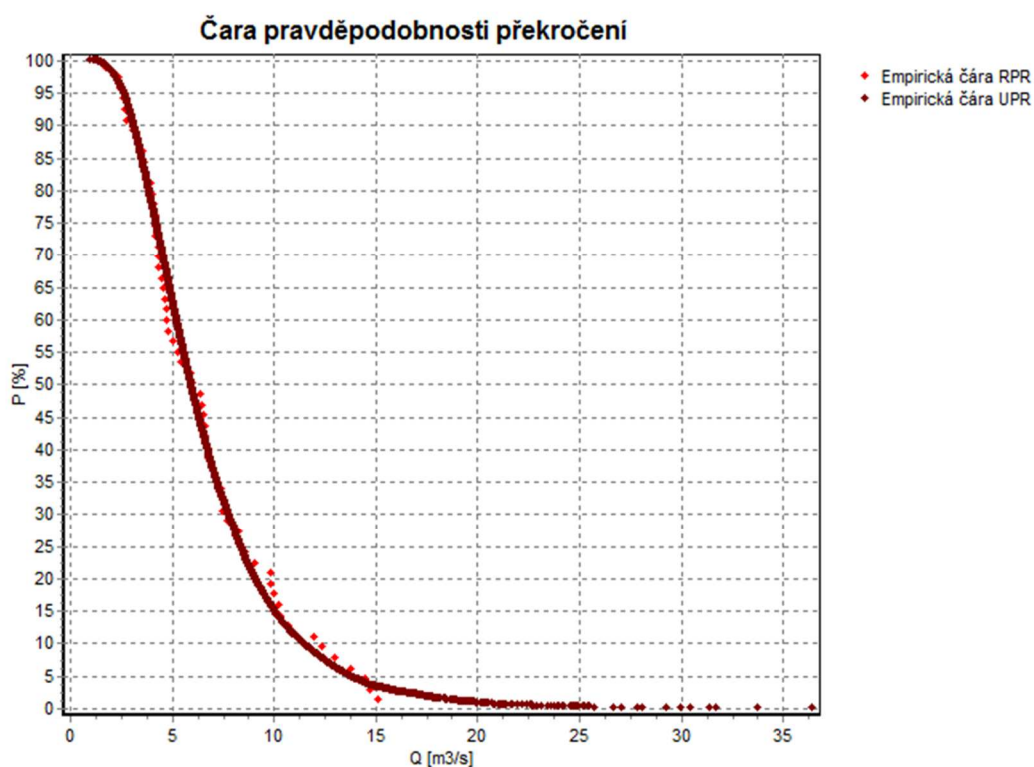
Tabelární vyhodnocení

Tabulka 11 - Statistické charakteristiky, LRMsoft, UPŘ 10 000let

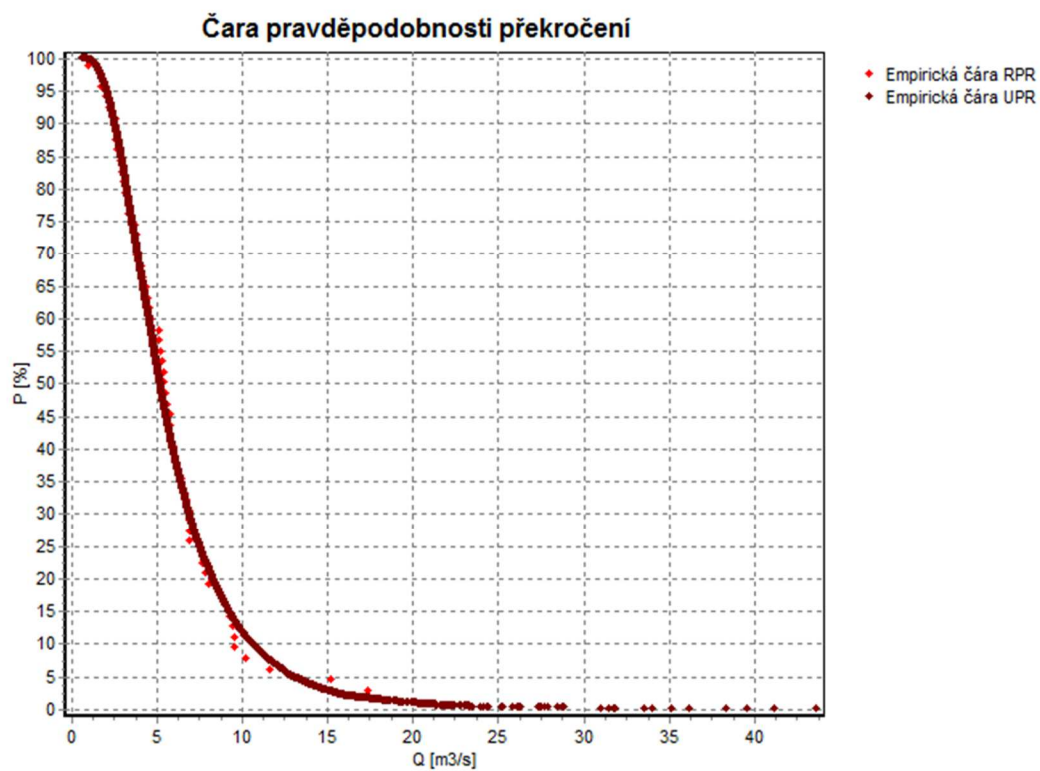
	$\mu(x)$ [m ³ s ⁻¹]	D(x) [m ⁶ s ⁻¹]	$\sigma(x)$ [m ³ s ⁻¹]	Cv(x) [-]	Cs(x) [-]	E(x) [-]
1	3.507196	8.765936	2.960732	0.844188	2.938299	19.89201
2	4.413868	16.36633	4.045532	0.916551	4.06534	40.04945
3	6.765085	12.56436	3.544624	0.523959	1.638151	7.576932
4	6.1005	13.75025	3.708133	0.607841	2.080586	11.07471
5	3.504155	4.064794	2.016134	0.575355	1.825538	10.74216
6	2.46002	1.988451	1.410124	0.573217	1.746962	32.8883
7	2.465756	3.555034	1.88548	0.764666	2.537983	19.0541
8	1.869785	1.873603	1.368796	0.732061	2.242143	78.21721
9	1.678077	1.090407	1.044226	0.622275	1.9347	-6.02773
10	1.793335	1.027432	1.013623	0.565217	1.714776	-4.32492
11	2.320231	2.003487	1.415446	0.610045	2.147201	56.32013
12	3.297698	5.124334	2.263699	0.686448	2.386667	15.8698

Grafické vyhodnocení

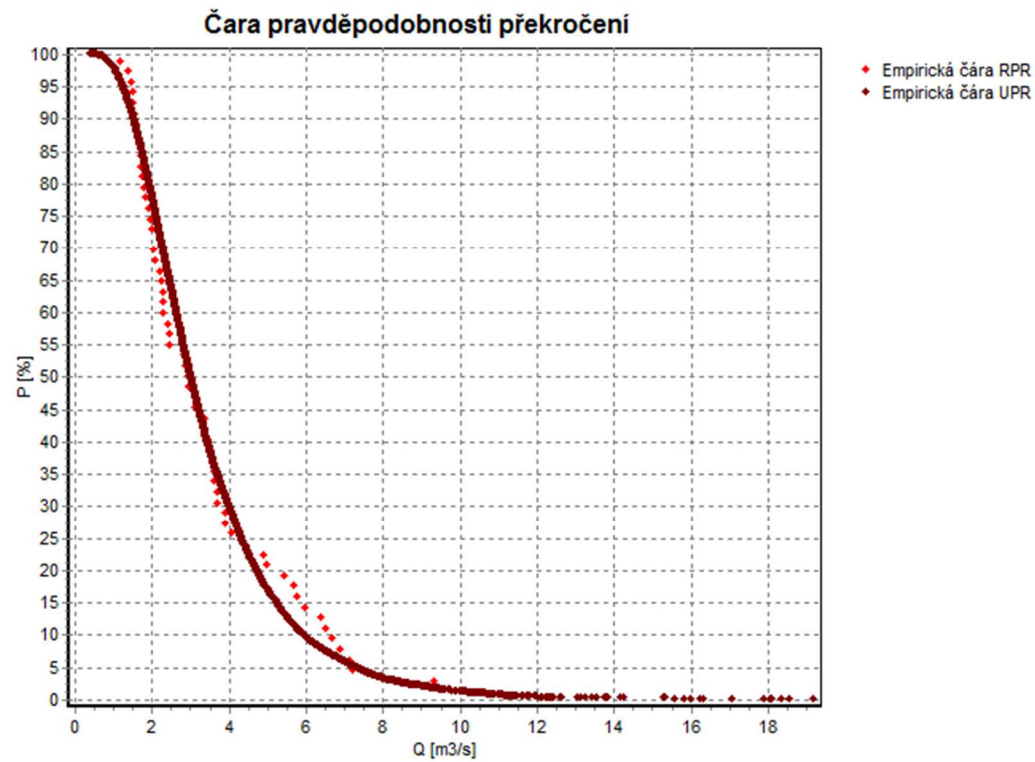
Grafy vyjadřují čáry pravděpodobnosti překročení průměrných měsíčních průtoků. Jednotlivé empirické čáry charakterizují shodu umělé průtokové řady a reálné průtokové řady v jednotlivých měsících. Měsíce jsou řazeny dle kalendářního roku.



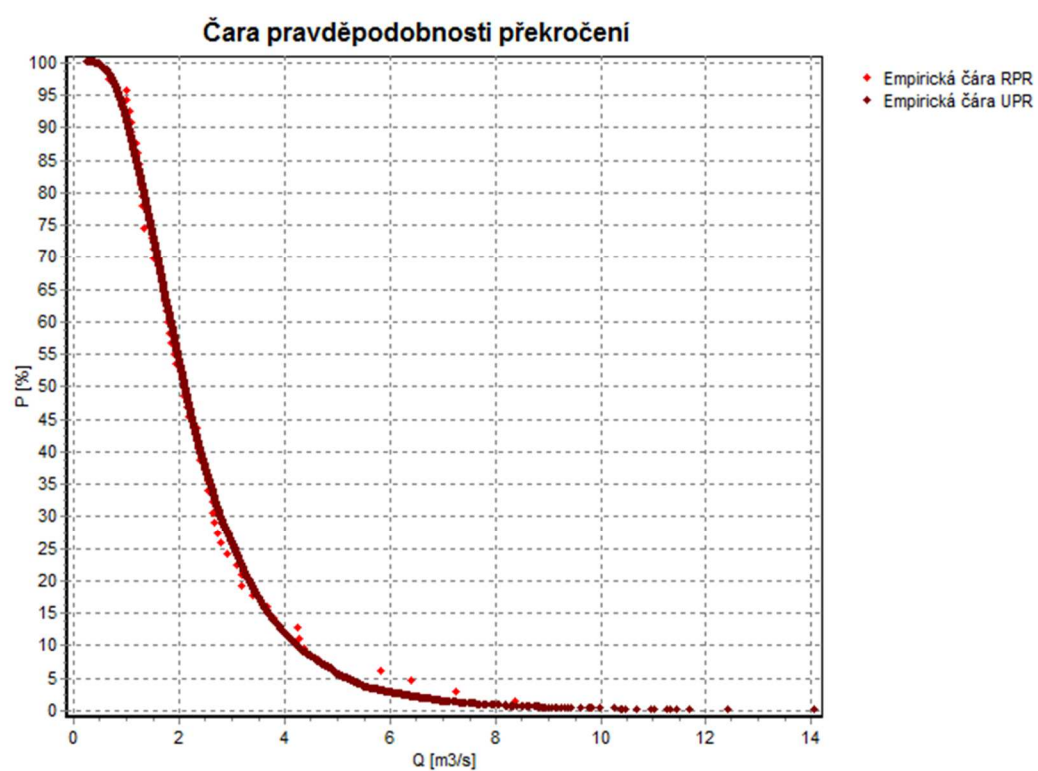
Obrázek 11 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Leden



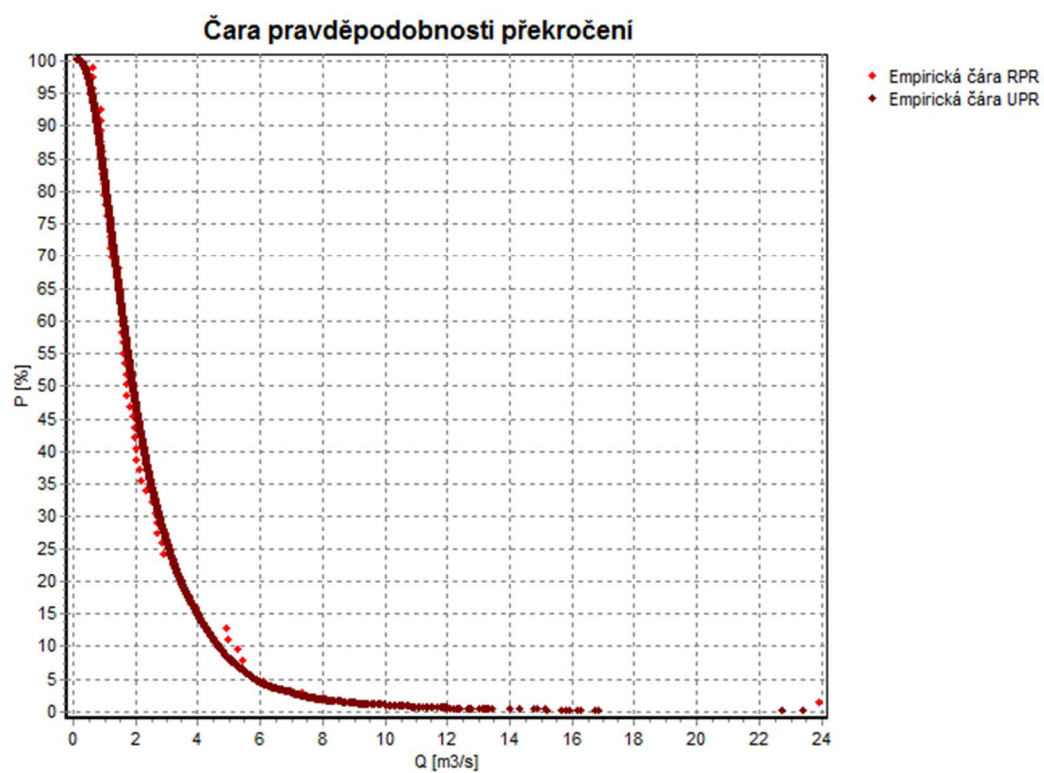
Obrázek 12 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Únor



