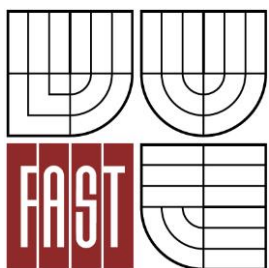




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PRŮMĚRNÉHO MĚSÍČNÍHO PRŮTOKU NA VYBRANÉM VODOMĚRNÉM PROFILU V POVODÍ ŘEKY SVITAVY

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT ESTIMATION OF MEAN MONTHLY FLOWS VALUES OF
THE SELECTED HYDROMETRIC STATION AT THE SVITAVA RIVER CATCHMENT AREA

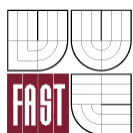
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

STANISLAV PASEKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.



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	Stanislav Paseka
Název	Stanovení nejistoty měření průměrného měsíčního průtoku na vybraném vodoměrném profilu v povodí řeky Svitavy
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Daniel Marton, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

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

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

Podklady a literatura

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

STARÝ M., Hydrologie (MODUL 02 Návody do cvičení), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2005.

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

MARTON D., Vliv nejistot průtokových řad průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže, Disertační práce, VUT v Brně, 2012.

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je provést kvalifikovaný odhad nejistot měření v měrném profilu Prostřední Poříčí, který je umístěn na řece Křetínce. Jako podklad pro výpočet budou sloužit historická kontinuální měření vodní hladiny s časovým krokem jedna hodina a body měrné křivky průtoků koryta toku. Výstupem práce bude zpracovaná teorie o daném problému, výpočet nejistot měření průtoků koryta toku, statistické vyhodnocení vypočtených hodnot a interpretace výsledků v přehledné tabelární a grafické podobě.

Předepsané přílohy

.....

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

Abstrakt

V současné době se velikosti nejistoty členů řad průměrných měsíčních průtoků v běžné praxi detailněji nezohledňují a není ani znám odhad jejich velikostí. Uvedená skutečnost ve svém důsledku může ovlivnit návrh a řízení vodních nádrží. Bakalářská práce se zabývá odhadem nejistot měření hodnot průměrných měsíčních průtoků stanovených v měrném profilu Prostřední Poříčí na toku Křetínka v povodí řeky Svitavy. Vyhodnocení je provedeno pomocí měřených hodinových vodních stavů a odvozené měrné křivky průtoků koryta toku. Základem pro sestavení nejistotou zatížených měrných křivek průtoků a vodních stavů je použití metody Monte Carlo. Hodnoty výsledných odvozených náhodných průtoků jsou dále pomocí statistických metod vyhodnoceny ve formě příslušných statistických charakteristik a prezentovány jako nejistoty průměrných měsíčních průtoků.

Klíčová slova

Nejistota, standardní nejistota, rozšířená nejistota, vodní stav, měrná křivka průtoků, metoda Monte Carlo

Abstract

Currently, a sizes of the time series elements of average monthly flows uncertainty are not taken into account in more detail and it does not know the estimation of their sizes. The above mentioned fact could ultimately affected the design and operation of large open water reservoirs. This bachelor's thesis deals with the uncertainty of measurement estimation of the mean monthly flows which have derived in the measuring profile Prostřední Poříčí in the Křetínka river in the Svitava river basin. Evaluation is done using a measured values of water level stages and a stage-discharge relation curve. The basis for design of uncertainty affected stage-discharge curves and water level stages the Monte Carl method is used. The outcome values of random flows are further evaluated using the statistical methods in the form of the statistical characteristics and presented as uncertainties of mean monthly flows.

Keywords

Uncertainty, Standard Uncertainty, Extend Uncertainty, Water Stage, Stage-Discharge Curve, Monte Carlo Method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

PASEKA, Stanislav. *Stanovení nejistoty měření průměrného měsíčního průtoku na vybraném vodoměrném profilu v povodí řeky Svitavy*. Brno, 2014. 70 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 samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2014

.....
podpis autora
Stanislav Paseka

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Danielu Martonovi, Ph.D. za jeho ochotu, odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi byly nápomocny při zpracování mé bakalářské práce. Děkuji také svým rodičům za trpělivost a podporu při studiu.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	SOUČASNÝ STAV V DANÉ PROBLEMATICE	7
3	CÍL PRÁCE	9
4	METODY	10
4.1	Měření stavu vodní hladiny	10
4.2	Qh křivka	11
4.3	Metoda Monte Carlo	12
4.3.1	Generování nejistot (Q, h) bodů.....	13
4.3.2	Generování nejistot vodních stavů h_p	13
4.4	Výpočet statistických charakteristik	15
4.4.1	Střední hodnota	15
4.4.2	Směrodatná odchylka.....	16
4.4.3	Koeficient variace	16
4.4.4	Koeficient asymetrie	16
4.4.5	Exces.....	17
5	PRAKTICKÁ APLIKACE	18
5.1	Lokalizace území vodoměrného bodu	18
5.1.1	Řeka Křetínka	18
5.1.2	Vodoměrný profil	18
5.2	Proložení náhodných empirických (Q, h) bodů MKP - metoda polynom	22
5.3	Stanovení náhodných průběhů hodinových průtoků $Q(t)$	29
5.4	Převod náhodných hodinových průtoků na průměrné měsíční průtoky zatížených nejistotou.....	30
5.5	Zpracování a vyhodnocení náhodných průměrných měsíčních průtoků zatížených nejistotou a výpočet statistických charakteristik	32
5.6	Průměrné roční a průměrné dlouhodobé hodnoty.....	48
5.7	Vyhodnocení skutečných naměřených dat a porovnání s generovanými	54
6	SHRnutí VÝSLEDKŮ	58
7	ZÁVĚR	61
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	65
10	SEZNAM TABULEK	67
11	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
12	SEZNAM PŘÍLOH	70

1 ÚVOD

V dnešní době dochází bezesporu ke klimatickým změnám. Toto téma je jedním z nejzávažnějších a nejvíce diskutovaných globálních ekologických problémů. Měníci se podnebí může být ovlivňováno mnoha faktory, jako je lidstvo, nárůst skleníkového efektu atmosféry, spalování fosilních paliv, znečišťování ovzduší a další.

Z naměřených údajů z měření NOAA vyplývá, že byl listopad roku 2013 nejteplejším měsícem v celé historii měření. Průměrná povrchová teplota pevniny a oceánů činila 13,68 °C, což je o 0,78 °C nad průměrem dvacátého století [19].

Za posledních 200 let nastalo oteplení o 0,6 °C, v následujícím století však vědci počítají s ještě vyšším nárůstem teplot a jelikož je naše civilizace na produkci skleníkových plynů prakticky závislá, očekává se další zhoršení situace. Nutno však podotknout, že růst teplot v různých částech světa je nerovnoměrný a na některých místech se i ochladilo. Změna klimatu spolu s vyšší teplotou může mít i důsledky silnějších a častějších přírodních katastrof, jako jsou povodně, sucha, bouře, vichřice, tropické cyklony, tání ledovců, stoupání mořské hladiny atd. V našich podmínkách se budeme zřejmě potýkat s častějšími povodněmi a obdobími sucha [23].

Průměrného množství srážek může být dostatek, ale v posledním desetiletí jsme se v naší republice setkali s intenzivnějšími lokálními dešti a nepravidelnostmi, které mohou právě vyrovnávat průměrné množství srážek. Ve skutečnosti ale nemají příznivou funkci pro vodnost a zásobu podzemní vody. Zásoby podzemní vody postupně ubývají a nutno brát v potaz, že k nám voda odnikud nepřitéká, ale pouze odtéká. Výjimkou není ani zima 2013/2014, kdy byl nedostatek srážek, ať už sněhových nebo dešťových. Vodní nádrže byly předpuštěné a připravené na jarní tání sněhové pokrývky, ale v krajině žádná „zásoba vody“ ve formě sněhu nenapadla. V únoru 2014 například stanice Letovice a další měrné profily hlásily vodní stav sucho [12].

Pokud k výše uvedeným tvrzením a skutečnostem týkajících se změn klimatu a jejich důsledků na hydrologický režim přibereme i obecnou problematiku nejistot, resp. chyb vznikajících v průběhu jakéhokoliv návrhu či výrobního procesu, pak celá problematika dostává nový rozměr. Jedním z obecných typů nejistot jsou i nejistoty měření vznikající při jakýchkoliv měřeních a tvořící problémy, kterým se neubráníme v žádném odvětví, a to ani v případě vodního hospodářství. Ve skutečnosti neexistují žádné měřicí přístroje ani metody měření, které by byly dokonale přesné.

Nejistoty měření průměrných měsíčních průtoků mohou ovlivnit množství akumulované vody ve vodních nádržích. Důsledkem může být zkreslení výsledků vodohospodářských výpočtů při návrhu a řízení nádrží a vodohospodářských soustav, zkreslení reálných odtoků

vody z nádrží a nezajištění minimálních hodnot odtoků vody do toku. Nerespektováním nejistot měření v málovodných obdobích u vodárenských nádrží může dojít k výpadkům v zásobování vodou a nemusí tak být zajištěna dodávka pitné vody.

Tyto nejistoty mohou ovlivňovat nejen měřené průtoky v toku, ale také průtoky vody v potrubí. Například v trubním systému u dodávek pitné vody výskytem všech nepříznivých variant (maximální odchylky) mohou vznikat problémy, kdy číselná hodnota průtoku bude splněna, ale ve skutečnosti bude minimální hodnota nižší hodnoty, než je požadovaná. Stejný problém může nastat v kanalizačním potrubí, kdy může dojít k ucpaní, popřípadě zahlcení potrubí.

V současnosti se velikosti nejistoty členů řad průměrných měsíčních průtoků v běžné praxi nezohledňují, není znám ani odhad jejich velikostí a to může mít v některých případech nezanedbatelný vliv na dlouhodobé hospodaření s vodou v nádržích. Proto je snahou stanovení nejistot při těchto měřeních a zjištění přibližného intervalu hodnot okolo výsledku měření, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Tak, jak je uvedeno v [6], nejistota měření, která je zjištěná při kalibraci, je základem pro zjištění nejistot měření ve výrobě, zkušebně a kontrole.

Stanovení hodnot členů reálných průtokových řad je dáno měřeními v měrných profilech toku. V praxi se členy reálných průtokových řad udávají jako průměrné hodnoty spojitě měřenými průtoky, a to buď v jednotlivých měsících, hodinách, dnech popřípadě rocích. Tyto hodnoty jsou považovány za průměrné hodnoty průtoků v daném časovém kroku [3].

Pokud se bude vycházet z uvedeného textu, že každá měřená veličina je zatížena určitou nejistotou měření, pak i průměrné hodnoty průtoků ony nejistoty obsahují.

Nejistota měření tedy vyjadřuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který se dá odůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření se týká především výsledku měření, ale zároveň i měřících přístrojů, korekcí, hodnot použitých konstant apod., na kterých nejistota výsledku měření závisí. K určování nejistot měření se používá statistický přístup. Předpokladem je určité rozdělení pravděpodobnosti hodnot odchylek od skutečné hodnoty, resp. pravděpodobnost výskytu, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota. Mírou nejistoty měření je zvolena z matematické statistiky směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto stanovená nejistota se značí jako standardní nejistota a symbolizuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty [4] a [18].

Při jakémkoliv zpracování nejistot nejprve stojí detailní porozumění podstaty prováděného měření popsaného modelem měření. To znamená především znalost metody měření a schopnosti rozhodnutí, jaké vlivy mohou nastat během měření jako zdroje nejistoty,

a tím ovlivnit výsledek. Častokrát jsou dnes tyto informace udávány v návodu k použití konkrétních přístrojů nebo v popisu již prověřených metod měření [6].

V teorii nejistot podle způsobu získání rozlišujeme dva základní typy a to nejistota typu A a nejistota typu B. Jejich geometrickým průměrem lze stanovit kombinovanou standardní nejistotu, popřípadě rozšířenou standardní nejistotu. Následující rozdělení nejistot je zpracováno podle [6].

Nejistota typu A

Stanovuje se výpočtem z opakovaně provedených měření dané veličiny. Vychází ze statistického zpracování opakovaného měření a předpokladu, že během tohoto opakovaného odečtu se nemění měřená veličina ani ovlivňující podmínky. Míra nejistoty typu A je výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru, protože výsledná hodnota měření se získává výpočtem průměrné hodnoty opakovaně provedených odečtů, tedy součtem všech hodnot vydělených sumou počtu provedených odečtů. Tomuto odpovídá příslušný vztah, podle kterého se vypočte standardní nejistota typu A (1).

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

kde:

n počet měření dané veličiny,

i i -tá hodnota měřené veličiny,

x_i i -tý opakovaný výběr (opakované měření),

\bar{x} je výběrový průměr neboli střední hodnota, která se stanoví jako (2).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2)$$

Pro platnost tohoto vztahu je předpoklad, že je provedeno alespoň 10 opakovaných měření, ze kterých je potom stanovena nejistota typu A. V případě menšího počtu měření, kdy n je menší než 10 opakování, je potřeba korekce opravným koeficientem k_s . Výsledná hodnota standardní nejistoty typu A u_A se spočte vynásobením směrodatné odchylky výběrových průměrů $s_{\bar{x}}$ a opravného koeficientu.

Nejistota typu B

Oproti nejistotě typu A, která se stanovuje z opakovaných měření, pro složky nejistoty typu B platí, že se stanovují jinak než opakovaným měřením. Rozdíl mezi těmito nejistotami je tedy zřejmý, problém je ovšem v tom, jak jinak je nejistota typu B stanovena. V tomto případě se musí nejprve najít všechny možné zdroje nejistot.

Možné zdroje nejistot typu B jsou následující:

- *Vlivy vázané na použité přístroje, etalony a vybavení.*
Do této skupiny lze zařadit například vliv nejistoty kalibrace nebo ověření, stabilita a dynamické chyby přístrojů, vnitřní tření v přístrojích, rozlišení odečtu z přístrojů, hystereze a další.
- *Vlivy okolního prostředí a jejich změny.*
Zde je to zejména tlak, případně změna tlaku, relativní vlhkost, magnetické a elektrické pole, hustota vzduchu, ovzduší, prašnost a další.
- *Vliv metody.*
V této skupině jde o ztráty, vliv interakce s měřeným předmětem, použití konstant, vlivy reálných parametrů oproti ideálním, odvod či přestup tepla a další.
- *Vliv operátora.*
Nedodržení metodik, paralaxa, elektrostatické pole, tepelné vyzařování a osobní zvyklosti.
- *Ostatní vlivy.*
Mezi ostatní vlivy se zahrnují náhodné omyly při odečtech a zápisu hodnot, těžko postihnutelné globální vlivy jako vlivy ročních období, denní doby a podobně.

Při určování standardní nejistoty typu B se postupuje tak, že se vytipují možné zdroje nejistot Z_1, Z_2, \dots, Z_n a určí se standardní nejistoty typu B u_{Bzj} každého j -tého zdroje nejistot. Poté se odhadne maximální rozsah změn Δz_{jmax} a to tak, že se volí taková hodnota, aby její překročení bylo málo pravděpodobné. Standardní nejistota u_{Bzj} se potom určí podle vztahu (3).

$$u_{Bzj} = \frac{\Delta z_{jmax}}{\chi}, \quad (3)$$

kde:

Δz_{jmax} maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty,

χ je součinitel, který plyne z rozdělení pravděpodobnosti, kterým se daný zdroj řídí (pro normální rozdělení $\chi = 3$).

Celková nejistota typu B se určí pro n odpovídající počet zdrojů nejistoty z_1, z_2, \dots, z_n geometrickým průměrem nejistot jednotlivých zdrojů (4).

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{Bz_j}^2}. \quad (4)$$

Kombinovaná nejistota

Kombinovaná nejistota výsledku měření u se stanoví geometrickým průměrem standardní nejistoty typu A u_A a standardní nejistoty typu B u_B (5).

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (5)$$

Rozšířená nejistota

Standardní kombinovaná nejistota u byla určena s pravděpodobností asi $P = 68 \%$, tj. pro koeficient rozšíření $k = 1$. Pro jinou pravděpodobnost se nejistota přepočítá vynásobením koeficientem rozšíření k . Rozšířená nejistota U se vypočte podle vztahu (6).

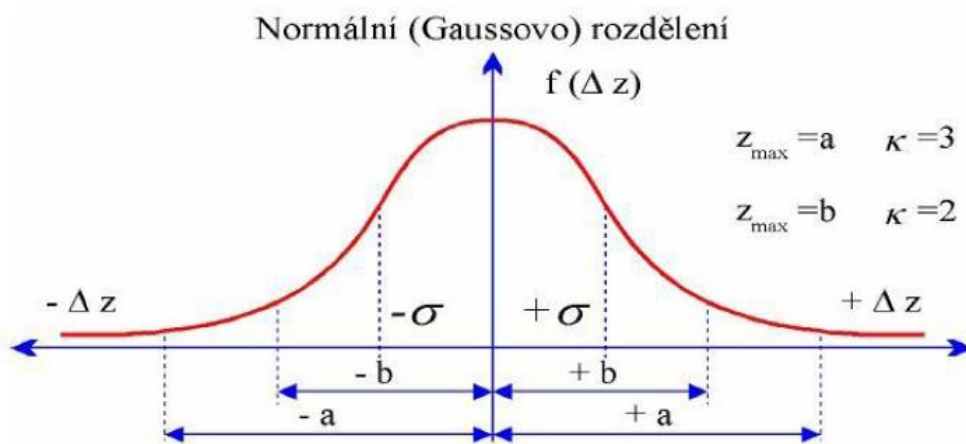
$$U = u \cdot k, \quad (6)$$

kde:

k je koeficient rozšíření a jeho hodnota záleží na použitém rozdělení pravděpodobnosti.

Standardní znamená, že při skládání byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Při splnění několika předpokladů je možné považovat rozdělení takto určené nejistoty za přibližně normální. Z tohoto pak plyne, že vypočítaná nejistota pokrývá cca. 68 % možných výsledků, čili přibližně 1/3 výsledků může spadat mimo takto stanovené pole nejistot. Takováto situace je pro nás nepřijatelná, a proto se přistupuje k vynásobení standardní nejistoty koeficientem rozšíření k kterým dosáhneme pokrytí možných výsledků s vyšší pravděpodobností. V praxi se s normálním rozdělením používají často dva základní koeficienty rozšíření, a to koeficient rozšíření $k = 2$ a $k = 3$ pro pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 % a 99,7 %. Případy standardní a rozšířené nejistoty můžeme ilustrovat pro normální (Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti, viz Obr. 1 [5] a [20].

pásmo $\pm\sigma$ představuje standardní nejistotu,
 pásmo $\pm b$ představuje rozšířenou nejistotu pro $k = 2$
 pásmo $\pm a$ představuje rozšířenou nejistotu pro $k = 3$.



Obr. 1 Případy standardní a rozšířené nejistoty pro normální (Gaussovo) rozdělení.

2 SOUČASNÝ STAV V DANÉ PROBLEMATICE

Nejistoty měření se do běžné praxe kalibračních laboratoří dostaly teprve nedávno. Konkrétně v roce 1990, kdy byl vydán dokument WECC 19/90 Západoevropským kalibračním sdružením [11], ve kterém jsou definovány předpisy pro nejistoty. Po něm následovaly další dokumenty jako „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření) [9] a Expression of the Uncertainty in Measurement in Calibration (Metodika vyjadřování nejistot při kalibracích) [8]. Vstupem do Evropské unie se ČR zavázala dodržet zmíněné dokumenty, které definovaly zcela nový pohled na chyby vzniklé měřením a také jejich nové pojetí. Základem bylo nahrazení názvosloví novým pojmem nejistoty měření. Z dokumentů byly sestaveny mezinárodní směrnice a normové předpisy, které jsou pro EU včetně ČR závazné. Český překlad má název „TPM 0051 – 93 Stanovení nejistot při měřeních“ [10].

Nejistota je definována v Českých technických normách jako parametr spojený s výsledkem stanovení, který charakterizuje rozptyl hodnot a tento rozptyl je možno logicky přiřadit ke stanovenému množství.

Simulace Monte Carlo, která je základem generování nejistot pro vodní stavy h_p a (Q, h) body, je pojmenována podle města v Monaku, které je proslulé hazardem s velkým počtem kasin. Hazardní hry, jako např. ruleta, zahrnují opakované události se známými pravděpodobnostmi. Formulace moderní aplikace této metody se datuje do 40. let 20. století při práci na atomové bombě. Zakladatelé této metody byli matematik Stanislaw Marcin Ulam a John von Neuman. Metoda Monte Carlo byla využita již v průběhu druhé světové války [17].

Metoda Monte Carlo je třída algoritmů (postupů) pro simulaci systémů. Jedná se o stochastické (nahodilé) metody používající pseudonáhodná čísla. Této metody lze využít ve všech oborech, ať už v matematice, ve finančních a obchodních oblastech, fyzice, výpočetní technice, hrách atd. Můžeme ji použít například pro řešení výpočtů integrálů, jak určitých tak vícerozměrných, parciálních diferenciálních rovnic, pro řešení systémů lineárních rovnic, simulaci experimentů a další [16].

Pro generování potřebuje Monte Carlo generátor náhodných čísel, který je základem simulačních programů. Kvalitní generátory mají konstantní hustotu pravděpodobnosti generovaných náhodných čísel „bílý šum“. Mezi vygenerovanými náhodnými čísly neexistuje žádná závislost, to znamená, že je nulová autokorelační funkce. Náhodná čísla jsou generována se stejnou pravděpodobností [6].

Český hydrometeorologický ústav ani Povodí Moravy, s.p. nejistoty naměřených členů průtokových řad v dnešní době stále neuvádějí. Český hydrometeorologický

ústav (ČHMÚ) ovšem zpracovává pravděpodobnostní předpovědi založené na principu metody Monte Carlo [2] a již v některých vybraných měrných profilech zveřejňuje modelové předpovědi průtoků s určitou pravděpodobností a zároveň pravděpodobnostní překročení stupňů povodňové aktivity [12].

Proč tedy neuvádět i nejistoty naměřených hodnot. Otázkou ovšem je, jak velká je tato hodnota nejistot členů reálných naměřených průtokových řad a jakým způsobem při měření průtoků nejistoty vznikají, protože mohou být ovlivněny výsledky úloh, do kterých průtokové řady vstupují. Je ale zřejmé, že pro naměřené hodnoty vodních stavů v měrných profilech toků je žádoucí uvádět velikosti nejistoty.

V zahraničí se podobnou tématikou zabýval například Asgeir Petersen-Øverleir [1].

3 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo pomocí měřených výšek vodních hladin tzv. vzorkovaných hodinových vodních stavů a odvozené měrné křivky průtoků koryta toku odhadnout velikost nejistoty měření průměrných měsíčních průtoků. Podkladem zpracování byla časová řada vzorkovaných hodinových vodních stavů $h(t)$ kontinuálního záznamu měření dlouhého 7 let a měrná křivka průtoků koryta toku zpracována na základě měřených hodnot (Q, h) bodů v měrném profilu toku.

Vše bylo aplikováno na vybraném vodoměrném profilu Prostřední Poříčí na řece Křetínce, který je měrným profilem vybudovaným na přítoku do vodní nádrže Letovice.

4 METODY

4.1 Měření stavu vodní hladiny

Na každé říčce a řece se neustále mění výška vodní hladiny, a tím i průtok důsledkem srážkoodtokového procesu v povodí. Abychom kolísání hladiny zachytili, snažíme se ji měřit různými způsoby a na tocích zřizujeme měrné profily (vodočetné stanice). Vztah mezi výškou hladiny v daném profilu toku (vodním stavem) a odpovídajícím průtokem je při rovnoměrném ustáleném proudění jednoznačný a je dán měrnou křivkou (konsumpční křivkou). Ve vodočetných stanicích (limnigrafech) se měří vodní stavy nepřetržitě a z nich se pak stanovují odpovídající průtoky. Pro hydrologii má měření vodních stavů základní význam. Měření stavu vodní hladiny řadíme do nepřímého měření průtoků [3].

Ve vodočetných stanicích, které mají výstižně charakterizovat určitý úsek toku, se vodní stavy h_p odečítají různými druhy měřicích zařízení. Jedním z nejjednodušších zařízení je odečítání vodního stavu z laťového vodočtu. Jedná se o dřevěná nebo plechová (smaltovaná) měřidla s dělenou výškovou stupnicí po 2 cm. Pro každý vodočet je nutné znát staničení místa daného vodočtu, k němu spadající plochu povodí a výšku nuly vodočtu. Na důležitých profilech toků se zřizují limnigrafy, které již spojitě zapisují vodní stav na speciálním grafikonu (limnigramu). Nejčastějším provedením pořízení záznamu je zápis plovákovým limnigrafem, který se pohybuje ve svislé šachtě a zaznamená každé kolísání hladiny. V dnešní době Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) vybavuje limnigrafické stanice, které spadají pod jejich zprávu, novější technikou. Především se vybavují bublinkovými přístroji a tlakovými sondami, které pomocí piezokrystalu určují tlak vody. Pravidelným odčítáním vodního stavu a měřením stanovují odpovídající průtoky. Z těchto údajů se potom stanovuje měrná křivka průtoků (*MKP*), viz kapitola 4.2. [6].

Pro starší metody, jako jsou odečty z laťového vodočtu, mohou nastávat nepříznivé komplikace a vlivy při měření. Výsledky měření mohou být ovlivněny zarůstáním koryta, vlnami, lidským faktorem, sezónností (ledy), mohou nastat i případy poškození nebo vytržení a odnesení vodočetné latě při povodních. Právě extrémní průtoky mají nevyčíslitelnou hodnotu pro hydrologii. Samotné měření laťovými vodočty není úplně nejpřesnější.

Plovákové limnigrafické stanice, které se seřizují a kontrolují vodočetnou latí, jsou přesnější, ale poruchovější. Může docházet k zanášení mezi tokem a limnigrafickou stanicí. Při poruchách dochází k ovlivnění výsledků měření, popřípadě k nulovým hodnotám měřené řady.

V současné době se limnigrafické stanice vybavují modernější technikou, především tlakovými sondami. Tlakové sondy dnes dokáží měřit i při silně znečištěných vodách, dosahují nejpřesnějších výsledků a jejich snad jedinou nevýhodou je, že při nedodávce elektrické energie nastane výpadek měření.

4.2 Qh křivka

Qh křivka neboli měrná křivka průtoku (*MKP*) koryta toku slouží k převedení odpovídajícího vodního stavu $h(t)$ na hodnotu odpovídajícího průtoku $Q(t)$. Abychom mohli získat *MKP*, potřebujeme mít naměřených několik tzv. (Q, h) bodů. Každý takovýto (Q, h) bod *MKP* je v měrném profilu toku získán pomocí měření vodního stavu a odpovídajícího pole naměřených bodových rychlostí ve vhodně zvolených svislicích (hydrometrickým měřením) v měrném profilu a jeho následného vyhodnocení do průměrného profilového průtoku Q . Opakovaným periodickým měřením získáváme množinu několika (Q, h) bodů [3].

Vynesení odpovídajících Q, h bodů do pravoúhlého souřadnicového systému Q, h a opakovaným proložením těchto bodů regresními křivkami popsány pomocí příslušných regresních rovnic, získáme empirické měrné křivky průtoků neboli konsumpční křivky. Konsumpční křivky tedy udávají závislost mezi vodními stavy a průtoky, které jsou funkcí výšky [6].

V praxi se v přirozených vodních korytech na proložení empirických *MKP* koryta toku používají regresní rovnice v mocninném tvaru (7) a rovnice polynomu druhého stupně (8) [6].

$$Q = a(h + b)^c, \quad (7)$$

$$Q = a + (b \cdot h) + (c \cdot h^2), \quad (8)$$

kde ve vztahu (7) a (8) jsou:

a, b, c regresní koeficienty, které se získávají kalibrací,

Q měrný průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

h výška vodního stavu [cm].

V případech, kdy je měrný profil umístěn ve složeném vodním profilu, je měrná křivka vynášena se zlomem. To znamená, že pro každou část křivky platí odlišná z uvedených rovnic (7) a (8) nebo stejná rovnice s odlišnými regresními koeficienty [6].

Nejméně naměřených bodů je bohužel za vysokých vodních stavů, tedy velkých průtoků a může docházet k nepokrytí extrémních naměřených vodních stavů $h(t)$. Při těchto stavech

vznikají největší nejistoty, je ovšem možné s určitou opatrností průběh *MKP* prodloužit (extrapolovat) právě za rozsah provedených měření. Nutno brát v potaz i další vlivy, které ovlivňují tvar průtokového koryta, jako jsou zanášení, vymílání, zarůstání atd. Platnost *MKP* je tedy časově omezena a platí pouze pro určité období. Její tvar se tak musí neustále upřesňovat opakovaným měřením. Například v profilech s velkým vlivem stavu vegetace (zarůstáním) se užívají různé *MKP* pro letní a zimní období. Tím se dají vzniklé chyby eliminovat. Při povodních se odhaduje chyba v intervalu až $\pm 10\%$ [6].

K proložení empirické měrné křivky průtoků koryta toku slouží program HYDROM [7], který pomocí regresních rovnic (7) a (8) nabízí 5 metod proložení:

1. mocnina,
2. polynom,
3. kombinace mocnina - polynom,
4. kombinace polynom - polynom,
5. kombinace mocnina - mocnina.

