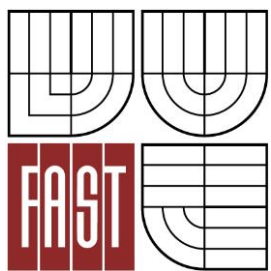




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

ODHAD NEJISTOT MĚŘENÍ PRŮTOKŮ VE VYBRANÉM VODOMĚRNÉM PROFILU

ESTIMATION OF FLOW UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN HYDROMETRIC PROFILE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

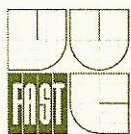
JAKUB JANSÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL MARTON, Ph.D.

BRNO 2014



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	Jakub Jansa
Název	Odhad nejistot měření průtoků ve vybraném vodoměrném profilu
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 Stary, 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 (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Cílem bakalářské práce je provést kvalifikovaný odhad nejistot měření ve vybraném vodoměrném profilu toku a to na základě dostupných informací potřebných k výpočtu a kontinuálně měřených hydrologických dat. Jako podklad pro výpočet budou sloužit historická měření vodní hladiny 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 podobě.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



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

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na odhad nejistot měření ve vybraném vodoměrném profilu toku. Výstupem práce bude zpracovaná teorie o daném problému, výpočet nejistot měření průtoků koryta toku, statistické vyhodnocení vypočtených hodnot a interpretace výsledků v přehledné podobě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nejistota, standardní nejistota, Monte Carlo, měrná křivka průtoků, vodní stav, reálná průtoková řada, průměrný měsíční průtok.

ABSTRACT

Bachelor's thesis is focused on the estimation of measurement of uncertainty in the selected hydrometric profile. Aim of this work will be theories about the problem, calculation of uncertainty of flows in water channels, statistical evaluation of the calculated values and the interpretation of the results in understandable form.

KEYWORDS

Uncertainty, Standard Uncertainty, Monte Carlo, Stage-Discharge Curve, Water Stage, Real Discharge Series, Mean Monthly Discharge.

Bibliografická citace VŠKP

JANSA, Jakub. *Odhad nejistot měření průtoků ve vybraném vodoměrném profilu*. Brno, 2014. 45 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 30. 5. 2014

.....

podpis autora

Jakub Jansa

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Danielovi Martonovi, Ph.D., za odbornou pomoc a rady, které mi poskytoval v průběhu psaní této práce.

OBSAH

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE	9
1.1 Úvod	9
1.2 Cíl práce.....	13
2. METODY	14
3. APLIKACE	21
3.1 Lokalita	21
3.2 Praktická aplikace.....	24
4. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ	35
5. ZÁVĚR.....	40
6. LITERATURA A CITACE	42
7. OBRÁZKY	43

1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 ÚVOD

Účelem stanovení nejistot při měření je zjištění intervalu hodnot okolo výsledku měření, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření zjištěná při kalibraci je základem pro zjištění nejistot měření ve výrobě, kontrole a zkušebně.[1]

Na základě měření v měrných profilech toku se stanoví hodnota členů reálných průtokových řad. V praxi jsou členy reálných průtokových řad prezentovány průměrnou hodnotou spojitě měřeného průtoku v jednotlivých měsících (hodiny, dny, roky), považovány za průměrné hodnoty průtoků v daném časovém kroku.

Se vstupem ČR do Evropské unie se Česká Republika zavázala k dodržení dokumentu WECC 19/90. Byl to dokument, který se stal prvním návrhem definice nového pohledu na chyby vzniklé při měření. Z usnesení vyplývalo nové pojetí chyby měření, které bylo nahrazeno zcela novým pojmem nejistoty měření. Dále byly z tohoto dokumentu vytvořeny mezinárodní směrnice „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření), které se staly závaznými a po kterých následovaly další. Z mezinárodních směrnic byl vytvořen i český přepis „TPM 0051 – 93 Stanovení nejistot při měřeních“. V současné době je v návaznosti na závazné dokumenty jakákoliv informace o veličině, která vychází z měření a není u ní uvedena velikost nejistoty, neúplná a nedostatečná.[2]

Jakmile tato tvrzení zavedeme do hlubšího kontextu, vyplyne na povrch řada otázek. Mezi prvními otázkami je, jak velká je hodnota nejistot členů reálných průtokových řad průměrných průtoků a jakým způsobem zmíněné nejistoty, vznikající v průběhu měření průtoků v limnigrafické stanici, mohou ovlivnit výsledky úloh, které průtokovou řadu používají jako vstup pro svá řešení.

Nejistoty měření

Pojem nejistoty měření byl poprvé definován Západoevropským kalibračním sdružením v usnesení WECC 19/90. V dalších letech byly sestaveny závazné normové předpisy, které definovaly podstatu a teorii jejího stanovení.[2]

Účelem stanovení nejistoty při měření dané veličiny je zjištění intervalu možného výskytu jejich hodnot okolo výsledku měření, který lze přiřadit k hodnotě měřené veličiny.

Před zpracováním jakýchkoliv nejistot je zapotřebí detailní pochopení prováděného měření, které je popsáno modelem měření. To znamená nejen detailní znalost principů a funkcí všech měřících přístrojů, ale i znalost

metody měření a schopnost určit jaké vlivy mohou působit během měření jako nejistoty a ovlivnit tím výsledek. Často jsou tyto informace obsaženy v technickém listu, návodu k použití konkrétních přístrojů nebo přímo v popisu metod měření, která byla již prověřena.

Rozlišujeme dva základní typy nejistot, které dělíme podle způsobu, jakým byly získány, a to na nejistoty:

- typu A,
- typu B.[2]

Z pohledu matematické statistiky byla jako míra standardní nejistoty měření zvolena směrodatná odchylka příslušného rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé zdroje nejistot.[1]

Nejistota typu A se od nejistoty typu B liší jen způsobem získání směrodatné odchylky.

Výpočet nejistoty typu A

Nejistota typu A je stanovena výpočtem z opakovaně provedených měření dané veličiny. Vychází tedy ze skutečnosti, že pokud se za neměnných podmínek provede opakovaný odečet hodnoty měřené veličiny pomocí přístrojů s dostatečným rozlišením, bude patrný jistý rozptyl v provedených měřeních. Vychází tedy ze statistického zpracování opakované série měření. Standardní nejistota typu A je vyjádřena pomocí směrodatné odchylky výběrových průměrů.

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.1)$$

Kde:

u_A ... standardní nejistota typu A,

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 stanovená jako.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.2)$$

Pro platnost tohoto vztahu se předpokládá provedení alespoň 10 opakovaných měření. V případě malého počtu měření (méně než 10 opakování) se výsledná nejistota měření koriguje pomocí opravného koeficientu k_s .

$$u_A = k_s \cdot s_{\bar{x}} \quad (1.3)$$

Součinem směrodatné odchylky výběrových průměrů a opravného koeficientu k_s vznikne výsledná hodnota standardní nejistoty typu A u_A .

Tab: 1.1-1 Opravné koeficienty

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k_s	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.7	2.3	7.0

Výpočet nejistoty typu B

Nejistota typu A byla stanovena z opakovaných měření, ale pro složky nejistoty typu B platí, že jsou stanoveny jinak než opakovaný měřením. Rozdíl mezi jednotlivými metodami je tedy jasný, problémem ale zůstává, jak stanovit nejistotu typu B. Pro vyřešení tohoto problému je nutné nejprve zjistit, jaké jsou všechny zdroje nejistot.

Mezi možné zdroje nejistoty typu B lze zařadit:

- Vlivy vázané na použité přístroje, etalony a vybavení. Do této skupiny patří například vliv nejistoty kalibrace nebo ověření, stabilita přístrojů. Dynamické chyby přístrojů, vnitřní tření v přístrojích, hystereze, rozlišení odečtu z přístrojů a další.
- Vlivy okolního prostředí a jejich změny. Zde se jedná především o tlak, případně změnu tlaku, relativní vlhkost, elektrické pole, magnetické pole, prašnost a další.
- Vliv metody. Tato skupina zahrnuje především vliv interakce s měřeným předmětem, použití konstant, odvod či přestup tepla, vlivy reálných parametrů oproti ideálním uvažovaným v modelech a další.
- Vliv operátora. Zde jde především o nedodržení metodik, osobní zvyklosti, paralaxa, tepelné vyzařování.
- Ostatní vlivy. Převážně sem patří náhodné omyly při odečtech a zápisu hodnot, těžko postihnuteľné globální vlivy.[1]

Postup při určování nejistoty typu B se vychází s dílčích nejistot jednotlivých zdrojů u_{Bzj} . Je-li známa maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty z_{jmax} , je standardní nejistota u_{Bij} určena podle vztahu.

$$u_{Bzj} = \frac{z_{jmax}}{\chi} \quad (1.4)$$

Kde:

z_{jmax} ... známa maximální odchylka zdroje nejistoty,

X ... je součinitel vycházející z daného rozdělení pravděpodobnosti, kterým se daný zdroj řídí (pro normální rozdělení $X = 3$).

Výsledná standardní nejistota typu B se určí pro n odpovídající počet zdrojů nejistoty $z_1, z_2, \dots, z_n$ geometrickým součtem nejistot jednotlivých zdrojů.

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^n u_{Bzj}^2} \quad (1.5)$$

Standardní nejistota typu B se takto převede do nové podoby, která má zase charakter směrodatné odchylky. Takto se standardní nejistota typu B převede do zcela nové podoby, která má opět charakter směrodatné odchylky.[2]

Kombinovaná nejistota

Kombinovaná standardní nejistota výsledku u se stanoví jako geometrický průměr standardní nejistoty typu B u_B .

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (1.6)$$

Rozšířená standardní nejistota U

Pro koeficient $k=1$ byla standardní kombinovaná nejistota u , určena s pravděpodobností $P = 68,2\%$. Pro jinou pravděpodobnost, se nejistota přepočte, vynásobením koeficientem rozšíření k . Výpočet rozšířené nejistoty měření U se provede podle vztahu.

$$U = u \cdot k \quad (1.7)$$

Kde:

k ... je koeficient rozšíření. Hodnota koeficientu k , obecně záleží na druhu použitého rozdělení pravděpodobnosti.

Uvedeným postupem se získá standardní kombinovaná nejistota. Standardní znamená, že byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Takto určené nejistoty lze považovat za přibližně normální při splnění jistých předpokladů. Z toho vyplývá, že takto vypočtená nejistota pokryje asi 68,2% možných výsledků. Jinak řečeno asi 1/3 všech výsledků může padnout mimo takto stanovené pole nejistot. Z paralely s normálním rozdělením jsou zažité dva základní koeficienty rozšíření, kterými jsou $k = 2$ a $k = 3$ pro pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95,4%, resp. 99,6 %. Případy standardní a rozšířené nejistoty jsou ilustrovány pro normální rozdělení na obrázku.[2]

1.2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je provést kvalifikovaný odhad nejistot měření ve vybraném vodoměrném profilu toku a to na základě dostupných informací potřebných k výpočtu a kontinuálně měřených hydrologických dat.

Výsledným výstupem je zpracovaná teorie o daném problému, výpočet nejistot měření průtoků koryta toku, statistické vyhodnocení vypočtených hodnot a interpretace výsledků v přehledné podobě.

2. METODY

MĚRNÁ KŘIVKA PRŮTOKU A VYHODNOCENÍ PRŮTOKŮ

Výsledné hodnoty průtoku v měrné stanici se určí pomocí měrné křivky průtoků koryta toku odpovídající příslušnému měrnému profilu toku a hodnoty vodního stavu zaznamenaného daným limnigrafickým zařízením. Protože všechny tyto typy hydrologických informací jsou získávány měřením, jsou tedy již od svého vzniku zatíženy nejistotou.

Vodní stav je měřen v limnigrafické stanici pomocí plováku, tlakových sond nebo bublinkových přístrojů. Výsledkem kontinuálního měření je spojitý záznam vodního stavu. Odpovídající vodní stav $h(t)$ se převádí pomocí měrné křivky průtoků koryta toku na odpovídající průtok $Q(t)$.



Obr. 2-1 Tlaková sonda LMP 808 plastová a LMP 308 nerezová[4]

Každý bod (Q, h) měrné křivky průtoků je v měrném profilu toku získán na základě měření vodního stavu a odpovídajícího pole naměřených bodových rychlostí ve vhodně zvolených svislicích v měrném profilu a jeho následného vyhodnocení do průměrného profilového průtoku Q .

Opakovaným periodickým měřením je získána množina bodů (Q_i, h_i) , pro $i = 1, 2, \dots, n$, kde n odpovídá počtu všech provedených měření v daném měrném profilu toku. Vynesení bodů (Q_i, h_i) do pravoúhlého souřadnicového systému Q, h vzniknou tzv. empirické měrné body tvořící základ měrné křivky průtoků. Množinou uvedených bodů se následně prokládá regresní křivka popsána pomocí příslušných regresních rovnic. Výsledkem proložení je vznik tzv. teoretické měrné křivky průtoků.[2]

Na základě měření jsou získány výchozí materiály pro konstrukci jednotlivých bodů měrné průtokové křivky a stejně jako jakékoliv jiné měřené veličiny jsou i tyto hodnoty zatíženy nejistotou. Zůstává však otázkou jak zapracovat takto stanovené polohy naměřených bodů jestliže uvažujeme s nejistotami při konstrukci měrné křivky průtoků.

Jestliže uvažujeme s nejistotami vstupních údajů při proložení měrné křivky průtoků, které určují polohu bodů v souřadnicovém systému Q, h , je jasné, že existuje okolí kolem každého bodu, který vychází z naměřených údajů, ve kterém by se tyto body mohly vyskytovat. Intervaly možného výskytu bodů lze následně rozdělit vymežit pomocí zvoleného normálního rozdělení průtoků (Q), respektive výšky hladiny (h). Metoda Monte Carlo umožňuje v okolí všech naměřených bodů (n) měrné průtokové křivky generovat náhodné polohy bodů. Opakovaně pak lze proložit teoretické křivky sestavou n -tic náhodně generovaných bodů. Výsledkem opakovaného proložení je vznik náhodných průběhů teoretických křivek, které jsou ovlivněny nejistotami naměřených vstupů.

Ke každé náhodné řadě měřených vodních stavů je nezávisle přiřazena náhodná teoretická měrná křivka. Pro hodnoty h_p jsou z ní pak odečteny odpovídající hodnoty okamžitých průtoků, vznikne tak náhodná řada hodinových průtoků Q_p , která je zpracována v každém měsíci vyhodnocovaného období do průměrného měsíčního průtoku Q_m . Získáme tak řadu náhodně generovaných měsíčních průtoků Q_m za vyhodnocované období. Opakovaným postupem je možno vygenerovat náhodné řady průměrných měsíčních průtoků pro množinu náhodných řad vodních stavů.

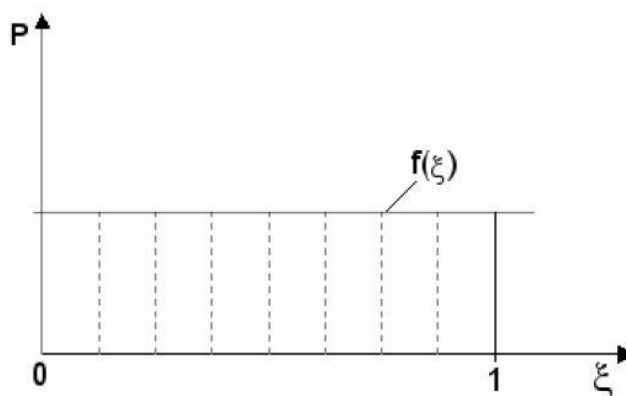
Pomocí popsaného postupu získáme soubor náhodně vygenerovaných průměrných měsíčních průtoků v každém měsíci vyhodnocovaného období. Střední hodnota tohoto období s přijatelnou přesností odpovídá hodnotě průměrného měsíčního průtoku reálné průtokové řady. Za standardní nejistotu průměrného měsíčního průtoku se považuje směrodatná odchylka.