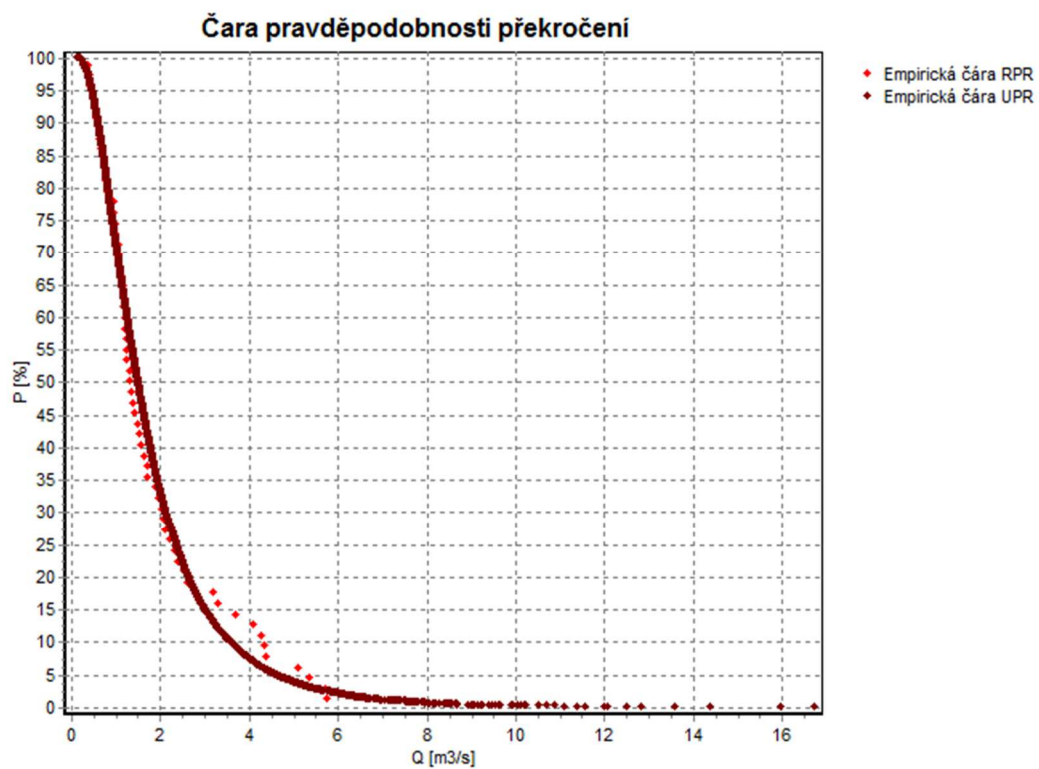
Obrázek 13 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Březen



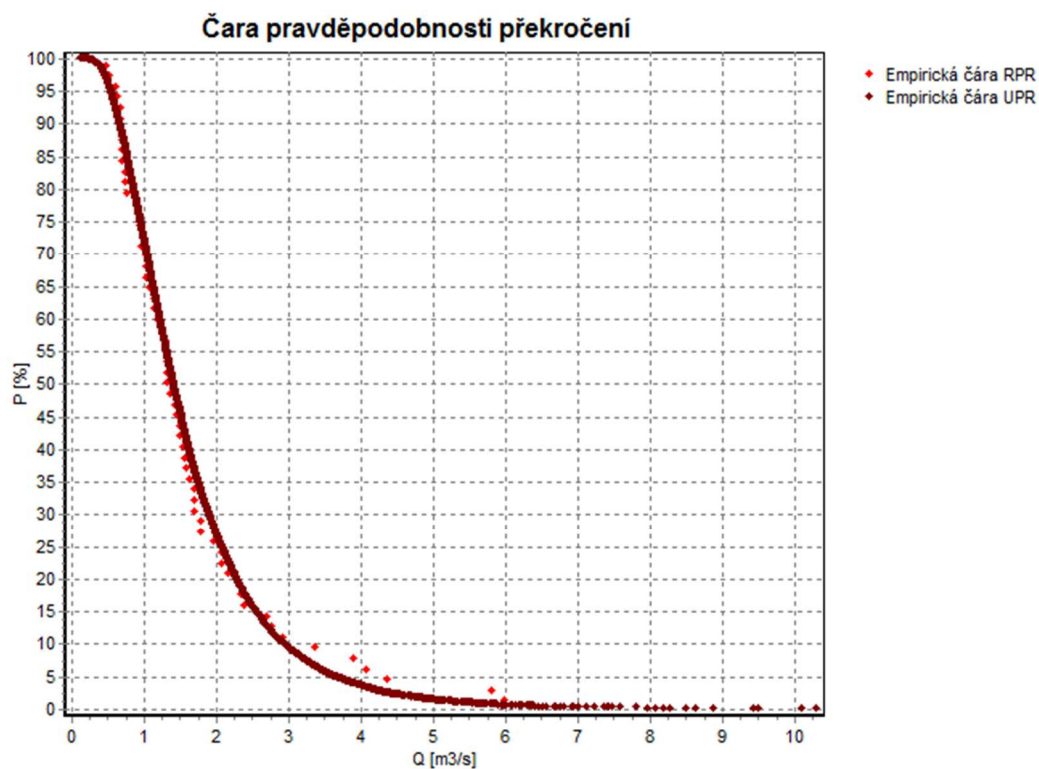
Obrázek 14 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Duben



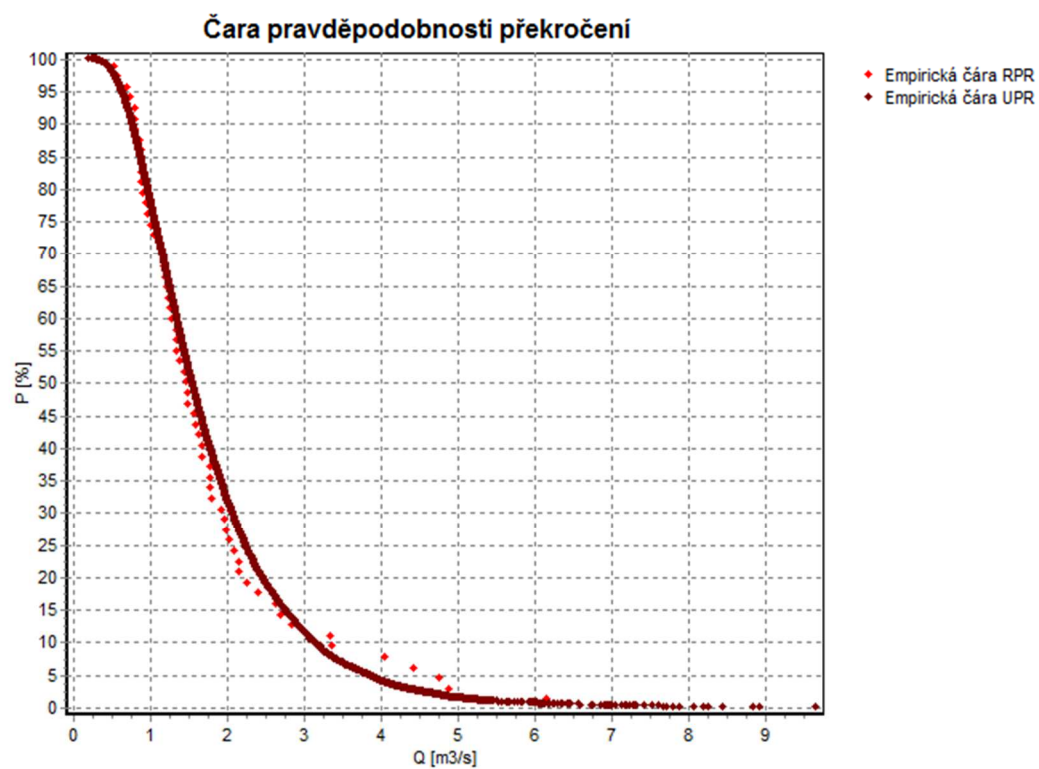
Obrázek 15 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Květen



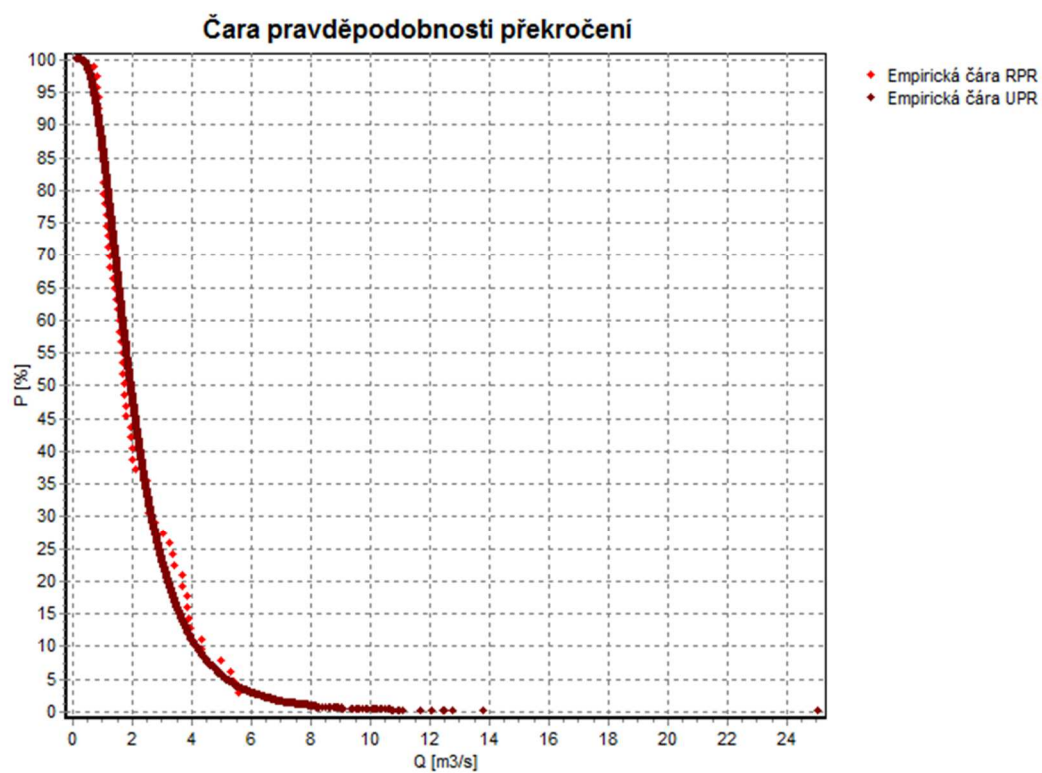
Obrázek 16 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Červen



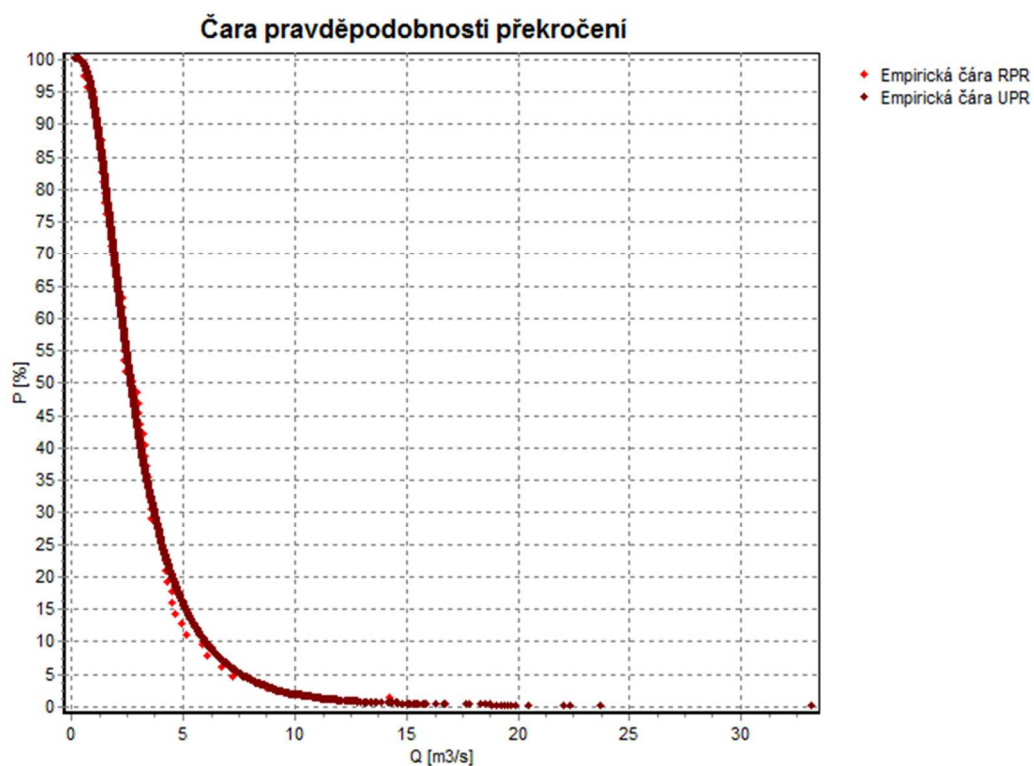
Obrázek 17 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Červenec