Pro kalibraci regresních koeficientů na *MKP* v programu HYDROM je použita nelineární optimalizace. Parametry optimalizace jsou regresní koeficienty a , b , c a kritériem je minimální součet kvadrátů odchylek mezi body *MKP* a odpovídajícími body, které leží na prokládané regresní křivce [3].

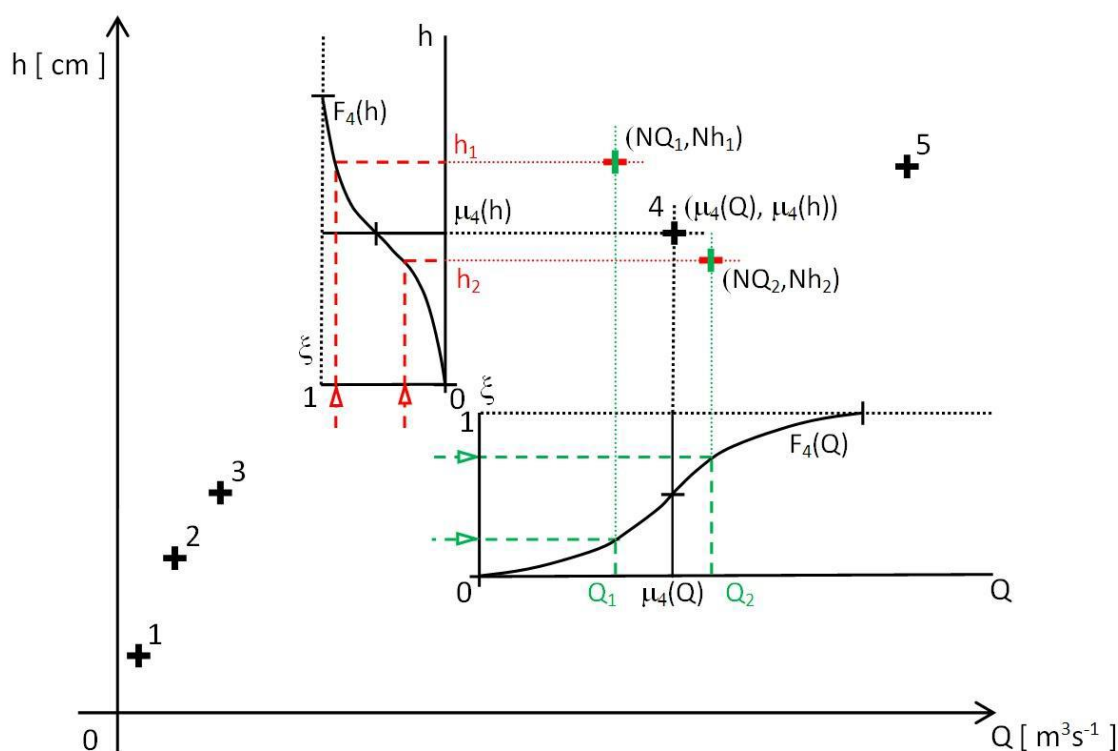
Z měření jsou získávány podklady pro konstrukci jednotlivých bodů *MKP*, které jsou zatíženy nejistotami jako kterákoliv jiná měření. U těchto vstupních dat, která určují polohu (Q, h) bodů v souřadnicovém systému Q, h , je zřejmé, že kolem každého naměřeného (Q, h) bodu existuje okolí, ve kterém se s jistou pravděpodobností zcela náhodně a nezávisle na sobě tyto body mohou vyskytovat. Intervaly výskytu, které mohou nastat, jsou vymezeny díky zvolení normálního rozdělení veličiny Q , resp. veličiny h . Použití metody Monte Carlo umožní generovat náhodné polohy v okolí všech n naměřených (Q, h) bodů a náhodné průběhy hodinových vodních stavů $h(t)$ [3].

4.3 Metoda Monte Carlo

Základem generování nejistotou (Q, h) bodů a vodních stavů h_p je použití metody Monte Carlo. Tato metoda umožní generovat náhodné polohy bodů v okolí všech n naměřených bodů, v našem případě tedy naměřených vodních stavů h_p a (Q, h) bodů. Simulace Monte Carlo se snaží možné výskyty měřené veličiny v blízkosti měřené hodnoty v dostatečném počtu vygenerovat. Tyto náhodné vygenerované realizace jsou použity jako vstupy do dalších opakovaných řešení, z nichž výstupy (výsledky) jsou statisticky vyhodnoceny [3].

4.3.1 Generování nejistot (Q, h) bodů

Za pomoci generátoru pseudonáhodných čísel a příslušných distribučních křivek jsou opakovaně generovány náhodné souřadnice (Q, h) bodů. Každému průtoku Q a stejně i každému vodnímu stavu h odpovídá distribuční křivka, která je určena normálním rozdělením $N(\mu_i(Q), \sigma_i(Q))$, resp. $N(\mu_i(h), \sigma_i(h))$, pro $i = 1, 2, \dots, n$, kde n je počet všech bodů na měrné křivce průtoků. Opakovaným generováním náhodných poloh (Q, h) bodů jsou vytvářena „hnízda“ bodů kolem reálně naměřených hodnot bodů empirické MKP. Výsledné náhodné realizace jsou označeny (NQ_j, Nh_j) , pro $j = 1, 2, \dots, PO$, kde PO je počet opakování (generování) náhodného (Q, h) bodu. Princip generování náhodných poloh bodů empirické MKP je naznačen na Obr. 2 [3].

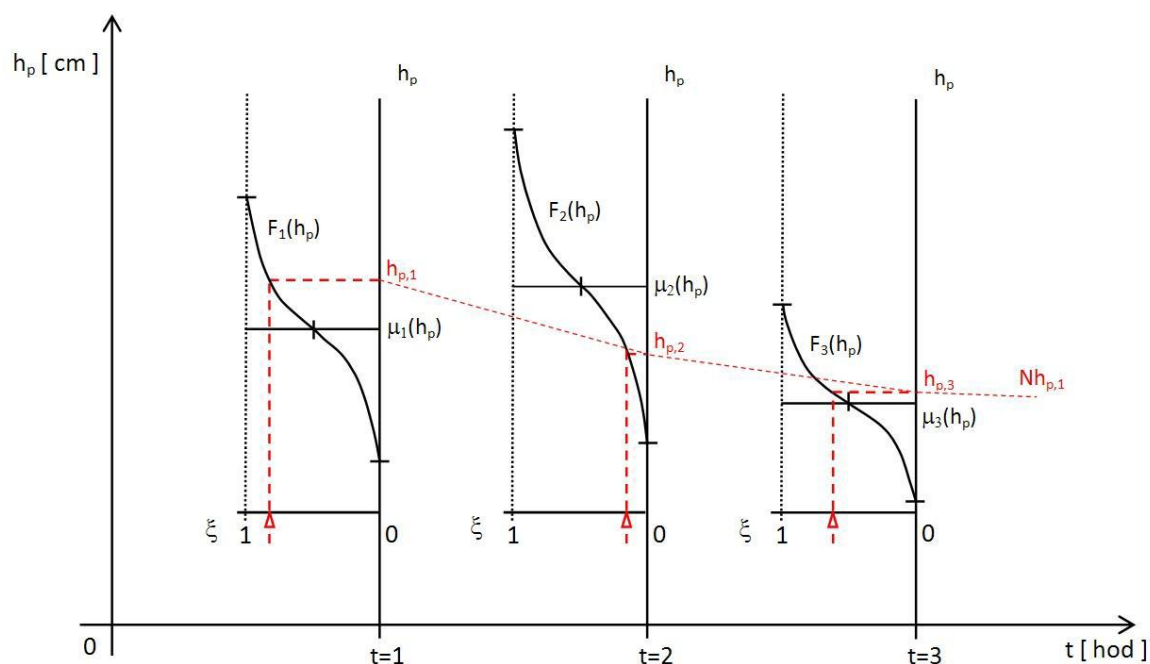


Obr. 2 Schéma generování náhodných souřadnic (NQ_j, Nh_j) bodů empirické MKP z okolí naměřených bodů $(\mu_i(Q), \mu_i(h))$ metodou Monte Carlo.

4.3.2 Generování nejistot vodních stavů h_p

Postup generování náhodných řad vzorkovaných vodních stavů vychází stejně jako generování (Q, h) bodů z metody Monte Carlo. Použitím generátoru pseudonáhodných čísel a příslušných distribučních křivek jsou opakovaně generovány náhodné průběhy řady vzorkovaných vodních stavů h_p . Každému vzorkovanému vodnímu stavu h_p odpovídá distribuční křivka, která je určena opět normálním rozdělením $N(\mu_i(h_p), \sigma_i(h_p))$, pro $i = 1, 2, \dots, n$, kde n je počet všech odpovídajících prvků v řadě. Opakované náhodné generované průběhy vzorkovaných vodních stavů $h_{p,j}$ jsou označeny $Nh_{p,j}$, pro $j = 1, 2, \dots, PO$, kde

PO je počet opakování a jsou nazývány náhodnými řadami vzorkovaných vodních stavů. Princip generování náhodných řad vodních stavů je naznačen na Obr. 3 [3].



Obr. 3 Schéma generování náhodných řad vzorkovaných vodních stavů metodou Monte Carlo.

Pomocí výše popsaných metod v kapitolách 4.3.1 a 4.3.2 vznikly dva soubory dat. Náhodné polohy (Q, h) bodů MKP a náhodné řady vzorkovaných vodních stavů. Ke každé náhodné řadě vzorkovaných vodních stavů je nezávisle přiřazena náhodná empirická měrná křivka. Z ní jsou pak pro hodnoty $h(t)$ odečteny odpovídající hodnoty okamžitých průtoků $Q(t)$, a tím vznikne náhodná řada vzorkovaných hodinových průtoků Q_p . Náhodná řada vzorkovaných průtoků Q_p je zpracována pro každý měsíc vyhodnocovaného období do průměrného měsíčního průtoků Q_m . Za vyhodnocované období tak získáme řadu náhodně generovaných průměrných měsíčních průtoků Q_m a jejich střední hodnota odpovídá s přijatelnou přesností hodnotě průměrného měsíčního průtoků reálné průtokové řadě a směrodatná odchylka je brána jako standardní nejistota příslušného průměrného měsíčního průtoků [3]. Pro výpočet středních hodnot a směrodatných odchylek bylo dále použito příslušné statistické vyhodnocení ve formě výpočtu statistických charakteristik.

4.4 Výpočet statistických charakteristik

Statistické (číselné) charakteristiky a pravděpodobnostní funkce jsou popisujícími charakteristikami používanými v hydrologii pro popis základního souboru hydrologických dat. Nejpoužívanějšími statistickými charakteristikami jsou střední hodnota, disperse, směrodatná odchylka, koeficient variace, koeficient asymetrie a koeficient špičatosti. Tyto charakteristiky jsou v následujících podkapitolách zpracovány dle [3] a [6].

4.4.1 Střední hodnota

Střední hodnota je hodnota prvního obecného momentu a značí se $\mu(x)$. Patří k tzv. charakteristikám polohy a její hodnota je x -ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti. Metodou momentů je odhad střední hodnoty uveden ve vztahu (9).

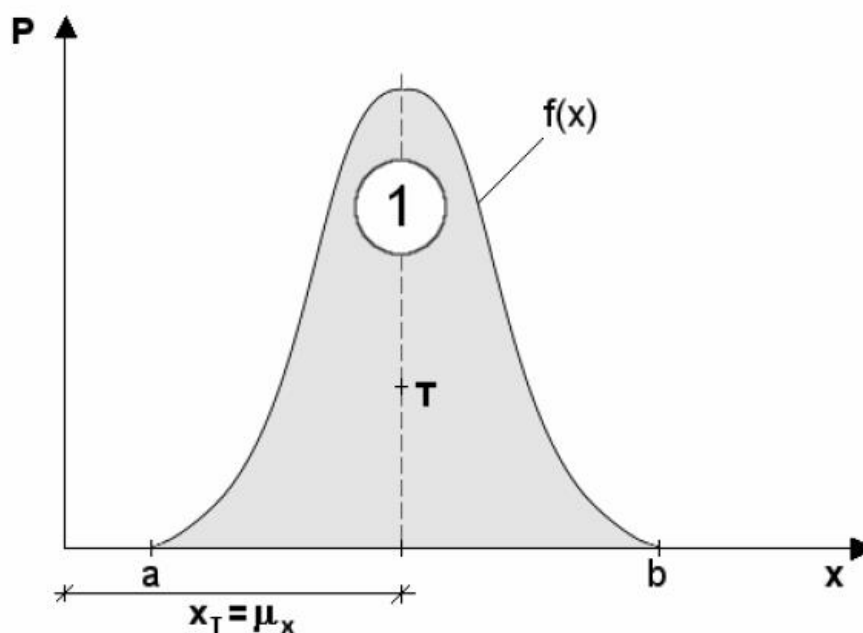
$$\mu(x) \approx \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (9)$$

kde:

\bar{x} je výběrový průměr neboli střední hodnota, která se stanoví jako rovnice (2),

x_i prvky náhodného výběru,

n počet prvků náhodného výběru.



Obr. 4 Střední hodnota je x -ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti.

4.4.2 Směrodatná odchylka

Vyjadřuje se jako odmocnina z disperse $D(x)$ neboli rozptylu. Pokud se hodnota disperse blíží k nule, pak je tvar grafu hustoty pravděpodobnosti úzký a špičatý, pokud na druhou stranu roste hodnota disperse do nekonečna, je tvar grafu hustoty pravděpodobnosti nízký a plochý. Disperze spolu se směrodatnou odchylkou a koeficientem variace vycházejí z druhého centrálního momentu.

Směrodatná odchylka se značí $\sigma(x)$ a Metodou momentů je vyjádřena vztahem (10).

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu(x))^2}{(n-1)}}. \quad (10)$$

4.4.3 Koeficient variace

Značí se $C_v(x)$ a vyjadřuje se jako podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty (11).

$$C_v(x) = \frac{\sigma(x)}{\mu(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \mu(x))^2}{(n-1)}}, \quad (11)$$

$$\text{pro } k_i = \frac{x_i}{\mu(x)}.$$

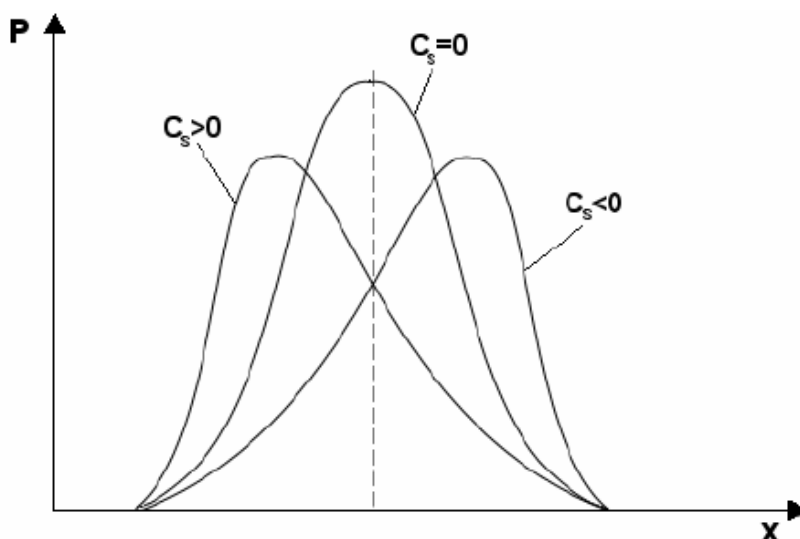
4.4.4 Koeficient asymetrie

Značí se $C_s(x)$ a vyjadřuje míru asymetrie k vertikální ose grafu (šikmost). Určí se jako podíl třetího centrálního momentu a třetí mocniny směrodatné odchylky. Momentovou metodou je popsán vztahem (12).

$$C_s(x) = \frac{M_3(x)}{\sigma(x)^3} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1) \cdot C_v(x)^3}, \quad (12)$$

$$\text{pro } k_i = \frac{x_i}{\mu(x)}.$$

Pokud je výsledek $C_s(x) > 0$, potom se křivka hustoty pravděpodobnosti naklání doleva, pro $C_s(x) = 0$ je křivka symetrická a pro $C_s(x) < 0$ se naklání doprava, viz Obr. 5.



Obr. 5 Koeficient asymetrie a jeho vliv na naklonění grafu hustoty pravděpodobnosti.

4.4.5 Exces

Exces neboli koeficient špičatosti $E(x)$ je definován jako podíl čtvrtého centrálního momentu a čtvrté mocniny směrodatné odchylky. Podíl normálního rozdělení je roven 3. Proto je koeficient špičatosti normálního rozdělení roven nule. Pro více špičatá rozdělení než normální rozdělení mají $E(x) > 0$ a pro více plochá rozdělení je $E(x) < 0$. Momentovou metodou je popsán vztahem (13).

$$E(x) = \frac{M_4(x)}{\sigma(x)^4} - 3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu(x))^4}{n \cdot \sigma(x)^4} - 3. \quad (13)$$

V hydrologické praxi se většinou používá nanejvýš do čtvrtého centrálního momentu $M_4(x)$, a to z důvodu malého počtu realizací, kterého musí být k dispozici, aby výsledná statistická charakteristika byla s chybou maximálně $\pm 10\%$.

V Tab. 1 jsou uvedeny minimální množství realizací pro stanovení statistické charakteristiky s chybou do $\pm 10\%$.

Tab. 1 Nutný počet realizací pro stanovení statistické charakteristiky s chybou $\pm 10\%$.

Statistická charakteristika	Nutný počet realizací
$\mu(x)$	20
$D(x), \sigma(x), C_v(x)$	40
$C_s(x)$	80
$E(x)$	300
$M_5(x)$	1200

5 PRAKTICKÁ APLIKACE

5.1 Lokalizace území vodoměrného bodu

5.1.1 Řeka Křetínka

Stanovení nejistoty je provedeno na vodoměrném profilu v povodí Moravy na říčce Křetínce, která pramení v lesním porostu mezi Stašovem a Pomezím u Poličky v nadmořské výšce 645 m n.m. Její plocha povodí je 129 km² a tvar tohoto povodí je protáhlý. Na toku dlouhém 29 km byla postavena vodní nádrž Letovice neboli Křetínka, dříve nazývána jako Svitavice, která byla postavena za účelem zmírnění dopadů velkých odběrů podzemní vody v prostoru Březová - Brněnec pro město Brno na průtokový režim ve Svitavě. Křetínka se přibližně 3 km pod hrází nádrže vlévá zprava do řeky Svitavy v nadmořské výšce 325 m n.m. Číslo hydrologického pořadí je 4-15-02-020 [15].

5.1.2 Vodoměrný profil

Vodoměrný profil, z kterého byla použita naměřená data pro bakalářskou práci, je umístěn asi 5 km nad tělesem hráze Letovice v obci Prostřední Poříčí na toku Křetínky.



Obr. 6 Měrný profil řeky Křetínky v Prostředním Poříčí před přítokem do VN Letovice [22].

Tab. 2 Stanice Prostřední Poříčí [13].

Stanice: LG Prostřední Poříčí		Tok: Křetínka					
Povodně							
■	1. stupeň povodňové aktivity:	55 [cm]					
■	2. stupeň povodňové aktivity:	90 [cm]					
■	3. stupeň povodňové aktivity:	150 [cm]					
■	3. stupeň povodňové aktivity (⚠ extrémní ohrožení):	225 [cm] (Q50)					
Poznámka:							
Sucho							
■	Q355:	0,08 [m ³ .s ⁻¹]					
N-leté průtoky [m³.s⁻¹]							
	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
	7,5	10,5	16,5	22	28	37,5	46
Historické povodně (3 nejvyšší zaznamenané po dobu pozorování)							
31.3.2006	22,6 [m ³ .s ⁻¹]		N ~ 10				
	[m ³ .s ⁻¹]		N ~				
	[m ³ .s ⁻¹]		N ~				

Za dobu pozorování bylo dosaženo nejvyšší historické povodně 31. 3. 2006, kdy byla naměřena hodnota 22,6 m³.s⁻¹. Tato hodnota atakovala desetiletou vodu.

Příčný profil vodoměrného profilu je jednoduchý lichoběžník. 1. stupeň povodňové aktivity je při výšce hladiny 55 cm, extrémní ohrožení nastává při hladině 225 cm, které odpovídá průtok 37,5 m³.s⁻¹ a sucho nastává tehdy, když klesne průtok na hodnotu 0,08 m³.s⁻¹.



Obr. 7 Příčný profil [13].

Vstupní měřené výšky vodní hladiny $h(t)$ a měřené (Q, h) body z tohoto měrného profilu byly zakoupeny z ČHMÚ regionálního pracoviště Brno. Kontinuální řada vzorkovaných vodních stavů je s hodinovým krokem dlouhá 7 let, konkrétně od 1. 11. 2001 do 31. 10. 2008, počet hodinových záznamů v souboru bylo celkem 61 368.

Před samotnými výpočty a prací s programem HYDROM [7] bylo vygenerováno 600 náhodných generací řady vodních stavů a k nim také 600 náhodných sestav (Q, h) bodů měrné křivky průtoků. Aby bylo možno náhodné průběhy generovat, bylo nutné nejprve zjistit a následně zadat velikosti nejistot měření jednotlivých měřených veličin.

Pro stanovení nejistoty měření průměrného měsíčního průtoku bylo uvažováno měření výšky hladiny tlakovými sondami, tyto ponorné tlakové snímače tedy slouží ke kontinuálnímu měření výšky vodní hladiny. Jejich rozsah měření je od 0,4 m do 100 m, některé typy až do 250 m vodního sloupce, což odpovídá tlakům od 4 kPa do 1 MPa, resp. 2,5 MPa. Dnešní tlakové sondy nám umožňují měření provádět jak v prostředí čisté vody, tak i silně znečištěné. Jsou vyráběny z nerezové oceli nebo plastu. Všechny tlakové snímače jsou napájeny od 8 V a proudový výstup je většinou v rozsahu 1 - 5 mA nebo 4 – 20 mA [21].

Tab. 3 Tlakové sondy firmy FIEDLER.

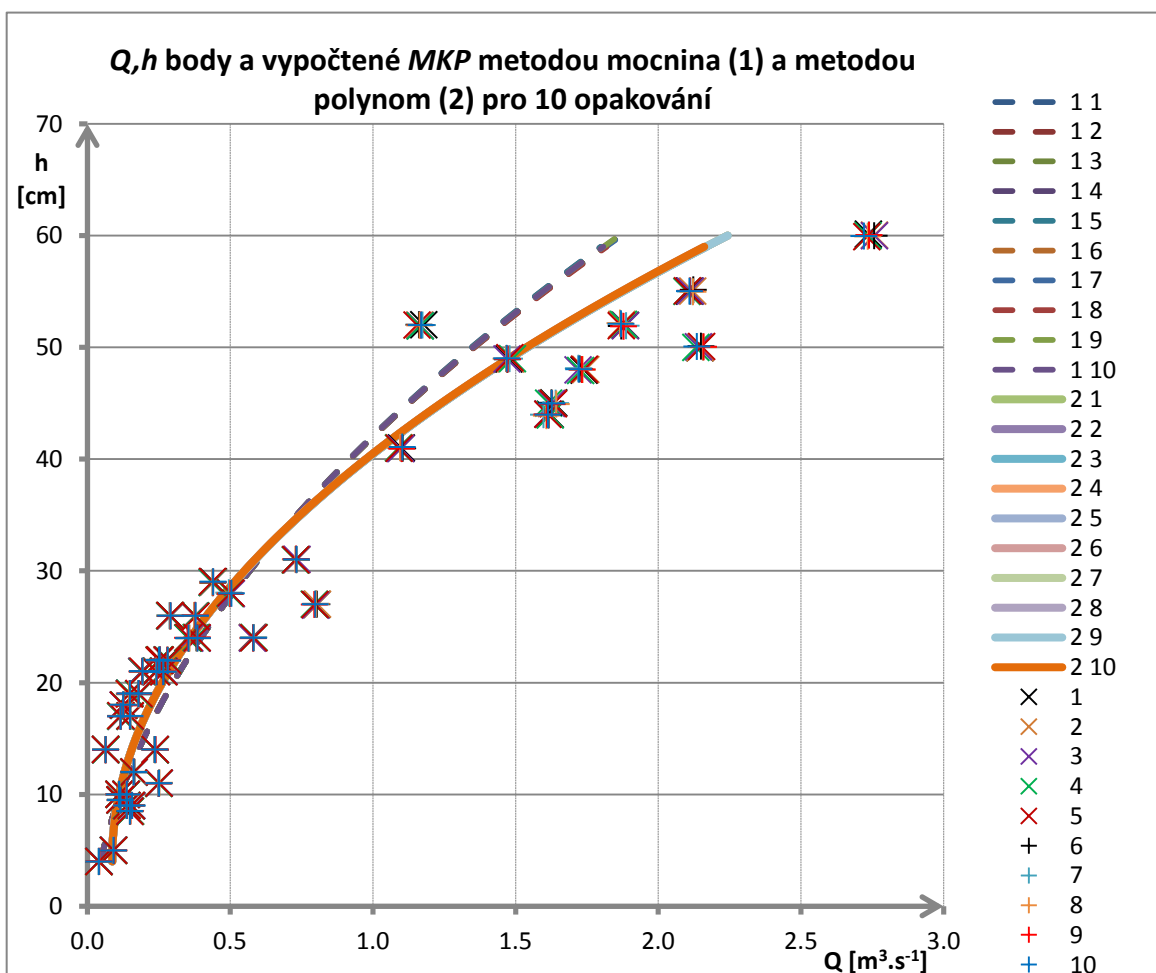
Tlaková sonda	LMP 307	LMP 308	LMP 308i	LMP 808	PTX 1030
Přesnost [%]	$\pm 0,50$ (0,35)	$\pm 0,50$	$\pm 0,10$	$\pm 0,50$	$\pm 0,25$
Obrázek:					

V Tab. 3 jsou vybrané sondy od firmy Fiedler s přesností měření vyjádřené v % pro horní mez rozsahu a přesnost je uvedena dle normy IEC 60770 – (nelinearita, hystereze, opakovatelnost) dle manuálu [14].

Velikost standardní nejistoty měření výšky hladiny jsme zvolili $\pm 0,50$ %, tato hodnota pokryje přesnosti vybraných tlakových sond, viz Tab. 3.

Pro naměřené (Q, h) body měrné křivky průtoků měrného profilu toku byly hodnoty nejistot měření zadány následovně: pro souřadnici Q odpovídá standardní nejistota $\pm 2,0 \%$. Hodnota byla získána zobecněním výsledků vyhodnocení programu HYDROM. Program je využíván na ČHMÚ jako nástroj pro vyhodnocení průtoků z hydrometrických měření. Pro souřadnici h byla zvolena hodnota standardní nejistoty $\pm 1,0 \%$. Hodnota byla stanovena odborným odhadem.

Aby bylo možné dále počítat a vyhodnotit nejistoty průměrných měsíčních průtoků, bylo nutné vygenerování náhodných dat hodinových měření stavů hladiny $h_p(t)$ a (Q, h) bodů MKP a bylo potřeba vybrat vhodnou metodu proložení empirických (Q, h) bodů regresní křivkou. Pro výběr metody kalibrací k našemu měrnému profilu se nabízely především dvě varianty, a to buď metoda mocnina, nebo metoda polynom. Jelikož měrný profil má tvar jednoduchého lichoběžníku, tak metody mocnina-polynom, polynom-polynom a mocnina-mocnina byly vyloučeny. Pro výsledné vyhodnocení nakonec byla vybrána metoda polynom. Podrobný postup a výběr proložení měrnou křivkou průtoků (MKP) je popsán v elektronické formě na CD Příloha č. 1 Výběr metody a výpočty.



Obr. 8 Porovnání metody mocnina a polynom z programu HYDROM.

Vypočtená *MKP* metodou polynom lépe charakterizuje (Q,h) body, než *MKP* metodou mocnina.

V podkapitole 5.2 jsou uvedeny výsledky z proložení *MKP* regresní rovnicí polynom pomocí programu HYDROM celkem 42 (Q,h) body.

Do těchto vypočtených měrných křivek průtoků byly vkládány hodinové výšky hladiny $h(t)$, a tím byl dopočítán spojitý průběh odpovídajících průtoků $Q(t)$. Tento způsob je naznačen v podkapitole 5.3.

V dalším kroku musely být hodinové průtoky převedeny na průměrné měsíční průtoky, viz. podkapitola 5.4.