OBEČNÁ METODA MONTE CARLO

Numerická metoda optimalizace, která spočívá v odstřelování oblasti $\langle a_{\min}, a_{\max} \rangle$ dostatečným počtem náhodně volených regresních koeficientů. Pro transformaci generovaných náhodných čísel $\xi \in \langle 0, 1 \rangle$ na hodnotu regresního koeficientu je možné použít vztah:

$$a_i = a_{\min} + (a_{\max} - a_{\min}) \cdot \xi_i. \quad (2.1)$$

U kvalitních generátorů náhodných čísel je hustota pravděpodobnosti generovaných náhodných čísel označována jako tzv. „bílý šum“. Mezi náhodnými čísly neexistuje žádná závislost (nulová autokorelační funkce) a jsou generovány se stejnou pravděpodobností.



Obr. 2-2 Hustota pravděpodobnosti „bílého šumu“ [1]

Po dosažení řešení je možné, opakovaným postupem při zmenšení intervalu $\langle a_{\min}, a_{\max} \rangle$, opět prohledat okolí dosaženého regresního koeficientu.

Generování nejistotou zatížených, náhodných bodů (Q,h) měrné křivky koryta toku

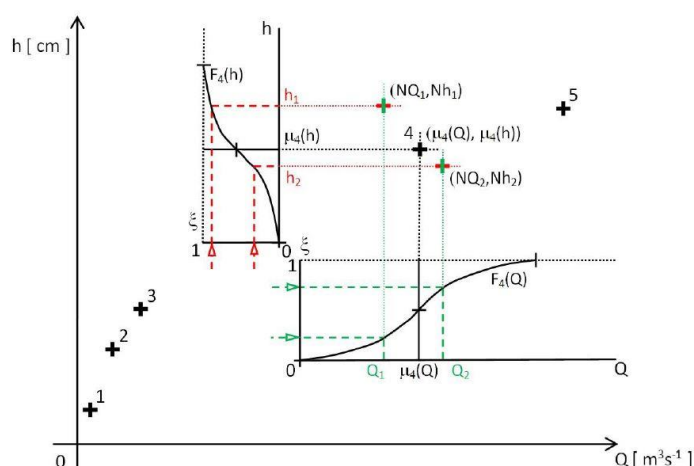
Pro vytvoření algoritmu generujícího náhodné polohy (Q,h) bodů teoretické měrné křivky průtoků koryta toku bylo uvažováno s předpokladem, že polohy generovaných bodů (Q,h) teoretických MKP jsou považovány za náhodné. Tento předpoklad umožní v okolí naměřených (Q,h) bodů generovat nové souřadnice náhodných bodů (Q,h).

„Předpokládá se, že jak veličina Q, tak veličina h má ve směru příslušných os normální rozdělení pravděpodobnosti, které je symetrické a dvouparametrické, kde parametry jsou střední hodnota a směrodatná odchylka – symbolicky zapsána jako $N(\mu(Q), \sigma(Q))$, resp. $N(\mu(h), \sigma(h))$. Předpoklad pevně definované funkce pravděpodobnosti rozdělení umožňuje zadávat v okolí naměřených hodnot Q a h jako náhodné veličiny pomocí střední hodnoty $\mu(Q)$ = naměřená hodnota Q a směrodatné odchylky $\sigma(Q)$ = standardní nejistota u_Q a střední hodnoty $\mu(h)$ = naměřená hodnota h a směrodatné odchylky $\sigma(h)$ = standardní nejistota u_h .“ [2, 8]

Hodnoty rozšířených nejistot měření $U_{a,h}$ a $U_{a,Q}$ určují maximální hranici výskytu náhodně generovaných bodů teoretické MKP. Při výpočtu je uvažováno pouze se standardní nejistotou měření typu B $u_{B,Q}$, resp. $u_{B,h}$ a pro jednoduchost je tato nejistota uvedena pomocí relativní hodnoty variace $C_v(Q)$, resp. $C_v(h)$.

Použitím generátoru náhodných čísel a distribučních křivek jsou opakovaně generovány náhodné souřadnice (Q,h) bodů. Každému průtoku Q i každému vodnímu stavu h odpovídá distribuční křivka, která je určena normálním rozdělením $N(\mu_i(Q), \sigma_i(Q))$, resp. $N(\mu_i(h), \sigma_i(h))$, kde pro $i = 1, 2, \dots, n$, a n je počet všech bodů na měrné křivce průtoků.

Opakovaným generováním se okolo reálně naměřených hodnot bodů MKP tvoří „shluky“ náhodně vytvářených bodů (Q,h) . Výsledné náhodné realizace jsou označeny (NQ_n, Nh_n) pro $n = 1, 2, \dots, PO$, kde PO je počet opakovaných generování náhodného (Q,h) bodu. Výše popsany princip je schematicky zobrazen na obr.2-3.[2, 8]



Obr. 2-3 Schéma generování náhodných souřadnic bodů teoretické měrné křivky průtoků z okolí měřených bodů metodou Monte Carlo [2]

Proložení náhodných (Q,h) bodů MKP

Teoretická měrná křivka průtoků je dána proložením bodů (Q,h) získaných měřením pomocí regresní křivky. V přirozených vodních korytech se na proložení teoretických MKP koryta toku používají regresní rovnice v mocninném tvaru (2.2) a rovnice polynomu druhého stupně (2.3).[2]

$$Q = a(h + b)^c \quad (2.2)$$

$$Q = a + (b \cdot h) + (c \cdot h^2) \quad (2.3)$$

Kde:

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

a, b, c ... regresní koeficienty,

h ... výška hladiny [cm].

V případě vyšších průtoků nebo složitějších vodních profilů se na MKP může vytvořit zlom, který značí, že při prokládání byla v jedné části křivky použita jedna z výše uvedených rovnic a v druhé části rovnice stejná s rozdílnými regresními koeficienty nebo druhá rovnice. Výsledná křivka je tedy vytvářena pomocí jedné z kombinací uvedených rovnic. Způsoby použití a kombinací regresních rovnic jsou následující:

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

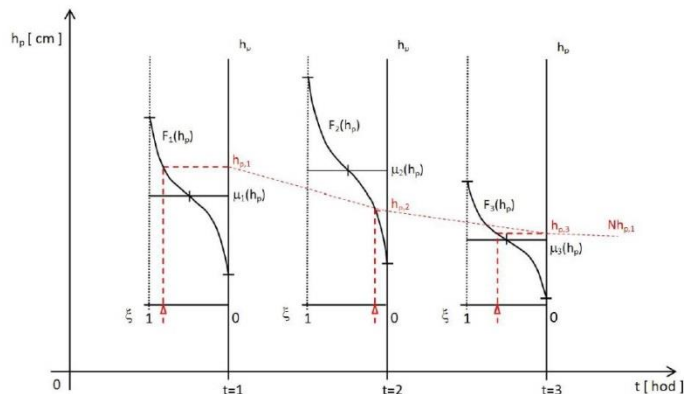
Generování nejistotou zatížených vodních stavů

Algoritmus generující náhodné řady vodních stavů h_p byl sestaven za předpokladů, za kterých byly vygenerovány i náhodné polohy (Q, h) bodů teoretické MKP. Hodnota vodního stavu h_p je v daném časovém okamžiku považována za náhodnou veličinu. Předpoklad nahodilosti vodního stavu umožní generovat nové na sobě nezávislé hodnoty polohy vodního stavu. „Na základě výše uvedeného předpokladu je pak náhodné okolí vodního stavu h_p popsáno pomocí odpovídajícího normálního rozdělení pravděpodobnosti $N(\mu(h_p), \sigma(h_p))$. Předpoklad zavedené funkce normální hustoty pravděpodobnosti umožňuje zadávat v okolí naměřené hodnoty vzorkovaného vodního stavu h_p náhodné veličiny pomocí střední hodnoty $\mu(h_p)$ = naměřená hodnota h_p a směrodatné odchylky $\sigma(h_p)$ = standardní nejistota u_{hp} .“[2]

Hodnoty rozšířených nejistot měření $U_{a, hp}$ určují maximální hranici výskytu náhodně generovaných vodních stavů. Při výpočtu je uvažováno pouze se standardní nejistotou měření typu B $u_{B, hp}$ a pro jednoduchost je tato nejistota uvedena pomocí relativní hodnoty variace $C_v(h_p)$.

Použitím generátoru náhodných čísel a distribučních křivek jsou opakovaně generovány náhodné průběhy řady vodních stavů. Každému vodnímu stavu h_p odpovídá distribuční křivka, která je určena normálním rozdělením $N(\mu_i(h_p), \sigma_i(h_p))$, kde pro $i = 1, 2, \dots, n$, a n je počet všech prvků v řadě.

Opakovaně generované náhodné průběhy vodních stavů jsou značeny $N_{h_p, n}$, pro $n = 1, 2, \dots, PO$, kde PO je počet opakovaných generování. Výše popsaný princip je schematicky zobrazen na obr. 2-4.[2]



Obr. 2-4 Schéma generování náhodných řad vodních stavů metodou Monte Carlo [2]

VÝPOČET STATISTICKÝCH CHARAKTERISTIK

1. Střední hodnota $\mu(x)$

Vypovídá o poloze x -ové souřadnice těžiště funkce hustoty pravděpodobnosti $f(x)$, odpovídající hodnotě obecného prvního momentu. Odhad střední hodnoty se provede pomocí metody momentů ze vztahu:

$$\mu(x) \approx \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.4)$$

Kde: $\bar{x}$... je průměr náhodného výběru

x_i ... jsou prvky náhodného výběru

n ... je počet prvků v náhodném výběru

2. Rozptyl (disperze) $D(x)$

Rozptyl je hodnota druhého centrálního momentu. Číselně lze rozptyl vyjádřit metodou momentů, jako výběr hodnot kolem střední hodnoty.

$$D(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu(x))^2}{(n-1)} \quad (2.5)$$

3. Směrodatná odchylka $\sigma(x)$

Vyjadřuje se jako odmocnina z disperze.

4. Koeficient variace $C_v(x)$

Vychází z druhého centrálního momentu a je to podíl směrodatné odchylky a střední hodnoty. Je možné ho také vyjádřit následujícím vztahem.

$$C_v(x) = \frac{\sigma(x)}{\mu(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - \mu(x))^2}{(n-1)}} \quad (2.6)$$

$$\text{Kde: } k_i = \frac{x_i}{\mu(x)}$$

5. Koeficient asymetrie $C_s(x)$

Určuje velikost nesouměrnosti k vertikální ose grafu. Je to podíl třetího centrálního momentu a třetí odmocniny směrodatné odchylky. Následující tvar ho popisuje momentovou metodou.

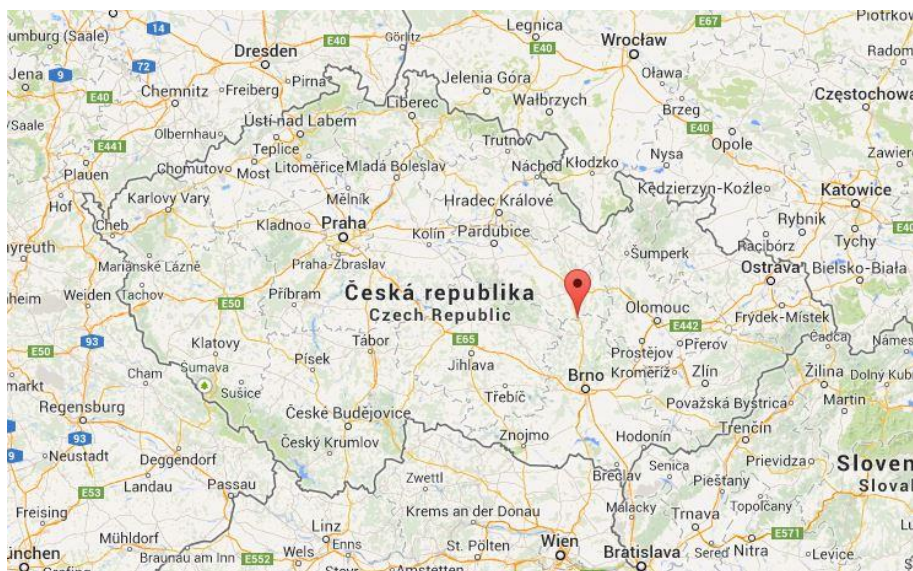
$$C_s(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1) \cdot C_v(x)^3} \quad (2.7)$$

$$\text{Kde: } k_i = \frac{x_i}{\mu(x)}$$

3. APLIKACE

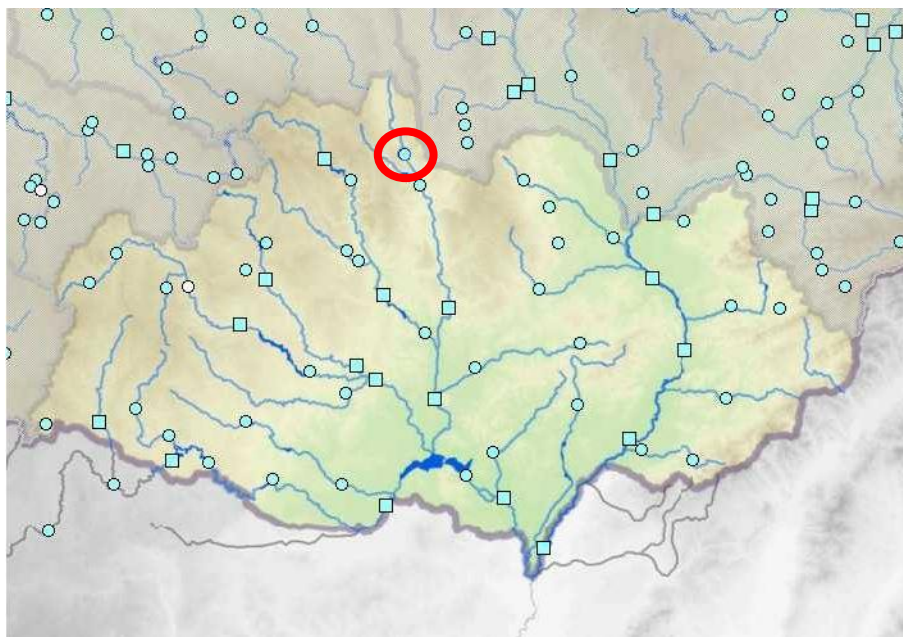
3.1 LOKALITA

Obec Rozhraní se nachází v údolí řeky Svitavy asi 20 km na jih směrem od Svitav. Je to poslední obec Pardubického kraje a leží v nadmořské výšce 327 metrů. Obec leží na hranici územně správních celků Čech a Moravy.