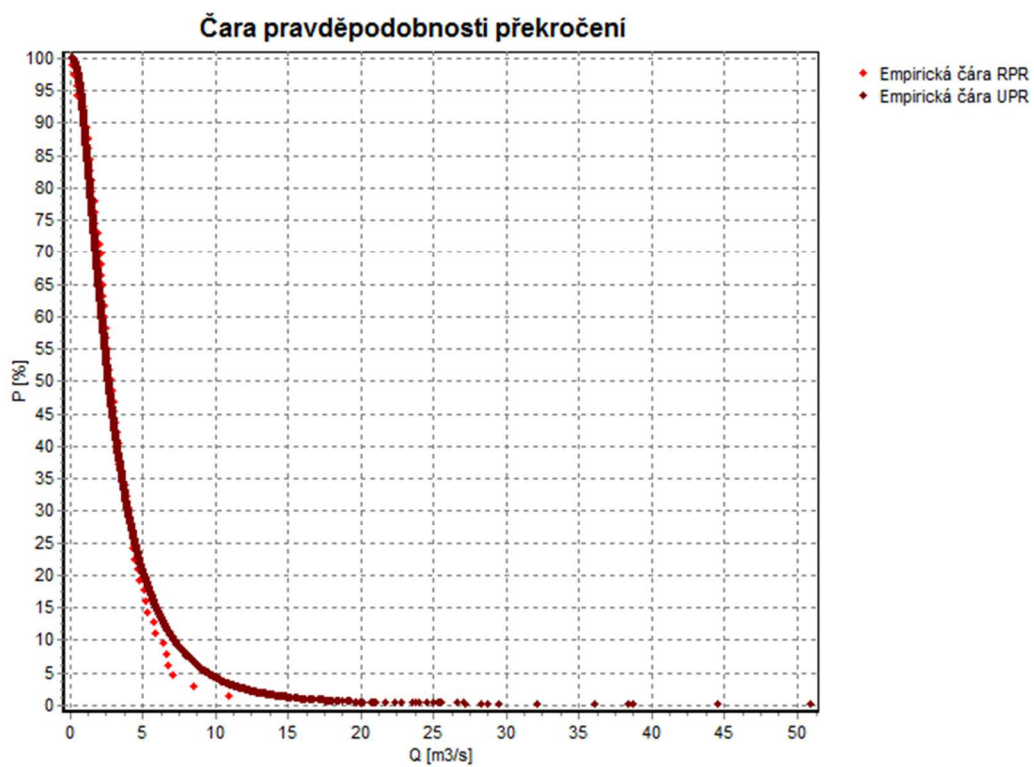
Obrázek 18 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Srpen



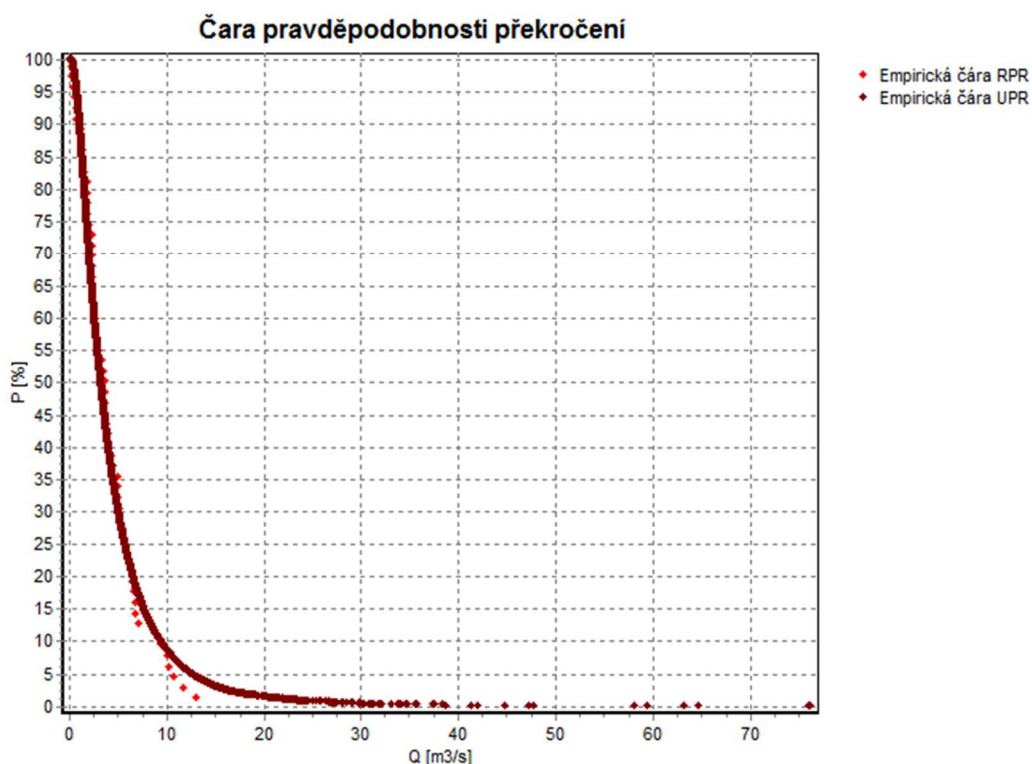
Obrázek 19 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Září



Obrázek 21 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Říjen



Obrázek 20 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Listopad



Obrázek 22 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Prosinec

4.6.2 Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže Vír I

V první části kapitoly 4.6.3 jsou řešena data RPŘ sloužící jako podklad pro výpočet O_p a V_z . Výsledné O_p a V_z porovnáváme se skutečnými hodnotami uvedenými v manipulačním řádu nádrže.

Druhá část se zabývá výpočtem V_z z daného $O_p = 2.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, zde jako podklad k výpočtu slouží vygenerované umělé průtokové řady o délce 10 000 let, které jsou zobrazeny jako printscreen výstupů programu ZFN.

Ve třetí části je porovnáván zadaný zásobní objem z manipulačního řádu s vypočteným O_p , pro nejbližší hodnotu $V_z = 44\,056\,000 \text{ m}^3$.

V kapitole 4.6.4 je řešena úloha č. 2, kde jsou porovnávány zabezpečení dle trvání ze zadaných i hledaných O_p .

4.6.3 Úloha č. 1 – V_z (O_p , P)

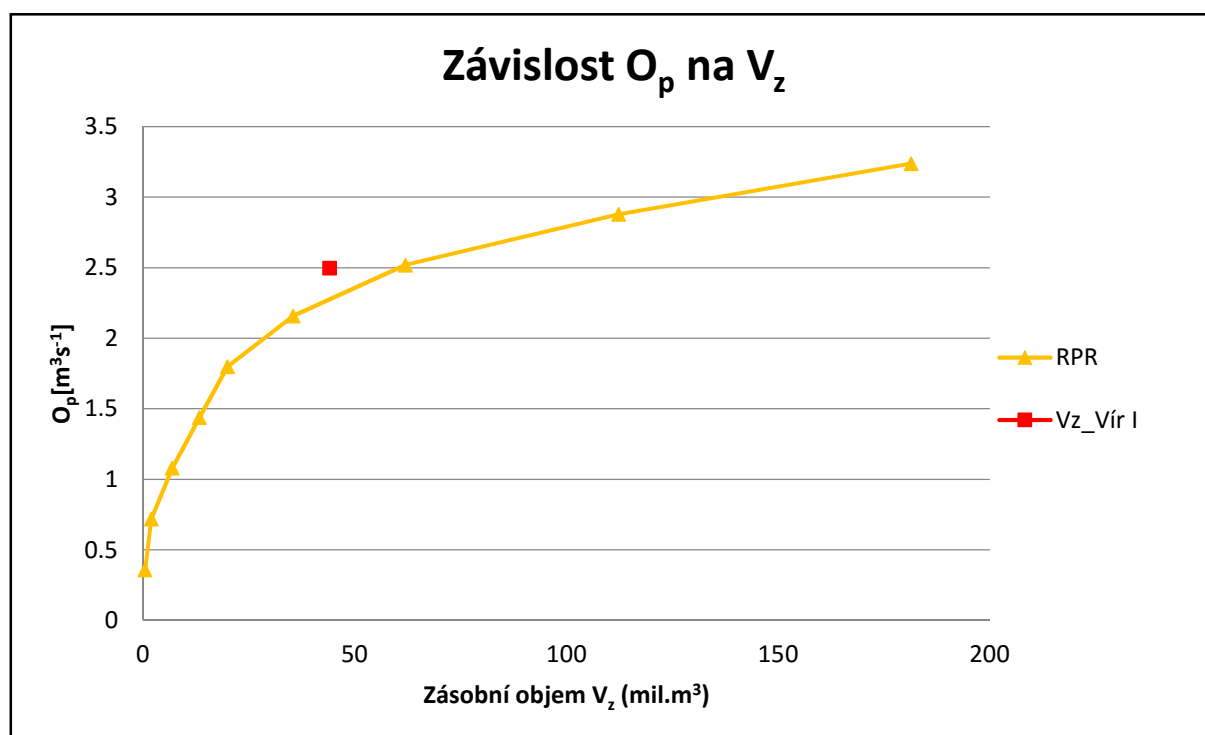
4.6.3.1 Reálná průtoková řada

RPŘ řešíme pro 61 letou řadu v období 1950 – 2010. Zpřesnění výpočtu provádíme pomocí programu ZFN, kde nalepšený odtok O_p je o velikosti $2.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

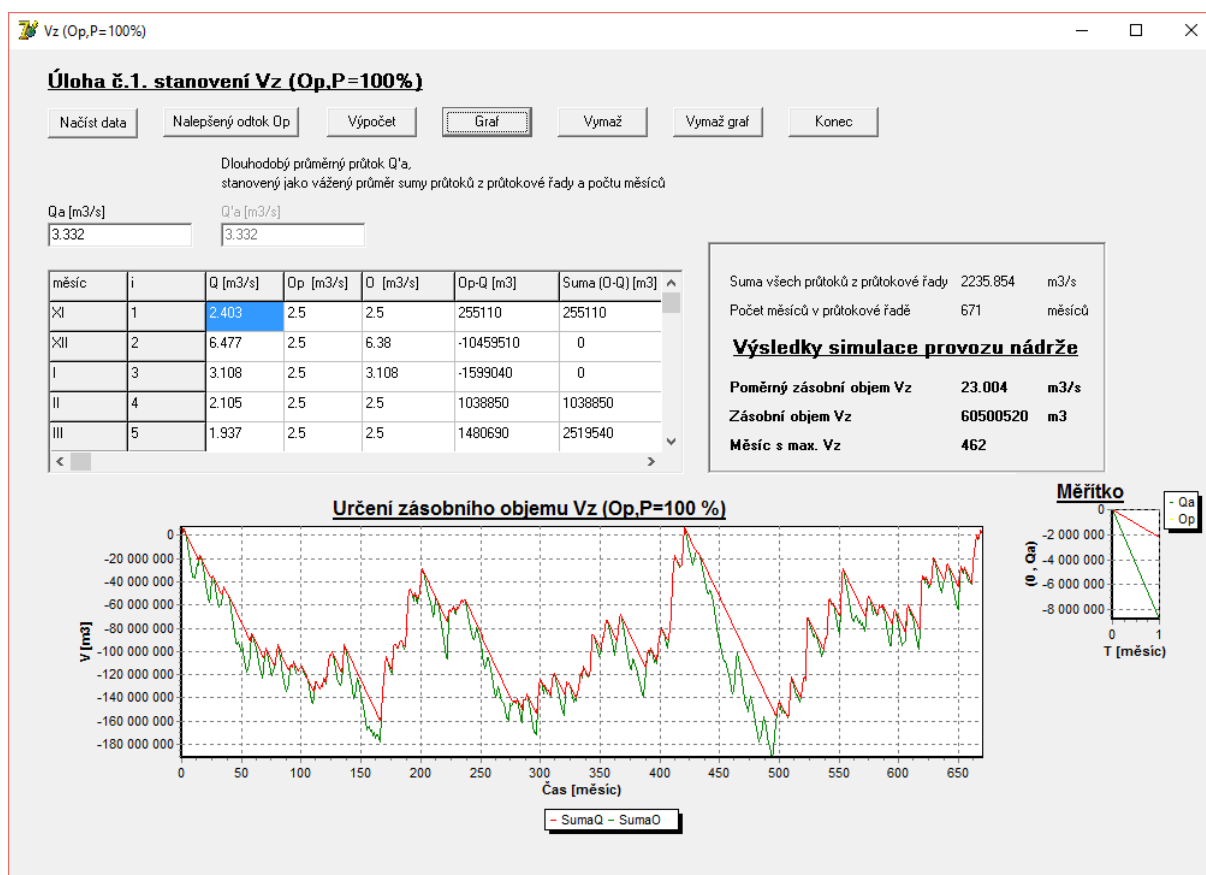
V tabulce 12 je srovnání $O_p=2.5\text{m}^3\text{s}^{-1}$ vzhledem k proměnnému V_z . Zvýrazněné hodnoty jsou původní data z manipulačního řádu.