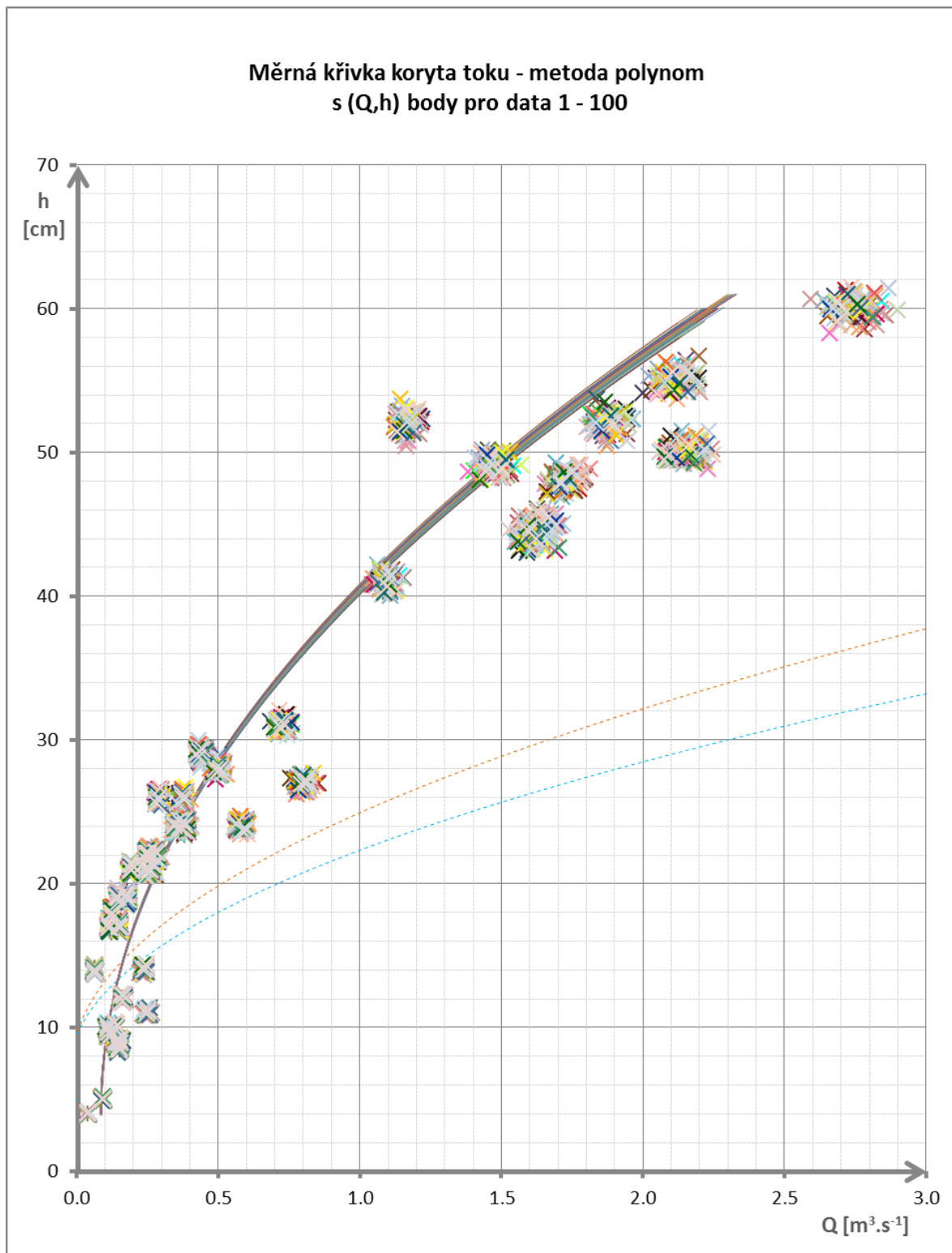
Poté měsíční průměrné průtoky byly zaříděny do tabulek a z nich vypočteny statistické charakteristiky. Dále byla vypočtena rozšířená nejistota a to tak, že standardní nejistota byla opravena koeficientem rozšíření k . Výpočty a výsledky jsou uvedeny v podkapitole 5.5.

Z měsíčních hodnot byly ještě určeny průměrné roční a průměrné dlouhodobé hodnoty. Tyto výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách popřípadě grafech v podkapitole 5.6 včetně rozšířené standardní nejistoty.

Nakonec byla vyhodnocena skutečná naměřená data a jejich výsledky jsou uvedeny v podkapitole 5.7.

5.2 Proložení náhodných empirických (Q,h) bodů *MKP* - metoda polynom

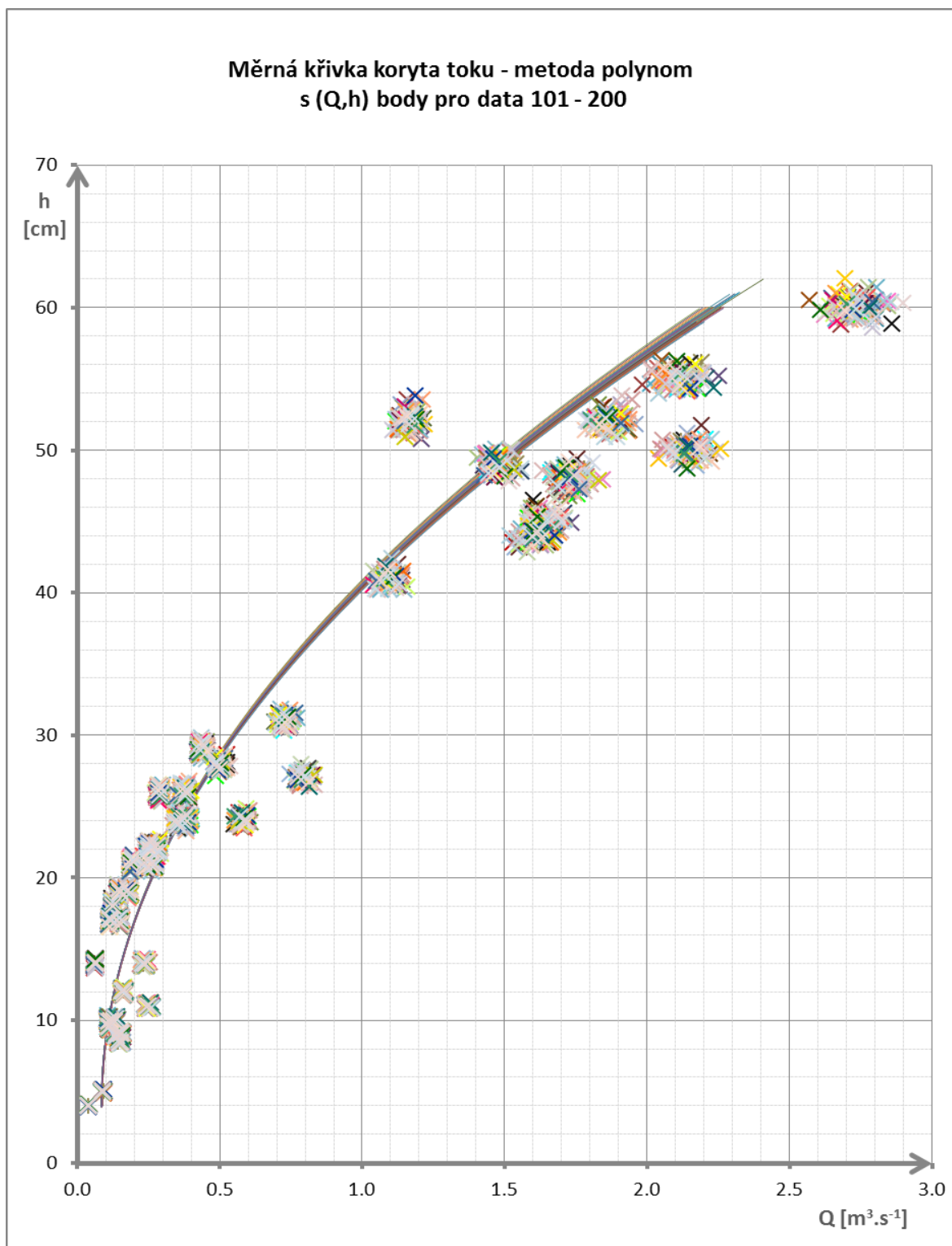
Po vybrání metody polynom bylo realizováno proložení teoretickou měrnou křivkou koryta toku všemi vygenerovanými (Q,h) body. V Obr. 9 až Obr. 14 jsou grafické výsledky vypočtených *MKP* po 100 opakování, a to z důvodu pozdějších vyhodnocování.



Obr. 9 MKP pro data 1 – 100.

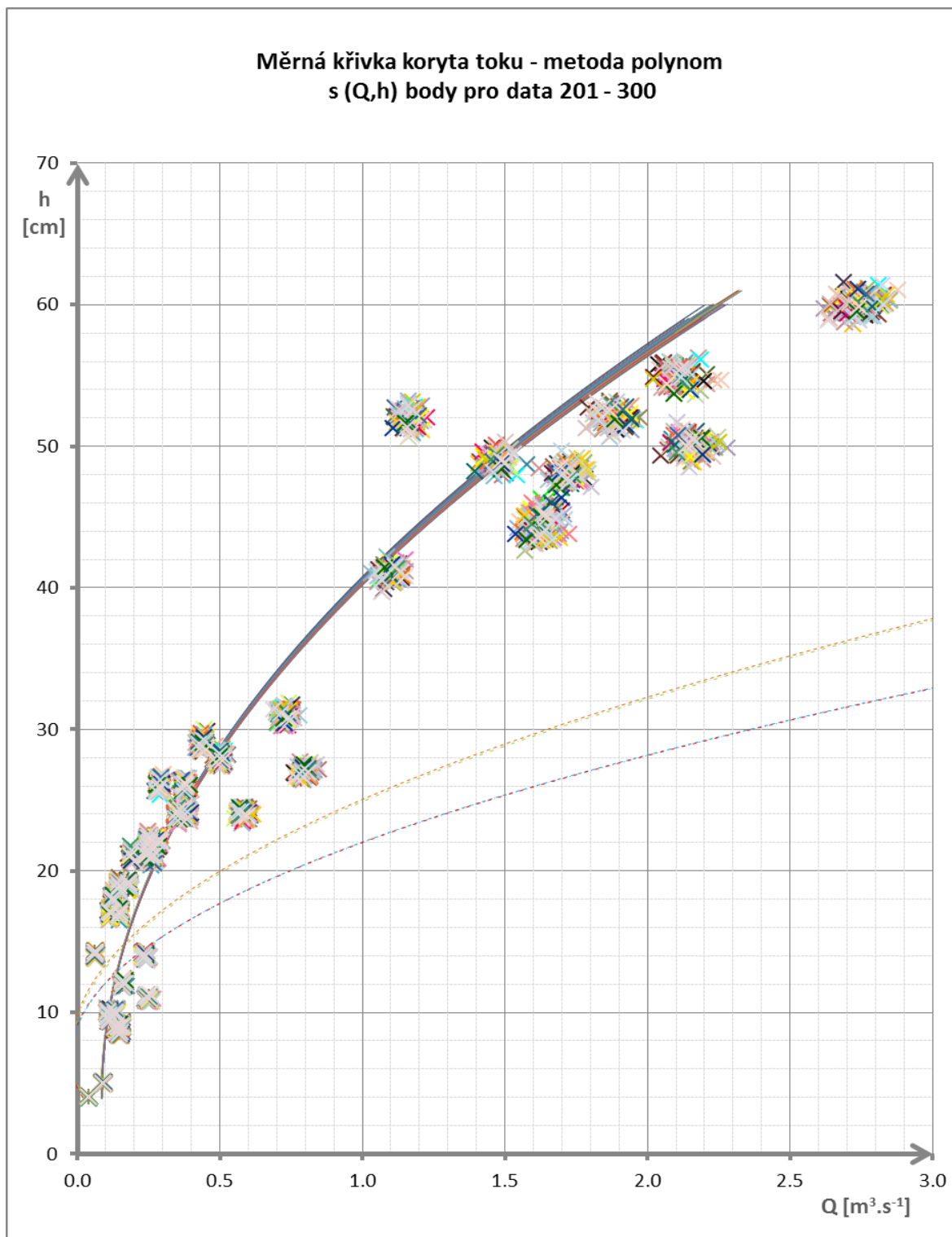
Při výpočtech někdy křivka vybočila z (Q, h) bodů. Tyto křivky byly filtrovány z výpočtů a v grafech jsou znázorněny čerchovanou čarou. Na Obr. 9 MKP pro data 1 – 100 se jedná o 2 křivky.

Na Obr. 10 můžeme vidět, že je všech 100 MKP z dat 101 - 200 v pořádku.



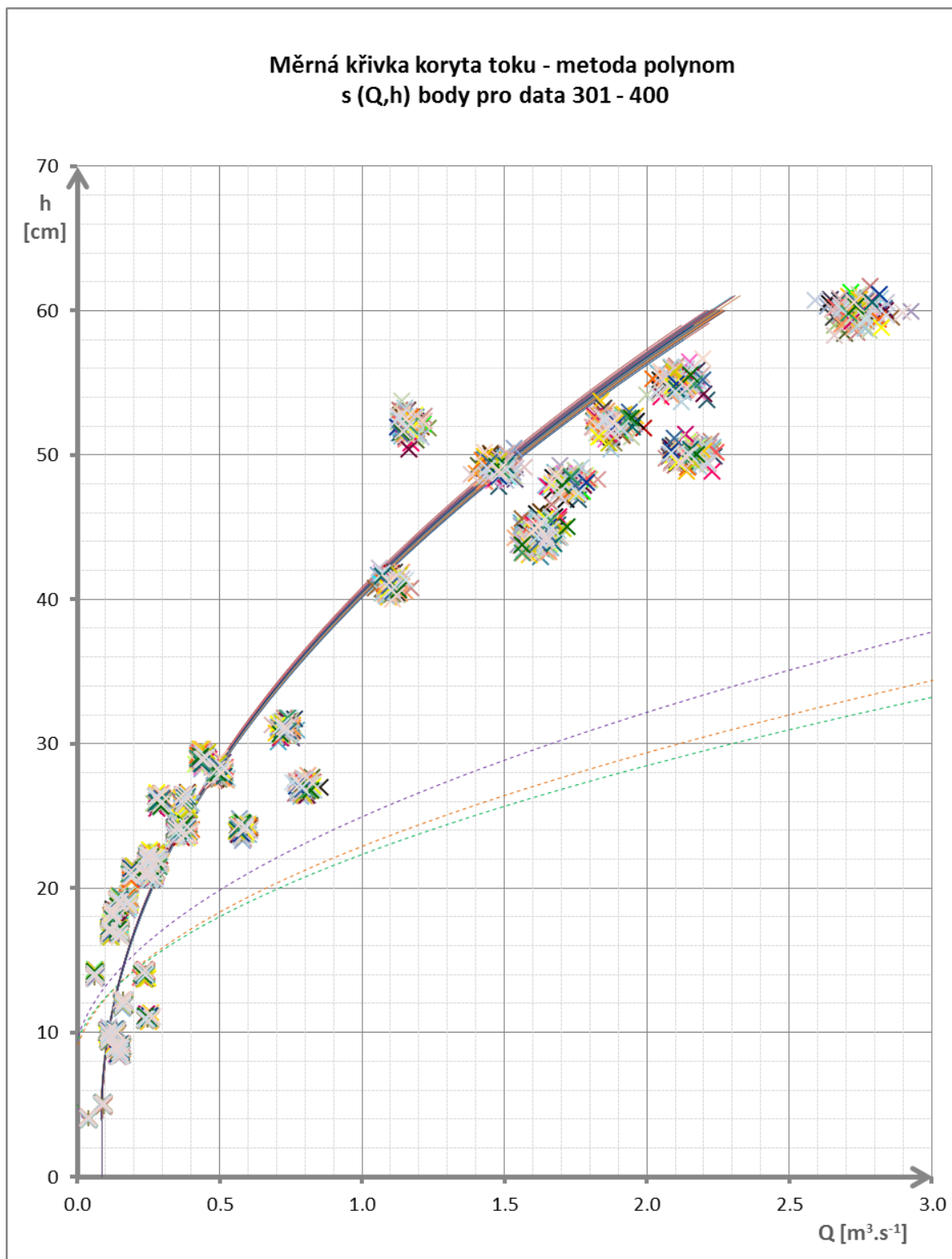
Obr. 10 MKP pro data 101 – 200.

Na Obr. 11 jsou vidět celkem 4 křivky z dat 201 – 300, které vybočily mimo (Q,h) body a byly odstraněny z výpočtu.



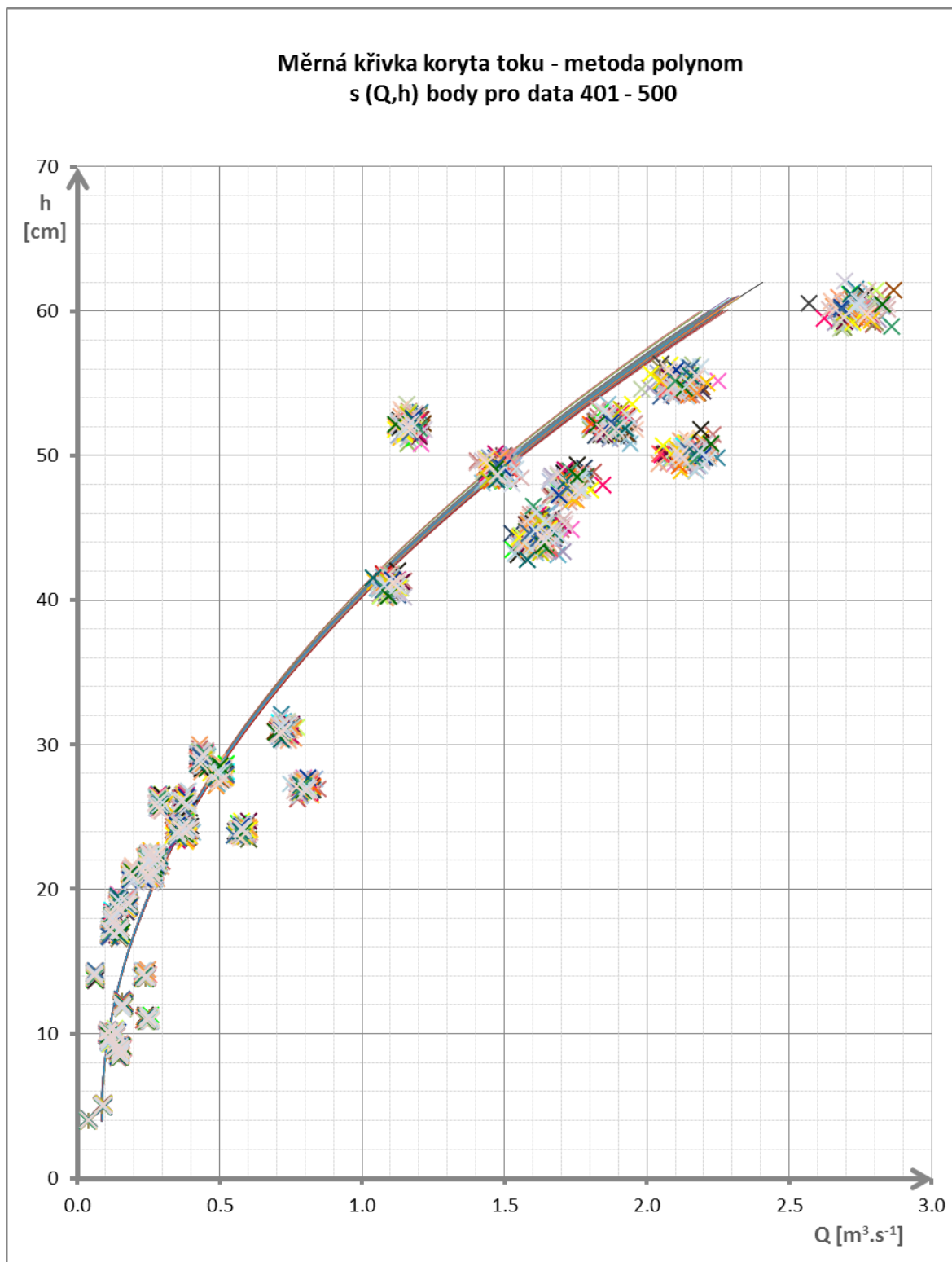
Obr. 11 MKP pro data 201 – 300.

Na Obr. 12 jsou vidět celkem 3 křivky z dat 301 – 400, které vybočily mimo (Q,h) body a byly odstraněny z výpočtu.

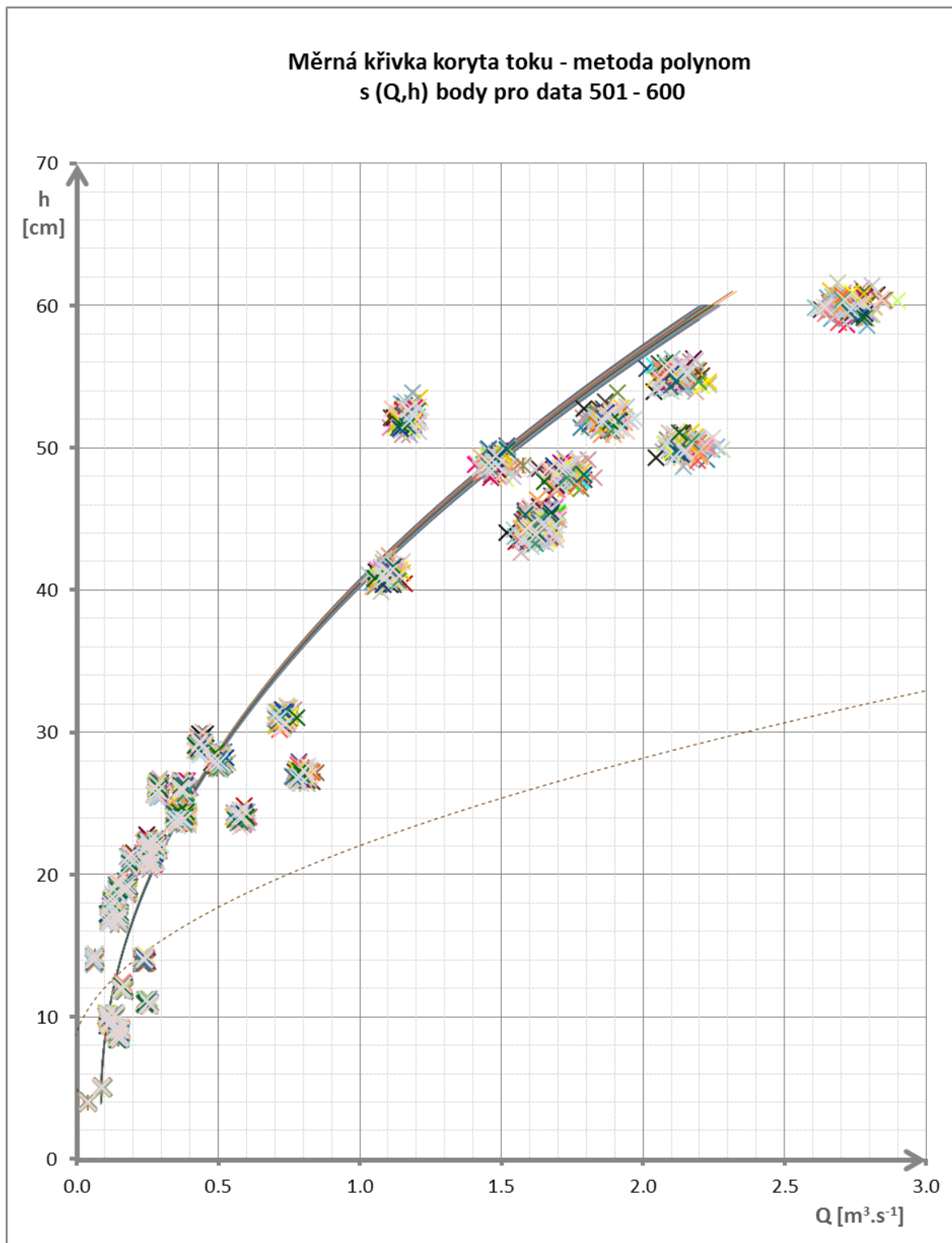


Obr. 12 MKP pro data 301 – 400.

Na Obr. 13 pro data 401 – 500 je všech 100 MKP v pořádku a na následujícím Obr. 14 pro data 501 – 600 vybočila 1 křivka, která byla taktéž odstraněna z výpočtu.



Obr. 13 MKP pro data 401 – 500.



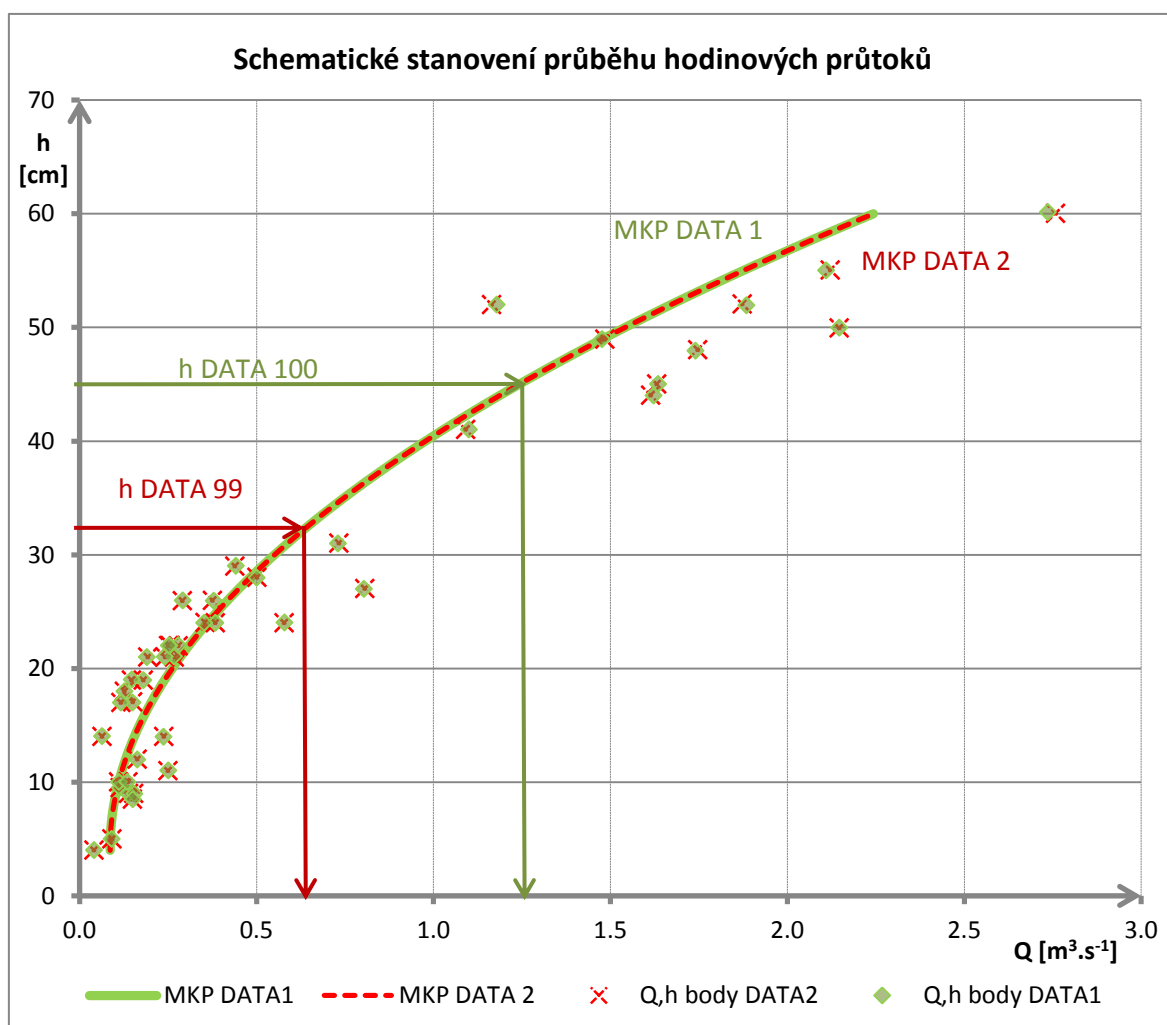
Obr. 14 MKP pro data 501 – 600.

Celkově z 600 měrných křivek průtoků (600 opakování) bylo 10 nevhodných křivek odstraněno. Jednalo se o křivky s názvem DATA 19, 59, 242, 272, 276, 289, 312, 360, 400 a data 583. Současně s daty křivek s těmito čísly byla odstraněna i vygenerovaná data pro

výšky hladiny. Po tomto vymazání byla všechna data křivek i výšek hladin přejmenována pro vyplnění vzniklých mezer. Tedy poslední DATA 600 mají nyní název DATA 590.

5.3 Stanovení náhodných průběhů hodinových průtoků $Q(t)$

Po vypočítání všech *MKP* bylo prováděno postupné vkládání hodinových výšek hladin do vypočtených *MKP* programem HYDROM [7]. Postupovalo se vždy po souboru 100 dat (opakování) a to tak, že do DATA1 (*MKP*) bylo vloženo DATA100 (*h* hladiny), DATA2 (*MKP*) s DATA99 (*h* hladiny) až po DATA 100 (*MKP*) s DATA1 (*h* hladiny). Tímto principem se postupovalo všemi soubory až po konečný soubor 501 – 590 dat. Poslední výpočet byl tedy DATA 590 (*MKP*), do kterého byly vloženy DATA 501 (*h* hladiny). Tento princip dosazování výšek hladin do *MKP* proti sobě byl zvolen z důvodu vyloučení jakékoliv možné shodnosti vzniklé generováním dat. Na Obr. 15 je schematicky naznačen princip postupu programu HYDROM.



Obr. 15 Schematické stanovení průběhu hodinových průtoků.

Takto bylo provedeno všech 590 opakování. Z programu HYDROM byl výstup hodinových průtoků v textovém souboru. Jeho část z DATA 1 je znázorněna na Obr. 16. V prvním sloupci je datum měření od 1. 11. 2001 do 31. 10. 2008, celkem tedy 61 368 hodinových měření. V druhém sloupci výška vodní hladiny $h(t)$ v [cm] a ve třetím sloupci je odpovídající vypočtený hodinový průtok $Q(t)$ v [m³.s⁻¹]. Tato data byla dále zpracována v podkapitole 5.4.