Obr. 3.1-1 Mapa lokality [5]

Vodoměrná stanice Rozhraní je stanice kategorie B a nachází se v centru obce na parcele číslo 162/2, patřící obci Rozhraní. Stanice má staničení na kilometru 69,60 a plochu povodí 226,57 km². [6]



Obr. 3.1-2 Mapa měrných a předpovědních profilů jihomoravského kraje [7]



Obr. 3.1-3 Vodoměrná stanice Rozhraní [5]



Obr. 3.1-4 Vodoměrná stanice Rozhraní [5]

Řeka Svitava, na které je zbudována vodoměrná stanice Rozhraní, pramení severozápadně od Svitav a to přesněji u obce Javorník. Odtud teče převážně k jihu, mezi Brnem a Blanskem proráží okraj Moravského krasu a ústí v Brně jako levý přítok do Svatavy. Protéká okresy Svitavy v Pardubickém kraji, Blansko, Brno-město a Brno-venkov v Jihomoravském kraji. Je dlouhá 97 km. Plocha povodí měří 1150 km². Na obr. 3.1-5 je zobrazen evidenční list hlásného profilu č.376, který odpovídá stanici Rozhraní na řece Svitava.[3]

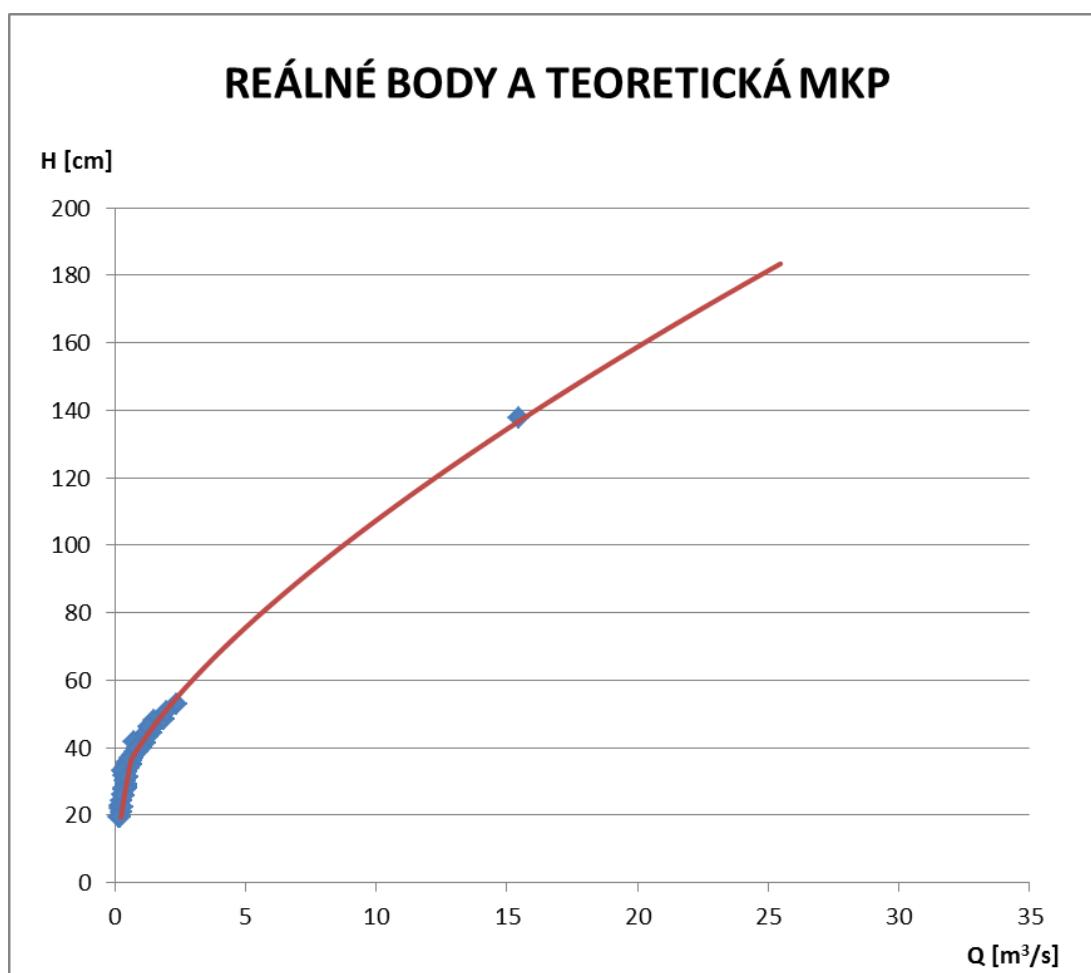
Evidenční list hlásného profilu č.376									
Stanice kategorie : B									
Tok:	Svitava			Stanice:	Rozhraní				
Kraj:	Pardubický kraj			ORP:	Svitavy			Obec:	Rozhraní
Provozovatel stanice:				ČHMÚ Brno					
Centrum automatického sběru dat:				RPP ČHMÚ Brno					
Staničení:	69,60	[km]	Číslo hydrologického pořadí:	4-15-02-013					
Plocha povodí:	226,57	[km ²]	Zeměpisné souřadnice:	163201 v.d. 493602 s.š.					
Nula vodočtu:	354,15	[m.n.m.]	Procento plochy povodí toku:	20,0					
Stupně povodňové aktivity:		[cm]	[m ³ .s ⁻¹]	Platnost SPA pro úsek toku:					
odělost		90	7,10	Březová - Letovice					
pohotovost		120	12,3	Kritické místo:					
ohrožení		150	18,8						
Průměrný roční stav:	44	[cm]	N-lete průtoky:	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	
Průměrný roční průtok:	1,26	[m ³ .s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	6,40	17,5	24,0	43,0	54,0	
Odesílatel zpráv:	Četnost hlášení SPA:		I.	1 x denně					
OÚ Rozhraní			II.	4 x denně					
			III.	3hodinové hlášení					
Odesílatel podá zprávu:			Spojení na adresáta:			Příjemce dále vyrozumí:			
MěÚ Svitavy						MěÚ Boskovice			
VHD Povodí Moravy Brno			541 211 737, 541 637 250			RPP ČHMÚ Ostrava			
Nejvyšší zaznamenané vodní stavy:									
[cm]	V. - XI.	[cm]	XII. - IV.						
248	08.07.1997	154	29.03.2006						
202	26.08.1938	241	01.03.1937						
147	28.10.1930	200	20.03.1947						
135	11.06.1939	188	14.03.1940						
Mapa v měřítku 1:50 000 :									
									
Popis umístění profilu :									
nad mostem v Rozhraní, pravý břeh									

Obr. 3.1-5 Evidenční list hlásného profilu [7]

3.2 PRAKTICKÁ APLIKACE

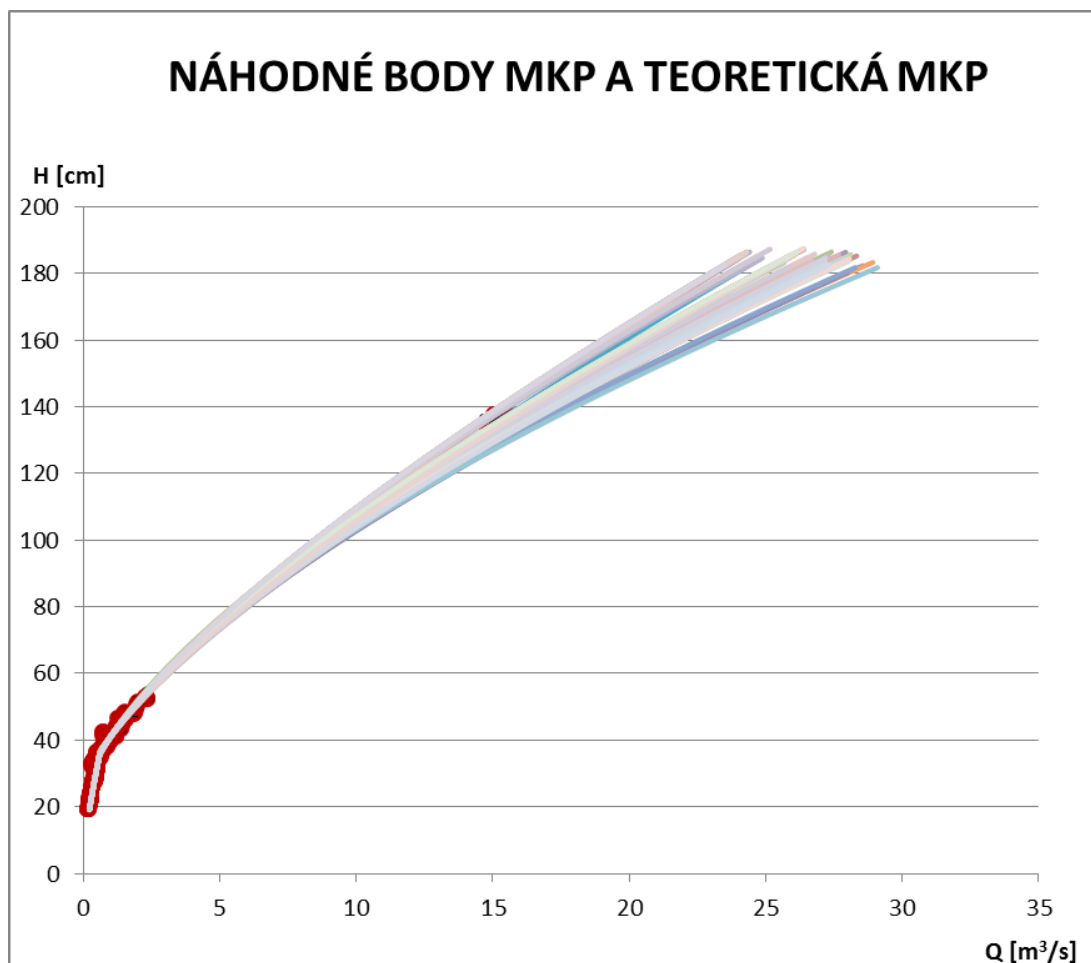
Aplikace se prováděla na podkladech v reálně měřeném profilu na reálném toku, kde probíhá kontinuální měření vodních stavů pomocí limnigrafické stanice. Informace kolem průtoků a vodních stavů na většině toků v ČR monitorují státní podniky Povodí a ČHMU, který zpracovává a archivuje naměřená data v interních databázích. Touto archivací vznikají cenné hydrologické záznamy o vodnosti toků v ČR. Získání jakýchkoliv údajů na úrovni surových dat pro další využití je problematické a je zpoplatněno.

Hodnoty nejistot měření zadané v praktické aplikaci odpovídaly možným zdrojům nejistot měření vznikajícím od přístrojové techniky používané v procesu vyhodnocení průtoků ve vodoměrném profilu toku. Pro výpočet pak byly zadány následující velikosti nejistot. Pro tlakovou sondu (US1200 od firmy Fiedler-Mágr) byla zadána nejistota měření $u_B=0.5\%$. Pracovní tlak sondy je max. 4 bar, pracovní teplota se pohybuje od -20°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Konstrukční řešení: senzor pro volné hladiny uzpůsobený pro instalaci na dně kanálu. Pro Q_h body získané hydrometrováním je nejistota měření zadána $u_{B,Q} = 2\%$ a pro odečet na vodočetné lati je nejistota $u_{B,h} = 1\%$.



Obr. 3.2-1 Měrná křivka průtoků a reálné body měrné křivky průtoků

Pro proložení měrné křivky průtoku byla nalezena ideální kombinace regresivních rovnic mocnina-mocnina. Naměřené Q_h body MKP a proložená teoretická křivka jsou na obr 3.2-1.



Obr. 3.2-2 Měrná křivka průtoku zatížená nejistotou

Na obr. 3.2-1 je viditelné, že generované body MKP v okolí bodů získaných měřením, které určující měrnou křivku, jsou rovnoměrně rozmístěny. Body, které byly získány měřením, leží přibližně ve středu generovaných „shluků“. Stejně tak na obr. 3.2-2 je vidět, že náhodně generované svazky měrných křivek leží v okolí měrných křivek proložených měřenými body.

V tabulce 3.2-1 jsou uvedeny střední hodnoty průměrné měsíční hladiny H_M . Jednotlivé řádky zobrazují po sobě jdoucí roky v rozmezí let 1996 až 2012. Ve sloupcích jsou potom uvedeny jednotlivé měsíční průměry. V prvním sloupci jsou hodnoty pro měsíc listopad a poslední sloupec zastupuje měsíc říjen. Poslední hodnota v každém řádku je vždy průměr měsíčních hodnot pro daný rok a obdobně pod každým sloupcem je průměrná hodnota za měřené období.

Tab. 3.2-1 Střední hodnota průměrné měsíční hladiny

STŘEDNÍ HODNOTA PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ HLADINY H_M												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	35.2575	33.9939	32.5693	37.0363	35.6468	38.6104	37.0486	34.0757	74.4021	51.7337	46.1340	43.0930
2	40.1866	40.6814	38.1896	37.6819	39.0014	38.0604	35.0850	34.1589	34.4306	32.2591	37.2717	37.2376
3	40.0415	38.2924	36.5814	41.0448	51.3686	44.0867	41.3300	39.1774	39.4162	37.0975	35.6166	35.0232
4	34.1969	33.0270	35.3964	45.4331	51.0315	48.9954	43.8669	39.3023	40.0581	38.0355	36.6664	35.8264
5	34.8857	33.6695	34.3042	33.8197	36.8330	36.7617	34.5849	34.3532	38.2654	38.6991	40.8703	40.0875
6	38.0937	37.4176	41.5209	43.7645	43.5503	40.7368	38.5033	37.2808	35.9814	39.4748	39.4018	38.3315
7	38.9478	38.2812	43.7432	37.8794	40.2416	36.9936	38.3659	35.9094	34.6339	33.3611	34.3625	34.1728
8	32.9205	32.3612	32.5830	39.5435	41.3745	40.7079	37.5448	36.2645	34.7922	34.8896	34.5390	34.5407
9	34.9248	32.9070	35.6205	34.7382	45.5859	40.4220	38.9741	36.7400	40.2172	38.4822	36.4687	34.1409
10	34.1117	35.1258	33.8914	33.0553	44.8261	53.4570	49.6352	43.9341	41.1728	43.4138	40.6678	36.8746
11	38.3379	36.8809	40.1297	41.3855	47.0502	42.4343	40.6909	38.7587	37.5799	35.6203	37.2043	35.9534
12	37.4451	38.3807	38.8035	38.8466	42.0596	41.1059	39.3256	38.0955	36.1574	34.3320	34.4359	34.9808
13	33.6416	33.3584	31.4699	33.4065	46.9832	39.3485	37.6835	37.1104	39.6684	37.5814	34.6717	36.7050
14	35.5653	36.8492	37.9486	37.8388	45.7718	44.4273	47.6173	52.6348	48.3910	46.7181	47.4770	44.1147
15	43.0128	43.4693	48.5905	46.1221	45.9733	43.2446	43.9784	39.6398	38.1194	37.6666	37.3993	36.7321
16	35.0673	34.5149	38.9690	36.6009	39.8423	36.3987	35.1559	34.6278	33.4790	35.6907	34.1340	33.5176
Ø za 16 let	36.6648	36.2006	37.5194	38.6373	43.5713	41.6119	39.9619	38.2540	40.4228	38.4410	37.9576	36.9582

V tabulce 3.2-2 jsou uvedeny směrodatné odchylky pro průměrné měsíční hladiny H_M . Jednotlivé řádky zobrazují stejně jako v předchozí tabulce po sobě jdoucí roky a sloupce jednotlivé měsíční průměry. Stejně tak prvním sloupci jsou hodnoty pro měsíc listopad a poslední sloupec zastupuje měsíc říjen. Poslední hodnota v každém řádku je vždy průměr měsíčních hodnot pro daný rok a obdobně pod každým sloupcem je průměrná hodnota za měřené období.