Tabulka 12 - Úloha č.1, hledané V_z , fixní O_p

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc s max V_z	Počet měsíců
$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	$[\text{m}^3]$	[měsíc]
2.50	3.20	44056000	217	816
2.50	3.33	60500520	462	671



Graf 3 – Závislost $O_p=f(V_z)$, RPŘ



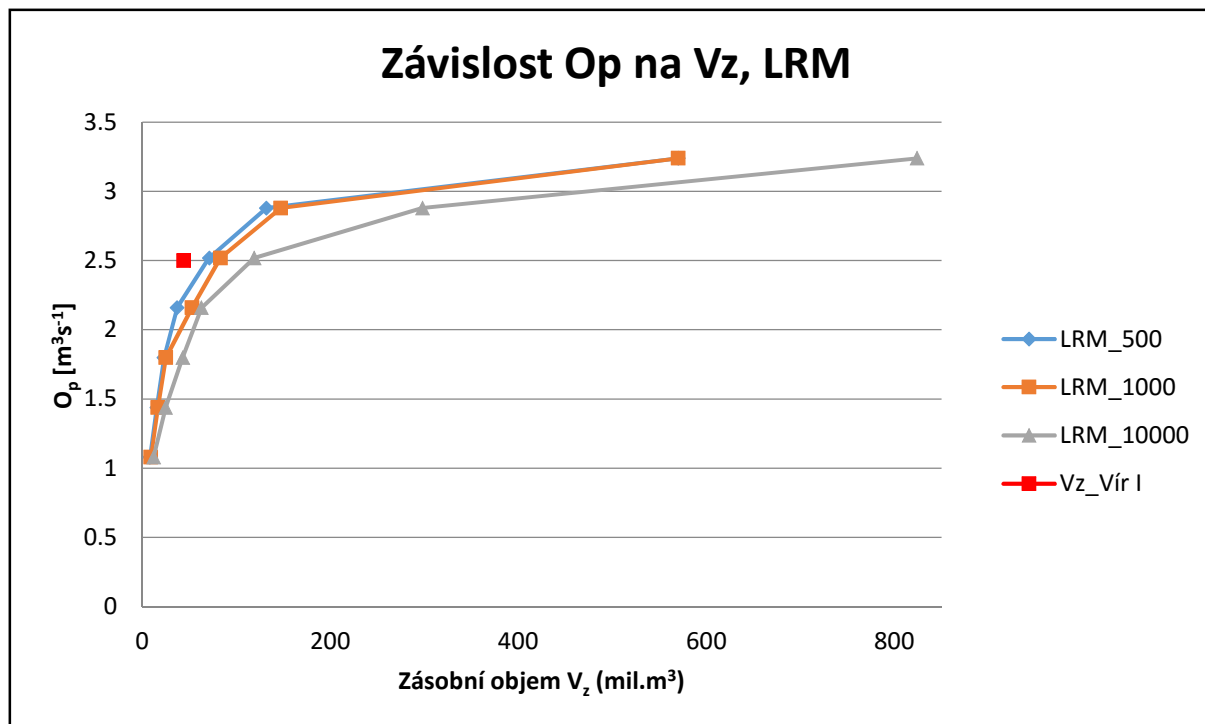
Obrázek 23 - Úloha č.1 RPŘ, hledané Vz, fixní Op

4.6.3.2 Umělá průtoková řada, původní Op

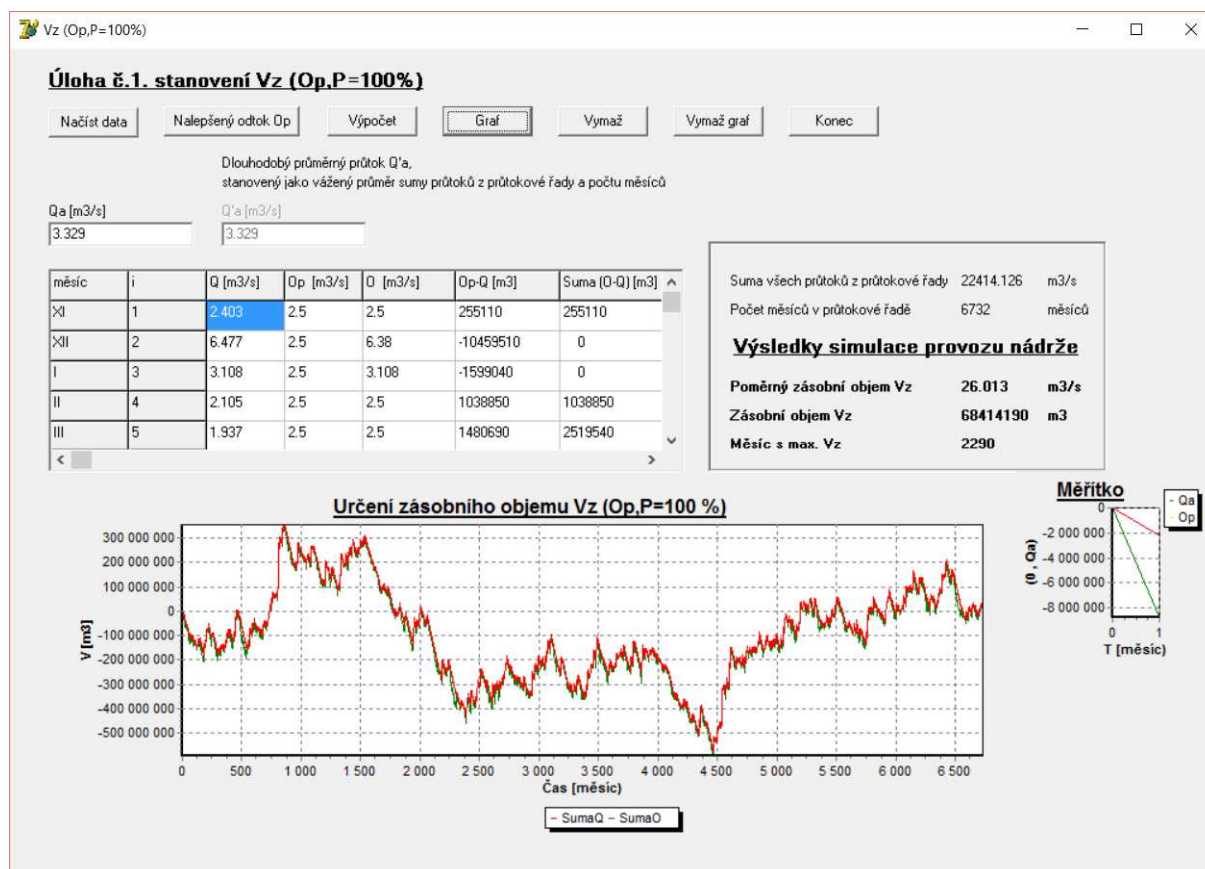
Vstupní řada je brána z generátoru LRMsoft M4. Tabulka 13. charakterizuje pevné $O_p=2.5\text{m}^3\text{s}^{-1}$ a její vypočtený Vz.

Tabulka 13 - LRMsoft_M4, $O_p=2.5$, Vz – hledané

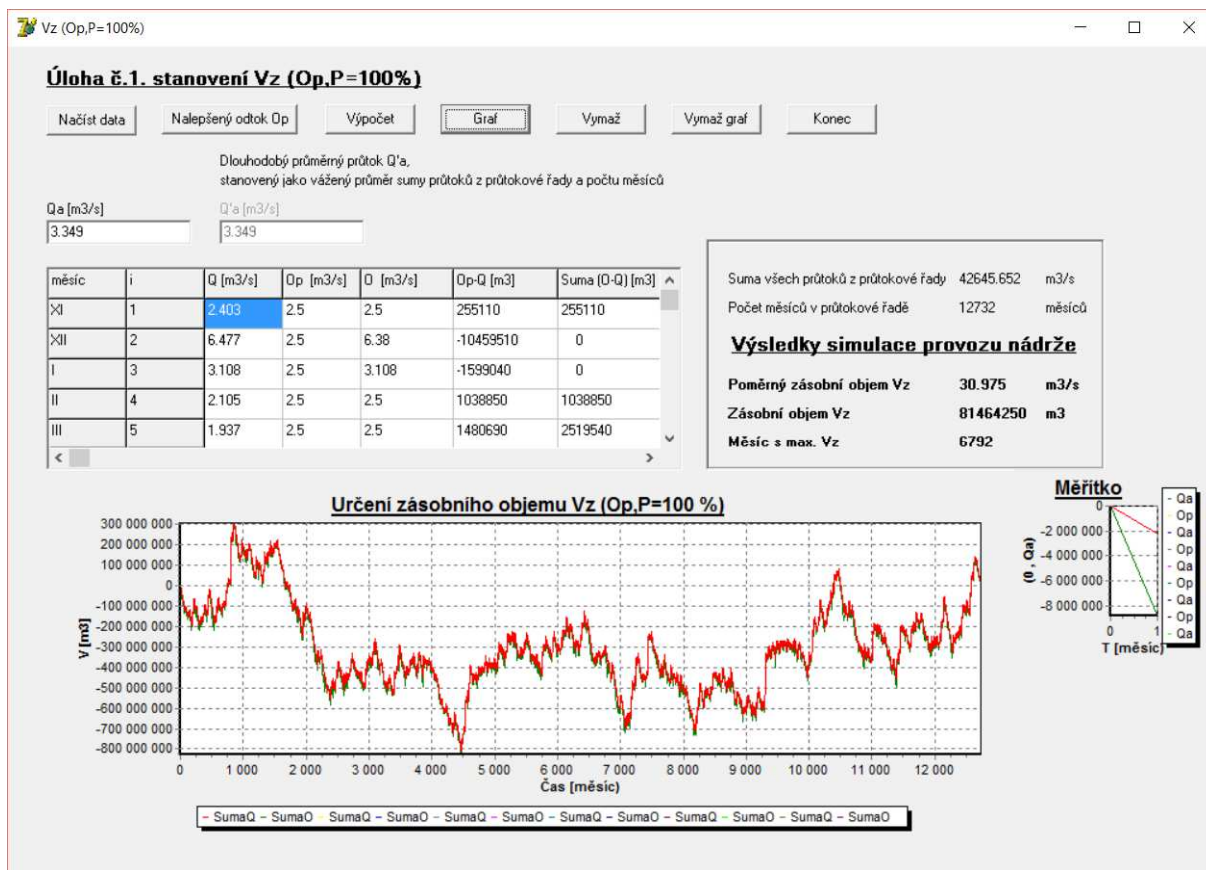
UPŘ	O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc s max V_z	Počet měsíců
LRMsoft	[m ³ s ⁻¹]	[m ³ s ⁻¹]	[m ³]	[m ³]	[měsíc]
500	2.5	3.348	68414190	2290	6732
1000	2.5	3.348	81464250	6792	12732
10000	2.5	3.348	115438590	56485	120732
Manipul. Řád	2.5	3.2	44056000	217	816



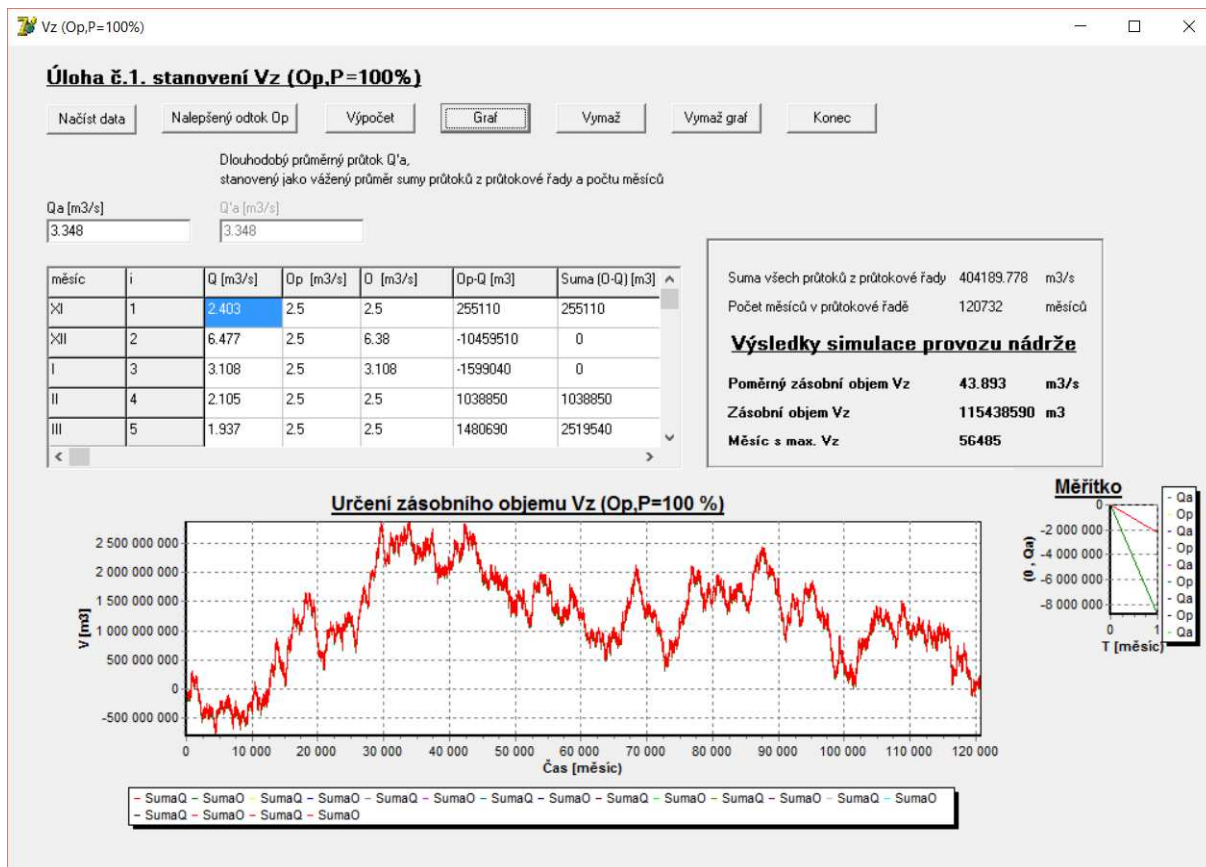
Graf 4 – Závislost $O_p = f(V_z)$, LRM_UPŘ