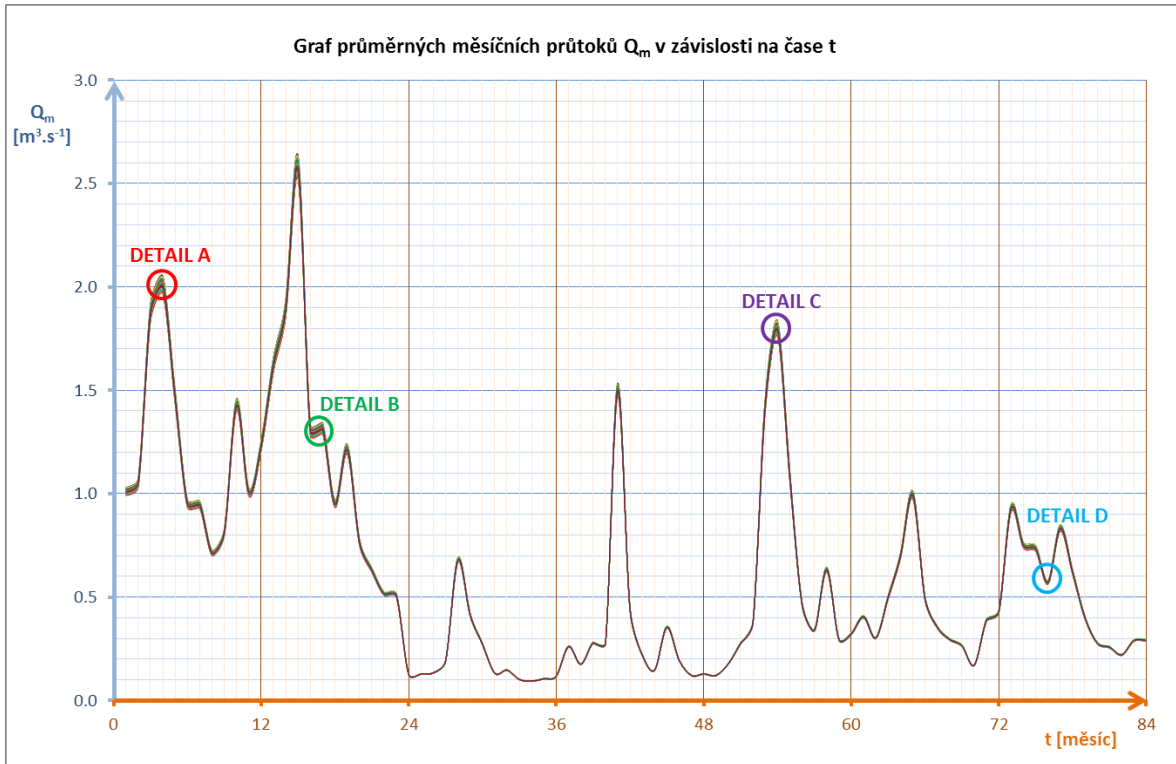
01.11.01	40.7649	1.0169
01.11.01	40.9078	1.0241
01.11.01	41.2702	1.0426
01.11.01	41.0501	1.0314
01.11.01	41.1722	1.0376
01.11.01	40.8536	1.0214
01.11.01	41.0853	1.0332
01.11.01	40.7131	1.0142
01.11.01	40.6930	1.0132
01.11.01	40.9808	1.0278
01.11.01	40.7951	1.0184
01.11.01	40.4953	1.0032
01.11.01	40.4885	1.0029
01.11.01	40.6121	1.0091
01.11.01	40.6852	1.0128
01.11.01	40.7279	1.0150
01.11.01	40.6367	1.0104
01.11.01	40.4151	0.9992
01.11.01	40.4108	0.9990
01.11.01	40.3287	0.9949
01.11.01	40.5817	1.0076
01.11.01	40.4667	1.0018
01.11.01	40.1729	0.9871
01.11.01	40.3096	0.9939
02.11.01	40.9184	1.0247
02.11.01	40.4455	1.0007
.	.	.
.	.	.
.	.	.
31.10.08	19.0143	0.2406

Obr. 16 Výsledky z programu HYDROM.

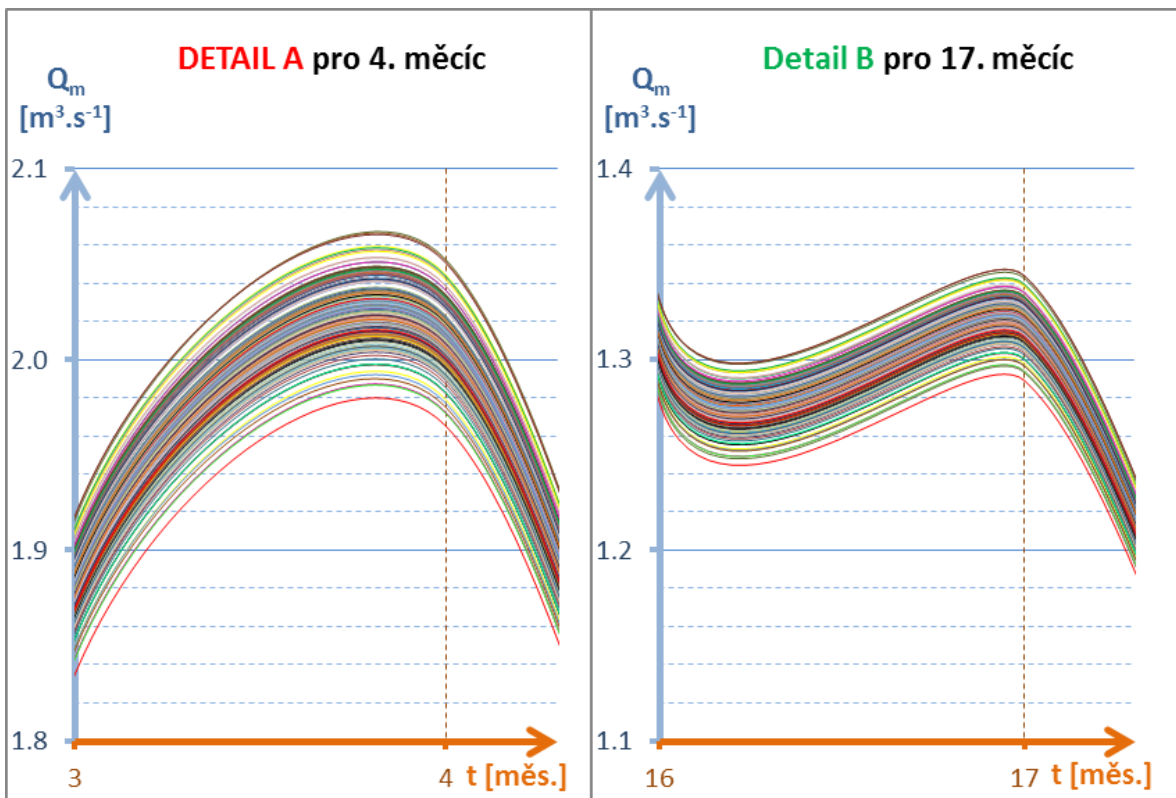
5.4 Převod náhodných hodinových průtoků na průměrné měsíční průtoky zatížených nejistotou

Cílem bakalářské práce je stanovení nejistoty měření průměrného měsíčního průtoku, a proto získané hodinové průtoky musejí být převedeny na průměrné měsíční průtoky. K tomuto převodu byl použit program DOP_STAT_CHAR, který po dosažení všech dat hodinových průtoků (61 368 krát 590 opakování) dopočetl hodnoty průměrných měsíčních průtoků. Výsledkem pak byla matice hodnot průměrných měsíčních průtoků

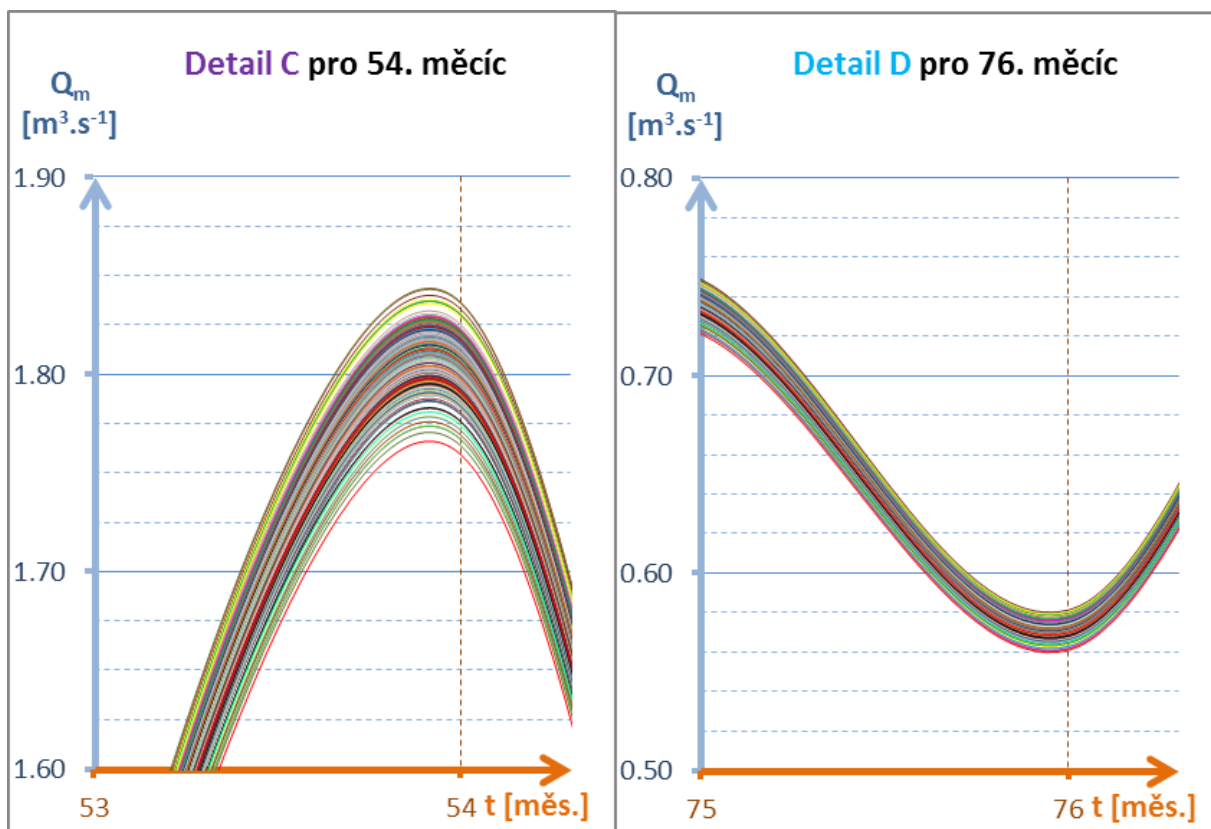
(pro 590 opakování). Tyto náhodné průběhy průměrných měsíčních průtoků jsou vykresleny v následujícím Obr. 17.



Obr. 17 Graf průměrných měsíčních průtoků Q_m v závislosti na čase t .



Obr. 18 Detail A pro 4. měsíc a detail B pro 17. měsíc z Obr. 17.



Obr. 19 Detail C pro 54. měsíc a detail D pro 76. měsíc z Obr. 17.

V detailech A až D bylo zvoleno vždy stejné měřítko pro přesné porovnání rozkolísaných průtoků nejistotami. Z výsledků je zřejmé, že při vyšších průtocích dochází k větším rozdílům jednotlivých křivek průtoků než u nižších průtoků. Další zpracování a vyhodnocení těchto průměrných měsíčních průtoků je zpracováno v následující podkapitole 5.5.

5.5 Zpracování a vyhodnocení náhodných průměrných měsíčních průtoků zatížených nejistotou a výpočet statistických charakteristik

Z náhodných průměrných měsíčních průtoků byly vypočteny statistické charakteristiky podle kapitoly 4.4. Následující tabulky 4 až 8 jsou statistické charakteristiky průměrných měsíčních průtoků vypočteny podle rovnic (9) až (13). Grafické výstupy jsou znázorněny vždy po 100 opakování.

Tab. 4 Střední hodnota.

Tabulka středních hodnot [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]													
ROK	Počet prvků	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
1)	100	1.01232	1.05509	1.88035	2.01215	1.46860	0.95322	0.94767	0.71412	0.81347	1.43207	1.00820	1.23584
	200	1.01189	1.05462	1.87943	2.01113	1.46792	0.95280	0.94726	0.71384	0.81316	1.43143	1.00775	1.23530
	300	1.01208	1.05481	1.87981	2.01153	1.46821	0.95297	0.94743	0.71396	0.81329	1.43173	1.00791	1.23555
	400	1.01205	1.05480	1.87976	2.01154	1.46817	0.95297	0.94740	0.71395	0.81326	1.43171	1.00790	1.23553
	500	1.01200	1.05475	1.87967	2.01142	1.46809	0.95292	0.94736	0.71392	0.81324	1.43162	1.00786	1.23545
	590	1.01190	1.05464	1.87945	2.01117	1.46793	0.95282	0.94727	0.71385	0.81316	1.43146	1.00776	1.23532
2)	100	1.62815	1.90257	2.58187	1.30747	1.31900	0.95237	1.21710	0.76511	0.63148	0.51575	0.50819	0.12425
	200	1.62734	1.90166	2.58051	1.30688	1.31837	0.95197	1.21654	0.76481	0.63123	0.51557	0.50800	0.12425
	300	1.62765	1.90206	2.58105	1.30713	1.31860	0.95214	1.21677	0.76493	0.63133	0.51564	0.50808	0.12424
	400	1.62764	1.90203	2.58101	1.30710	1.31859	0.95212	1.21677	0.76491	0.63133	0.51562	0.50808	0.12424
	500	1.62756	1.90190	2.58088	1.30703	1.31853	0.95207	1.21671	0.76488	0.63130	0.51561	0.50806	0.12425
	590	1.62737	1.90169	2.58056	1.30689	1.31838	0.95198	1.21657	0.76481	0.63124	0.51557	0.50802	0.12425
3)	100	0.12815	0.13344	0.19126	0.68000	0.41453	0.27212	0.13177	0.14664	0.10130	0.09392	0.10483	0.11715
	200	0.12815	0.13343	0.19124	0.67972	0.41441	0.27206	0.13178	0.14664	0.10132	0.09394	0.10484	0.11716
	300	0.12814	0.13343	0.19125	0.67982	0.41445	0.27208	0.13177	0.14663	0.10130	0.09392	0.10483	0.11715
	400	0.12814	0.13343	0.19124	0.67980	0.41444	0.27207	0.13177	0.14663	0.10130	0.09392	0.10483	0.11715
	500	0.12815	0.13344	0.19125	0.67979	0.41443	0.27208	0.13178	0.14664	0.10131	0.09394	0.10484	0.11716
	590	0.12815	0.13344	0.19125	0.67972	0.41440	0.27206	0.13178	0.14664	0.10132	0.09394	0.10484	0.11716
4)	100	0.26073	0.17509	0.27929	0.27363	1.50575	0.44083	0.21860	0.14635	0.35481	0.19394	0.12115	0.12806
	200	0.26067	0.17507	0.27923	0.27357	1.50497	0.44069	0.21856	0.14635	0.35469	0.19392	0.12116	0.12807
	300	0.26068	0.17507	0.27924	0.27359	1.50526	0.44075	0.21857	0.14634	0.35473	0.19393	0.12115	0.12806
	400	0.26068	0.17507	0.27924	0.27359	1.50527	0.44074	0.21856	0.14634	0.35472	0.19392	0.12115	0.12806
	500	0.26068	0.17508	0.27924	0.27359	1.50518	0.44072	0.21857	0.14635	0.35472	0.19393	0.12116	0.12807
	590	0.26067	0.17508	0.27923	0.27357	1.50499	0.44070	0.21856	0.14635	0.35469	0.19393	0.12116	0.12807
5)	100	0.12123	0.17733	0.27696	0.37699	1.43348	1.80162	1.08520	0.46395	0.33929	0.63460	0.29499	0.32265
	200	0.12124	0.17731	0.27690	0.37687	1.43282	1.80084	1.08473	0.46381	0.33920	0.63432	0.29492	0.32256
	300	0.12123	0.17731	0.27692	0.37691	1.43309	1.80119	1.08494	0.46387	0.33923	0.63442	0.29494	0.32259
	400	0.12123	0.17731	0.27692	0.37690	1.43304	1.80118	1.08493	0.46387	0.33922	0.63441	0.29493	0.32259
	500	0.12124	0.17731	0.27692	0.37690	1.43296	1.80106	1.08486	0.46385	0.33922	0.63439	0.29493	0.32259
	590	0.12124	0.17731	0.27690	0.37687	1.43281	1.80086	1.08475	0.46382	0.33920	0.63433	0.29492	0.32257
6)	100	0.40517	0.30324	0.49970	0.70033	0.99573	0.49238	0.35436	0.29576	0.26425	0.17092	0.38899	0.43020
	200	0.40506	0.30316	0.49953	0.70005	0.99530	0.49221	0.35425	0.29569	0.26419	0.17091	0.38886	0.43006
	300	0.40510	0.30319	0.49960	0.70017	0.99547	0.49228	0.35428	0.29572	0.26421	0.17091	0.38890	0.43012
	400	0.40509	0.30319	0.49958	0.70016	0.99545	0.49227	0.35428	0.29572	0.26420	0.17090	0.38890	0.43010
	500	0.40508	0.30319	0.49957	0.70013	0.99540	0.49226	0.35427	0.29571	0.26421	0.17091	0.38889	0.43009
	590	0.40506	0.30317	0.49953	0.70007	0.99530	0.49222	0.35425	0.29570	0.26419	0.17091	0.38886	0.43007
7)	100	0.93150	0.75204	0.73605	0.57186	0.83542	0.62179	0.40190	0.27833	0.25752	0.22047	0.29013	0.29079
	200	0.93109	0.75173	0.73574	0.57165	0.83507	0.62155	0.40177	0.27827	0.25747	0.22043	0.29007	0.29072
	300	0.93125	0.75186	0.73587	0.57173	0.83521	0.62165	0.40182	0.27829	0.25749	0.22043	0.29009	0.29074
	400	0.93125	0.75184	0.73586	0.57171	0.83521	0.62163	0.40181	0.27828	0.25749	0.22043	0.29008	0.29074
	500	0.93120	0.75181	0.73583	0.57170	0.83517	0.62161	0.40181	0.27828	0.25749	0.22044	0.29008	0.29074
	590	0.93110	0.75174	0.73576	0.57165	0.83508	0.62156	0.40178	0.27827	0.25748	0.22043	0.29007	0.29073

Tab. 5 Směrodatná odchylka.

Tabulka směrodatných odchylek [m ³ .s ⁻¹]													
ROK	Počet prvků	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
1)	100	0.00723	0.00760	0.01429	0.01540	0.01097	0.00675	0.00672	0.00483	0.00563	0.01069	0.00720	0.00905
	200	0.00688	0.00724	0.01376	0.01473	0.01047	0.00643	0.00640	0.00460	0.00537	0.01017	0.00687	0.00863
	300	0.00668	0.00702	0.01336	0.01432	0.01016	0.00624	0.00621	0.00448	0.00522	0.00987	0.00666	0.00838
	400	0.00679	0.00713	0.01353	0.01451	0.01030	0.00634	0.00631	0.00454	0.00530	0.01003	0.00676	0.00850
	500	0.00679	0.00713	0.01353	0.01451	0.01031	0.00634	0.00631	0.00454	0.00530	0.01003	0.00676	0.00850
	590	0.00673	0.00707	0.01342	0.01439	0.01023	0.00629	0.00626	0.00451	0.00527	0.00995	0.00671	0.00843
2)	100	0.01224	0.01451	0.02017	0.00962	0.00975	0.00673	0.00889	0.00526	0.00419	0.00324	0.00320	0.00068
	200	0.01172	0.01388	0.01934	0.00918	0.00932	0.00643	0.00848	0.00500	0.00398	0.00308	0.00304	0.00066
	300	0.01137	0.01350	0.01880	0.00890	0.00903	0.00624	0.00824	0.00486	0.00386	0.00301	0.00298	0.00069
	400	0.01153	0.01368	0.01902	0.00904	0.00917	0.00634	0.00836	0.00494	0.00392	0.00306	0.00301	0.00068
	500	0.01153	0.01368	0.01902	0.00904	0.00916	0.00634	0.00836	0.00494	0.00392	0.00306	0.00302	0.00068
	590	0.01144	0.01356	0.01888	0.00897	0.00909	0.00629	0.00830	0.00490	0.00389	0.00304	0.00300	0.00068
3)	100	0.00068	0.00068	0.00089	0.00461	0.00246	0.00141	0.00068	0.00070	0.00070	0.00072	0.00069	0.00067
	200	0.00066	0.00066	0.00085	0.00440	0.00233	0.00134	0.00066	0.00068	0.00068	0.00071	0.00068	0.00066
	300	0.00069	0.00069	0.00088	0.00428	0.00229	0.00134	0.00069	0.00072	0.00070	0.00072	0.00069	0.00068
	400	0.00068	0.00069	0.00087	0.00434	0.00232	0.00135	0.00069	0.00071	0.00070	0.00072	0.00069	0.00068
	500	0.00068	0.00069	0.00087	0.00434	0.00233	0.00135	0.00068	0.00071	0.00069	0.00072	0.00069	0.00067
	590	0.00068	0.00069	0.00087	0.00432	0.00231	0.00134	0.00068	0.00071	0.00069	0.00071	0.00069	0.00067
4)	100	0.00133	0.00081	0.00145	0.00141	0.01144	0.00266	0.00105	0.00071	0.00202	0.00091	0.00067	0.00067
	200	0.00126	0.00077	0.00138	0.00134	0.01093	0.00252	0.00099	0.00068	0.00192	0.00086	0.00066	0.00066
	300	0.00126	0.00081	0.00138	0.00134	0.01062	0.00248	0.00102	0.00072	0.00189	0.00089	0.00068	0.00069
	400	0.00127	0.00080	0.00139	0.00135	0.01076	0.00251	0.00102	0.00071	0.00191	0.00089	0.00068	0.00068
	500	0.00127	0.00080	0.00139	0.00135	0.01074	0.00251	0.00102	0.00071	0.00191	0.00089	0.00068	0.00068
	590	0.00126	0.00080	0.00138	0.00135	0.01068	0.00250	0.00102	0.00071	0.00190	0.00089	0.00068	0.00068
5)	100	0.00067	0.00082	0.00143	0.00219	0.01106	0.01368	0.00780	0.00286	0.00189	0.00421	0.00156	0.00177
	200	0.00065	0.00079	0.00136	0.00206	0.01047	0.01307	0.00748	0.00272	0.00179	0.00400	0.00148	0.00168
	300	0.00068	0.00082	0.00136	0.00203	0.01019	0.01270	0.00727	0.00266	0.00178	0.00391	0.00147	0.00166
	400	0.00068	0.00081	0.00137	0.00206	0.01027	0.01291	0.00738	0.00269	0.00179	0.00396	0.00149	0.00167
	500	0.00067	0.00081	0.00137	0.00206	0.01030	0.01287	0.00737	0.00270	0.00179	0.00397	0.00149	0.00167
	590	0.00067	0.00081	0.00137	0.00205	0.01020	0.01278	0.00732	0.00268	0.00178	0.00394	0.00148	0.00167
6)	100	0.00240	0.00163	0.00314	0.00472	0.00708	0.00308	0.00202	0.00157	0.00134	0.00079	0.00227	0.00258
	200	0.00227	0.00154	0.00297	0.00449	0.00676	0.00292	0.00190	0.00149	0.00128	0.00076	0.00217	0.00245
	300	0.00223	0.00153	0.00290	0.00436	0.00656	0.00286	0.00187	0.00148	0.00128	0.00079	0.00213	0.00240
	400	0.00226	0.00155	0.00295	0.00443	0.00667	0.00290	0.00189	0.00150	0.00129	0.00079	0.00215	0.00243
	500	0.00226	0.00155	0.00295	0.00443	0.00667	0.00290	0.00190	0.00150	0.00129	0.00079	0.00216	0.00243
	590	0.00225	0.00154	0.00293	0.00440	0.00661	0.00288	0.00189	0.00149	0.00129	0.00079	0.00214	0.00242
7)	100	0.00660	0.00513	0.00501	0.00370	0.00583	0.00408	0.00236	0.00145	0.00130	0.00106	0.00153	0.00154
	200	0.00628	0.00489	0.00476	0.00351	0.00555	0.00388	0.00225	0.00137	0.00123	0.00101	0.00145	0.00146
	300	0.00610	0.00475	0.00464	0.00343	0.00538	0.00378	0.00220	0.00137	0.00124	0.00103	0.00145	0.00145
	400	0.00619	0.00482	0.00471	0.00348	0.00546	0.00384	0.00223	0.00138	0.00124	0.00103	0.00146	0.00146
	500	0.00619	0.00483	0.00471	0.00348	0.00546	0.00384	0.00223	0.00138	0.00125	0.00103	0.00146	0.00146
	590	0.00614	0.00479	0.00467	0.00346	0.00542	0.00382	0.00222	0.00138	0.00124	0.00103	0.00145	0.00146

Tab. 6 Koefficient asymetrie.