Tab. 3.2-2 Směrodatná odchylka průměrné měsíční hladiny

SMĚRODATNÁ ODCHYLKA PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ HLADINY H_M												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0044	0.0036	0.0035	0.0051	0.0047	0.0078	0.0065	0.0035	0.1863	0.0351	0.0187	0.0116
2	0.0087	0.0088	0.0108	0.0114	0.0096	0.0087	0.0037	0.0035	0.0034	0.0035	0.0051	0.0047
3	0.0087	0.0070	0.0089	0.0091	0.0346	0.0136	0.0091	0.0094	0.0089	0.0101	0.0052	0.0043
4	0.0036	0.0035	0.0047	0.0173	0.0335	0.0267	0.0132	0.0093	0.0089	0.0099	0.0100	0.0047
5	0.0035	0.0035	0.0038	0.0036	0.0049	0.0042	0.0035	0.0037	0.0070	0.0094	0.0088	0.0088
6	0.0106	0.0104	0.0114	0.0130	0.0123	0.0088	0.0099	0.0088	0.0042	0.0084	0.0085	0.0098
7	0.0098	0.0080	0.0149	0.0107	0.0088	0.0078	0.0063	0.0049	0.0035	0.0036	0.0040	0.0037
8	0.0035	0.0034	0.0035	0.0069	0.0095	0.0087	0.0076	0.0054	0.0035	0.0036	0.0036	0.0038
9	0.0036	0.0035	0.0038	0.0035	0.0263	0.0089	0.0097	0.0076	0.0083	0.0102	0.0054	0.0036
10	0.0036	0.0040	0.0035	0.0035	0.0566	0.0444	0.0289	0.0132	0.0090	0.0123	0.0088	0.0102
11	0.0092	0.0087	0.0087	0.0093	0.0213	0.0104	0.0087	0.0100	0.0063	0.0036	0.0070	0.0049
12	0.0087	0.0083	0.0074	0.0099	0.0100	0.0090	0.0094	0.0096	0.0049	0.0034	0.0035	0.0040
13	0.0035	0.0035	0.0035	0.0036	0.0213	0.0091	0.0109	0.0058	0.0074	0.0093	0.0036	0.0057
14	0.0043	0.0064	0.0087	0.0051	0.0179	0.0144	0.0229	0.0382	0.0251	0.0204	0.0226	0.0137
15	0.0117	0.0124	0.0257	0.0188	0.0183	0.0118	0.0134	0.0091	0.0094	0.0103	0.0080	0.0065
16	0.0036	0.0036	0.0062	0.0067	0.0089	0.0071	0.0037	0.0035	0.0035	0.0055	0.0034	0.0035
Ø za 16 let	0.0063	0.0062	0.0081	0.0086	0.0187	0.0126	0.0105	0.0091	0.0187	0.0099	0.0079	0.0065

V tabulce 3.2-3 je uveden koeficient šikmosti pro průměrné měsíční hladiny H_M . Pro jednotlivé řádky a sloupce platí stejná pravidla jako v tabulkách 3.2-1 a 3.2-2.

Tab. 3.2-3 Koeficient šikmosti průměrné měsíční hladiny

KOEFIČIENT ŠIKMOSTI PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ HLADINY H_M													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø za 1 rok
1	-0.2172	-0.1037	-0.1922	-0.0583	-0.0893	0.0601	0.3525	0.2179	0.1571	0.0126	0.2018	0.0187	0.0300
2	-0.1184	0.1759	-0.0837	0.0631	0.2542	-0.1034	-0.1707	-0.7032	0.2292	0.0198	-0.0690	-0.1548	-0.0551
3	0.1010	-0.2064	0.1921	0.1676	-0.3480	0.2161	-0.3056	0.1004	0.0986	-0.1765	0.5033	0.2727	0.0513
4	-0.3284	0.1266	0.1225	-0.1379	0.1311	-0.0113	0.0243	0.0976	0.0742	0.3557	-0.6456	0.2433	0.0043
5	-0.0377	-0.0218	-0.1247	-0.2689	-0.3604	0.1687	-0.2264	-0.5008	0.3537	-0.0191	0.3202	-0.0634	-0.0651
6	-0.0437	0.0433	-0.1316	0.0510	-0.1347	-0.1683	0.0066	0.1227	-0.1896	0.1155	-0.0279	-0.1399	-0.0414
7	-0.4210	0.0061	0.1404	-0.3033	-0.0987	0.0362	0.0782	-0.0648	-0.2733	0.0244	0.0109	-0.1975	-0.0885
8	0.4193	0.4163	0.2325	-0.5403	0.2022	-0.0038	0.2877	0.1948	-0.8246	-0.1757	-0.0138	0.0329	0.0189
9	-0.1528	0.0505	0.4159	0.1067	0.1032	-0.1032	0.1385	-0.2487	0.2847	-0.0507	-0.1544	-0.1482	0.0201
10	-0.3387	-0.4828	-0.2099	0.0942	0.3888	0.5458	0.3526	0.0101	-0.2822	0.3658	0.2928	-0.2446	0.0410
11	-0.2518	0.3365	0.0318	-0.2127	-0.2441	0.0224	-0.0644	-0.0211	-0.4809	0.3540	0.1829	0.0122	-0.0279
12	0.0933	0.0812	0.1830	0.7824	-0.1331	0.2151	-0.6095	0.2888	-0.1347	0.3566	0.2725	-0.3372	0.0882
13	0.1889	-0.0003	0.1571	-0.1059	0.0352	0.2439	-0.3520	-0.1196	0.0646	0.1971	-0.0551	0.1794	0.0361
14	-0.0710	-0.0739	-0.0962	-0.1620	-0.1711	0.3457	-0.1292	0.0396	-0.1482	-0.0738	-0.0954	0.3779	-0.0215
15	-0.0994	0.0259	-0.0235	0.2690	-0.0419	-0.0398	0.1698	-0.1334	0.0220	0.3918	0.3222	-0.1705	0.0577
16	0.0857	-0.3608	0.2500	-0.4122	0.1943	0.1525	-0.0185	0.3998	-0.0410	0.3606	-0.1227	-0.0148	0.0394
Ø za 16 let	-0.0745	0.0008	0.0540	-0.0417	-0.0195	0.0985	-0.0291	-0.0200	-0.0682	0.1286	0.0577	-0.0209	

V tabulce 3.2-4 jsou uvedeny střední hodnoty pro průměrný měsíční průtok Q_M . Jednotlivé řádky zobrazují po sobě jdoucí roky v rozmezí let 1996 až 2012. Ve sloupcích jsou potom uvedeny jednotlivé měsíční průměry. V prvním sloupci jsou hodnoty pro měsíc listopad a poslední sloupec zastupuje měsíc říjen. Poslední hodnota v každém řádku je vždy průměr měsíčních hodnot pro daný rok a obdobně pod každým sloupcem je průměrná hodnota za měřené období.

Tab. 3.2-4 Střední hodnota průměrného měsíčního průtoku

STŘEDNÍ HODNOTA PRŮMĚRNÉHO MĚSÍČNÍHO PRŮTOKU Q_M													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø za 1 rok
1	0.6081	0.5601	0.5244	0.7722	0.6150	0.8091	0.7040	0.5649	5.5743	2.0586	1.4725	1.1844	1.2873
2	0.9275	0.9730	0.7604	0.7210	0.8298	0.7607	0.5928	0.5791	0.6017	0.5179	0.8084	0.7783	0.7375
3	0.9288	0.7955	0.6481	1.0499	2.0695	1.2756	1.0266	0.8464	0.8751	0.6822	0.6143	0.5955	0.9506
4	0.5699	0.5357	0.7237	1.4464	2.0172	1.7685	1.2552	0.8520	0.9256	0.7524	0.6484	0.6301	1.0104
5	0.5885	0.5536	0.5889	0.5561	0.7033	0.6990	0.5836	0.5772	0.9093	0.8096	0.9918	0.9198	0.7067
6	0.7565	0.7039	1.1253	1.2545	1.2252	0.9726	0.7920	0.7039	0.6362	0.8886	0.8729	0.7757	0.8923
7	0.8229	0.7990	1.3337	0.7387	0.9448	0.6827	0.8083	0.6223	0.5895	0.5436	0.5951	0.5792	0.7550
8	0.5345	0.5302	0.5407	0.9273	1.0732	0.9737	0.7278	0.6420	0.5891	0.5926	0.5797	0.5928	0.6920
9	0.6217	0.5334	0.6591	0.6026	1.6442	0.9468	0.8256	0.6657	0.9459	0.7897	0.6594	0.5627	0.7881
10	0.5620	0.6098	0.5681	0.5364	1.9880	2.3846	1.8392	1.2671	1.0142	1.2299	0.9670	0.6654	1.1360
11	0.7819	0.6674	0.9252	1.0339	1.5735	1.1237	0.9695	0.8084	0.7442	0.6208	0.7108	0.6246	0.8820
12	0.7250	0.7842	0.8280	0.8140	1.0974	1.0077	0.8553	0.7589	0.6402	0.5801	0.5770	0.6044	0.7727
13	0.5559	0.5438	0.4981	0.5552	1.5937	0.8586	0.7229	0.7023	0.9053	0.7211	0.5767	0.6800	0.7428
14	0.6071	0.6858	0.7530	0.7790	1.4584	1.3099	1.6339	2.1854	1.7062	1.5308	1.6127	1.2800	1.2952
15	1.1783	1.2212	1.7310	1.4694	1.4575	1.1956	1.2655	0.8852	0.7645	0.7237	0.7166	0.6679	1.1064
16	0.5858	0.5760	0.8628	0.8256	0.9109	0.6393	0.5940	0.5862	0.5593	0.6432	0.5726	0.5526	0.6590
Ø za 16 let	0.7096	0.6920	0.8169	0.8801	1.3251	1.0880	0.9498	0.8279	1.1238	0.8553	0.8110	0.7308	

V tabulce 3.2-5 jsou uvedeny směrodatné odchylky pro průměrný měsíční průtok Q_M . Jednotlivé řádky zobrazují stejně jako v předchozí tabulce po sobě jdoucí roky a sloupce jednotlivé měsíční průměry. Stejně tak prvním sloupci jsou hodnoty pro měsíc listopad a poslední sloupec zastupuje měsíc říjen. Poslední hodnota v každém řádku je vždy průměr měsíčních hodnot pro daný rok a obdobně pod každým sloupcem je průměrná hodnota za měřené období.

Tab. 3.2-5 Směrodatná odchylka průměrného měsíčního průtoku

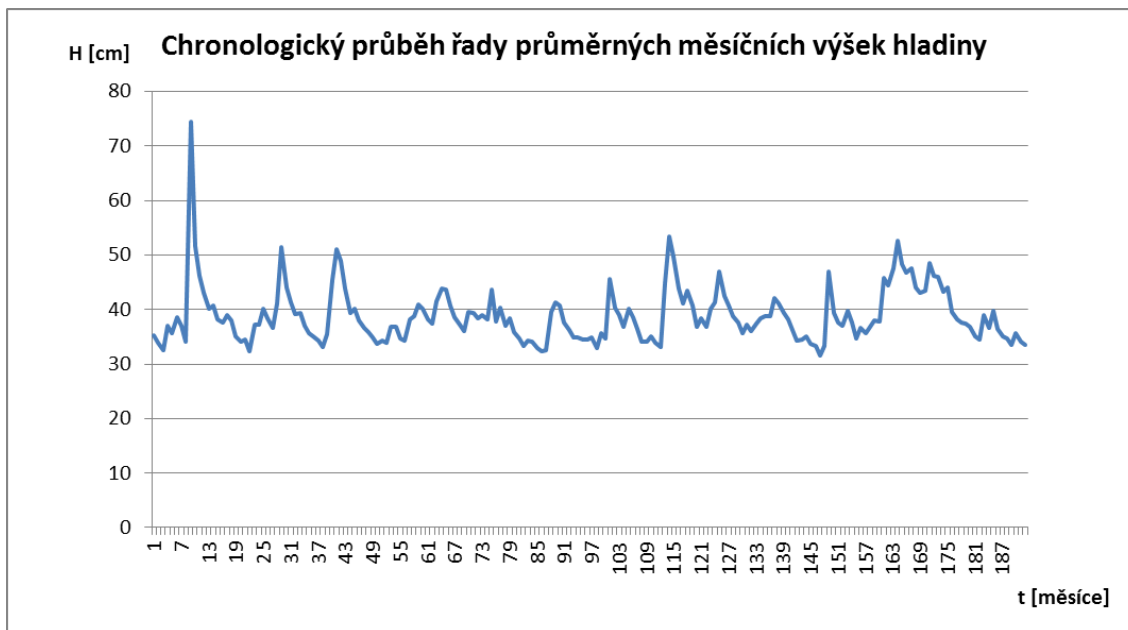
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA PRŮMĚRNÉHO MĚSÍČNÍHO PRŮTOKU Q _M													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø za 1 rok
1	0.0044	0.0036	0.0035	0.0051	0.0047	0.0078	0.0065	0.0035	0.1863	0.0351	0.0187	0.0116	0.0242
2	0.0087	0.0088	0.0108	0.0114	0.0096	0.0087	0.0037	0.0035	0.0034	0.0035	0.0051	0.0047	0.0068
3	0.0087	0.0070	0.0089	0.0091	0.0346	0.0136	0.0091	0.0094	0.0089	0.0101	0.0052	0.0043	0.0107
4	0.0036	0.0035	0.0047	0.0173	0.0335	0.0267	0.0132	0.0093	0.0089	0.0099	0.0100	0.0047	0.0121
5	0.0035	0.0035	0.0038	0.0036	0.0049	0.0042	0.0035	0.0037	0.0070	0.0094	0.0088	0.0088	0.0054
6	0.0106	0.0104	0.0114	0.0130	0.0123	0.0088	0.0099	0.0088	0.0042	0.0084	0.0085	0.0098	0.0097
7	0.0098	0.0080	0.0149	0.0107	0.0088	0.0078	0.0063	0.0049	0.0035	0.0036	0.0040	0.0037	0.0072
8	0.0035	0.0034	0.0035	0.0069	0.0095	0.0087	0.0076	0.0054	0.0035	0.0036	0.0036	0.0038	0.0052
9	0.0036	0.0035	0.0038	0.0035	0.0263	0.0089	0.0097	0.0076	0.0083	0.0102	0.0054	0.0036	0.0079
10	0.0036	0.0040	0.0035	0.0035	0.0566	0.0444	0.0289	0.0132	0.0090	0.0123	0.0088	0.0102	0.0165
11	0.0092	0.0087	0.0087	0.0093	0.0213	0.0104	0.0087	0.0100	0.0063	0.0036	0.0070	0.0049	0.0090
12	0.0087	0.0083	0.0074	0.0099	0.0100	0.0090	0.0094	0.0096	0.0049	0.0034	0.0035	0.0040	0.0073
13	0.0035	0.0035	0.0035	0.0036	0.0213	0.0091	0.0109	0.0058	0.0074	0.0093	0.0036	0.0057	0.0073
14	0.0043	0.0064	0.0087	0.0051	0.0179	0.0144	0.0229	0.0382	0.0251	0.0204	0.0226	0.0137	0.0166
15	0.0117	0.0124	0.0257	0.0188	0.0183	0.0118	0.0134	0.0091	0.0094	0.0103	0.0080	0.0065	0.0129
16	0.0036	0.0036	0.0062	0.0067	0.0089	0.0071	0.0037	0.0035	0.0035	0.0055	0.0034	0.0035	0.0049
Ø za 16 let	0.0063	0.0062	0.0081	0.0086	0.0187	0.0126	0.0105	0.0091	0.0187	0.0099	0.0079	0.0065	

V tabulce 3.2-6 je uveden koeficient šikmosti pro průměrné měsíční hladiny H_M . Pro jednotlivé řádky a sloupce platí stejná pravidla jako v tabulkách 3.2-4 a 3.2-5.