Obrázek 24 - LRMsoft, UPŘ500 $O_p=2,5$



Obrázek 25 - LRMsoft, UPŘ1000 $O_p=2,5$



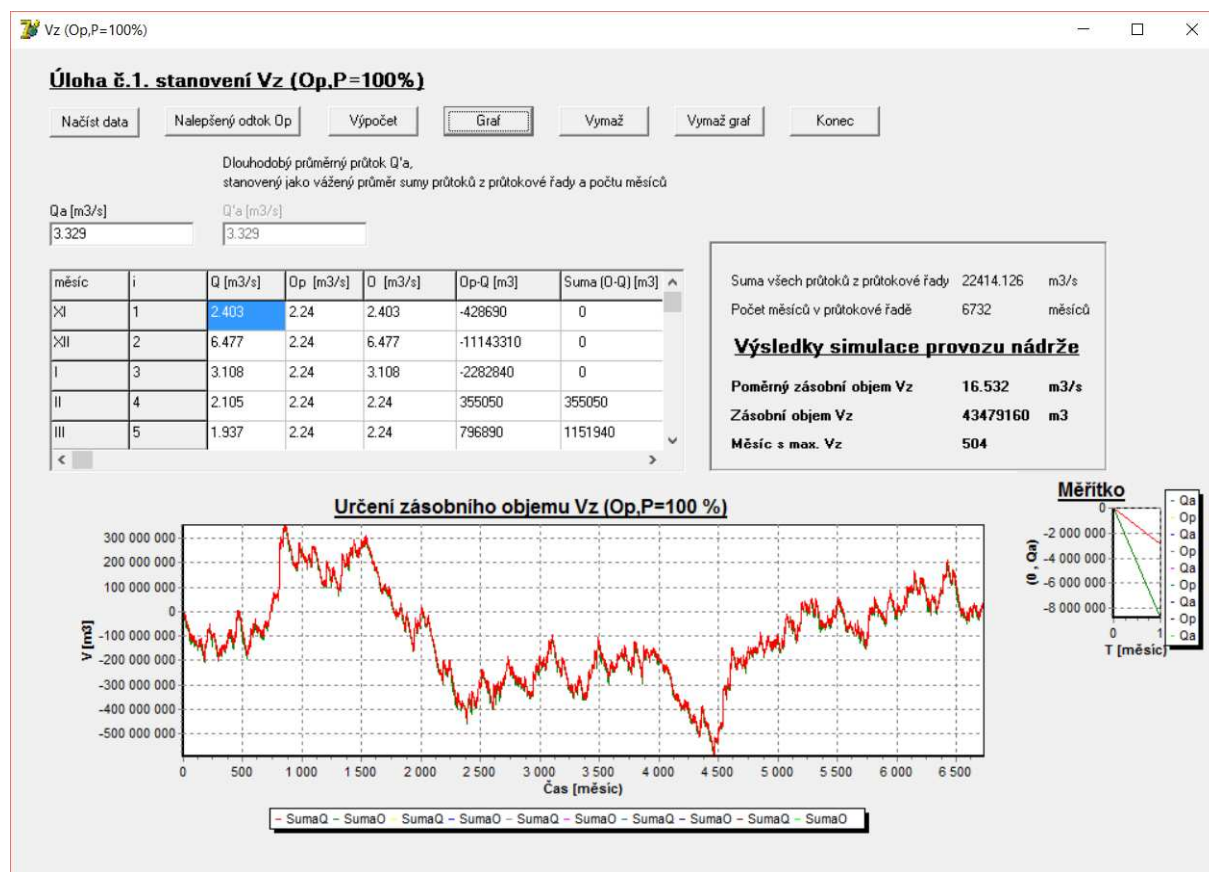
Obrázek 26 - LRMsoft, UPŘ10000 $O_p=2,5$

4.6.3.3 Umělá průtoková řada, vypočítané O_p

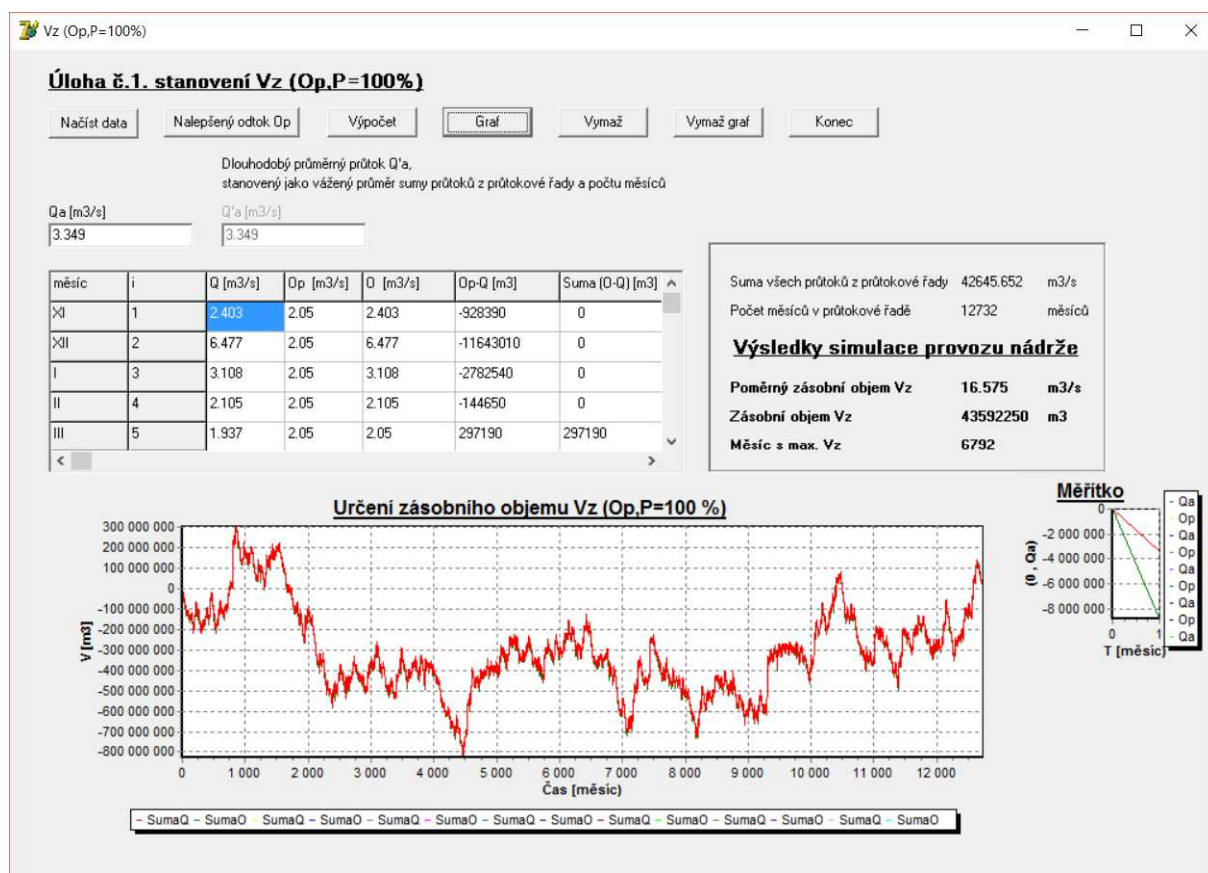
Tabulka 14 vyjadřuje vypočítané O_p z generátoru LRMsoft_M4 pro $V_z=44\,056\,000\text{m}^3$. Hodnoty O_p jsou s přesností na dvě desetinná místa. Tudiž jsou brány hodnoty nejbližší nižší k zadanému V_z .

Tabulka 14 - LRMsoft_M4, hledané O_p pro $V_z=44\,056\,000\text{m}^3$

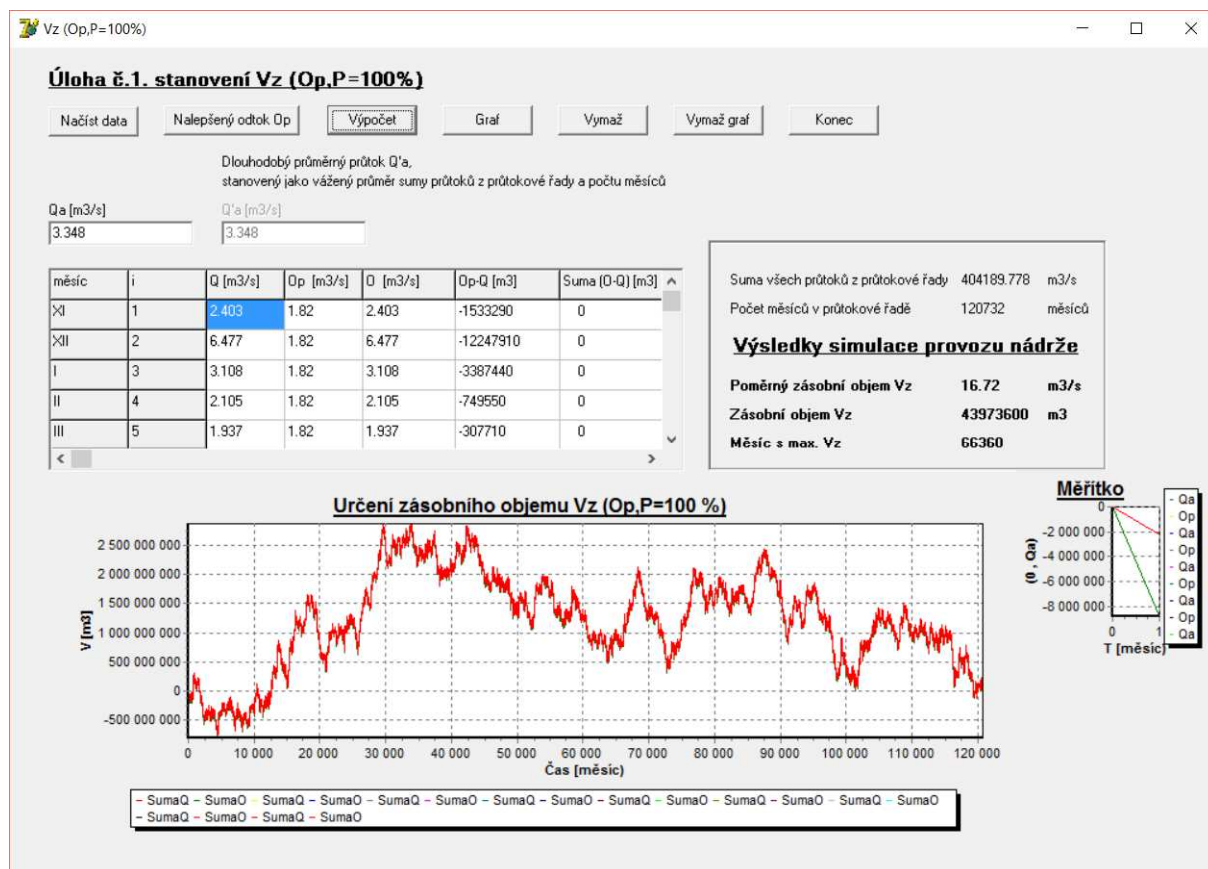
UPŘ LRMsoft	O_p [m^3s^{-1}]	Q_a [m^3s^{-1}]	Zásobní objem V_z [m^3]	Měsíc s max V_z [m^3]	Počet měsíců [měsíc]
500	2.24	3.348	43479160	504	6732
1000	2.05	3.348	43592250	6792	12732
10000	1.82	3.348	43973600	66360	120732
Manipul. Řád	2.5	3.2	44056000	217	816