Tabulka koeficientů asymetrie [-]													
ROK	Počet prvků	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
1)	100	0.1405	0.1595	0.1885	0.2112	0.1659	0.1438	0.1353	0.1144	0.1471	0.1848	0.1588	0.1380
	200	-0.0872	-0.0812	-0.0901	-0.0544	-0.0853	-0.0868	-0.0982	-0.0914	-0.0745	-0.0571	-0.0823	-0.0953
	300	-0.0124	-0.0207	-0.0173	0.0085	-0.0125	-0.0189	-0.0308	-0.0217	-0.0140	0.0212	-0.0193	-0.0172
	400	0.0780	0.0606	0.0792	0.0980	0.0773	0.0637	0.0527	0.0578	0.0569	0.1128	0.0673	0.0715
	500	-0.0038	-0.0125	-0.0014	0.0079	-0.0061	-0.0152	-0.0196	-0.0136	-0.0110	0.0283	-0.0092	-0.0134
	590	-0.0457	-0.0529	-0.0461	-0.0378	-0.0472	-0.0546	-0.0606	-0.0533	-0.0527	-0.0193	-0.0492	-0.0539
2)	100	0.1947	0.1925	0.2247	0.1518	0.1677	0.1360	0.1735	0.1032	0.1048	0.0785	0.1075	-0.1351
	200	-0.0678	-0.0640	-0.0472	-0.0883	-0.0852	-0.0933	-0.0745	-0.1055	-0.0942	-0.1001	-0.0880	0.0140
	300	-0.0057	0.0096	0.0097	-0.0160	-0.0259	-0.0212	-0.0042	-0.0417	-0.0288	-0.0369	-0.0217	-0.2772
	400	0.0802	0.1007	0.0978	0.0771	0.0614	0.0620	0.0804	0.0429	0.0453	0.0300	0.0500	-0.2467
	500	-0.0001	0.0084	0.0129	-0.0086	-0.0123	-0.0137	-0.0039	-0.0258	-0.0201	-0.0228	-0.0148	-0.1634
	590	-0.0453	-0.0328	-0.0354	-0.0515	-0.0536	-0.0526	-0.0483	-0.0620	-0.0547	-0.0536	-0.0445	-0.1353
3)	100	-0.0664	-0.0778	0.0205	0.1766	0.0849	0.0316	-0.0447	0.0041	-0.2570	-0.3002	-0.2357	-0.1320
	200	0.0744	0.0324	0.0621	-0.0510	-0.0814	-0.0348	0.0935	0.0951	-0.0477	-0.0780	-0.0427	0.0312
	300	-0.2292	-0.2542	-0.0925	-0.0183	-0.0302	-0.0364	-0.2206	-0.2058	-0.2523	-0.2269	-0.2552	-0.2500
	400	-0.2132	-0.2536	-0.0835	0.0558	0.0385	-0.0167	-0.2037	-0.1949	-0.2218	-0.2012	-0.2286	-0.2226
	500	-0.1308	-0.1596	-0.0457	-0.0046	-0.0191	-0.0211	-0.1148	-0.1059	-0.1502	-0.1417	-0.1566	-0.1374
	590	-0.1045	-0.1352	-0.0260	-0.0563	-0.0430	-0.0285	-0.0905	-0.0840	-0.1103	-0.0950	-0.1201	-0.1092
4)	100	0.0557	0.0680	0.0235	0.0475	0.1546	0.0775	0.0619	0.0354	0.0196	0.0528	-0.1387	-0.0341
	200	-0.0356	0.1059	-0.0323	-0.0300	-0.0800	-0.0842	0.0387	0.1248	-0.1038	0.0770	0.0284	0.0869
	300	-0.0526	-0.1110	-0.0283	-0.0142	-0.0092	-0.0244	-0.0509	-0.1766	-0.0618	-0.0795	-0.2519	-0.2337
	400	-0.0307	-0.1023	-0.0066	0.0118	0.0903	0.0387	-0.0440	-0.1695	-0.0066	-0.0662	-0.2275	-0.2179
	500	-0.0314	-0.0471	-0.0166	-0.0104	-0.0030	-0.0183	-0.0178	-0.0932	-0.0405	-0.0288	-0.1376	-0.1225
	590	-0.0298	-0.0348	-0.0271	-0.0172	-0.0440	-0.0400	-0.0100	-0.0749	-0.0567	-0.0125	-0.1146	-0.0977
5)	100	-0.0920	0.0747	0.0383	0.0680	0.1914	0.1517	0.1457	0.1225	0.0370	0.1272	0.0440	0.0462
	200	0.0584	0.1131	-0.0558	-0.0674	-0.0890	-0.0700	-0.0831	-0.0491	-0.0787	-0.0855	-0.0506	-0.0716
	300	-0.2461	-0.1086	-0.0415	-0.0270	-0.0014	0.0044	-0.0181	-0.0053	-0.0339	-0.0368	-0.0286	-0.0328
	400	-0.2192	-0.1065	-0.0092	0.0238	0.0785	0.1029	0.0559	0.0242	0.0235	0.0390	0.0061	0.0080
	500	-0.1286	-0.0445	-0.0257	-0.0124	-0.0099	0.0077	-0.0226	-0.0242	-0.0130	-0.0182	-0.0175	-0.0210
	590	-0.1026	-0.0336	-0.0326	-0.0306	-0.0437	-0.0379	-0.0619	-0.0511	-0.0247	-0.0481	-0.0292	-0.0343
6)	100	0.0405	0.0281	0.0794	0.1075	0.1493	0.0683	0.0531	-0.0030	0.0540	0.0936	0.0724	0.0719
	200	-0.1002	-0.0611	-0.0971	-0.0952	-0.0862	-0.1117	-0.0936	-0.0695	-0.0087	0.1376	-0.1087	-0.0815
	300	-0.0406	-0.0310	-0.0391	-0.0258	-0.0195	-0.0367	-0.0414	-0.0237	-0.0286	-0.1020	-0.0737	-0.0185
	400	0.0161	0.0079	0.0246	0.0540	0.0619	0.0344	0.0086	0.0060	-0.0117	-0.1021	-0.0100	0.0411
	500	-0.0241	-0.0180	-0.0201	-0.0158	-0.0177	-0.0228	-0.0214	-0.0184	-0.0147	-0.0442	-0.0436	-0.0120
	590	-0.0469	-0.0252	-0.0496	-0.0547	-0.0565	-0.0514	-0.0354	-0.0291	-0.0213	-0.0259	-0.0537	-0.0386
7)	100	0.1493	0.1125	0.1476	0.0806	0.1282	0.0836	0.0640	0.0131	0.0301	0.0537	0.0105	0.0376
	200	-0.0818	-0.1098	-0.0728	-0.1091	-0.0906	-0.1090	-0.0889	-0.0519	-0.0206	0.0297	-0.0694	-0.0505
	300	-0.0242	-0.0327	-0.0159	-0.0455	-0.0248	-0.0386	-0.0250	-0.0532	-0.0255	-0.0551	-0.0463	-0.0328
	400	0.0583	0.0502	0.0595	0.0301	0.0555	0.0341	0.0336	-0.0282	-0.0080	-0.0452	-0.0128	-0.0012
	500	-0.0148	-0.0217	-0.0142	-0.0237	-0.0171	-0.0268	-0.0183	-0.0339	-0.0153	-0.0188	-0.0310	-0.0149
	590	-0.0528	-0.0593	-0.0478	-0.0571	-0.0564	-0.0601	-0.0406	-0.0364	-0.0176	-0.0096	-0.0391	-0.0256

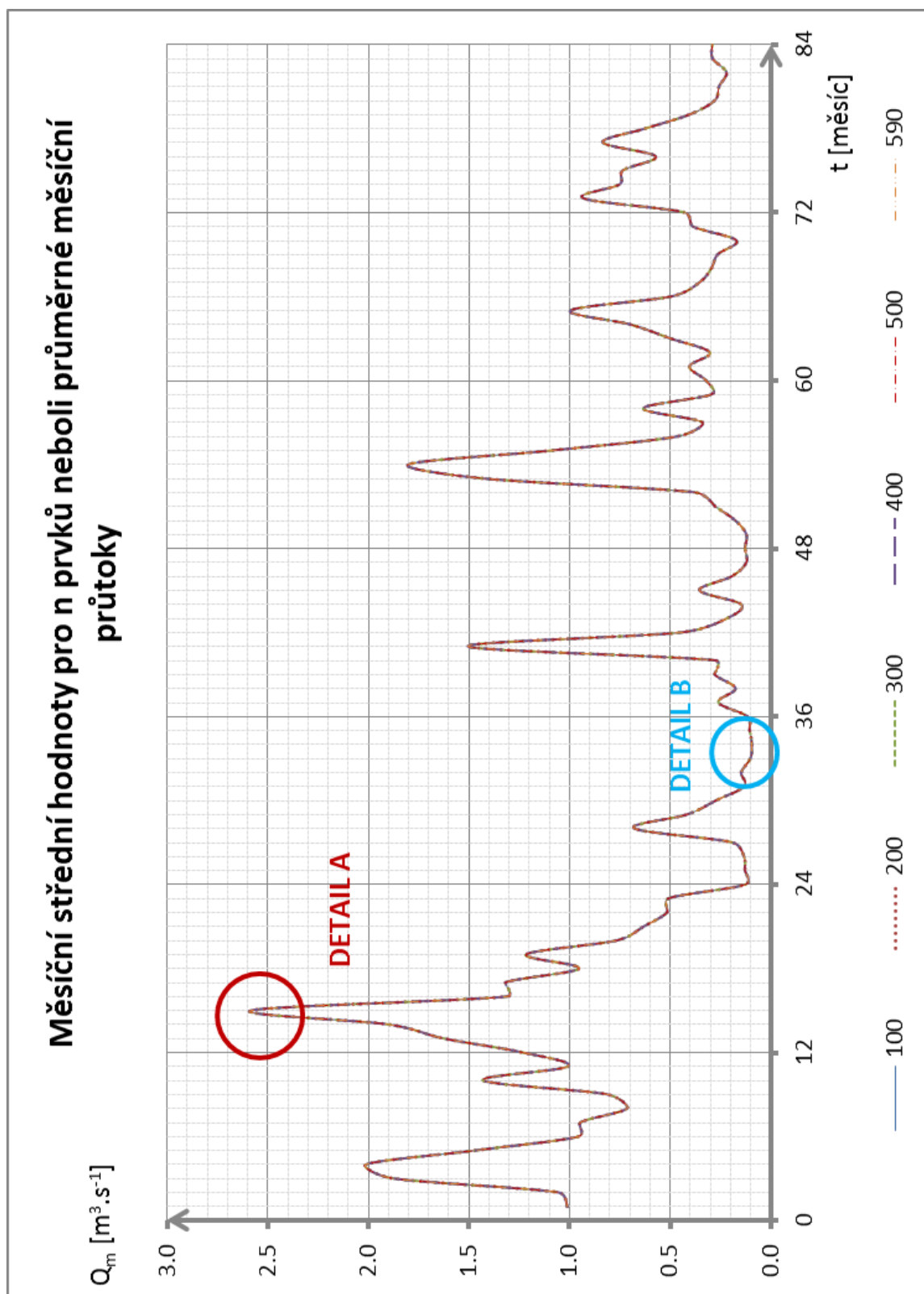
Tab. 7 Koeficient variace.

Tabulka koeficientů variace [-]													
ROK	Počet prvků	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
1)	100	0.0071	0.0072	0.0076	0.0077	0.0075	0.0071	0.0071	0.0068	0.0069	0.0075	0.0071	0.0073
	200	0.0068	0.0069	0.0073	0.0073	0.0071	0.0068	0.0068	0.0064	0.0066	0.0071	0.0068	0.0070
	300	0.0066	0.0067	0.0071	0.0071	0.0069	0.0066	0.0066	0.0063	0.0064	0.0069	0.0066	0.0068
	400	0.0067	0.0068	0.0072	0.0072	0.0070	0.0067	0.0067	0.0064	0.0065	0.0070	0.0067	0.0069
	500	0.0067	0.0068	0.0072	0.0072	0.0070	0.0067	0.0067	0.0064	0.0065	0.0070	0.0067	0.0069
	590	0.0067	0.0067	0.0071	0.0072	0.0070	0.0066	0.0066	0.0063	0.0065	0.0070	0.0067	0.0068
2)	100	0.0075	0.0076	0.0078	0.0074	0.0074	0.0071	0.0073	0.0069	0.0066	0.0063	0.0063	0.0055
	200	0.0072	0.0073	0.0075	0.0070	0.0071	0.0068	0.0070	0.0065	0.0063	0.0060	0.0060	0.0053
	300	0.0070	0.0071	0.0073	0.0068	0.0068	0.0066	0.0068	0.0064	0.0061	0.0058	0.0059	0.0055
	400	0.0071	0.0072	0.0074	0.0069	0.0070	0.0067	0.0069	0.0065	0.0062	0.0059	0.0059	0.0055
	500	0.0071	0.0072	0.0074	0.0069	0.0070	0.0067	0.0069	0.0065	0.0062	0.0059	0.0059	0.0055
	590	0.0070	0.0071	0.0073	0.0069	0.0069	0.0066	0.0068	0.0064	0.0062	0.0059	0.0059	0.0055
3)	100	0.0053	0.0051	0.0046	0.0068	0.0059	0.0052	0.0051	0.0048	0.0069	0.0077	0.0066	0.0057
	200	0.0051	0.0050	0.0044	0.0065	0.0056	0.0049	0.0050	0.0046	0.0068	0.0076	0.0065	0.0056
	300	0.0054	0.0052	0.0046	0.0063	0.0055	0.0049	0.0052	0.0049	0.0069	0.0076	0.0066	0.0058
	400	0.0053	0.0051	0.0046	0.0064	0.0056	0.0049	0.0052	0.0048	0.0069	0.0077	0.0066	0.0058
	500	0.0053	0.0051	0.0046	0.0064	0.0056	0.0049	0.0052	0.0048	0.0069	0.0076	0.0066	0.0058
	590	0.0053	0.0051	0.0046	0.0064	0.0056	0.0049	0.0052	0.0048	0.0068	0.0076	0.0066	0.0058
4)	100	0.0051	0.0046	0.0052	0.0052	0.0076	0.0060	0.0048	0.0048	0.0057	0.0047	0.0055	0.0053
	200	0.0048	0.0044	0.0049	0.0049	0.0073	0.0057	0.0045	0.0047	0.0054	0.0045	0.0054	0.0051
	300	0.0048	0.0046	0.0049	0.0049	0.0071	0.0056	0.0047	0.0049	0.0053	0.0046	0.0056	0.0054
	400	0.0049	0.0046	0.0050	0.0049	0.0071	0.0057	0.0046	0.0049	0.0054	0.0046	0.0056	0.0053
	500	0.0049	0.0046	0.0050	0.0049	0.0071	0.0057	0.0046	0.0048	0.0054	0.0046	0.0056	0.0053
	590	0.0048	0.0046	0.0050	0.0049	0.0071	0.0057	0.0047	0.0048	0.0054	0.0046	0.0056	0.0053
5)	100	0.0055	0.0046	0.0052	0.0058	0.0077	0.0076	0.0072	0.0062	0.0056	0.0066	0.0053	0.0055
	200	0.0054	0.0044	0.0049	0.0055	0.0073	0.0073	0.0069	0.0059	0.0053	0.0063	0.0050	0.0052
	300	0.0056	0.0046	0.0049	0.0054	0.0071	0.0070	0.0067	0.0057	0.0052	0.0062	0.0050	0.0051
	400	0.0056	0.0046	0.0050	0.0055	0.0072	0.0072	0.0068	0.0058	0.0053	0.0062	0.0050	0.0052
	500	0.0056	0.0046	0.0050	0.0055	0.0072	0.0071	0.0068	0.0058	0.0053	0.0063	0.0051	0.0052
	590	0.0056	0.0046	0.0049	0.0054	0.0071	0.0071	0.0068	0.0058	0.0053	0.0062	0.0050	0.0052
6)	100	0.0059	0.0054	0.0063	0.0067	0.0071	0.0062	0.0057	0.0053	0.0051	0.0046	0.0058	0.0060
	200	0.0056	0.0051	0.0060	0.0064	0.0068	0.0059	0.0054	0.0050	0.0048	0.0044	0.0056	0.0057
	300	0.0055	0.0050	0.0058	0.0062	0.0066	0.0058	0.0053	0.0050	0.0048	0.0046	0.0055	0.0056
	400	0.0056	0.0051	0.0059	0.0063	0.0067	0.0059	0.0053	0.0051	0.0049	0.0046	0.0055	0.0057
	500	0.0056	0.0051	0.0059	0.0063	0.0067	0.0059	0.0054	0.0051	0.0049	0.0046	0.0055	0.0057
	590	0.0055	0.0051	0.0059	0.0063	0.0066	0.0058	0.0053	0.0050	0.0049	0.0046	0.0055	0.0056
7)	100	0.0071	0.0068	0.0068	0.0065	0.0070	0.0066	0.0059	0.0052	0.0050	0.0048	0.0053	0.0053
	200	0.0067	0.0065	0.0065	0.0061	0.0066	0.0062	0.0056	0.0049	0.0048	0.0046	0.0050	0.0050
	300	0.0066	0.0063	0.0063	0.0060	0.0064	0.0061	0.0055	0.0049	0.0048	0.0047	0.0050	0.0050
	400	0.0066	0.0064	0.0064	0.0061	0.0065	0.0062	0.0056	0.0050	0.0048	0.0047	0.0050	0.0050
	500	0.0066	0.0064	0.0064	0.0061	0.0065	0.0062	0.0056	0.0050	0.0048	0.0047	0.0050	0.0050
	590	0.0066	0.0064	0.0063	0.0060	0.0065	0.0061	0.0055	0.0049	0.0048	0.0047	0.0050	0.0050

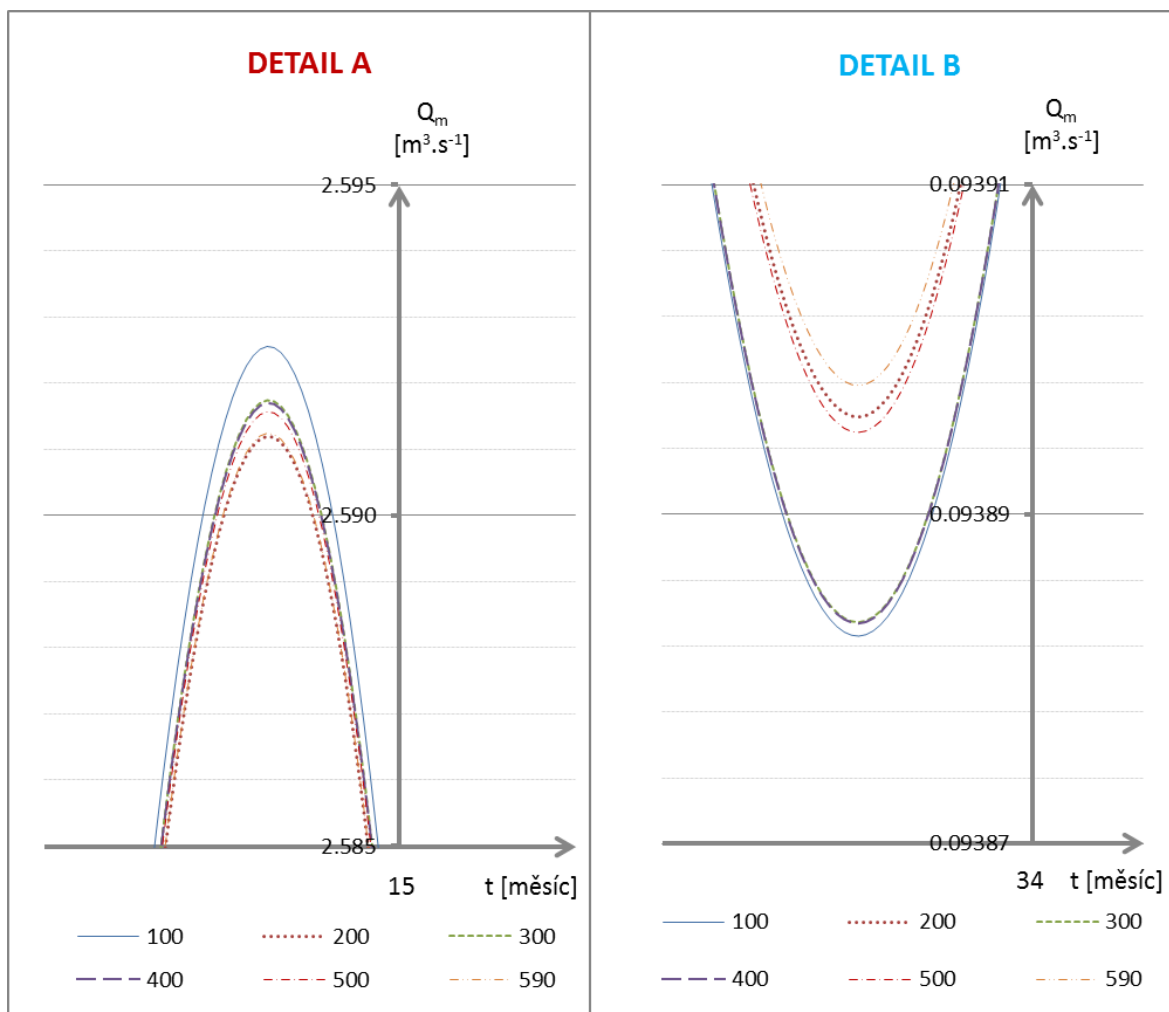
Tab. 8 Exces.

Tabulka špičatosti [-]													
ROK	Počet prvků	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
1)	100	0.2961	0.2886	0.3750	0.3692	0.3639	0.2780	0.3061	0.3016	0.3031	0.3570	0.2711	0.2951
	200	0.5669	0.5395	0.6686	0.5638	0.6157	0.5226	0.5612	0.5210	0.5410	0.5723	0.5395	0.5579
	300	0.5174	0.5094	0.5918	0.5223	0.5558	0.5060	0.5225	0.5007	0.5053	0.5080	0.5120	0.5214
	400	0.4962	0.4719	0.5480	0.4930	0.5175	0.4763	0.4894	0.4703	0.4607	0.4941	0.4776	0.4942
	500	0.5270	0.5017	0.5872	0.5344	0.5630	0.5093	0.5114	0.4896	0.4925	0.5311	0.5102	0.5268
	590	0.5145	0.4854	0.5544	0.5027	0.5416	0.4893	0.5030	0.4868	0.4877	0.5097	0.4981	0.5066
2)	100	0.3440	0.3606	0.4096	0.3219	0.3045	0.3107	0.3320	0.2642	0.2573	0.3079	0.3566	-0.3063
	200	0.5757	0.5705	0.5964	0.5815	0.5718	0.5631	0.5599	0.5275	0.4914	0.5054	0.5405	-0.3063
	300	0.5400	0.5289	0.5453	0.5359	0.5374	0.5244	0.5348	0.4950	0.4861	0.4908	0.5324	0.3050
	400	0.5112	0.5015	0.5133	0.5079	0.4918	0.4891	0.5038	0.4709	0.4612	0.4597	0.5140	0.1752
	500	0.5484	0.5437	0.5597	0.5422	0.5289	0.5123	0.5351	0.4970	0.4759	0.4532	0.5153	0.1056
	590	0.5210	0.5144	0.5250	0.5266	0.4996	0.5076	0.5121	0.4948	0.4752	0.4658	0.5151	-0.0030
3)	100	-0.1938	-0.1503	0.7643	0.3856	0.3523	0.4874	-0.1495	0.1477	-0.3552	-0.3003	-0.3979	-0.3613
	200	-0.2311	-0.2100	0.4208	0.6326	0.4945	0.4063	-0.1867	-0.0263	-0.4497	-0.4714	-0.4452	-0.3598
	300	0.2877	0.3125	0.6135	0.5574	0.5094	0.5209	0.3507	0.4618	0.1391	0.0598	0.1341	0.2427
	400	0.1921	0.2280	0.6518	0.5272	0.5139	0.5455	0.2530	0.4162	0.0114	-0.0228	0.0163	0.1089
	500	0.1314	0.1691	0.5657	0.5399	0.5054	0.4737	0.1861	0.3387	-0.0316	-0.0583	-0.0307	0.0548
	590	0.0106	0.0629	0.5607	0.5428	0.5197	0.5250	0.0669	0.2433	-0.1377	-0.1535	-0.1378	-0.0681
4)	100	0.5582	0.5815	0.5548	0.6333	0.3796	0.3432	0.5916	0.1277	0.5401	0.7210	-0.3243	-0.1937
	200	0.4659	0.2542	0.4671	0.5398	0.5655	0.5088	0.3645	-0.0094	0.5551	0.4025	-0.3259	-0.2305
	300	0.5346	0.6061	0.5374	0.5701	0.5382	0.5077	0.5865	0.4340	0.5376	0.6097	0.2440	0.3303
	400	0.5882	0.6676	0.5497	0.6136	0.5125	0.4789	0.6745	0.4001	0.5212	0.6673	0.1210	0.2245
	500	0.5146	0.5698	0.4848	0.5559	0.5787	0.4689	0.5594	0.3305	0.5140	0.5516	0.0626	0.1603
	590	0.5521	0.5223	0.5344	0.6005	0.5178	0.4931	0.5823	0.2387	0.5238	0.5656	-0.0573	0.0379
5)	100	-0.3209	0.5759	0.5630	0.3295	0.5055	0.2859	0.3180	0.3012	0.4146	0.3670	0.4753	0.4100
	200	-0.3230	0.2698	0.4644	0.4565	0.6275	0.5535	0.5962	0.5005	0.4876	0.5644	0.4623	0.4618
	300	0.2778	0.5692	0.5537	0.4900	0.5259	0.5447	0.5509	0.5068	0.5092	0.5110	0.5282	0.5014
	400	0.1513	0.6215	0.6012	0.4946	0.5171	0.5262	0.5166	0.4841	0.5152	0.4699	0.5573	0.5163
	500	0.0911	0.5117	0.5319	0.4514	0.5388	0.5674	0.5375	0.4721	0.4713	0.4893	0.4978	0.4607
	590	-0.0331	0.4848	0.5637	0.4877	0.4969	0.5358	0.5077	0.4816	0.5083	0.4846	0.5397	0.4983
6)	100	0.3522	0.3802	0.3160	0.3083	0.2833	0.2942	0.3841	0.5022	0.4697	0.6067	0.3264	0.3098
	200	0.5044	0.3934	0.5191	0.5193	0.5213	0.4794	0.4868	0.4502	0.3746	0.2802	0.4885	0.4883
	300	0.5035	0.4932	0.5048	0.5090	0.5069	0.4841	0.5286	0.5242	0.4956	0.5730	0.5075	0.4851
	400	0.4907	0.5392	0.4664	0.4914	0.4768	0.4735	0.5229	0.5656	0.5385	0.6250	0.4855	0.4804
	500	0.4695	0.4767	0.4539	0.4978	0.5087	0.4612	0.4639	0.4906	0.4564	0.5195	0.4599	0.4628
	590	0.5015	0.5090	0.4691	0.4967	0.4917	0.4732	0.4953	0.5282	0.5116	0.4808	0.4809	0.4920
7)	100	0.2812	0.3441	0.3114	0.3055	0.2733	0.3008	0.3487	0.5041	0.5748	0.6065	0.4899	0.4367
	200	0.5255	0.5819	0.5405	0.5260	0.5269	0.5140	0.4717	0.4557	0.4370	0.3655	0.4478	0.3989
	300	0.5080	0.5337	0.5065	0.5022	0.5068	0.4931	0.4938	0.5607	0.5783	0.5687	0.5205	0.5141
	400	0.4702	0.4979	0.4622	0.4758	0.4742	0.4594	0.4964	0.5796	0.6357	0.6326	0.5630	0.5515
	500	0.4943	0.5169	0.4889	0.4746	0.5026	0.4617	0.4733	0.4946	0.5457	0.5342	0.5096	0.4731
	590	0.4783	0.5154	0.4846	0.4829	0.4921	0.4680	0.5003	0.5323	0.5818	0.5647	0.5522	0.5162

Vypočtení a vynesení měsíčních středních hodnot pro n prvků neboli průměrné měsíční průtoky jsou znázorněny v následujících Obr. 20 a 21.



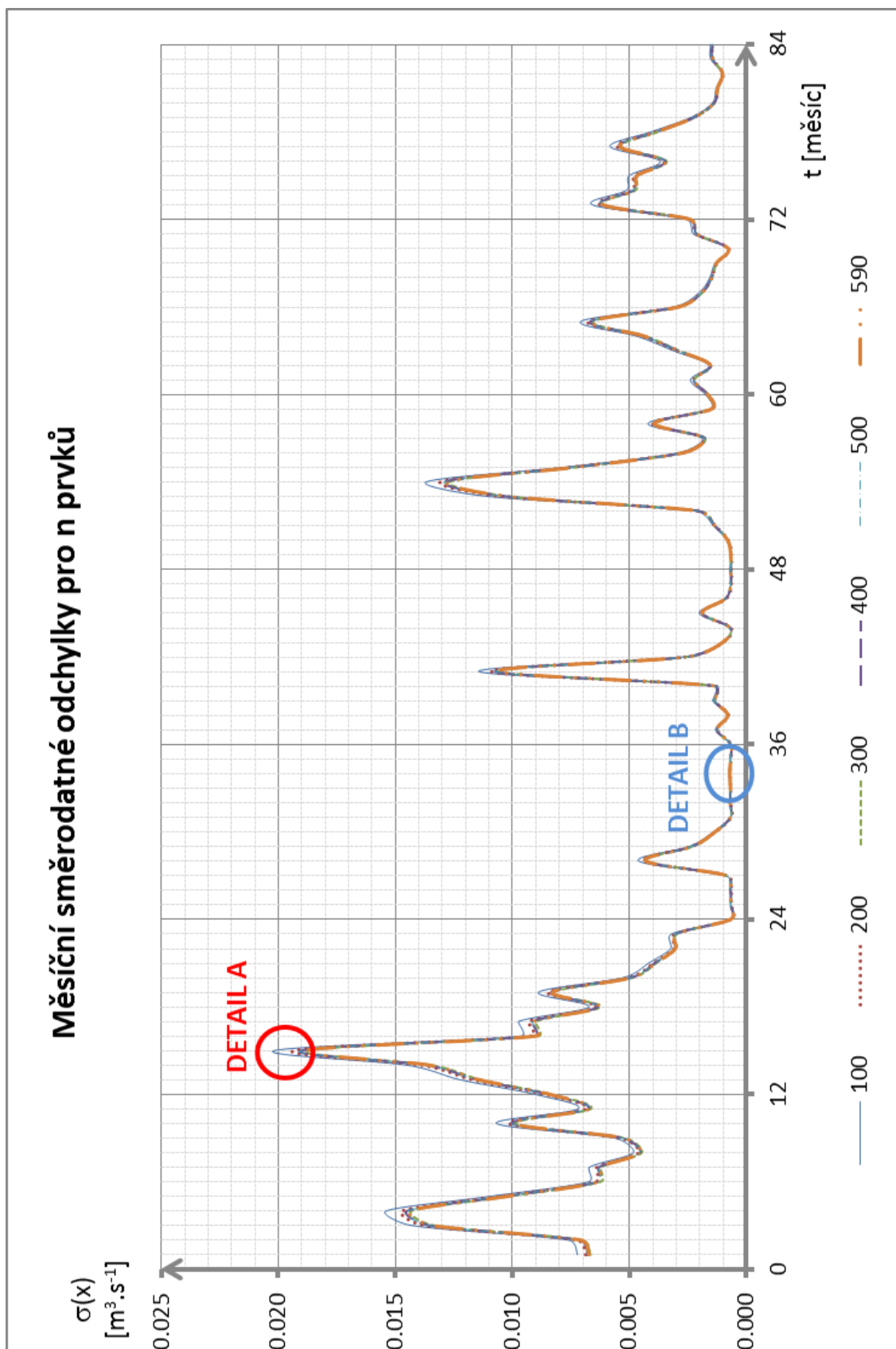
Obr. 20 Měsíční střední hodnota pro n prvků.