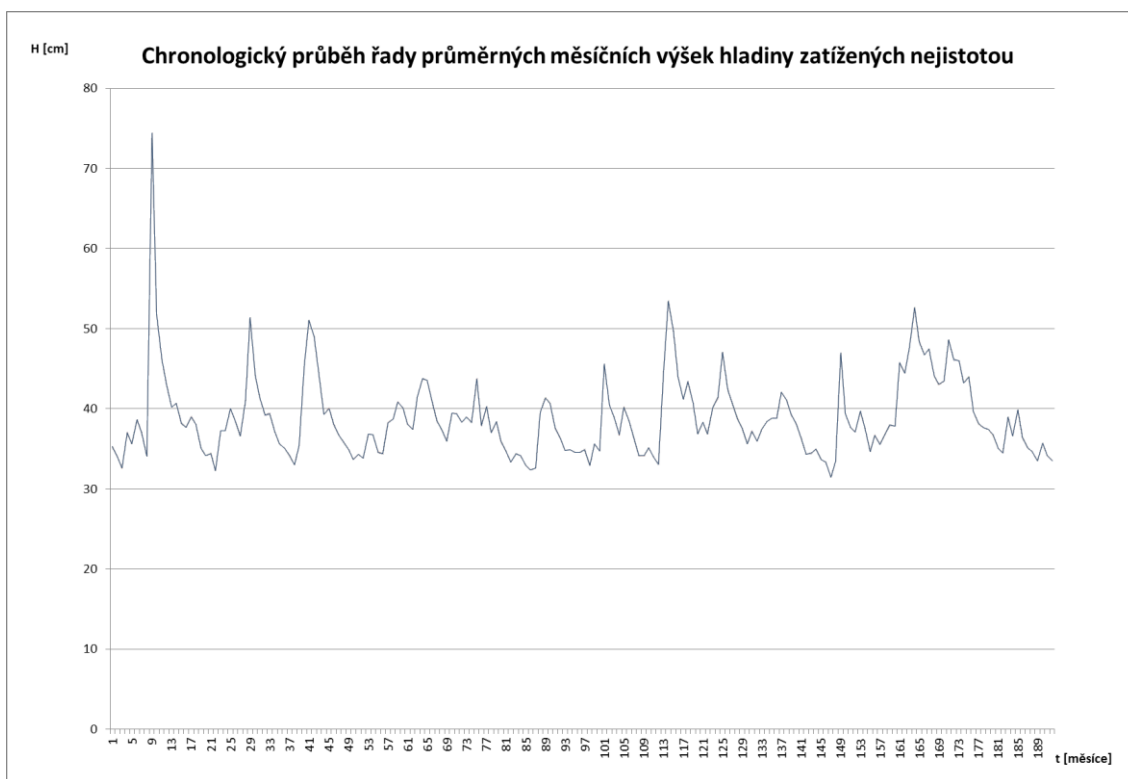
Tab. 3.2-6 Koeficient šikmosti průměrného měsíčního průtoku

KOEFICIENT ŠIKMOSTI PRŮMĚRNÉHO MĚSÍČNÍHO PRŮTOKU Q _M													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø za 1 rok
1	0.4084	-0.2927	-0.4595	0.4812	0.6467	1.0721	1.2004	-0.3097	-0.1184	0.5468	0.6775	0.8074	0.0300
2	0.7333	0.7265	0.6027	0.7910	0.7432	1.0358	0.1996	-0.1766	-0.3016	-0.3466	0.4061	0.1364	-0.0551
3	0.6699	1.0518	1.2913	0.3229	0.4919	0.7410	0.7476	0.7055	0.7674	1.1205	0.7949	0.3179	0.0513
4	-0.1806	-0.3823	-0.1172	0.6015	0.5339	0.5784	0.7504	0.6663	0.6346	0.8499	1.3009	0.7283	0.0043
5	-0.2088	-0.3313	-0.0942	0.1192	1.0553	0.5913	-0.2733	-0.0605	0.3377	0.8615	0.7003	0.7142	-0.0651
6	0.8375	0.9752	0.6729	0.7219	0.7816	0.7776	0.7865	0.8726	0.8224	0.7466	0.8259	0.8908	-0.0414
7	0.6411	1.0071	0.2786	0.8934	0.6038	1.3679	1.0193	1.3506	-0.2659	-0.4293	0.2338	0.1450	-0.0885
8	-0.3815	-0.2631	-0.1782	0.5301	0.6788	0.7551	1.0105	1.5943	-0.2553	-0.0694	-0.1918	0.1063	0.0189
9	0.1209	-0.3864	-0.03291	0.0650	0.2412	0.7513	0.6591	1.4612	0.6520	0.7711	1.3286	-0.4623	0.0201
10	-0.4386	0.3200	-0.41875	0.3696	-0.1783	0.3460	0.5729	0.7265	0.7518	0.6591	0.7620	1.0986	0.0410
11	0.6933	1.4446	0.7828	0.7397	0.6630	0.7958	0.7752	0.6291	0.8825	0.0239	1.1661	1.2164	-0.0279
12	0.7091	1.0816	1.1535	0.6482	0.7548	0.8087	0.6480	0.9299	1.3682	-0.3130	-0.2880	0.1959	0.0882
13	-0.3280	-0.3791	-0.45251	0.0632	0.6016	0.7635	0.7647	1.5497	0.7645	1.1804	-0.0723	0.9242	0.0361
14	0.7318	0.9652	1.0873	0.8622	0.6332	0.7358	0.6359	0.5084	0.6098	0.6578	0.6539	0.7507	-0.0215
15	0.7601	0.7850	0.5976	0.7071	0.6965	0.7847	0.7494	0.6642	0.9495	0.9515	1.1674	1.8191	0.0577
16	-0.2891	-0.2452	0.6081	0.1414	0.6379	1.8165	0.1210	-0.0490	-0.1921	0.4021	-0.2965	-0.2901	0.0394
Ø za 16 let	-0.0745	0.0008	0.0540	-0.0417	-0.0195	0.0985	-0.0291	-0.0200	-0.0682	0.1286	0.0577	-0.0209	

Na obrázcích 3.2-3 a 3.2-4 je zobrazen chronologický průběh průměrných měsíčních výšek hladiny za celé zpracovávané období. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivky, kde byla data zatížena nejistotou.

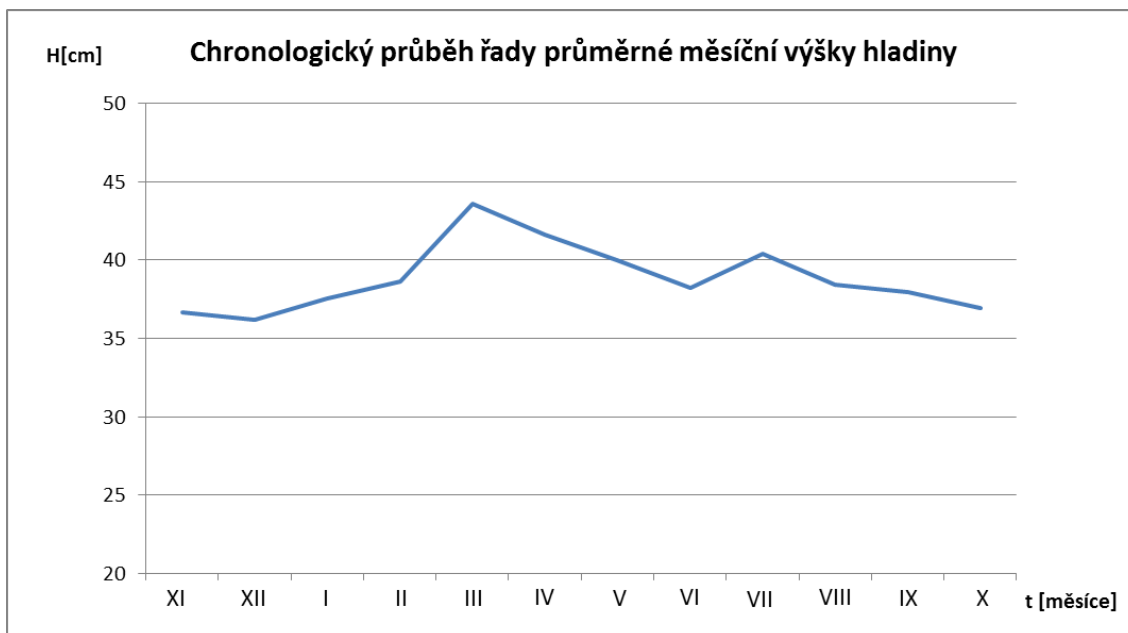


Obr. 3.2-3 Chronologický průběh průměrných měsíčních výšek hladiny

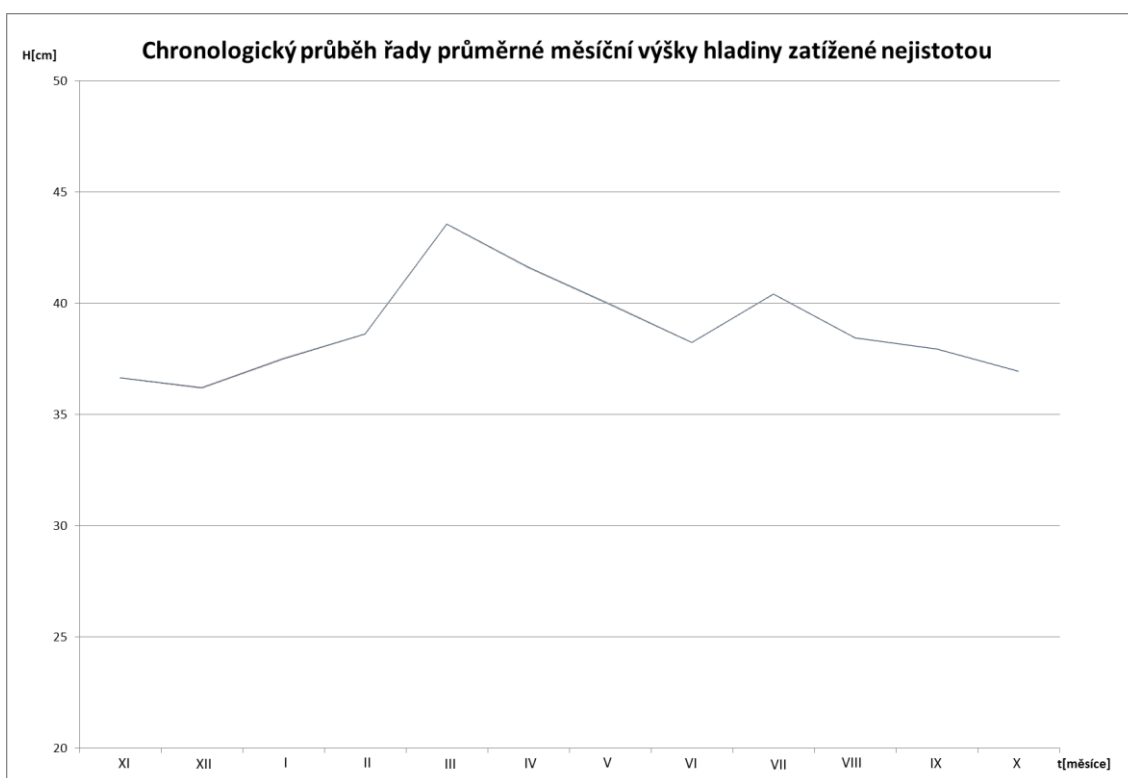


Obr. 3.2-4 Chronologický průběh průměrných měsíčních výšek hladiny zatížených nejistotou

Na obrázcích 3.2-5 a 3.2-6 je zobrazen chronologický průběh průměrné měsíční výšky hladiny. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivky, kde byla data zatížena nejistotou.

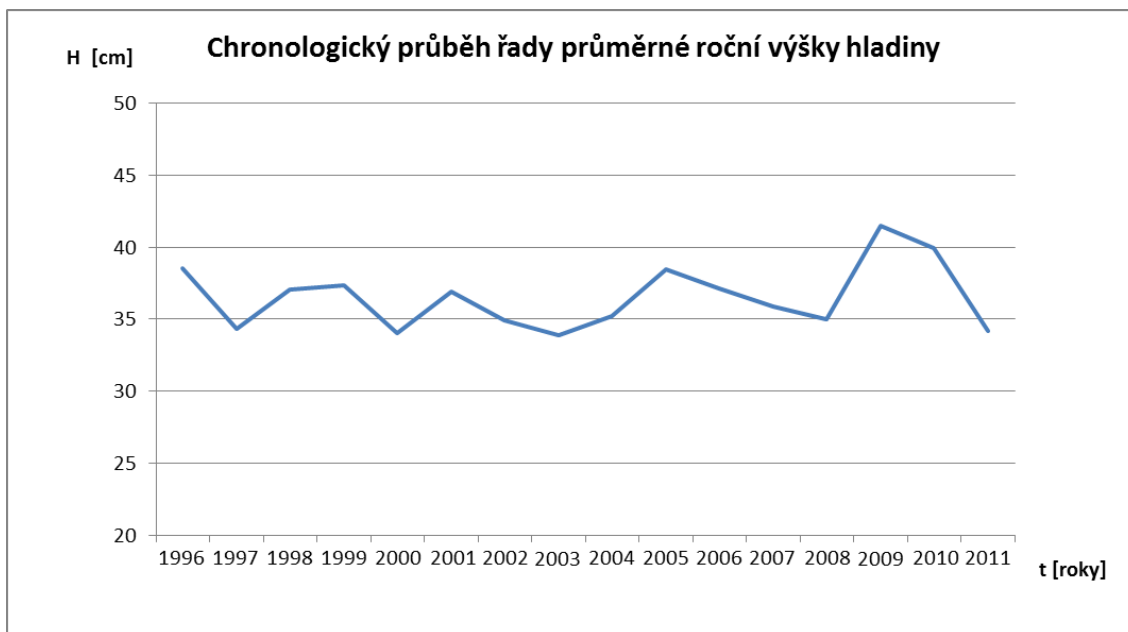


Obr. 3.2-5 Chronologický průběh průměrné měsíční výšky hladiny

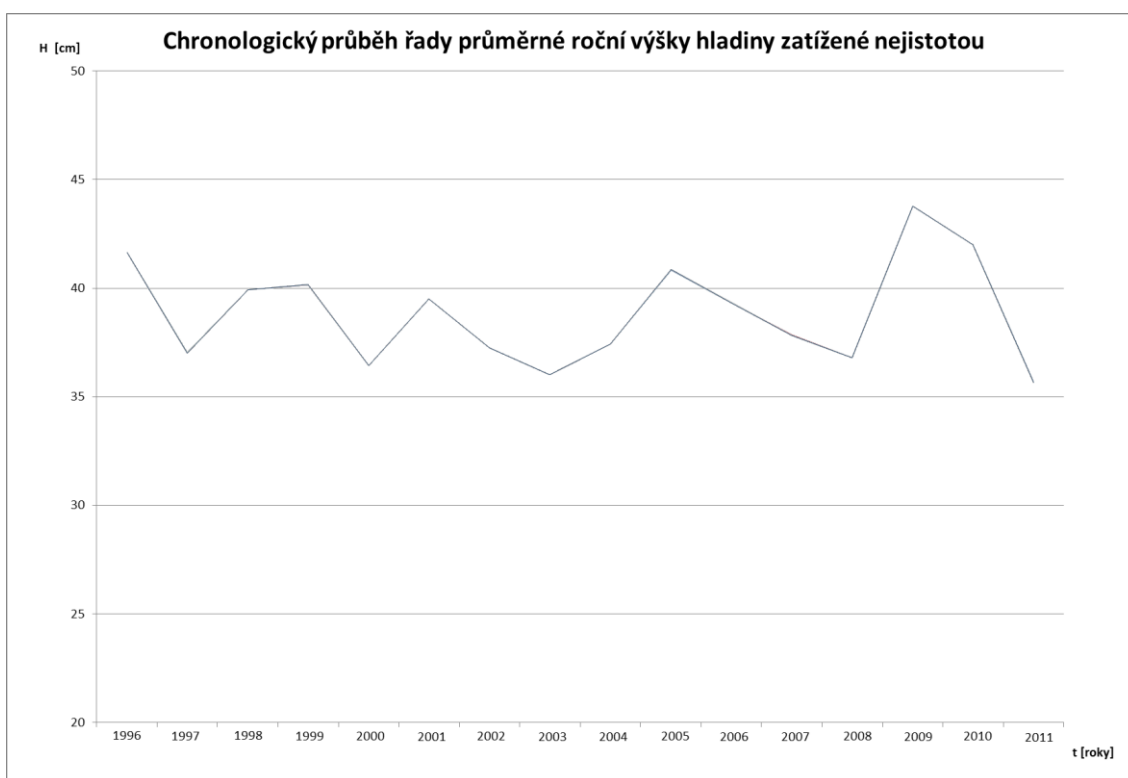


Obr. 3.2-6 Chronologický průběh průměrné měsíční výšky hladiny zatížený nejistotou

Na obrázcích 3.2-7 a 3.2-8 je zobrazen chronologický průběh průměrné roční výšky hladiny. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivky, kde byla data zatížena nejistotou.