Obrázek 27 - LRMsoft, UPŘ500 $O_p=2,24$



Obrázek 28 - LRMsoft, UPŘ1000 $O_p=2,05$



Obrázek 29 - LRMsoft, UPŘ10000 $O_p=1,82$

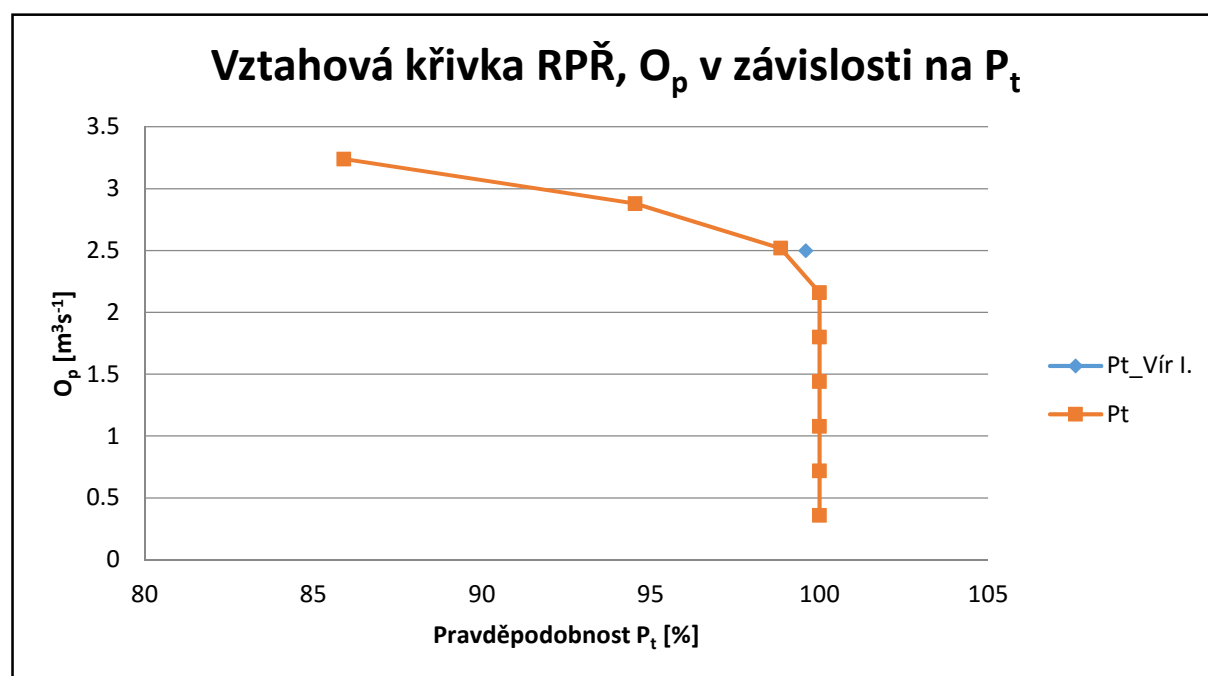
4.6.4 Úloha č. 2 – $O_p = F_2(V_z, P)$

4.6.4.1 Reálná průtoková řada

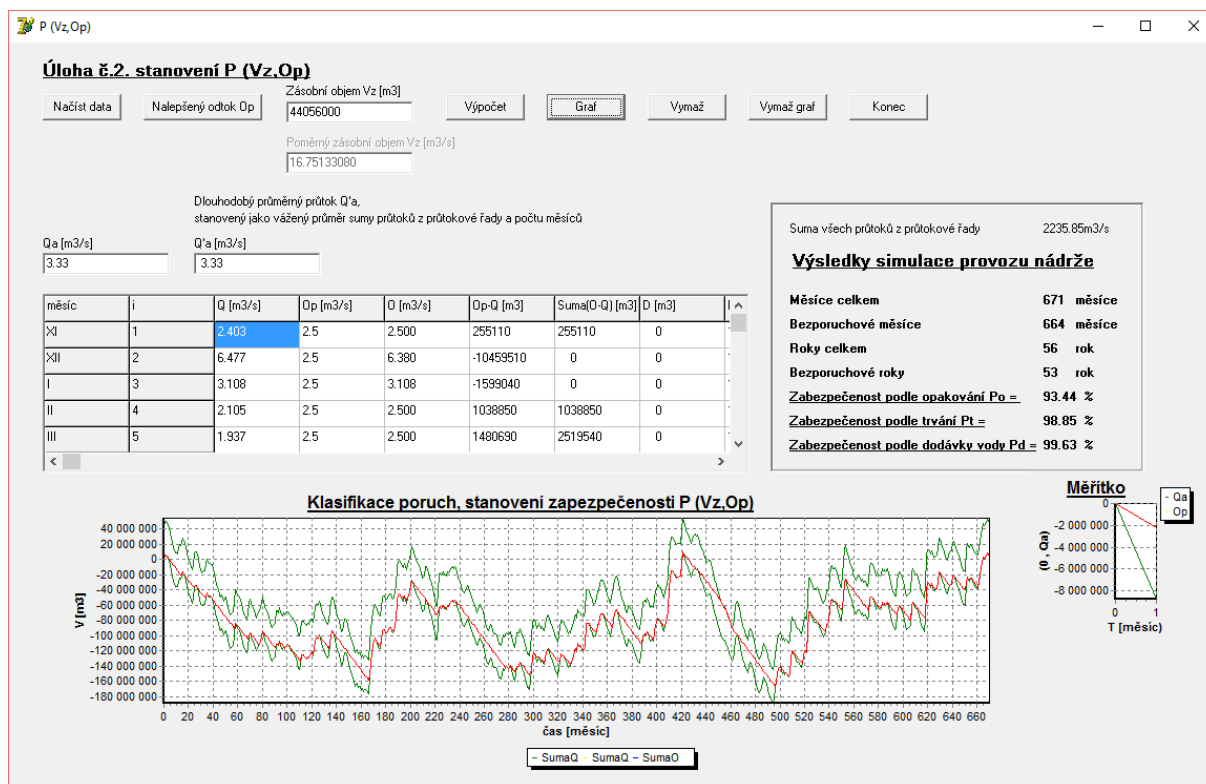
Je hledaná velikost nalepšeného odtoku O_p , pokud známe velikost zásobního objemu nádrže a zabezpečení. V tabulce 15. se zvýrazněně prezentuje původní hodnota z manipulačního řádu.

Tabulka 15 - Úloha č.2, RPŘ, hledané P_t , fixní V_z i O_p

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíce celkem	Bezporuch	Roky celk	Bezporuch	P_t
$[m^3s^{-1}]$	$[m^3s^{-1}]$	$[m^3]$	měsíc	měsíc	rok	rok	[%]
2.5	3.2	44056000	732	729	61	60	99.59
2.5	3.33		671	664	56	53	98.85



Graf 5 – Závislost $O_p = f(P_t)$, RPŘ;



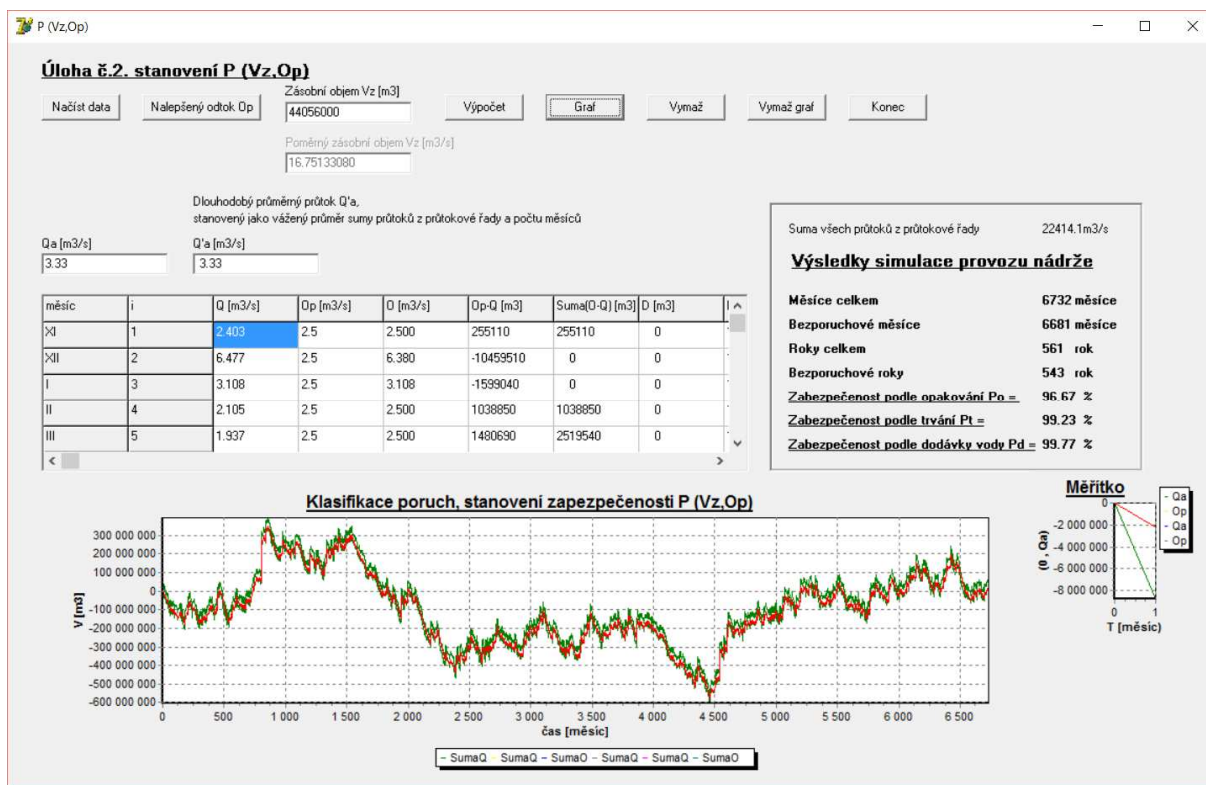
Obrázek 30 - Úloha č.2, RPŘ, Hledané P_t , fixní V_z i O_p

4.6.4.2 Umělá průtoková řada, původní O_p

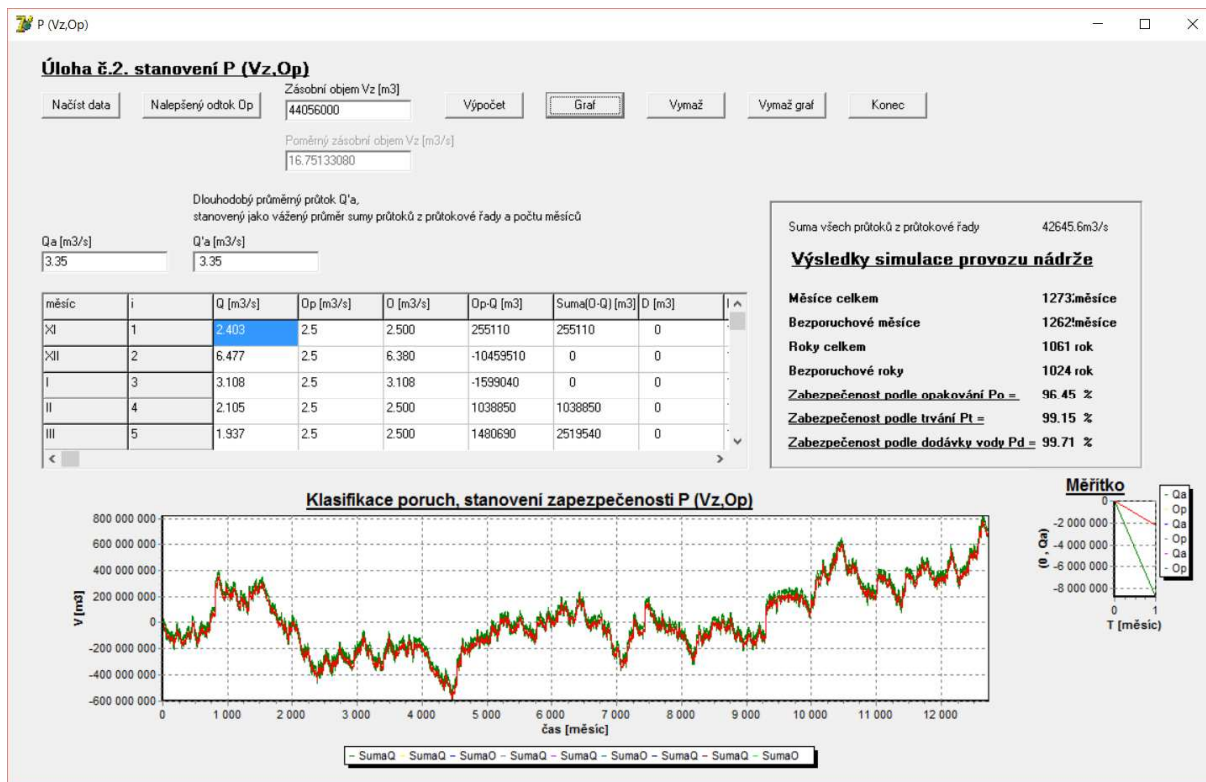
Vstupní řada je brána z generátoru LRMsoft M4. Tabulka 16. charakterizuje $O_p=2.5\text{m}^3\text{s}^{-1}$ a její vypočtený V_z . V úloze č.2 je porovnávána zabezpečení dle trvání (P_t), při shodných O_p .

Tabulka 16 - LRMsoft_M4, $O_p=2.5$, P_t - hledané

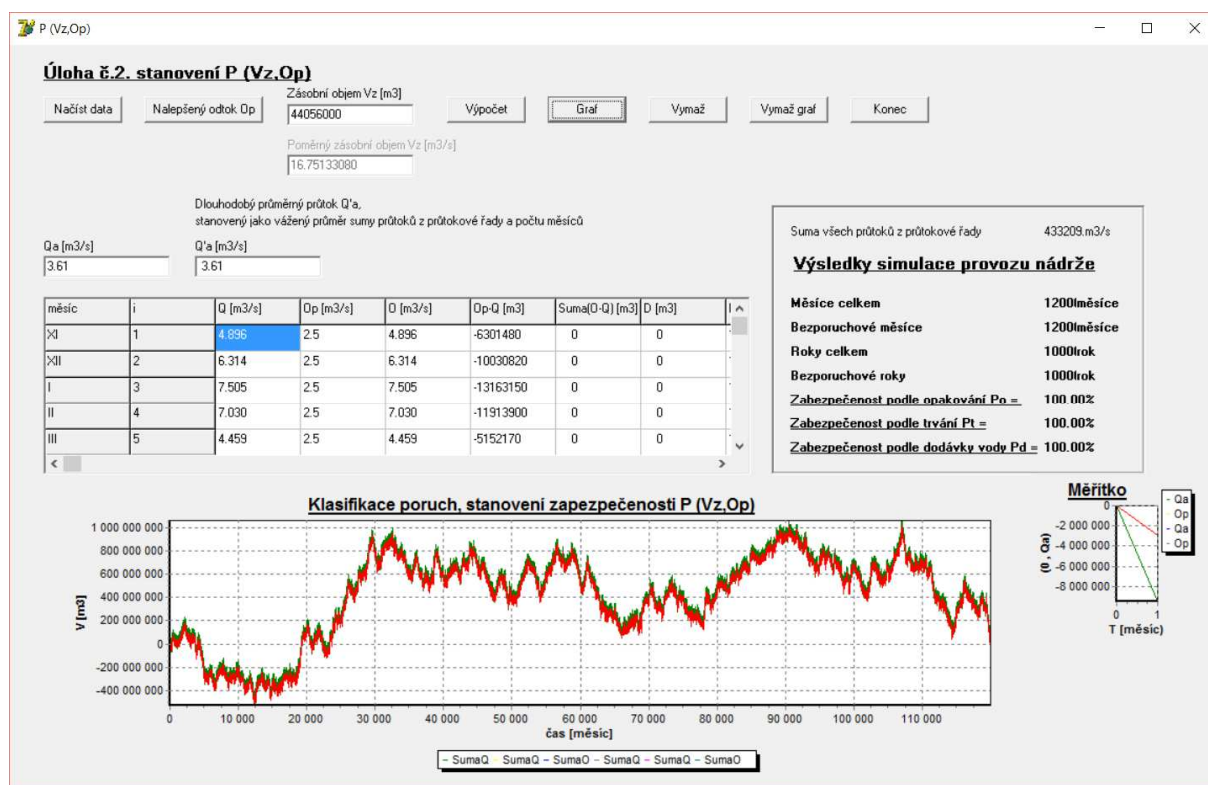
UPŘ	O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc celkem	Bez poruch	Roky	Bez poruch	P_t
LRMsoft	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	[měsíc]	[měsíc]	[roky]	[roky]	[%]
500	2.5	3.33	44056000	6732	6681	561	543	99.23
1000	2.5	3.35		12732	12629	1061	1024	99.15
10000	2.5	3.35		120732	119501	10061	9658	98.98
Manipul. Řád	2.5	3.2		732	729	61	60	99.59