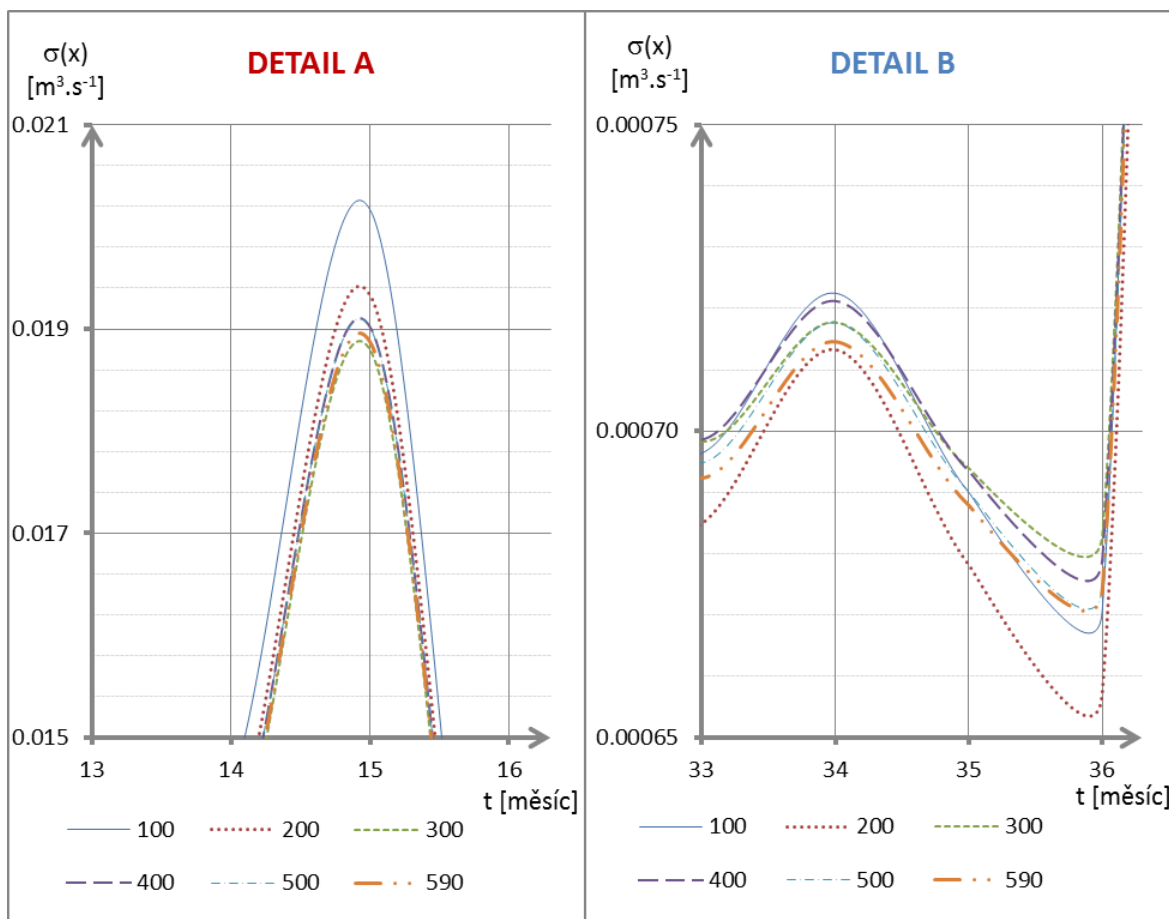
Obr. 21 DETAIL A – max. hodnota a DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 20.

Z Obr. 20 a 21 je zřejmé, že pro narůstající počet prvků se střední hodnota neboli průměrné měsíční průtoky Q_m zpřesňovaly.

Vypočtení a vynesení směrodatné odchylky je znázorněno v následujících Obr. 22 a 23.



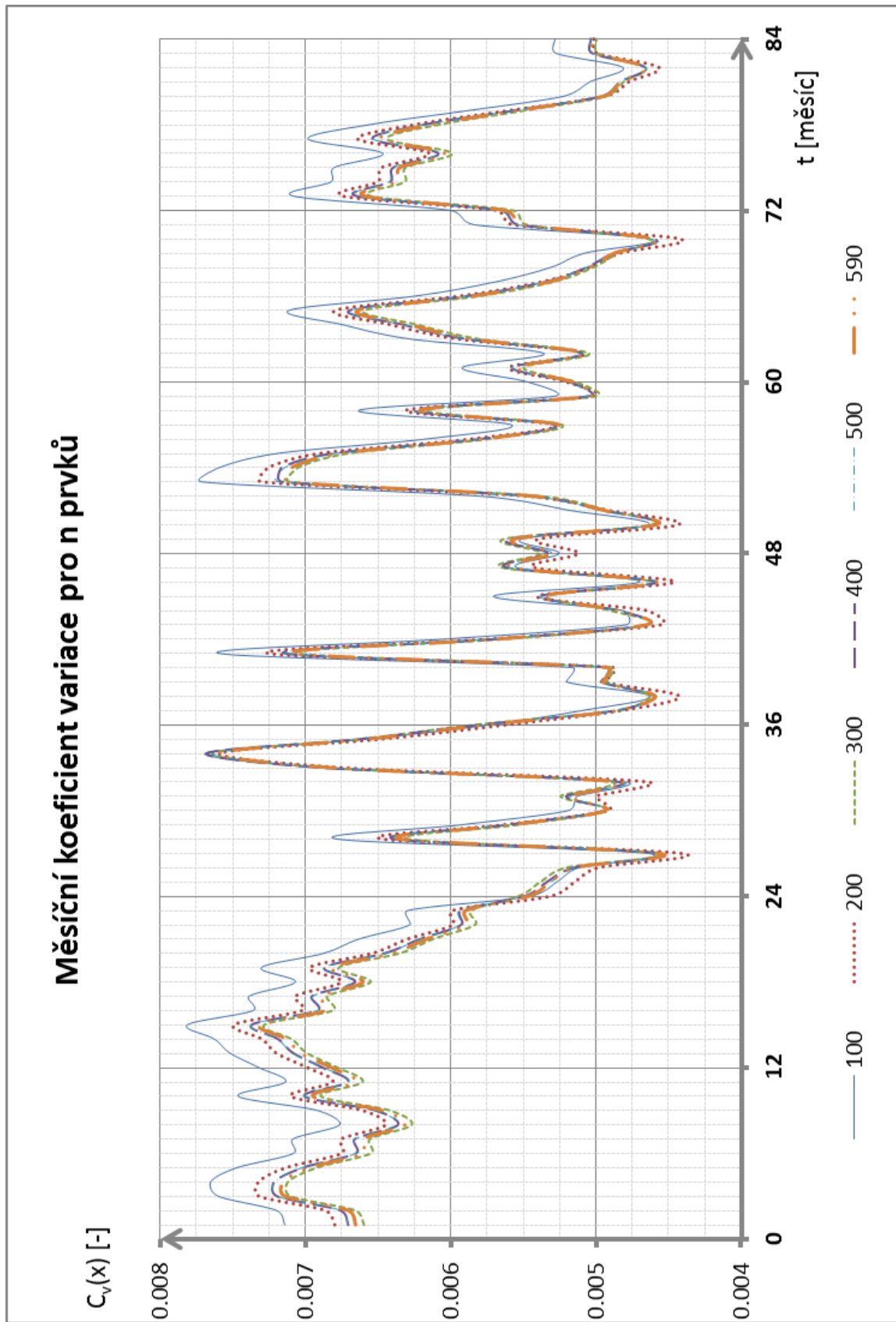
Obr. 22 Měsíční směrodatná odchylka pro n prvků.



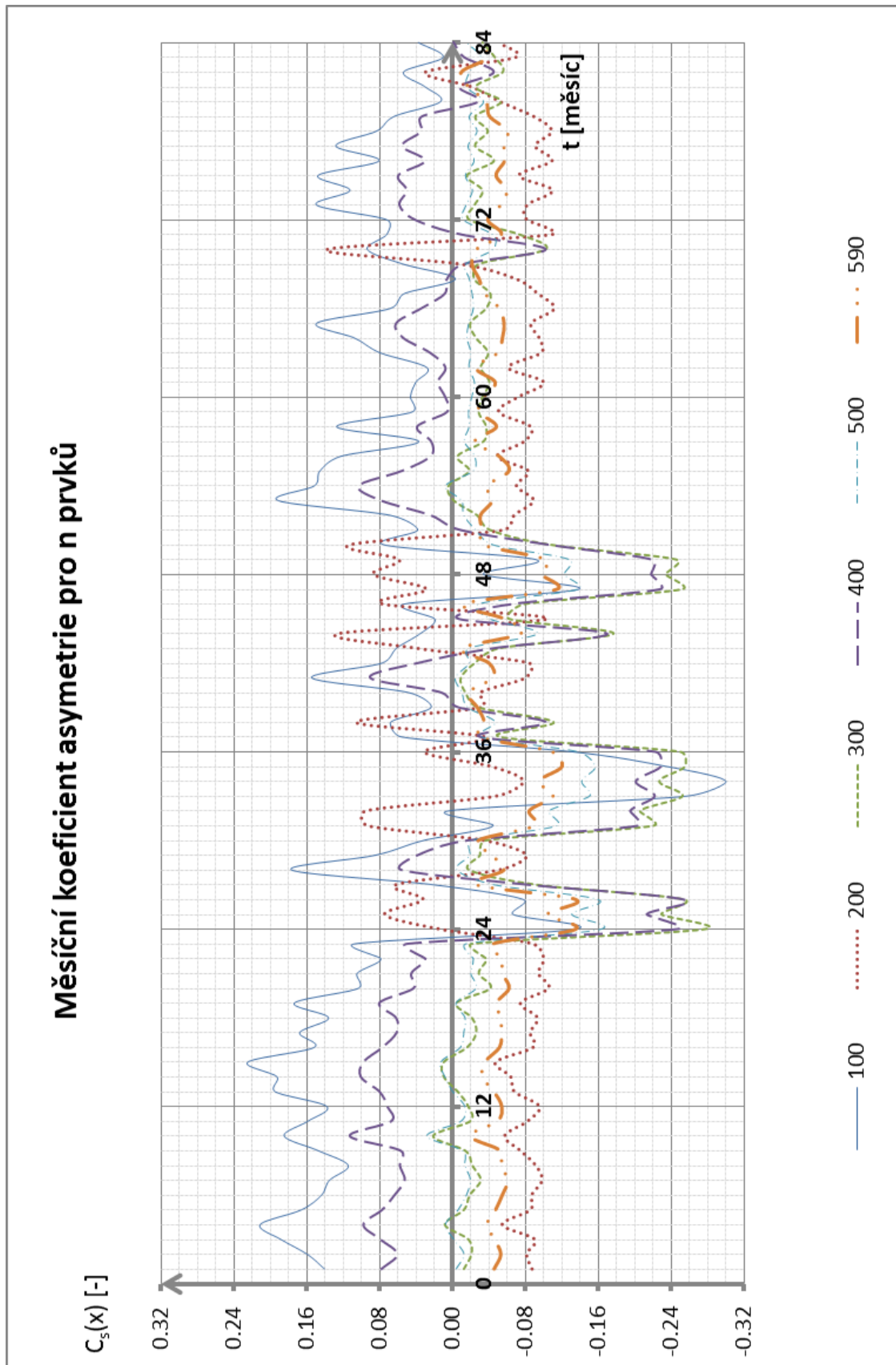
Obr. 23 Detail A – max. hodnota DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 22.

Na Obr. 22 až 23 vidíme, že se s narůstajícím počtem prvků směrodatná odchylka upřesňovala. Z porovnání Obr. 20 a 22 plyne, že při vyšších středních hodnotách je i vyšší směrodatná odchylka, průběh mezi střední hodnotou je tedy obdobný se směrodatnou odchylkou. Z Obr. 21 a 23 je vidět, že při maximální střední hodnotě je i maximální směrodatná odchylka (15. měsíc), ale při minimální střední hodnotě (34. měsíc) je rozdíl s minimální směrodatnou odchylkou (36. měsíc) dva měsíce. Z toho plyne, že při maximálních průtocích dochází k větším směrodatným odchylkám.

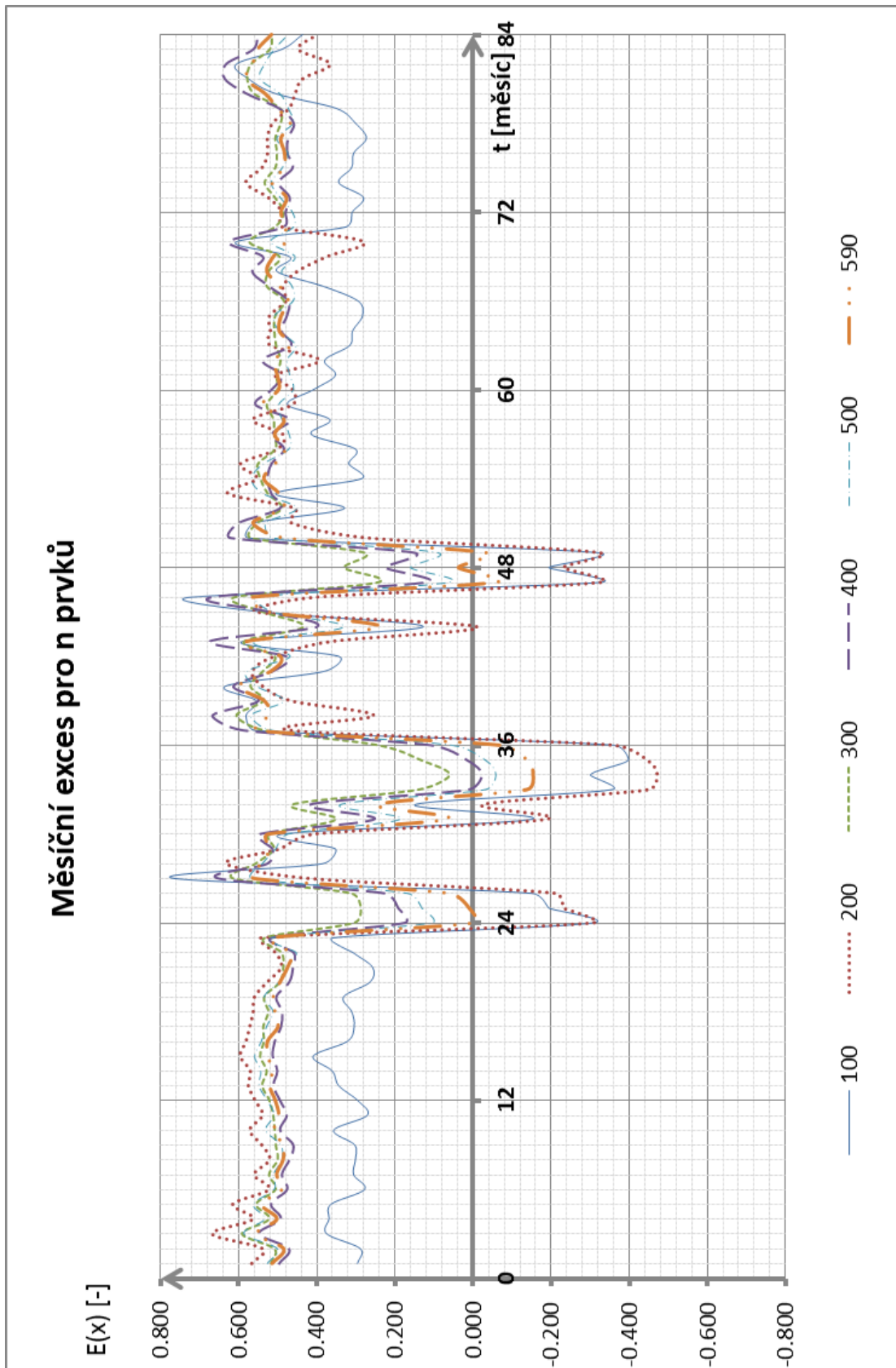
V hydrologii se používá nanejvýš čtvrtého centrálního momentu (excesu), pro čtvrtý centrální moment je minimální hodnota 300 realizací pro dosažení chyby maximálně $\pm 10\%$, viz Tab. 1. V našem případě tato podmínka byla splněna, protože bylo vyhodnoceno až 590 realizací pro všechny statistické charakteristiky.



Obr. 24 Měsíční koeficient variace pro n prvků.



Obr. 25 Měsíční koeficient asymetrie pro n prvků.



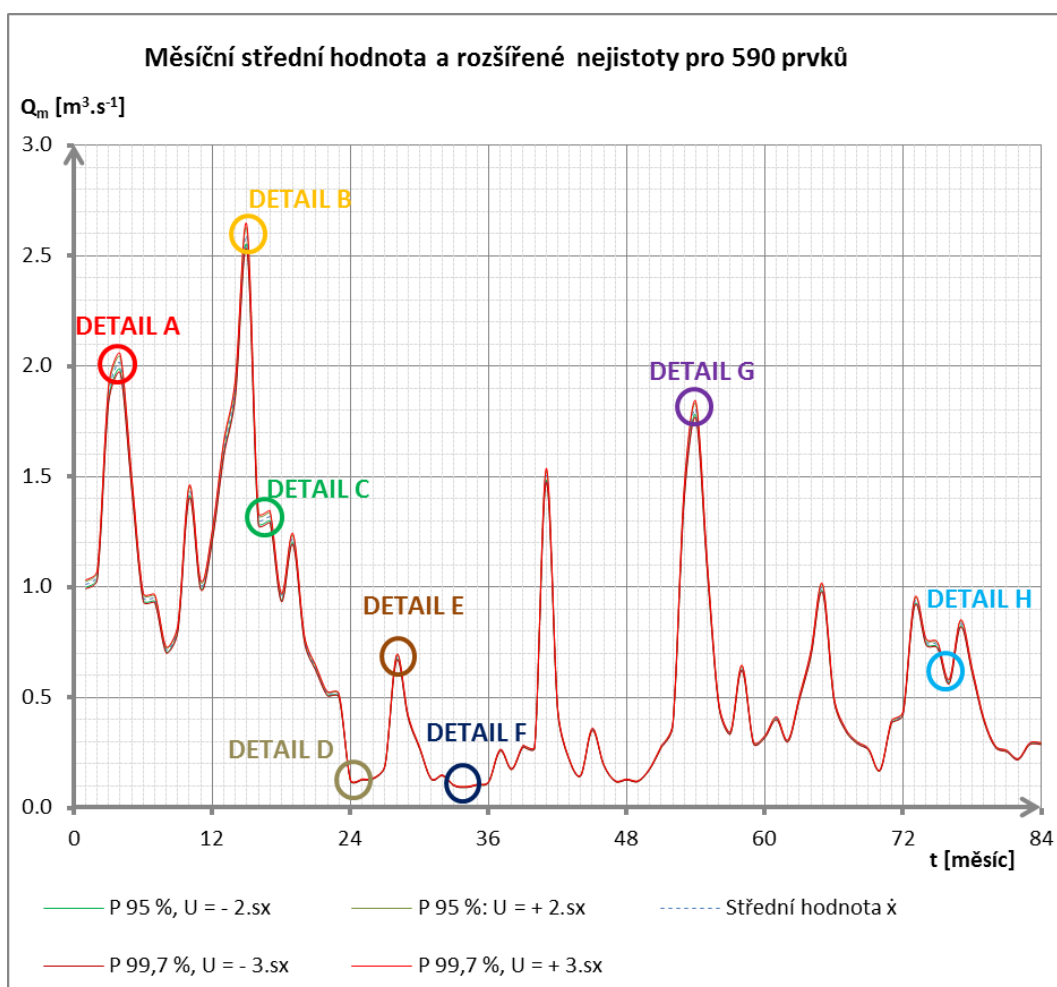
Obr. 26 Měsíční exces pro n prvků.

Z obrázků statistických charakteristik vyplývá, že pro více prvků (opakování) se všechny statistické charakteristiky zpřesňovaly (přibližovaly k optimální hodnotě). Tzn., že pro 100 a většinou i pro 200 prvků se hodnoty více vychylovaly od optimální hodnoty. V dalších vyhodnocováních je uvažováno s 590 opakováními jako s průměrnou výslednou hodnotou.

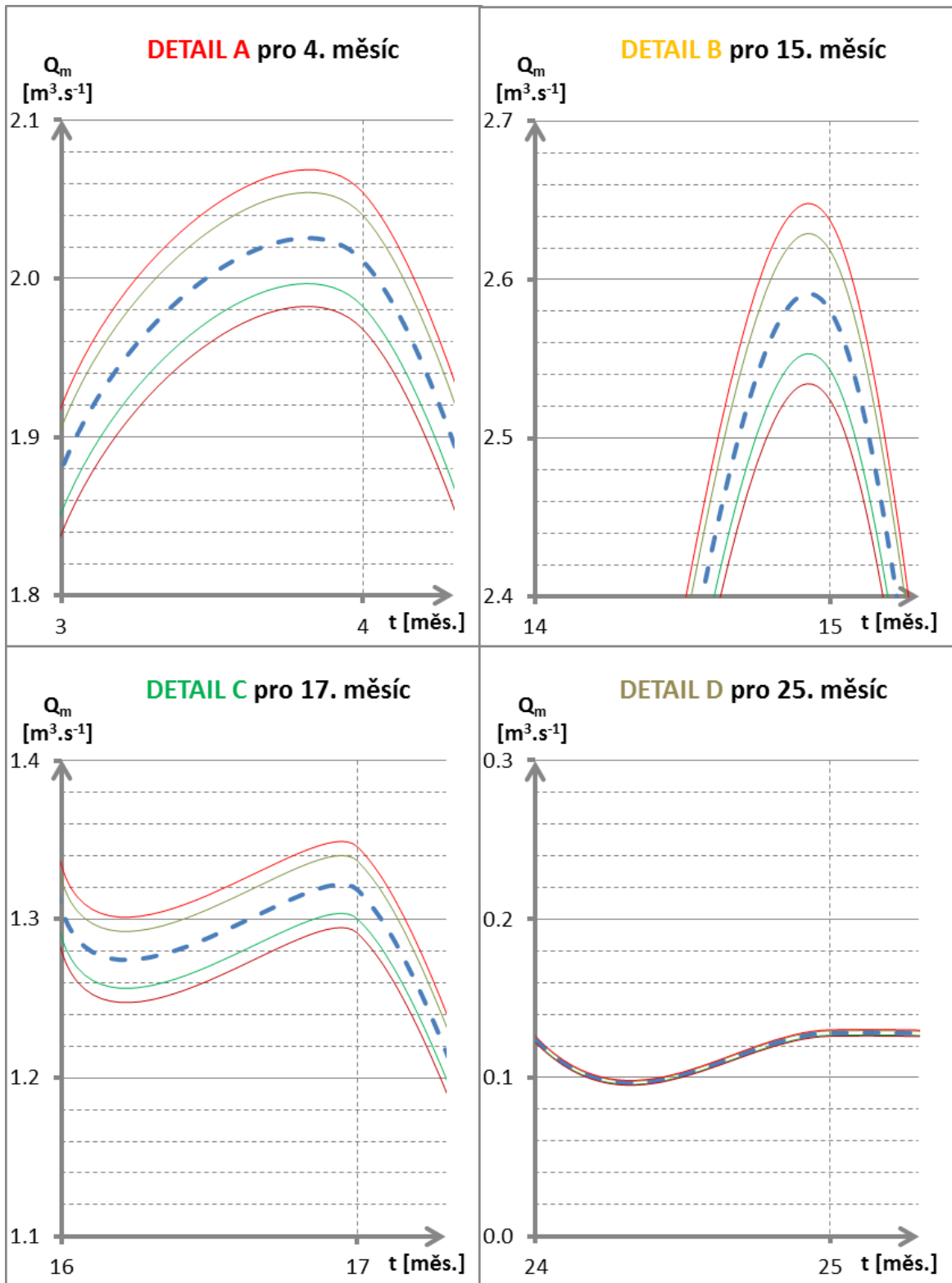
Koeficient asymetrie $C_s(x)$ se pro 100 a 400 prvků pohyboval v kladných hodnotách, poté se křivka hustoty pravděpodobnosti naklání doleva. Pro ostatní počet opakování koeficient asymetrie kolísá kolem nuly nebo lehce do záporných hodnot až k hodnotám -0.30 . Pro $C_s(x) = 0$ je křivka symetrická a pro $C_s(x) < 0$ se naklání doprava, viz Obr. 5.

Hodnota excesu $E(x)$ vyšla převážně v kladných hodnotách od -0.45 po $+0.75$, v nejdelší době však okolo hodnot $+0.40$ až $+0.60$, to znamená, že $E(x) > 0$ a v porovnání s normálním rozdělením je toto rozdělení více špičaté.

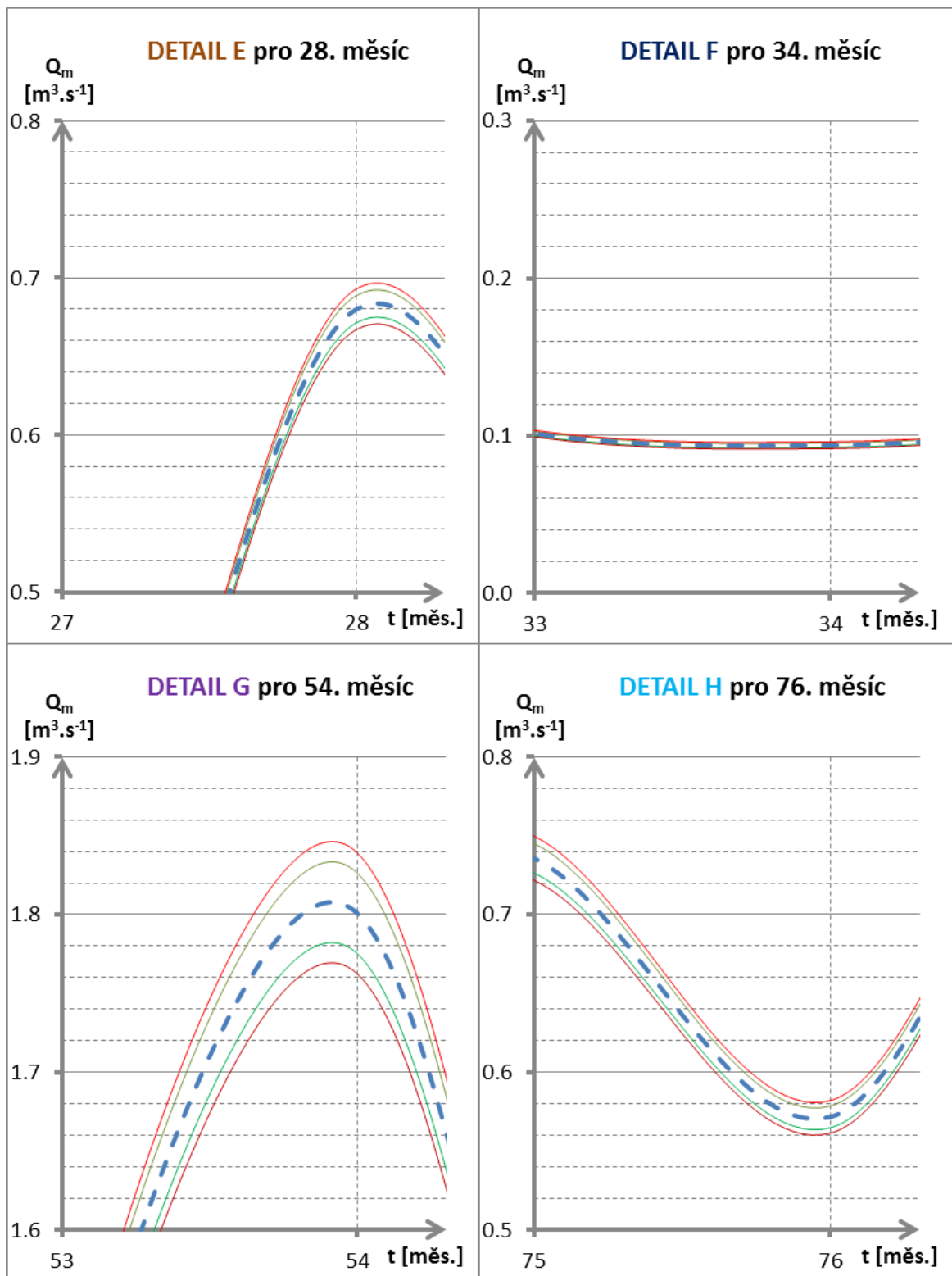
Dále byla vypočtena rozšířená nejistota vynásobením standardní nejistoty opravným koeficientem rozšíření k . Konkrétně bylo pro vynásobení použito dvou základních koeficientů rozšíření, a to koeficient rozšíření $k = 2$ pro pravděpodobnosti pokrytí cca 95 % a koeficient rozšíření $k = 3$ pro pravděpodobnosti pokrytí cca 99,7 %.



Obr. 27 Měsíční střední hodnota a rozšířené nejistoty pro 590 prvků.



Obr. 28 DETAIL A až D rozšířených nejistot pro Obr. 27.



Obr. 29 DETAIL E až H rozšířených nejistot pro Obr. 27.

Rozšířená nejistota ve své podstatě kopíruje rozkolísané řady průtoků. U vyšších průtoků docházelo opět k většímu rozptylu hodnot (nejistotě) než u menších průtoků.

5.6 Průměrné roční a průměrné dlouhodobé hodnoty

Z měsíčních hodnot byly ještě vypočteny průměrné roční a průměrné dlouhodobé hodnoty.

Výsledné průměrné roční hodnoty statistických charakteristik pro n prvků jsou uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9 Průměrné roční hodnoty statistických charakteristik pro n prvků.