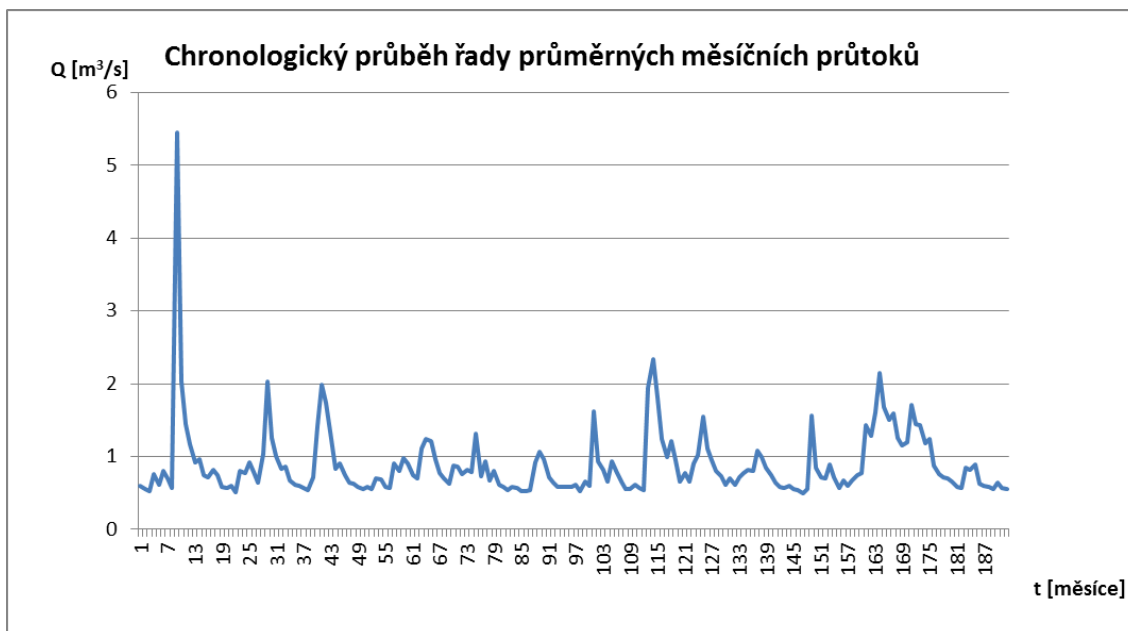


Obr. 3.2-7 Chronologický průběh průměrné roční výšky hladiny

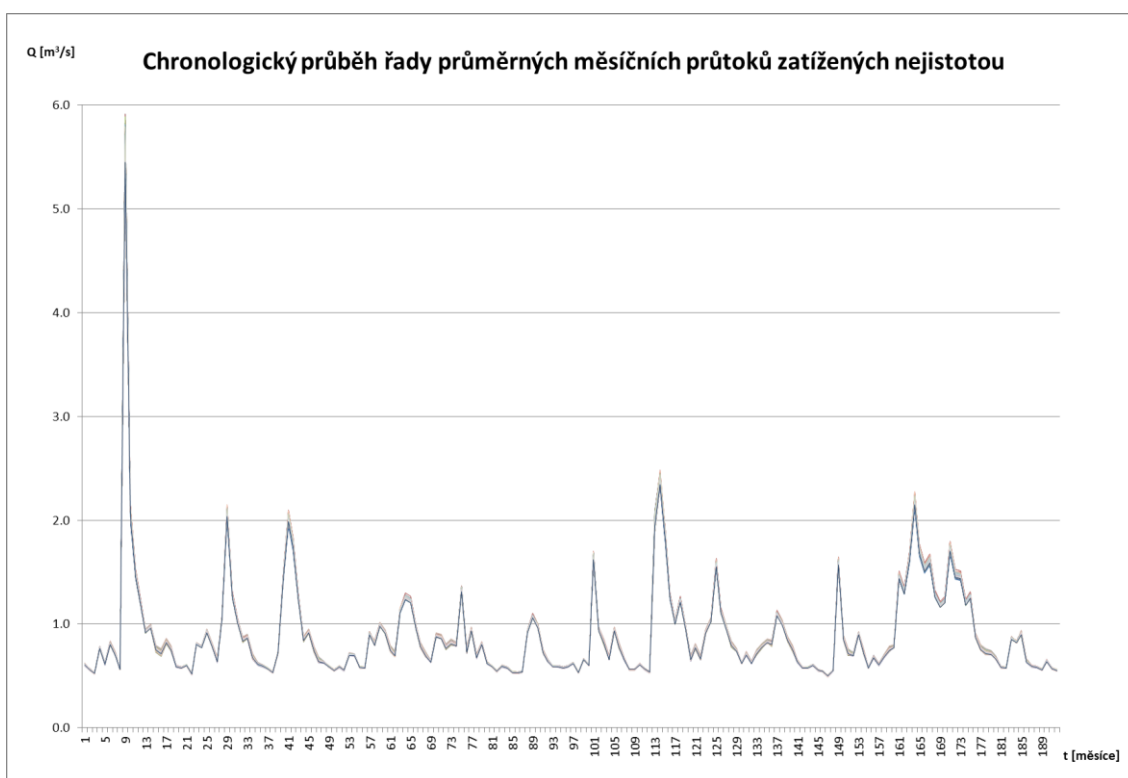


Obr. 3.2-8 Chronologický průběh průměrné roční výšky hladiny zatížený nejistotou

Na obrázcích 3.2-9 a 3.2-10 je zobrazen chronologický průběh průměrných měsíčních průtoků za celé zpracovávané období. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivek, kde byla data zatížena nejistotou.

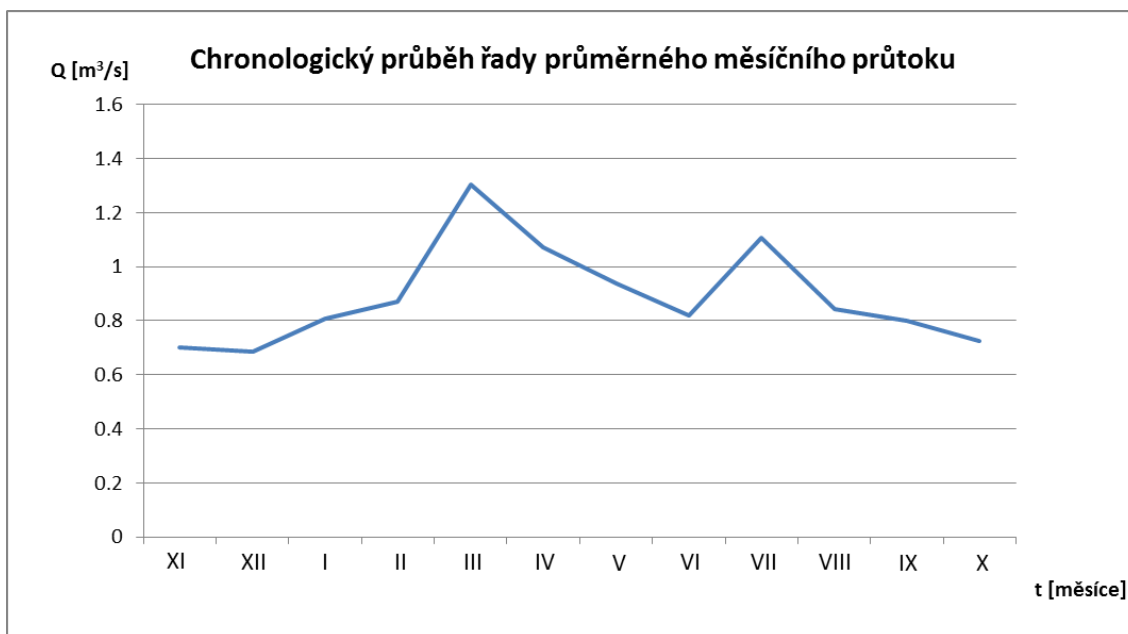


Obr. 3.2-9 Chronologický průběh průměrných měsíčních průtoků

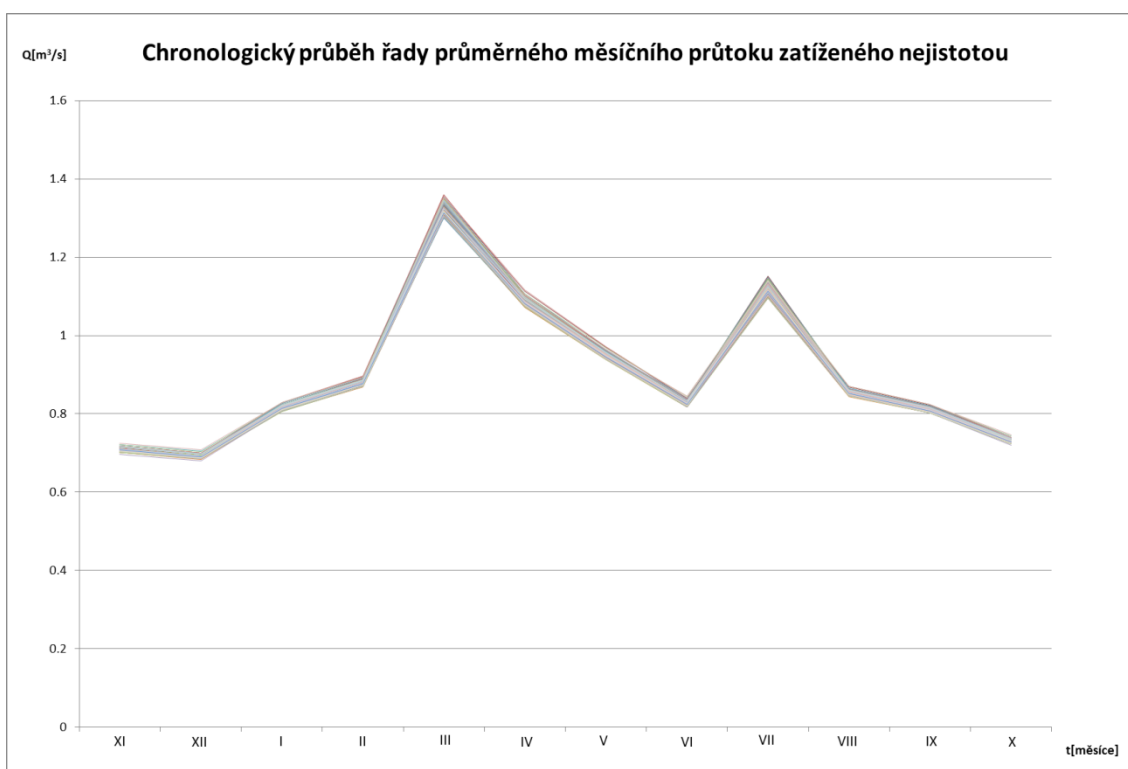


Obr. 3.2-10 Chronologický průběh průměrných měsíčních průtoků zatížený nejistotou

Na obrázcích 3.2-11 a 3.2-12 je zobrazen chronologický průběh průměrného měsíčního průtoku. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivky, kde byla data zatížena nejistotou.

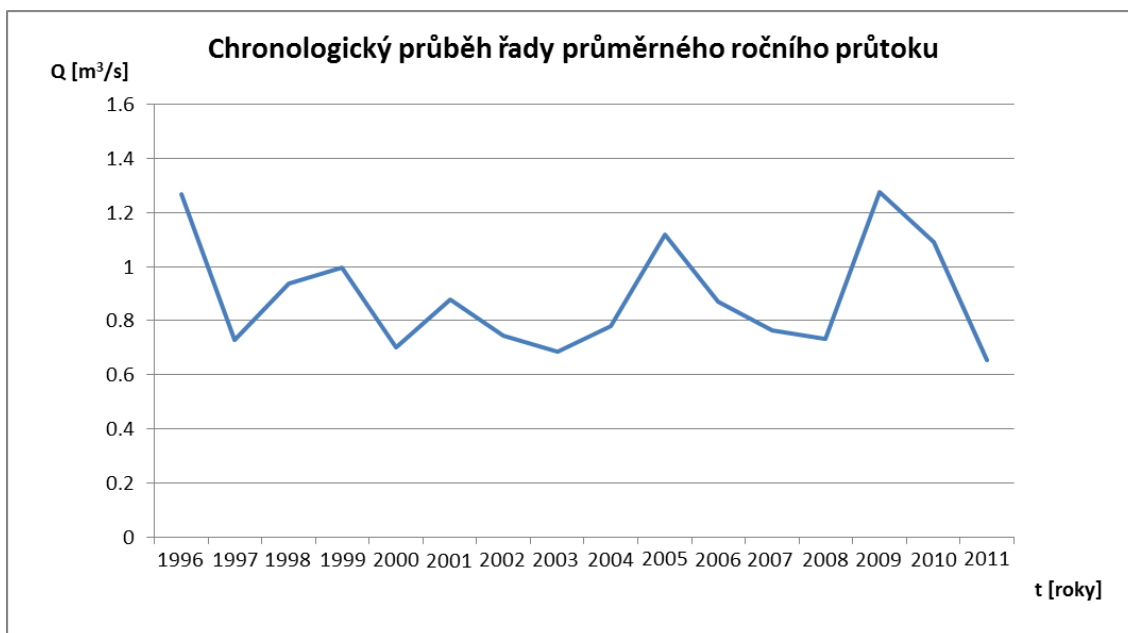


Obr. 3.2-11 Chronologický průběh průměrného měsíčního průtoku

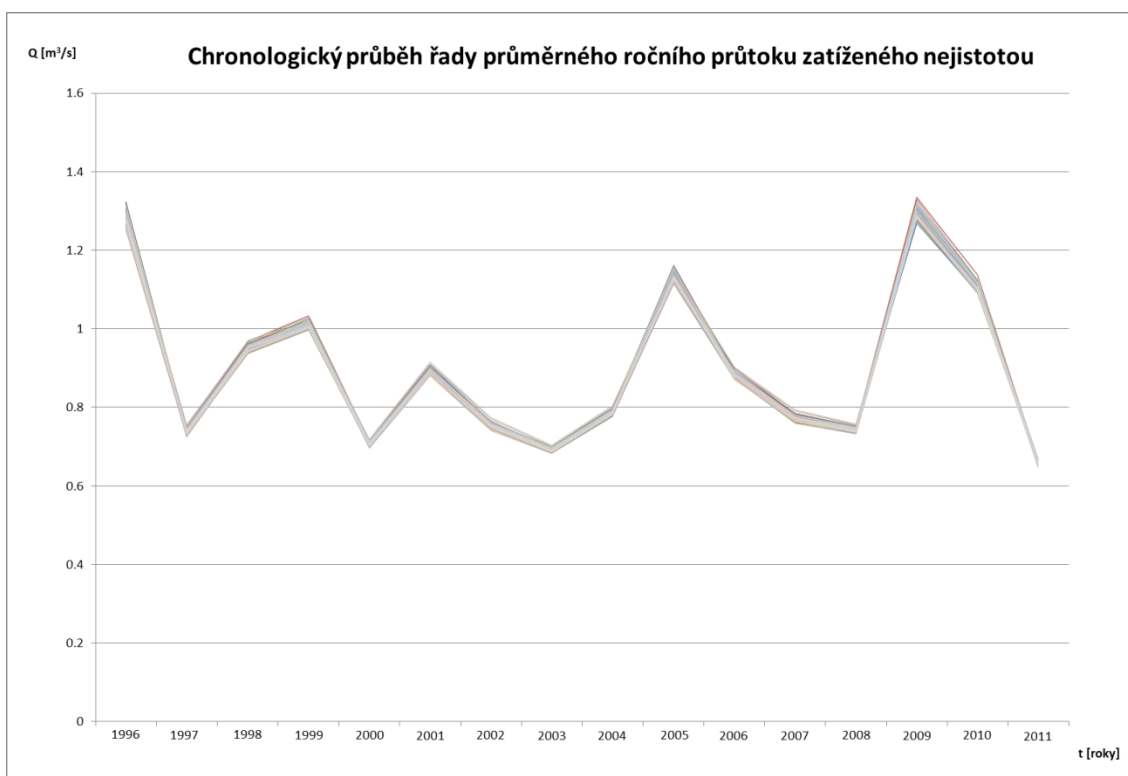


Obr. 3.2-12 Chronologický průběh průměrného měsíčního průtoku zatíženého nejistotou

Na obrázcích 3.2-13 a 3.2-14 je zobrazen chronologický průběh průměrného ročního průtoku. V prvním grafu je zobrazen průběh křivky originálních dat získaných z měření a následuje graf křivky, kde byla data zatížena nejistotou.