Obrázek 31 - Úlohač.2, LRMsoft, UPŘ500, Op=2.5



Obrázek 32 - Úlohač.2, LRMsoft, UPŘ1000, Op=2.5



Obrázek 33 - Úloha č.2, LRMsoft, UPŘ10000, $O_p=2.5$

4.6.4.3 Umělá průtoková řada, vypočítané O_p

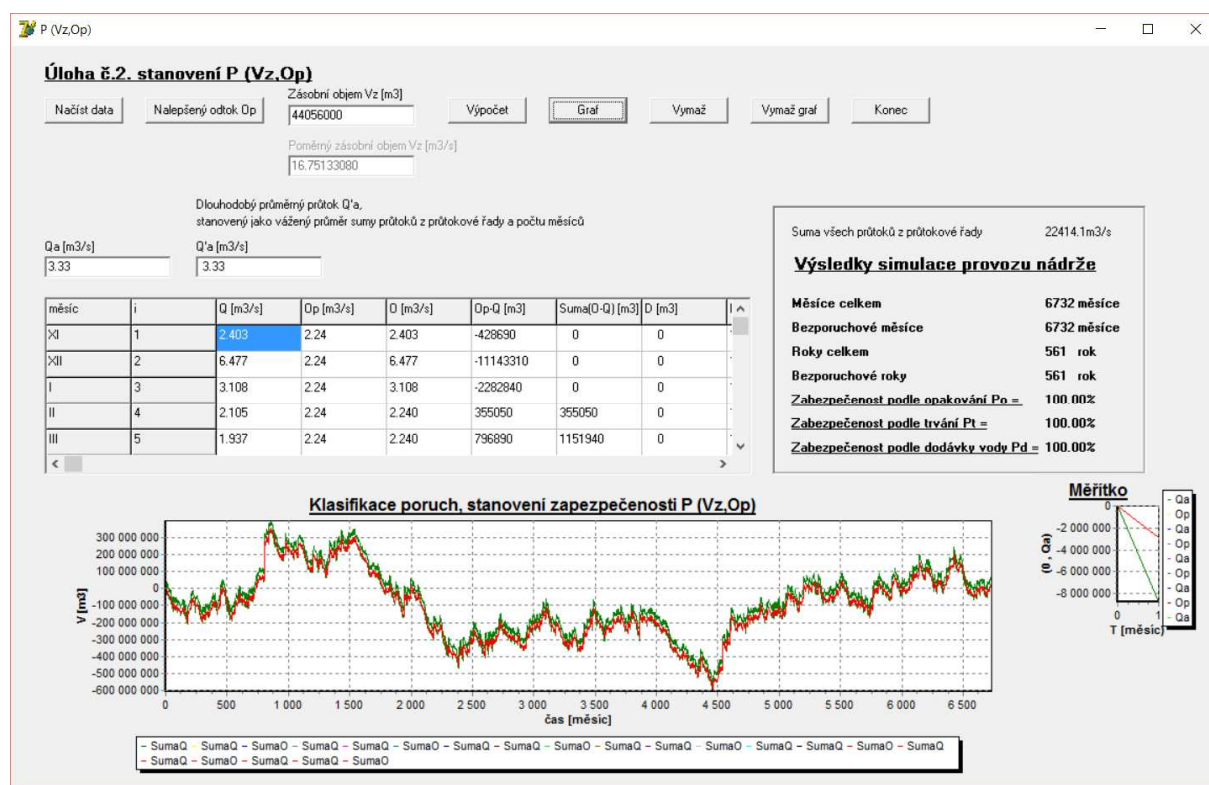
Hodnoty O_p klesají s narůstající délkou UPŘ. Tento jev je přisuzován programu LRMsoft. Při UPŘ10000let je O_p podhodnoceno na hodnotu $1.82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ což je nejvyšší rozdíl vzhledem k manipulačnímu řádu. Jednotlivé zabezpečení dle trvání v tab. 17 jsou 100 % z důvodů přiklonění se na stranu bezpečnosti. V tab. 18 již není stoprocentní zabezpečení, tyto hodnoty jsou brány jako celkově nejbližší k zásobnímu objemu nádrže.

Tabulka 17 - Úloha č.2, hledané O_p pro V_z (strana zabezpečení)

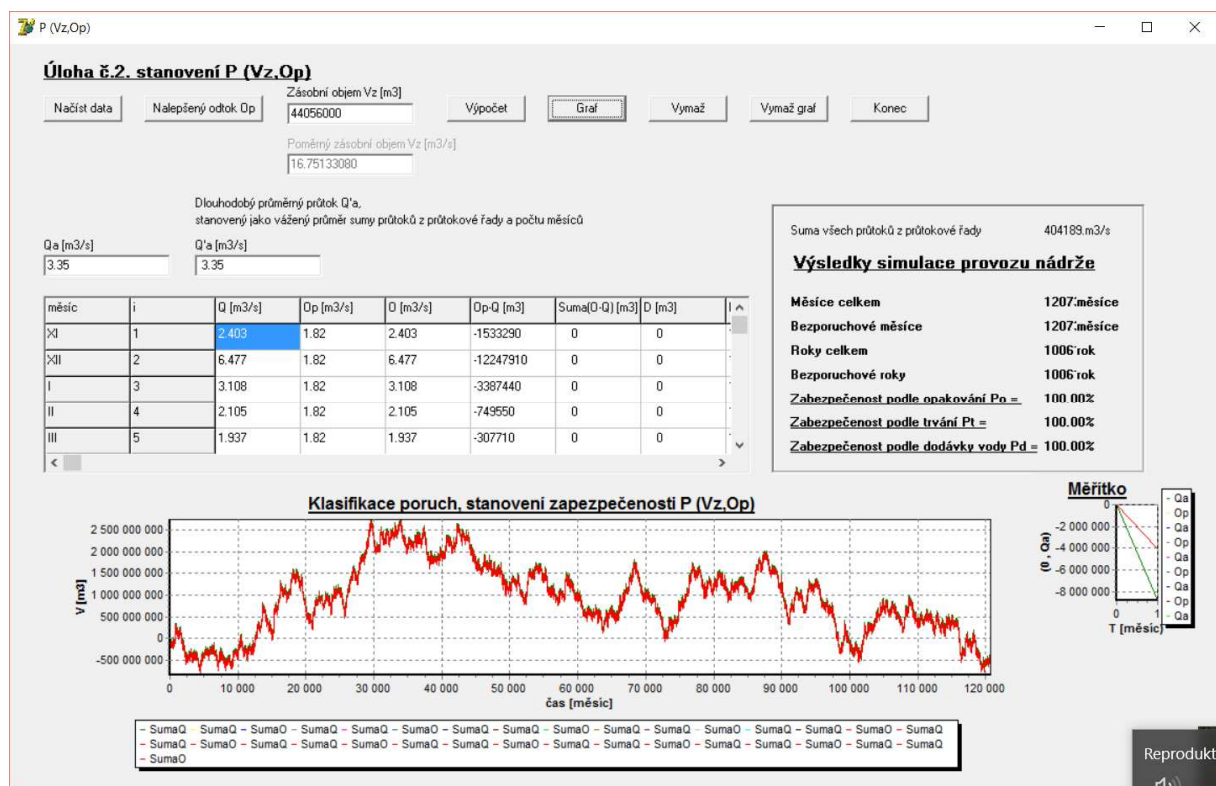
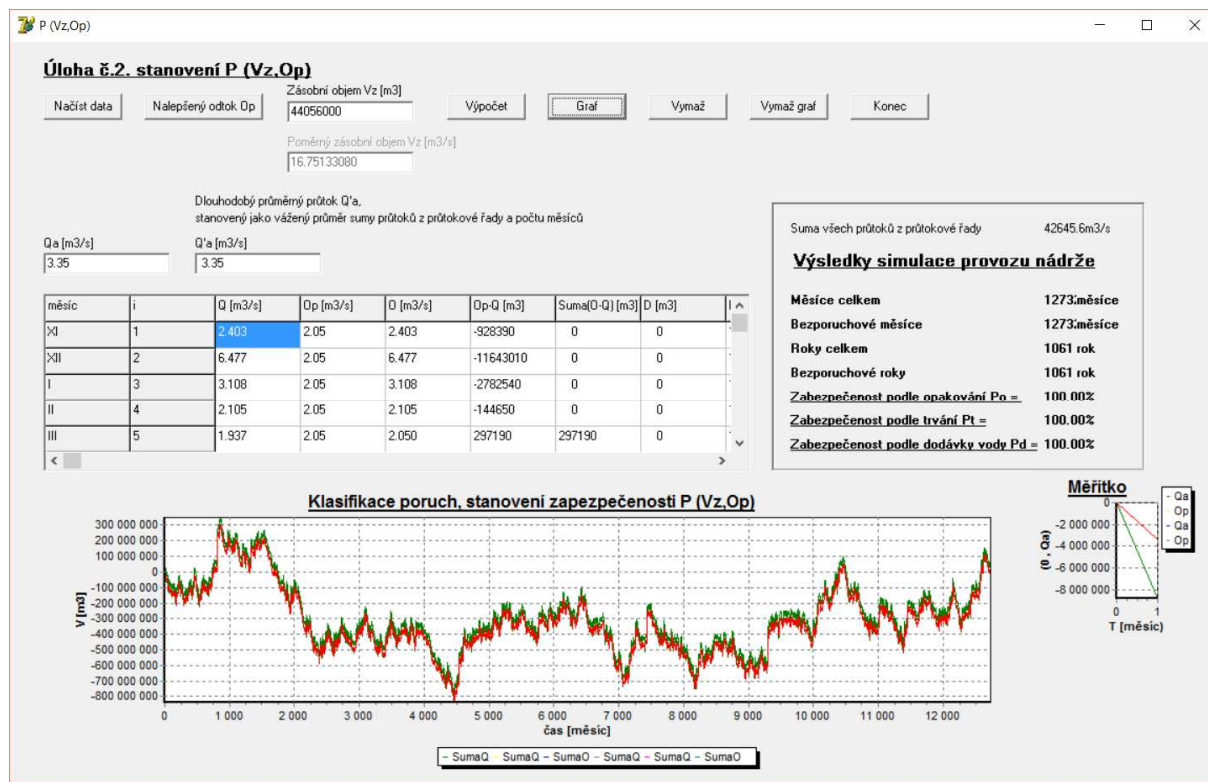
UPŘ	O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc celkem	Bez poruch	Roky	Bez poruch	P_t
LRMsoft	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	[roky]	[měsíc]	[roky]	[roky]	[%]
500	2.24	3.33	44056000	6732	6732	561	561	100
1000	2.05	3.35		12732	12732	1061	1061	100
10000	1.82	3.35		120732	120732	10061	10061	100
M. Řád	2.5	3.2		732	729	61	60	99.59

Tabulka 18 - Úloha č.2, hledané O_p pro V_z

UPŘ	O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc celkem	Bez poruch	Roky	Bez poruch	P_t
LRMsoft	[m ³ s ⁻¹]	[m ³ s ⁻¹]	[m ³]	[měsíc]	[měsíc]	[roky]	[měsíc]	[%]
500	2.25	3.33	44056000	6732	6731	561	560	99.99
1000	2.06	3.35		12732	12731	1061	1060	99.99
10000	1.82	3.35		120732	120732	10061	10061	100
M. Řád	2.5	3.2		732	729	61	60	99.59



Obrázek 34 - LRMsoft_M4, UPŘ500 $O_p=2,24$



5 Shrnutí výsledků

Generátory

Z použitých generátorů UPŘ byli zvoleny dva nejpresnější na následné zpracování. Vybrané generátory jsou LRMsoft s generující řadou Markovského řetězce 4 a program Synthe s generující řadou LNMA.

Kapitola 4.6 obsahuje pouze výstupy z programu LRMsoft. Přiložené grafy představují čáry pravděpodobnosti překročení průměrných měsíčních průtoků Q_m [m^3s^{-1}]. Pro srovnání výsledků jsou zde přiložené statistické charakteristiky reálné průtokové řady o délce 61let a umělé průtokové řady o délce 10 000let generátorů LRM soft a LNMA.

Generátor LRM soft

- Střední hodnota, $\mu(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.02471 [m^3s^{-1}]
- Disperze, $D(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.57513 [m^6s^{-2}]
- Směrodatná odchylka, $\sigma(x)$, UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.04913 [m^3s^{-2}]
- Koeficient variace, $Cv(x)$: UPŘ < RPŘ, rozdíl činí 0.01454 [-]
- Koeficient asymetrie, $Cs(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.45365 [-]
- Koeficient excessu, $E(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 15.4046 [-]

Generátor LNMA

- Střední hodnota, $\mu(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.02197 [m^3s^{-1}]
- Disperze, $D(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.20268 [m^6s^{-2}]
- Směrodatná odchylka, $\sigma(x)$, UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.04698 [m^3s^{-2}]
- Koeficient variace, $Cv(x)$: UPŘ < RPŘ, rozdíl činí 0.01305 [-]
- Koeficient asymetrie, $Cs(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 0.27055 [-]
- Koeficient excessu, $E(x)$: UPŘ > RPŘ, rozdíl činí 2.57558 [-]

V tabulce 19 se srovnává RPŘ s vybranými generátory UPŘ (10 000 let).

Tabulka 19 - statistické charakteristiky, průměrné roční hodnoty

	$\mu(x)$ [m^3s^{-1}]	$D(x)$ [m^6s^{-1}]	$\sigma(x)$ [m^3s^{-1}]	$Cv(x)$ [-]	$Cs(x)$ [-]	$E(x)$ [-]
RPŘ	3.323269	5.439403	2.173918	0.683023	1.8178774	8.039771
UPŘ (LRM)	3.347975	6.014535	2.223046	0.668485	2.271529	23.44435
UPŘ (Synthe)	3.301304	5.236725	2.126935	0.669972	2.0884322	5.464194

Srovnání výsledků z RPŘ s daty v manipulačním řádu

Zadané průtokové řady se liší již v samotném datovacím období, tudíž hodnoty nemohou být zcela shodné. Do RPŘ sloužící jako podklad k dalším výpočtům nejsou zahrnuta období od roku 2010, která byla extrémně málovodná. Tudíž se do budoucna počítá s větším podhodnocením výsledků.

- **Neměnné O_p**

V manipulačním řádu je počítáno s hodnotami $O_p=2.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ při $V_z= 44056000 \text{ m}^3$. Tyto data se vztahují k minimálnímu zaručenému průtoku $3.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A odpovídající zabezpečení $P_t= 99.59 \text{ [%]}$. Červeně jsou vyznačeny data z manipulačního řádu. Tabulky 20 a 21 dávají přesné výstupy k porovnání původní nalepšenost odtoků se zásobním objemem nádrže. Pro aktuálnější průtokové řady je V_z mnohonásobně vyšší než při původním stavu, tyto hodnoty se vztahují k neměnnému O_p .