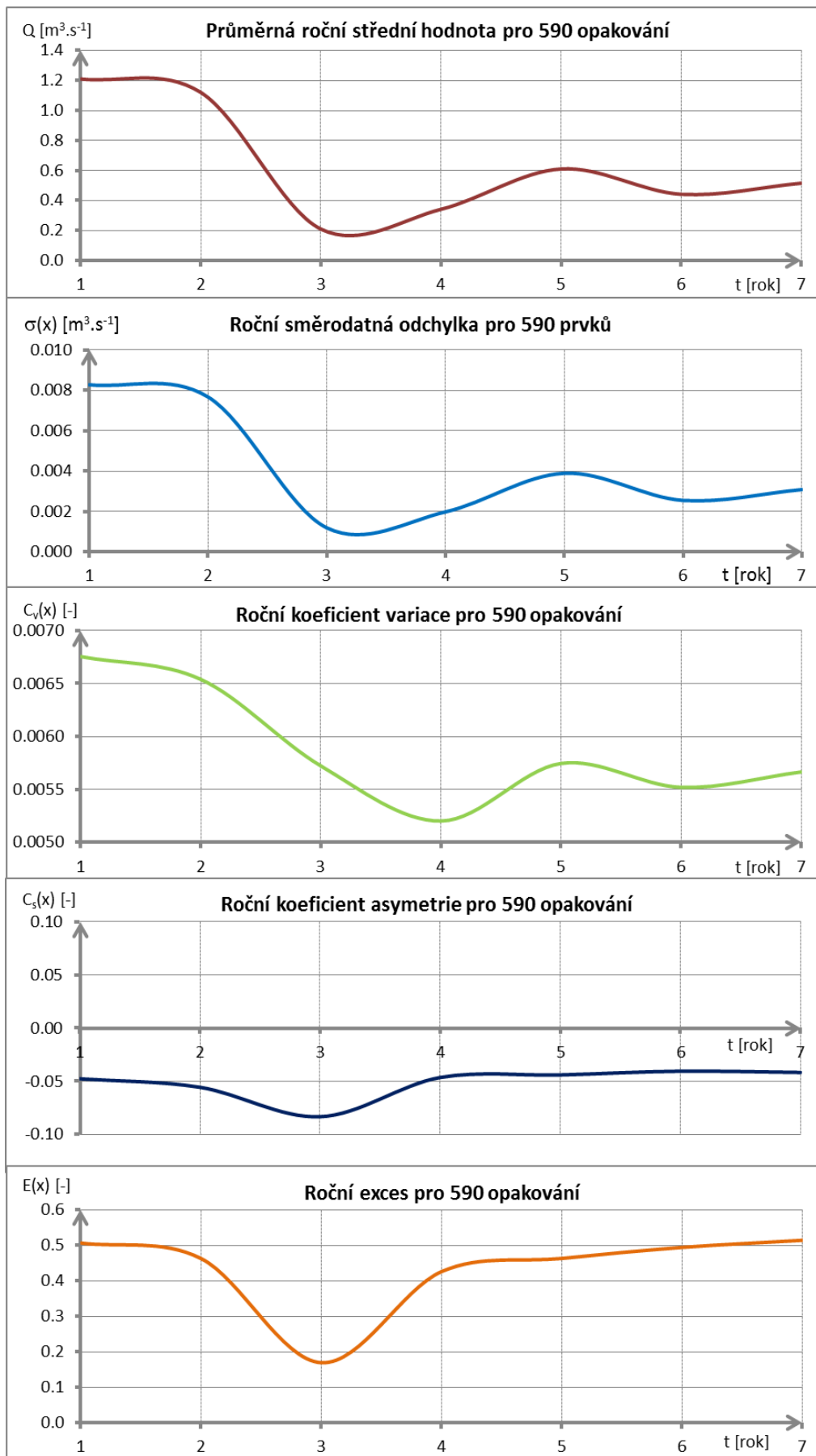
Průměrná roční střední hodnota pro n prvků							
$\approx Q [m^3 \cdot s^{-1}]$	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	1.21109	1.12111	0.20959	0.34152	0.61069	0.44175	0.51565
pro 200 prvků	1.21054	1.12060	0.20956	0.34141	0.61046	0.44161	0.51546
pro 300 prvků	1.21077	1.12080	0.20956	0.34145	0.61055	0.44166	0.51554
pro 400 prvků	1.21075	1.12079	0.20956	0.34144	0.61054	0.44165	0.51553
pro 500 prvků	1.21069	1.12073	0.20957	0.34144	0.61052	0.44164	0.51551
pro 590 prvků	1.21056	1.12061	0.20956	0.34142	0.61047	0.44161	0.51547
Roční směrodatná odchylka pro n prvků							
$[m^3 \cdot s^{-1}]$	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	0.00886	0.00821	0.00124	0.00209	0.00416	0.00272	0.00330
pro 200 prvků	0.00846	0.00784	0.00119	0.00200	0.00396	0.00258	0.00314
pro 300 prvků	0.00822	0.00762	0.00120	0.00198	0.00388	0.00253	0.00307
pro 400 prvků	0.00834	0.00773	0.00120	0.00200	0.00392	0.00257	0.00311
pro 500 prvků	0.00834	0.00773	0.00120	0.00199	0.00392	0.00257	0.00311
pro 590 prvků	0.00827	0.00767	0.00120	0.00199	0.00390	0.00255	0.00309
Roční koeficient variace pro n prvků							
$[-]$	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	0.00724	0.00697	0.00581	0.00538	0.00606	0.00585	0.00602
pro 200 prvků	0.00691	0.00666	0.00564	0.00514	0.00578	0.00556	0.00572
pro 300 prvků	0.00671	0.00650	0.00575	0.00521	0.00573	0.00549	0.00563
pro 400 prvků	0.00681	0.00659	0.00575	0.00522	0.00577	0.00555	0.00569
pro 500 prvků	0.00681	0.00659	0.00573	0.00521	0.00577	0.00555	0.00570
pro 590 prvků	0.00675	0.00654	0.00572	0.00520	0.00574	0.00552	0.00566

Roční koeficient asymetrie pro n prvků							
[-]	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	0.1573	0.1250	-0.0663	0.0353	0.0796	0.0679	0.0759
pro 200 prvků	-0.0820	-0.0745	0.0044	0.0080	-0.0441	-0.0647	-0.0687
pro 300 prvků	-0.0129	-0.0383	-0.1726	-0.0912	-0.0480	-0.0400	-0.0350
pro 400 prvků	0.0730	0.0401	-0.1455	-0.0609	0.0022	0.0109	0.0188
pro 500 prvků	-0.0058	-0.0220	-0.0990	-0.0473	-0.0275	-0.0227	-0.0209
pro 590 prvků	-0.0478	-0.0558	-0.0836	-0.0466	-0.0442	-0.0407	-0.0419
Roční exces pro n prvků							
[-]	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	0.31707	0.27191	0.01908	0.37608	0.35209	0.37776	0.39809
pro 200 prvků	0.56416	0.48145	-0.03551	0.29647	0.42679	0.45879	0.48262
pro 300 prvků	0.52272	0.50465	0.34914	0.50301	0.50574	0.50963	0.52386
pro 400 prvků	0.49077	0.46664	0.28678	0.50158	0.49761	0.51300	0.52487
pro 500 prvků	0.52369	0.48477	0.23701	0.44593	0.46840	0.47673	0.49746
pro 590 prvků	0.50665	0.46285	0.16957	0.42593	0.46301	0.49416	0.51407

Tab. 10 Dlouhodobé průměrné hodnoty statistických charakteristik pro n prvků.

Dlouhodobé průměrné hodnoty					
STATISTICKÉ CHARAKTERISTIKY	Střední hodnoty	Směrodatné odchylky	Koeficientu asymetrie	Koeficientu variace	Excesu
Počet prvků	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	[-]	[-]	[-]
100	0.635915	0.004369	0.067811	0.006190	0.301726
200	0.635662	0.004168	-0.045942	0.005915	0.382109
300	0.635763	0.004071	-0.062571	0.005859	0.488393
400	0.635753	0.004124	-0.008751	0.005911	0.468751
500	0.635729	0.004123	-0.035019	0.005908	0.447712
590	0.635671	0.004094	-0.051497	0.005878	0.433748

Z tabulek ročních a dlouhodobých statistických charakteristik vyplývá, že stejně jako pro měsíční statistické charakteristiky se s větším počtem prvků (opakování) roční a dlouhodobé statistické charakteristiky zpřesňují (přibližují k optimální hodnotě).

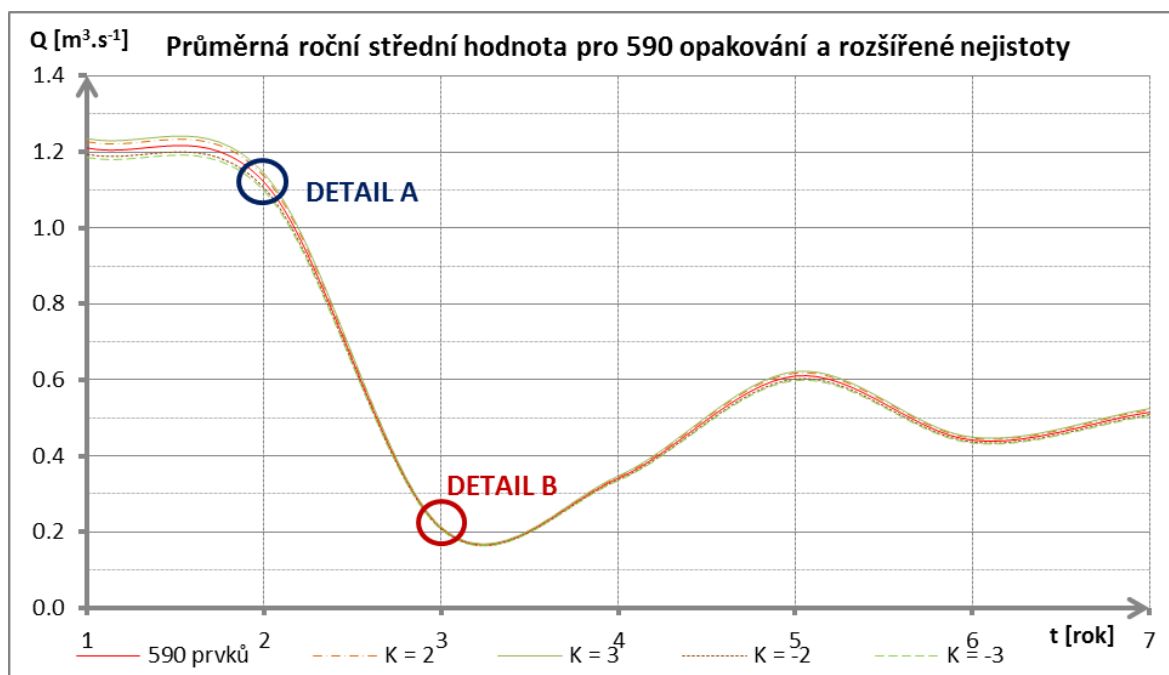


Obr. 30 Průměrné roční statistické charakteristiky.

Opět byla vypočtena rozšířená nejistota, a to jako u průměrných měsíčních hodnot vynásobením standardní nejistoty opravným koeficientem rozšíření k . Znovu pomocí dvou základních koeficientů rozšíření, a to koeficientem rozšíření $k = 2$ pro pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 % a koeficientem rozšíření $k = 3$ pro pravděpodobnosti pokrytí přibližně 99,7 %.

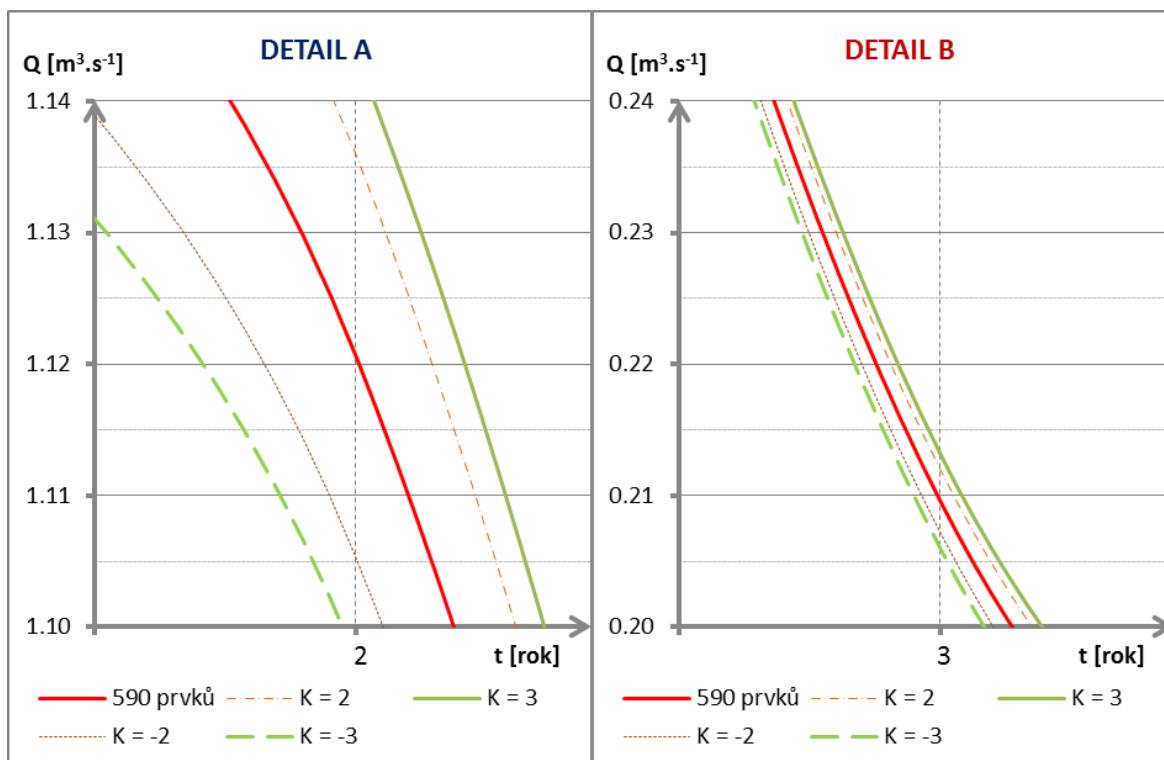
Tab. 11 Průměrná roční střední hodnota pro 590 opakování a rozšířené nejistoty.

[m ³ .s ⁻¹]	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
590 prvků	1.21056	1.12061	0.20956	0.34142	0.61047	0.44161	0.51547
Směr. odch. 590	0.00827	0.00767	0.00120	0.00199	0.00390	0.00255	0.00309
K = 2	1.22710	1.13595	0.21195	0.34539	0.61826	0.44671	0.52165
K = 3	1.23537	1.14362	0.21315	0.34738	0.62216	0.44926	0.52474
K = -2	1.19402	1.10527	0.20716	0.33744	0.60267	0.43651	0.50929
K = -3	1.18575	1.09761	0.20597	0.33545	0.59878	0.43396	0.50620



Obr. 31 Průměrná roční střední hodnota pro 590 opakování a rozšířené nejistoty.

Na Obr. 31 je vidět vzniklá obálka rozšířené nejistoty s jednotlivými pravděpodobnosti pokrytí pro průměrnou roční střední hodnotu a na následujícím Obr 32 je vidět, že při vyšších hodnotách dochází k většímu rozptylu rozšířených nejistot než při nižších.

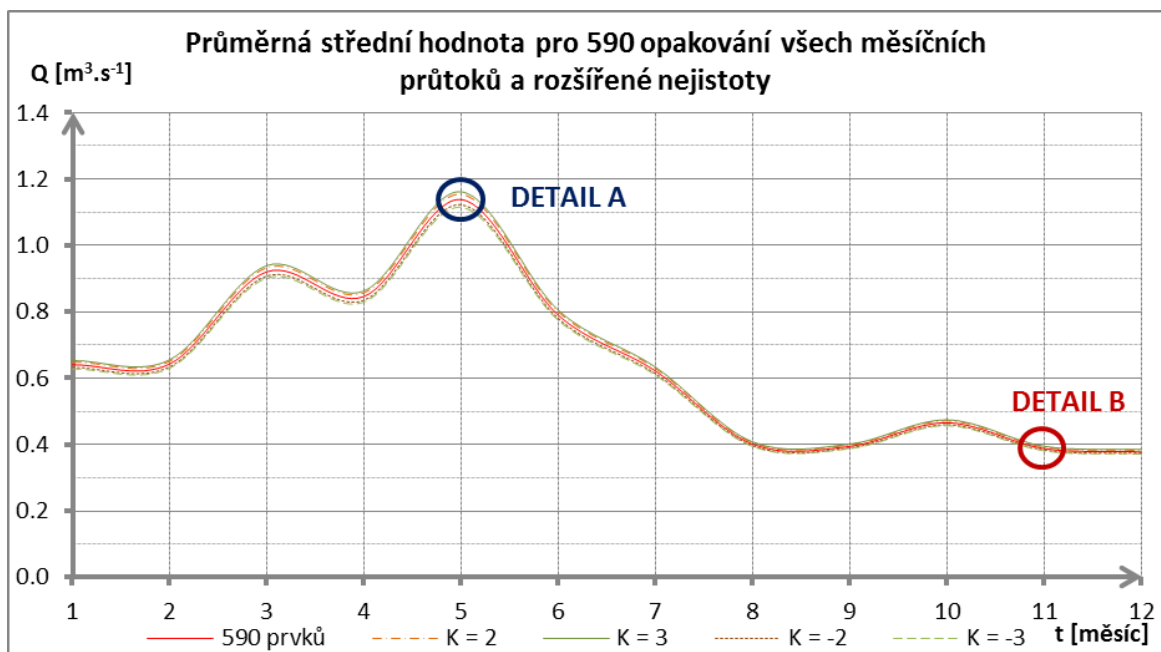


Obr. 32 DETAIL A a DETAIL B rozšířených nejistot pro Obr. 31.

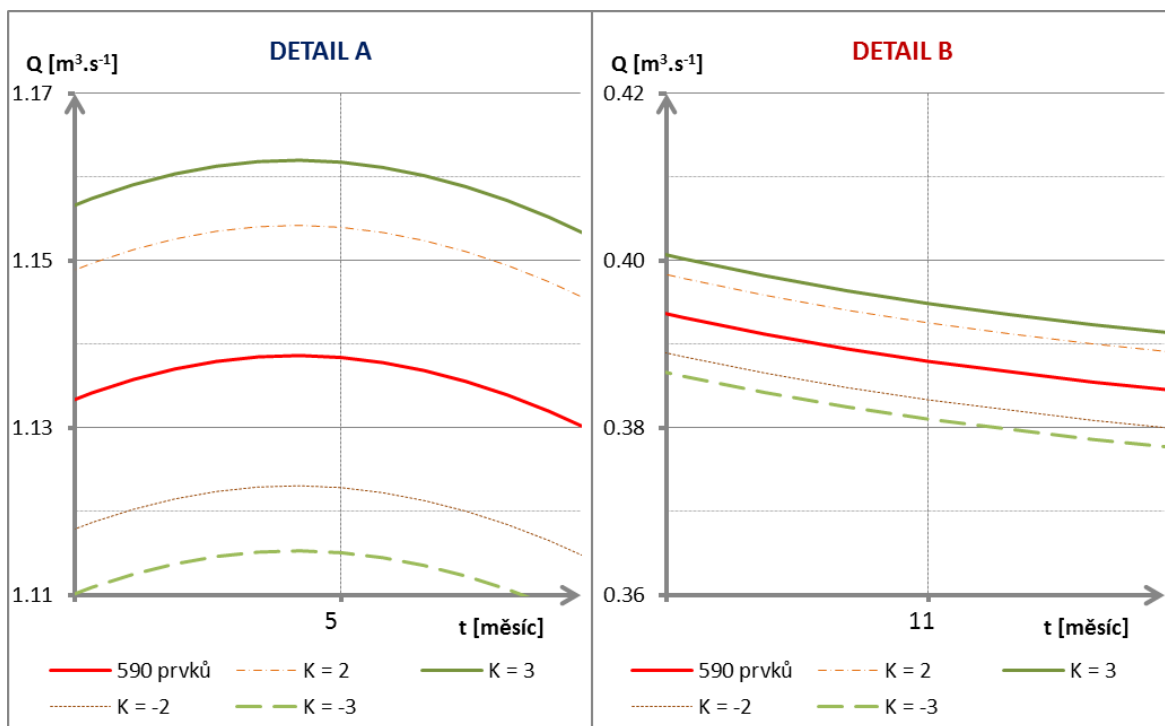
Nakonec byly zprůměrované odpovídající si měsíční průtoky za celou dobu 7 hydrologických let. Tzn., že byla vypočtena průměrná hodnota 84 listopadů, 84 prosinců až po 84 říjňů pro 590 opakování. K nim byly dopočteny rozšířené nejistoty pomocí příslušných koeficientů rozšíření k .

Tab. 12 Průměrná střední hodnota pro 590 opakování všech odpovídajících si měsíčních průtoků a rozšířené nejistoty.

[m ³ .s ⁻¹]	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
590 prvků	0.6408	0.6424	0.9204	0.8457	1.1384	0.7903	0.6221	0.4013	0.3945	0.4658	0.3879	0.3783
Sm.od. 590	0.0042	0.0042	0.0062	0.0056	0.0078	0.0051	0.0040	0.0023	0.0023	0.0029	0.0023	0.0023
K = 2	0.6491	0.6508	0.9328	0.8568	1.1540	0.8006	0.6300	0.4060	0.3991	0.4716	0.3926	0.3829
K = 3	0.6533	0.6550	0.9390	0.8624	1.1618	0.8057	0.6340	0.4084	0.4014	0.4745	0.3949	0.3852
K = -2	0.6324	0.6341	0.9079	0.8346	1.1228	0.7801	0.6142	0.3967	0.3899	0.4600	0.3833	0.3737
K = -3	0.6283	0.6299	0.9017	0.8290	1.1150	0.7749	0.6103	0.3943	0.3876	0.4571	0.3810	0.3714



Obr. 33 Průměrná střední hodnota pro 590 opakování všech odpovídajících si měsíčních průtoků a rozšířené nejistoty.



Obr. 34 DETAIL A a DETAIL B rozšířených nejistot pro Obr. 33.

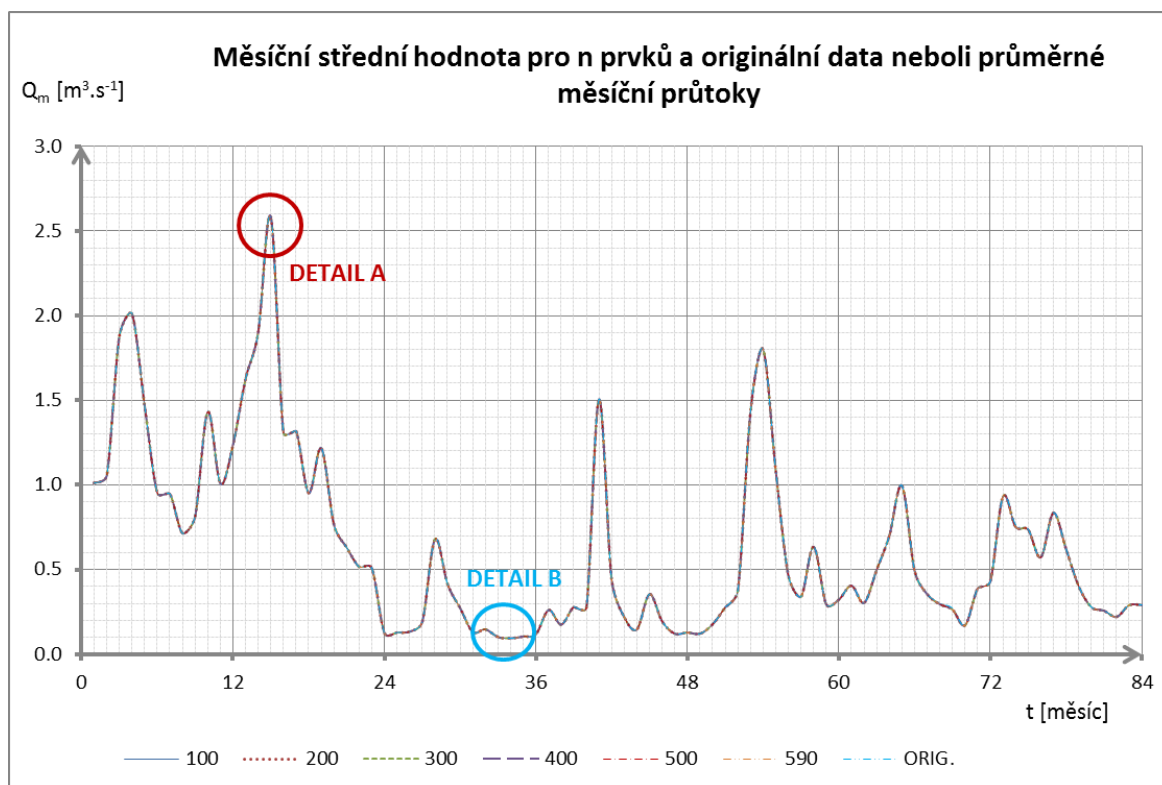
Na Obr. 33 je vidět vzniklá obálka rozšířené nejistoty s jednotlivými pravděpodobnosti pokrytí pro zprůměrované odpovídající si měsíční průtoky za celou dobu 7 hydrologických let a z Obr 34 je opět zřejmé, že při vyšších hodnotách dochází k většímu rozptýlu rozšířených nejistot než při nižších.

5.7 Vyhodnocení skutečných naměřených dat a porovnání s generovanými

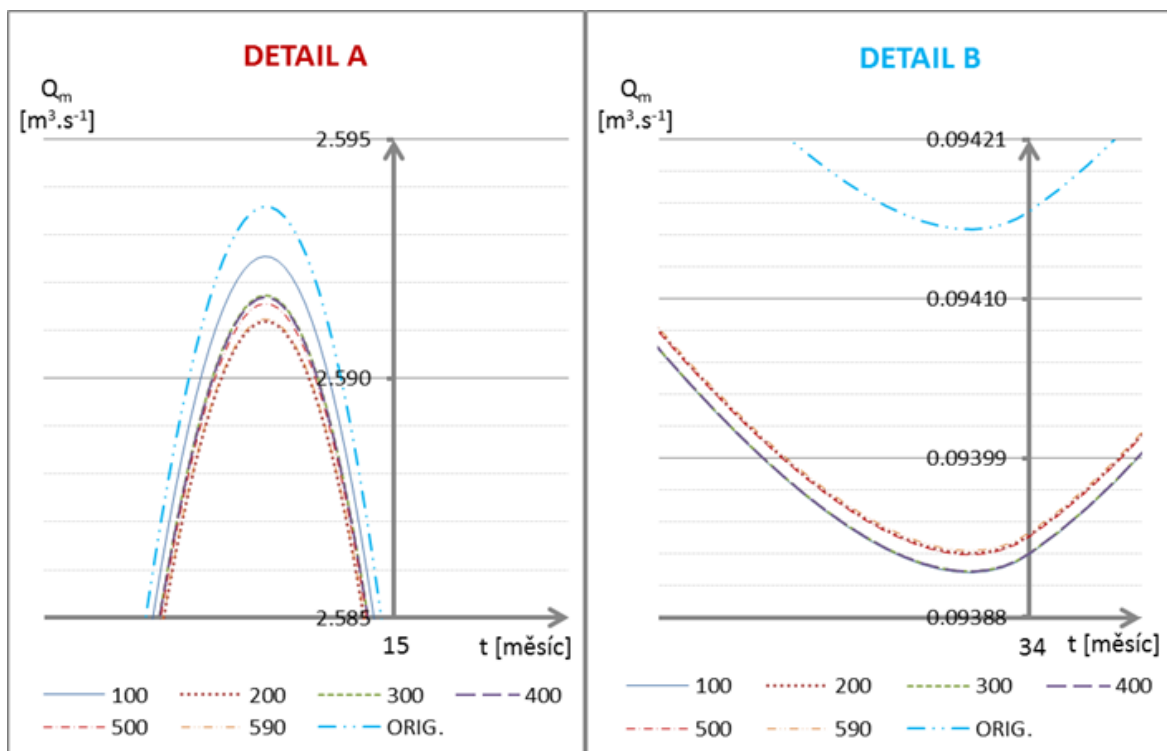
Po vypočtení průměrných měsíčních hodnot střední hodnoty ze skutečných naměřených hodnot byly výsledky zpracovány a porovnány s vypočítanými hodnotami pro n prvků z generovaných dat.

Tab. 13 Měsíční střední hodnota originálních dat.

Měsíční střední hodnota originálních dat $\approx Q$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]							
měsíc/rok	1	2	3	4	5	6	7
listopad	1.01143	1.62667	0.12842	0.26153	0.12145	0.40547	0.93183
prosinec	1.05415	1.90148	0.13380	0.17558	0.17773	0.30313	0.76529
leden	1.87896	2.58295	0.19195	0.28030	0.27776	0.50031	0.73701
únor	2.01178	1.30665	0.68151	0.27458	0.37769	0.70133	0.57265
březen	1.46826	1.31922	0.41510	1.50677	1.43496	0.99643	0.83635
duben	0.95258	0.95176	0.27268	0.44091	1.80304	0.49287	0.62243
květen	0.94747	1.21840	0.13175	0.21880	1.08625	0.35453	0.40221
červen	0.71395	0.76545	0.14704	0.14676	0.46435	0.30277	0.27897
červenec	0.81450	0.63144	0.10151	0.35552	0.33976	0.27138	0.25822
srpen	1.43463	0.51547	0.09416	0.19461	0.63573	0.17110	0.22103
září	1.00801	0.50800	0.10505	0.12157	0.29540	0.38956	0.29103
říjen	1.23503	0.12438	0.11750	0.12822	0.32287	0.43053	0.29138



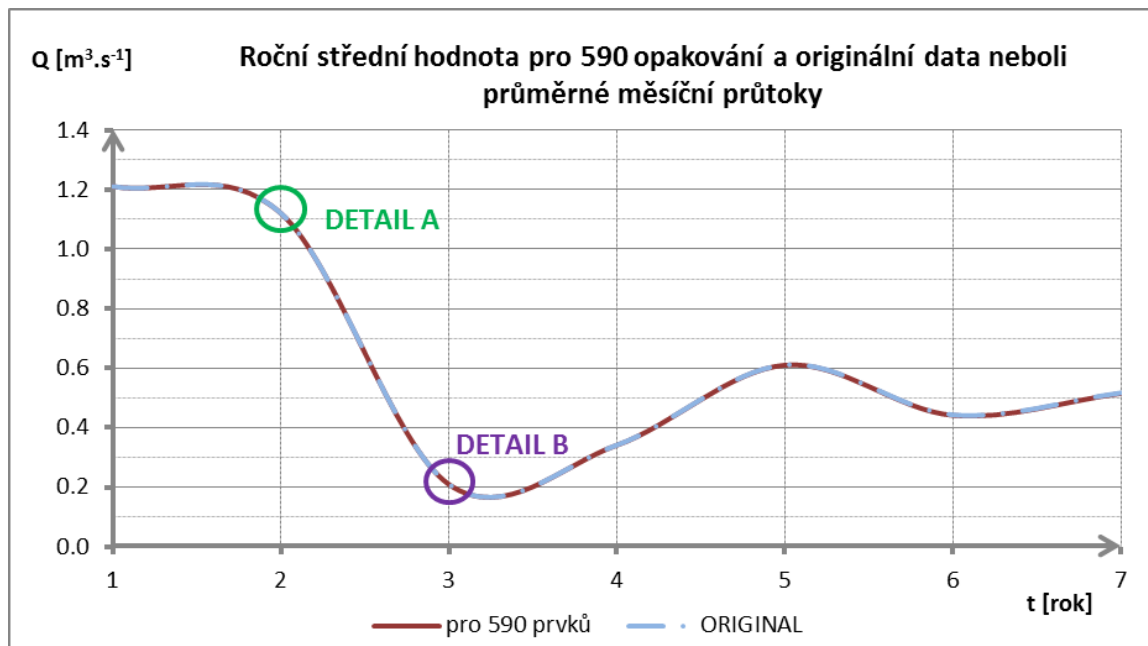
Obr. 35 Měsíční střední hodnoty pro n prvků a originální data.