Obr. 3.2-13 Chronologický průběh průměrného ročního průtoku



Obr. 3.2-14 Chronologický průběh průměrného ročního průtoku zatíženého nejistotou

4. SHRnutí VÝSLEDKŮ

Všechny zkoumané veličiny a procesy, které byly zatíženy nejistotou, mají v postupu zavedeny do řešení společný základ, kterým je aplikace metody Monte Carlo. Je to stochastická metoda, u které je přesnost a efektivnost dána kvalitou generátoru náhodných čísel, sestavením racionálního algoritmu, statistickým zpracováním a kontrolou přesnosti získaných výsledků. Pomocí této metody jsou generovány náhodné polohy měřených bodů měrných křivek průtoků a náhodné průběhy průtokových řad.

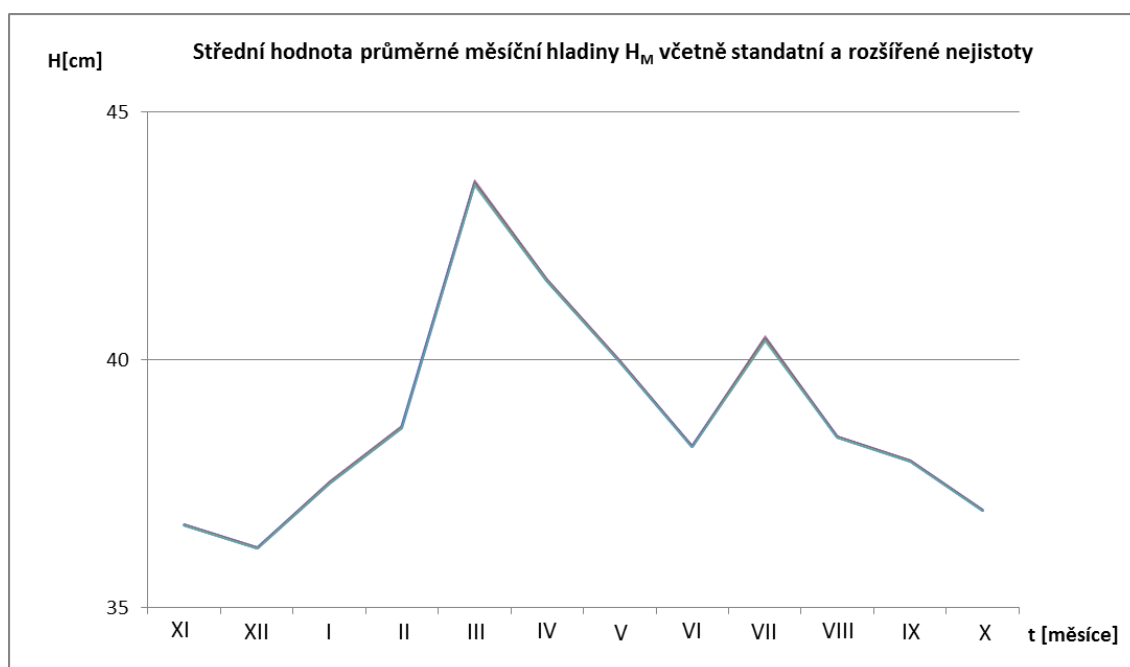
„Hodnoty nejistot měření jsou vyjádřeny velikostí okolí kolem naměřených hodnot, ve kterém se měřená veličina mohla rovněž vyskytnout. Uvedené okolí je reprezentováno směrodatnou odchylkou (standardní nejistotou) kolem naměřené hodnoty, která je považována za střední hodnotu. Rozšířená U_a nejistota je počítána jako trojnásobek hodnoty směrodatné odchylky.“[2]

Vyhodnocení průběhu hladin

Tabulka 4-1 ukazuje hodnoty statistických charakteristik pro průměrné měsíční hladiny. Obr 4-1 znázorňuje grafický průběh průměrných měsíčních hladin včetně standardní a rozšířené nejistoty.

Tab. 4-1 Hodnoty měsíčních statistických charakteristik

Statistické charakteristiky pro průměrné měsíční hladiny H_M												
měsíc	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
μ [cm]	36.6648	36.2006	37.5194	38.6373	43.5713	41.6119	39.9619	38.2540	40.4228	38.4410	37.9576	36.9582
$\pm\sigma$ [cm]	0.0063	0.0062	0.0081	0.0086	0.0187	0.0126	0.0105	0.0091	0.0187	0.0099	0.0079	0.0065
$U_a=3\cdot\sigma$	0.0189	0.0185	0.0242	0.0258	0.0560	0.0377	0.0314	0.0273	0.0562	0.0297	0.0236	0.0194
D [cm ²]	3.97E-05	3.79E-05	6.49E-05	7.37E-05	3.48E-04	1.58E-04	1.09E-04	8.29E-05	3.51E-04	9.82E-05	6.20E-05	4.18E-05
C_v	1.72E-04	1.70E-04	2.15E-04	2.22E-04	4.28E-04	3.02E-04	2.62E-04	2.38E-04	4.63E-04	2.58E-04	2.07E-04	1.75E-04
C_s	-0.0745	0.0008	0.0540	-0.0417	-0.0195	0.0985	-0.0291	-0.0200	-0.0682	0.1286	0.0577	-0.0209

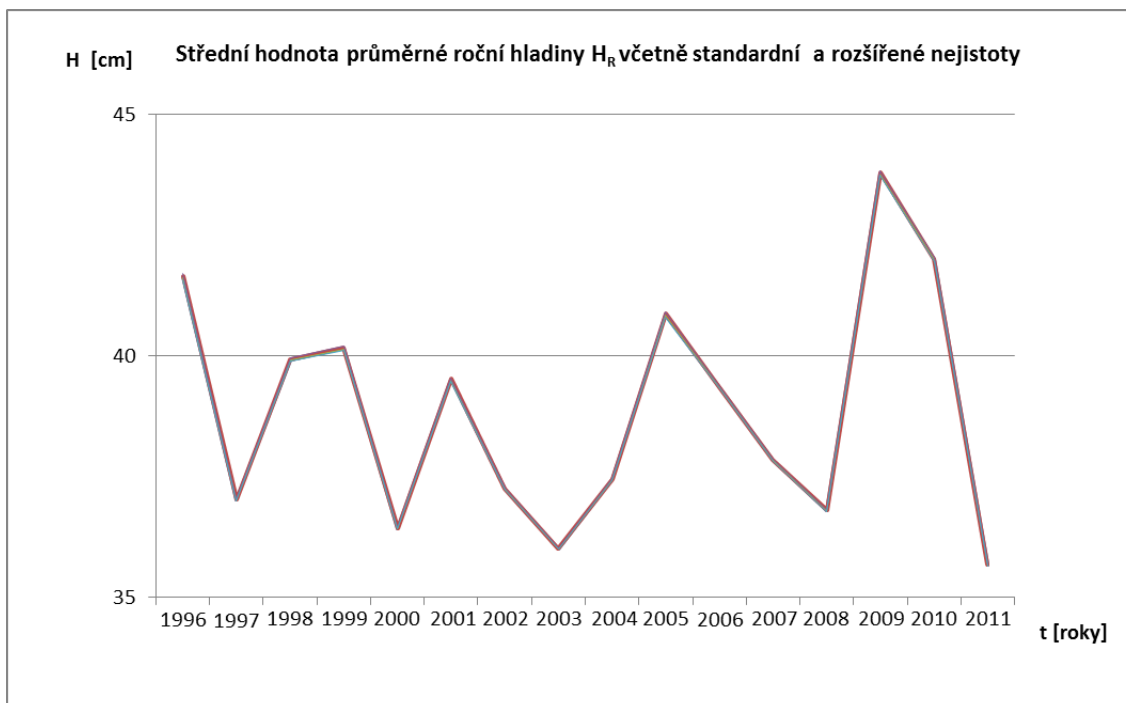


Obr. 4-1 Střední hodnota průměrné měsíční hladiny včetně nejistot

Tabulka 4-2 uvádí hodnoty statistických charakteristik pro průměrné roční hladiny. Obr 4-2 znázorňuje grafický průběh průměrných ročních hladin včetně standardní a rozšířené nejistoty.

Tab. 4-2 Hodnoty ročních statistických charakteristik

Statistické charakteristiky pro průměrné roční hladiny H_R						
rok	μ [cm]	$\pm\sigma$ [cm]	$U_a=3\cdot\sigma$	D [cm ²]	C_v	C_s
1997	41.6334	0.0242	0.0727	5.87E-04	5.82E-04	0.0300
1998	37.0203	0.0068	0.0205	4.65E-05	1.84E-04	-0.0551
1999	39.9230	0.0107	0.0322	1.15E-04	2.69E-04	0.0513
2000	40.1530	0.0121	0.0363	1.47E-04	3.01E-04	0.0043
2001	36.4279	0.0054	0.0162	2.90E-05	1.48E-04	-0.0651
2002	39.5048	0.0097	0.0290	9.36E-05	2.45E-04	-0.0414
2003	37.2410	0.0072	0.0215	5.13E-05	1.92E-04	-0.0885
2004	36.0051	0.0052	0.0157	2.75E-05	1.46E-04	0.0189
2005	37.4351	0.0079	0.0236	6.17E-05	2.10E-04	0.0201
2006	40.8471	0.0165	0.0495	2.72E-04	4.04E-04	0.0410
2007	39.3355	0.0090	0.0270	8.13E-05	2.29E-04	-0.0279
2008	37.8307	0.0073	0.0220	5.38E-05	1.94E-04	0.0882
2009	36.8024	0.0073	0.0218	5.29E-05	1.98E-04	0.0361
2010	43.7795	0.0166	0.0499	2.77E-04	3.80E-04	-0.0215
2011	41.9957	0.0129	0.0388	1.67E-04	3.08E-04	0.0577
2012	35.6665	0.0049	0.0148	2.43E-05	1.38E-04	0.0394



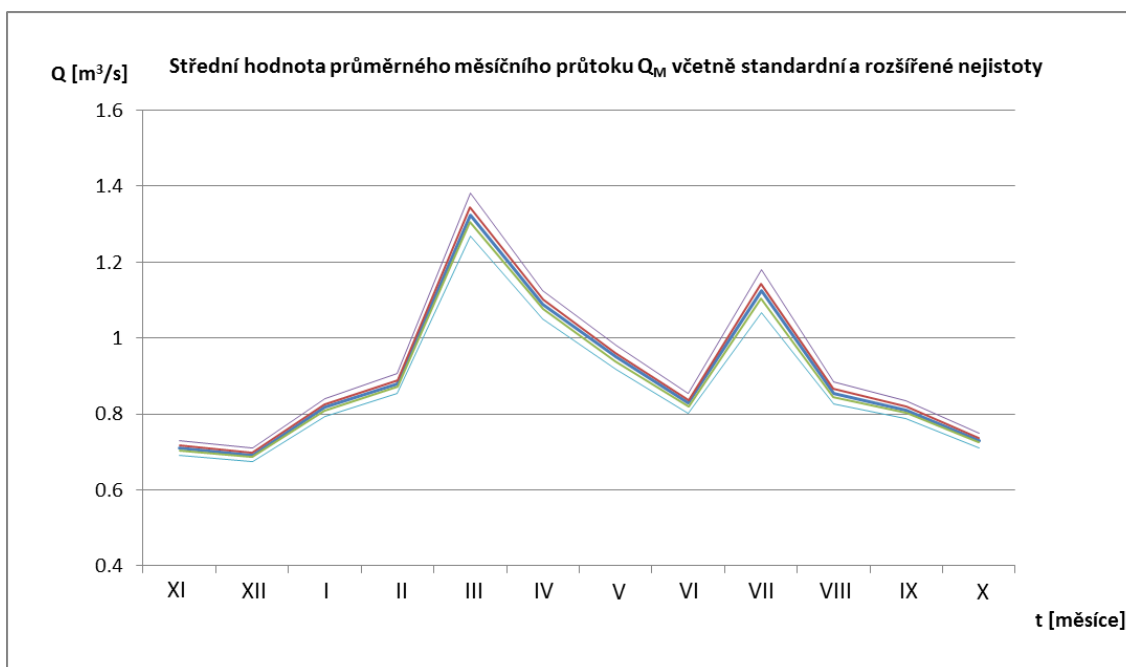
Obr. 4-2 Střední hodnota průměrné roční hladiny včetně nejistot

Vyhodnocení průběhu průtoků

Tabulka 4-3 ukazuje hodnoty statistických charakteristik pro průměrné měsíční průtoky. Obr 4-3 znázorňuje grafický průběh průměrných měsíčních průtoků včetně standardní a rozšířené nejistoty.