Tabulka 20 - Úloha č.1, porovnání V_z

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc s max V_z	Počet měsíců
$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	$[\text{m}^3]$	[měsíc]
2.50	3.20	44056000	217	816
2.50	3.33	60500520	462	671

Tabulka 21 - Úloha č.2, porovnání P_t

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíce celkem	Bezporuch	Roky celk	Bezporuch	P_t
$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	měsíc	měsíc	rok	rok	[%]
2.5	3.2	4405600	732	729	61	60	99.59
2.5	3.33		671	664	56	53	98.85

- **Neměnné V_z a nejbližší možné V_z**

V tabulkách 22 a 23 se poukazuje na snížené O_p pro max. zásobní prostor nádrže. Pro hodnotu $O_p=2.28\text{m}^3\text{s}^{-1}$ se zabezpečení pohybuje na úrovni 99.75%.

Tabulka 22 - Úloha č.1, vypočítané O_p

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíc s max V_z	Počet měsíců
$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	$[\text{m}^3]$	[měsíc]
2.27	3.33	43563320	462	671
2.28	3.33	44299720	462	671

Tabulka 23 - Úloha č.2, P_t pro vypočtené O_p

O_p	Q_a	Zásobní objem V_z	Měsíce celkem	Bez poruch	Roky celk.	Bez poruch	P_t
$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$	měsíc	měsíc	rok	rok	[%]
2.28	3.33	4405600	671	670	56	54	99.75

Srovnání výsledků z umělé průtokové řady o délce 10000let s daty v manipulačním řádu

V prvním řádku tabulky 24 je hodnocen návrhový O_p pro stoprocentní zabezpečení vztažený k $V_z=44\,056\,000\text{ m}^3$.

Druhý a třetí řádek srovnává pevně danou nalepšenost odtoku k proměnlivému zásobnímu objemu. UPŘ s $O_p=2.5\text{ m}^3\text{s}^{-1}$, které odpovídá velikosti zásobního objemu $115\,438\,590\text{ m}^3$ je značně přehodnocen. V závislosti na tomto vypočítaném objemu bylo nutné zredukovat nalepšený odtok na hodnoty 1.82 až $1.83\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Tyto výstupy dávají již reálný pohled na samotný zásobní objem a nalepšenost jednotlivých odtoků.

Tabulka 24 - LRM, UPŘ10000

	O_p	V_z
	$[\text{m}^3\text{s}^{-1}]$	$[\text{m}^3]$
UPŘ	1.82	43973600
UPŘ	2.5	115438590
Manipulační řád	2.5	44056000

Jako vstupní parametry byly řazeny mezi nejpřesnější programy LRMsoft o řadě Markovský 4 a Synthe s modelem LNMA. Tyto dva generátory vykazují nejstabilnější vstupní hodnoty do programu ZFN.

Vypočtený objem pro LRMsoft vykazuje stoupající tendenci se zároveň snižujícím se O_p . Tento jev je znázorněn v tabulce 25, kde jsou zároveň porovnány i hodnoty z programu Synthe. Výstupy jsou vzhledem k velikosti V_z stabilnější, daleko méně zde záleží na délce UPŘ. Průtokové řady generované z programu Synthe vykazují pokles nalepšeného odtoku pro řešené délky umělých průtokových řad.

Tabulka 25 - Porovnání generátorů pro $V_{z\max}$

UPŘ	O_p	$V_z [\text{m}^3]$	
500	2.24	43 479 160	LRM
1000	2.05	43 592 250	
10000	1.82	43 973 600	
500	2.24	43 479 160	Synthe
1000	2.24	43 479 160	
10000	2.24	43 479 160	
Manipulační řád	2.50	44 056 000	

6 Závěr

Cílem práce bylo vodohospodářské řešení zásobního objemu vybrané vodní nádrže. První část řešení byla provedena v programech LRMsofr a Synthe, kde se generovali umělé průtokové řady pomocí generátorů UPŘ. Z jednotlivých generátorů byly vybrány dva výstupné modely s délkou UPŘ 500, 1000 a 10000 let, které se nejvíce shodovali s RPŘ o délce 61let. Toto porovnání bylo provedeno pomocí jednotlivých výstupů spojené s tabulkou a grafem.

V druhé části se výsledky z generátorů aplikovali do programu ZFN, ve kterém byli řešeny úlohy 1. a 2. (Starý 1990). Byli zde dosaženy optimální velikosti nalepšeného odtoku v závislosti na zabezpečení a požadovaném maximálním zásobním objemu nádrže.

Aktuální data z manipulačního řádu uvádí hodnotu nalepšeného odtoku $2.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ vztaženou k maximálnímu zásobnímu objemu $44\,056\,000 \text{ m}^3$. Pomocí výpočtů byl stanoven nalepšený odtok $1.82 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ pro $V_{z,\max}$. Nádrž Vír I. není dimenzovaná na větší zásobní objem, než je dán v manipulačním řádu, proto je navrženo snížení nalepšeného odtoku o 27.2%.

Vír I patří do třídy zabezpečení nádrže A ($\geq P_t 99.5\%$). Výsledná zabezpečení odtoku vody z nádrže stanovená z reálné řady byla $P_t = 98.85\%$ a z umělé průtokové řady pak 98.98%. Nádrž by podle výsledků byla řazena do třídy významnosti B ($\geq P_t 98.5\%$). Z výsledků je zřejmé, že je nutné snížit nalepšený odtok vody z nádrže a to vzhledem k požadavkům kladeným na řešenou nádrž. Je žádoucí, aby byla zachována významnost třídy významnosti A. Proto je doporučena revize manipulačního řádu a sní spojená revize řízení odtoku vody z nádrže.

Do budoucna, na příklad v diplomové práci může být samotný výpočet přesnější vzhledem k manipulačnímu řádu, který je řešen ve čtyř regulačních stupních. V nynější práci byla provedena jen první možnost regulace. Je třeba zmínit přesnost podkladů, kde v reálné průtokové řadě nejsou započítány tzv. suché roky. Pro účely práce byly využity RPŘ do roku 2010.

Seznam příložených obrázků

Obrázek 1 - Schéma grafického řešení úlohy č.1 Vz (O_p , P) pro P=100%.....	7
Obrázek 2 - Schéma grafického řešení úlohy č.2 P (O_p , Vz).....	10
Obrázek 3 - Vodní dílo Vír I	14
Obrázek 4 - Vodní nádrže ČR – Vír I. poloha	15
Obrázek 5 - povodí Dyje	16
Obrázek 6 - povodí Svratky	16
Obrázek 7 - povodí Svratky	17
Obrázek 8 - Mapa klimatických poměrů ČR.....	18
Obrázek 9 - Mapa průměrného srážkového úhrnu ČR.....	19
Obrázek 10 - Příčný řez nádrží Vír I.	21
Obrázek 11 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Leden	25
Obrázek 12 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Únor.....	26
Obrázek 13 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Březen.....	26
Obrázek 14 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Duben	27
Obrázek 15 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Květen	27
Obrázek 16 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Červen	28
Obrázek 17 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Červenec	28
Obrázek 18 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Srpen.....	29
Obrázek 19 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Září	29
Obrázek 21 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Říjen	30
Obrázek 20 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Listopad	30
Obrázek 22 - Empirická čára pravděpodobnosti překročení, Prosinec	31
Obrázek 23 - Úloha č.1 RPŘ, hledané Vz, fixní O_p	33
Obrázek 24 - LRMsoft, UPŘ500 $O_p=2,5$	34
Obrázek 25 - LRMsoft, UPŘ1000 $O_p=2,5$	35
Obrázek 26 - LRMsoft, UPŘ10000 $O_p=2,5$	35
Obrázek 27 - LRMsoft, UPŘ500 $O_p=2,24$	36
Obrázek 28 - LRMsoft, UPŘ1000 $O_p=2,05$	37
Obrázek 29 - LRMsoft, UPŘ10000 $O_p=1,82$	37
Obrázek 30 - Úloha č.2, RPŘ, Hledané P_t , fixní Vz i O_p	39
Obrázek 31 - Ulohač.2, LRMsoft, UPŘ500, $O_p=2.5$	40
Obrázek 32 - Ulohač.2, LRMsoft, UPŘ1000, $O_p=2.5$	40
Obrázek 33 - Ulohač.2, LRMsoft, UPŘ10000, $O_p=2.5$	41
Obrázek 34 - LRMsoft_M4, UPŘ500 $O_p=2,24$	42
Obrázek 35 - LRMsoft_M4, UPŘ1000 $O_p=2,05$	43
Obrázek 36 - LRMsoft_M4, UPŘ10000 $O_p=1,82$	43

Seznam příložených tabulek

Tabulka 1 - Znázornění výpočtu úlohy č.1. $V_z (O_p, P)$ pro $P= 100\%$	6
Tabulka 2 - Znázornění výpočtu součtové čáry rozdílové	7
Tabulka 3 - Znázornění výpočtu úlohy č.2. $P (O_p, V)$	8
Tabulka 4 - Prostor stálého nadržení	20
Tabulka 5 - Prostor zásobní	20
Tabulka 6 - Retenční ovladatelný	20
Tabulka 7 - Prostor retenční neovladatelný	20
Tabulka 8 - Celkový prostor	20
Tabulka 9 - Data k batygrafickým čárám	22
Tabulka 10 - Statistické charakteristiky reálné průtokové řady	24
Tabulka 11 - Statistické charakteristiky, LRMsoft, UPŘ 10 000let	25
Tabulka 12 - Úloha č.1, hledané V_z , fixní O_p	32
Tabulka 13 - LRMsoft_M4, $O_p=2.5$, V_z – hledané	33
Tabulka 14 - LRMsoft_M4, hledané O_p pro $V_z= 44\,056\,000\text{m}^3$	36
Tabulka 15 - Úloha č.2, RPŘ, hledané P_t , fixní V_z i O_p	38
Tabulka 16 - LRMsoft_M4, $O_p=2.5$, P_t - hledané	39
Tabulka 17 - Úloha č.2, hledané O_p pro V_z (strana zabezpečnosti)	41
Tabulka 18 - Úloha č.2, hledané O_p pro V_z	42
Tabulka 19 - statistické charakteristiky, průměrné roční hodnoty	44
Tabulka 20 - Úloha č.1, porovnání V_z	45
Tabulka 21 - Úloha č.2, porovnání P_t	45
Tabulka 22 - Úloha č.1, vypočítané O_p	45
Tabulka 23 - Úloha č.2, P_t pro vypočtené O_p	45
Tabulka 24 - LRM, UPŘ10000	46
Tabulka 25 - Porovnání generátorů pro $V_{z\max}$	46

Seznam příložených grafů

Graf 1 - distribuční funkce $F(x)$ a funkce pravděpodobnosti překročené $P(x)$, (Starý 2005) ..	12
Graf 2 - Batygrafické křivky	22
Graf 3 – Závislost $O_p=f(V_z)$, RPŘ	32
Graf 4 – Závislost $O_p= f(V_z)$, LRM_UPŘ	34
Graf 5 – Závislost $O_p=f(P_t)$, RPŘ;	38

7 Bibliografie

- [1] PRETEL, J. *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV.)*. 2010.
- [2] KEMÉNYOVÁ, Z. *Vyhlídky pro Česko jsou hodně horké. Hospodářské noviny* [online]. 2012 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: c1-54386130-vyhličky-pro-cesko-jsou-hodne-horke
- [3] DAŇHELKA, J., Š. BERCHA, M. BOHÁČ, L. CRHOVÁ, R. ČEKAL, L. ELLEDER a R. FIALA *Vyhodnocení sucha na území ČR v roce 2015*. ČHMÚ, Na Šabatce 2050/17, 14306 Praha- Komořany, 2015.
- [4] KOM, . *147 v konečném znění. Úplný přehled provedených opatření viz. posouzení dopadů*. 2009.
- [5] Country Information, CZE. *European Climate Adaptation Platform* [online]. b.r. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://climate-adapt.eea.europa.eu/countries/czech-republic>
- [6] *Adaptace na změnu klimatu. Ministerstvo životního prostředí* [online]. b.r. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/adaptace_na_zmenu_klimatu
- [7] KOS, Z. *Lineární regresivní model a jeho aplikace v hydrologii: Vodní toky v Praze*. Praha, 1969.
- [8] MARTON, D. a M. STARÝ *LRMsoft: generátor umělých průtoků* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/cs/software.php>. VUT FAST v Brně.
- [9] HIRSCH, R. *Synthetic Hydrology and Water Supply Reliability: Water Resources Research Vol. 1. American Geophysical Union*. b.r.. ISSN 0043-1397.
- [10] PILAŘ, L. *Užití generátoru LN a LT pro generování umělých průtokových řad průměrných měsíčních průtoků*. VUT FAST v Brně, 1988.
- [11] MARTON, D. *Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrže: Vývoj softwarového produktu*. Brno, 2007. Diplomová práce. VUT FAST v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
- [12] BANOT, P. *Srovnání velikostí zásobních objemů vybraných nádrží vypočtených v reálných a umělých průtokových řadách*. Brno, 2009. Bakalářská. VUT FAST v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
- [13] STARÝ, M. *Hydrologie: Modul 1. studijní opory*. VUT FAST v Brně, 2005.
- [14] STARÝ, M. *Hydrologie: Modul 2*. Brno, 2005.
- [15] *Vírská přehrada (Vodní díla Vír I. a Vír II.)* [online]. 2008 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.virvudolisvratky.cz/index.php?clanek=5>

- [16] *Informační brožura o Vírské přehradě*. Povodí Moravy, s. p., Dřevařská 11, 601 75 Brno: Forte, s.r.o., 2007.
- [17] ČIRKA, V. *Vírská přehrada - zdroj pitné vody*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce RNDr. Miroslav Kolář, Csc.
- [18] *Atlas podnebí česka*. 2007. b.r..
- [19] NETOPIL, R. *Fyzická geografie I. SPN*. Praha, b.r..
- [20] *Atlas ČSSSR 1966*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, s.p., 2010.
- [21] MATĚJÍČEK, J. a P. ROTSCHEIN *Správa CHKO Žďárské vrchy 1994*. In: . 2008.
- [22] QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Academia, *Studia Geographia*16. GÚ ČSAV v Brně, 1971.
- [23] ČHMÚ. Brno, 2010.
- [24] *Manipulační řád pro I.přehradu VÍR I na řece Svrtace v km 114,900*. Povodí Moravy, s.p. Brno, vodohospodářský dispečink. 2011.
- [25] STARÝ, Miloš. *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Vysoké učení technické v Brně, 1990.