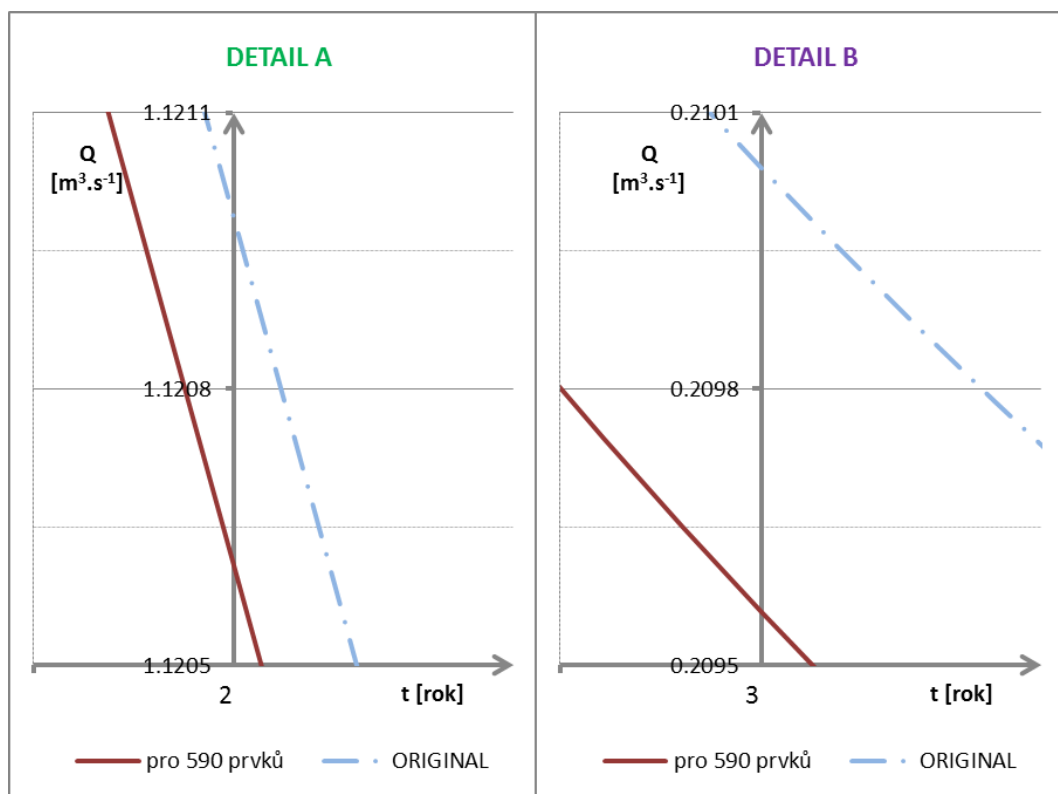
Obr. 36 DETAIL A – max. hodnota a DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 33.

Tab. 14 Roční střední hodnota pro n prvků a originální data.

Roční střední hodnota pro n prvků							
$\approx Q$ [$m^3 \cdot s^{-1}$]	ROK 1	ROK 2	ROK 3	ROK 4	ROK 5	ROK 6	ROK 7
pro 100 prvků	1.21109	1.12111	0.20959	0.34152	0.61069	0.44175	0.51565
pro 200 prvků	1.21054	1.12060	0.20956	0.34141	0.61046	0.44161	0.51546
pro 300 prvků	1.21077	1.12080	0.20956	0.34145	0.61055	0.44166	0.51554
pro 400 prvků	1.21075	1.12079	0.20956	0.34144	0.61054	0.44165	0.51553
pro 500 prvků	1.21069	1.12073	0.20957	0.34144	0.61052	0.44164	0.51551
pro 590 prvků	1.21056	1.12061	0.20956	0.34142	0.61047	0.44161	0.51547
ORIGINAL	1.21090	1.12099	0.21004	0.34209	0.61142	0.44329	0.51737



Obr. 37 Roční střední hodnota pro 590 prvků a originální data.



Obr. 38 DETAIL A a DETAIL B roční střední hodnoty pro Obr. 35.

Z tabulek a obrázků z kapitoly 5.7 plyne, že originální data po celou dobu sedmi let jak pro měsíční, roční, tak i dlouhodobé hodnoty jsou v porovnání s generovanými daty o něco větší. To znamená, že skutečné naměřené průtoky jsou vyšší oproti generovaným průtokům.

Dlouhodobá střední hodnota neboli průtok u originálních dat je $0,636584 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a střední hodnota u generovaných dat pro 590 opakování je $0,635671 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tab. 15 Procentuální rozdíl dlouhodobých originálních a generovaných dat pro n prvků.

Střední hodnota $\approx Q$	Dlouhodobý průměr [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Procentuální rozdíl v [%] oproti originální řadě pro n prvků
pro 100 prvků	0.635915	- 0.105
pro 200 prvků	0.635662	- 0.145
pro 300 prvků	0.635763	- 0.129
pro 400 prvků	0.635753	- 0.131
pro 500 prvků	0.635729	- 0.134
pro 590 prvků	0.635671	- 0.143
ORIGINÁL DATA	0.636584	-

Všechna zpracovaná data a výsledky jsou uvedené v elektronické formě na CD Příloha č. 1
Výběr metody a výpočty.

6 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Výsledné hodnoty nejistot měření jsou vyjádřené jako velikost okolí v blízkosti naměřené hodnoty, ve které se měřená veličina mohla s určitou pravděpodobností vyskytnout. Zmíněné okolí reprezentuje směrodatná odchylka (standardní nejistota) kolem naměřené hodnoty, která je považována za střední hodnotu. Otázkou je, jak zavést nejistoty měření popsané pomocí standardní nejistoty do návazného řešení. V bakalářské práci je použito metody Monte Carlo, která v dostatečném počtu náhodně vygeneruje možné výskyty měřené veličiny v blízkosti měřené hodnoty. Náhodně vygenerované realizace jsou poté použity jako vstupy do navazujících opakovaných řešení a z nich výstupy jsou statisticky vyhodnoceny.

Hodnoty naměřených vodních stavů a (Q, h) body měrné křivky průtoků vodoměrného profilu, které byly zatíženy nejistotou, jsou v práci zavedeny do řešení aplikací metody Monte Carlo, která je stochastickou metodou a její přesnost a efektivnost se odvíjí od kvality generátoru náhodných čísel, v našem případě pseudonáhodných čísel.

Přesnost výsledku ovlivňuje i počet opakování řešení PO . Pro výpočty používané v hydrologii je obvyklý počet opakování $PO = 300$, viz Tab. 1. Každé opakování bylo poměrně zdlouhavé díky odvození empirických MKP a následnému přepočtu hodnot vzorkovaných vodních stavů na hodnoty vzorkovaných průtoků pomocí programu HYDROM. Jednalo se vesměs o manuální práci, ale i přesto, aby bylo možné důkladného otestování, vyhodnocení a vzájemného porovnání hodnot mezi opakováním, tak byl zvolen počet opakování $PO = 600$.

V praktické části byla po vygenerování dat vybrána metoda polynom pro proložení empirických (Q, h) bodů regresní křivkou, viz Obr. 8. Poté bylo realizováno proložení teoretickou měrnou křivkou koryta toku všemi vygenerovanými (Q, h) body a na Obr. 9 až Obr. 14 vidíme grafické výsledky vypočtených MKP po 100 opakování a vyfiltrování 10 ti nevhodných křivek.

Po stanovení průběhu hodinových průtoků $Q(t)$ a jejich převedení na průměrné měsíční průtoky byly tyto průběhy vykresleny v Obr. 17 až 19, z kterých je zřejmé, že při vyšších průtocích dochází k větším rozdílům průtoků než u nižších průtoků.

V Tab. 4 až 8 jsou vypočítané statistické charakteristiky průměrných měsíčních průtoků, z nichž plyne, že se s narůstajícím počtem prvků (opakování) statistické charakteristiky upřesňovaly (přibližovaly k optimální hodnotě), což potvrdily i Obr. 20 až 26.

Z Obr. 21 a 23 je vidět, že při maximální střední hodnotě neboli průtoku $2\,580,56 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ pro 590 opakování je i maximální směrodatná odchylka $18,88 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ pro 590 opakování v 15. měsíci (leden 2003), ale při minimální střední hodnotě neboli průtoku $93,94 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$

pro 590 opakování v 34. měsíci (srpen 2004) je s minimální směrodatnou odchylkou $0,67 \text{ l.s}^{-1}$ pro 590 opakování v 36. měsíci (říjen 2004) rozdíl dva měsíce. Z toho plyne, že při maximálních průtocích dochází k větším směrodatným odchylkám a naopak.

Na Obr. 25 vidíme koeficient asymetrie $C_s(x)$, který se pro 100 a 400 prvků pohyboval v kladných hodnotách, poté se křivka hustoty pravděpodobnosti naklání doleva. Pro ostatní počet opakování koeficient asymetrie kolísá kolem nuly nebo lehce do záporných hodnot až k hodnotám -0.30 .

Na Obr. 26 vidíme, že hodnota excesu $E(x)$ vyšla převážně v kladných hodnotách od -0.45 po $+0.75$, v nejdělsí době však okolo hodnot $+0.40$ až $+0.60$, to znamená, že $E(x) > 0$ a v porovnání s normálním rozdělením je toto rozdělení více špičaté.

Z Obr. 27 až 29, kde byla vypočtena rozšířená standardní nejistota vynásobením standardní nejistoty opravným koeficientem rozšíření k , je vidět, že rozšířená nejistota ve své podstatě kopíruje rozkolísané řady průtoků. A znovu u vyšších průtoků docházelo k většímu rozptylu hodnot (nejistotě) než u menších průtoků. Při maximálním průtoku je odchylka pro koeficient $k = 3$ pro pravděpodobnosti pokrytí $99,7\%$ přibližně $\pm 57 \text{ l.s}^{-1}$ a při minimálním průtoku pro pravděpodobnosti pokrytí cca $99,7\%$ přibližně $\pm 2,1 \text{ l.s}^{-1}$.

Z Tab. 9 a Obr. 30 je vidět, že průměrná roční střední hodnota neboli průtok byl v prvním roce $1\,210,69 \text{ l.s}^{-1}$ a v druhém roce $1\,120,61 \text{ l.s}^{-1}$ pro 590 opakování, což je téměř dvojnásobek, než dlouhodobý průtok $635,67 \text{ l.s}^{-1}$ pro 590 opakování, viz Tab. 10. Třetí a čtvrtý rok je naopak průtok poměrně nízký, ve třetím roce konkrétně jen $209,56 \text{ l.s}^{-1}$. Pátý až sedmý rok byly v porovnání s dlouhodobým průměrem lehce podprůměrné. Roční směrodatná odchylka má obdobný průběh jako průměrná roční střední hodnota. Maximální hodnota je dosažena v prvním roce a to $8,27 \text{ l.s}^{-1}$ oproti tomu minimální hodnota ve třetím roce pouze $1,20 \text{ l.s}^{-1}$. Průměrný roční koeficient variace je od $0,0052$ po $0,0067$. Průměrný roční koeficient asymetrie je od $-0,0407$ po $-0,0836$, což znamená, že je $C_s(x) < 0$ a potom se křivka hustoty pravděpodobnosti naklání doprava. Průměrný roční koeficient špičatosti neboli exces je v rozmezí od $0,1696$ po $0,5141$ a v porovnání s normálním rozdělením je toto rozdělení více špičaté.

Z Tab. 9 a 10 opět vyplývá, že stejně jako pro měsíční statistické charakteristiky se s větším počtem prvků (opakování) roční a dlouhodobé statistické charakteristiky zpřesňují (přibližují k optimální hodnotě).

Na Obr. 31 je vidět vzniklá obálka rozšířené nejistoty s jednotlivými pravděpodobnostmi pokrytí pro průměrnou roční střední hodnotu a na Obr. 32 je vidět, že při vyšších hodnotách dochází k většímu rozptylu rozšířených nejistot než při nižších.

Na Obr. 33 je vidět vzniklá obálka rozšířené nejistoty s jednotlivými pravděpodobnosti pokrytí pro zprůměrované odpovídající si měsíční průtoky za celou dobu 7 hydrologických let a z Obr. 34 je opět zřejmé, že při vyšších hodnotách dochází k většímu rozptylu rozšířených nejistot než při nižších.

Na závěr byly zpracovány skutečné naměřené hodnoty a bylo provedeno vzájemné porovnání mezi originálními (naměřenými) a generovanými daty. Z výsledku je patrné, že originální data po celou dobu sedmi let jak pro měsíční, roční, tak i dlouhodobé hodnoty jsou v porovnání s generovanými daty o něco větší. To znamená, že skutečné naměřené průtoky jsou vyšší oproti generovaným průtokům, viz Obr. 35 až 38. Dlouhodobá střední hodnota neboli průtok u originálních dat je $636,584 \text{ l.s}^{-1}$ a střední hodnota u generovaných dat pro 590 opakování je $635,671 \text{ l.s}^{-1}$. Z Tab. 15 je rozdíl u generovaných dat pro 590 opakování s originálními daty – 0,143 %, což odpovídá pouze $0,91 \text{ l.s}^{-1}$.

Tab. 16 Maximální a minimální měsíční, roční a dlouhodobé průměrné průtoky a jejich rozšířené nejistoty.

Průměrné průtoky	Rozsah rozšířené nejistoty U_a [%]	Minimální průtok	Rozšířená nejistota U_a	Maximální průtok	Rozšířená nejistota U_a
		[l.s^{-1}]	[l.s^{-1}]	[l.s^{-1}]	[l.s^{-1}]
měsíční	± 1.37 až ± 2.28	93.94	± 2.14	2 580.56	± 56.63
roční	± 1.71 až ± 2.05	209.56	± 3.59	1 210.56	± 24.81
dlouhodobé	± 1.93	635.67		± 12.28	

V Tab. 16 jsou vypsány vyskytující se rozšířené nejistoty U_a neboli $k = 3$ pro měsíční, roční a dlouhodobé průměrné průtoky pro 590 opakování odpovídající pravděpodobnosti pokrytí přibližně 99,7 %.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo provedení kvalifikovaného odhadu nejistot měření v měrném profilu Prostřední Poříčí. Výsledné hodnoty rozšířené nejistoty U_a pro průměrné měsíční průtoky s pravděpodobností výskytu sledovaného jevu 99,7 %, neboli $k = 3$, jsou v rozsahu $\pm 1,37\%$ až $\pm 2,28\%$, pro minimální měsíční průtok $93,94 \text{ l.s}^{-1}$ konkrétně $\pm 2,14 \text{ l.s}^{-1}$ a pro maximální měsíční průtok $2\,580,56 \text{ l.s}^{-1}$ konkrétně $\pm 56,63 \text{ l.s}^{-1}$. Pro průměrné roční průtoky s danou zabezpečeností je rozsah rozšířené nejistoty $\pm 1,71\%$ až $\pm 2,05\%$, pro minimální roční průtok $209,56 \text{ l.s}^{-1}$ konkrétně $\pm 3,59 \text{ l.s}^{-1}$ a pro maximální roční průtok $1\,210,56 \text{ l.s}^{-1}$ konkrétně $\pm 56,63 \text{ l.s}^{-1}$. Pro průměrný dlouhodobý průtok $635,67 \text{ l.s}^{-1}$ je rozšířená nejistota $\pm 1,93\%$, což odpovídá průtoku $12,28 \text{ l.s}^{-1}$.

Z těchto výsledků lze usoudit, že dosažené velikosti nejistoty měření nejsou zanedbatelné a teoreticky mohou nepříznivě ovlivnit výpočty objemů nádrží, návrhy zásobních prostorů, přehodnocení zásobních prostorů v manipulačních řádech vodních děl. Mohou mít také dopady na minimální odtoky vody z nádrží apod. Nutno ovšem podotknout, že v současné době nejsou velikosti nejistoty členů reálných průtokových řad průměrných měsíčních průtoků v běžné praxi udávány.

V rámci bakalářské práce byla dále provedena analýza vlivu počtu opakování řešení na výpočet statistických charakteristik. Obecně v hydrologii je k statistickému vyhodnocení vhodný základní soubor s 300 opakováním. Stanovení odhadu nejistoty průměrných měsíčních průtoků bylo poměrně zdlouhavou prací. Důvodem byl opakovaný manuální import a export dat při použití programu HYDRON. Přesto, aby bylo možné důkladné provedení analýzy počtu opakování, bylo vyhodnoceno celkem 590 počtů opakování. Z výpočtů statistických charakteristik k odpovídajícím počtům opakování vyplývá, že pro větší počet opakování se všechny statistické charakteristiky zpřesňovaly (přibližovaly k optimální hodnotě). Tzn., že pro 100 a většinou i pro 200 prvků se hodnoty více vychylovaly od optimální hodnoty a pro opakování 300 a více se přibližovaly k optimu daného statistickými parametry hustoty pravděpodobnosti normálního rozdělení.

Profil Prostřední Poříčí byl pro vyhodnocení poměrně složitý a nyní se nabízí různé možnosti budoucí práce. Jednou z nich je testování dalších vodoměrných profilů toku. Další námět, který se během zpracování vyskytl, by mohl být proveden testováním v letním a zimním období. Pro zjednodušení budoucích výpočtů by bylo ideálním řešením automatizace celého procesu, protože je tento proces časově náročný a není možné provádět složitější analýzy. Jako je analýza vlivu nejistot na hodnoty průtoků při použití různých typů měřících přístrojů a tím i odlišných nejistot měření. Proměnlivost

nejistoty vznikající při stanovení průtoku odvozeného z měření bodových rychlostí hydrometrickou vrtulí v závislosti na velikosti stanoveného průtoku. Všechny tyto vlivy mají předpoklady pro ovlivnění výsledné velikosti nejistoty průměrného měsíčního průtoku.

Důležité pak je podrobné prozkoumání nejistot do takové míry, aby byly dosaženy poznatky následně využitelné v praxi, a to především uplatnit výsledné nejistoty zavedením do dalších navazujících vodohospodářských výpočtů a řešení.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ASGEIR PETERSEN-ØVERLEIR. *A robust stage-discharge rating curve model based on critical flow from a reservoir*. Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate, 2006.
- [2] BŘEZKOVÁ, L.; STARÝ, M. *The stochastic discharge forecast - creation, interpretation and other applications*. In *Floods - From Risk to Opportunity*. Red Books. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, OX10 8BB, UK: International Association of Hydrological Sciences, 2013. s. 283-291. ISBN: 978-1-907161-35-3.
- [3] MARTON, D. *Vliv nejistot průtokových řad průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže*. Disertační práce, Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2012, 104 s.
- [4] PALEČAR, R.; VDOLEČEK F.; HALAJ M. *Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot*. Automa, číslo 7-8, ročník 2001.
- [5] PALSTAT CAQ, *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích*, Vrchlabí: PALSTAV s.r.o, 2002.
- [6] STARÝ, M. *Hydrologie (MODUL 01)*. Brno: VUT v Brně - Fakulta stavební, 2005, 213 s.
- [7] STARÝ M. *HYDROM*, Brno: Aplikační software určený k prokládání měrných křivek, 1995.
- [8] *Expression of the Uncertainty in Measurement in Calibration (Metodika vyjadřování nejistot při kalibracích)* EA 4/02, 1997 (v ČR ALE-R2, 1997).
- [9] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření)*, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993.
- [10] TPM 0051 – 93 *Stanovení nejistot při měřeních, podnikové normy ÚNMZ – TPM*, Český metrologický institut, 1993.
- [11] WECC doc. 19 – 1990: *Western European Calibration Cooperation*, 1990.

- [12] Aktuální informace - stavy a průtoky na tocích. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2014-02-28]. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/hpps/>
- [13] Detail měřicího bodu: Křetínka, Prostřední Poříčí. [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/stav/1044/>
- [14] JSP - Hladina. [online]. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/rozsireny_sortiment/jsp/hladina/
- [15] Křetínka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [last modified 20. 9. 2013]. [cit. 2013-10-30]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99et%C3%ADnka>
- [16] Metoda Monte Carlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [last modified 29. 1. 2014]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_Monte_Carlo
- [17] Monte Carlo Simulation. *GoldSim Technology Group* [online]. © 2014 [cit. 2014-01-25]. Dostupné z: <http://www.goldsim.com/Web/Introduction/Probabilistic/MonteCarlo/>
- [18] Nejistoty měření. [online]. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/nejistoty1.pdf>
- [19] November global temperature highest on record. *NOAA Climate Portal* [online]. December 19, 2013 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.climate.gov/news-features/featured-images/november-global-temperature-highest-record>
- [20] PALSTAT CAQ. [online]. 11/2002 [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <http://micki.hofyland.cz/vut/bmva/nejistota.pdf>
- [21] Produkty. [online]. [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty>
- [22] Prostřední Poříčí. *Seznam.cz: Mapy.cz* [online]. © 2011 [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: http://www.mapy.cz/#!x=16.555212&y=49.555312&z=11&d=muni_6204_1&q=prostredni%2520porici&qp=16.496207_49.528456_16.580867_49.582453_12
- [23] Změny klimatu. *Blackstone Global Ventures* [online]. © 2011 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.blackstonegv.com/page/cz/36/zmeny-klimatu/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a, b, c regresní koeficienty,

$C_s(x)$ koeficient asymetrie [-],

$C_v(x)$ koeficient variace [-],

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav,

$E(x)$ exces neboli koeficient špičatosti [-],

h výška vodního stavu [cm],

$h(t)$ naměřený hodinový vodní stav [cm],

h_p vzorkovaný vodní stav [cm],

i i -tá hodnota měřené veličiny,

i j -tá hodnota měřené veličiny,

k je koeficient rozšíření,

$M_4(x)$ čtvrtý centrální moment,

$M_5(x)$ pátý centrální moment,

MKP měrná křivka průtoků,

NQ náhodné řady měrných průtoků vody [$m^3 \cdot s^{-1}$],

N_h náhodné řady vodních stavů [cm],

Nh_p náhodné řady vzorkovaných vodních stavů [cm],

$N(\mu, \sigma)$ normální (Laplace – Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti,

n počet měření dané veličiny (2),

n počet prvků náhodného výběru (9 - 13),

PO počet opakování,

(Q, h) poloha bodů v souřadnicovém systému Q, h ,

Q měrný průtok vody [$m^3 \cdot s^{-1}$],

Q_a dlouhodobý průměrný průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$],

Q_m průměrný měsíční průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$],

Q_p vzorkované hodinové průtoky [$m^3 \cdot s^{-1}$],

$Q(t)$ průběh hodinových průtoků odpovídajících $h(t)$ [$m^3 \cdot s^{-1}$],

U	rozšířená nejistota,
u_A	standardní nejistota typu A,
u_B	standardní nejistota typu B,
u_{Bzj}	standardní nejistota typu B j -tého zdroje nejistot,
x_i	i -tý opakovaný výběr (opakované měření) (2),
x_i	prvky náhodného výběru (9 - 13),
\bar{x}	výběrový průměr neboli střední hodnota,
$\mu(x)$	střední hodnota [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
$\sigma(x)$	směrodatná odchylka [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
Δz_{jmax}	maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty,
χ	součinitel, který plyne z rozdělení pravděpodobnosti.

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Nutný počet realizací pro stanovení statistické charakteristiky s chybou $\pm 10\%$. . .	17
Tab. 2 Stanice Prostřední Poříčí.	19
Tab. 3 Tlakové sondy firmy FIEDLER.	20
Tab. 4 Střední hodnota.	33
Tab. 5 Směrodatná odchylka.	34
Tab. 6 Koeficient asymetrie.....	35
Tab. 7 Koeficient variace.....	36
Tab. 8 Exces.	37
Tab. 9 Průměrné roční hodnoty statistických charakteristik pro n prvků.....	48
Tab. 10 Dlouhodobé průměrné hodnoty statistických charakteristik pro n prvků.	49
Tab. 11 Průměrná roční střední hodnota pro 590 opakování a rozšířené nejistoty.	51
Tab. 12 Průměrná střední hodnota pro 590 opakování všech odpovídajících si měsíčních průtoků a rozšířené nejistoty.	52
Tab. 13 Měsíční střední hodnota originálních dat.	54
Tab. 14 Roční střední hodnota pro n prvků a originální data.	55
Tab. 15 Procentuální rozdíl dlouhodobých originálních a generovaných dat pro n prvků.	57
Tab. 16 Maximální a minimální měsíční, roční a dlouhodobé průměrné průtoky a jejich rozšířené nejistoty.....	60

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Případy standardní a rozšířené nejistoty pro normální (Gaussovo) rozdělení.....	6
Obr. 2 Schéma generování náhodných souřadnic (NQ_j, Nh_j) bodů empirické MKP z okolí naměřených bodů $(\mu_i(Q), \mu_i(h))$ metodou Monte Carlo.	13
Obr. 3 Schéma generování náhodných řad vzorkovaných vodních stavů metodou Monte Carlo.	14
Obr. 4 Střední hodnota je x -ovou souřadnicí těžiště hustoty pravděpodobnosti.	15
Obr. 5 Koeficient asymetrie a jeho vliv na naklonění grafu hustoty pravděpodobnosti.	17
Obr. 6 Měrný profil řeky Křetínky v Prostředním Poříčí před přítokem do VN Letovice..	18
Obr. 7 Příčný profil.....	19
Obr. 8 Porovnání metody mocnina a polynom z programu HYDROM.....	21
Obr. 9 MKP pro data 1 – 100.	23
Obr. 10 MKP pro data 101 – 200.	24
Obr. 11 MKP pro data 201 – 300.	25
Obr. 12 MKP pro data 301 – 400.	26
Obr. 13 MKP pro data 401 – 500.	27
Obr. 14 MKP pro data 501 – 600.	28
Obr. 15 Schematické stanovení průběhu hodinových průtoků.....	29
Obr. 16 Výsledky z programu HYDROM.	30
Obr. 17 Graf průměrných měsíčních průtoků Q_m v závislosti na čase t	31
Obr. 18 Detail A pro 4. měsíc a detail B pro 17. měsíc z Obr. 17.....	31
Obr. 19 Detail C pro 54. měsíc a detail D pro 76. měsíc z Obr. 17.....	32
Obr. 20 Měsíční střední hodnota pro n prvků.....	38
Obr. 21 DETAIL A – max. hodnota a DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 20.	39
Obr. 22 Měsíční směrodatná odchylka pro n prvků.	40
Obr. 23 Detail A – max. hodnota DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 22.....	41
Obr. 24 Měsíční koeficient variace pro n prvků.....	42
Obr. 25 Měsíční koeficient asymetrie pro n prvků.....	43

Obr. 26 Měsíční exces pro n prvků.....	44
Obr. 27 Měsíční střední hodnota a rozšířené nejistoty pro 590 prvků.	45
Obr. 28 DETAIL A až D rozšířených nejistot pro Obr. 27.	46
Obr. 29 DETAIL E až H rozšířených nejistot pro Obr. 27.....	47
Obr. 30 Průměrné roční statistické charakteristiky.	50
Obr. 31 Průměrná roční střední hodnota pro 590 opakování a rozšířené nejistoty.	51
Obr. 32 DETAIL A a DETAIL B rozšířených nejistot pro Obr. 31.....	52
Obr. 33 Průměrná střední hodnota pro 590 opakování všech odpovídajících si měsíčních průtoků a rozšířené nejistoty.	53
Obr. 34 DETAIL A a DETAIL B rozšířených nejistot pro Obr. 33.....	53
Obr. 35 Měsíční střední hodnoty pro n prvků a originální data.	54
Obr. 36 DETAIL A – max. hodnota a DETAIL B – min. hodnota pro Obr. 33.	55
Obr. 37 Roční střední hodnota pro 590 prvků a originální data.	56
Obr. 38 DETAIL A a DETAIL B roční střední hodnoty pro Obr. 35.	56

12 SEZNAM PŘÍLOH

CD Příloha č. 1 Výběr metody a výpočty