Tab. 4-3 Hodnoty měsíčních statistických charakteristik

Statistické charakteristiky pro průměrné měsíční průtoky Q_M												
měsíc	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
$\mu [m^3 \cdot s^{-1}]$	0.7096	0.6920	0.8169	0.8801	1.3251	1.0880	0.9498	0.8279	1.1238	0.8553	0.8110	0.7308
$\pm \sigma [l \cdot s^{-1}]$	0.0063	0.0062	0.0081	0.0086	0.0187	0.0126	0.0105	0.0091	0.0187	0.0099	0.0079	0.0065
$U_a = 3 \cdot \sigma$	0.0189	0.0185	0.0242	0.0258	0.0560	0.0377	0.0314	0.0273	0.0562	0.0297	0.0236	0.0194
$D [m^6 \cdot s^{-2}]$	3.97E-05	3.79E-05	6.49E-05	7.37E-05	0.000348	0.000158	0.000109	8.29E-05	0.000351	9.82E-05	6.2E-05	4.18E-05
C_v	8.88E-03	8.90E-03	9.86E-03	9.75E-03	1.41E-02	1.16E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.67E-02	1.16E-02	9.71E-03	8.84E-03
C_s	0.2799	0.3798	0.4789	0.5036	0.5991	0.8576	0.6479	0.6914	0.4629	0.4758	0.5730	0.5687

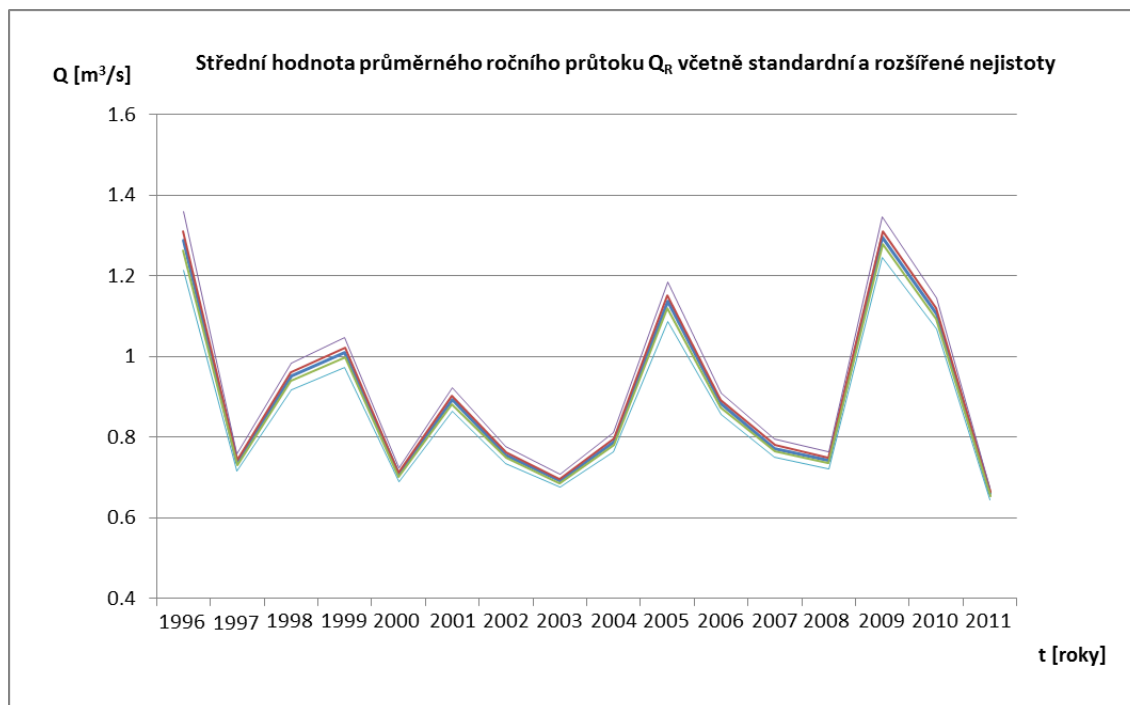


Obr. 4-3 Střední hodnota průměrného měsíčního průtoku včetně nejistot

Tabulka 4-4 ukazuje hodnoty statistických charakteristik pro průměrné roční průtoky. Obr 4-4 znázorňuje grafický průběh průměrných ročních průtoků včetně standardní a rozšířené nejistoty.

Tab. 4-4 Hodnoty ročních statistických charakteristik

Statistické charakteristiky pro průměrné roční průtoky Q_R						
rok	$\mu [l \cdot s^{-1}]$	$\pm\sigma [l \cdot s^{-1}]$	$U_a=3 \cdot \sigma$	$D [cm^2]$	C_v	C_s
1997	1.2873	0.0242	0.0727	5.87E-04	1.88E-02	0.3884
1998	0.7375	0.0068	0.0205	4.65E-05	9.24E-03	0.3791
1999	0.9506	0.0107	0.0322	1.15E-04	1.13E-02	0.7519
2000	1.0104	0.0121	0.0363	1.47E-04	1.20E-02	0.4970
2001	0.7067	0.0054	0.0162	2.90E-05	7.62E-03	0.2843
2002	0.8923	0.0097	0.0290	9.36E-05	1.08E-02	0.8093
2003	0.7550	0.0072	0.0215	5.13E-05	9.49E-03	0.5704
2004	0.6920	0.0052	0.0157	2.75E-05	7.58E-03	0.2780
2005	0.7881	0.0079	0.0236	6.17E-05	9.97E-03	0.4729
2006	1.1360	0.0165	0.0495	2.72E-04	1.45E-02	0.4536
2007	0.8820	0.0090	0.0270	8.13E-05	1.02E-02	0.8177
2008	0.7727	0.0073	0.0220	5.38E-05	9.49E-03	0.6414
2009	0.7428	0.0073	0.0218	5.29E-05	9.79E-03	0.5302
2010	1.2952	0.0166	0.0499	2.77E-04	1.28E-02	0.7360
2011	1.1064	0.0129	0.0388	1.67E-04	1.17E-02	0.8860
2012	0.6590	0.0049	0.0148	2.43E-05	7.49E-03	0.1971



Obr. 4-4 Střední hodnota průměrného ročního průtoku včetně nejistot

5. ZÁVĚR

Bakalářská práce si stanovovala za cíle provést kvalifikovaný odhad nejistot měření ve vybraném vodoměrném profilu toku s tím, že výsledným výstupem bude zpracovaná teorie o daném problému, výpočet nejistot měření průtoků koryta toku a statistické vyhodnocení vypočtených hodnot. Dále práce měla za úkol otestovat knihovny vytvořené v programovacím jazyce FORTRAN, které slouží pro generování nejistotou zatížených Q, h bodů měrné křivky průtoků koryta toku, dále slouží pro generování nejistotou zatížených hladin toku a také pro vyhodnocení nejistotou zatížených průtoků ve vodoměrném profilu toku. Jedna z knihoven byla také použita k prokládání měřených Q, h bodů měrných křivek průtoků koryta toku teoretickou křivkou.

Součástí práce bylo zpracování dat získaných z ČHMU, která byla měřena kontinuálně od roku 1996 do roku 2012. Měření probíhalo hodinově a tomu odpovídá 141720 záznamů hodnot průtoků a výšek hladiny. Data byla zatížena nejistotami a pomocí zmíněných knihoven byly získány náhodné body měrné křivky průtoků, časové řady náhodných průběhů hladin. Pro proložení teoretické MKP byla použita kombinace regresních rovnic mocnina-mocnina. Výsledný průběh náhodných MKP v profilu toku, tvořící rozevírající pás křivek, je vidět na obr. 3.2-2. Kombinací uvedeného postupu byly získány náhodné průběhy průtoků s časovým krokem jedna hodina. Tyto náhodné časové řady hodinových průtoků byly dále přepočteny na hodnoty průměrných měsíčních a ročních průtoků a odpovídajících statistických charakteristik.

V měřeném profilu je hodnota průměrného ročního průtoku Q_r stanovená jako průměr ze středních hodnot $\mu(Q_m)$. Odpovídá hodnotě $Q_r = 0,901 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a téměř se shoduje s $Q_r = 0,899 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ vypočteným z reálné řady průměrných měsíčních průtoků. Standardní nejistoty průměrných měsíčních průtoků se v jednotlivých měsících mění od $\pm 0,88\%$ do $\pm 1,67\%$. Rozšířené nejistoty se pak pohybovaly v intervalu od $\pm 2,66\%$ do $\pm 5,00\%$. Standardní nejistoty průměrných ročních průtoků se v jednotlivých letech mění od $\pm 0,76\%$ do $\pm 1,88\%$. Rozšířené nejistoty se pak pohybovaly v intervalu od $\pm 2,25\%$ do $\pm 5,65\%$. Hodnota standardní nejistoty průměrného měsíčního průtoků byla počítána zjednodušeně jako průměr z nejistot průměrných měsíčních průtoků za jeden rok, resp. za celé sledované období. Hodnota průměrné standardní nejistoty průměrného ročního průtoků se stanoví opět zjednodušeně jako průměr z nejistot průměrných ročních průtoků za celé sledované období.

Obdobně se stanovuje v měřeném profilu hodnota průměrné roční hladiny H_r , která je stanovená jako průměr ze středních hodnot $\mu(H_m)$, odpovídá hodnotě $H_r = 38,85 \text{ cm}$ a téměř se shoduje s $H_r = 36,52 \text{ cm}$ vypočteným z reálné řady průměrných měsíčních výšek hladiny. Standardní nejistoty průměrných měsíčních výšek hladin se v jednotlivých měsících mění od

$\pm 0,017\%$ do $\pm 0,046\%$. Rozšířené nejistoty se pak pohybovaly v intervalu od $\pm 0,051\%$ do $\pm 0,139\%$. Standardní nejistoty pro průměrné roční výšky hladin se v jednotlivých letech mění od $\pm 0,014\%$ do $\pm 0,058\%$. Rozšířené nejistoty se pak pohybovaly v intervalu od $\pm 0,042\%$ do $\pm 0,175\%$. Hodnota průměrné standardní nejistoty průměrné měsíční výšky hladiny se opět vyjadřuje také jako průměr z nejistot průměrných měsíčních výšek hladin za jeden rok. Hodnota průměrné standardní nejistoty průměrné roční výšky hladiny se stanoví jako průměr z nejistot průměrných ročních výšek hladiny za celé sledované období.

Ze shrnutí výsledků vyplývá, že se vliv nejistot prokázal jednak na průtoky, ale i na vodní stav ve vodoměrném profilu toku a mělo by se s ním uvažovat. Jednak při samotném vyhodnocení denních, měsíčních i ročních průtoků, ale např. i při výpočtu zásobních objemů nádrže. Kde nezapočtení nejistot může ovlivnit velikost vypočítaných zásobních objemů, což vede k podhodnocení a negativnímu ovlivnění provozní spolehlivosti nádrže.

Dále by bylo potřeba se zabývat analýzou změny velikosti nejistoty měření, která vzniká při stanovení průtoků hydrometrováním. A analýzou nejistoty v závislosti na velikosti průtoku. S vysokou pravděpodobností se dá očekávat, že v málovodném toku s bystrinným charakterem proudění bude hodnota nejistot měřených dat vyšší než u profilu s říčním charakterem proudění a vyšším průtokem, kde budou výsledné nejistoty nižší. Tuto hypotézu je nutno prokázat na datech z vybrané sítě vodoměrných stanic.

V návaznosti na předchozí témata by dalším námětem na zpracování mohla být sezonalita, tedy změny režimu letního a zimního provozu měrné křivky průtoků koryta toku.

6. LITERATURA A CITACE

Všechny informace jsem čerpal z důvěryhodných zdrojů.

6.1 POUŽITÁ LITERATURA

Literatura:

1. STARÝ M., Hydrologie (MODUL 01), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2005
2. STARÝ M., Hydrologie (MODUL 02 Návod do cvičení), VUT v Brně - Fakulta stavební, Brno, 2005.
3. MARTON, Daniel. *Vliv nejistot při stanovení členů reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže: disertační práce*. Brno, 2011, 104 s., Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny.
4. VOTRUBA L., BROŽA V., Water Management and Reservoirs, SNTL Prague, 1989.
5. MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P. The Influence of Uncertainties in the Calculation of Mean Monthly Discharges On Reservoir Storage. *Journal of Hydrology and Hydromechanic*, 2011, roč. 59, č. 4, s. 228-237. ISSN: 0042- 790X.
6. ČSN ISO 690. BIBLIOGRAFICKÉ CITACE: Obsah, forma a struktura. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.
7. ČSN ISO 7144. Dokumentace - Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.
8. ČSN 01 6910. Úprava písemností zpracovaných textovými editory. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.

Internetové odkazy:

1. <http://www.chmi.cz/>
2. <http://cs.wikipedia.org/>
3. <http://www.fiedler-magr.cz/>
4. <https://www.google.com/>
5. <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>

6.2 CITACE Z LITERATURY

- [1] STARÝ, MILOŠ. HYDROLOGIE: MODUL 01. BRNO, 2005. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [2] MARTON, Daniel. *Vliv nejistot při stanovení členů reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže: disertační práce*. Brno, 2011, 104 s., Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny.
- [3] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Svitava>
- [4] FIEDLER-MÁGR: M4016 KDO SESTAVA PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU. IN: [ONLINE]. [CIT. 2014-05-29]. DOSTUPNÉ Z: HTTP://WWW.FIEDLER-MAGR.CZ/SITES/DEFAULT/FILES/DOKUMENTY/12-DATASHEET_SESTAVA_DOPPLER.PDF
- [5] GOOGLE MAPS. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: Maps.google.com
- [6] ČÚZK: Nahlížení do katastru nemovitostí. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://nahliznidokn.cuzk.cz/>
- [7] ČHMI: Hlásná a předpovědní povodňová služba. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/hpps/>
- [8] MARTON, D.; STARÝ, M.; MENŠÍK, P. The Influence of Uncertainties in the Calculation of Mean Monthly Discharges On Reservoir Storage. *Journal of Hydrology and Hydromechanic*, 2011, roč. 59, č. 4, s. 228-237. ISSN: 0042- 790X.

7. OBRÁZKY

- Obr. 2-1** Tlaková sonda LMP 808 plastová a LMP 308 nerezová
Převzato z: [<http://www.fiedler-magr.cz/>]
- Obr. 2-2** Hustota pravděpodobnosti „bílého šumu“
Převzato z: [STARÝ, Miloš. *Hydrologie: Modul 01*. Brno, 2005. Vysoké učení technické v Brně.]
- Obr. 2-3** Schéma generování náhodných souřadnic bodů teoretické měrné křivky průtoků z okolí měřených bodů metodou Monte Carlo

Převzato z: [MARTON, Daniel. *Vliv nejistot při stanovení členů reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže: disertační práce*. Brno, 2011, 104 s., Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny.]

Obr. 2-4 Schéma generování náhodných řad vodních stavů metodou Monte Carlo

Převzato z: [MARTON, Daniel. *Vliv nejistot při stanovení členů reálné průtokové řady průměrných měsíčních průtoků na vypočtené hodnoty zásobního objemu nádrže: disertační práce*. Brno, 2011, 104 s., Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny.]

Obr. 3.1-1 Mapa lokality

Převzato z: [Maps.google.com]

Obr. 3.1-2 Mapa měrných a předpovědních profilů jihomoravského kraje

Převzato z: [<http://www.chmi.cz/>]

Obr. 3.1-3 Vodoměrná stanice Rozhraní

Převzato z: [GOOGLE MAPS. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: Maps.google.com]

Obr. 3.1-4 Vodoměrná stanice Rozhraní

Převzato z: [GOOGLE MAPS. [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: Maps.google.com]

Obr. 3.2-1 Měrná křivka průtoků a reálné body měrné křivky průtoků

Obr. 3.2-2 Měrná křivka průtoků zatížená nejistotou

Obr. 3.2-3 Chronologický průběh průměrných měsíčních výšek hladiny

Obr. 3.2-4 Chronologický průběh průměrných měsíčních výšek hladiny zatížených nejistotou

Obr. 3.2-5 Chronologický průběh průměrné měsíční výšky hladiny

Obr. 3.2-6 Chronologický průběh průměrné měsíční výšky hladiny zatížený nejistotou

Obr. 3.2-7 Chronologický průběh průměrné roční výšky hladiny

Obr. 3.2-8 Chronologický průběh průměrné roční výšky hladiny zatížený nejistotou

Obr. 3.2-9 Chronologický průběh průměrných měsíčních průtoků

Obr. 3.2-10 Chronologický průběh průměrných měsíčních průtoků zatížený nejistotou

Obr. 3.2-11 Chronologický průběh průměrného měsíčního průtoků

- Obr. 3.2-12** Chronologický průběh průměrného měsíčního průtoku zatíženého nejistotou
- Obr. 3.2-13** Chronologický průběh průměrného ročního průtoku
- Obr. 3.2-14** Chronologický průběh průměrného ročního průtoku zatíženého nejistotou
- Obr. 4-1** Střední hodnota průměrné měsíční hladiny včetně nejistot
- Obr. 4-2** Střední hodnota průměrné roční hladiny včetně nejistot
- Obr. 4-3** Střední hodnota průměrného měsíčního průtoku včetně nejistot
- Obr. 4-4** Střední hodnota průměrného ročního průtoku včetně nejistot